



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
I C E A

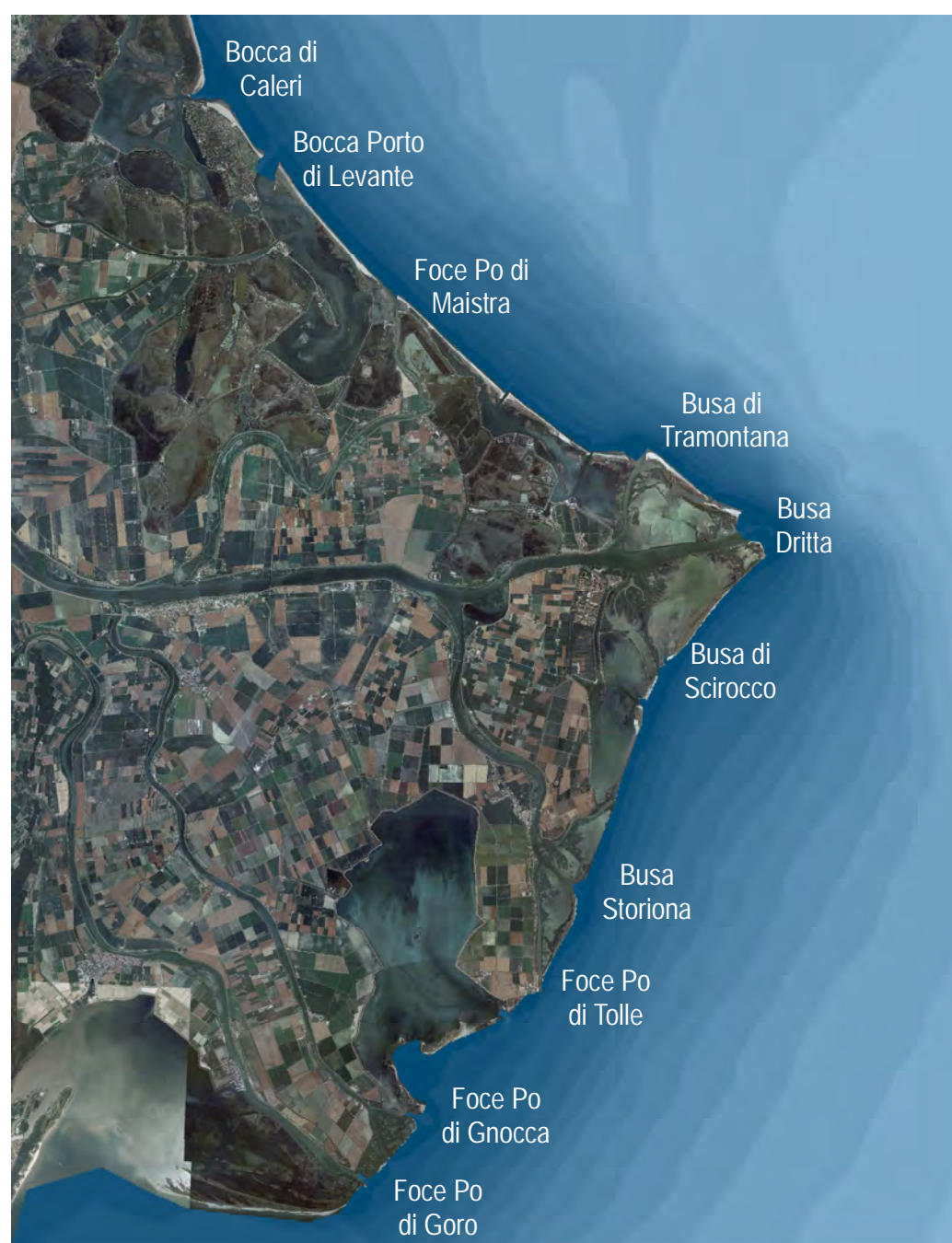


REGIONE DEL VENETO

GIUNTA REGIONALE
DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO E FORESTE
SEZIONE DIFESA DEL SUOLO

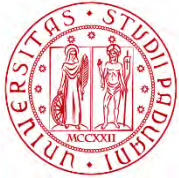
GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA

STUDIO E MONITORAGGIO PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DEI LITORALI DALL'EROSIONE NELLA REGIONE VENETO - LINEE GUIDA



Padova, Febbraio 2016

A cura di:
Piero Ruol e Tiziano Pinato



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
ICEA



REGIONE DEL VENETO

GIUNTA REGIONALE
DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO E FORESTE
SEZIONE DIFESA DEL SUOLO

GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA
STUDIO E MONITORAGGIO PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DEI LITORALI
DALL'EROSIONE NELLA REGIONE VENETO - LINEE GUIDA

Per l'Università degli Studi di Padova
Dip. ICEA:

prof. ing. Piero Ruol
prof. ing. Luca Martinelli
ing. Chiara Favaretto

Per la Regione del Veneto:

ing. Tiziano Pinato
ing. Fabio Galiazzo
ing. Salvatore Patti
ing. Umberto Anti
geom. Roberto Piazza
ing. Pierluigi Simonin
ing. Guido Selvi
ing. Giulia Buffon



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
ICEA



REGIONE DEL VENETO

GIUNTA REGIONALE
DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO E FORESTE
SEZIONE DIFESA DEL SUOLO

Autori:

Piero Ruol, Luca Martinelli, Chiara Favaretto

Referenti per la Regione Veneto:

Tiziano Pinato, Fabio Galiazzo, Salvatore Patti, Umberto Anti, Roberto Piazza, Pierluigi Simonin, Guido Selvi, Giulia Buffon

Si ringraziano per il contributo fornito nelle elaborazioni e nella stesura:

Mauro Sclavo, CNR Istituto di Scienze Marine – ISMAR – Venezia, per il capitolo 3 “Moto Ondoso”

Mario Floris, Dip. Geoscienze – Università degli Studi di Padova, per il capitolo 4 “Subsidenza della fascia costiera”

Stefano Lanzoni, Dip. ICEA – Università degli Studi di Padova, per il capitolo 6 “Trasporto solido fluviale”

Andrea D’Alpaos, Dip. Geoscienze – Università degli Studi di Padova, per il capitolo 7 “Imboccature lagunari”

Vladimiro Achilli, Dip. ICEA – Università degli Studi di Padova, per il capitolo 8 “Rilievo della linea di riva”

Annamaria Correggiari, CNR Istituto di Scienze Marine – ISMAR – Bologna, per il paragrafo sulle “Cave al largo”

Si ringraziano inoltre:

ARPA Veneto - Servizio Osservatorio Acque Marine e Lagunari, Consorzio Venezia Nuova, Provveditorato interregionale per le opere pubbliche di Veneto Trentino Alto Adige Friuli Venezia Giulia, Umberto Trivelloni (Regione del Veneto – Dip. Territorio, Sezione pianificazione territoriale strategica e cartografia), Giuseppe Fragola (Autorità di bacino del fiume Adige), Marina Curtarello (Regione Veneto – Dip. Difesa del suolo).

FASE CONOSCITIVA

1. OBIETTIVI E METODI.....	13
1.1 Obiettivi	14
1.2 Metodi	14
2. CONSIDERAZIONI SULLA DIFESA DELLA COSTA IN VENETO	17
2.1 Identificazione dell'area oggetto di indagine.....	18
2.2 Rassegna dei piani di gestione territoriale (PTRC, PTPC)	20
2.3 Siti Natura 2000 (Siti SIC e ZPS)	20
2.4 Rassegna dei piani a livello comunale (Piani degli Arenili)	21
2.5 Suddivisione in celle morfologicamente omogenee	21
2.5.1 Descrizione delle celle in Provincia di Venezia	23
2.5.2 Descrizione delle celle in Provincia di Rovigo	28
2.1 Conclusioni.....	30
3. MOTO ONDOSO	31
3.1 Dati disponibili	32
3.2 Modello matematico impiegato.....	37
3.2.1 Costruzione delle griglie	38
3.3 Clima meteo – marino sotto costa	40
3.3.1 Statistica degli estremi al largo.....	46
3.3.2 Statistica degli estremi sotto costa	46
3.4 Statistica estremi e maree alla Piattaforma “Acqua Alta”	50
3.4.1 Statistica combinata altezze d'onda – maree	51
3.5 Conclusioni.....	52
4. SUBSIDENZA DELLA FASCIA COSTIERA	53
4.1 Subsidenza nell'area del litorale veneto	54
4.2 Previsioni future.....	56
4.3 Misure preventive: interferometria RADAR satellitare	57
4.4 Mappe di velocità nei periodi 1992-2000 e 2002-2010.....	59
4.4.1 Metodologia applicata	59
4.5 Risultati ottenuti e Conclusioni	62
5. TRASPORTO SOLIDO LITORANEO.....	65
5.1 Dati disponibili	66
5.2 Metodologia applicata	66
5.3 Sedimentologia	68
5.4 Valutazioni approssimate del trasporto long-shore	71
5.5 Conclusioni.....	77
6. TRASPORTO SOLIDO FLUVIALE.....	79
6.1 Dati disponibili	80
6.2 Metodologia applicata	80
6.3 Risultati ottenuti.....	83
6.3.1 Tagliamento	83
6.3.2 Piave	84
6.3.3 Brenta.....	86
6.3.4 Adige.....	88

6.3.5 Po	89
6.4 Conclusioni	94
7. IMBOCCATURE LAGUNARI.....	97
7.1 Informazioni disponibili	98
7.2 Conclusioni	100
8. RILIEVO DELLA LINEA DI RIVA, AEROFOTOGRAMMETRICI E LIDAR	101
8.1 Informazioni disponibili	102
8.2 Linea di riva da rilievi Lidar	102
8.3 Linea di riva da Ortofoto e da CTR	104
8.4 Confronto della linea di riva	107
8.5 Linea riva di riferimento per la gestione futura.....	114
8.1 Conclusioni	115
9. RILIEVI TOPO-BATIMETRICI	119
9.1 Dati disponibili	120
9.2 Calcolo del volume dei sedimenti accumulati o erosi	120
9.3 Progettazione della rete.....	123
9.4 Conclusioni	135
10. PREVEDIBILI MODIFICAZIONI CLIMATICHE	137
10.1 Dati disponibili	138
10.2 Osservazioni conclusive	141
11. RISCHIO DI ALLAGAMENTO COSTIERO	143
11.1 Richiamo alla Direttiva Alluvioni (2007/60/CE)	144
11.1.1 Stima delle aree a rischio: Zona tra foce Tagliamento e Caleri	144
11.1.2 Stima delle aree a rischio: Delta del Po.....	145
12. BILANCIO SEDIMENTARIO	147
12.1 Ripascimenti e dragaggi	148
12.2 Bilancio sedimentario.....	150
13. SCHEDE RIASSUNTIVE.....	157
14. CONCLUSIONI.....	219
14.1 Piano decennale di sviluppo degli aspetti conoscitivi	220
14.2 Implementazione di un Database GIS	220
14.3 Piano decennale di sviluppo degli aspetti tecnologici	221

FASE PROGETTUALE

15. OBIETTIVI E METODI	225
16. INTERVENTI DI DIFESA DA EROSIONE E ALLAGAMENTO COSTIERO	227
16.1 Linee guida.....	228
16.2 Possibili tipologie di interventi	229
16.2.1 Interventi strutturali.....	230
16.2.2 Interventi non strutturali.....	231
16.3 Requisiti per cella e criteri di priorità	232
16.4 Analisi delle celle appartenenti alla Provincia di Venezia	234
16.5 Analisi delle celle appartenenti alla Provincia di Rovigo.....	264
16.6 Mappa delle criticità.....	289
17. INDIVIDUAZIONE DELLE RISORSE	293
17.1 Economia legata alla costa	294
17.2 Risorsa sabbiosa.....	296
17.2.1 Risorsa sabbiosa dalla fascia costiera	296
17.2.2 Risorsa sabbiosa da cave marine al largo	298
17.3 Piano di intervento.....	305
18. PIANO DECENNALE DI GESTIONE	309
18.1 Tratti critici.....	310
18.2 Interventi prioritari.....	311
18.3 Programma di manutenzione	312
19. CONCLUSIONI.....	315

ALLEGATI

A. ALLEGATO: I PROGETTI GIS	319
A.1 Descrizione del progetto GIS	320
A.2 Struttura e contenuti del progetto GIS.....	322
B. ALLEGATO: RACCOLTA DATI E MONITORAGGI PER L'AGGIORNAMENTO DEL DOCUMENTO: "GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA"	327
B.1 Raccolta di dati meteomarini	328
B.2 Monitoraggi dei litorali	328
B.3 Monitoraggi di foci fluviali e imboccature lagunari.....	331
B.4 Monitoraggi cave marine offshore	332
BIBLIOGRAFIA.....	333

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 Enti gestori del litorale	15
Fig. 2 Tabella utilizzata per la ricognizione dei dati disponibili	16
Fig. 3 Carta Alto Adriatico, da Po di Goro a Punta Tagliamento (Carta nautica n°38, Istituto Idrografico della Marina IIM)	18
Fig. 4 Rappresentazione confini comunali del litorale Veneto	19
Fig. 5 Siti SIC del litorale Veneto (sx), Siti ZPS del litorale Veneto (dx)	21
Fig. 6 Celle litoranee	22
Fig. 7 Foce del fiume Tagliamento	23
Fig. 8 Bocca di porto Baseleghe	23
Fig. 9 Cuspide Madonna dell'Angelo - Caorle	24
Fig. 10 Spiaggia completamente erosa (sx), spiaggia ricostruita con un intervento di ripascimento (dx),	25
Fig. 11 Intervento di salpamento dei pennelli tra Livenza e Piave	26
Fig. 12 Litorale compreso tra la laguna del Mort e la foce Piave	26
Fig. 13 Posizione punti CNR	32
Fig. 14 Rosa delle altezze Punto P1 Lon. 13°00' Lat. 45°00'	35
Fig. 15 Rosa delle altezze Punto P2 Lon. 13°00' Lat. 45°30'	35
Fig. 16 Rosa delle altezze Piattaforma "Acqua Alta"	37
Fig. 17 Griglia LV1 (sx-alto) per le simulazioni sul litorale veneziano nel caso di mareggiate provenienti dal settore di Scirocco. Griglia LV2 (sx-basso) per le simulazioni sul litorale veneziano nel caso di mareggiate provenienti dal settore di Bora. Griglia DdP (dx) per le simulazioni sul litorale del Delta del Po e della Provincia di Rovigo	39
Fig. 18 Punti per la trasformazione delle onde	42
Fig. 19 Diagrammi dell'energia polare del moto ondoso ottenuti con il modello SWAN nei 42 punti di output posizionati lungo la costa del Veneto nelle tre simulazioni	44
Fig. 20 Diagrammi finali dell'energia polare del moto ondoso nei 42 punti di output posizionati lungo la costa del Veneto	45
Fig. 21 Andamento altezze d'onda > 2.5 metri al punto P1 (sx), punto P2 (dx)	46
Fig. 22 Applicazione delle condizioni al contorno per la propagazione degli estremi di Bora sul litorale Veneziano	47
Fig. 23 Litorale della Provincia di Venezia – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Bora	47
Fig. 24 Litorale della Provincia di Venezia – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Scirocco.	48
Fig. 25 Campi d'onda calcolati per le simulazioni degli eventi estremi di Bora (sx) e di Scirocco (dx) aventi tempi di ritorno stimato in 50 anni per il litorale della Provincia di Venezia.	48
Fig. 26 Litorale della Provincia di Rovigo – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Bora.	49
Fig. 27 Litorale della Provincia di Rovigo – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Scirocco.	49
Fig. 28 Campi d'onda calcolati per le simulazioni degli eventi estremi di Bora (sx) e di Scirocco (dx) aventi tempi di ritorno stimato in 50 anni per il litorale della Provincia di Rovigo	49
Fig. 29 Andamento altezze d'onda > 2.5m alla Piattaforma Acqua Alta	51
Fig. 30 Andamento livelli di marea > 0.8m alla Piattaforma Acqua Alta	51
Fig. 31 Statistica combinata alla Piattaforma "Acqua Alta" (Ott. 1987 – Dic. 2007),	52
Fig. 32 Tassi di subsidenza nell'area dell'Alto Adriatico misurati con tecniche interferometriche (PS) applicate a dati ERS-SAR acquisiti tra il 1992 e il 2000 e relative cause preponderanti	54
Fig. 33 Sezione geologica da SW verso NE comprendente la laguna di Venezia e il Mar Adriatico Settentrionale	54
Fig. 34 Schema subduzione della placca adriatica sotto quella europea e implicazioni per la subsidenza nel Delta del Po	55
Fig. 35 Isocinetiche di subsidenza relative al periodo 1950-1957 (Teatini et al., 2011)	55
Fig. 36 Tassi di subsidenza nei periodi 1973-1993 e 1993-2000 nell'area della laguna veneziana. (Brambati et al., 2003)	56
Fig. 37 Tasso di subsidenza sovrapposto alla mappa dell'età delle formazioni del delta Po (Teatini et al., 2011)	56
Fig. 38 Zone soggette ad almeno un'alluvione significativa, 1900–1950 (sx) e 1950–2000 (dx), (Carminati e Martinelli, 2002)	57
Fig. 39 Geometria di acquisizione di una immagine radar (image credit: NASA/JPL).	57
Fig. 40 Schema di funzionamento delle tecniche DInSAR, PS=Permanent Scatterers (sito Arpa Piemonte e sito CNR-IREA)	58
Fig. 41 Schema delle principali missioni spaziali dotate di sensori SAR (sito ESA – European Spatial Agency)	58
Fig. 42. Velocità medie calcolate attraverso l'applicazione della tecnica PS ai dati SAR acquisiti, in modalità descending, dai satelliti ERS ed ENVISAT rispettivamente nei periodi 1992-2000 e 2002-2010	59
Fig. 43 Istogramma della velocità media di deformazione lungo la LOS: (A) dei PS ERS descending (1992-2000); (B) dei PS ENVISAT descending (2002-2010)	60

Fig. 44 Variogramma Omni-direzionale (ENVISAT descending).....	61
Fig. 45 ENVISAT descending: mappa delle velocità di deformazione media lungo la LOS nel periodo 2002-2010	61
Fig. 46 Mappa dell'errore dell'interpolazione. (sx) Curva corrispondente all'errore limite considerato, Clip mask (dx)	62
Fig. 47 Mappa delle velocità di deformazione media lungo la LOS nel periodo 1992-2000 (orbita discendente)	63
Fig. 48 Mappa delle velocità di deformazione media lungo la LOS nel periodo 2002-2010 (orbita discendente)	64
Fig. 49 Velocità della corrente longitudinale calcolata con il metodo degli elementi finiti	66
Fig. 50 Esempio di calcolo del trasporto solido litoraneo con la formula di Bijker (Volume totale = 47'200 m ³ /anno diretti verso Sud) e con la formula del CERC (Volume totale = 223'900 m ³ /anno diretti verso Sud)	67
Fig. 51 Schema delle quattro principali zone di trasporto solido cross-shore.....	68
Fig. 52 Carta Sedimentologica ricavata da campioni effettuati nel litorale di Eraclea (Fontolan et al., 2013)	69
Fig. 53 Carta Sedimentologica dell'Adriatico settentrionale (CNR 1988)	69
Fig. 54 Andamento d ₅₀ e d ₉₀ al variare della profondità (cella RO1).....	70
Fig. 55 Esempio di raccolta di informazioni sedimentologiche disponibili (d ₅₀ foce Tagliamento)	71
Fig. 56 Esempio di profilo batimetrico scelto e valutazione della normale alla spiaggia in corrispondenza del profilo (sx)	72
Fig. 57 Trasporto solido litoraneo nel litorale Veneto	77
Fig. 58 Andamento portata solida al variare della portata liquida (da 100 a 500 m ³ /s) per il tratto di Adige da Pettorazza (RO) alla foce	81
Fig. 59 Andamento della somma degli scarti al quadrato ottenuti sezione per sezione al variare della portata liquida (e solida) in ingresso - Po di Goro, da Ariano nel Polesine alla foce	82
Fig. 60 Confronto tra l'andamento del fondo rilevato sperimentalmente e il fondo ottenuto mediante simulazione numerica al variare della portata liquida e solida in ingresso, da Ariano Polesine alla foce del Po di Goro.	82
Fig. 61 Immagine del tratto terminale di fiume Tagliamento.....	83
Fig. 62 Tagliamento: sezione trasversali 3 posta a 958 m dalla foce.....	83
Fig. 63 Tagliamento: sezione trasversale 21 posta a 9.57 km dalla foce	84
Fig. 64 Tagliamento: sezione trasversale 33 poste a 14.36 km dalla foce	84
Fig. 65 Immagine satellitare del tratto di fiume Piave analizzato.....	85
Fig. 66 Piave: sezione trasversale 2 posta a 0.55km dalla foce.....	85
Fig. 67 Piave: sezione trasversale 16 posta a 4.83 km dalla foce.....	85
Fig. 68 Piave: sezione trasversale 23 posta a 7.44 km dalla foce.....	86
Fig. 69 Immagine satellitare del tratto di fiume Brenta analizzato	86
Fig. 70 Brenta: sezione trasversale 10 posta a 6.1 km dalla foce	87
Fig. 71 Brenta: sezione trasversale 24 posta a 15.8 km dalla foce	87
Fig. 72 Brenta: sezione trasversale 49 posta a 32.89 km dalla foce	87
Fig. 73 Immagine satellitare del tratto di fiume Adige analizzato.....	88
Fig. 74 Adige: sezione trasversale 1430 posta a 3.2 km dalla foce.....	88
Fig. 75 Adige: sezione trasversale 1406 posta a 11.8 km dalla foce.....	89
Fig. 76 Adige: sezione trasversale 1377 posta a 22.81 km dalla foce.....	89
Fig. 77 Rete idrografica del Delta del Po.....	90
Fig. 78 Po: sezione trasversale 73A posta a 51.53 km dalla foce.....	91
Fig. 79 Po: sezione trasversale 65(Pontelagoscuro) posta a 91.33 km dalla foce	91
Fig. 80 Po: sezioni trasversale 70 posta a 71.4 km dalla foce.....	91
Fig. 81 Po di Goro: sezione trasversale G5 posta a 0.24 km dalla foce.....	92
Fig. 82 Po di Goro: sezione trasversale 40 posta a 11.41 km dalla foce.....	92
Fig. 83 Po di Goro: sezione trasversale 20 posta a 22.83 km dalla foce.....	92
Fig. 84 Schema del sistema a marea alla base del modello di marchi (1990), costituito dal mare, l'ingresso canale di lunghezza L, e la laguna interna (Marchi, 1990)	98
Fig. 85 Batimetrie delle lagune del delta del Po: (A) Laguna di Barbamarco; (B) La Vallona; (C) Laguna di Caleri;.....	99
Fig. 86 Legge di O'Brien-Jarrett-Marchi. Relazione tra il prisma di marea, P, e l'area liquida della sezione trasversale della bocca di bacini a marea, Ω . I dati analizzati da Jarrett (1976) sono stati integrati con i dati relativi alla Laguna di Venezia nelle sue diverse configurazioni storiche (1810, 1901, 1932, 1970, 2003) e alle lagune del Delta del Po	99
Fig. 87 Legge di O'Brien-Jarrett-Marchi. Relazione tra il prisma di marea, P, e l'area liquida della sezione trasversale della bocca di bacini a marea, Ω . Dati relativi alle lagune del Delta del Po	100

Fig. 88 Confronto rilievi LIDAR disponibili per la provincia di Rovigo (Bocca di Caleri)	103
Fig. 89 Confronto rilievi LIDAR disponibili per la provincia di Venezia (litorale di Bibione)	103
Fig. 90 Esempio di restituzione della linea di riva (a destra provincia di Venezia - litorale di Sottomarina, a sinistra provincia di Rovigo - litorale tra busa Tramontana e busa Scirocco)	104
Fig. 91 Esempio di sovrapposizione non coincidente tra due elementi adiacenti della CTR 81 – 83 (Litorale di Cavallino - Treporti VE)	105
Fig. 92 Ortofoto 107160w, da sinistra in alto in senso orario anno 2000, 2003, 2007, 2012	106
Fig. 93 Scogliera di Caorle, esempio di corretta sovrapposizione delle differenti linee di riva (Ortofoto di base 2012)	106
Fig. 94 Trend evolutivo tra il 2007 e il 2012 – Foce del fiume Tagliamento	109
Fig. 95 Variazione linea di riva nelle celle in provincia di Venezia (m/anno)	112
Fig. 96 Variazione linea di riva nelle celle in provincia di Rovigo (m/anno)	113
Fig. 97 Variazione della linea di riva (m), celle della provincia di Venezia	116
Fig. 98 Variazione della linea di riva (m), celle della provincia di Rovigo	117
Fig. 99 Proiezioni di modelli basati su processi di innalzamento del l.m.m globale (GMSL) periodo 1986-2005	138
Fig. 100 Confronto tra l'andamento del l.m.m. annuale registrato nel periodo 1872 - 2012 presso le stazioni mareografiche di Venezia Punta della Salute e Trieste Molo Sartorio - elaborazioni ISPRA su dati ISPRA e CNR ISMAR di Trieste	141
Fig. 101 Andamento l.m.m e frequenza eventi "acqua alta", dati ISPRA e CNR ISMAR-Trieste (elaborazioni ISPRA, 2012)	141
Fig. 102 Punti di intrusione sul tratto in sinistra idrografica al fiume Piave (Jesolo e Eraclea)	145
Fig. 103 Mappa di allagabilità Tr = 30, 100 e 300 anni, tratto in sinistra idrografica al fiume Piave (Jesolo e Eraclea)	145
Fig. 104 Mappa di allagabilità Delta del Po, scenario molto frequente, frequente e raro	146
Fig. 105 Provenienza del materiale sabbioso utilizzato per i ripascimenti	150
Fig. 106 Schema delle voci per il calcolo del bilancio sedimentario	150
Fig. 107 Tipologie di interventi e opere presenti nel litorale Veneto	229
Fig. 108 Sezione batimetrica Rosolina Nord (post ripascimento), presenza barra naturale e canale	264
Fig. 109 Mappa delle zone critiche	289
Fig. 110 Presenze annuali nel comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina). Elaborazioni della Sezione Sistema Statistico Regionale su dati Istat - Regione Veneto	294
Fig. 111 Presenze mensili nel comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina). Elaborazioni della Sezione Sistema Statistico Regionale su dati Istat - Regione Veneto	295
Fig. 112 Presenze annuali divise nei comuni del comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina). Elaborazioni della Sezione Sistema Statistico Regionale su dati Istat - Regione Veneto	295
Fig. 113 Localizzazione depositi sabbiosi prossimi a riva	297
Fig. 114 Ubicazione delle aree d'indagine RV_A, RV_B, RV_C, RV_D, RV_G, RV_H e RV_JC. In verde le tracce dei profili sismoacustici ad alta risoluzione acquisiti per la ricerca di depositi sabbiosi in nero la posizione dei vibrocarotaggi campionati. La base cartografica si riferisce alla Foglio NL33-7 Venezia della Geologica dei Mari Italiani scala 1:250000 e le unità rappresentate sono quelle della carta superficiale riferibili ai depositi di età tardo quaternaria formati durante ultimo ciclo glacio-eustatico	298
Fig. 115 Area RV_A - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri.	299
Fig. 116 Area RV_A Profilo sismoacustico Chirp sonar dove sono visibili le forme di fondo presenti nell'area. Nel riquadro sono rappresentate le forme di fondo con una minore esagerazione verticale.	299
Fig. 117 Area RV_B - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri.	300
Fig. 118 Ubicazione dell'area RV_D in piattaforma nord adriatica, profili Chirp acquisiti e vibrocarotaggi effettuati nell'area.	301
Fig. 119 Profilo Chirp Sonar: in evidenza l'estrema variabilità degli spessori di sedimento sabbioso nell'area RV_D (in grigio). Nella sezione sismoacustica visibili le forme di fondo di dimensioni diverse che caratterizzano l'area.	301
Fig. 120 Aree RV_G, RV_C ed RV_H - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri ed ubicazione dei vibrocarotaggi per ciascuna area.	302
Fig. 121 Alcuni esempi di profili Chirp sonar e vibrocarotaggi acquisiti nell'area RV_C. Nei profili in giallo sono messe in evidenza le porzioni sabbiose dei depositi e sono ubicati i log litologici dei vibrocarotaggi.	303
Fig. 122 Area RV_H - Due profili Chirp Sonar acquisiti nel 2012 nell'area, l'ubicazione nella mappa. Si può notare in giallo il deposito sabbioso con base tabulare	304
Fig. 123 Area RV_JC - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri.	304
Fig. 124 Schermata Progetto GIS – provincia di Venezia	321

Fig. 125 Schermata Progetto GIS – provincia di Rovigo	321
Fig. 126 Codici sezioni batimetriche (codici da Fontolan et al 2014)	330

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1 Enti gestori della costa Veneta e ambiti di competenza	14
Tab. 2 Siti SIC del litorale Veneto	20
Tab. 3 Siti ZPS del litorale Veneto	20
Tab. 4 Codifica celle litoranee del litorale Veneto	22
Tab. 5 Posizione punti CNR	32
Tab. 6 Clima Punto P1 Lon. 13°00' Lat. 45°00'	33
Tab. 7 Clima Punto P2 Lon. 13°00' Lat. 45°30'	34
Tab. 8 Clima Piattaforma "Acqua Alta"	36
Tab. 9 Posizione dei punti per la trasformazione delle onde	43
Tab. 10 Analisi Statistica nei due punti P1 e P2	46
Tab. 11 Massimi registrati alla Torre "Acqua Alta"	50
Tab. 12 Analisi Statistica onde alla piattaforma "Acqua Alta"	51
Tab. 13 Analisi Statistica maree alla piattaforma "Acqua Alta"	51
Tab. 14 Valori statistica combinata presente nello studio "MAV-CVN"	52
Tab. 15 Valori statistica univariata presente nello studio "MAV-CVN" dei livelli di marea (sx) e delle altezze d'onda (dx)	52
Tab. 16 Lista dei dataset utilizzati nella geometria di acquisizione descending.	59
Tab. 17 Legenda utilizzata per la caratterizzazione granulometrica	70
Tab. 18 Provincia di Rovigo - Andamento d_{50}	70
Tab. 19 Provincia di Rovigo - Andamento d_{90}	70
Tab. 20 Provincia di Venezia - Andamento d_{50} (*media effettuata su pochi dati disponibili)	71
Tab. 21 Foci fluviali - d_{50}	71
Tab. 22 Limiti di chiusura del trasporto longitudinale utilizzati	72
Tab. 23 Trasporto Longshore – Provincia di Venezia (compreso tra linea di riva e profondità di chiusura)	73
Tab. 24 Trasporto Longshore – Provincia di Venezia (compreso tra limite a riva e profondità di chiusura)	74
Tab. 25 Trasporto Longshore – Provincia di Rovigo (compreso tra linea di riva e profondità di chiusura)	75
Tab. 26 Trasporto Longshore – Provincia di Rovigo (compreso tra limite a riva e profondità di chiusura)	76
Tab. 27 Dati disponibili su principali fiumi veneti	80
Tab. 28 Volume di sedimenti trasportato annualmente a mare (Ruol & Tondello, 1996)	93
Tab. 29 Ripartizione della portata solida nei vari rami del delta del Po, valori in percentuale	93
Tab. 30 Estensione del bacino idrografico, portata media annua e portata formativa per i vari fiumi	94
Tab. 31 Sommario delle caratteristiche medie dei corsi d'acqua analizzati e delle stime ottenute con il modello matematico descritto	94
Tab. 32 Dati relativi alle lagune del Delta del Po	100
Tab. 33 Informazioni disponibili per la valutazione della linea di riva	102
Tab. 34 Spostamenti medi per le 57 sezioni, in base al confronto tra i voli Lidar 2006-2009, 2009-2012	107
Tab. 35 Spostamenti medi per le 57 sezioni, in base al confronto tra i voli Lidar 2006-2009, 2009-2012	108
Tab. 36 Evoluzione linea di riva da confronto CTR e Ortofoto (provincia di Venezia)	108
Tab. 37 Evoluzione linea di riva da confronto CTR e Ortofoto (provincia di Rovigo)	109
Tab. 38 Evoluzione linea di riva da confronto CTR 1983 e Ortofoto 2000	110
Tab. 39 Evoluzione linea di riva da confronto Ortofoto 2000 e Ortofoto 2003	110
Tab. 40 Evoluzione linea di riva da confronto Ortofoto 2003 e Ortofoto 2007	111
Tab. 41 Evoluzione linea di riva da confronto Ortofoto 2007 e Ortofoto 2012	111
Tab. 42 Variazioni della linea di riva rispetto al 2012 (provincia di Venezia)	115
Tab. 43 Variazioni della linea di riva rispetto al 2012 (provincia di Rovigo)	115
Tab. 44 Rilievi batimetrici disponibili	120
Tab. 45 Calcolo Volumi accumulati o erosi (Celle VE1 – VE5) da Fontolan & al., 2013	121
Tab. 46 Calcolo Volumi accumulati o erosi (Celle VE6 – VE10) da Fontolan & al., 2013	122
Tab. 47 Calcolo Volumi accumulati o erosi (Celle RO1 – RO10) da Fontolan & al., 2014	123

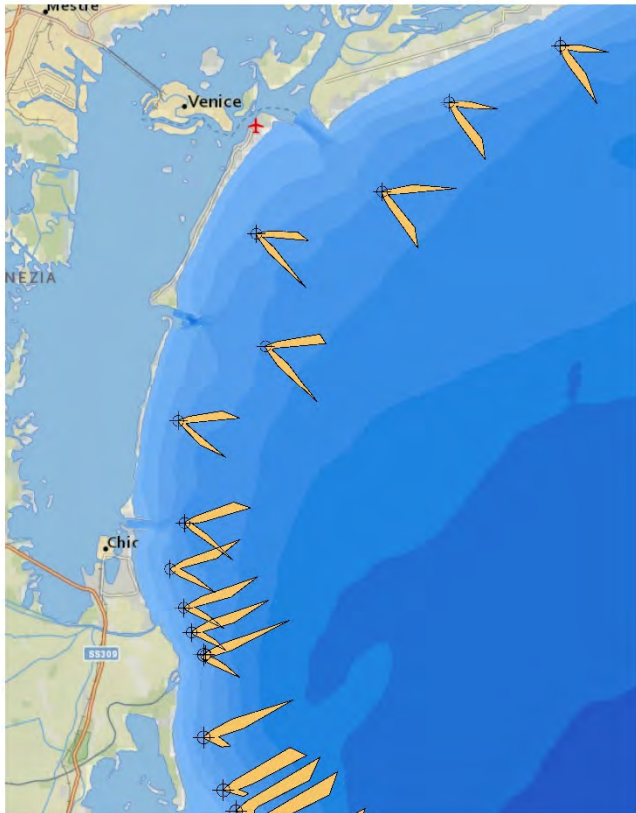
Tab. 48 Aggiornamento dei volumi erosi/accumulati per ciascun tratto.....	124
Tab. 49 Identificazione scenari IPCC 2007 (AR4)	138
Tab. 50 Scenari di variazione della temperatura superficiale media globale dell'aria e l'innalzamento del livello medio globale del mare.....	139
Tab. 51 Scenari di crescita del livello del mare a livello globale e locale.....	139
Tab. 52 Scenari di riferimento (Zona tra foce Tagliamento e bocca Caleri).....	144
Tab. 53 Scenari di riferimento (zona tra bocca di Caleri e Po di Goro).....	146
Tab. 54 Autorizzazioni rilasciate dal 2003 al 2008 per ripascimenti e dragaggi	148
Tab. 55 Autorizzazioni rilasciate dal 2009 al 2014 per ripascimenti e dragaggi	149
Tab. 56 Valori iniziali stimati o disponibili ($m^3 \cdot 1000/anno$)	152
Tab. 57 Incertezza attribuita a ciascuna variabile ($\pm m^3 \cdot 1000/anno$)	153
Tab. 58 Grado di incertezza attribuito a ciascuna variabile (%).....	154
Tab. 59 Correzioni in termini di moltiplicatore della incertezza assunta.	155
Tab. 60 Valori compensati ($m^3 \cdot 1000/anno$).....	156
Tab. 61 Aspetti conoscitivi	220
Tab. 62 Scala degli Indici di priorità	233
Tab. 63 Indici di vulnerabilità per i tratti costieri.....	233
Tab. 64 Indici di priorità cella VE1	235
Tab. 65 Indici di priorità cella VE2	237
Tab. 66 Indici di priorità cella VE3	240
Tab. 67 Indici di priorità cella VE4	243
Tab. 68 Indici di priorità cella VE5	246
Tab. 69 Indici di priorità cella VE6	249
Tab. 70 Indici di priorità cella VE7	252
Tab. 71 Indici di priorità cella VE8	255
Tab. 72 Indici di priorità cella VE9	258
Tab. 73 Indici di priorità cella VE10	261
Tab. 74 Indici di priorità cella RO1.....	265
Tab. 75 Indici di priorità cella RO2.....	267
Tab. 76 Indici di priorità cella RO3.....	270
Tab. 77 Indici di priorità cella RO4.....	273
Tab. 78 Indici di priorità cella RO5.....	276
Tab. 79 Indici di priorità cella RO6.....	278
Tab. 80 Indici di priorità cella RO7.....	280
Tab. 81 Indici di priorità cella RO8.....	282
Tab. 82 Indici di priorità cella RO9.....	284
Tab. 83 Indici di priorità cella RO10.....	287
Tab. 84 Tabella riassuntiva indici di priorità (provincia di Venezia)	290
Tab. 85 Tabella riassuntiva indici di priorità (provincia di Rovigo)	291
Tab. 86 Arrivi e presenze annuali nel comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina).....	294
Tab. 87 Volumi depositi sabbiosi prossimi a riva	296
Tab. 88 Tabella riassuntiva dei volumi di sabbia presenti in Adriatico Settentrionale.....	305
Tab. 89 Ripascimenti manutentivi e risorsa sabbiosa correlata.....	306
Tab. 90 Ripascimenti strutturali e risorsa sabbiosa correlata	307
Tab. 91 Tratti maggiormente critici	310
Tab. 92 Interventi prioritari sui tratti critici	311
Tab. 93 Ripascimenti manutentivi.....	312
Tab. 94 Monitoraggi.....	313
Tab. 95 Descrizione specifiche dei progetti GIS	320
Tab. 96 Dati ed elaborazioni archiviati in GIS - provincia di Venezia.....	322
Tab. 97 Dati ed elaborazioni archiviati in GIS - provincia di Rovigo	324
Tab. 98 Posizione dei 42 punti sotto costa lungo il litorale veneto.....	328



Tab. 99 Codici sezioni batimetriche (codici da Fontolan et al 2014)	329
Tab. 100 Possibile programma dei monitoraggi litorali.....	331
Tab. 101 Possibile programma dei monitoraggi di foci fluviali e imboccature lagunari.....	332

GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA
STUDIO E MONITORAGGIO PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DEI LITORALI
DALL'EROSIONE NELLA REGIONE VENETO - LINEE GUIDA

FASE CONOSCITIVA



1. OBIETTIVI E METODI

1.1 OBIETTIVI

La fase conoscitiva del presente studio (DGRV n° 2541 del 11.12.2012 e DGRV n° 2080 del 19.11.2013) mira a fornire una descrizione aggiornata dello stato dell'intero litorale del Veneto, in termini multidisciplinari (ambientali, sociali, morfologici, antropici, etc.) e una stima accurata del bilancio sedimentario, basata sulla conoscenza delle dinamiche naturali e delle azioni di difesa della costa sin qui adottate. L'obiettivo dello studio è la valutazione del recente trend evolutivo del litorale, al fine di formare un quadro utile alla pianificazione, gestione e monitoraggio degli interventi del prossimo decennio.

1.2 METODI

La strategia di studio adottata consiste nel coinvolgimento di tutti gli Enti di gestione della fascia costiera del Veneto nonché dei principali Enti di ricerca che operano nel litorale, in modo da garantire la più completa disponibilità di informazioni e la necessaria competenza nei diversi ambiti di indagine. Le fasi operative possono essere riassunte nei seguenti punti:

1. La raccolta organica e l'analisi delle informazioni disponibili sullo stato del litorale veneto, dalla foce del Fiume Tagliamento alla foce del Fiume Po di Goro;
2. L'identificazione dei vincoli normativi e ambientali presenti;
3. La definizione della vocazione dei litorali (e.g. turistica, produttiva, etc.);
4. L'esecuzione dei necessari approfondimenti con eventuali studi tramite modellazione matematica.

Recentemente la Legge Regionale n. 38 del 28/11/2014 ha stabilito che "la Regione del Veneto provvede direttamente alla gestione complessiva del litorale veneto, delle foci e delle cave marine al largo esclusivamente con le procedure di cui al D.Lgs. 163/2006 e s.m.i. ovvero tramite la Sezione Bacino Idrografico Litorale Veneto". In Tab. 1 e nella Fig. 1 sono descritti gli Enti che, in base ai loro ambiti e settori di competenza, operano sulla costa veneta.

Tab. 1 Enti gestori della costa Veneta e ambiti di competenza

REGIONE DEL VENETO
<ul style="list-style-type: none"> - Sezione Difesa del Suolo: Interventi di difesa del suolo e di protezione dei litorali; gestione del demanio idrico e marittimo; pianificazione dei bacini idrografici, gestione sedimenti fluviali e marittimi. Controllo e vigilanza sulle attività dei Consorzi di Bonifica e i loro Piani Generali di Classifica, Interventi di bonifica idraulica e di miglioramento fondiario - Sezione bacino idrografico litorale veneto: presidia il territorio per il mantenimento della sicurezza idraulica della rete idrografica principale e nel tratto di litorale compreso tra il fiume Tagliamento ed il fiume Piave fino al 2014; a seguito della L.R. 38/2014 la competenza è estesa ai litorali di Jesolo, Cavallino-Treporti, Sottomarina ed Isola Verde - Sezione bacino idrografico dell'Adige e del Po – Sezione di Rovigo: opera nella Provincia di Rovigo, nel tratto di litorale compreso tra il fiume Adige e Po di Goro, comprendendo dunque il Delta del Po
ARPAV - AGENZIA REGIONALE PER LA PREVENZIONE E PROTEZIONE AMBIENTALE DEL VENETO
L'ARPAV realizza attività di prevenzione e controllo delle acque marine di tutto il litorale Veneto. I controlli consentono di verificare l'idoneità alla balneazione e la sorveglianza della qualità ecologica dell'ambiente marino, nonché delle specifiche forme di pressione che insistono sulla costa e la gestione dei fenomeni anomali e delle emergenze ambientali.
AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – AIPO
Cura la gestione del reticolo idrografico principale del maggiore bacino idrografico italiano, occupandosi, essenzialmente, di sicurezza idraulica, di demanio idrico e di navigazione fluviale.
CONSORZIO DI BONIFICA DELTA DEL PO
Il consorzio ha come compito fondamentale l'attività di bonifica idraulica di manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere pubbliche in gestione. Del comprensorio del Consorzio 45.656 ha sono terreni bonificati e litoranei (spiagge e incolti), 8.403 ha di valli da pesca e 9.081 ha costituenti le lagune di Caleri, Barbamarco, Scardovari, Vallona, Canarin e gli ambiti lagunari del Basson, Burcio e l'Isola Batteria
MAGISTRATO ALLE ACQUE DI VENEZIA - PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE PER IL VENETO, TRENTINO ALTO ADIGE E FRIULI VENEZIA GIULIA
Nel territorio della laguna di Venezia si occupa della gestione, della sicurezza e della tutela idraulica tramite il Consorzio Venezia Nuova. La sua competenza diretta sui litorali, a seguito della L.R. 38/2014, è esclusivamente ai tratti di Lido e Pellestrina.
DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI
<ul style="list-style-type: none"> - Autorità di bacino del fiume Adige: il bacino idrografico del fiume Adige interessa aree comprese nelle regioni Trentino-Alto Adige e Veneto, nonché, per una piccola parte, nel territorio svizzero. - Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione: gestisce i bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta e Bacchiglione comprendendo aree nelle regioni Trentino Alto Adige, Veneto e Friuli Venezia Giulia



Fig. 1 Enti gestori del litorale

La raccolta delle informazioni di cui ai punti 1-3 della lista precedente, è stata preceduta da una ricognizione dei dati disponibili tramite la compilazione della tabella presentata in Fig. 2 da parte di tutti gli Enti coinvolti. Le schede compilate offrono un'ampia panoramica delle informazioni esistenti, fra cui alcune (ridondanti o che esulano dalle necessità del presente studio) non utilizzate nel seguito.


<div>  REGIONE DEL VENETO </div> RICOGNIZIONE DEI DATI DISPONIBILI RELATIVI ALLA ZONA COSTIERA DEL VENETO				
<i>D.G.R. n. 2541 del 11.12.2012 - Gestione Integrata della Zona Costiera. Progetto per lo studio ed il monitoraggio della linea di costa per la definizione degli interventi di difesa dei litorali dall'erosione nella regione Veneto. D.Lgs. 112/1998 e D.Lgs. 85/2010.</i>				
Ente/Struttura detentore del dato:				
CATEGORIA	TIPOLOGIA (cartaceo, inform. ship, .dwg)	DESCRIZIONE	ESTENSIONE GEOGRAFICA	
C.T.R.				
Limiti amministrativi				
Immagini aeree e satellitari				
Linee di riva (e.g. fotogrammetrie / ortofoto)				
Rilievi linea di riva (tipo X,Y)				
Rilievi topo-batimetrici (2D, profili)				
Rilievi topo-batimetrici (3D, tipo X,Y,Z)				
Piani quotati (elaborazione dei rilievi o lidar, etc.)				
DTM alta risoluzione (da lidar, etc.)				
Uso del suolo fascia costiera				
Piani degli arenili				
Carte morfologiche				
Opere di difesa rigide (pennelli, barriere staccate emerse o sommerse, etc.)				
Ripascimenti / Dragaggi				
Altri interventi di protezione				
Dati meteorologici (onde, correnti, maree, vento)				
Dati sedimentologici (a riva / al largo)				
Dati sulle cave di prestito (marine / terrestri)				
Altro				
Studi e relazioni specialistiche				

Fig. 2 Tabella utilizzata per la ricognizione dei dati disponibili

La raccolta dati ha evidenziato due principali carenze: la quasi totale mancanza di misure di trasporto solido fluviale e litoraneo costiero, di cui si è dovuto prendere atto e l'assenza di una aggiornata descrizione dei fondali della spiaggia sommersa, cui la Regione Veneto ha fatto fronte, anche se in un'ottica più generale che di dettaglio, tramite una nuova campagna di profili batimetrici con interasse di circa 1 km, commissionata ad hoc per lo svolgimento di questo documento tecnico.

2. CONSIDERAZIONI SULLA DIFESA DELLA COSTA IN VENETO

2.1 IDENTIFICAZIONE DELL'AREA OGGETTO DI INDAGINE

L'area oggetto d'indagine è il litorale della Regione Veneto che si estende per circa 160 km, tra la foce del fiume Tagliamento e la foce del Po di Goro; tale area è appartenente alle provincie di Venezia e Rovigo e suddivisa amministrativamente in 11 comuni da Nord a Sud: San Michele al Tagliamento, Caorle, Eraclea, Jesolo, Cavallino - Treporti, Venezia, Chioggia, Rosolina, Porto Viro, Porto Tolle, Ariano nel Polesine (Fig. 4). La caratteristica principale della fascia costiera pianeggiante dell'Alto Adriatico è la sua continua evoluzione e la sua variabilità di usi del territorio e alternanza degli ecosistemi; essa è infatti caratterizzata da un sistema di foci (Tagliamento, Livenza, Piave, Sile, Brenta, Adige e Po) e lagune (Basseleghe, Caorle, Venezia e più a Sud le innumerevoli lagune del delta del Po).

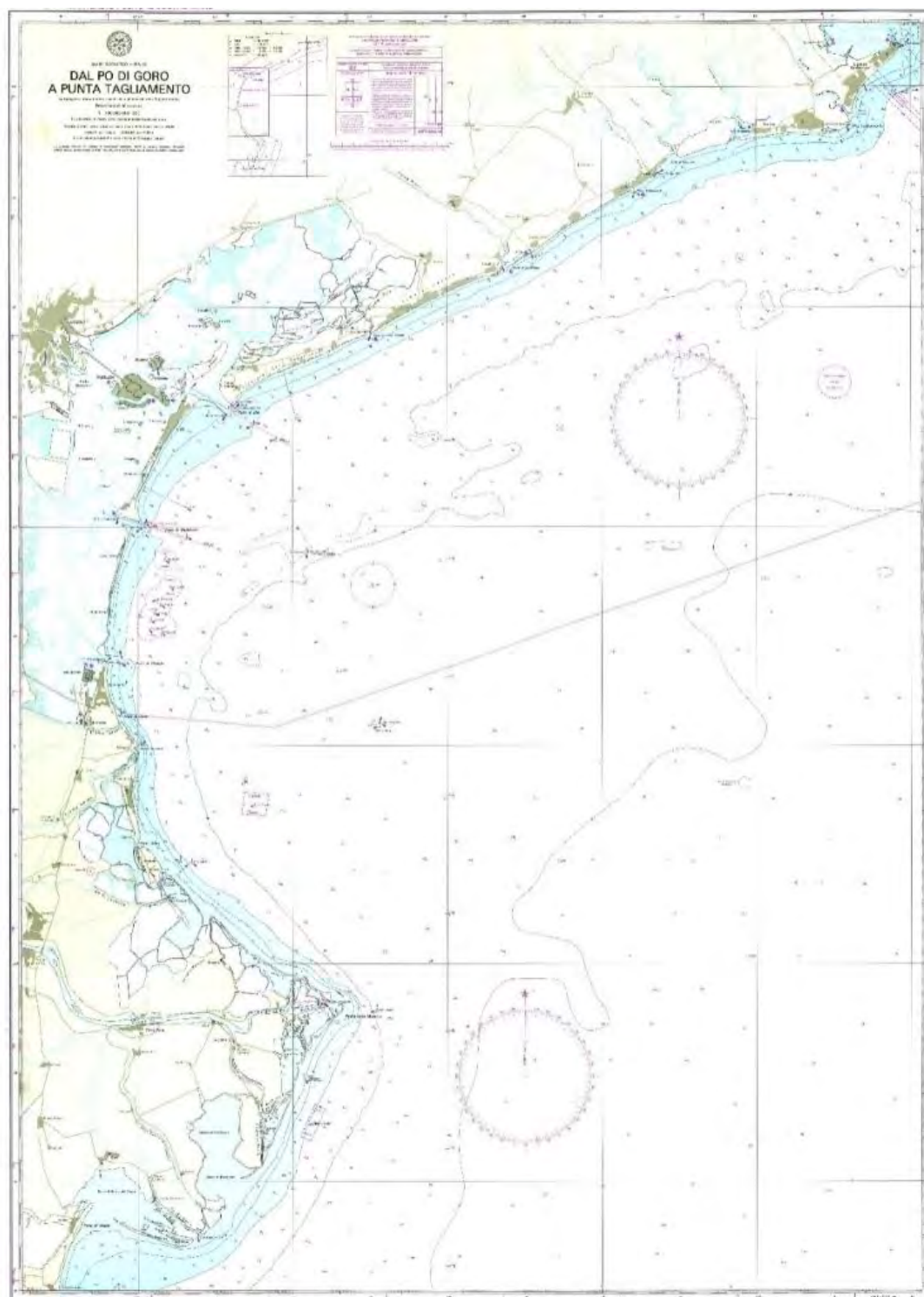


Fig. 3 Carta Alto Adriatico, da Po di Goro a Punta Tagliamento (Carta nautica n°38, Istituto Idrografico della Marina IIM)



Fig. 4 Rappresentazione confini comunali del litorale Veneto

Il tratto costiero appartenente alla provincia di Venezia è compreso tra la foce del Tagliamento e quella dell'Adige e si estende per circa 100 km. La frequente presenza di insediamenti urbani, industriali e turistici irrigidisce talora la posizione della linea di costa attraverso opere di difesa che contrastano le dinamiche naturali, con conseguente aumento del rischio per i beni dell'uomo. Pochi sono i casi in cui, in questo tratto, sopravvivono sistemi integri di duna e spiaggia.

Qui si osserva una generale tendenza erosiva del litorale con arretramenti causati da fattori naturali e antropici, tra i quali la riduzione di trasporto solido dei fiumi (dighe, escavazioni), l'urbanizzazione della costa.

Il tratto di costa appartenente alla provincia di Rovigo si estende da Foce dell'Adige alla Foce del Po di Goro (circa 60 km) ed è composto da una successione di lidi, scanni e isole emergenti, caratterizzato da spiagge sabbiose con debole pendenza. L'evoluzione della linea di costa e dei fondali antistanti, negli ultimi 50 anni è stata condizionata dalla contestuale presenza del fenomeno della subsidenza e dal diminuito apporto solido del Po e dell'Adige. Di conseguenza si è registrato un generalizzato arretramento della linea di costa ed approfondimento dei fondali con un progressivo assottigliamento degli scanni che assolvono

la funzione di naturale difesa delle lagune retrostanti. L'entroterra deltaico si trova quasi completamente al disotto del livello del mare ad una quota generalmente compresa tra (-2.5) e (-3.0) m s.l.m.; le arginature di prima difesa a mare del fiume Po separano le lagune dalle valli da pesca e dai terreni coltivati.

2.2 RASSEGNA DEI PIANI DI GESTIONE TERRITORIALE (PTRC, PTPC)

Il PTRC rappresenta lo strumento regionale di governo del territorio; ai sensi dell'*art. 24, c. 1 della L.R. 11/04, "il piano territoriale regionale di coordinamento, in coerenza con il programma regionale di sviluppo (PRS) di cui alla legge regionale 29 novembre 2001, n.35 "Nuove norme sulla programmazione", indica gli obiettivi e le linee principali di organizzazione e di assetto del territorio regionale, nonché le strategie e le azioni volte alla loro realizzazione".* La pianificazione territoriale si impegna dunque a "proteggere e disciplinare il territorio per migliorare la qualità della vita in un'ottica di sviluppo sostenibile e in coerenza con i processi di integrazione e sviluppo dello spazio europeo, attuando la Convenzione europea del Paesaggio, contrastando i cambiamenti climatici e accrescendo la competitività". Con questa finalità la struttura regionale ha predisposto il Piano territoriale Regionale di Coordinamento in conformità con le indicazioni della programmazione socio-economica (Piano Regionale di Sviluppo) unitamente agli strumenti di pianificazione territoriale, secondo le indicazioni previste dalla legge urbanistica regionale del 23 aprile 2004, n.11.

Il PTRC vigente, approvato nel 1992, risponde all'obbligo emerso con la legge 8 agosto 1985, n.431- di salvaguardare le zone di particolare interesse ambientale, attraverso l'individuazione, il rilevamento e la tutela di un'ampia gamma di categorie di beni culturali e ambientali. Esso si articola per piani di area, previsti dalla L.R. 61/85, che ne sviluppano le tematiche e approfondiscono, su ambiti territoriali definiti, le questioni connesse all'organizzazione della struttura insediativa ed alla sua compatibilità con la risorsa ambiente. Per quanto riguarda il litorale veneto i piani d'area sono tre: PALALVO (da Tagliamento a Livenza), PALAV (Laguna e area veneziana), DELTA DEL PO.

I Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.), previsti dalla L.R. 11/2004, sono gli strumenti di pianificazione che delineano gli obiettivi e gli elementi fondamentali dell'assetto del territorio provinciale in coerenza con gli indirizzi per lo sviluppo socio-economico provinciale, con riguardo alle prevalenti vocazioni, alle sue caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, paesaggistiche ed ambientali. Per la provincia di Venezia è stato approvato il PTC con DGR n. 3359 del 30.12.2010, mentre per la provincia di Rovigo il PTC è stato approvato con DGR n. 683 del 17.4.2012.

2.3 SITI NATURA 2000 (SITI SIC E ZPS)

Nella Regione del Veneto, attualmente, ci sono complessivamente 128 siti di rete Natura 2000, con 67 ZPS e 102 SIC variamente sovrapposti. La superficie complessiva è pari a 414.675 ha (22,5% del territorio regionale) con l'estensione delle ZPS pari a 359.882 ha e quella dei SIC a 369.882 ha. Di seguito vengono riportati i 14 siti SIC e i 9 ZPS relativi al litorale Veneto.

Tab. 2 Siti SIC del litorale Veneto

CODICE SIC	NOME SIC	ETTARI
IT3250003	Penisola del Cavallino	315
IT3250013	Laguna del Mort e Pinete di Eraclea	214
IT3250023	Lido di Venezia: biotopi litoranei	166
IT3250030	Laguna medio-inferiore di Venezia	26385
IT3250031	Laguna superiore di Venezia	20365
IT3250032	Bosco Nordio	157
IT3250033	Laguna di Caorle - Foce del Tagliamento	4386
IT3250034	Dune residue del Bacucco	13
IT3270003	Dune di Donada e Contarina	105
IT3270004	Dune di Rosolina e Volto	115
IT3270005	Dune Fossili di Ariano Polesine	101
IT3270006	Rotta di S. Martino	32
IT3270017	Delta del Po: tratto terminale e delta veneto	25364
IT3270024	Vallona di Loreo	64

Tab. 3 Siti ZPS del litorale Veneto

CODICE ZPS	NOME ZPS	ETTARI
IT3250032	Bosco Nordio	157
IT3250040	Foce del Tagliamento	280
IT3250041	Valle Vecchia - Zumelle - Valli di Bibione	2089
IT3250042	Valli Zignago - Perera - Franchetti - Nova	2507
IT3250046	Laguna di Venezia	55209
IT3270023	Delta del Po	25013
IT3270024	Vallona di Loreo	64
IT3250023	Lido di Venezia: biotopi litoranei	166
IT3250003	Penisola del Cavallino	315



Fig. 5 Siti SIC del litorale Veneto (sx), Siti ZPS del litorale Veneto (dx)

2.4 RASSEGNA DEI PIANI A LIVELLO COMUNALE (PIANI DEGLI ARENILI)

Il Piano Particolareggiato degli Arenili è uno strumento urbanistico che disciplina gli insediamenti, le concessioni e le attività sugli arenili esistenti nel territorio comunale ai sensi della Legge Regionale 33/2002 "Testo unico delle Leggi Regionali in materia di Turismo". Tali piani riportano analisi dei carichi di utenza e comparti di indagine, analisi delle attrezzature e rilievi fotografici, concessioni e tipologie insediate, tipologie di impianti tecnologici, analisi dei soggetti agenti sull'arenile. Tanti comuni sono interessati nella redazione del P.P.A. (San Michele al Tagliamento, Caorle, Eraclea, Jesolo, Cavallino - Treporti, Venezia, Chioggia, Rosolina, Porto Viro, Porto Tolle e Ariano nel Polesine).

2.5 SUDDIVISIONE IN CELLE MORFOLOGICAMENTE OMOGENEE

Per cella morfologicamente omogenea, o cella litoranea, si intende un tratto di costa compreso entro elementi morfologicamente notevoli, quali ad esempio foci fluviali, bocche lagunari, dighe portuali, etc. Al suo interno i movimenti dei sedimenti sono relativamente liberi e condizionati dalle caratteristiche delle singole mareggiate.

Per le coste del Veneto, gli elementi morfologici notevoli che delimitano le celle litoranee sono individuati come segue: foce del fiume Tagliamento, Bocca di Porto Baseleghe, Bocca di Falconera, foce del fiume Livenza, foce del fiume Piave, foce del fiume Sile, Bocca di Lido, Bocca di Malamocco, Bocca di Chioggia, foce del fiume Brenta, foce del fiume Adige, Bocca di Caleri, Bocca di Porto Levante, foce del Po di Maistra, Busa di Tramontana, Busa Dritta, Busa di Scirocco, Busa Storiona, foce del Po di Tolle, foce del Po di Gnocca, foce del Po di Goro. È stato stabilito di numerare queste celle a partire da Nord verso Sud attribuendo la sigla della provincia (VE / RO) alla stessa. Si sono così individuate 10 celle in provincia di Venezia ed altrettante in provincia di Rovigo (Tab. 4 e Fig. 6).

Tab. 4 Codifica delle celle litoranee del litorale Veneto

CELLA	POSIZIONE
VE1	Foce Tagliamento - Bocca di Porto Baseleghe
VE2	Bocca di Porto Baseleghe - Bocca di Falconera
VE3	Bocca di Falconera - Foce Livenza
VE4	Foce Livenza - Foce Piave
VE5	Foce Piave - Foce Sile
VE6	Foce Sile - Bocca di Lido
VE7	Bocca di Lido - Bocca di Malamocco
VE8	Bocca di Malamocco - Bocca di Chioggia
VE9	Bocca di Chioggia - Foce Brenta
VE10	Foce Brenta - Foce Adige

CELLA	POSIZIONE
RO1	Foce Adige - Bocca di Caleri
RO2	Bocca di Caleri - Bocca Porto di Levante
RO3	Bocca Porto di Levante - Foce Po di Maistra
RO4	Foce Po di Maistra - Busa di Tramontana
RO5	Busa di Tramontana - Busa Dritta
RO6	Busa Dritta - Busa di Scirocco
RO7	Busa di Scirocco - Busa Storiona
RO8	Busa Storiona - Foce Po di Tolle
RO9	Foce Po di Tolle - Foce Po di Gnocca
RO10	Foce Po di Gnocca - Foce Po di Goro



Fig. 6 Celle litoranee

2.5.1 Descrizione delle celle in Provincia di Venezia

- Cella VE1: da foce Tagliamento a bocca di porto Baseleghe

Il litorale compreso tra la foce del fiume Tagliamento e la bocca di porto Baseleghe si estende per una lunghezza di circa 10 km ed è appartenente al territorio comunale di San Michele al Tagliamento - Bibione (VE).

Il primo tratto di costa in destra alla Foce Tagliamento manifesta una notevole tendenza all'arretramento, a testimonianza del fatto che l'apporto solido fluviale è insufficiente per mantenere l'attuale configurazione del delta fluviale. Il trasporto solido litoraneo diverge dalla foce del fiume verso i litorali adiacenti e nel lobo meridionale il flusso di sedimenti è conseguentemente diretto verso SW.

In questo tratto sono state dapprima realizzate (alla fine degli anni '90) alcune barriere in aderenza discontinue, che tuttavia non si sono dimostrate in grado di garantire la stabilità morfologica della zona; oggi la foce appare completamente cintata da opere rigide in aderenza, eseguite negli anni 2008 - 2010, che hanno irrigidito la foce in destra difendendo artificialmente un ambiente di pregio naturalistico. Nel recente passato sono stati effettuati interventi di ripascimento artificiale apportando sabbia dragata dalla barra di foce; tuttavia nell'ultimo periodo è possibile che oltre la metà del materiale periodicamente dragato dalla foce venga versato lungo i litorali a Nord della foce dalla Regione Friuli Venezia Giulia.



Fig. 7 Foce del fiume Tagliamento



Fig. 8 Bocca di porto Baseleghe

In questo tratto in destra idrografica sono in fase di realizzazione due importanti interventi per prevenire l'arretramento della linea di riva. Il primo intervento, predisposto dal Consorzio di bonifica del Vento Orientale e iniziato nel 2014, prevede la realizzazione di opere di protezione anti - erosione del cordone dunoso e della pineta, in prosecuzione del muro di difesa esistente. Tali lavori comprendono altresì un ripascimento di 52.000 m³, per conferire maggiore stabilità alla nuova opera. Nella medesima zona con un secondo intervento del Genio Civile di Venezia vengono versati circa 80.000 m³ di sabbia protetti da due pennelli trasversali in legno.

Il protocollo di intesa tra Regione Veneto, Comune di San Michele al Tagliamento e i principali concessionari (approvato dalla G.R. nel 2014) prevede la realizzazione di un sabbiodotto fisso e interventi periodici di ripascimento con sabbia prelevata dalla barra di foce.

Emblematico è anche il fatto che alcuni pennelli, realizzati nel 2001 e ad oggi salpati, posti a breve distanza dalla foce (verso SW, di fronte alla zona SIC denominata "Lama del Revello") siano stati aggirati dall'azione delle onde perdendo la loro funzione. Nella zona vengono comunque effettuati periodici ripascimenti artificiali per contrastare l'erosione delle spiagge (all'incirca 10.000 m³/anno).

L'orientamento della costa tra Bibione e Porto Baseleghe, via via meno inclinato da Ovest ad Est, fa sì che questo tratto di litorale sia sempre più equilibrato, essendo alimentato dalle sabbie recapitate a mare dal Tagliamento, da quelle provenienti dall'erosione del delta e dalla migrazione delle sabbie di riporto. La direzione del trasporto solido è evidentemente ancora da NE verso SW.

Negli anni 2006-2007 è stata realizzata un'opera sperimentale detta "sand trap", per intercettare le sabbie prima che si depositino nel Porto di Baseleghe. Le sabbie intercettate da questa opera, realizzata in palancole metalliche tracimabili (lunghe all'incirca 100 m con testata a quota -2.0 m), vengono periodicamente riportate verso monte (in termini di trasporto solido litoraneo, ossia verso Bibione). La zona dell'imboccatura subisce comunque, ma con meno frequenza, fenomeni di interrimento che costringono i gestori delle infrastrutture portuali e dei consorzi di bonifica (Canale dei Lovi e Canale Cavanella) ad effettuare periodici interventi di dragaggio.

- Cella VE2: da bocca di porto Baseleghe a bocca di Falconera

Il tratto di costa in esame si estende per circa 5,5 km ed è compreso nel territorio del Comune di Caorle (VE). A nord di tale tratto si trova la laguna di Caorle (o di Caorle e Bibione, come viene usualmente indicata), la quale rappresenta il residuo dell'ampio bacino di espansione delle piene dei fiumi Livenza a sud e Tagliamento a nord ed è stata oggetto di vari interventi di bonifica protrattisi dai primi anni del secolo fino agli anni '60 (D'Alpaos, Ottimizzazione infrastrutturale degli interventi intrapresi e da intraprendere per la riqualificazione ambientale e sviluppo sostenibile di un ambito comprensoriale delimitato dalle lagune di Caorle e Bibione e relativi corsi d'acqua immissari, 2000); in conseguenza a questi interventi, la configurazione attuale dell'area lagunare presenta alcune valli chiuse (Valle Zignago, Valle Perera, Valle Franchetti, Valle Nuova e Valle Grande, per una estensione complessiva di oltre 4.000 ha), alternate a superfici di antica o recente bonifica a destinazione agricola, confinate da una estesa rete di corsi d'acqua. La direzione del trasporto solido è da NE verso SW.

In questa zona sono stati versati (a cura Consorzio di bonifica di Portogruaro) ingenti volumi di sabbie (dell'ordine dei 150.000 m³ di sabbia) per creare o rinforzare le dune sabbiose litoranee (≈ 50.000 m³) e per ricreare le barene lagunari (≈ 100.000 m³). Va sottolineato che il materiale usato per la costruzione delle barene non contribuisce al bilancio sedimentario litoraneo. Gli scambi di sedimenti con le zone lagunari sono assai ridotti, non essendo più significativo il prisma di marea che interessa le acque interne lagunari. Tuttavia l'erosione delle dune emerse, ricreate artificialmente, contribuisce in maniera positiva alla stabilità della linea di riva.

- Cella VE3: da bocca di Falconera a foce Livenza

Il litorale in esame si estende per una lunghezza di circa 5 km dalla bocca di Falconera fino alla foce del Livenza e come il precedente fa parte del territorio comunale di Caorle (VE).

Il primo tratto di costa (tra Porto Falconera e la spiaggia di Levante di Caorle) ha un orientamento molto diverso dai tratti adiacenti (sia rispetto a quelli più a Nord che più a Sud) ed appare molto più "verticale", l'ortogonale alla linea di riva è infatti orientata a 140°N e tale direzione coincide pressoché con quella di provenienza delle mareggiate di Scirocco che, evidentemente, condizionano il trasporto solido dei sedimenti in questo tratto dell'Alto Adriatico. Di conseguenza il trasporto solido lungo riva che riesce ad oltrepassare la cuspide della Madonna dell'Angelo verso Sud è molto ridotto. Per questo motivo si assiste ad un costante deposito delle sabbie, provenienti da Nord, che rimangono qui confinate.

Nel passato sono stati effettuati modesti interventi di dragaggio delle sabbie (prevalentemente in Foce Nicesolo), anche per favorire l'attività balneare della spiaggia di Caorle. Si deve notare tuttavia che in questo tratto di costa la granulometria dei sedimenti (della spiaggia emersa e sommersa) è molto fine con presenza di limi sabbiosi e sabbie limose (e dunque probabilmente non ottimale per interventi di ripascimento artificiale). Nel recente passato si sono dovuti realizzare sistemi di drenaggio della spiaggia emersa per limitare il fenomeno di ristagno dell'acqua piovana sull'arenile, a dimostrazione dell'alta percentuale di materiale molto fine e poco permeabile.



Fig. 9 Cuspide Madonna dell'Angelo - Caorle

Oltre al tratto difeso con la scogliera in aderenza davanti alla Madonna dell'Angelo di Caorle, procedendo verso SW lungo la spiaggia di Ponente, il litorale sembra ancora in sufficiente equilibrio dinamico. L'orientamento della costa infatti impone un modesto trasporto solido litoraneo diretto verso SW, sufficientemente bilanciato dal trasporto di sabbie che avviene "al largo"

della scogliera in pietrame; per questo motivo si osserva una relativa stabilità della spiaggia emersa.

In questa zona, dopo la realizzazione dei pennelli degli anni '60 oggi quasi completamente interrati, non sono più stati effettuati interventi di difesa dell'arenile, a parte la manutenzione delle scogliere in aderenza (cosiddetti "Murazzi") che è ancora in essere. Significativa dal punto di vista del bilancio di sedimenti è anche la diga Nord dell'armatura di foce Livenza (Porto S. Margherita) in quanto questa opera esterna portuale limita notevolmente le perdite di sabbia verso SW. Il molo Nord di foce Livenza crea un sistema di correnti litoranee in grado di allontanare le sabbie in sospensione verso il largo, oltre l'imboccatura portuale.

- Cella VE4: da foce Livenza a foce Piave

Il litorale in esame si estende per una lunghezza di circa 12 km dalla foce del Livenza alla foce del Piave; il territorio è amministrativamente diviso dalla bocca della Laguna del Mort fra i comuni di Jesolo e di Eraclea mentre a nord est il territorio di Duna Verde, Valle Altanea e Porto S. Margherita è di competenza del comune di Caorle.

In particolare tale area si presenta come sito di singolare interesse turistico e balneare che negli ultimi anni ha subito un rilevante degrado a causa dello scarso apporto solido litoraneo e quindi soggetto ad una erosione cosiddetta di lungo termine a cui si associa, in occasione di intense mareggiate autunnali, un fenomeno erosivo di breve termine. Il territorio posto invece ad est del centro di Eraclea Mare è ricoperto da una estesa pineta che ospita specie vegetali tipiche della fascia litoranea dell'Alto Adriatico, divenuta ormai una rara testimonianza del paesaggio naturale della costa veneta. L'entroterra è caratterizzato da aree destinate ad usi agricoli le quali sono salvaguardate dalla presenza di cordunate dunose che fungono da argine in occasione delle mareggiate più violente (Regione del Veneto - Direzione difesa del suolo, 2002) e che rappresentano un deposito di sabbia che può rientrare nel bilancio sedimentologico costiero, in fase episodica.

In prossimità delle opere dell'armatura di foce Livenza, procedendo verso SW, si verificano periodici depositi di sabbie ad una certa distanza da riva (forse anche grazie alla "protezione" del primo tratto di costa, ridossato dalla diga del Livenza). Anche la presenza di una formazione rocciosa (beach rock, localmente note come le "Tegnue") favorisce questo deposito di materiale sabbioso, che tuttavia non raggiunge efficacemente la linea di battigia. Nel primo tratto di costa (verso Porto S. Margherita), negli anni '90 sono stati posizionati geotubi riempiti di sabbia, tipo "Longard", che oggi appaiono completamente sepolti, talora danneggiati e comunque non più efficienti). La spiaggia emersa è in condizioni di erosione, tant'è che sono stati operati modesti ripascimenti dell'arenile, anche prelevando le sabbie dalla Foce Livenza (10.000 m³ nel 2009).

Questo tratto di costa, così come tutto il litorale tra foce Livenza e foce Piave, è stato storicamente protetto da opere di difesa rigide (principalmente diaframmi paralleli a riva, pennelli permeabili in legno, in massi e gradonate in cls) che ne limitano le perdite di sedimenti verso SW. L'apporto solido proveniente dal fiume Livenza è talmente esiguo da essere influente nel bilancio sedimentologico costiero.

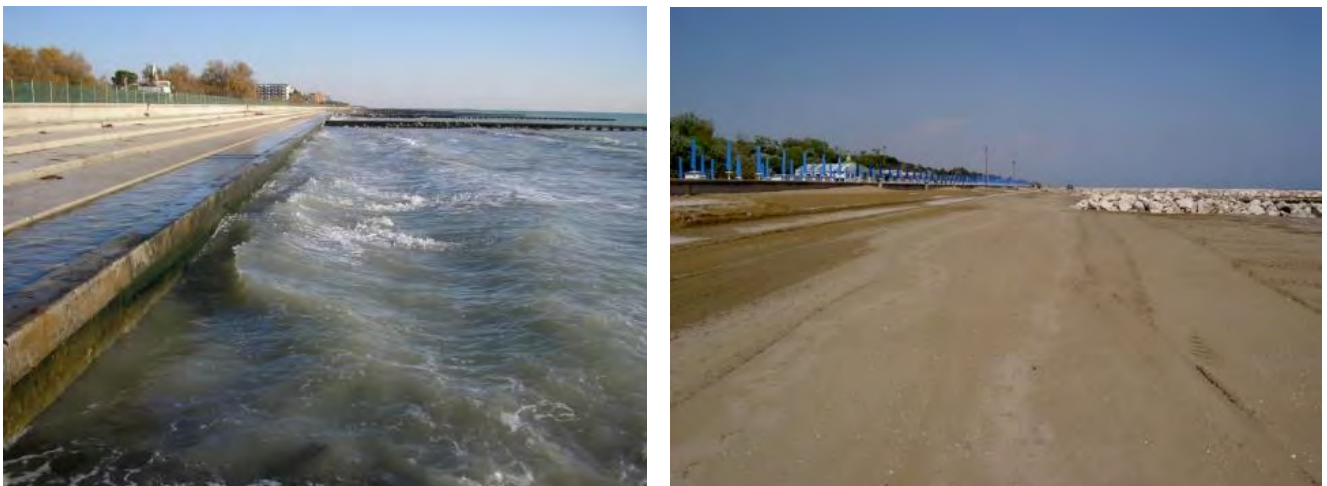


Fig. 10 Spiaggia completamente erosa (sx), spiaggia ricostruita con un intervento di ripascimento (dx), litorale compreso tra la foce del Livenza e la laguna del Mort

Il tratto di litorale antistante Porto Santa Margherita è caratterizzato dalla presenza di pennelli in pietrame, lunghi circa 50 m, alcuni dei quali aggirati o sommersi dall'azione delle onde. Tutto il tratto di costa che va da Lido Altanea alla "Laguna del Mort", antico sbocco a mare del fiume Piave abbandonato con la rotta del 1937, è stato invece oggetto di un importante intervento di protezione della costa che ha previsto: il prolungamento di un pennello ogni 3, il salpamento dei 2 pennelli intermedi, contemporaneo al versamento di importanti volumi di sabbia per il ripascimento artificiale dell'arenile. Questo intervento generale è stato realizzato in un'arco temporale piuttosto ampio: sono stati dapprima realizzati n.9 pennelli ad Eraclea, con versamenti di circa 300.000 m³ di sabbia (nel 2000-2001), realizzando così 8 "celle", seguiti da altri 7 pennelli verso Duna Verde

(negli anni 2003-2004), con versamenti di sabbia di circa 60-70.000 m³ nelle prime due celle verso valle, infine negli anni 2006-2007 sono stati costruiti altri 13 pennelli (oltre ai 9 + 7 precedenti) procedendo verso NE.



Fig. 11 Intervento di salpamento dei pennelli tra Livenza e Piave



Fig. 12 Litorale compreso tra la laguna del Mort e la foce Piave

Il tratto di spiaggia di fronte a Duna Verde è in chiara condizione di erosione, a testimonianza del fatto che gli apporti solidi provenienti da monte (principalmente dal Tagliamento) sono ridotti da lungo tempo, tanto da interessare anche questa cella. Di fronte a Duna Verde, oltre ai pennelli ortogonali a riva, è presente anche un diaframma che impedisce l'arretramento della linea di riva. Ad Eraclea Mare è presente anche una gradonata in cls.

Quest'ultimo tratto (di fronte ad Eraclea) è certamente il più critico, dal punto di vista dell'erosione costiera, tant'è che si sono susseguiti diversi importanti interventi di difesa litoranea: il prolungamento di alcuni degli esistenti pennelli (1 sì e 2 no), salpamento dei due pennelli intermedi e contestuali versamenti (e.g. quello del 2004) di volumi di sabbia dell'ordine dei 30.000 m³ per ogni "cella".

Periodici versamenti di importanti quantitativi di sabbie sono stati versati anche in anni successivi (circa 5.000 – 15.000 m³ di sabbia per cella nel 2013), ma non sembrano tuttavia sufficienti a mantenere stabile la spiaggia che, periodicamente, vede mettere a nudo il diaframma, con perdita di volumi di sabbia anche per effetto della riflessione delle onde sulla parete verticale. Il tratto di spiaggia compreso tra la laguna del Mort e la foce Piave, integralmente protetto con pennelli e diaframma, risulta essere più stabile del precedente, ma manifesta periodicamente condizioni di criticità, esponendo il diaframma all'azione delle onde. La modifica del sistema difensivo del litorale (prolungamento di un pennello ogni 3 e ripascimento delle 8 celle così realizzate) ha interessato solamente il tratto di costa a Nord della Laguna del Mort, mentre lungo la spiaggia antistante la Laguna, a parte il prolungamento dei pennelli di armatura della Laguna, non sono stati modificati gli esistenti pennelli in pietrame. Le informazioni disponibili sui ripascimenti effettuati in questa cella litoranea sono coerenti con l'iter autorizzativo (Tab. 54) che documenta frequenti richieste di quantitativi di sabbia dell'ordine di circa 30.000 m³/anno.

- Cella VE5: da foce Piave a foce Sile

Il litorale in esame, che è indiscutibilmente uno di quelli a maggior vocazione turistico/balneare, si estende per circa 13 km, dalla foce del fiume Piave alla foce del fiume Sile. Tale cordone litoraneo è oggetto di eventi erosivi e allagamento che denotano condizioni di sofferenza, a causa soprattutto di una intensa espansione edilizia, iniziata negli anni '50 immediatamente a ridosso dell'arenile a discapito del sistema di dune. La mareggiata del 4 novembre 1966 aveva ben messo in luce la gravità della situazione successivamente ripropostasi in varie occasioni, come nel corso di più recenti eventi, quale quello del novembre 2012.

A Nord di Jesolo, nella spiaggia di Cortellazzo, è stato realizzato nel maggio del '99, a Sud di un pennello in pietrame ubicato in corrispondenza del limite sud del Camping Adriatico, un intervento di ripascimento che ha consentito di ampliare la spiaggia emersa in media di circa 60 m, con un apporto di sabbia pari a circa 350.000 m³. A contenimento di tale apporto di sabbia sono stati realizzati anche sei pennelli in massi naturali e un cordone di dune, a protezione delle quali nel 2010 è stato posizionato un sistema di gabbioni. Tale tratto è stato soggetto negli anni compresi tra il 2003 e il 2010 ad interventi di ripascimento periodici, con apporti di 50.000 – 100.000 m³ all'anno.

Per il litorale di Jesolo, un importante ripascimento artificiale tra il Villaggio Marzotto e il Sile è stato realizzato tra il 1998 e il 2002 ed è consistito nel versamento di un volume effettivo di sabbia pari a 535.000 m³, su uno sviluppo di litorale pari a circa 9 km e nel completamento delle opere di contenimento del ripascimento. Lungo il tratto di litorale più ad Ovest, per uno sviluppo di 6 km, sono stati prolungati metà dei pontili su pali esistenti in modo tale che ogni opera sporgesse verso mare rispetto alla linea di primo versamento della sabbia di almeno 40 m. Lungo i restanti 3 km di litorale, verso est, sono stati realizzati 16 nuovi

pennelli permeabili su pali in cls ad interasse di 180 m e salpate le esistenti opere in scogliera ed in calcestruzzo, ormai degradate. Nel tratto di litorale dall'Ospedale marino al Sile (zona con pennelli prolungati) sono stati sversati (1998 – 2002) circa 423.000 m³. Nel tratto di litorale dall'Ospedale marino al Villaggio Malibù (zona con nuovi pennelli) sono stati sversati circa 112.000 m³. In base all'elenco di autorizzazioni rilasciate dalla Regione Veneto per interventi di ripascimento e/o dragaggio (Tab. 54), i volumi movimentati nella zona di Cortellazzo e Jesolo sono all'incirca 100.000 m³/anno negli ultimi 10 anni.

- Cella VE6: da foce Sile a bocca di Lido

Il litorale di Cavallino, che si estende per 13,5 km dalla foce del fiume Sile alla diga Nord della bocca di porto di Lido, limita a mare la porzione nord-orientale del bacino lagunare di Venezia. L'ortogonale alla linea di riva ha un orientamento di circa 150°N. Fra gli interventi realizzati a Cavallino, spicca per importanza quella dell'imponente ripascimento protetto della spiaggia di Cavallino ultimato nel Febbraio 1999, con il versamento di circa 2 milioni di m³ di sabbia su un tratto di 12 km, confinato lateralmente da 31 pennelli, in parte di nuova realizzazione e in parte ottenuti dal rifacimento dei pennelli esistenti. L'intervento ha compreso altre attività quali la ricostruzione delle dune (5 km) e la ristrutturazione dell'argine paraonde tra la spiaggia e il territorio retrostante (2,7 km).

Il litorale antistante Punta Sabbioni è caratterizzato da un avanzamento della linea di riva, dovuto alla presenza dell'armatura Nord della bocca di porto di Lido, che ha bloccato per decenni il trasporto solido diretto verso il Lido di Venezia.

- Cella VE7: da bocca di Lido a bocca di Malamocco

Il litorale del Lido di Venezia, in seguito alla costruzione dei moli nelle bocche di porto di Lido a Nord e Malamocco a Sud, si presenta come un'unità fisiografica isolata, in quanto riceve pochissimo alimento dal trasporto solido litoraneo proveniente da Nord e da Sud. Il volume dei sedimenti trasportati dalle correnti viene infatti intercettato dai moli provocando fenomeni erosivi che si concentrano principalmente nel tratto centrale del Lido, in corrispondenza dei fondali più profondi. Soltanto a ridosso dei due moli, ovvero nella zona di San Nicolò e di Alberoni, si sono creati degli accumuli di sedimenti, consentendo un ampliamento delle spiagge. Questa tendenza erosiva era già stata documentata dal Prof. M. Zunica nel 1971 sulla base dei rilievi storici condotti, a partire dal 1886, dall'Istituto Idrografico della Marina.

Il tratto a Nord del Lido ha una tendenza all'accumulo e non vi sono difese costiere ad eccezione di alcuni brevi cordoni di dune. Nel tratto centrale del Lido le difese a mare sono dapprima costituite da pennelli lunghi all'incirca 100 m poi dai "murazzi" e da una scogliera sommersa antistante i murazzi stessi e. Nella zona prossima al lungomare Marconi si stanno formando delle piccole spiaggette contenute lateralmente dai pennelli. Similmente a quanto indicato nel Quaderno Trimestrale 3|4.00 del CVN, "un avanzamento di spiaggia dovuto al deposito di un volume di sabbia irrisorio, inganna chi è solito frequentare quei luoghi, inducendolo a credere che non vi siano problemi di erosione. In realtà il deposito interessa solo i primi 50 metri della riva ed è a sua volta alimentato dall'erosione, che invece continua, dei fondali più lontani, al di là delle dighette in roccia a 100 metri dalla riva".

Nel tratto antistante Malamocco, come nel tratto precedente, continuano i "murazzi" e la barriera sommersa (larga in sommità circa 50 m) ma vi sono 4 pennelli di contenimento lunghi circa 200 m, a formare 3 grandi celle.

Nella parte Sud il litorale, in località Alberoni, è invece caratterizzato da fenomeni di accumulo e risulta essere protetto da un cordone di dune costiere.

- Cella VE8: da bocca di Malamocco a bocca di Chioggia

Analogamente al Lido di Venezia, anche l'isola di Pellestrina è una cella delimitata da due imboccature (a Nord Malamocco e a Sud Chioggia) e può essere considerata un'unità fisiografica chiusa. I moli hanno infatti modificato il regime delle correnti costiere e dunque il litorale di Pellestrina è privo di apporti di sabbia da entrambi i confini. Questa cella è lunga all'incirca 11 km e l'ortogonale alla linea di riva ha un orientamento di 100 °N.

Il litorale è caratterizzato dalla presenza dei "murazzi" costruiti alla fine del XVIII secolo e restaurati dopo l'evento del 1966, i quali rappresentano una delle più antiche difese costiere Veneziane. Tuttavia il maggior intervento realizzato sul litorale è il versamento di circa 4 milioni di m³, conclusosi nel marzo 1999, con conseguente formazione di 9 km di spiaggia protetta da 18 pennelli di pietrame trasversali a riva e da una scogliera sommersa parallela alla costa (-1,50 m). Il sistema pennelli – berma ha formato 17 celle chiuse e ha creato un efficace elemento di difesa in grado di smorzare l'energia del moto ondoso e di allontanare il mare dagli abitati retrostanti, riducendo così il rischio di allagamento costiero. In questo caso il ripascimento ha avuto una vita utile piuttosto lunga in quanto l'orientazione della costa sottintende un assai ridotto trasporto solido lungo riva.

Proseguendo verso Sud, tra il litorale di Pellestrina e la località di Ca' Roman, vi sono gli imponenti Murazzi, realizzati alla fine del XVIII secolo, poi rinforzati con diaframmi su pali per impedire la filtrazione del mare verso la laguna.

- Cella VE9: da bocca di Chioggia a foce Brenta

Il litorale di Sottomarina si estende per circa 6,5 km e la perpendicolare alla linea di riva ha un orientamento di 75 °N. Questo tratto di costa rappresenta il tratto terminale di una striscia di terra che costituisce la naturale e prima protezione della laguna di Venezia.

Nella parte a Nord del litorale di Sottomarina è stato realizzato un muretto in calcestruzzo con funzione di argine "paraonde". Nella parte meridionale, dove l'arenile è sottoposto a forti erosioni, la spiaggia è stata ampliata con l'apporto di circa 100.000 m³ di sabbia (Marzo – Aprile 2000). Il litorale è altresì difeso da alcuni tratti di dune costiere, principalmente localizzate in sinistra idrografica alla foce del fiume Brenta. Nella primavera del 2010 è stato eseguito un ulteriore intervento, resosi necessario a seguito dei danni indotti sul litorale dalle mareggiate del dicembre 2008. Questo intervento, che si configura come un piccolo intervento d'emergenza, riguardava la falcatura meridionale del litorale di Sottomarina.

Negli anni 2013 e 2014, a seguito di mareggiate verificatesi nell'autunno-inverno che hanno provocato una erosione del litorale, sono stati realizzati ripascimenti emergenziali rispettivamente di circa 28.000 m³ (2013) e 20.000 m³ (2014). I volumi sono stati prelevati dalle aree di prestito, caratterizzate e autorizzate da parte della Regione Veneto, situata presso la foce Brenta e a ridosso del molo Sud, lato mare, della Bocca di Chioggia con trasporto nell'area di lavorazione con draga idrorefluente.

- Cella VE10: da foce Brenta a foce Adige

Il tratto di costa compreso tra la foce del Brenta e la foce dell'Adige, denominato Isola Verde, si estende per circa 3 km. La parte centrale del litorale è caratterizzata da fenomeni erosivi molto intensi, i quali hanno resi necessari degli interventi di difesa dell'abitato retrostante.

Nel 2002 è stato realizzato un ripascimento della spiaggia di circa 400.000 m³ (2,5 km) e la costruzione di 8 pennelli a difesa del nuovo arenile. Gli interventi hanno compreso anche altre attività, tra le quali la costruzione di un argine "paraonde" a Nord della foce dell'Adige (700 m) tra la spiaggia e il territorio retrostante e il rinforzo e prolungamento dei moli a protezione delle due foci fluviali, anche per questioni legate alla qualità delle acque. Nel Maggio 2009 e Maggio 2010 è stato effettuato un ulteriore intervento, ovvero un ripascimento di circa 140.000 m³ che ha interessato le celle centrali del litorale di Isola Verde. In questo tratto di litorale è anche presente un sistema di dune costiere a protezione dell'entroterra.

Anche nel tratto di costa di Isola Verde sono stati necessari ripascimenti emergenziali negli anni 2013 e 2014, a seguito di mareggiate verificatesi nell'autunno-inverno. I volumi refluiti sono rispettivamente di circa 40.000 m³ (2013) e 25.000 m³ (2014). Le aree di prestito sono le medesime utilizzate per i ripascimenti del litorale di Sottomarina (Cella VE9).

2.5.2 Descrizione delle celle in Provincia di Rovigo

- Cella RO1: da foce Adige a bocca di Caleri

Il litorale di Rosolina si estende per circa 8 km e l'ortogonale a riva ha un orientamento di 80 °N. L'area urbanizzata, con alcune spiagge attrezzate, interessa solo i primi 4 km. Il costante arretramento della linea di riva, nella parte settentrionale della cella, evidenzia un'erosione tuttora in atto; per contrastare tale fenomeno nel 2000 – 2001 sono stati costruiti subito a valle della foce dell'Adige 5 pennelli (risagomati nel 2010) in pietrame e una scogliera sommersa a formare 4 celle chiuse. In questa zona a partire dal 2006, sono stati effettuati numerosi ripascimenti, con un apporto di materiale di circa 20.000 – 30.000 m³/anno. L'ultimo tratto verso Sud accoglie un'area di notevole pregio naturalistico e ambientale.

- Cella RO2: da bocca di Caleri a bocca Porto di Levante

Il tratto di costa di 2.5 km compreso tra la bocca di Porto Caleri e la bocca del Po di Levante è il litorale di Isola Albarella, di 528 ha. Lo scanno è stato bonificato nel 1967, protetto con possenti arginature, ampliato con opere di dragaggio del fondale e riservato a insediamenti turistico – residenziali.

Subito a valle della scogliera di protezione di Porto Caleri, nel capo Nord di Isola Albarella, si osserva una zona in condizioni di accumulo, dove la spiaggia ha una larghezza di circa 200 m. All'estremo Sud di questa cella il litorale è protetto dal molo Nord di Po di Levante e a ridosso di esso si è formata una zona di deposito di sedimenti.

- Cella RO3: da bocca Porto di Levante a foce Po di Maistra

Il litorale compreso tra la foce del ramo più a Nord del Delta del Po (Po di Levante) e la foce del Po di Maistra è una sottile zona emersa conosciuta come Scanno Cavallari che separa il mare dalla Laguna della Vallona; tale tratto di spiaggia è lungo all'incirca 5 km e l'ortogonale a riva ha un orientamento di circa 47 °N. Lo scanno Cavallari era una vasta striscia di terra occupata da fabbricati rurali ed abitazioni ma, a causa dell'abbassamento del suolo e della conseguente parziale sommersione, è stato abbandonato negli anni cinquanta.

All'estremo Nord di questa cella il litorale è protetto dal molo Sud di Po di Levante e a ridosso si è realizzata nel 1985 una

scogliera in pietrame; il restante litorale non è protetto da opere parallele o ortogonali a riva ad eccezione di un tratto nel quale è stata realizzata una barriera soffolta in pietrame (2002). L'estremo Sud della cella è invece caratterizzato dalla presenza della scogliera di separazione della laguna della Vallona.

- Cella RO4: da foce Po di Maistra a busa di Tramontana

La cella litoranea delimitata a Nord dalla foce di Po di Maistra e a Sud da Busa Tramontana si estende per circa 9 km ed è nota anche con il nome di Lido di Boccasette. All'estremo Nord sono situate le opere di protezione della foce di Po di Maistra, ovvero le scogliere ed una palificata realizzate tra il 2007 e il 2009; in destra idrografica al Po di Maistra vi sono 10 pennellini in legno anch'essi realizzati nel 2008. Tale scanno è l'unico ad essere attrezzato a spiaggia ed è interrotto in due punti: la bocca Nord e la bocca Sud (più recente) della Laguna di Barbamarco. Entrambe le bocche sono protette da corti moli in pietrame e completate da barriere soffolte parallele alla linea di riva.

- Cella RO5: da busa di Tramontana a busa Dritta

Il tratto di costa appartenente a questa cella è delimitato da due dei tre rami nei quali si divide il Po della Pila, ovvero Busa di Tramontana e Busa Dritta. Tale cella risulta essere completamente priva di opere e dunque molto soggetta all'evoluzione naturale tipica del Delta del Po; in particolare è possibile osservare un avanzamento verso mare e quindi un accrescimento della cuspidi deltizia dovuto al trasporto solido fluviale del ramo principale del Po, il quale ha contrastato gli effetti erosivi dell'azione del mare e della subsidenza.

- Cella RO6: da busa Dritta a busa di Scirocco

La cella litoranea compresa tra due rami finali di Po della Pila, ovvero Busa Dritta e Busa di Scirocco, è caratterizzata come la precedente dall'assenza di opere rigide e si può dunque osservare il fenomeno di accrescimento del Delta causato dal trasporto solido fluviale del Po.

Tale scanno protegge a mare la laguna del Basson, area di forte produttività potenziale per merito della sua collocazione a ridosso della foce del Po di Pila, sebbene sia un ambiente fragile a causa delle continue modificazioni indotte dai rami fluviali.

- Cella RO7: da busa di Scirocco a busa Storiona

Il tratto di costa compreso tra Busa di Scirocco e Busa Storiona si estende per circa 7 km e l'ortogonale alla costa ha un orientamento di 110 °N. Il litorale di questa cella non è continuo, essendo interrotto dalla bocca della Sacca di Canarin e dalla foce della Busa del Bastimento.

In destra idrografica alla Busa di Scirocco è stata realizzata dal Consorzio di Bonifica del Delta del Po una scogliera in pietrame, la quale ha creato uno scanno a protezione della Sacca del Canarin; per quanto riguarda la Busa del Bastimento essa è protetta da scogliere e palificate in legno. La cella è delimitata a Sud dal molo di protezione in pietrame della Busa Storiona.

- Cella RO8: da busa Storiona a foce Po di Tolle

Il litorale in esame prende il nome di Spiaggia dei Bonelli e si estende per circa 4 km tra la Busa Storiona e la foce di Po di Tolle. Come la maggior parte del litorale del Delta del Po, anche questa cella è priva di opere rigide, ad eccezione delle armature delle due foci. In destra idrografica al Po di Tolle è stata realizzata, nel 2003 e completata nel 2010, una barriera soffolta in pietrame per la protezione della spiaggia attrezzata di Barricata.

- Cella RO9: da foce Po di Tolle a foce Po di Gnocca

Il tratto compreso tra Po di Tolle e Po di Gnocca delimita a mare la Sacca di Scardovari; tale laguna comunicava fino al 1997 con il mare Adriatico attraverso una sola bocca larga 1.700 metri, posta in sinistra idrografica al Po di Gnocca. Fra il 1995 e il 1997 si sono effettuati dei lavori per la salvaguardia e vivificazione di tale sacca, i quali hanno compreso l'apertura di una seconda bocca artificiale in prossimità della foce del Po di Tolle, protetta da moli in pietrame, e la realizzazione di una scogliera in pietrame a protezione dello scanno antistante il Po di Gnocca.

Ulteriori lavori sono stati realizzati tra il 2008 e 2010, ovvero la realizzazione di una scogliera a protezione dello scanno di Scardovari che sta ormai scomparendo e la sistemazione della scogliera a dello scanno all'estremo Sud di questa cella.

Tale cella comprende anche la cosiddetta spiaggia delle conchiglie, usata anche per scopi balneari, posta in destra idrografica al Po di Tolle; in questo tale tratto di litorale è stato realizzato un intervento di ripascimento di circa 30.000 m³ di sabbia nel periodo compreso tra Marzo e Giugno 2010.

- Cella RO10: da foce Po di Gnocca a foce Po di Goro

L'ultima cella a Sud del litorale Veneto è quella compresa tra le bocche del Po di Gnocca e del Po di Goro, essa si estende per

circa 3 km e l'orientamento della normale alla costa è di 125°N . Il litorale risulta essere interrotto dalla foce di un ramo del Po di Gnocca (occlusa fino al 2007), situata a metà del tratto in esame e protetto da un molo in pietrame. Il Po di Goro è il ramo più meridionale tra i sei bracci del Delta e la sua foce è difesa da una palificata in legno realizzata nel 2007 dal Genio Civile di Rovigo.

2.1 CONCLUSIONI

Tutta la costa del litorale della Regione Veneto è stata suddivisa in 20 celle morfologicamente omogenee, di cui 10 appartenenti alla provincia di Venezia e 10 alla provincia di Rovigo.

Tali celle, di cui si è data una breve descrizione, sono state numerate da Nord verso Sud e questo è l'ordine con cui sono elencate in tutto il documento. La suddivisione in celle è presente nella Dgr n. 1215 del 15 luglio 2014 e si ritiene opportuno che venga recepita dai piani di gestione territoriale.

3. MOTO ONDOSO

3.1 DATI DISPONIBILI

Per una corretta gestione delle aree costiere e per una efficiente ed efficace programmazione e progettazione di opere marittime è indispensabile disporre di informazioni estese ed attendibili sulle caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza dei paraggi di interesse. La caratterizzazione del clima meteo-marino deve essere disponibile con una risoluzione spaziale compatibile con le scale dei processi coinvolti. La conoscenza del clima meteo-marino assume inoltre particolare rilevanza ove si debba stimare il trasporto di sedimenti in ambiente costiero.

Una raccolta aggiornata, sistematica ed organica di dati di riferimento sulle caratteristiche cinematiche e dinamiche dell'onda che si verificano nell'alto Adriatico non è disponibile sotto costa. Si è dunque ritenuto opportuno usufruire delle elaborazioni effettuate dal CNR – ISMAR (CNR-ISMAR, 2011) nell'ambito del "Programma di ricerca MARINA- Modellistica ad Alta Risoluzione Integrata del Nord Adriatico", il quale obiettivo è la ricostruzione del clima marino al largo del Veneto. Lo studio effettuato dal CNR – ISMAR ha determinato il clima meteo-marino, sulla base di oltre 16 anni di clima ondoso (Giugno 1992 – Dicembre 2008) ricostruito mediante l'applicazione di un modello meteorologico accoppiato a modelli di generazione e propagazione di moto ondoso. Le informazioni sono disponibili su 3 punti rappresentativi dell'Alto Adriatico (P1, P2 e P3). Non sono stati tuttavia utilizzati i dati relativi al punto P3 (LON13°30' LAT 45°30'), poiché si trova in posizione troppo ridossata rispetto alla costa istriana e i relativi dati non sono risultati adeguati per le indagini. (Tab. 5).

Oltre al clima meteo-marino al largo, è stata fornita la serie dei massimi soprasoglia ($H_s > 2$ m) calcolati nei due punti, utile al fine di valutare la statistica degli estremi.



Fig. 13 Posizione punti CNR

Tab. 5 Posizione punti CNR

Nome punto	P1	P2
LON (°E)	13°00'	13°00'
LAT (°N)	45°00'	45°30'
Profondità [m]	35	19

I risultati sono presentati in parti per 100000. Questo permette di avere, senza perdere in accuratezza, tabelle costituite da numeri interi, e perciò di più immediata leggibilità. Trattandosi di 16.5 anni di climatologia ondosa, una parte su 100'000 corrisponde a circa 1 ora e 27 minuti.

Tab. 6 Clima Punto P1 Lon. 13°00' Lat. 45°00'

		Hs [m]															
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	
DIR1	DIR2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	10	Somma
0	10	1691	411	91	28	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2225
10	20	2017	755	154	70	37	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3037
20	30	1987	1000	323	162	58	21	12	12	0	4	0	0	0	0	0	3579
30	40	1840	1486	568	229	75	66	71	25	12	0	0	0	0	0	0	4372
40	50	1700	1505	909	456	257	141	141	45	49	16	4	12	0	0	0	5235
50	60	1509	1619	1062	655	535	290	216	75	24	12	29	0	16	8	0	6050
60	70	1328	1415	958	606	381	199	183	33	45	12	12	4	12	4	0	5192
70	80	1303	1139	606	303	170	61	67	4	4	4	4	0	4	0	0	3669
80	90	1293	941	411	204	70	49	16	8	4	0	4	0	0	4	0	3004
90	100	1281	784	307	141	37	16	4	0	0	0	4	0	0	0	0	2574
100	110	1534	780	286	103	29	12	8	8	0	0	4	4	0	0	0	2768
110	120	1874	871	294	129	62	16	29	0	0	0	0	0	0	0	0	3275
120	130	3082	1019	422	219	108	38	33	20	4	0	4	0	0	0	0	4949
130	140	7332	2372	817	328	170	78	38	24	8	0	4	0	0	0	0	11171
140	150	5459	3025	1094	484	228	91	45	41	20	8	4	0	0	0	0	10499
150	160	2700	1453	546	227	113	33	17	4	8	0	0	0	0	0	0	5101
160	170	1423	829	311	107	100	25	20	4	8	4	0	0	0	0	0	2831
170	180	1202	710	227	79	58	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	2300
180	190	1009	556	171	78	58	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1892
190	200	1099	526	150	75	41	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1907
200	210	1190	497	195	87	41	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2014
210	220	1247	564	178	53	20	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2070
220	230	864	452	157	45	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1530
230	240	531	311	95	28	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	973
240	250	411	232	71	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	718
250	260	539	186	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	762
260	270	406	175	45	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	630
270	280	340	99	29	12	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	488
280	290	368	78	16	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	470
290	300	275	54	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	345
300	310	278	50	12	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344
310	320	349	54	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419
320	330	493	71	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	580
330	340	427	87	12	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	534
340	350	664	95	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	788
350	360	1531	125	25	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1705
Somma		52576	26326	10644	4940	2704	1188	932	303	186	60	73	20	32	16	0	100000

Tab. 7 Clima Punto P2 Lon. 13°00' Lat. 45°30'

		Hs [m]															
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	
DIR1	DIR2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	10	Somma
0	10	1008	181	41	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1242
10	20	1019	407	109	53	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1608
20	30	1459	535	203	25	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2258
30	40	1809	929	261	91	42	8	8	4	0	0	0	0	0	0	0	3152
40	50	2457	1601	556	207	91	49	29	0	4	0	0	0	0	0	0	4994
50	60	2258	2167	1066	489	190	66	38	21	21	4	0	0	0	0	0	6320
60	70	2141	1832	1087	568	232	108	29	4	0	0	0	0	0	0	0	6001
70	80	1722	1198	563	187	79	20	4	4	4	0	4	0	0	0	0	3785
80	90	1701	687	311	95	8	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2814
90	100	1515	503	237	37	28	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	2328
100	110	1655	364	148	41	20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2236
110	120	2119	456	128	33	16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2756
120	130	3139	477	183	50	20	21	0	0	4	0	0	0	0	0	0	3894
130	140	4589	676	274	94	16	12	0	4	0	0	0	0	0	0	0	5665
140	150	8180	1767	493	120	53	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	10645
150	160	7665	2280	705	286	111	41	8	16	4	0	4	0	0	0	0	11120
160	170	4270	1883	460	157	58	36	8	0	0	0	0	0	0	0	0	6872
170	180	3297	1119	343	108	28	20	4	4	4	0	0	0	0	0	0	4927
180	190	3050	879	240	66	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4285
190	200	2737	750	153	87	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3751
200	210	1994	399	116	20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2537
210	220	1257	239	58	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1578
220	230	1095	179	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1311
230	240	859	107	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	978
240	250	406	37	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	451
250	260	283	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	299
260	270	169	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185
270	280	178	12	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207
280	290	165	20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	193
290	300	120	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128
300	310	119	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135
310	320	149	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161
320	330	154	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162
330	340	453	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	474
340	350	190	33	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	227
350	360	264	49	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	321
Somma		65645	21847	7845	2850	1106	433	136	73	53	4	8	0	0	0	0	100000

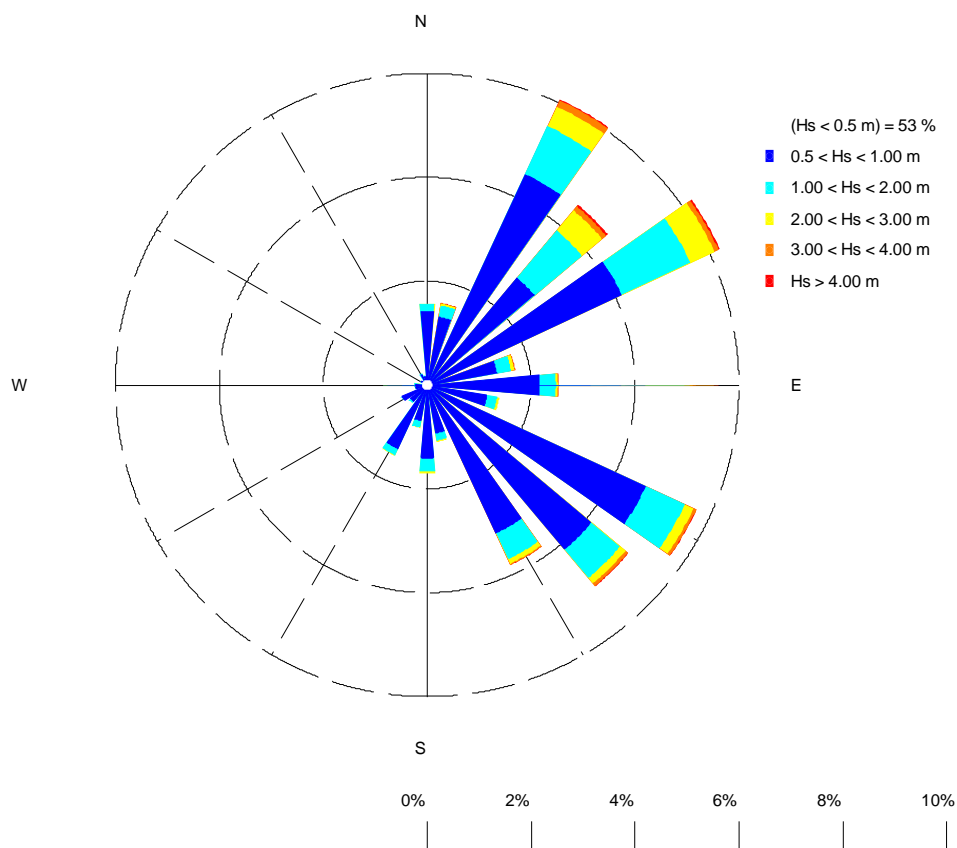


Fig. 14 Rosa delle altezze Punto P1 Lon. 13°00' Lat. 45°00'

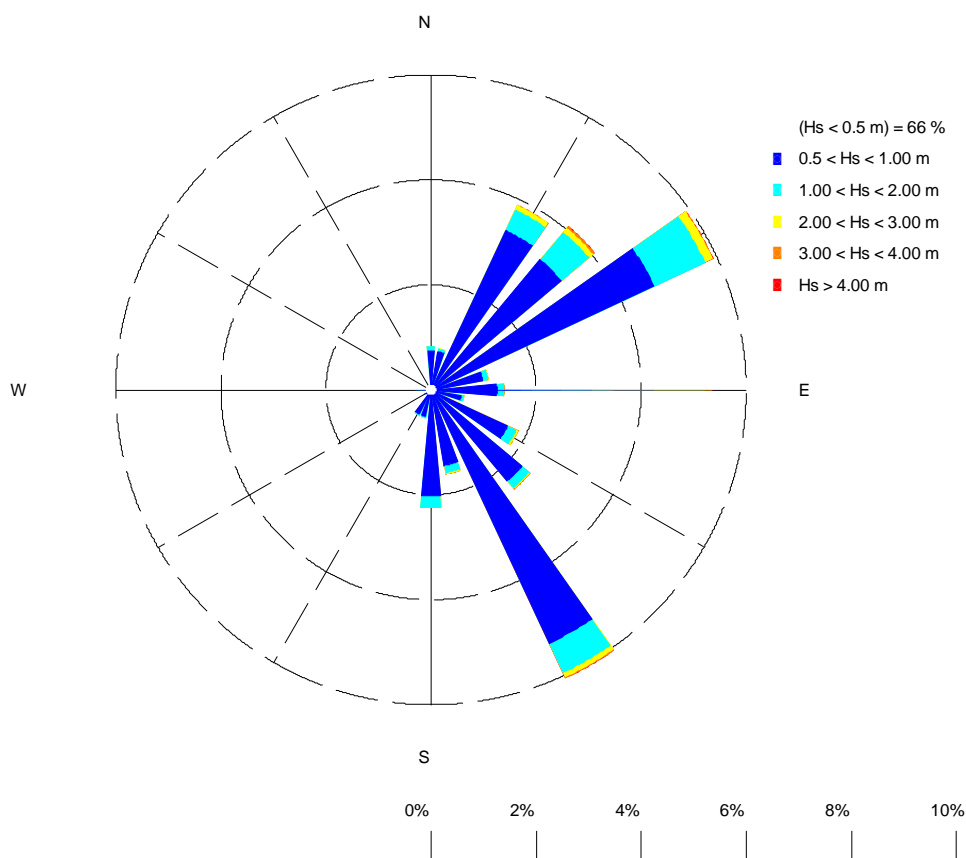


Fig. 15 Rosa delle altezze Punto P2 Lon. 13°00' Lat. 45°30'

Sono state inoltre rese disponibili dal "Consorzio Venezia Nuova" e dal "Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree – Comune di Venezia" le altezze d'onda e i livelli di marea registrati alla Piattaforma oceanografica "Acqua Alta" dell'istituto CNR – ISMAR, installata nel gennaio del 1970 nel golfo di Venezia, a 8 miglia dalla costa, su un fondale di 16 m.s.l.m (coordinate 45°18.83' N, 12°30.53' E). I dati di altezze d'onda disponibili sono forniti con frequenza trioraria nel periodo 16/10/1987 – 31/12/2007 mentre con frequenza semioraria nel periodo 01/01/2008 - 31/12/2014. I dati dei livelli di marea sono invece disponibili on frequenza oraria nel periodo 01/01/1980 – 31/12/2014. Di seguito si riporta il clima ondoso in tabella (Tab. 8) e in rosa delle altezze (Fig. 16).

Tab. 8 Clima Piattaforma "Acqua Alta"

		Hs [m]															Somma
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	
DIR1	DIR2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	10	
0	10	682	217	204	77	32	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1225
10	20	1063	306	84	36	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1493
20	30	1065	303	111	45	32	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1561
30	40	1563	664	178	50	38	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2497
40	50	2111	1122	391	116	62	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3806
50	60	3027	1843	823	312	83	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6109
60	70	3635	2182	1112	607	263	87	21	3	0	0	0	0	0	0	0	7910
70	80	3772	1863	837	470	245	76	23	3	0	0	0	0	0	0	0	7289
80	90	3050	1199	457	231	102	26	6	2	0	0	0	0	0	0	0	5073
90	100	2490	887	327	135	38	14	4	2	0	0	0	0	0	0	0	3897
100	110	3019	879	228	73	32	8	5	1	2	0	1	0	0	0	0	4248
110	120	4226	1245	375	155	61	22	11	2	1	1	0	0	0	0	0	6099
120	130	6586	2193	783	258	111	34	15	4	2	2	2	0	0	0	0	9990
130	140	5780	1673	442	112	49	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8076
140	150	4906	1194	205	52	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6380
150	160	3741	796	146	47	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4752
160	170	2457	439	86	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3005
170	180	1399	275	57	11	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1749
180	190	1119	215	27	11	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1380
190	200	1129	181	27	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1342
200	210	1079	122	17	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1225
210	220	869	116	22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1009
220	230	1050	143	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1211
230	240	773	66	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858
240	250	797	58	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	866
250	260	853	65	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	926
260	270	777	70	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	865
270	280	510	37	12	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	563
280	290	396	26	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	433
290	300	354	28	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	388
300	310	440	60	19	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	525
310	320	555	42	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	603
320	330	547	38	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	590
330	340	635	32	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	675
340	350	550	46	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	618
350	360	613	123	21	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	764
Somma		67618	20748	7112	2848	1218	339	89	17	5	3	3	0	0	0	0	100000

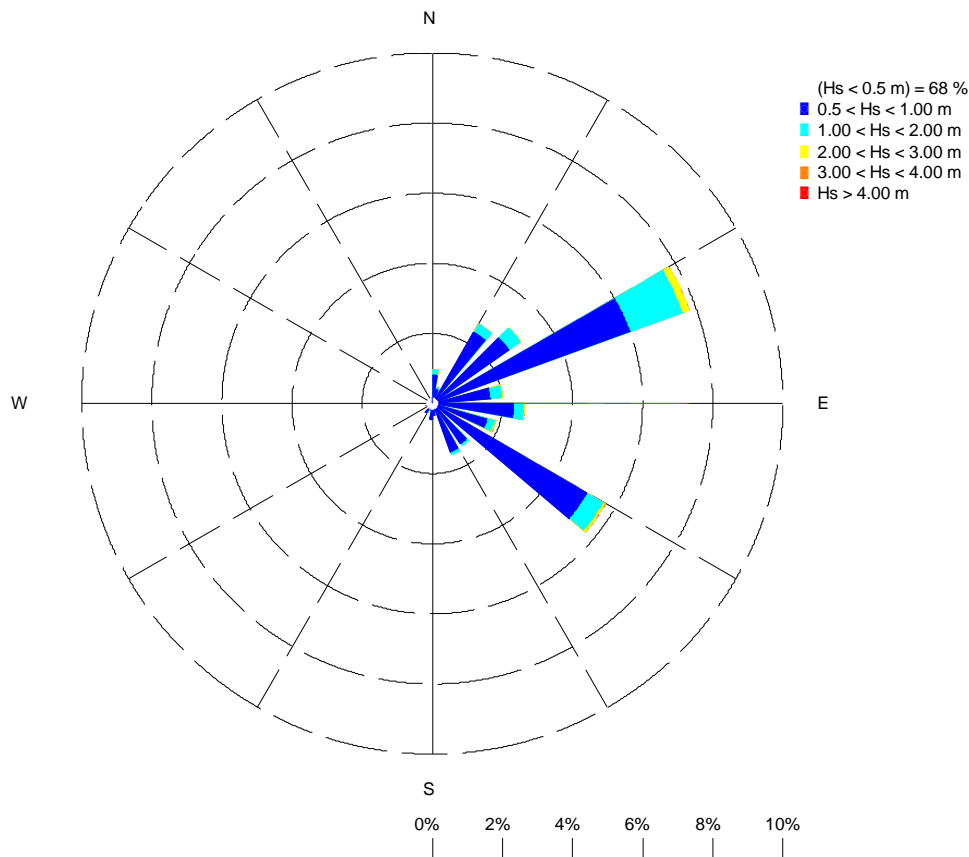


Fig. 16 Rosa delle altezze Piattaforma "Acqua Alta"

3.2 MODELLO MATEMATICO IMPIEGATO

Per la valutazione della propagazione del moto ondoso dal largo verso riva è stato utilizzato il modello SWAN (Simulating Wave Nearshore), sviluppato da Delft University of Technology (NL), liberamente disponibile in rete e open source secondo i termini della GNU General Public License. Si tratta di un software molto noto, sviluppato a partire dal 1999, che è diffusamente impiegato da enti governativi, istituti di ricerca e società di consulenza in tutto il mondo e di cui è stata ampiamente dimostrata la validità e l'affidabilità sulla base di risultati ottenuti in svariate condizioni di applicazione, sia in laboratorio che in campo.

Nei paragrafi che seguono sono illustrate sinteticamente le caratteristiche principali del modello, tratte dalla documentazione tecnica e dal manuale d'uso. Per ogni approfondimento si rimanda a tali documenti, i cui titoli sono richiamati in bibliografia (SWAN - Scientific and Technical Documentation, 2014) e (SWAN - User Manual, 2014), disponibili anche in rete al link: <http://swanmodel.sourceforge.net/>.

SWAN è un modello matematico di terza generazione, che consente di ottenere stime realistiche dei parametri del moto ondoso in aree costiere, laghi ed estuari, a partire da condizioni assegnate di morfologia del fondo, vento e correnti. Il modello è basato sulla risoluzione dell'equazione di conservazione dell'azione d'onda in forma spettrale, che descrive la propagazione del moto ondoso in un dominio geografico bidimensionale.

In particolare, le procedure implementate in SWAN consentono di descrivere i seguenti processi: rifrazione dovuta alle variazioni spaziali del fondale e alle correnti, shoaling dovuto al fondo e alle correnti, effetti di "blocking" e riflessione dovuti alle correnti, trasmissione/riflessione per la presenza di ostacoli. La diffrazione è simulata in senso ristretto, ovvero fornisce risultati validi in aree in cui le variazioni in altezza d'onda sono rilevanti entro una scala orizzontale di alcune lunghezze d'onda.

Sono considerate le seguenti azioni generative e dissipative: generazione da vento, dissipazione per whitecapping, dissipazione per frangimento indotto dal fondale, dissipazione per attrito sul fondo, interazioni onda-onda, sia in acque profonde che basse. Nella attuale versione (SWAN Cycle III v.41.01) il modello può essere utilizzato in condizioni stazionarie o non stazionarie. Può essere applicato sia a griglie di calcolo di tipo strutturato che non strutturato. Nel primo caso la griglia è composta da celle quadrilatera di tipo rettilineo o curvilineo, e può essere annidata in altre griglie per ottenere diversi livelli di risoluzione nel dominio di calcolo. Nel secondo caso la griglia è composta da elementi triangolari che possono essere di diversa forma e dimensione e quindi consentono di variare il grado di risoluzione nelle diverse aree del dominio senza ricorrere al "nesting".

Questo secondo approccio è particolarmente utile in aree costiere dove la profondità dei fondali varia notevolmente e dove la geometria dei contorni può essere complicata, poiché la griglia può essere resa più dettagliata dove le esigenze del calcolo lo

richiedono. In definitiva l'impiego di griglie non strutturate consente di descrivere con accuratezza relativamente elevata il dominio di calcolo sia pur utilizzando un numero di nodi notevolmente inferiore rispetto ad una griglia strutturata.

Le informazioni sullo stato della superficie del mare sono contenute nello spettro della densità di energia $E(\sigma, \theta)$, che sostanzialmente ripartisce l'energia del moto ondoso nel dominio delle frequenze σ e delle direzioni di propagazione θ (intese come direzione normale alle creste d'onda di ogni componente dello spettro).

Il modello SWAN al pari della maggior parte degli altri modelli di moto ondoso, calcola l'evoluzione della densità d'azione d'onda $N(\sigma, \theta)$ nello spazio χ e nel tempo t . La densità di azione è definita come $N = E/\sigma$ e, a differenza della densità di energia E , si conserva durante la propagazione anche in presenza di correnti (Whitman, 1974).

- Conservazione dell'azione d'onda

L'evoluzione della densità di azione d'onda N è governata dall'equazione di conservazione (Mei, 1983, Komen et al., 1994):

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \Delta \vec{x} \cdot [(\vec{c}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad Eq. 1$$

Nell'equazione precedente il primo termine a primo membro indica la variazione nel tempo della densità di azione d'onda. Il secondo termine indica la propagazione dell'energia dell'onda nello spazio bidimensionale identificato dal vettore χ , essendo U la velocità della corrente (assunta uniforme sulla verticale) e $c_g = \partial \sigma / \partial k$ la velocità di gruppo espressa in base alla relazione di dispersione $\sigma = g|k| \tanh(|k|d)$ dove k è il vettore numero d'onda e d la profondità. Il terzo termine rappresenta l'effetto dello sfasamento della frequenza dovuta a variazioni di profondità e alle correnti. Il quarto termine rappresenta la rifrazione indotta dalle variazioni di profondità e dalle correnti. I termini c_σ e c_θ indicano le celerità di propagazione nel dominio spettrale (σ, θ) . Il secondo membro dell'equazione contiene la quantità S_{tot} che è il termine sorgente/assorbente che rappresenta tutti i processi fisici che generano, dissipano o ridistribuiscono l'energia del moto ondoso. In generale, in acque poco profonde, il termine S_{tot} è scomponibile in sei contributi:

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad Eq. 2$$

che indicano, rispettivamente, la generazione dovuta al vento, il trasferimento non lineare di energia attraverso interazioni a tre e quattro onde, il decadimento dovuto a whitecapping, attrito sul fondo e frangimento indotto dal fondale.

3.2.1 Costruzione delle griglie

Il reticolo di calcolo utilizzato per le simulazioni con il modello SWAN è rappresentato in Fig. 17. Per consentire di imporre correttamente le condizioni al contorno e per ottenere risultati significativi nelle zone di interesse sono state predisposte tre diverse griglie di calcolo, in particolare:

1. Griglia del litorale veneziano 1 ("LV1"), utilizzata per simulare le mareggiate provenienti dai quadranti meridionali (Scirocco) lungo la costa della Provincia di Venezia. Essa si compone di 32420 nodi e 61785 maglie triangolari ed include l'intero bacino del Mare Adriatico situato a Nord di Capo Promontore (penisola Istriana), compreso il Golfo di Trieste. Le dimensioni delle maglie sono variabili, per consentire di risolvere il campo d'onda con accuratezza maggiore nelle zone più rilevanti ai fini delle indagini (sotto costa). Le maglie di dimensioni maggiori, al largo, hanno lati di circa 2 km mentre le maglie più piccole, lungo la costa nel tratto tra Foce Adige a Foce Tagliamento, hanno lati di circa 100 m. Gli elementi situati lungo i litorali del Delta del Po, del Friuli-Venezia Giulia e dell'Istria hanno lati di dimensione variabile tra i 500 e i 1000 m.
2. Griglia del litorale veneziano 2 ("LV2"), utilizzata per simulare le mareggiate provenienti dai quadranti settentrionali (Bora) lungo la costa della Provincia di Venezia. Essa si compone di 29277 nodi e 55756 maglie triangolari, deriva dalla griglia "LV1" ma copre una porzione più piccola di Mare Adriatico, essendo delimitata a Sud da una linea orizzontale passante per il punto di coordinate 45° 00' N, 13° 00' E, e ad Est da una linea parallela alla penisola Istriana. Il Golfo di Trieste, in questo caso, è escluso dal dominio di calcolo. La risoluzione delle maglie lungo costa e al largo è analoga a quella della precedente griglia ("LV1").
3. Griglia del Delta del Po ("DdP"), utilizzata per simulare il moto ondoso proveniente dall'intero settore di traversia lungo il litorale del Delta del Po e della provincia di Rovigo. Essa costituisce un aggiornamento della griglia già predisposta nello "Studio dell'evoluzione morfologica del litorale di Rosolina e Scardovari" (Regione del Veneto - Genio Civile di Rovigo, 2014). La griglia attuale è costituita da 37808 nodi e 73601 maglie e si estende lungo la costa da Foce Piave a Nord al litorale Ravennate. In mare aperto il limite del dominio di calcolo si estende in direzione N-S e passa per il punto di coordinate 45° 00' N, 13° 00' E. Le maglie di dimensioni maggiori, al largo, hanno risoluzione massima di

circa 2 km mentre le maglie più piccole, lungo la costa, hanno una risoluzione minima nell'area di studio di circa 50 m (da Foce Adige a Foce Po di Goro). Gli elementi situati nelle zone esterne del dominio, lungo i litorali della Provincia di Venezia e dell'Emilia Romagna, hanno a loro volta una risoluzione variabile tra 300 e 500 m.

I dati batimetrici utilizzati per la schematizzazione del dominio di calcolo relativamente alle griglie "LV1" e "LV2" fanno riferimento ai rilievi più recenti disponibili per le aree oggetto di studio, in particolare:

- rilievo eseguito dalla Regione Veneto (2007) sui litorali da Foce Piave a Foce Tagliamento (sezioni fino alla batimetrica -10 m);
- rilievi eseguiti dal Consorzio Venezia Nuova (2010) sui litorali da Foce Adige a Foce Piave (sezioni fino alla batimetrica -6 m);
- griglia batimetrica a passo 15" (circa 400 m) disponibile in rete tramite il servizio THREDDS DATA SERVER di CNR-ISMAR, Istituto di Scienze Marine di Venezia;
- rilievi e batimetrie desumibili dallo studio (Regione del Veneto - Genio Civile di Rovigo, 2014).

I dati di tipo "a" e "b" hanno permesso di assegnare le quote del fondale nelle fasce del dominio di calcolo su cui essi erano presenti (rispettivamente fino alla batimetrica -10 m e -6 m) mentre i dati di tipo "c" sono stati utilizzati per riprodurre la morfologia del fondale del Mar Adriatico dal largo fino alla batimetria -14 m. La zona intermedia è stata convenientemente raccordata cercando di uniformare le curve di livello tra queste due fasce di dati. I dati di tipo "d" sono stati utilizzati nella zona antistante la foce del Fiume Adige. Infine, per schematizzare le bocche della laguna di Venezia e gli ambiti circostanti sono state utilizzate le batimetrie lagunari e i dati geometrici delle opere recentemente realizzate (le "lunate"), ricavati da altri studi modellistici svolti dagli scriventi.

Per quanto riguarda la griglia di calcolo "DdP" sono stati utilizzati gli stessi dati impiegati nel già menzionato studio (Regione del Veneto - Genio Civile di Rovigo, 2014), che si estende, come si è detto, ad un'ampia porzione dell'Adriatico settentrionale nell'intorno del Delta del Po.

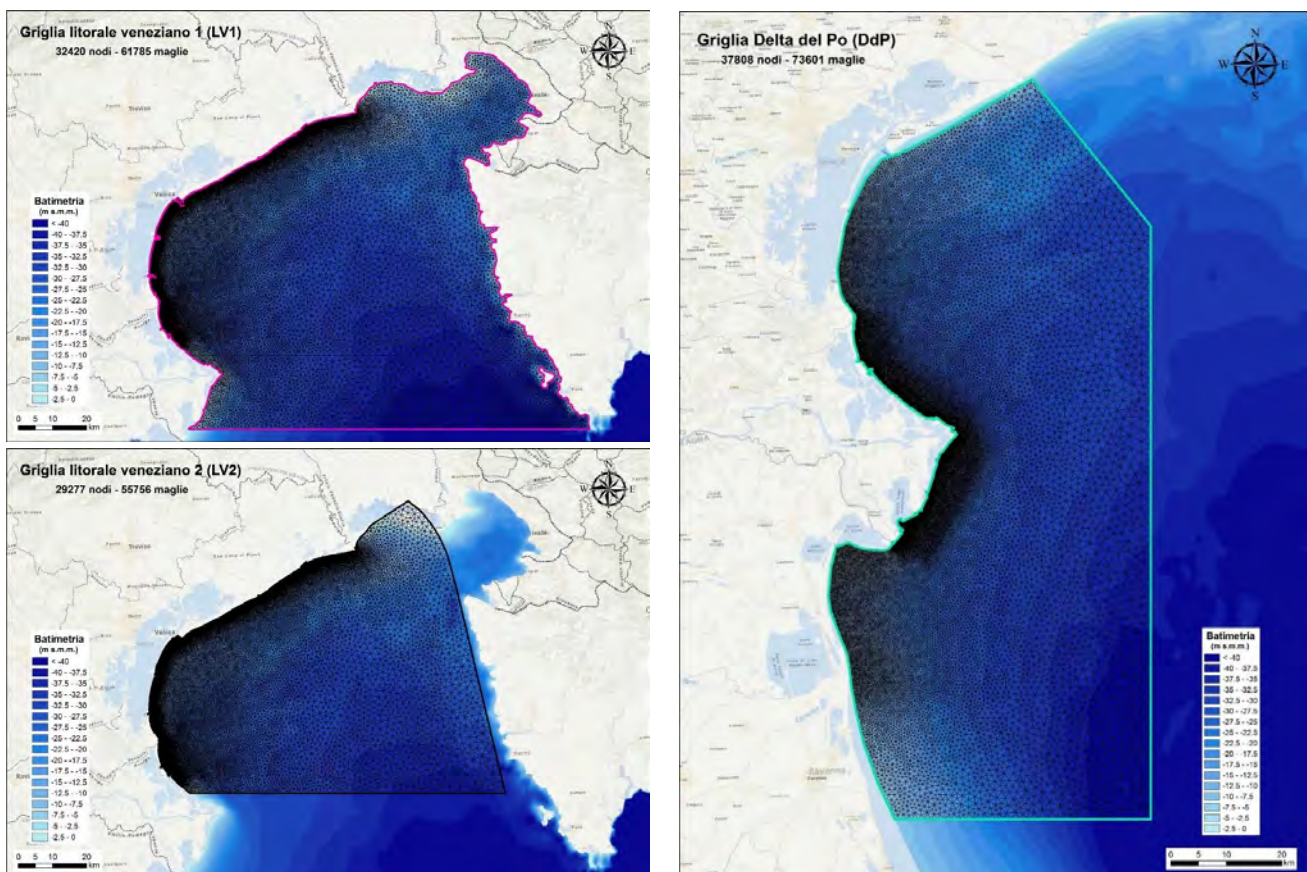


Fig. 17 Griglia LV1 (sx-alto) per le simulazioni sul litorale veneziano nel caso di mareggiate provenienti dal settore di Scirocco. Griglia LV2 (sx-basso) per le simulazioni sul litorale veneziano nel caso di mareggiate provenienti dal settore di Bora. Griglia DdP (dx) per le simulazioni sul litorale del Delta del Po e della Provincia di Rovigo

3.3 CLIMA METEO – MARINO SOTTO COSTA

Per calcolare il clima ondoso sotto-costa, il modello SWAN è stato utilizzato in condizioni stazionarie, simulando la propagazione verso riva di tutte le classi d'onda che costituiscono il clima relativo al periodo 1992-2008 nei due punti P1 e P2 precedentemente descritti, reso disponibili nell'ambito del progetto MARINA del 2011 citato in precedenza. Le serie temporali calibrate su ciascuno dei punti sono state analizzate allo scopo di caratterizzare il clima ondoso mediante statistiche uni e bivariate, miranti alla caratterizzazione complessiva della distribuzione percentuale degli eventi. Le statistiche sono fornite in termini di popolazione percentuale per classe di appartenenza, in base ad altezza, periodo e direzione di provenienza. Le classi sono così definite:

- Partizione PH per l'altezza H_{m0} : da 0 a 6 m con intervalli di 0.5 m, da 6 a 8 m con intervalli di 1.0 m, più una classe tra 8 e 10 m, per un totale di 15 classi.
- Partizione PT per il periodo T_{02} : da 2 a 12 s con intervalli di 1 s, più un intervallo da 12 a 14 s, per un totale di 11 classi.
- Partizione PA per i settori di provenienza: da 0 a 360° con intervalli di 10° (36 classi).

Il modello SWAN è stato utilizzato in condizioni stazionarie, simulando la propagazione verso riva di tutte le classi d'onda che costituiscono il clima relativo al periodo 1992-2008 e di una serie di eventi estremi desumibili dallo stesso clima ondoso, calcolati per diversi tempi di ritorno (1, 10, 50 e 100 anni).

Il modello è stato azionato in modalità GEN3 che, come è illustrato nel capitolo precedente, incorpora la più recente formulazione delle componenti generative/dissipative per quanto riguarda il vento, le interazioni non lineari ed il whitecapping. Per la generazione dovuta al vento è stata scelta l'opzione standard che prevede un criterio di crescita esponenziale secondo la formulazione di Komen et al (1984). Per quanto concerne le interazioni non lineari (quadruplette), è stata utilizzata la formulazione di Hasselmann et al. (1985) mentre per il whitecapping è stata adottato il criterio proposto da Komen et al. (1984), che rappresenta l'opzione di default.

Nelle simulazioni sono stati inoltre attivati i processi di attrito sul fondo (scegliendo l'opzione standard di Hasselmann et al., 1973, JONSWAP), di frangimento per interazione col fondale (Battjes and Janssen, 1978) e l'interazione non lineare tra triplette (Eldeberky, 1996).

Le forzanti delle simulazioni sono costituite dall'azione del vento, supposto uniformemente distribuito su tutto il dominio di calcolo, e dal moto ondoso incidente sul contorno aperto del dominio stesso.

L'onda incidente è stata assunta costante lungo l'intera estensione dei bordi aperti ed è stata schematizzata in forma parametrica attraverso i seguenti parametri spettrali: altezza d'onda significativa H_s , periodo caratteristico dello spettro di energia (periodo medio T_{m01}) e direzione media θ .

Alle onde è stata attribuita una distribuzione spettrale in frequenza secondo un modello JONSWAP con coefficiente di appuntamento (γ) pari a 3.3.

Per quanto concerne lo spreading direzionale, definito da una relazione del tipo $\cos^m(\theta)$, in cui θ è la direzione, al coefficiente m sono stati attribuiti valori diversi a seconda del dominio di calcolo considerato. Per le simulazioni relative al Delta del Po (griglia DdP), in assenza di dati di riferimento, a m è stato assegnato il valore di default pari a 2 (spread direzionale di 31.5°). Nel caso delle griglie "LV1" e "LV2" lo stesso coefficiente è stato posto pari a 15 (spread direzionale di 14.2°), il che consente di sostenere maggiormente le onde nella loro propagazione verso riva e di ottenere un miglior accordo con i dati di riferimento nel punto P2.

In ogni caso lo spettro è stato discretizzato in 32 intervalli di frequenza ($f_{min} = 0.0521$ Hz, $f_{max} = 1$ Hz, $\delta f = 0.1$ Hz) e 36 intervalli di direzione (da 10°).

Il vento è stato assunto costante sull'intera superficie delle griglie di calcolo, ed è stato imposto assegnandone velocità e direzione di provenienza valutate in base al metodo Sverdrup-Munk-Bretschneider, applicato in condizioni limitate dalla lunghezza del fetch. Questa metodologia consente di stimare l'intensità del vento in grado di generare e sostenere una mareggiata di cui siano noti l'altezza d'onda significativa e il periodo di picco.

La relazione che lega queste grandezze è la seguente:

$$u = \left(\frac{929.5 \cdot H_s^2}{0.71 \cdot T_p^3} \right)^{1/1.23} \quad Eq. 3$$

Questa formulazione è stata utilizzata per ottenere l'intensità del vento per tutte le classi d'onda da propagare, di cui sono note l'altezza d'onda significativa, il periodo medio/di picco e la direzione media di propagazione. Per quanto riguarda la direzione di provenienza del vento, essa è stata fatta coincidere con la direzione media dell'onda incidente al largo. Tutte le simulazioni

sono state effettuate considerando un livello del mare pari a 0.0 m s.l.m..

Lungo la costa i risultati della propagazione del clima ondoso sono stati estratti in una serie di punti preventivamente individuati e rappresentati in Fig. 18 e la loro codifica è riportata in Tab. 9. Tali punti sono stati suddivisi in due gruppi in base al tratto di costa a cui afferiscono: punti "VE" per il litorale della provincia di Venezia (21 punti), punti "RO" per la costa della provincia di Rovigo ed il Delta del Po (22 punti). Tutti i punti sono posizionati sulla linea batimetrica -10 m ad eccezione di quelli collocati davanti alle bocche di porto della Laguna di Venezia, situati sulla batimetrica -15 m (VE 13, VE 15 e VE 17). Il clima non è stato calcolato sull'intero angolo giro (0-360°) ma solo nel settore compreso tra 0 e 230 °N. Tale scelta si è resa necessaria a causa della forma della costa Veneta, che non consente di imporre in modo corretto le condizioni al contorno per il settore 230-360 °N. Questa semplificazione pare tuttavia lecita se si considera che all'interno del settore 0-230°N ricadono, per entrambi i punti, oltre il 90% delle onde del settore completo in termini di frequenza, e oltre il 95% in termini di energia associata al moto ondoso. Inizialmente era stato previsto di utilizzare il clima P1 per la propagazione verso i punti della provincia di Rovigo (griglia "DdP") ed il clima P2 per i punti del litorale veneziano (griglie "LV1" e "LV2"). Tuttavia, per quanto riguarda il punto P2, a seguito di alcune simulazioni preliminari si è rilevato che il suo utilizzo comportava una sottostima dell'energia per il settore Scirocco in corrispondenza del punto P2 stesso. Per superare questo problema è stato ricalcolato un clima meteomarinico composto dalle onde del punto P2 per il settore Bora e dalle onde del punto P1 per il settore Scirocco, con una fascia di sovrapposizione tra i due settori in corrispondenza dell'intervallo 90-100 °N.

In base ai settori di provenienza dell'onda che si intende propagare e ai punti di output sono state predisposte 4 diverse simulazioni, di seguito elencate:

- Simulazione 1, utilizzata nella propagazione del clima del punto P1 per il settore Scirocco (105-225 °N) su griglia "LV1". L'onda incidente è imposta sul bordo meridionale aperto del dominio di calcolo, i risultati sono estratti nei punti VE;
- Simulazione 2, utilizzata nella propagazione del clima del punto P2 per il settore Bora (5-125 °N) su griglia "LV2". L'onda incidente è imposta sui bordi orientale e meridionale aperti del dominio di calcolo, i risultati sono estratti nei punti VE;
- Simulazione 3, impiegata per la propagazione del clima del punto P1 (5-195 °N) su griglia "DdP". L'onda incidente è imposta sui tre lati aperti verso il mare della griglia di calcolo, i risultati sono estratti nei punti RO;
- Simulazione 4, predisposta per la propagazione del clima del punto P1 per il settore Scirocco (105-225 °N) e del punto P2 per il settore Bora (5-125 °N) su griglia "DdP". L'onda incidente è imposta sui tre lati aperti verso il mare della griglia di calcolo, i risultati sono estratti in una porzione della fascia di sovrapposizione delle griglie "LV1" e "DdP" (punti VE da 16 a 21 e punti RO da 01 a 11).

Il risultato della propagazione sui punti del litorale veneziano deriva quindi dalla combinazione delle simulazioni 1 e 2, sovrapposte in corrispondenza del settore caratterizzato dalle minori energie e frequenze (100-130 °N).

Per i punti della provincia di Rovigo ed il Delta del Po la simulazione di riferimento è la terza, in cui il clima del punto P1 è limitato in questo caso al settore 0-200 °N.

La quarta simulazione infine rappresenta un controllo per i punti di sovrapposizione delle griglie "LV1" e "DdP".

I risultati delle simulazioni sono riassunti mediante la rappresentazione cartografica delle rose dell'energia in Fig. 19. L'energia per ogni direzione è stata calcolata come somma delle singole altezze d'onda elevate al quadrato, moltiplicate per le rispettive frequenze.

Per ricavare il clima ondoso in tutti i punti di interesse lungo il litorale della costa veneta, le 4 simulazioni descritte al punto precedente sono state combinate come di seguito indicato:

- Il clima sui punti lungo la parte settentrionale del litorale della provincia di Venezia (punti VE, da 1 a 16) è stato ottenuto aggregando tra loro i risultati delle simulazioni 1 e 2;
- Il clima per i punti posti lungo il litorale meridionale del delta del Po (Punti RO da 12 a 22) è stato ottenuto direttamente dalla simulazione 3;
- Il clima lungo il tratto orientale del litorale di Venezia (punti VE da 17 a 21) e lungo il lobo nord del Delta (punti RO da 1 a 11) è stato ottenuto combinando i risultati della simulazione 4 con quelli delle simulazioni precedenti 1, 2 e 3.

I risultati finali della propagazione del clima ondoso sulla costa veneta, adottati anche per il calcolo del trasporto solido litoraneo, sono riportati in forma tabellare nelle schede riassuntive (capitolo 13) e in Fig. 20.

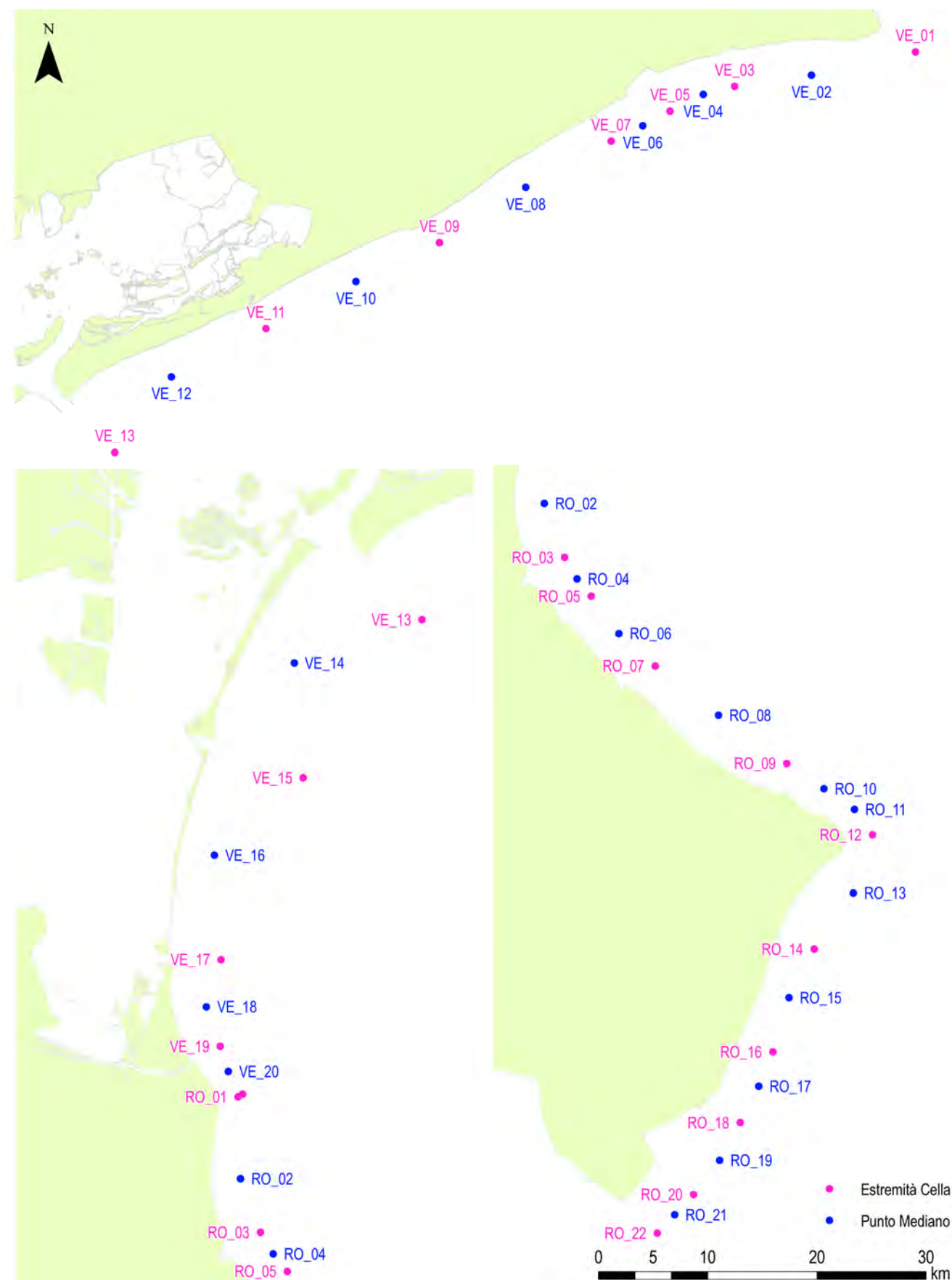


Fig. 18 Punti per la trasformazione delle onde

Tab. 9 Posizione dei punti per la trasformazione delle onde

Cella	Posizione	Nome	X [m]	Y [m]	Profondità [m]
	Foce Tagliamento	VE_01	1821830	5060700	-10
VE1	Foce Tagliamento - Bocca di Porto Baseleghe	VE_02	1815340	5058890	-10
	Bocca di Porto Baseleghe	VE_03	1810520	5057760	-10
VE2	Bocca di Porto Baseleghe - Bocca di Falconera	VE_04	1808640	5056930	-10
	Bocca di Falconera	VE_05	1807290	5055200	-10
VE3	Bocca di Falconera - Foce Livenza	VE_06	1805160	5054470	-10
	Foce Livenza	VE_07	1803060	5053430	-10
VE4	Foce Livenza - Foce Piave	VE_08	1797310	5050890	-10
	Foce Piave	VE_09	1792290	5046720	-10
VE5	Foce Piave - Foce Sile	VE_10	1786750	5044290	-10
	Foce Sile	VE_11	1781130	5041000	-10
VE6	Foce Sile - Bocca di Lido	VE_12	1775070	5037890	-10
	Bocca di Lido	VE_13	1771720	5032710	-15
VE7	Bocca di Lido - Bocca di Malamocco	VE_14	1764960	5030120	-10
	Bocca di Malamocco	VE_15	1765760	5024030	-15
VE8	Bocca di Malamocco - Bocca di Chioggia	VE_16	1761110	5019730	-10
	Bocca di Chioggia	VE_17	1763330	5013980	-15
VE9	Bocca di Chioggia - Foce Brenta	VE_18	1761010	5011670	-10
	Foce Brenta	VE_19	1761810	5009580	-10
VE10	Foce Brenta - Foce Adige	VE_20	1762400	5008300	-10
	Foce Adige	VE_21 / RO_01	1763200	5007120	-10
RO1	Foce Adige - Bocca di Caleri	RO_02	1763220	5002580	-10
	Bocca di Caleri	RO_03	1764420	4999760	-10
RO2	Bocca di Caleri - Bocca Porto di Levante	RO_04	1765150	4998640	-10
	Bocca Porto di Levante	RO_05	1765960	4997740	-10
RO3	Bocca Porto di Levante - Foce Po di Maistra	RO_06	1767540	4995810	-10
	Foce Po di Maistra	RO_07	1769560	4994160	-10
RO4	Foce Po di Maistra - Busa di Tramontana	RO_08	1773090	4991670	-10
	Busa di Tramontana	RO_09	1776890	4989250	-10
RO5	Busa di Tramontana - Busa Dritta	RO_10	1778960	4987990	-10
	Busa di Tramontana - Busa Dritta	RO_11	1780660	4986950	-10
	Busa Dritta	RO_12	1781690	4985640	-10
RO6	Busa Dritta - Busa di Scirocco	RO_13	1780800	4982500	-10
	Busa di Scirocco	RO_14	1778810	4979420	-10
RO7	Busa di Scirocco - Busa Storiona	RO_15	1777560	4976740	-10
	Busa Storiona	RO_16	1776810	4973800	-10
RO8	Busa Storiona - Foce Po di Tolle	RO_17	1776130	4971920	-10
	Foce Po di Tolle	RO_18	1775200	4969940	-10
RO9	Foce Po di Tolle - Foce Po di Gnocca	RO_19	1774180	4967870	-10
	Foce Po di Gnocca	RO_20	1772830	4965970	-10
RO10	Foce Po di Gnocca - Foce Po di Goro	RO_21	1771860	4964840	-10
	Foce Po di Goro	RO_22	1770960	4963810	-10

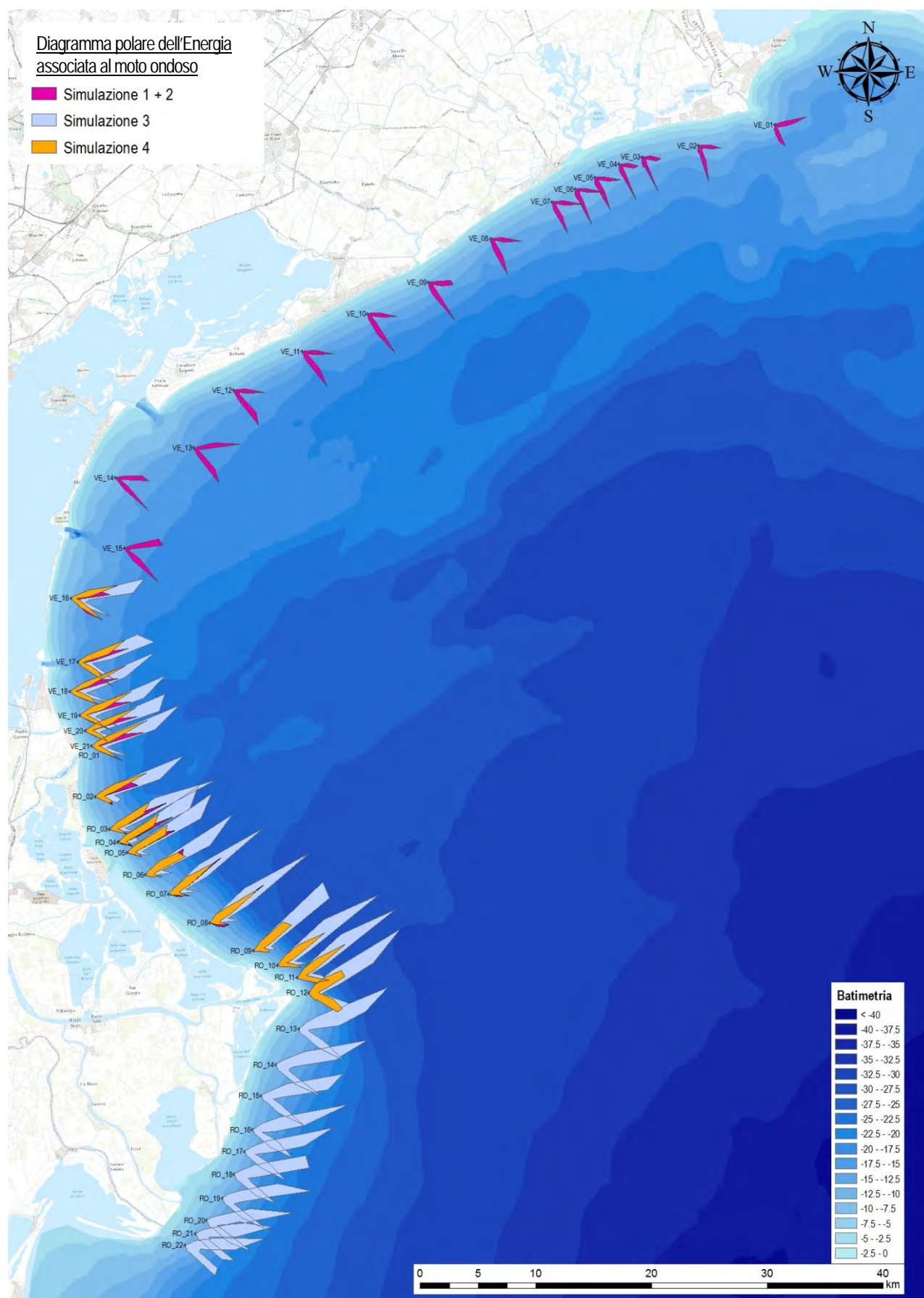


Fig. 19 Diagrammi dell'energia polare del moto ondoso ottenuti con il modello SWAN nei 42 punti di output posizionati lungo la costa del Veneto nelle tre simulazioni

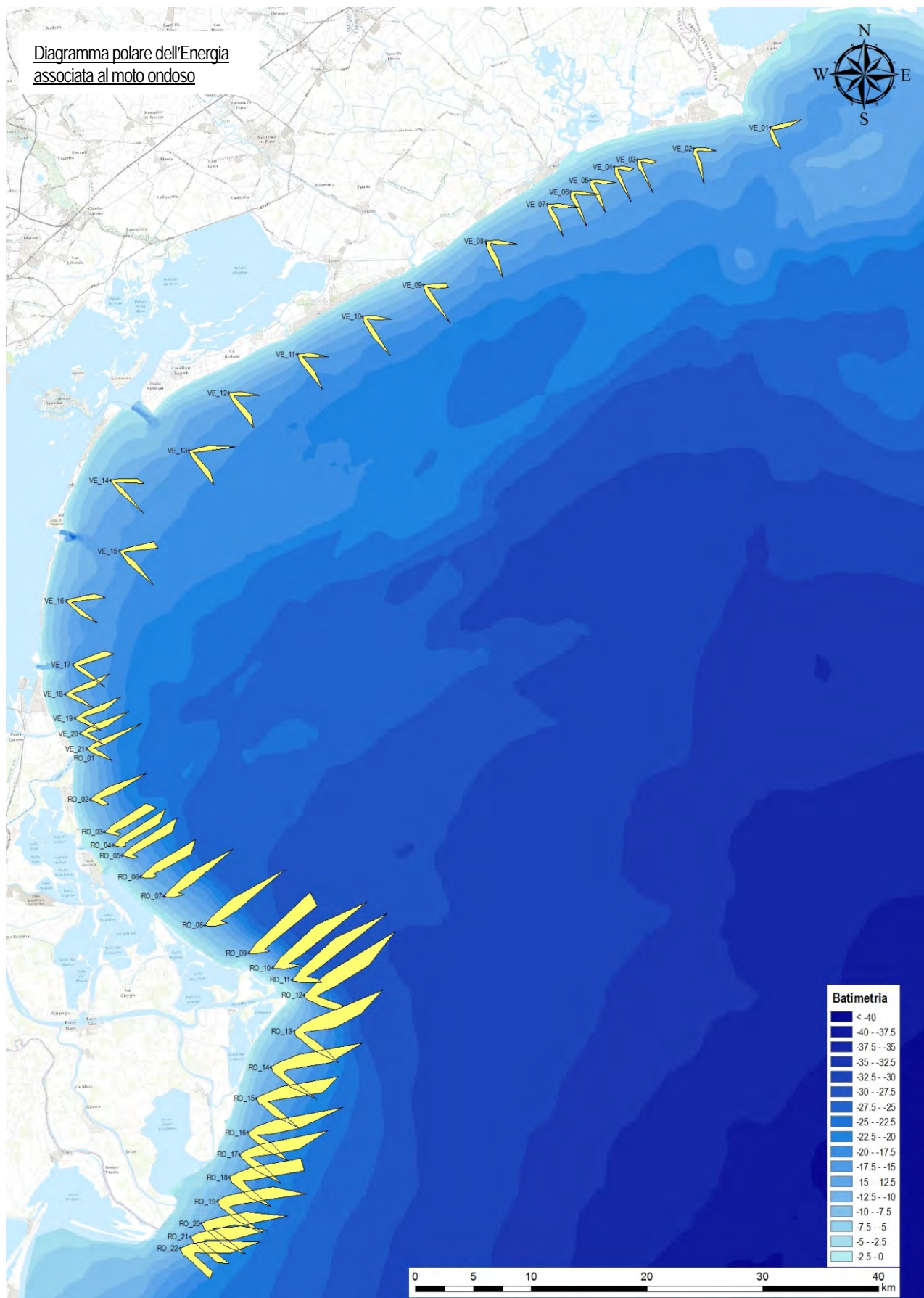


Fig. 20 Diagrammi finali dell'energia polare del moto ondoso nei 42 punti di output posizionati lungo la costa del Veneto

3.3.1 Statistica degli estremi al largo

L'analisi statistica degli eventi estremi ha lo scopo di associare i valori di altezza d'onda ai corrispondenti tempi di ritorno. Nelle elaborazioni effettuate è stata condotta la statistica degli estremi a partire dalla serie storica dei massimi soprasoglia nei due punti al largo (P1 e P2). Tale risultato è stato propagato, in maniera analoga a quanto fatto per il clima meteo – marino, nei 42 punti sotto costa precedentemente descritti, e sarà presentato nel paragrafo successivo.

La distribuzione probabilistica utilizzata per l'analisi statistica è quella di Gumbel. Di seguito si riporta l'andamento delle altezze d'onda > 2.5 metri osservati nei due punti tra il 1992 e il 2008, divisi nei due settori prevalenti (Bora e Scirocco).

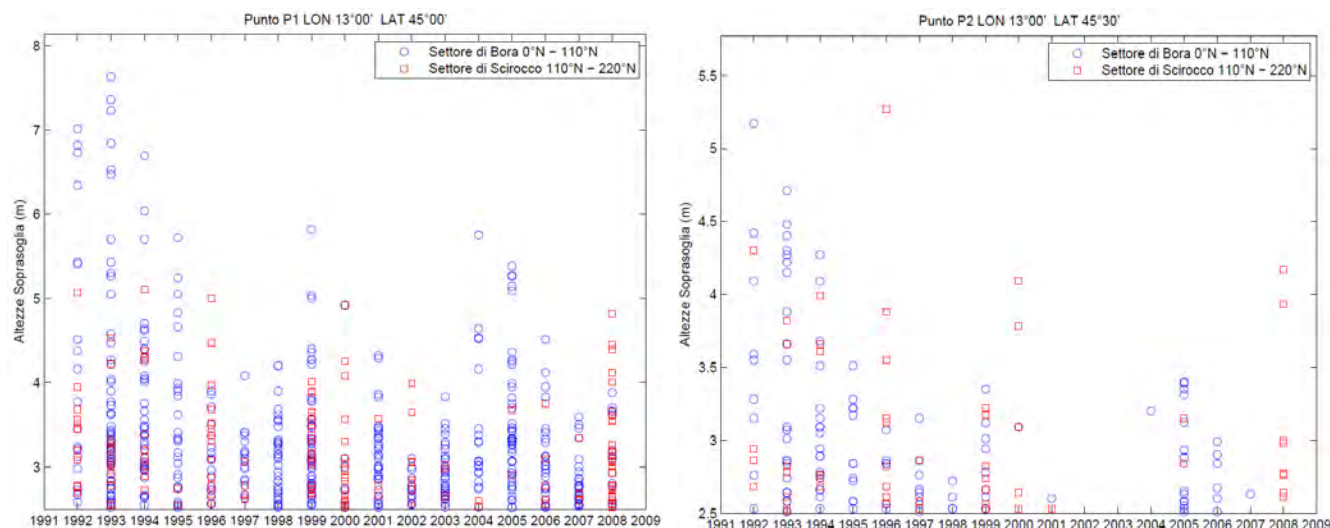


Fig. 21 Andamento altezze d'onda > 2.5 metri al punto P1 (sx), punto P2 (dx)

I risultati ottenuti dalla elaborazione statistica sono i seguenti:

Tab. 10 Analisi Statistica nei due punti P1 e P2

STATISTICA DEGLI ESTREMI AL PUNTO P1			
Settore di Bora			
Tr	Hs	Tp	Dir
1	5.8	9.8	64
10	7.3	10.6	64
50	8.1	10.9	64
100	8.5	11.1	64

Settore di Scirocco			
Tr	Hs	Tp	Dir
1	4.1	9.4	144
10	5.0	10.1	144
50	5.4	10.3	144
100	5.6	10.5	144

STATISTICA DEGLI ESTREMI AL PUNTO P2			
Settore di Bora			
Tr	Hs	Tp	Dir
1	3.7	8.3	66
10	4.7	9.0	66
50	5.3	9.3	66
100	5.5	9.4	66

Settore di Scirocco			
Tr	Hs	Tp	Dir
1	3.3	9.4	153
10	4.5	10.4	153
50	5.1	10.9	153
100	5.4	11.1	153

3.3.2 Statistica degli estremi sotto costa

La valutazione delle condizioni al contorno per la simulazione della propagazione degli eventi estremi è stata ottenuta in base all'analisi statistica sui dati CNR della serie 1992-2008 relativi ai punti P1 e P2 sopra descritta. In questo scenario il modello SWAN è stato utilizzato con le modalità sostanzialmente analoghe a quelle adottate per il caso precedente, ipotizzando l'azione su tutto il dominio di calcolo di un vento uniformemente distribuito di intensità determinata sulla base delle caratteristiche delle onde sul bordo di ingresso dell'azione d'onda.

Come nelle elaborazioni sul clima ondoso descritte precedentemente, i dati relativi al punto P1 sono stati utilizzati per calcolare la propagazione delle onde estreme, sia dal settore di Bora che da quello di Scirocco, verso i punti disposti lungo il litorale del Delta del Po (griglia DdP).

Per calcolare la propagazione delle onde estreme verso il litorale Veneziano (griglie LV1 e LV2) si è reso necessario differenziare, come anticipato precedentemente, l'attribuzione delle condizioni al contorno per le simulazioni degli eventi provenienti dal settore di Scirocco e per quelle degli eventi provenienti dal settore di Bora.

Nel primo caso, simulato con la griglia LV1, è stata applicata la condizione relativa al punto P1, ossia la medesima utilizzata per il litorale della provincia di Rovigo. Per le simulazioni relative alle mareggiate provenienti dal settore di Bora (griglia LV2), si è riscontrato che, se si fossero assegnate sul bordo orientale della griglia, come è stato fatto per le simulazioni relative al clima ondoso, le caratteristiche delle onde valutate nel punto P2, si sarebbero ottenuti risultati probabilmente poco cautelativi per la massima altezza del moto ondoso sul litorale Veneziano meridionale (litorale di Chioggia e delle foci Brenta e Adige). Per tale ragione si è scelto di determinare le caratteristiche del moto ondoso da applicare sul contorno aperto della griglia mediante una procedura semplificata basata sul metodo SMB (Fig. 22). Le onde così ottenute consentono da una parte di ottenere una buona corrispondenza tra le altezze d'onda valutate per i diversi tempi di ritorno con il modello nel punto P2 e quelle valutate nello stesso punto con l'analisi statistica, dall'altro di simulare più realisticamente la progressiva crescita di altezza del moto ondoso nella sua propagazione verso SW, ed ottenere delle stime di onda massima a ridosso della costa occidentale congruenti con le valutazioni ottenute con la griglia del Delta del Po (griglia DdP) forzata con le onde del punto P1.



Fig. 22 Applicazione delle condizioni al contorno per la propagazione degli estremi di Bora sul litorale Veneziano

Nelle schede riassuntive per cella sono riportate i valori dell'altezza significativa (in m), del periodo medio di picco (in s) e della direzione media (in gradi rispetto al Nord) corrispondenti agli eventi con tempo di ritorno stimato di 1, 10, 50 e 100 anni.

- Litorale della Provincia di Venezia

Nelle Fig. 23 e Fig. 24 sono rappresentati in forma grafica i valori calcolati dell'altezza significativa per tutti i punti di interesse per le 4 simulazioni effettuate.

Infine, nella successiva Fig. 25 sono riportati, a titolo di esempio, due mappe rappresentative dei campi d'onda calcolati con il modello SWAN in simulazioni relative ad eventi di Bora e di Scirocco. Le figure, che rappresentano con una scala di colori l'altezza d'onda e con vettori di lunghezza unitaria la direzione dell'onda stessa, si riferiscono al caso degli eventi con tempo di ritorno stimato in 50 anni.

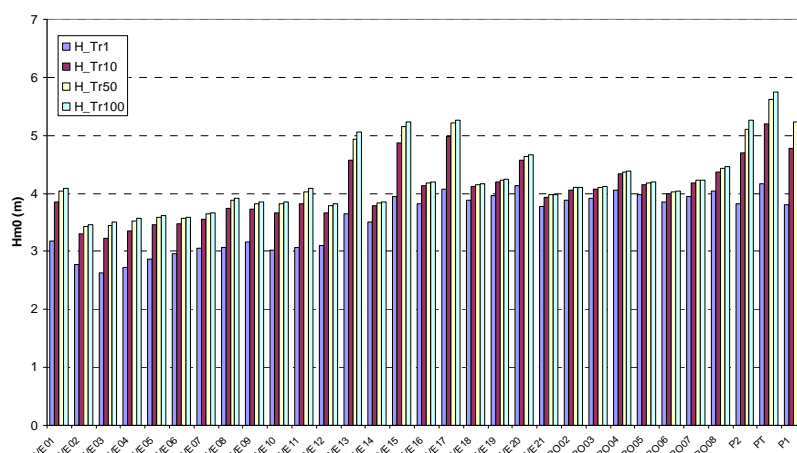


Fig. 23 Litorale della Provincia di Venezia – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Bora. Altezze d'onda significativa (H_{m0}) calcolate nei punti di riferimento alla batimetria -10,0 m

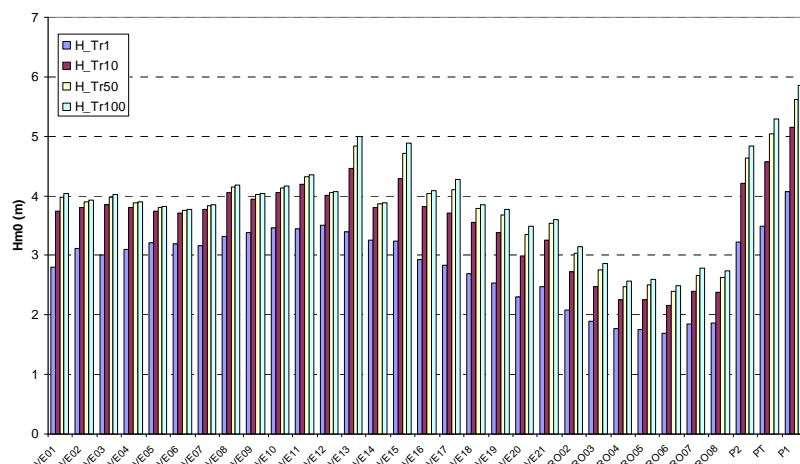


Fig. 24 Litorale della Provincia di Venezia – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Scirocco. Altezze d'onda significativa (H_{m0}) calcolate nei punti di riferimento alla batimetria -10.0 m

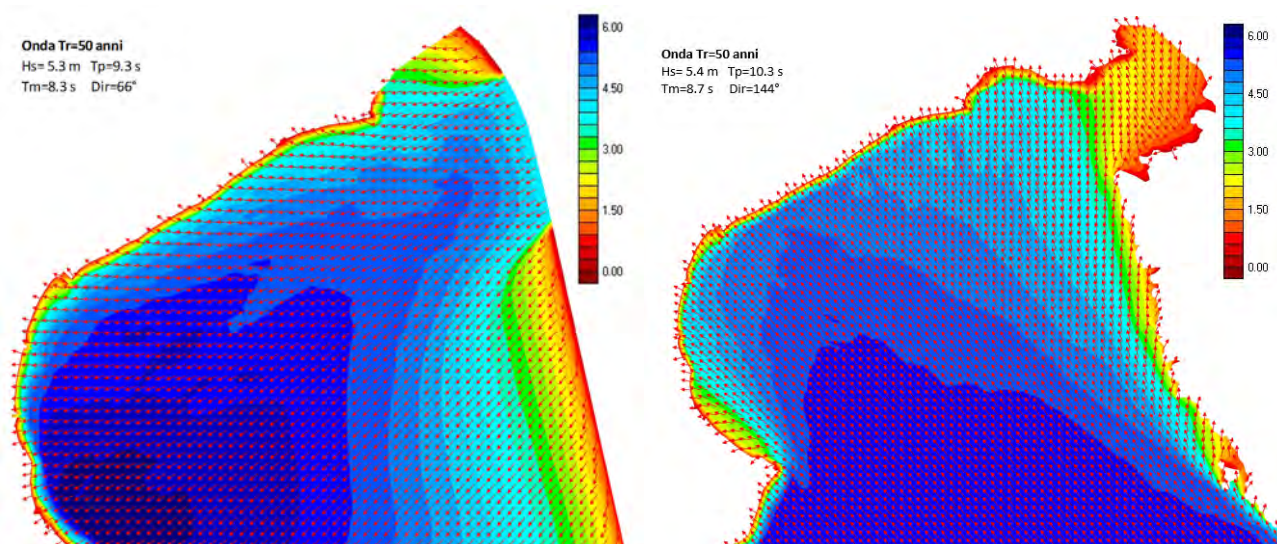


Fig. 25 Campi d'onda calcolati per le simulazioni degli eventi estremi di Bora (sx) e di Scirocco (dx) aventi tempi di ritorno stimato in 50 anni per il litorale della Provincia di Venezia

- Litorale della Provincia di Rovigo

Nelle Fig. 26 e Fig. 27 sono rappresentati in forma grafica i valori calcolati dell'altezza significativa per tutti i punti di interesse per le 4 simulazioni effettuate.

Infine, nella successiva Fig. 28 sono riportati, a titolo di esempio, due mappe rappresentative dei campi d'onda calcolati con il modello SWAN in simulazioni relative ad eventi di Bora e di Scirocco. Le figure, che rappresentano con una scala di colori l'altezza d'onda e con vettori di lunghezza unitaria la direzione dell'onda stessa, si riferiscono al caso degli eventi con tempo di ritorno stimato in 50 anni.

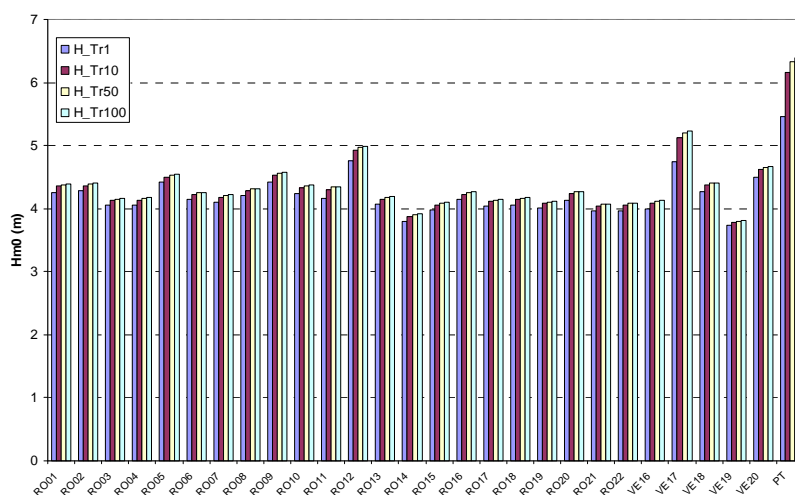


Fig. 26 Litorale della Provincia di Rovigo – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Bora.
Altezze d'onda significativa (H_{m0}) calcolate nei punti di riferimento alla batimetria -10.0 m

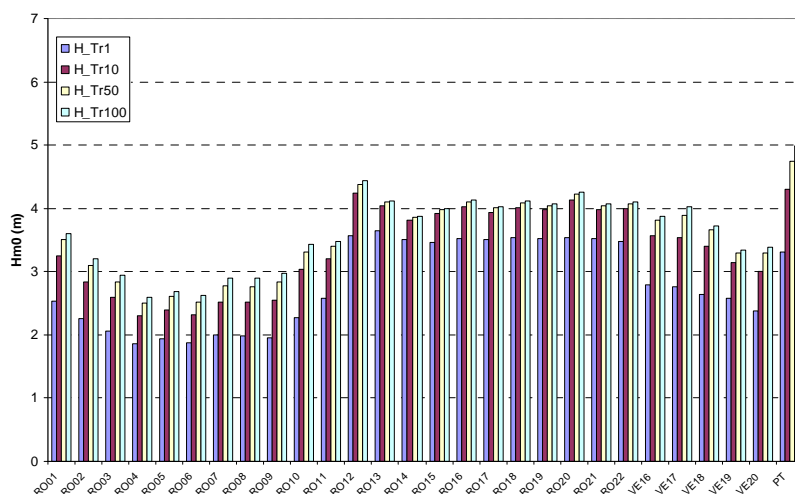


Fig. 27 Litorale della Provincia di Rovigo – Propagazione degli eventi estremi provenienti dal settore di Scirocco.
Altezze d'onda significativa (H_{m0}) calcolate nei punti di riferimento alla batimetria -10.0 m

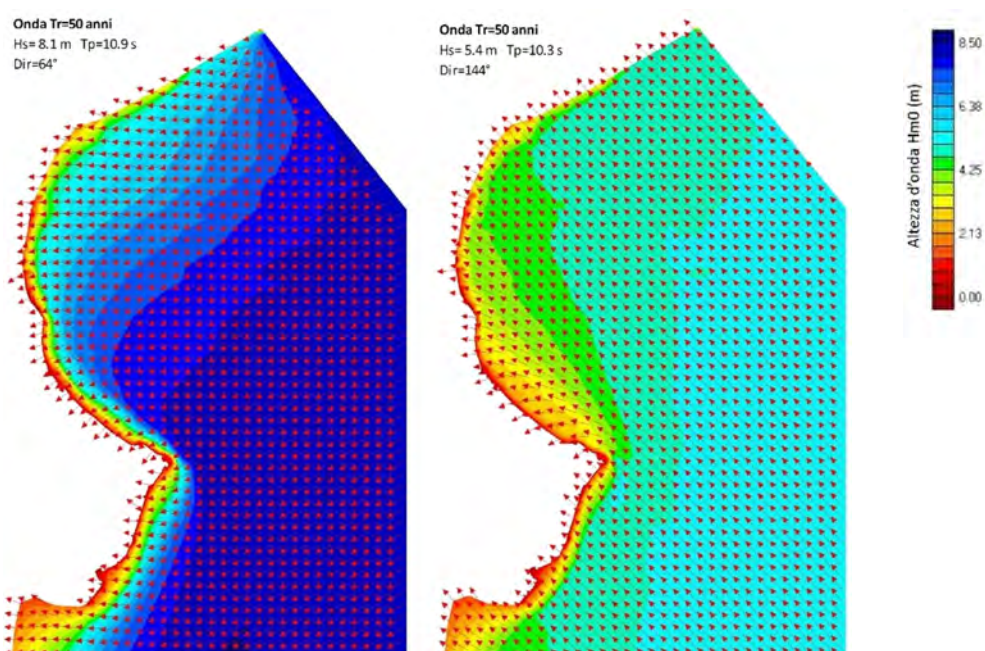


Fig. 28 Campi d'onda calcolati per le simulazioni degli eventi estremi di Bora (sx) e di Scirocco (dx) aventi tempi di ritorno stimato in 50 anni per il litorale della Provincia di Rovigo

3.4 STATISTICA ESTREMI E MAREE ALLA PIATTAFORMA "ACQUA ALTA"

I dati disponibili alla piattaforma oceanografica "Acqua Alta" hanno permesso di effettuare un'analisi statistica degli eventi estremi sia di altezze d'onda che di maree separatamente e un'analisi statistica combinata di altezze e maree. La Tab. 11 riassume le altezze massime e i livelli massimi e minimi registrati alla torre negli anni di osservazione.

Tab. 11 Massimi registrati alla Torre "Acqua Alta"

Anni	livello medio (m)	livello max (m)	livello min (m)
1980	0.22	1.28	-0.66
1981	0.21	1.47	-0.71
1982	0.20	1.27	-0.69
1983	0.20	1.20	-0.65
1984	0.23	1.20	-0.66
1985	0.22	1.22	-0.59
1986	0.22	1.47	-0.61
1987	0.25	1.26	-0.54
1988	0.22	1.02	-0.66
1989	0.16	1.00	-0.84
1990	0.16	1.17	-0.80
1991	0.18	1.09	-0.81
1992	0.17	1.41	-0.75
1993	0.19	1.23	-0.85
1994	0.22	1.07	-0.83
1995	0.22	1.06	-0.59
1996	0.27	1.20	-0.58
1997	0.26	1.23	-0.66
1998	0.26	1.13	-0.61
1999	0.28	1.27	-0.56
2000	0.25	1.16	-0.65
2001	0.28	1.21	-0.55
2002	0.29	1.30	-0.62
2003	0.24	1.07	-0.64
2004	0.28	1.25	-0.70
2005	0.25	1.25	-0.74
2006	0.26	1.09	-0.60
2007	0.25	1.02	-0.64
2008	0.28	1.51	-0.79
2009	0.34	1.42	-0.61
2010	0.40	1.36	-0.41
2011	0.30	1.13	-0.52
2012	0.30	1.37	-0.56
2013	0.36	1.41	-0.50
2014	0.40	1.26	-0.38

Anni	H max (m)	Dir (°N)	T (s)
1987	3.00	131	10.00
1988	3.11	63	6.00
1989	2.20	132	8.00
1990	3.33	107	9.50
1991	3.02	-	9.00
1992	4.17	106	8.50
1993	3.35	108	7.00
1994	2.82	67	6.00
1995	3.49	-	7.50
1996	3.00	-	5.50
1997	2.93	69	6.30
1998	3.18	69	6.36
1999	3.45	83	2.90
2000	3.11	32	9.80
2001	2.87	59	6.10
2002	3.64	63	8.70
2003	3.08	80	6.90
2004	3.37	-	4.40
2005	3.36	72	6.80
2006	2.29	42	7.00
2007	2.47	73	7.27
2008	4.27	121	10.67
2009	3.39	122	9.20
2010	3.79	72	7.63
2011	3.27	71	8.01
2012	4.99	125	-
2013	3.52	71	-
2014	3.26	128	-

Di seguito si riporta l'andamento delle altezze d'onda > 2.5 metri osservati, divisi nei due settori prevalenti (Bora e Scirocco) e i risultati ottenuti (Fig. 29 e Tab. 12).

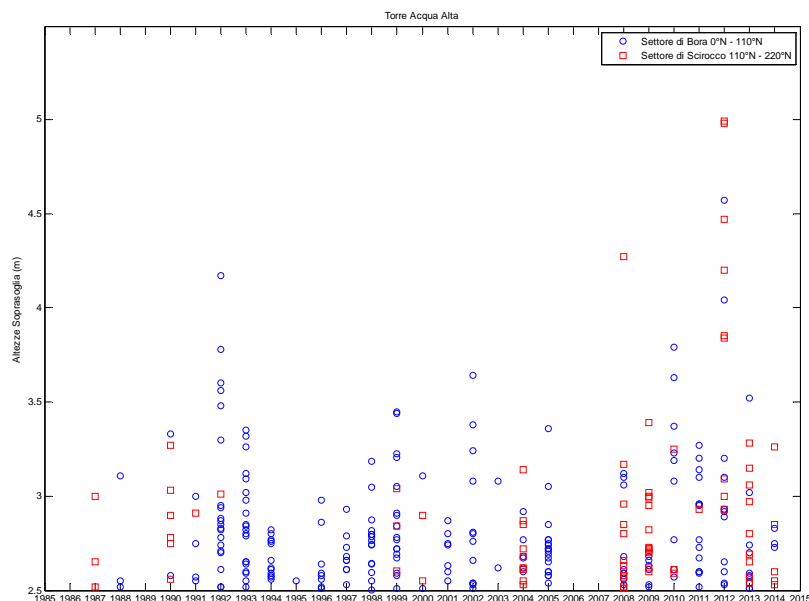


Fig. 29 Andamento altezze d'onda > 2.5m alla Piattaforma Acqua Alta
(dati CVN 1987 – 2014)

Tab. 12 Analisi Statistica onde alla piattaforma
"Acqua Alta"

STATISTICA DEGLI ESTREMI "Acqua Alta"			
Settore di Bora			
Tr	Hs	Tp	Dir
1	3.3	5.0	71
10	4.3	5.1	71
50	4.8	5.6	71
100	5.0	5.8	71

Settore di Scirocco			
Tr	Hs	Tp	Dir
1	3.3	9.5	121
10	4.9	10.8	121
50	5.7	11.3	121
100	6.1	11.5	121

L'analisi statistica dei livelli di marea ha fornito i risultati di seguito elencati (Fig. 30 e Tab. 13)

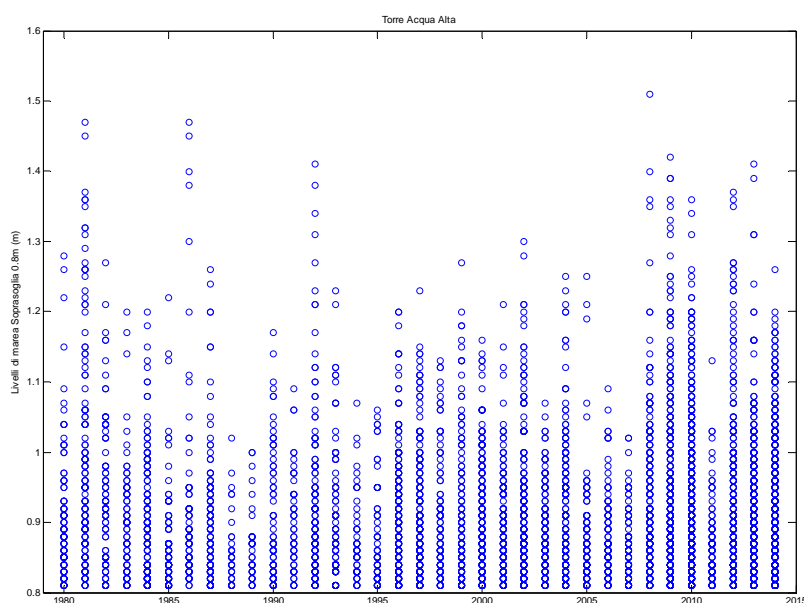


Fig. 30 Andamento livelli di marea > 0.8m alla Piattaforma Acqua Alta
(dati Comune di Venezia 1980 – 2014)

Tab. 13 Analisi Statistica maree alla piattaforma
"Acqua Alta"

STATISTICA DEGLI ESTREMI "Acqua Alta"	
Tr	Livello di marea (m)
1	1.15
5	1.35
10	1.40
25	1.46
50	1.51
100	1.56
300	1.63

3.4.1 Statistica combinata altezze d'onda – maree

Lo studio delle caratteristiche meteomarine effettuato dal "Magistrato alle Acque – Consorzio Venezia Nuova" per la progettazione delle paratoie mobili presso le bocche della laguna di Venezia, propone la statistica combinata realizzata sui dati registrati presso la Piattaforma "Acqua Alta" dal Ottobre 1987 al Dicembre 2007. "La valutazione della statistica combinata ha l'obiettivo di individuare le coppie di valori Hs-livello, caratterizzate dalla stessa probabilità di superamento o periodo di ritorno. Le coppie individuano una curva di equiprobabilità che, in corrispondenza dagli assi, convergono ai valori di Hs e h individuati con le statistiche disgiunte" (Tab. 14 e Tab. 15, Fig. 31).

Ad esempio la curva arancione è il luogo dei punti che caratterizzano condizioni meteomarine (Hs-livello) che vengono superate con tempo di ritorno di 10 anni.

Tab. 14 Valori statistica combinata presente nello studio "MAV-CVN"

Tr	Livello	Hs
5	0.7	4.4
5	1	4
5	1.18	3
10	0.75	4.7
10	1	4.4
10	1.3	3.5
100	0.8	5.6
100	1.3	5
100	1.5	4.6
100	1.64	4
300	1	6
300	1.5	5.5
300	1.7	5
300	1.85	4
1000	1.25	6.4
1000	1.7	6
1000	2	5
1000	2.05	4

Tab. 15 Valori statistica univariata presente nello studio "MAV-CVN" dei livelli di marea (sx) e delle altezze d'onda (dx)

Tr	Livello	Tr	Hs
5	1.18	5	4.4
10	1.3	10	4.7
100	1.64	100	5.6
300	1.85	300	6
1000	2.05	1000	6.4

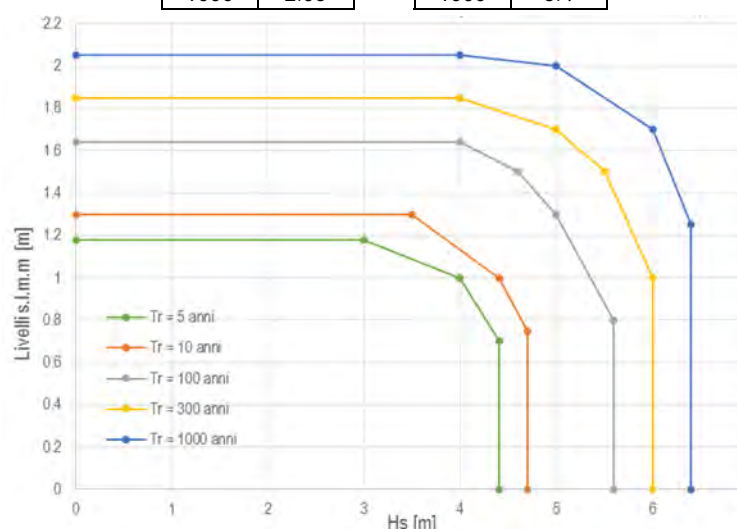


Fig. 31 Statistica combinata alla Piattaforma "Acqua Alta" (Ott. 1987 – Dic. 2007), curve di equiprobabilità

3.5 CONCLUSIONI

L'analisi dello stato attuale della zona costiera deve essere basata su una accurata ricostruzione del clima ondoso medio sotto costa. Lo scenario individuato serve anche per la progettazione degli interventi futuri nell'ipotesi che l'evoluzione climatica sia correttamente interpretata.

Purtroppo, è stato solo possibile usufruire delle elaborazioni di clima ondoso effettuate dal CNR-ISMAR per il periodo 1992-2008 per alcuni punti al largo e non è stato possibile ottenere i risultati di una analoga modellazione aggiornata e relativa a punti prossimi alla costa, di fronte a ciascuna delle celle di interesse. È auspicabile che eventuali aggiornamenti di questo studio possano avvalersi dei più avanzati metodi di indagine meteo-marina.

Al fine di poter ricostruire il clima ondoso sotto riva, le informazioni disponibili sono state propagate con il modello SWAN, tipicamente a disposizione degli istituti di ricerca e delle società di consulenza. In mancanza del dettaglio delle informazioni di vento contemporanee a quelle ondose, è stato necessario procedere con diverse simulazioni e ipotesi di condizioni al contorno. Per mezzo di una sintesi ingegneristica sono stati definiti un clima e una statistica degli estremi per ogni punto.

4. SUBSIDENZA DELLA FASCIA COSTIERA

4.1 SUBSIDENZA NELL'AREA DEL LITORALE VENETO

Il fenomeno della subsidenza consiste in un lento movimento di abbassamento della superficie del terreno che può avere un'estensione areale più o meno vasta ed una velocità che va da qualche decimo di millimetro a decine di millimetri all'anno.

Le principali cause di tale fenomeno sono connesse con processi naturali e/o con l'aumento della pressione antropica. I principali fenomeni naturali sono i processi tettonici e geodinamici, la consolidazione dei terreni a causa dei carichi litostatici, la deglaciazione e il carsismo. Le azioni dell'uomo che possono indurre fenomeni di subsidenza sono generalmente legate all'estrazione di fluidi e solidi dal sottosuolo e dalla escavazione di materiali per la creazione di tunnel sotterranei.

Le aree della costa veneta principalmente soggette a fenomeni di abbassamento sono quelle della laguna di Venezia e del delta Po (Fig. 32). In tali aree le cause della subsidenza si sono sommate, poiché l'azione dell'uomo, come spesso accade, va ad agire in aree naturalmente predisposte al fenomeno, in quanto sono aree che per le loro caratteristiche geologico e ambientali favoriscono lo sfruttamento delle risorse del sottosuolo e la realizzazione di strutture e infrastrutture.

Le cause naturali predisponenti sono da porre in relazione con la natura dei depositi che costituiscono il sottosuolo dell'area litorale (Fig. 33) e con il regime geodinamico dell'area (Fig. 34). In linea generale il sottosuolo è costituito da circa 5000 metri di alternanze di sabbie e argille siltose plioceniche e quaternarie che danno origine ad una serie di acquiferi di acqua dolce sovrapposti tra i 300 e i 450m (600m nel Delta del Po); sotto i 450m sono presenti acquiferi di acqua salata, sfruttati per estrarre acque ricche in gas metano; infine, tra i 1000 e i 1400m, in zona sud-occidentale, un sistema di pieghe costituisce un ambiente di trappole tettoniche per gas metano. La subduzione della placca adriatica sotto quella europea rappresenta, secondo alcuni autori (Carminati et al., 2002), il motivo tettonico principale che induce subsidenza nell'area litorale.

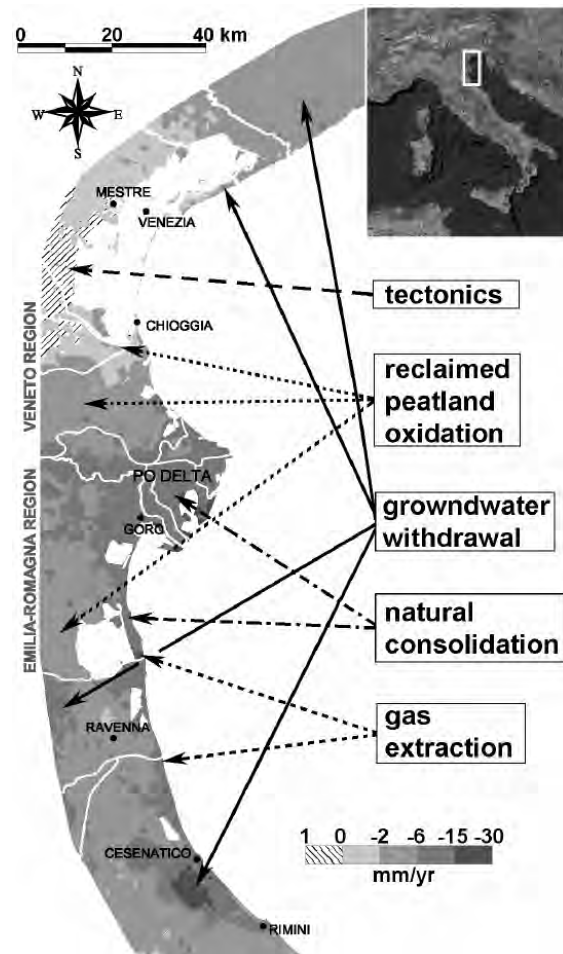


Fig. 32 Tassi di subsidenza nell'area dell'Alto Adriatico misurati con tecniche interferometriche (PS) applicate a dati ERS-SAR acquisiti tra il 1992 e il 2000 e relative cause preponderanti (Bitelli et al., 2010)

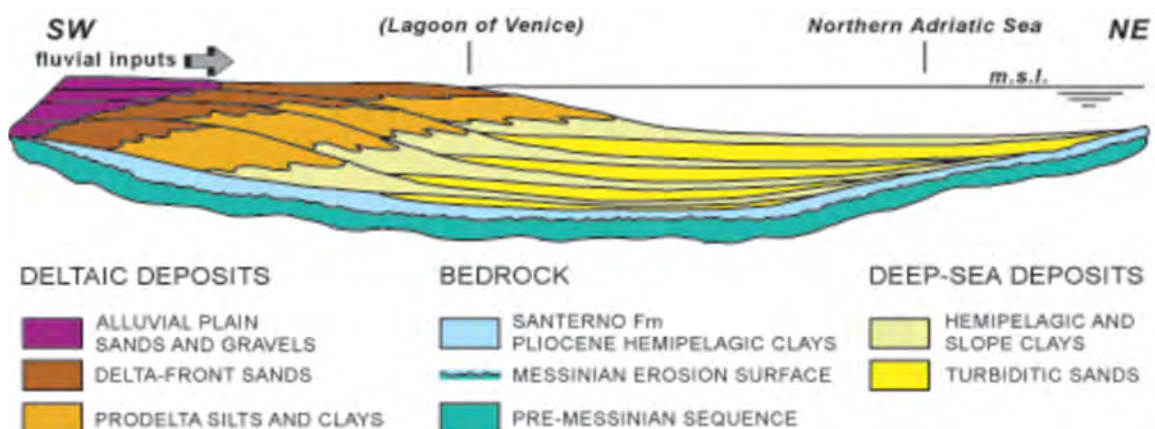


Fig. 33 Sezione geologica da SW verso NE comprendente la laguna di Venezia e il Mar Adriatico Settentrionale (Brambati et al., 2003)

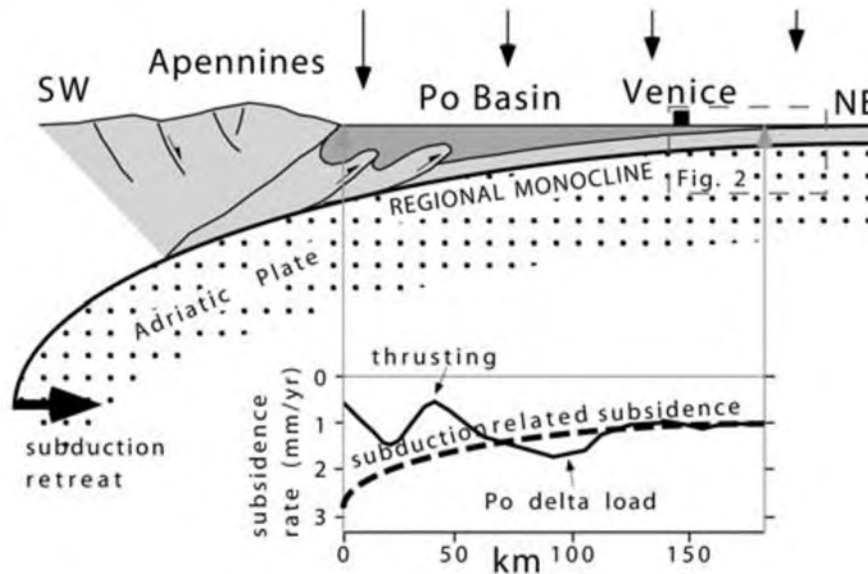


Fig. 34 Schema subduzione della placca adriatica sotto quella europea e implicazioni per la subsidenza nel Delta del Po (Carminati e Doglioni, 2003)

La subsidenza della costa veneta, ha subito una notevole variazione negli anni in funzione dello sfruttamento delle risorse di cui dispone (gas, acqua). Sull'area della pianura Padana insistono il 40% delle attività produttive dell'Italia e risulta evidente che l'intensità dei fenomeni interessanti l'area stessa sia dovuta principalmente a cause antropiche.

Carminati e Martinelli (2002) hanno infatti individuato, attraverso un'analisi dei tassi di subsidenza naturale ed antropico, una correlazione tra lo sviluppo economico e l'accelerazione del tasso di subsidenza della piana del Po. Pertanto, è utile considerare il periodo in cui si è verificato lo sviluppo industriale dell'area (1950-1970) come riferimento per analizzare l'evoluzione della subsidenza nel tempo.

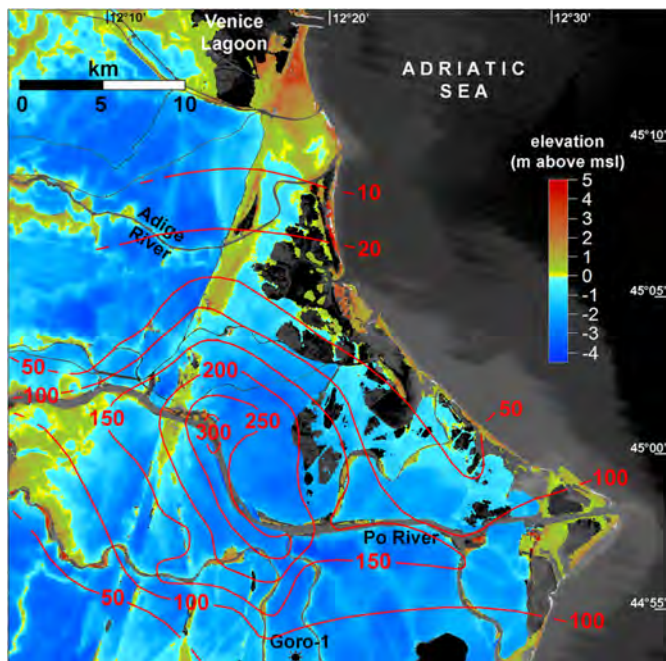


Fig. 35 Isocinetiche di subsidenza relative al periodo 1950-1957 (Teatini et al., 2011)

Prima dell'epoca industriale, l'abbassamento del livello del suolo era dovuto essenzialmente a fenomeni tettonici (Fig. 34) ed, in particolare, alla subduzione della placca adriatica con conseguente formazione di una monoclinale in direzione SW. Un'altra aliquota di deformazione era dovuta alla consolidazione naturale dei sedimenti. Carminati e Martinelli (2002) hanno stimato che, prima dell'epoca industriale, il tasso di subsidenza dovuto a cause naturali era di circa 1.3 mm/anno per la laguna di Venezia e di 2.5 mm/anno nell'area del delta Po.

Durante l'epoca industriale (1950-1970), l'intero sistema di acquiferi sovrapposti è stato sovra sfruttato con pozzi che hanno raggiunto i 600 m, provocando un abbattimento della piezometrica di 40 m in pochi anni. Questo ha generato un incremento del tasso di subsidenza rispetto agli anni precedenti, la cui stima è riportata in Fig. 35 (Teatini et al., 2011).

Nelle aree in cui sono installate piattaforme per l'estrazione di gas, i tassi di subsidenza tra il 1950 ed il 1957 hanno raggiunto un massimo di 30 cm/anno in corrispondenza del delta interno del Po. Nell'area del delta esterno del Po, il tasso di subsidenza relativo allo stesso periodo ha raggiunto i 10 cm/annui, nella zona industriale di Venezia 1.7 cm/anno ed a Venezia 1 cm/anno. Carminati e Martinelli (2002), inoltre, hanno stimato che il tasso di subsidenza dell'area nel periodo successivo all'epoca industriale (1970-1995) sia variato tra 0 e 70 mm/annui e che il massimo si sia registrato nelle aree a ridosso del delta del Po

e nei pressi della città di Bologna. I valori minimi hanno riguardato le aree tettonicamente attive a ridosso di Mirandola e Ferrara. Essendo questi valori di un ordine di grandezza superiore rispetto a quello stimato prima del 1950, hanno dimostrato che le attività antropiche sono state la principale causa della subsidenza dell'area.

Nel periodo successivo all'epoca industriale (dal 1970 ad oggi) si è registrata una forte diminuzione dell'estrazione di acqua. Questo ha provocato una forte riduzione dei tassi di subsidenza registrati. Come evidenziato in Fig. 36, le velocità medie riferite rispettivamente ai periodi 1973-1993 e 1993-2000 non hanno mai superato i 5 mm/annui nell'area della laguna veneziana.

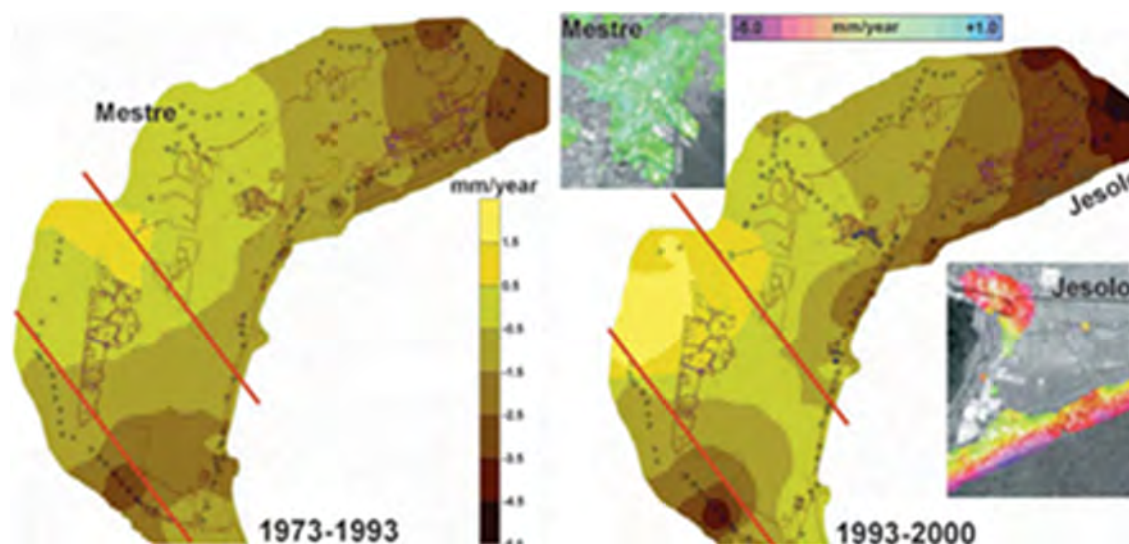


Fig. 36 Tassi di subsidenza nei periodi 1973-1993 e 1993-2000 nell'area della laguna veneziana. (Brambati et al., 2003)

Nello specifico, dal 1970 ad oggi si è riscontrato il verificarsi di una subsidenza dovuta quasi esclusivamente a cause naturali. In particolare, nella laguna di Venezia centrale (asse Mestre-Lido di Venezia) si sono registrate velocità dell'ordine dei 0.4 mm/annui; alle estremità settentrionali e meridionali della laguna, velocità tra i 2 ed i 4 mm/annui; in corrispondenza del litorale settentrionale e di quello meridionale, 1-3 mm/annui e nell'area del Delta Po velocità di 10-15 mm/annui.

La subsidenza naturale dipende dalla natura dei terreni presenti nelle varie zone. Nelle aree circostanti la laguna di Venezia, vi è una predominanza di strati argillosi più compressibili rispetto a quelli sabbiosi (più rigidi) e vi sono aree con terreni ricchi di materiali organici soggetti ad ossidazione. Le deformazioni maggiori si registrano nella zona del Delta del Po in cui vi sono terreni più giovani e più compressibili. Teatini et al. (2011) ha correlato il tasso di subsidenza dell'area del Delta del Po con l'età delle formazioni presenti (Fig. 37)

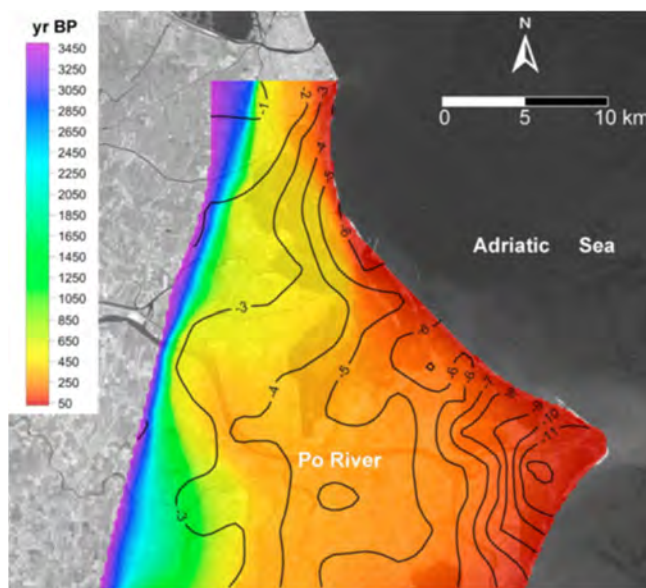


Fig. 37 Tasso di subsidenza sovrapposto alla mappa dell'età delle formazioni del delta Po (Teatini et al., 2011)

4.2 PREVISIONI FUTURE

Il cambiamento climatico sta provocando un forte aumento del numero di fenomeni meteorologici estremi (Fig. 38) ed un continuo innalzamento del livello medio del mare. Le immediate conseguenze di questo fenomeno sono i danni diretti e indiretti alla popolazione, al patrimonio monumentale e all'agricoltura a causa delle frequenti inondazioni, anche per scavalcamento delle barriere artificiali poste a protezione delle aree sotto il livello del mare.

In particolare si stanno creando vari problemi alla rete idraulica all'interno delle lagune Venete, con erosione del fondale, riempimento dei canali di marea e danni all'ecologia lagunare.

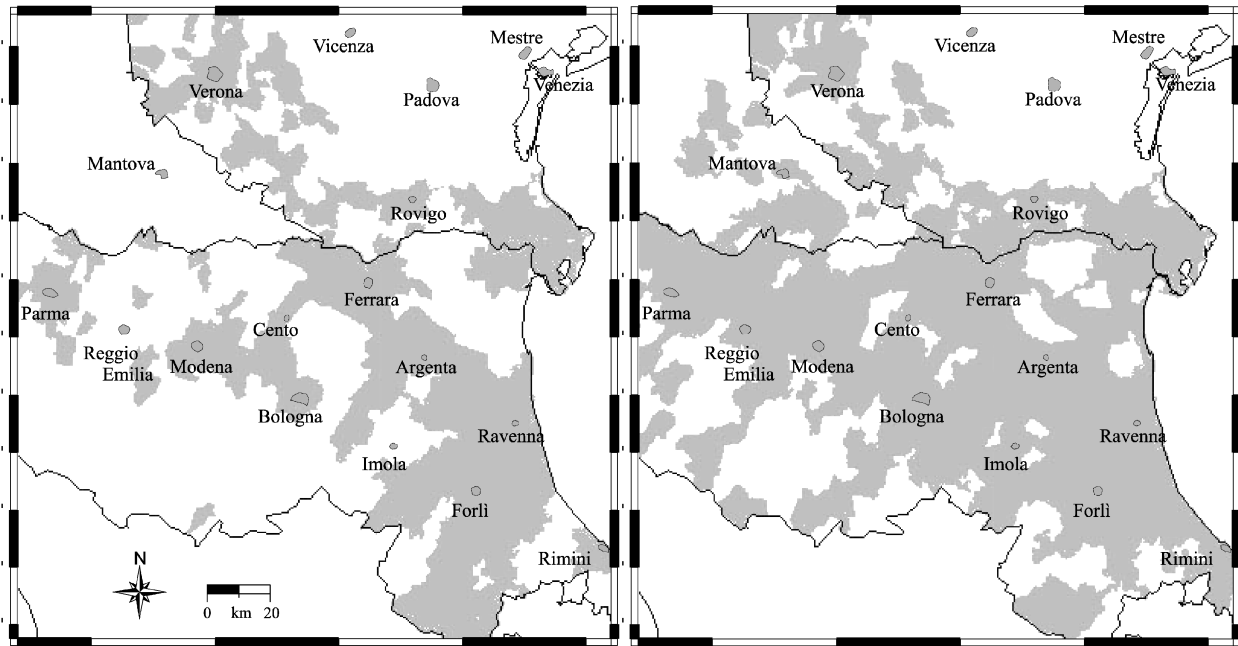


Fig. 38 Zone soggette ad almeno un'alluvione significativa, 1900 – 1950 (sx) e 1950 -2000 (dx), (Carminati, 2002)

4.3 MISURE PREVENTIVE: INTERFEROMETRIA RADAR SATELLITARE

Il monitoraggio dei fenomeni deformativi del suolo rappresenta una condizione necessaria per la mitigazione dei rischi connessi. Tale monitoraggio può essere eseguito con tecniche di livellamento tradizionale o DGPS (*Differential Global Positioning System*) o con tecniche più innovative di monitoraggio satellitare brevemente descritte nel paragrafo successivo.

Già a partire dagli anni 70 la serie di satelliti Landsat, muniti di sensori multispettrali con risoluzione spaziale dell'ordine della decina di metri a terra e tempi di rivisitazione dell'ordine del mese, hanno contribuito alla caratterizzazione morfologica e geologica di vaste aree, dimostrando che il telerilevamento, grazie soprattutto all'elevata copertura spaziale e multitemporale, alla rapidità nell'acquisizione dei dati ed alla complessiva economicità, poteva essere considerato come un efficace strumento di indagine per l'analisi dei rischi e dell'evoluzione del territorio.

Dopo circa trent'anni di progresso tecnologico nel campo dei sensori, sono stati realizzati i sensori SAR (*Synthetic Aperture Radar*) che illuminano le zone osservate con onde radio centimetriche, per le quali le nuvole sono del tutto trasparenti e che, pertanto, sono in grado di operare sia di giorno che di notte e con ogni copertura nuvolosa. Inoltre, grazie a tecniche innovative, denominate *Advanced Differential Interferometric Synthetic-Aperture-Radar (A-DInSAR) techniques* è possibile misurare le deformazioni della superficie terrestre, proiettate lungo la congiungente sensore-bersaglio (*Line of Sight – LOS o slant-range direction*, Fig. 39), calcolando la differenza di fase di immagini che facciano riferimento alla medesima area, ma rilevate in tempi differenti (Fig. 40).

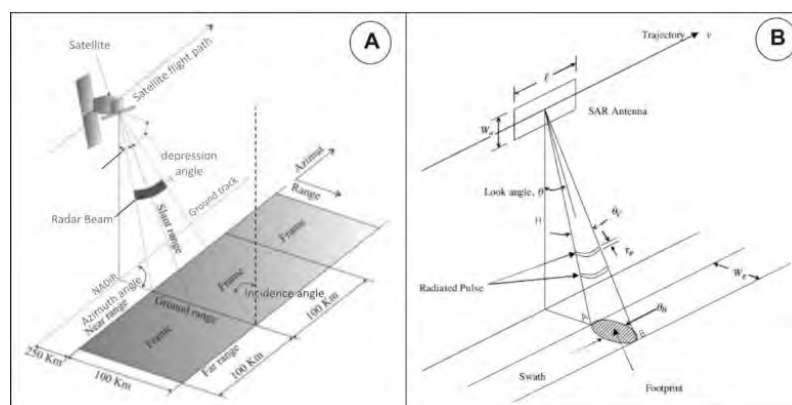


Fig. 39 Geometria di acquisizione di una immagine radar (image credit: NASA/JPL)

Tali tecniche consentono, in particolare, di operare un monitoraggio continuo e prolungato nel tempo di aree estese con una precisione sub-centimetrica (funzione della lunghezza d'onda delle onde utilizzate) e risultano particolarmente efficaci se queste sono caratterizzate da deformazioni a componente prevalentemente verticale, ossia in cui siano presenti fenomeni di

subsidenze e *sinkholes*.

Utilizzando immagini acquisite in tempi differenti (*baseline temporale*) e da diverse posizioni orbitali (*baseline spaziale*), le elaborazioni possono risultare affette da errori, che si traducono in contributi aggiuntivi alla fase interferometrica e che possono ridurre fortemente la precisione della tecnica.

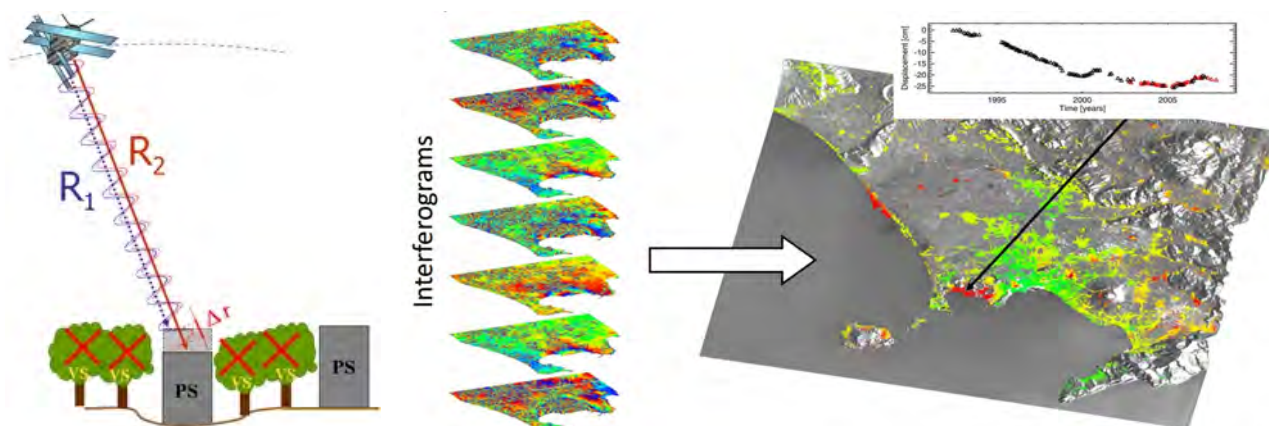


Fig. 40 Schema di funzionamento delle tecniche DInSAR, PS=Permanent Scatterers (sito Arpa Piemonte e sito CNR-IREA)

Tra i vari metodi applicabili per ovviare a questo problema, si annoverano quelli "*Coherence-based*", ai quali appartiene l'approccio noto come DInSAR SBAS (*Small BAseline Subset technique*), che sfrutta esclusivamente interferogrammi a piccole baseline spaziali e temporali e si caratterizza per l'elevata densità areale dei punti analizzabili (punti coerenti), ossia dei *target* per i quali sono preservate le informazioni di fase nei differenti interferogrammi.

Un altro tipo di approccio è quello della *Persistent Scatterers technique* (PS-like) che si basa sull'osservazione di un piccolo sottoinsieme di bersagli radar (*Permanent Scatterers* o PS), costituito tipicamente da parti di edifici, strutture metalliche, rocce esposte, le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano sensibilmente di acquisizione in acquisizione. Essi, preservando l'informazione di fase nel tempo ed al variare della geometria di acquisizione, superano gli eventuali problemi di "rumore".

L'uso congiunto di differenti tecniche A-DInSAR e di un monitoraggio in situ (GPS, estensimetri, ...), consente di ottenere una efficace caratterizzazione dei fenomeni. In particolare, il presente studio è volto a mostrare alcuni dei prodotti che è possibile ottenere tramite l'uso dei soli risultati satellitari nell'analisi dei fenomeni deformativi di un'area di 4300 Km². Risulta evidente che, per ottenere un'analisi delle deformazioni di un'area così estesa, sarebbe stato necessario implementare una rete di monitoraggio *in situ* sufficientemente densa ed attiva continuamente per decenni. Uno dei vantaggi, infatti del monitoraggio satellitare è che consente di sfruttare immagini di archivio dal 1992 al 2010 (tempo di rivisitazione di 35 giorni) e di acquisire ulteriori immagini dai satelliti attualmente in orbita (Fig. 41) caratterizzati da un tempo di rivisitazione tra i 4 giorni (per il sistema di satelliti *Cosmo Skymed*) e gli 11 giorni (per *Terrasar-X*) con una risoluzione delle immagini dell'ordine del metro.

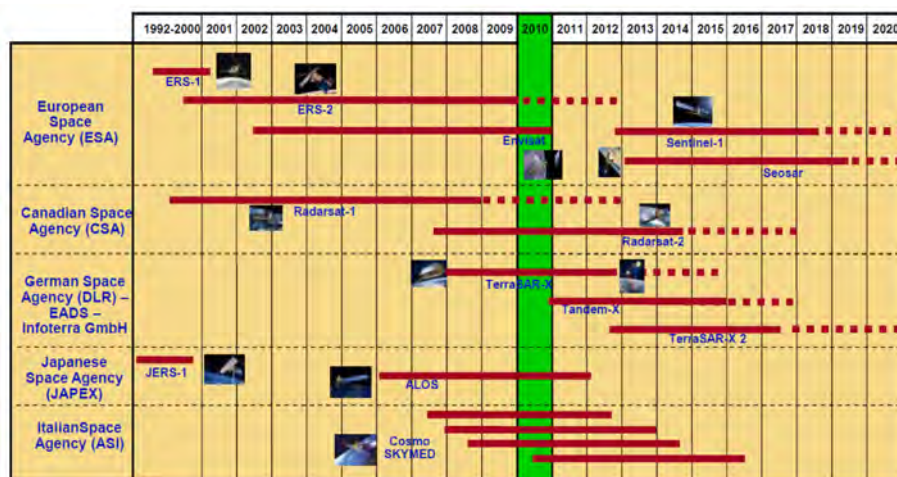


Fig. 41 Schema delle principali missioni spaziali dotate di sensori SAR (sito ESA - European Spatial Agency)

I dati analizzati nel presente report sono ottenuti con una tecnica di tipo *Persistent Scatterers* (PS), (Ferretti et al., 2000) e sono stati elaborati da Tele Rilevamento Europa (TRE) nell'ambito del primo Piano Straordinario del telerilevamento Ambientale (PSTA).

4.4 MAPPE DI VELOCITÀ NEI PERIODI 1992-2000 E 2002-2010

Nel presente paragrafo sono riportate le elaborazioni geostatistiche effettuate sui dati interferometrici disponibili per la costa veneta. In particolare, sono stati utilizzati i dati PS ERS descending (1992-2000) e ENVISAT descending (2002-2010) (Fig. 42). L'elaborazione geostatistica dei PS si rende necessaria per avere una visione areale delle deformazioni al suolo e per ovviare alle incertezze nell'interpretazione dei fenomeni in atto legate alla presenza di punti (PS) con valori anomali rispetto al contesto in cui sono inseriti, valori che possono essere causati sia da errori di processamento sia da anomalie strettamente locali come, ad esempio, instabilità di singoli manufatti dovuti a problemi strutturali piuttosto che al processo in atto nell'area.

4.4.1 Metodologia applicata

La metodologia applicata è descritta con riferimento ai dati ENVISAT descending. I risultati ottenuti sono riportati nel paragrafo 4.5 applicando la metodologia a tutti i dataset a disposizione. Per quanto concerne i dati disponibili nella geometria di acquisizione *descending* (Fig. 42), è stata effettuata l'integrazione dei *datasets* ERS ed ENVISAT, riportati in Tab. 16.

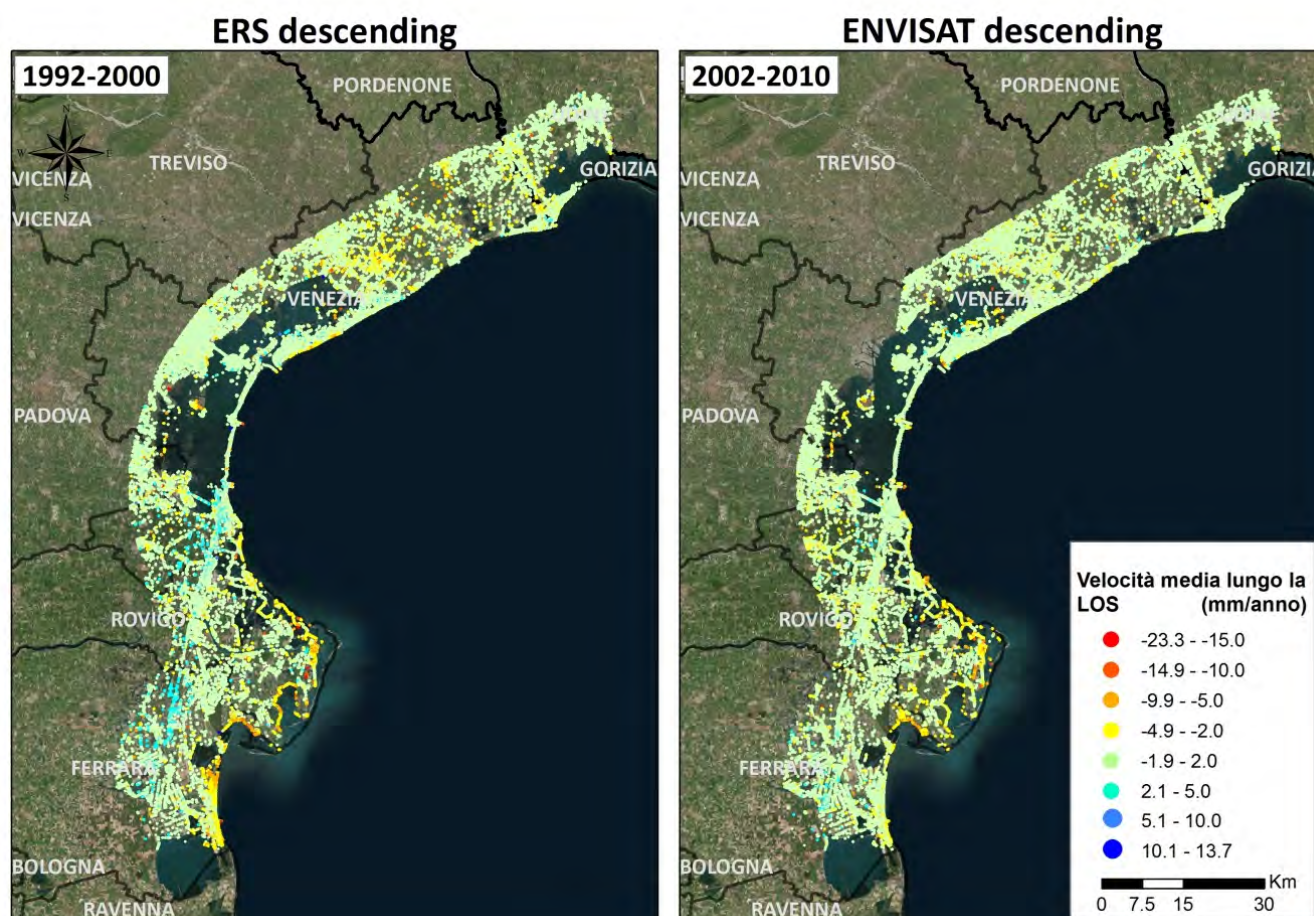


Fig. 42. Velocità medie calcolate attraverso l'applicazione della tecnica PS ai dati SAR acquisiti, in modalità descending, dai satelliti ERS ed ENVISAT rispettivamente nei periodi 1992-2000 e 2002-2010

Tab. 16 Lista dei dataset utilizzati nella geometria di acquisizione descending.

ERS descending (1992-2000)	ENVISAT descending (2003-2010)
PST_ERS_T122_F2691_CL003_VENEZIA	PST2009_ENVISAT_T122_F2709_CL001_RAVENNA
PST_ERS_T122_F2709_CL002_PORTO_TOLLE	PST2009_ENVISAT_T351_F2691_CL001_TRIESTE
PST_ERS_T122_F2709_CL001_COMACCHIO	PST2009_ENVISAT_T394_F2691_CL002_ROVIGO
PST_ERS_T351_F2691_CL001_TRIESTE	PST2009_ENVISAT_T122_F2691_CL002_CHIOGGIA
PST_ERS_T122_F2691_CL001_PONTE_DI_PIAVE	PST2009_ENVISAT_T122_F2691_CL001_JESOLO

L'area di studio ha un'estensione di circa 4300 Km² e comprende parte delle province di Rovigo, Venezia.

L'analisi delle time series di deformazione dei PS ERS ed ENVISAT descending mostra un andamento lineare. In particolare, il range di variabilità della velocità lungo la LOS, nel caso dei PS ERS descending (1992-2000) presenta un massimo di 21.0 mm/anno ed un minimo di -19.7 mm/anno con un valore medio di -0.4 mm/anno (Fig. 43a), mentre quello dei PS ENVISAT descending (2002-2010) presenta un massimo di 9.6 mm/anno ed un minimo di -23.3 mm/anno con un valore medio di -0.5 mm/anno (Fig. 43b).

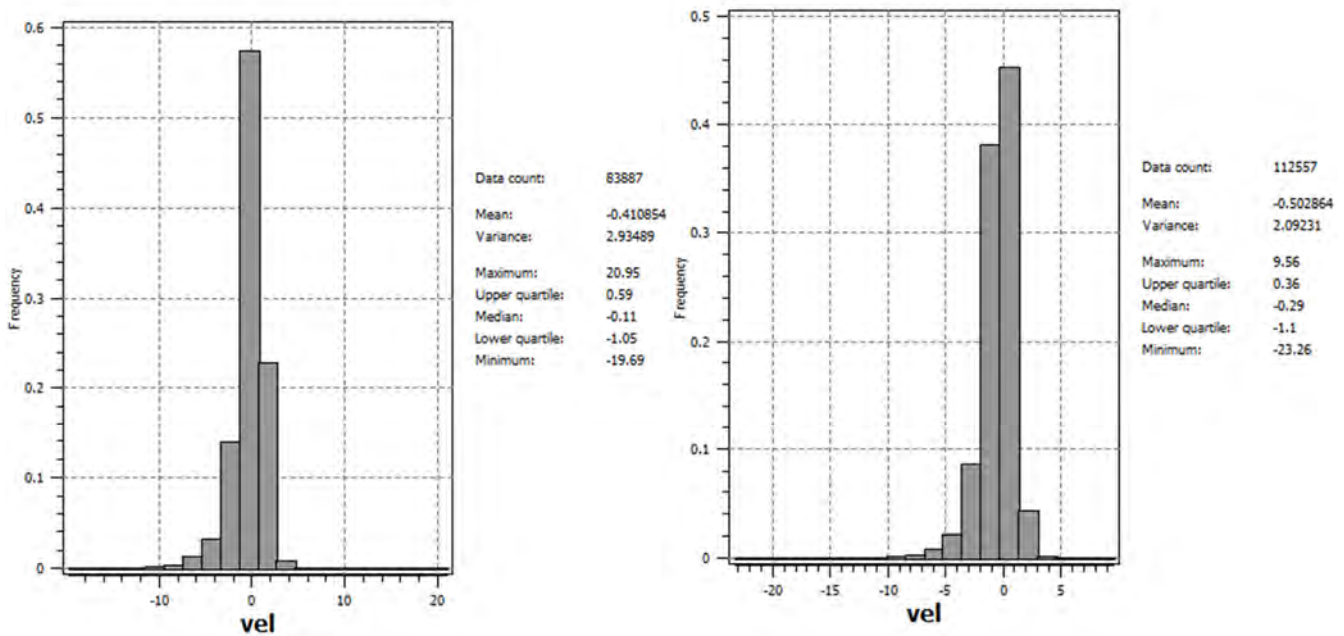


Fig. 43 Istogramma della velocità media di deformazione lungo la LOS: (A) dei PS ERS descending (1992-2000); (B) dei PS ENVISAT descending (2002-2010)

Come è possibile notare in Fig. 43 il picco degli istogrammi corrisponde a valori di velocità (lungo la LOS) nulla. La frequenza delle velocità positive superiori ai 5 mm/annui è molto bassa mentre le code dei vari istogrammi per valori negativi delle velocità, seppur con frequenze contenute, raggiungono il cm/annuo.

L'interpolazione di dati spaziali consente di ottenere una stima di una variabile ($z^*(u)$) in punti in cui non sono disponibili misure, attraverso una media pesata delle misure disponibili circostanti ($z(u_i)$, Eq. 4)

$$z^*(u) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i(u)} \cdot \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i(u) \cdot z(u_i) \quad \text{Eq. 4}$$

Per le interpolazioni dei dati, si è scelto di utilizzare l'Ordinary Kriging (OK) in modo da tenere in conto le relazioni spaziali intercorrenti tra i dati (Goovaerts, 1997). In questo caso, infatti, il peso utilizzato nell'Eq. 4 (λ_i) dipende dalla variabilità spaziale dei dati γ e viene ricavato risolvendo il sistema di equazioni lineari riportato di seguito (Eq. 5) in cui si assume la stazionarietà del momento primo delle variabili casuali $E \{z(u_i)\} = E \{z(u_0)\} = m$ con m non noto.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n(u)} \lambda_j(u) \cdot \gamma(u_i - u_j) - \mu(u) = \gamma(u_i - u) \\ \sum_{j=1}^{n(u)} \lambda_j(u) = 1 \end{cases} \quad i = 1, \dots, n(u) \quad \text{Eq. 5}$$

L'analisi della variabilità spaziale dei dati (ossia della semivarianza dei valori della variabile osservati per coppie di punti in funzione della loro distanza) consente la modellazione del semivariogramma (Eq. 6). Viene calcolato come media della differenza quadratica dei valori che la variabile assume in un punto (u_i) ed in un altro avente distanza h (chiamata LAG) dal primo ($u_i + h$):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i) - z(u_i + h)]^2 \quad \text{Eq. 6}$$

dove $N(h)$ rappresenta il numero di LAGs da considerare nella computazione del semivariogramma.

Nella presente sezione, si descrive la metodologia applicata con riferimento ai dati PS ENVISAT descending. La stessa metodologia verrà poi applicata agli altri dataset i cui risultati sono esposti nel seguito. Dall'analisi del variogramma omnidirezionale (Fig. 44), per l'area di studio è stato scelto un LAG di 2 Km, una tolleranza di 1000 m ed un numero di LAGs di 15.

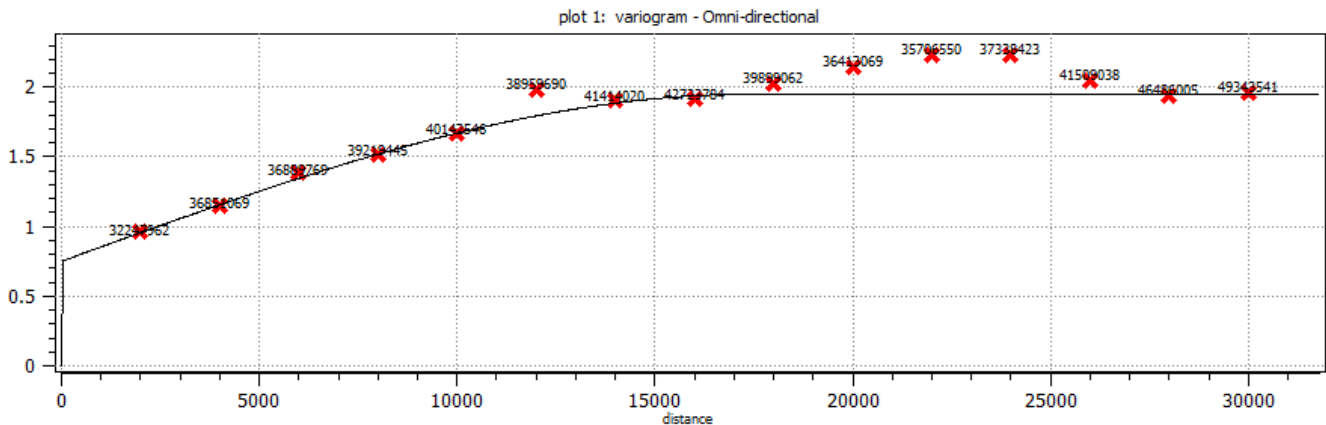


Fig. 44 Variogramma Omni-direzionale (ENVISAT descending)

Per ottenere una interpolazione che tenesse in conto le anisotropie spaziali, è stata analizzata la variabilità spaziale direzionale delle variabili e si è effettuato un modello di variogramma con una doppia struttura nelle direzioni -30° e 60° .

Vista l'estensione dell'area in esame risulta plausibile che, nel calibrare un variogramma, si stiano considerando fenomeni aventi diversa natura (subsidenza dovuta a consolidazione naturale dei materiali, dovuta ad emungimenti, erosione costiera, etc.) e che, pertanto, il variogramma sperimentale non abbia un andamento regolare. Nonostante ciò, il modello a doppia struttura considerato fitta bene i dati sperimentali ed è considerato accettabile per l'interpolazione in oggetto. Le interpolazioni ottenute sono riportate in Fig. 45.

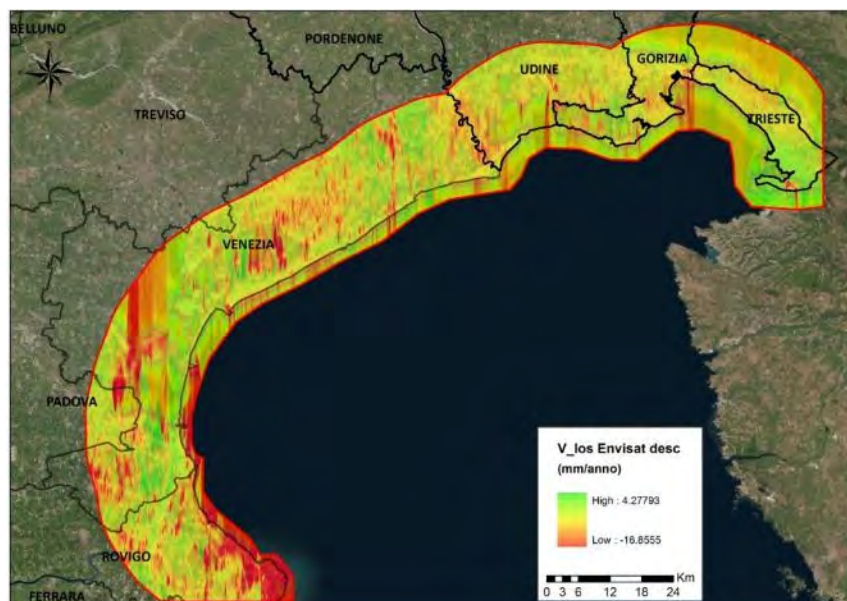


Fig. 45 ENVISAT descending: mappa delle velocità di deformazione media lungo la LOS nel periodo 2002-2010

A seguito dell'interpolazione, è stato necessario calcolare la mappa dell'errore della stima soprattutto a causa della presenza di aree molto estese senza copertura di PS (Fig. 46 sx).

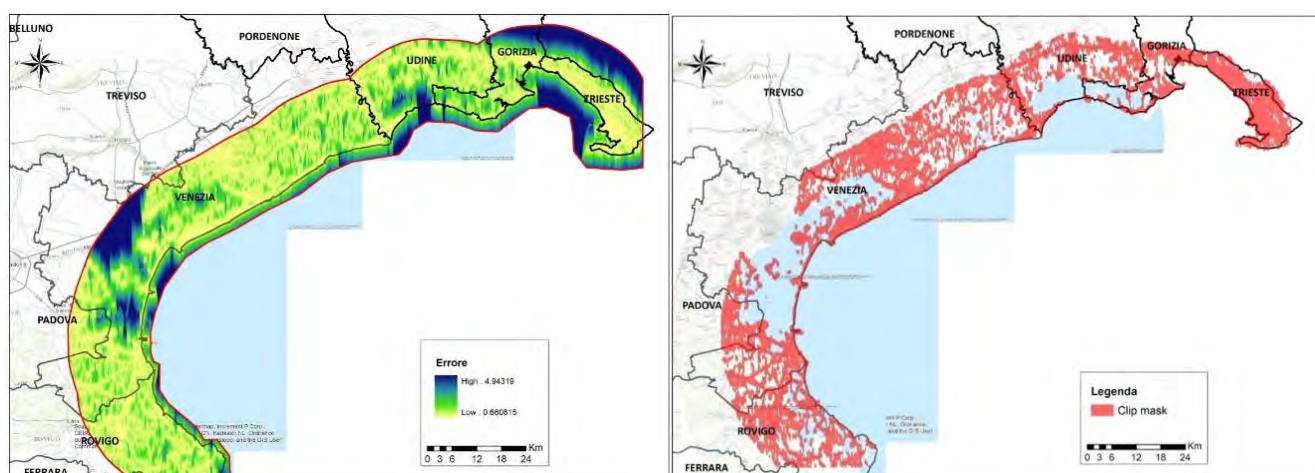


Fig. 46 Mappa dell'errore dell'interpolazione (sx). Curva corrispondente all'errore limite considerato, Clip mask (dx)

Analizzando la distribuzione statistica della varianza dell'errore, si è ritenuto di poter considerare accettabile l'interpolazione per valori della deviazione standard delle differenze tra i valori stimati e quelli misurati < 1 mm/anno. Si è quindi utilizzata la polilinea corrispondente a questo limite (Fig. 46 sx) come poligono di taglio dell'interpolazione ("clip mask"), ottenendo il risultato di Fig. 46(dx).

Come è possibile notare in Fig. 46(dx), il poligono di taglio così ottenuto presenta un'ottima corrispondenza con le aree lacustri o non coperte da PS. Infine, la mappa ottenuta è stata riclassificata rispettando dei valori di soglia che, secondo alcuni autori (Brambati et al., 2003; Carminati e Martinelli 2002; Teatini et al., 2011), segnano il limite (per la costa Veneta) tra la subsidenza naturale ed antropica. La subsidenza è riferibile, infatti, a cause naturali, per valori di velocità media inferiori a -5 mm/anno.

4.5 RISULTATI OTTENUTI E CONCLUSIONI

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalle interpolazioni dei dati SAR disponibili (Fig. 47). La Fig. 47 conferma che in generale il tasso di subsidenza della costa veneta nel periodo esaminato presenta valori confrontabili con quelli che, secondo alcuni Autori (Brambati et al., 2003; Carminati e Martinelli 2002; Teatini et al., 2011), sono riferibili a cause naturali (fino a -5 mm/anno). Nello specifico, i risultati ottenuti per il periodo 1992-2002 sono concordi con quelli ottenuti da Brambati et al. (2003) mostrati in Fig. 36. La subsidenza riscontrata nelle aree a Nord-Est dell'area di studio, come rilevato da Bitelli et al. (2010), è dovuta a sovrasfruttamento degli acquiferi ed è sensibilmente diminuita nel corso degli anni. Il maggiore tasso di subsidenza si è registrato in corrispondenza della zona a ridosso del delta del Po molto probabilmente a causa dei già citati fenomeni di consolidazione di terreni fini molto recenti (Fig. 32). Tuttavia, localmente si osservano valori anomali (< -5 mm/anno) in corrispondenza di strutture e infrastrutture, dove è ipotizzabile una probabile influenza dell'azione antropica. Infatti, come osservato da Bitelli et al. (2010), la subsidenza rilevata nella zona a Sud dell'area di studio può essere correlata ad attività di estrazione di gas (Fig. 32).

In conclusione è possibile affermare che lo sviluppo tecnologico e l'affermazione delle nuove tecnologie di osservazione della terra come il telerilevamento consentono un monitoraggio di aree vaste dalla precisione millimetrica e dai costi complessivamente contenuti (Tomás et al., 2005). Le tecniche interferometriche consentono una conoscenza delle deformazioni registrate anche nel passato, grazie alla disponibilità di immagini d'archivio che permette analisi complete sui meccanismi di causa-effetto relative al fenomeno osservato. L'elaborazione di mappe di velocità di deformazione è un utile strumento a disposizione delle autorità competenti per pianificare gli interventi necessari alla mitigazione del rischio annesso. Comunque, tenendo presenti le limitazioni legate all'utilizzo dei dati satellitari e gli errori relativi alle mappe prodotte è sempre necessaria una validazione dei prodotti con dati "in situ". Per tale motivo, si sottolinea la necessità di validare i dati satellitari con un confronto con misure GPS e/o estensimetriche e con le grandezze direttamente correlate col fenomeno in esame (geologia, dati piezometrici, danni registrati sugli edifici, modelli geotecnici). Per lo stesso motivo, per l'elaborazione delle mappe di velocità, è preferibile l'utilizzo dei cosiddetti metodi per la "radar-gauge combination", basati sull'interpolazione congiunta di dati radar ed in situ. Tali metodi utilizzano i dati radar densamente distribuiti per analizzare la variabilità spaziale delle deformazioni; queste informazioni vengono poi utilizzate per interpolare una variabile "più affidabile" ma di cui sono disponibili un numero limitato di dati (quali le misure in situ).

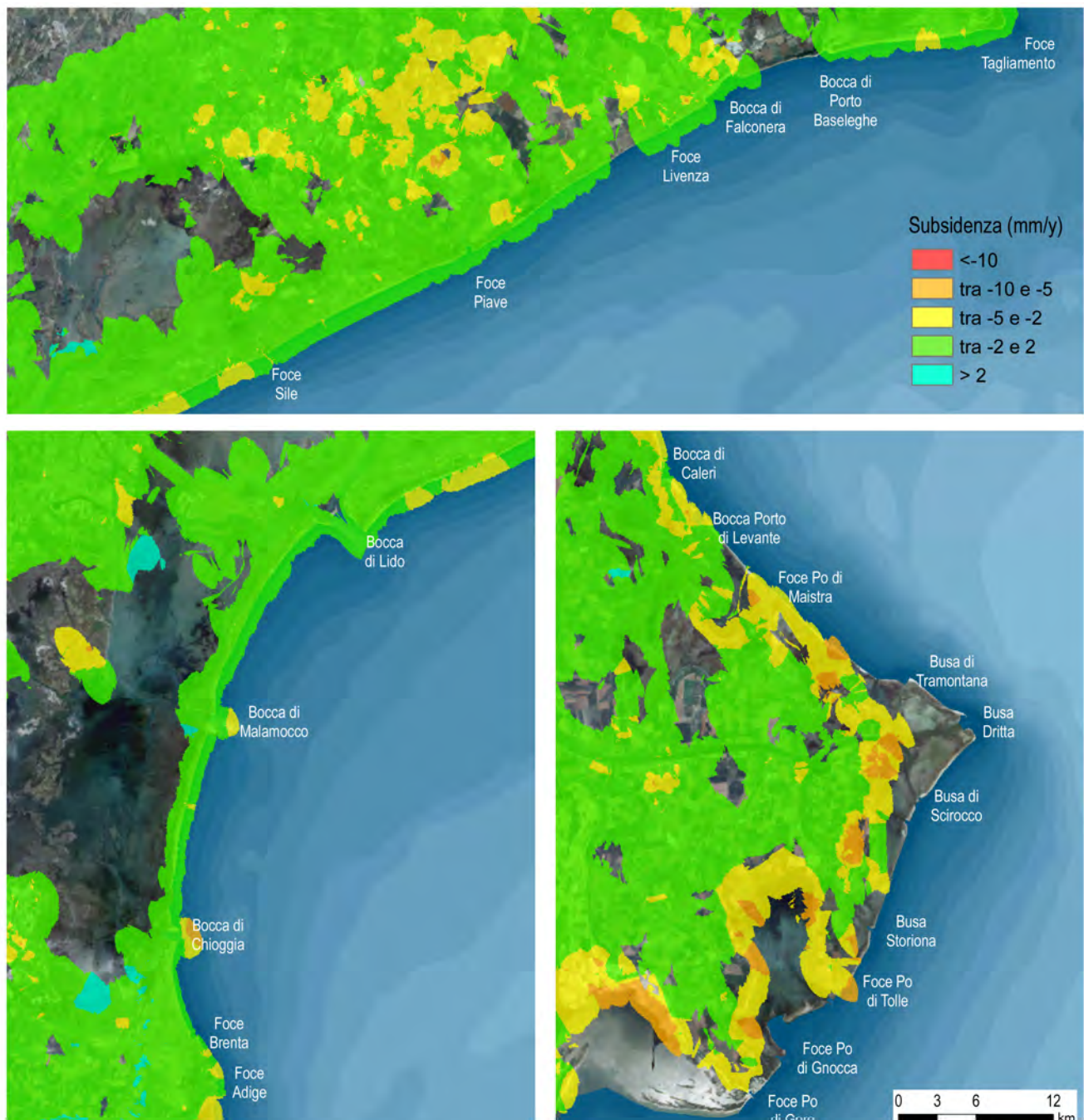


Fig. 47 Mappa delle velocità di deformazione media lungo la LOS nel periodo 1992-2000 (orbita discendente)

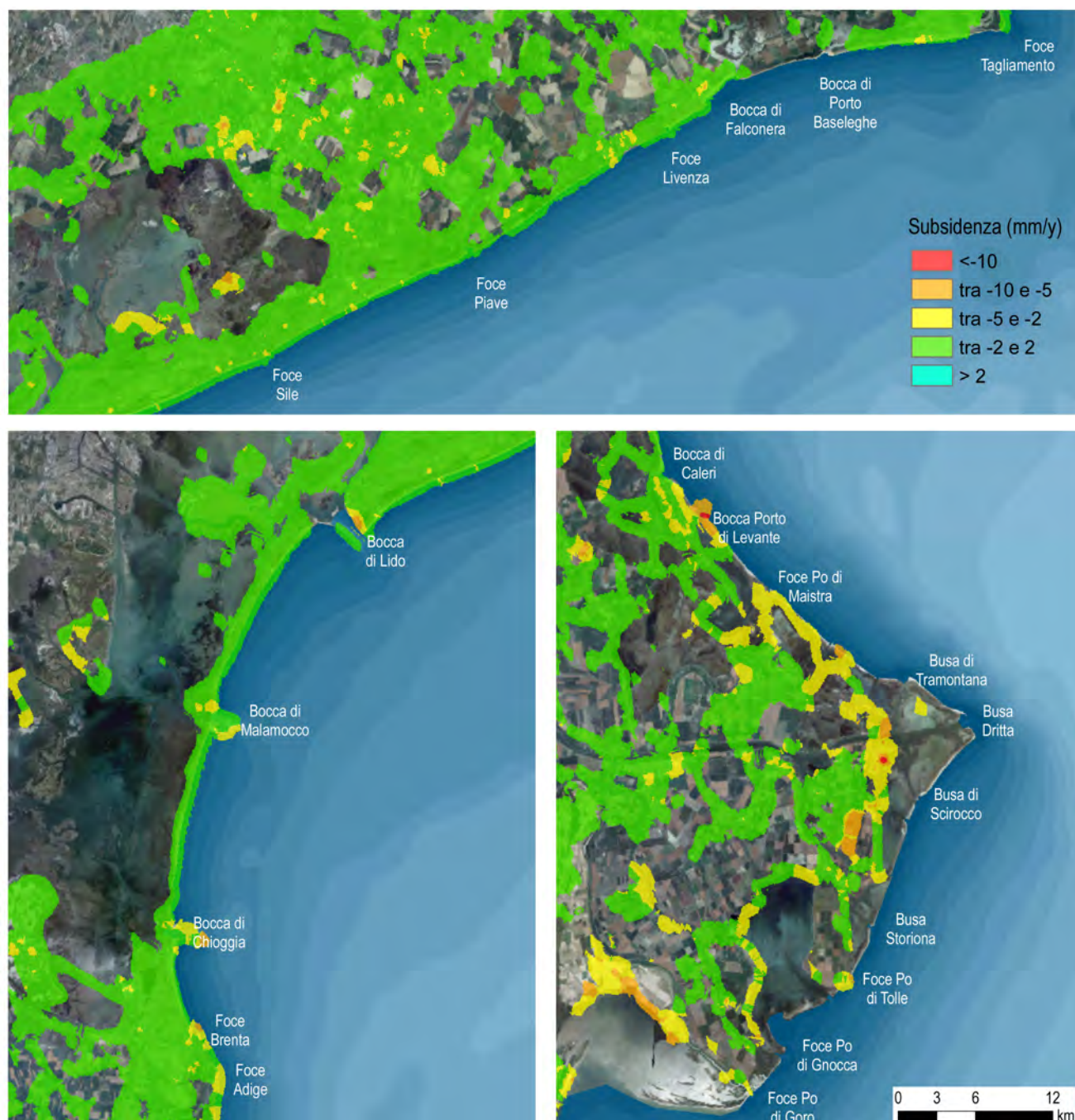


Fig. 48 Mappa delle velocità di deformazione media lungo la LOS nel periodo 2002-2010 (orbita discendente)

5. TRASPORTO SOLIDO LITORANEO

5.1 DATI DISPONIBILI

Il trasporto solido litoraneo è una voce del bilancio sedimentario che viene stimato attraverso formulazioni e modelli matematici. Non esistono infatti misure di campo di trasporto litoraneo, ad eccezione dei quantitativi di sabbia dragati presso le foci fluviali, i quali possono essere considerati come una misura indiretta dei volumi movimentati dalla circolazione costiera.

Per il litorale Veneto è possibile recuperare stime di trasporto litoraneo da alcuni studi e/o lavori, quali ad esempio *"Sediment transport and balance along the coastalfringe of the Po river delta"* (Ruol & Tondello, Sediment transport and balance along the coastalfringe of the Po river delta, 1996) *"Risultati delle ricerche fino al 1978 sul litorale alla foce dell'Adige"* (CNR, 1980), *"Monitoraggio dei litorali Veneti, Analisi degli effetti delle opere a monte sui litorali di Jesolo e Cavallino"* (Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova, 2010).

5.2 METODOLOGIA APPLICATA

La circolazione litoranea in direzione ortogonale e parallela alla costa riveste un ruolo di fondamentale importanza nei fenomeni di trasporto solido costiero, il quale può essere scomposto in due componenti di moto:

- Trasporto solido longitudinale, in direzione parallela alla linea di battigia (long - shore), prodotto dalla corrente litoranea.
- Trasporto solido trasversale, in direzione perpendicolare alla linea di battigia (cross - shore), dovuto principalmente alle correnti di ritorno e alle asimmetrie del campo di moto ondoso;

La struttura del modello implementato per il calcolo del trasporto solido longitudinale a riva consiste sostanzialmente in tre moduli di calcolo:

- Modulo di calcolo della trasformazione dell'onda
- Modulo di calcolo della velocità lungo riva
- Modulo di calcolo del trasporto solido lungo riva

Il primo modulo valuta la trasformazione dell'onda dalla prima cella di calcolo a lato mare alla fine della surf zone, imponendo le condizioni marine al largo con le loro relative frequenze annue e un profilo batimetrico; il secondo modulo, in base alle grandezze valutate dal modulo precedente determina la velocità della corrente lungo riva (risoluzione dell'equazione del bilancio di massa in direzione parallela a riva con il metodo degli elementi finiti). Con le velocità calcolate, il terzo modulo determina le portate solide con la formula di Bijker.

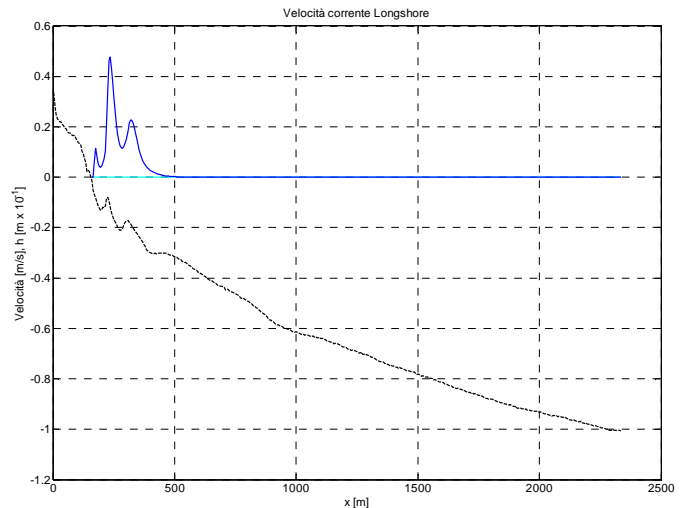


Fig. 49 Velocità della corrente longitudinale calcolata con il metodo degli elementi finiti

La formula proposta da Bijker valuta come forzante l'azione combinata di onde e correnti e suddivide il trasporto in due componenti: una relativa al trasporto al fondo ($q_{b,B}$) e una relativa al trasporto in sospensione ($q_{s,B}$).

$$q_{t,B} = q_{b,B} + q_{s,B} \quad \text{Eq. 7}$$

La portata al fondo ($m^3/s/m$) è calcolata tramite la seguente formula:

$$q_{b,B} = A d_{50} \frac{V}{C} \sqrt{g} \exp \left[\frac{-0,27(s-1)d_{50}\rho g}{\mu \tau_{b,wc}} \right] \quad \text{Eq. 8}$$

Dove A è un coefficiente empirico (1 per onde non frangenti, 5 per onde frangenti), d_{50} è il diametro medio delle particelle, V è la velocità della corrente long - shore (funzione della distanza dalla linea di riva), s è la densità relativa ($=\rho_s/\rho_w$), μ è il ripple factor infine $\tau_{b,wc}$ è la tensione al fondo relativa all'onda e alla corrente. Il carico sospeso è invece determinato dalla seguente formulazione:

$$q_{s,B} = 1,83Q = 1,83q_{b,B} \left[I_1 \ln \left(\frac{33h}{r} \right) + I_2 \right] \quad \text{Eq. 9}$$

Dove I_1 e I_2 sono gli integrali di Einstein, funzione di r/h e $z^* = w_f/(0.4v^*)$, con r scabrezza al fondo, h fondale, w_f velocità di caduta dei sedimenti e v^* velocità di attrito.

Un fondale piatto con sabbia sciolta può offrire una resistenza molto maggiore rispetto ad un fondo fisso caratterizzato da sabbia dello stesso diametro incollato al fondo. In tali condizioni la scabrezza per un flusso stazionario è tipicamente pari a due volte lo staro di fondo L_B (Wilson, 1989), che viene tradizionalmente stimato in $L_B = 2.5(\theta' - \theta_c) d$ (con d diametro del materiale di fondo). Per un flusso oscillatorio si hanno scabrezze dell'ordine di 10 volte superiore rispetto a quanto previsto dalla formula di Wilson. Nielsen (1983) propone $r \cong 70\sqrt{\theta} d$. In condizioni di fondo non piatto è conveniente riferirsi al fattore di attrito dei grani $f_{2.5}$ valutato sulla base del diametro d_{50} , piuttosto che a f_w , dovuto alla scabrezza r incognita. Il fattore $f_{2.5}$ consente la stima del parametro di Shields per la scabrezza dei grani $\theta_{2.5}$, legato direttamente al parametro di Shields efficace θ' (relativo all'attrito superficiale), che per fondo piatto è pari a quello globale θ (che include il drag dovuto alle forme di fondo).

La scabrezza dovuta alla forma di fondo è proporzionale non solo all'altezza η del ripple del fondo ma anche alla ripidità della stessa. In presenza di materiale non monogranulare è conveniente riferirsi al diametro d_{50} .

Per includere sia l'effetto delle forme di fondo che della resistenza dovuta al materiale in moto, Nielsen (1992) propone:

$$r = r_f + r_s = 8 \frac{\eta^2}{\lambda} + 170 \sqrt{\theta_{2.5} - 0.05} d_{50} \quad \text{Eq. 10}$$

Dove r_f è la scabrezza dovuta alle forme di fondo, r_s quella dovuta al materiale in moto e η/λ è pari a:

$$\frac{\eta}{\lambda} = 0.342 - 0.34 \sqrt[4]{\theta_{2.5}} \quad \text{Eq. 11}$$

Per maggiore completezza e per confronto la portata solida litoranea è stata valutata anche con la formula del CERC (Eq. 12) per poter effettuare un confronto tra i due risultati. La formula del CERC in media fornisce un valore 4/5 volte più grande quello stimato da Bijker.

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1 - n)} P_l \quad \text{Eq. 12}$$

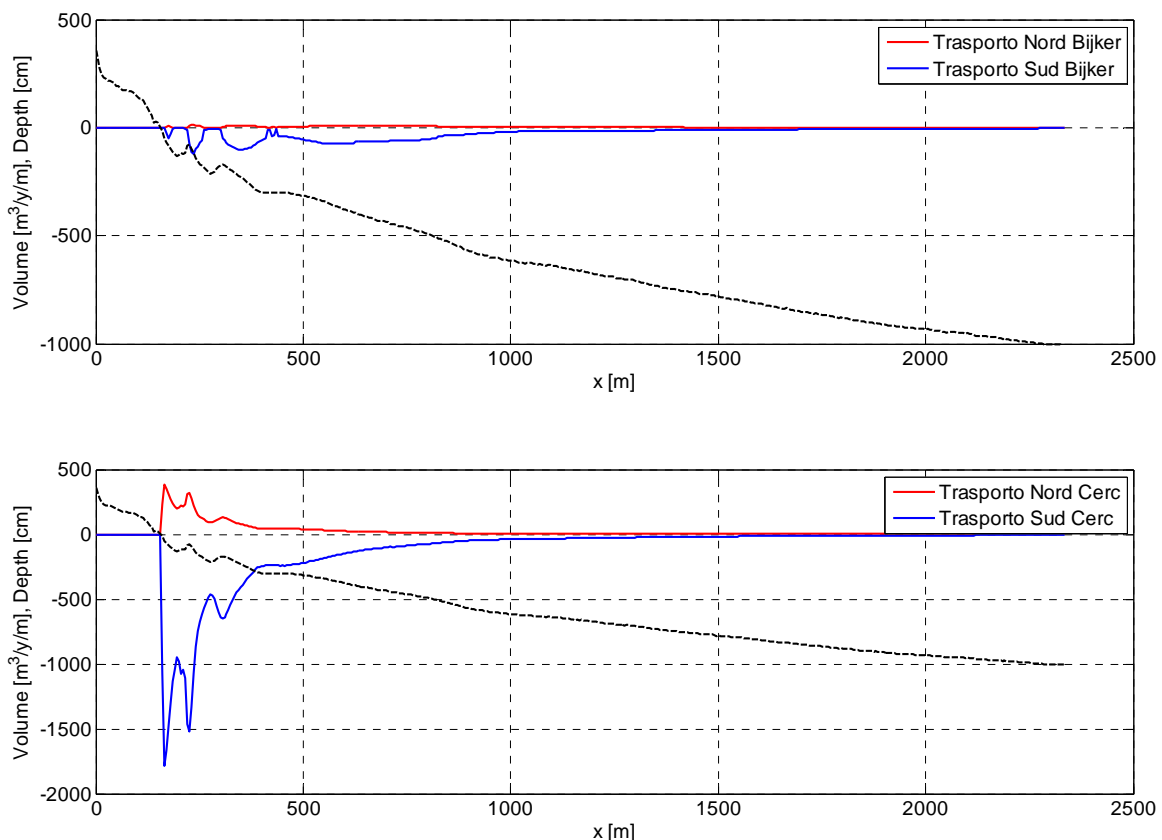


Fig. 50 Esempio di calcolo del trasporto solido litoraneo con la formula di Bijker (Volume totale = 47'200 m³/anno diretti verso Sud) e con la formula del CERC (Volume totale = 223'900 m³/anno diretti verso Sud)

Per quanto riguarda il trasporto solido perpendicolare a riva è stato implementato il modello SBEACH proposto da Larson e Kraus, il quale suddivide il profilo in diverse zone e a ciascuna assegna una diversa formula per il calcolo della portata solida. L'ipotesi fondamentale su cui si basa tale modello è che la variazione del profilo trasversale del litorale sia correlato solamente all'azione del trasporto solido cross-shore e quindi l'effetto di una redistribuzione trasversale avviene all'interno della medesima cella sedimentologica. Nel calcolo della variazione del profilo, il modello assume che il trasporto cross-shore sia indotto essenzialmente dal frangimento delle onde, dalla variazione del livello del mare per effetto del set - up e della marea e dalla geometria del profilo stesso.

Il modello presenta lo stesso modulo per il calcolo della variazione dell'altezza d'onda usato per la valutazione del trasporto lungo riva. Con le informazioni ricavate dal modello di trasformazione dell'onda, all'interno del medesimo intervallo temporale, il profilo viene suddiviso in specifiche regioni in cui sono calcolate le portate solide cross-shore utilizzando relazioni semi-empiriche ricavate sperimentalmente da Larson e Kraus mediante l'analisi di dati di laboratorio su prototipi in scala (Large Wave Tank, LWT) e misurazioni sul campo.

Le quattro zone di trasporto sono schematizzate come segue (Fig. 51):

- Zona I: dalla profondità limite a mare ove si nota effettivamente una modificazione morfologica del profilo al primo punto di frangimento (prebreaking zone);
- Zona II: dal punto di frangimento al plunge point (breaker transition zone);
- Zona III: dal plunge point al punto di riformazione dell'onda o al limite lato mare della swash zone (broken wave zone);
- Zona IV: dal limite lato mare della swash zone al punto di massima risalita dell'onda (swash zone).

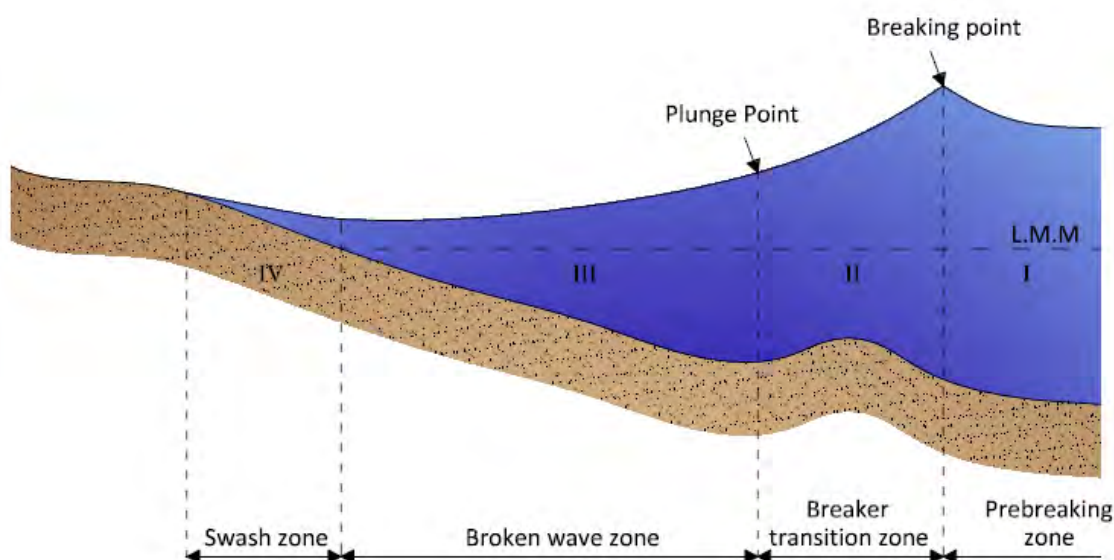


Fig. 51 Schema delle quattro principali zone di trasporto solido cross-shore

Il modello richiede, quali dati di input, la serie di altezze d'onda da simulare con i relativi periodi, l'andamento del profilo iniziale e la direzione delle onde incidenti. Per il calcolo del trasporto solido il modello necessita inoltre delle dimensioni del diametro D_{50} del fondale, dell'intervallo spaziale di integrazione e dell'intervallo temporale (tipici valori per la griglia di calcolo sono 2 m per l'intervallo spaziale e 5 minuti per l'intervallo temporale).

5.3 SEDIMENTOLOGIA

Per la caratterizzazione dei sedimenti presenti lungo la fascia costiera della Regione Veneto si è fatto riferimento a diversi studi e campagne di prelievo, in particolare sono stati considerati:

- Campionamenti effettuati per conto di ARPA Veneto nei litorali da Bibione a Porto Tolle fino alla batimetrica -20m Tali dati sono relativi alla caratterizzazione granulometrica dei campioni di sedimento nell'ambito delle istanze di ripascimento, rientranti nella DGRV 1019/2010.
- Campionamenti effettuati a cura del Genio Civile di Rovigo (2006) nel litorale compreso tra foce Adige e foce Po di Goro "Caratterizzazione della fascia costiera mediante campagna di prelievi ed analisi dei sedimenti in prossimità delle foci fluviali e di altre zone di accumulo, per il riutilizzo degli stessi per i ripascimenti dei tratti di litorale in erosione".

- Carte sedimentologiche (Fig. 52) e informazioni granulometriche presenti nel "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Veneto" (Fontolan & al., 2013).
- Carte sedimentologiche e informazioni granulometriche presenti nel "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po" (Fontolan & al., 2014).
- Carta sedimentologica realizzata nel 1988 dal CNR (Fig. 53)

Con le informazioni a disposizione si è cercato di fornire un quadro riassuntivo per quanto riguarda la caratterizzazione granulometrica dei sedimenti in ogni cella litoranea. Di seguito si riporta la legenda utilizzata per effettuare quest'analisi (Tab. 17).



Fig. 52 Carta Sedimentologica ricavata da campioni effettuati nel litorale di Eraclea (Fontolan et al., 2013)

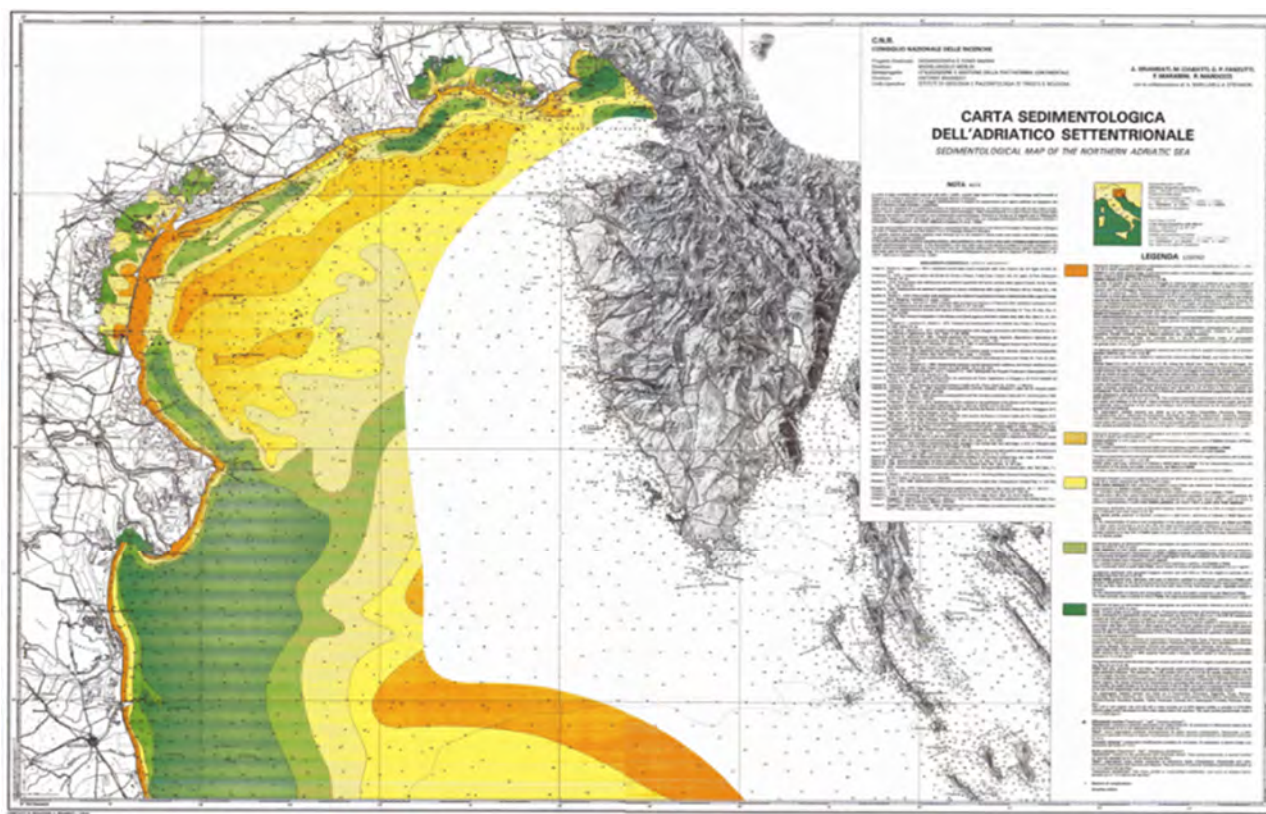


Fig. 53 Carta Sedimentologica dell'Adriatico settentrionale (CNR 1988)

Per la caratterizzazione dei sedimenti presenti lungo la fascia costiera del tratto di litorale della Provincia di Rovigo, si è fatto riferimento ai risultati dei campionamenti effettuati a cura del Genio Civile di Rovigo nel 2006. Da tali informazioni è stato possibile stimare i diametri d_{50} e d_{90} per ogni cella litoranea appartenente a questa provincia (Tab. 18, Tab. 19). L'analisi dei dati relativi ai diversi campionamenti ha di fatto confermato, come era prevedibile, che il diametro medio d_{50} e il diametro d_{90} dei sedimenti risultano essere decrescenti spostandosi da riva a largo. La Fig. 54 mostra, per la cella compresa tra foce Adige e Bocca di Caleri (RO1) l'andamento del d_{50} e d_{90} al variare della profondità.

Tab. 17 Legenda utilizzata per la caratterizzazione granulometrica

Sabbia Grossa (0.5 - 1)
Sabbia Media (0.35 - 0.50)
Sabbia Media (0.25 - 0.35)
Sabbia Fine (0.177 - 0.25)
Sabbia Fine (0.125 - 0.177)
Sabbia Molto Fine (0.0625-0.125)

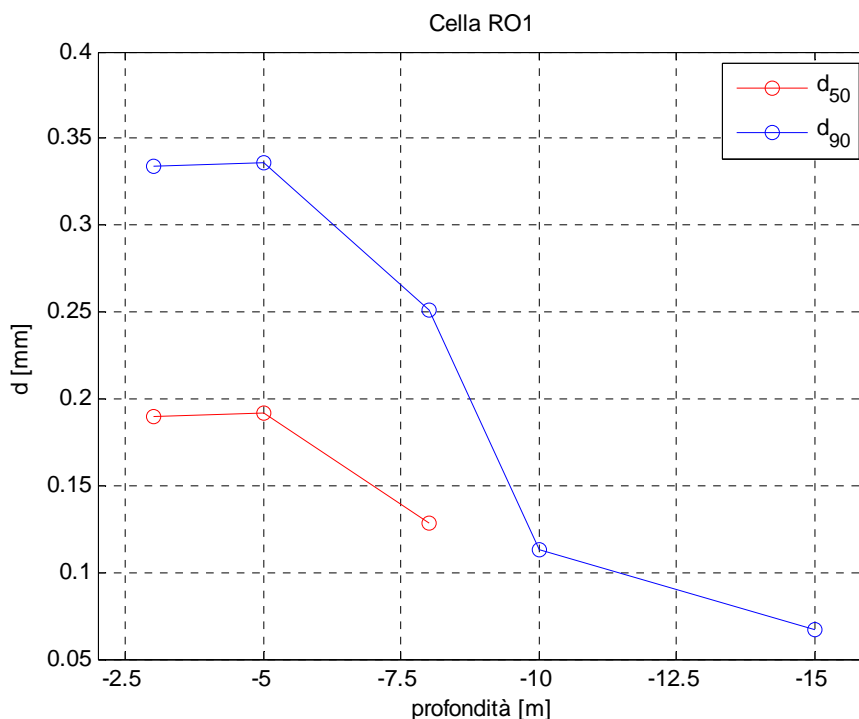


Fig. 54 Andamento d_{50} e d_{90} al variare della profondità (cella RO1)

Tab. 18 Provincia di Rovigo - Andamento d_{50}

	d_{50} (mm)				
Profondità	-3 m	-5 m	-8 m	-10 m	-15 m
RO1	0.190	0.191	0.129	< 0.063	< 0.063
RO2	0.139	0.126	0.110		
RO3	0.143	0.185	0.142	< 0.063	< 0.063
RO4	0.173	0.208	0.133	< 0.063	< 0.063
RO5	0.234	0.230	0.101	< 0.063	< 0.063
RO6	0.273	0.258	0.207	< 0.063	< 0.063
RO7	0.167	0.148	0.132	< 0.063	< 0.063
RO8	0.068	0.197	0.100		
RO9	0.144	0.146		< 0.063	< 0.063
RO10				< 0.063	< 0.063

Tab. 19 Provincia di Rovigo - Andamento d_{90}

	d_{90} (mm)				
Profondità	-3 m	-5 m	-8 m	-10 m	-15 m
RO1	0.334	0.336	0.251	0.113	0.066
RO2	0.175	0.172	0.170		
RO3	0.250	0.270	0.230	0.065	0.091
RO4	0.302	0.265	0.145	0.150	0.125
RO5	0.336	0.272	0.226	< 0.063	< 0.063
RO6	0.337	0.341	0.208	0.132	< 0.063
RO7	0.303	0.189	0.258	0.121	0.066
RO8	0.241	0.329	0.281		
RO9	0.192	0.246	0.090	0.063	< 0.063
RO10	0.158	0.239	0.080	< 0.063	< 0.063

Per la caratterizzazione dei sedimenti presenti lungo la fascia costiera del tratto di litorale della Provincia di Venezia sono state utilizzate le fonti di dati sopra citate, le quali hanno permesso di stimare il diametro medio d_{50} per ogni cella litoranea (Tab. 20)

Tab. 20 Provincia di Venezia - Andamento d_{50} (*media effettuata su pochi dati disponibili)

Profondità	d_{50} (mm)			
	Spiaggia emersa	tra 0 e -2 m	tra -2 e -4 m	< -4m
VE1	0.255	0.323*	-	-
VE2	0.242	0.173	-	-
VE3	0.192 *	0.175	0.235 *	0.118
VE4	0.264	0.205	0.173	0.143
VE5	0.248	0.153	0.268 *	0.118
VE6	0.334	-	0.235 *	0.213
VE7	0.186	0.181	-	0.186
VE8	-	-	-	-
VE9	0.28	-	0.144	0.168 *
VE10	0.343	-	-	-

Con le informazioni a disposizione è stato inoltre possibile valutare il diametro d_{50} presso alcune delle foci fluviali della Regione Veneto (Tab. 21).

Tab. 21 Foci fluviali - d_{50}

Foci	d_{50} (mm)
Bocca Baseleghe	0.219
Bocca di Caleri	0.186
Bocca Falconera	0.167
Foce Adige	0.214
Foce Brenta	0.218
Foce Livenza	0.162
Foce Piave	0.157
Foce Sile	0.191
Foce Tagliamento	0.257
Laguna del Mort	0.168

Fig. 55 Esempio di raccolta di informazioni sedimentologiche disponibili (d_{50} foce Tagliamento)

5.4 VALUTAZIONI APPROSSIMATE DEL TRASPORTO LONG-SHORE

Per poter implementare in maniera corretta il modello per la valutazione del trasporto long-shore sono risultate necessarie diverse fasi preparatorie:

1. Sono state estrapolate tre sezioni batimetriche per ognuna delle celle sedimentarie in cui è stato suddiviso il litorale Veneto. Sono stati scelti due profili rappresentativi delle zone di estremità della cella (Nord e Sud) ed un profilo rappresentativo della zona centrale. Queste ultime sezioni risultano essere, nella maggior parte dei casi, in corrispondenza dei 42 punti in cui è stato valutato il clima meteomarinico sotto costa.
2. Si è valutata la normale alla spiaggia in corrispondenza di ciascuna sezione batimetrica scelta in precedenza (Fig. 56 sx).
3. Per ciascuno dei profili selezionati sono stati valutati i limiti di chiusura del profilo "attivo" a riva e al largo. La profondità di chiusura al largo è stata valutata, per tutti i profili del litorale veneto, pari a -5 m (coerentemente a quanto indicato anche nello studio "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Veneto", Fontolan et al., 2013). Per quanto riguarda il limite verso costa si è osservata puntualmente la presenza di eventuali moli, pennelli o altre strutture che intercettassero il trasporto longitudinale (Fig. 56 dx) o si è stimato di conseguenza il valore da imporre nel calcolo. Si riportano in Tab. 22 i limiti a largo e a riva utilizzati.
4. Sono stati inseriti nel modello i diversi dati necessari, quali profilo e normale scelti, clima meteo-marino del punto corrispondente, diametro d_{50} dei sedimenti e i limiti di chiusura del trasporto solido.

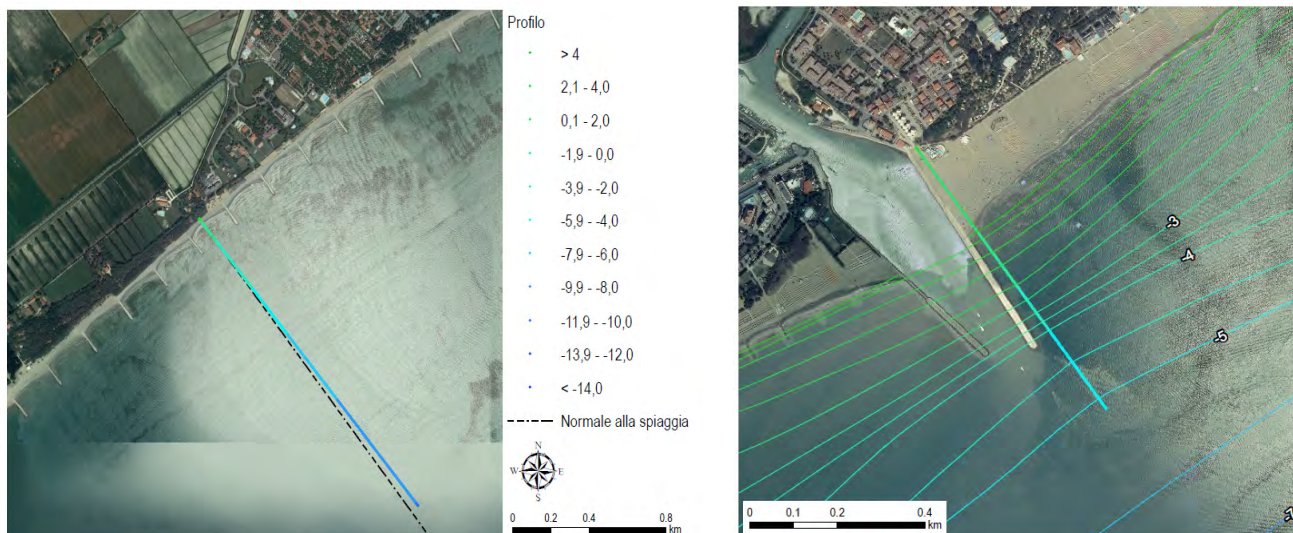


Fig. 56 Esempio di profilo batimetrico scelto e valutazione della normale alla spiaggia in corrispondenza del profilo (sx).
Esempio di valutazione della presenza di un molo che intercetta il trasporto longitudinale, profilo VE3 - foce Livenza (dx)

Tab. 22 Limiti di chiusura del trasporto longitudinale utilizzati

Profilo	Limite a riva [m]	Limiti al largo [m]
VE1_N	0	-5
VE1_C	0	-5
VE1_S	0	-5
VE2_N	0	-5
VE2_C	0	-5
VE2_S	0	-5
VE3_N	0	-5
VE3_C	0	-5
VE3_S	-4	-5
VE4_N	-3.5	-5
VE4_C	-2	-5
VE4_S	-2	-5
VE5_N	-2	-5
VE5_C	-1	-5
VE5_S	-2	-5
VE6_N	-2	-5
VE6_C	-1	-5
VE6_S	-4.9	-5
VE7_N	-4.9	-5
VE7_C	-1	-5
VE7_S	-4.9	-5
VE8_N	-4.9	-5
VE8_C	-2	-5
VE8_S	-4.9	-5
VE9_N	-4.9	-5
VE9_C	0	-5
VE9_S	-3	-5
VE10_N	-3	-5
VE10_C	-1.5	-5
VE10_S	-1.5	-5

Profilo	Limite a riva [m]	Limiti al largo [m]
RO1_N	-1.5	-5
RO1_C	0	-5
RO1_S	0	-5
RO2_N	0	-5
RO2_C	0	-5
RO2_S	-2	-5
RO3_N	-3	-5
RO3_C	0	-5
RO3_S	0	-5
RO4_N	0	-5
RO4_C	0	-5
RO4_S	0	-5
RO5_N	0	-5
RO5_C	0	-5
RO5_S	0	-5
RO6_N	0	-5
RO6_C	0	-5
RO6_S	0	-5
RO7_N	0	-5
RO7_C	0	-5
RO7_S	0	-5
RO8_N	0	-5
RO8_C	0	-5
RO8_S	-2	-5
RO9_N	-2	-5
RO9_C	0	-5
RO9_S	0	-5
RO10_N	0	-5
RO10_C	0	-5
RO10_S	0	-5

Di seguito si riportano i risultati ottenuti nelle diverse celle, utilizzando le condizioni meteomarine ottenute nelle diverse simulazioni (Fig. 57). Le Tab. 23 e Tab. 25 riportano i volumi ottenuti imponendo come limite a riva la batimetrica 0 m, mentre

nelle tabelle Tab. 24 e Tab. 26 si riportano i volumi ottenuti per i soli profili nei quali era presente un'interruzione fisica (molo, pennello, etc.) che ostacolasse il trasporto.

Tab. 23 Trasporto Longshore – Provincia di Venezia (compreso tra linea di riva e profondità di chiusura)

TRASPORTO LONGSHORE [m³/anno] dalla batimetrica 0 m alla profondità di chiusura					
Cella	Profilo	Portata Nord	Portata Sud	Portata NET	Portata GROSS
VE1	NORD	12'272	-41'909	-29'636	54'181
	CENTRO	3'391	-45'128	-38'715	51'540
	SUD	7'950	-53'449	-43'859	63'040
VE2	NORD	29'885	-83'384	-53'498	113'269
	CENTRO	16'944	-61'287	-44'344	78'231
	SUD	20'099	-66'732	-10'736	122'728
VE3	NORD	9'910	-33'152	-23'242	43'062
	CENTRO	2'252	-10'960	-710	21'210
	SUD	38'255	-82'386	-44'131	120'641
VE4	NORD	36'109	-54'993	-25'789	84'197
	CENTRO	30'781	-89'898	-59'117	120'679
	SUD	19'366	-96'290	-76'924	115'656
VE5	NORD	12'099	-95'773	-83'675	107'872
	CENTRO	11'975	-106'214	-94'239	118'188
	SUD	11'695	-120'494	-108'799	132'190
VE6	NORD	14'331	-116'237	-101'906	130'568
	CENTRO	5'515	-108'950	-103'435	114'465
	SUD	29'810	-80'466	-40'815	120'116
VE7	NORD	8'959	-96'405	-87'446	105'364
	CENTRO	29'542	-24'384	5'158	53'927
	SUD	148'654	-23'247	125'407	171'901
VE8	NORD	44'867	-41'337	3'530	86'205
	CENTRO	19'517	-17'292	2'225	36'809
	SUD	94'729	-8'345	86'384	103'073
VE9	NORD	54'199	-109'865	-55'666	164'064
	CENTRO	69'513	-44'795	24'718	114'308
	SUD	79'103	-35'585	43'518	114'688
VE10	NORD	104'459	-4'654	94'079	103'387
	CENTRO	65'248	-5'829	59'420	71'077
	SUD	88'710	-12'619	78'608	103'847

Tab. 24 Trasporto Longshore – Provincia di Venezia (compreso tra limite a riva e profondità di chiusura)

TRASPORTO LONGSHORE [m³/anno] dalla testa del molo/pennello alla profondità di chiusura					
Cella	Profilo	Portata Nord	Portata Sud	Portata NET	Portata GROSS
VE1	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
VE2	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
VE3	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
VE4	NORD	13'162	-21'636	-8'474	34'798
	CENTRO	25'439	-70'092	-44'653	95'530
	SUD	14'624	-68'723	-54'099	83'347
VE5	NORD	9'473	-72'854	-63'382	82'327
	CENTRO	11'315	-102'069	-90'754	113'384
	SUD	5'924	-77'652	-71'728	83'576
VE6	NORD	8'082	-83'203	-75'121	91'285
	CENTRO	5'009	-104'153	-99'144	109'162
	SUD	16'738	-39'760	-23'022	56'498
VE7	NORD	137	-885	-748	1'022
	CENTRO	27'300	-21'993	5'307	49'292
	SUD	2'346	-200	2'146	2'546
VE8	NORD	3'213	-1'204	2'009	4'418
	CENTRO	15'955	-15'454	501	31'410
	SUD	2'358	-75	2'284	2'433
VE9	NORD	299	-930	-630	1'229
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	38'358	-21'127	17'231	59'485
VE10	NORD	49'452	-2'073	47'380	51'525
	CENTRO	54'812	-4'877	49'935	59'690
	SUD	73'672	-14'694	58'978	88'366

Tab. 25 Trasporto Longshore – Provincia di Rovigo (compreso tra linea di riva e profondità di chiusura)

TRASPORTO LONGSHORE [m³/anno] dalla batimetria 0 m alla profondità di chiusura					
Cella	Profilo	Portata Nord	Portata Sud	Portata NET	Portata GROSS
RO1	NORD	23'709	-94'804	-71'095	118'512
	CENTRO	40'763	-122'818	-82'055	163'581
	SUD	25'742	-90'842	-65'099	116'584
RO2	NORD	75'568	-17'854	57'714	93'421
	CENTRO	81'980	-4'914	77'066	86'894
	SUD	102'522	-5'505	97'017	108'026
RO3	NORD	155'561	-894	154'667	156'455
	CENTRO	97'789	-8'682	89'107	106'471
	SUD	100'776	-11'688	89'089	112'464
RO4	NORD	92'857	-7'855	85'002	100'712
	CENTRO	115'092	-11'892	103'200	126'984
	SUD	199'757	-17	199'740	199'774
RO5	NORD	196'389	-1'257	195'133	197'646
	CENTRO	220'473	-2	220'471	220'475
	SUD	380'533	-2'549	377'984	383'082
RO6	NORD	8'222	-437'699	-429'477	445'921
	CENTRO	106'567	-447'381	-340'814	553'948
	SUD	58'983	-364'826	-305'843	423'809
RO7	NORD	40'072	-352'238	-312'166	392'310
	CENTRO	27'198	-237'210	-210'012	264'408
	SUD	96'509	-278'210	-181'700	374'719
RO8	NORD	64'710	-283'795	-219'085	348'506
	CENTRO	47'593	-228'869	-181'276	276'462
	SUD	10'600	-112'436	-101'836	123'036
RO9	NORD	25'073	-227'038	-201'965	252'111
	CENTRO	1'695	-141'497	-139'803	143'192
	SUD	64'298	-242'571	-178'272	306'869
RO10	NORD	60'357	-222'591	-162'235	282'948
	CENTRO	11'776	-151'043	-139'267	162'819
	SUD	64'204	-218'558	-154'354	282'762

Tab. 26 Trasporto Longshore – Provincia di Rovigo (compreso tra limite a riva e profondità di chiusura)

TRASPORTO LONGSHORE [m³/anno] dalla testa del molo/pennello alla profondità di chiusura					
Cella	Profilo	Portata Nord	Portata Sud	Portata NET	Portata GROSS
RO1	NORD	20'133	-86'436	-66'303	106'569
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO2	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	85'065	-4'575	80'490	89'639
RO3	NORD	88'538	-433	88'105	88'972
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO4	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO5	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO6	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO7	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO8	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	404	-102'679	-102'276	103'083
RO9	NORD	20'532	-199'363	-178'831	219'895
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-
RO10	NORD	-	-	-	-
	CENTRO	-	-	-	-
	SUD	-	-	-	-

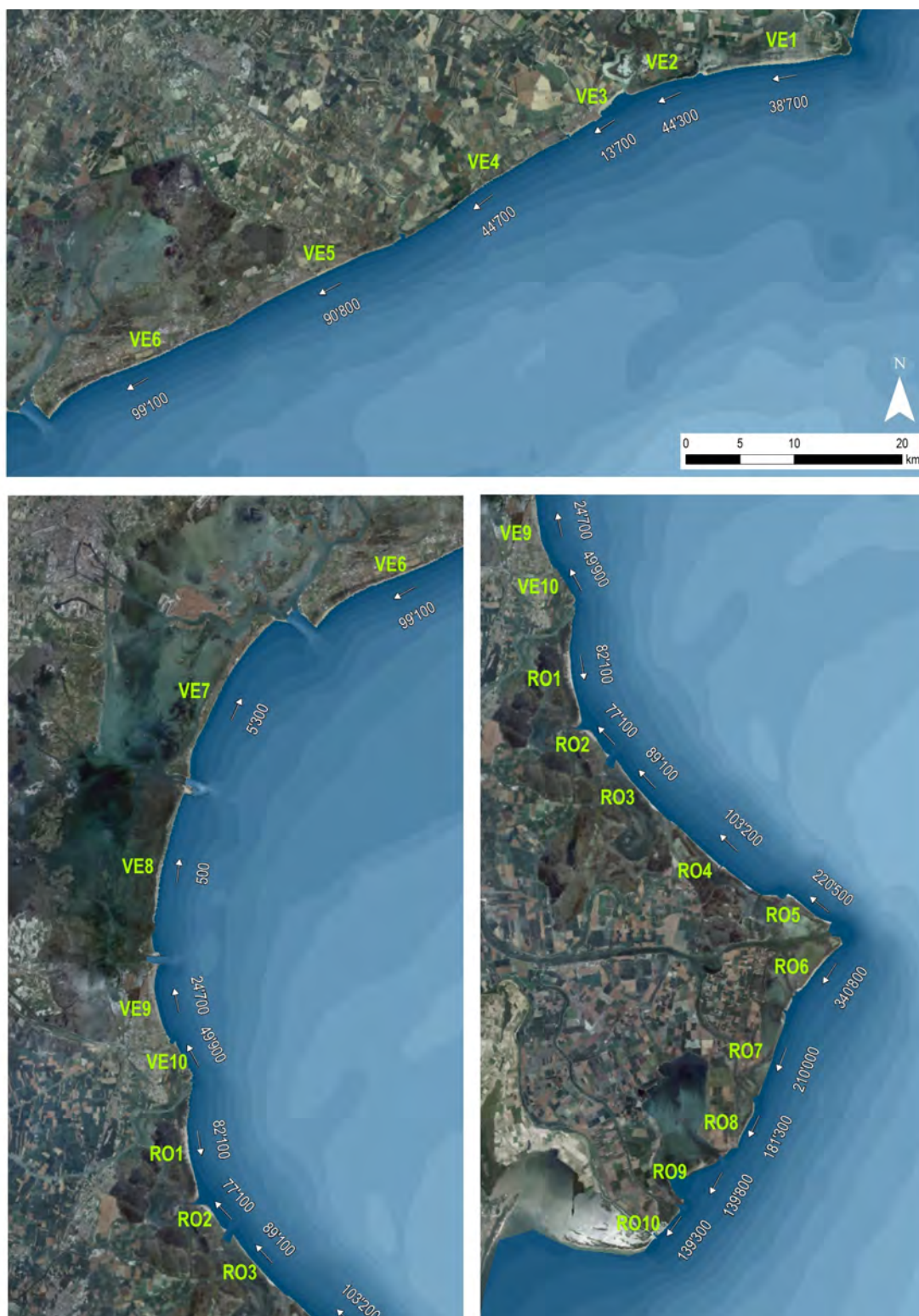


Fig. 57 Trasporto solido litoraneo nel litorale Veneto

5.5 CONCLUSIONI

È stato valutato il trasporto long-shore e cross-shore per tutte le celle individuate, attraverso modelli numerici semplici ma fisicamente basati, che considerano le caratteristiche dell'onda incidente (altezza, periodo, direzione e frequenza di accadimento annuo), il profilo batimetrico e la caratterizzazione sedimentologica (un valore rappresentativo per ogni profilo). I valori ottenuti sono in discreto accordo con le indicazioni bibliografiche. I risultati sono affetti da una apprezzabile incertezza a causa della complessità e della variabilità del processo esaminato ma costituiscono una indispensabile informazione per la valutazione dell'evoluzione del litorale.

6. TRASPORTO SOLIDO FLUVIALE

6.1 DATI DISPONIBILI

Il presente studio ha l'obiettivo di determinare la portata solida convogliata a mare dai principali fiumi veneti: tale stima risulta indispensabile al fine di controllare e gestire l'evoluzione della linea di costa per la valutazione dei potenziali interventi da adottare.

Il problema del trasporto solido fluviale è complicato dalla quasi completa assenza di rilievi sistematici recenti nella rete idrografica regionale. Se si considera che i tempi richiesti per ripristinare una pur minima rete di misura non sono certo brevi, si può capire come per il presente studio sia imprescindibile ricorrere all'utilizzo di modelli matematici capaci di utilizzare al massimo i pochi dati disponibili. Un'importante fase del lavoro consiste quindi nel recuperare da fonti attendibili i più precisi dati di carattere idrologico, idraulico e morfologico. I dati analizzati sono i seguenti:

Tab. 27 Dati disponibili su principali fiumi veneti

TAGLIAMENTO
– Sezioni trasversali georeferenziate del 1982 (Regione Friuli Venezia Giulia, 1982);
PIAVE
– Scala delle portate a Ponte di Piave relativa agli anni 2004-2005 (Arpav, 2006) e 2006-2007 (Arpav, 2008), – Modello matematico bidimensionale per lo studio della propagazione delle piene nel fiume Piave tra Macchietto e la foce (Dip. IMAGE, 2008) e sua integrazione (Dip. ICEA, 2012);
BRENTA
– Modellazione matematica del bacino idrografico del fiume Brenta (Marani, D'Alpaos, 2010); – Sezioni trasversali cartacee rilevate tra il 1958 e il 1991 e relativa planimetria (ADBVE), – Rilievi lidar-multibeam da Limena alla foce (ADBVE, 2007).
ADIGE
– Rilievi topografici e geognostici del sistema arginale del fiume Adige (Regione del Veneto e Autorità di Bacino nazionale dell'Adige, novembre 1997): sezioni trasversali dalla 1288 (Boara Pisani) sino alla 1437 (foce), – Rilievi topografici e geognostici del sistema arginale del fiume Adige (Autorità di Bacino nazionale dell'Adige): sezioni trasversali 1288 - 1352 (ottobre 2009), 1355 - 1377 (dicembre 2005), 1376 - 1407 (settembre 2008) e 1408 - 1437 (maggio 2005), – Scala delle portate a Boara Pisani relativa agli anni 2004-2005 (Arpav, 2006 b) e al 2010 (Arpav, 2011), – Dati storici di trasporto dei sedimenti in sospensione (Di Silvio et al., 2008);
Po
– Sezioni trasversali rilevate nel 2000 e 2005 per l'asta principale del Po da Pontelagoscuro sino alla foce con relativa planimetria (AIPO, geoportale), – Sezioni trasversali del Po di Goro rilevate nel 2005 e relativa planimetria (AIPO, geoportale), – Scala delle portate a Pontelagoscuro relativa al 2013 (ARPAER, 2013), – Studio sulla ripartizione delle portate liquide e solide nei rami del delta (ARPAV, 2012), – Dati storici di trasporto dei sedimenti in sospensione (Syvitski (2005), Canali (1961) e Cati (1981);

Per quanto riguarda i diametri dei sedimenti, sono stati in generale stimati sulla base dei dati esistenti in letteratura; per l'Adige e il Brenta si disponeva inoltre di una curva granulometrica del materiale d'alveo.

6.2 METODOLOGIA APPLICATA

Il modello utilizzato (Lanzoni et al., 2014) nel presente studio applica le tradizionali equazioni monodimensionali di continuità, di conservazione della quantità di moto per il fluido e l'equazione di bilancio dei sedimenti di Exner monodimensionale:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{Eq. 13}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{Q^2}{AC^2 R_h} = 0 \quad \text{Eq. 14}$$

$$(1 - p)B_b \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (B_b q_s) = 0 \quad \text{Eq. 15}$$

Dove x è la coordinata longitudinale, t indica il tempo, $A(x,t)$ è l'area della sezione trasversale, $R_h(x,t)$ è il corrispondente raggio idraulico, $Q(x,t)$ è la portata liquida, $H(x,t)$ è l'elevazione della superficie liquida, $C(c,t)$ è la conduttanza, $\eta(x,t)$ è l'elevazione del fondo medio, B_b è la larghezza del letto attiva ovvero quella effettivamente occupata dalla portata, q_s è la portata solida per unità di larghezza, p è la porosità dei sedimenti e α è il coefficiente di Coriolis.

La portata solida è in generale funzione dello sforzo tangenziale medio al fondo $\tau_b = \rho Q^2 / (C^2 A^2)$ e del diametro dei sedimenti d_s , i quali possono essere inglobati nel termine di tensione adimensionale di Shields $\tau_* = \tau_b / (\Delta \rho g d_s)$ e nel numero di Reynolds della particella $R_p = \sqrt{\Delta g d_s^3} / \nu$ in cui $\Delta = \frac{\rho_s}{\rho} - 1$, ρ rappresenta la densità del fluido, ρ_s la densità dei sedimenti e ν la viscosità cinematica dell'acqua.

Nel presente lavoro, data la prevalenza di sabbia nel letto dei fiumi, la q_s è stata stimata mediante la formulazione empirica proposta da Engelund e Hansen nel 1967:

$$\phi = 0.05 C^2 \tau_*^{5/2} \quad \text{Eq. 16}$$

nella quale ϕ è un parametro adimensionale che esprime la q_s . Poiché l'obiettivo dell'applicazione del modello è valutare se esista una portata formativa per il tratto analizzato, ovvero la portata che, in condizioni di equilibrio, modelli il fondo nello stesso modo in cui esso è stato rilevato, dovrà risultare $\frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$.

Ricordando che le sponde sono fisse (il fondo può variare solo altimetricamente), questa condizione di equilibrio implica che la sezione liquida A non dipenda dal tempo. Perciò, nel caso di variazioni trascurabili di portata liquida e solida lungo la coordinata s , le Eq. 13 e Eq. 15 implicano che Q e Q_s si mantengono costanti, mentre l'Eq. 14 in condizioni di portata costante si riduce a:

$$\frac{Q^2}{A} \frac{d}{dx} \left(\frac{\alpha}{A} \right) + g \frac{dH}{dx} + \frac{Q^2}{C^2 A R_h} = 0 \quad \text{Eq. 17}$$

Tale equazione è risolta imponendo la condizione al contorno della fase liquida alla sezione di valle. Questo livello è stato posto pari a zero in corrispondenza della foce.

Il modello è stato quindi applicato in condizioni di fondo fisso e tarato scegliendo i valori del coefficiente di scabrezza secondo Gauckler-Strickler, K_s , che rendano minimo lo scarto tra la scala delle portate calcolata e osservata (Adige, Piave e Po).

Nei casi in cui non si disponeva di tale dato (Tagliamento e Brenta) si è adottato un valore di scabrezza ragionevole per il tratto fluviale oggetto di studio, basandosi anche su scelte utilizzate in altri studi effettuati per i medesimi tratti con modelli numerici bidimensionali. In questo secondo caso si è ritenuto opportuno effettuare una serie di simulazioni al variare della scabrezza, in modo da avere a disposizione un quadro più ampio con cui valutare i risultati ottenuti.

Si è quindi eseguita una prima simulazione a fondo fisso al fine di ricavare, sezione per sezione, la portata solida totale. A titolo esemplificativo si riporta in Fig. 58 l'andamento della portata solida nella simulazione a fondo fisso effettuata per gli ultimi 35 km del fiume Adige, da Pettorazza (RO) alla foce.

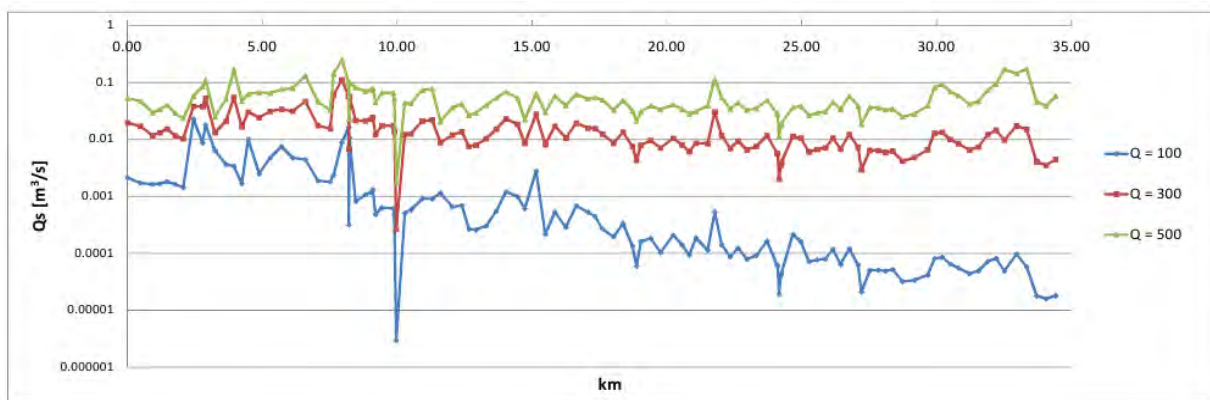


Fig. 58 Andamento portata solida al variare della portata liquida (da 100 a 500 m³/s) per il tratto di Adige da Pettorazza (RO) alla foce

In questo modo è possibile valutare la portata solida in ingresso nel tratto in analisi, ottenuta come media delle portate solide calcolate in un numero prefissato di sezioni a monte del tratto oggetto di studio, caratterizzate da un valore di portata solida il più possibile omogenea. In particolare, tale valore di portata solida è stato calcolato per diversi valori della portata liquida, in modo da ottenere una relazione tra portata liquida fluente e portata solida in ingresso al tratto di fiume esaminato. La portata

solida ricavata nel modo appena descritto è stata quindi impiegata come dato in input in una serie di simulazioni a fondo mobile, effettuate al variare della portata (solida e liquida) in ingresso. Le Fig. 60 e Fig. 59 mostrano i risultati ottenuti per il tratto terminale del Po di Goro, lungo circa 23 km, da Ariano nel Polesine (RO) alla foce. Come si può notare dai grafici della Fig. 60, la risposta data dal modello dipende dalla portata liquida (e dalla relativa portata solida) in ingresso al sistema, si può in particolare notare come il fondo ottenuto dalla simulazione con una portata di 400 m³/s sia più simile al fondo rilevato rispetto a quelli determinati per le portate di 100 e 600 m³/s. Nel primo caso si osserva una tendenza generalizzata al deposito mentre nel secondo il tratto è soggetto ad erosione. Ne consegue che, per come è stata definita, la portata formativa è approssimativamente pari a 400 m³/s. Tale risultato è confermato in maniera più approfondita dal grafico di Fig. 59, in cui si evidenzia come lo scarto minimo tra il fondo reale e il fondo simulato si ottiene appunto per tale portata.

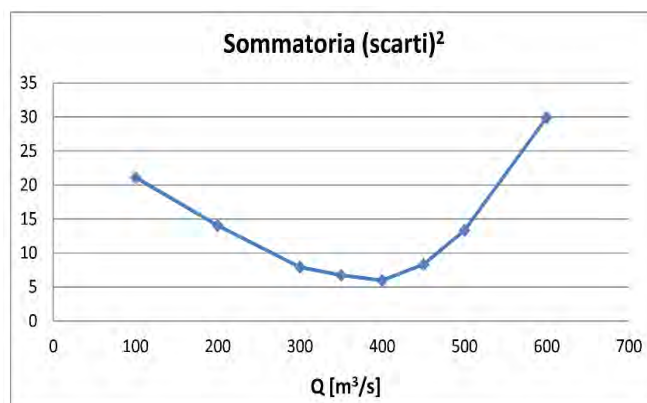


Fig. 59 Andamento della somma degli scarti al quadrato ottenuti sezione per sezione al variare della portata liquida (e solida) in ingresso - Po di Goro, da Ariano nel Polesine alla foce

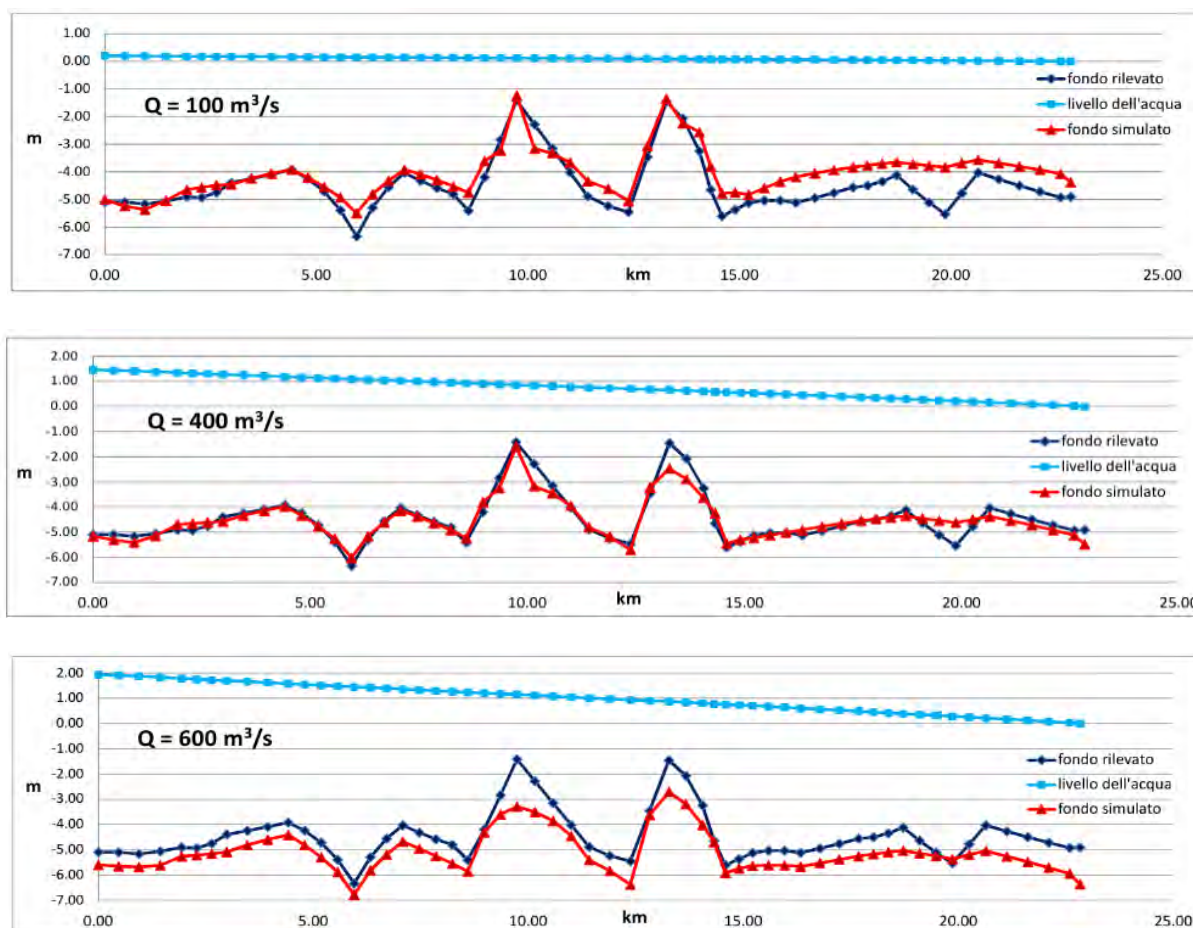


Fig. 60 Confronto tra l'andamento del fondo rilevato sperimentalmente e il fondo ottenuto mediante simulazione numerica al variare della portata liquida e solida in ingresso, da Ariano Polesine alla foce del Po di Goro.

Per valutare il trasporto solido medio annuo, si è assunto, in prima approssimazione, che la portata formativa sia presente nel corso d'acqua per 365 giorni. La relativa portata solida in condizioni di equilibrio va quindi estesa all'intero anno ottenendo il volume di sedimenti convogliati a mare. La metodologia sopra illustrata nel caso del Po di Goro è stata applicata a tutti i fiumi elencati (i.e., Tagliamento, Piave, Brenta, Adige e Po), in modo da ottenere una stima complessiva del volume di sedimenti trasportati a mare lungo il litorale veneto. In quanto segue si riportano per ogni corso d'acqua i risultati più significativi.

6.3 RISULTATI OTTENUTI

6.3.1 Tagliamento

Il Tagliamento, il più importante fiume del Friuli-Venezia Giulia, nasce in prossimità del Passo della Mauria, nelle Alpi Carniche e della Gail, e dopo un percorso di 178 km sfocia nel mar Adriatico in corrispondenza di Lignano Sabbiadoro. Il suo bacino si estende per quasi 2900 km². Nel suo tratto vallivo segna il confine tra la regione del Veneto e quella del Friuli-Venezia Giulia. Il regime idrologico del Tagliamento è assai irregolare, con una differenza di portata fra magra e piena che raggiunge i due ordini di grandezza. Per questo motivo viene classificato fra i fiumi a carattere torrentizio. La sua portata media annua è di 70 m³/s alla foce. Il massimo storico del Tagliamento è stato registrato fra i 4000 e i 4500 m³/s a Pinzano, durante la piena del 4 novembre 1966 (ADBVE, 1997).

A oggi, il tratto finale del corso d'acqua può convogliare circa 1500 – 1600 m³/s mantenendo un franco dalla sommità arginale di 1 metro mentre, considerando l'intero volume invasabile, la capacità di portata aumenta a 2000 m³/s (ADVE, 1997). In prossimità dell'abitato di Cesarolo si dirama il Cavrato, un canale scolmatore che viene attivato qualora la portata all'interno del Tagliamento superi i 1000 m³/s. Il tratto analizzato del Tagliamento è lungo circa 15.5 km e si estende da qualche chilometro a valle dell'incile del Cavrato fino alla foce (Fig. 61). Non si è potuto procedere alla calibrazione del coefficiente di Gauckler-Strickler in quanto la scala delle portate di cui si disponeva, localizzata presso Latisana (UD), pare non sia veritiera poiché si ottengono valori di portata liquida doppi rispetto al reale. A Latisana infatti si riscontra, a valle della stretta, il problema del rigurgito. In alternativa si è optato per effettuare diverse simulazioni al variare del Ks.



Fig. 61 Immagine del tratto terminale di fiume Tagliamento

Il diametro significativo d_{50} dei sedimenti è stato assunto pari a 0.2 mm e corrisponde a sabbie medie-fini. La portata formativa, che meglio approssima l'andamento del fondo reale, risulta pari a 250 m³/s; la corrispondente portata solida risulta 0.0031 m³/s. Estendendo tale valore alla durata di un anno si ottiene un volume di sedimenti pari a 0.098 Mm³/anno.

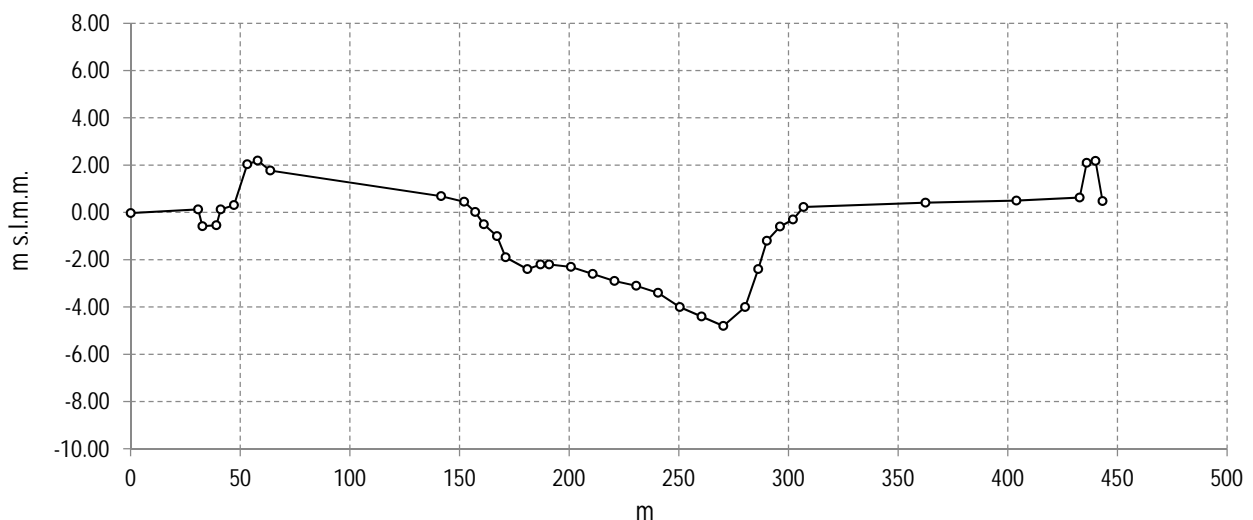


Fig. 62 Tagliamento: sezione trasversali 3 posta a 958 m dalla foce

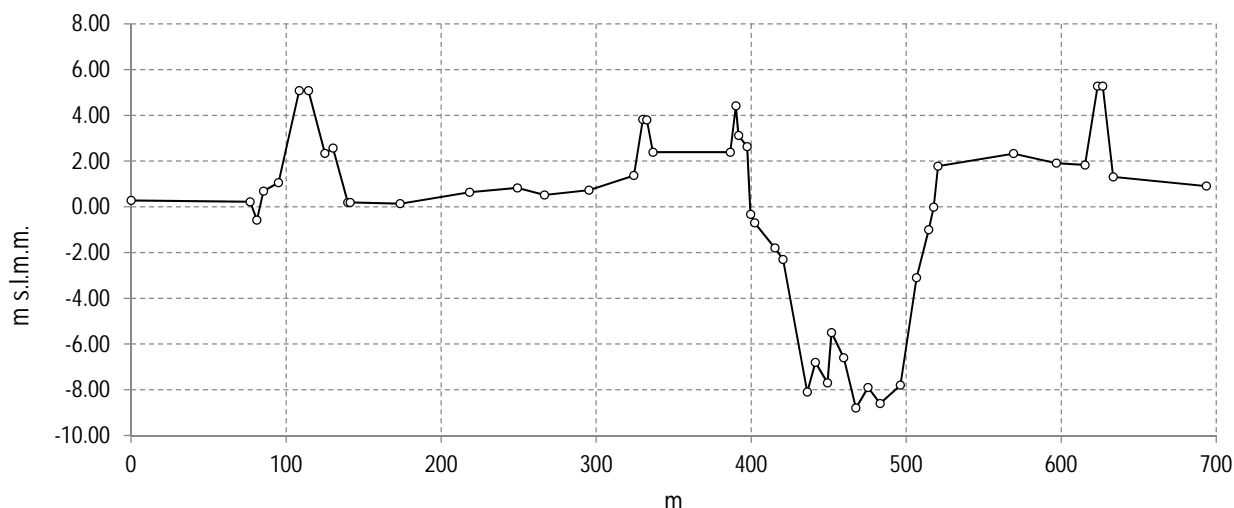


Fig. 63 Tagliamento: sezione trasversale 21 posta a 9.57 km dalla foce

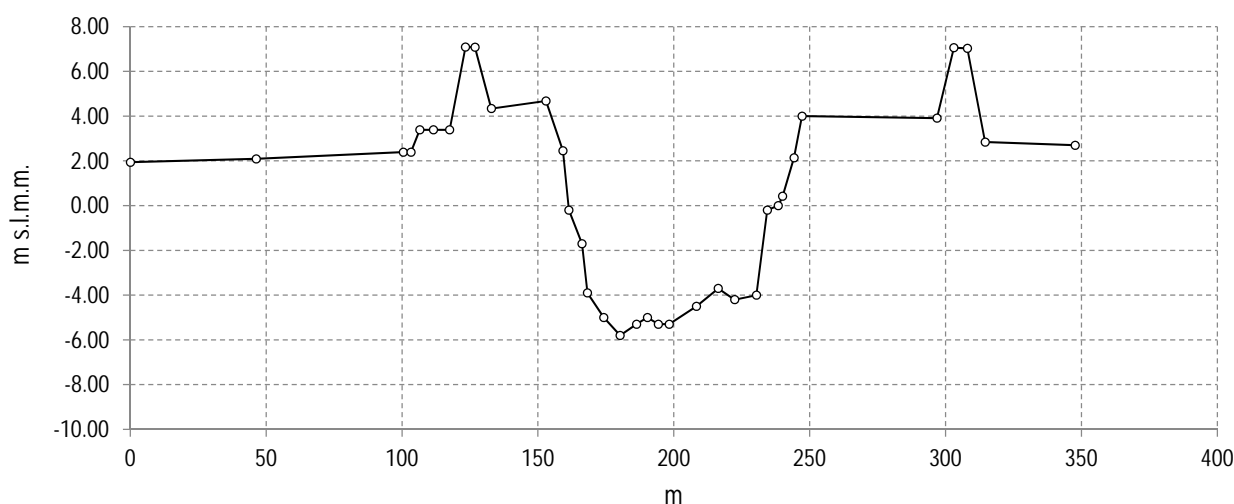


Fig. 64 Tagliamento: sezione trasversale 33 poste a 14.36 km dalla foce

6.3.2 Piave

Il bacino del fiume Piave ha una superficie complessiva di circa 4100 km² e la sua asta principale ha una lunghezza di 220 Km. Essa può essere suddivisa in tre parti:

- Un tronco superiore, che attraversa il Cadore e passa in prossimità di Belluno caratterizzato da un andamento torrentizio a pendenza elevata e alveo relativamente stretto, racchiuso tra alti monti;
- Un tronco intermedio con caratteristiche di fiume torrentizio, compreso all'incirca tra Fener e Zenson, con pendenze rilevanti, ampio alveo composto di ciottoli e ghiaie, suddiviso in rami che mutano spesso il loro corso (braiding);
- Un terzo e ultimo tronco, che assume la natura propria del fiume di pianura con pendenze significativamente ridotte. Esso scorre entro un alveo largo in media circa 100 m, incassato in sponde fisse con quote superiori al livello di guardia, racchiuse tra argini principali per il contenimento delle piene. (ADBVE, 2009).

Nel presente studio si è analizzato il tratto terminale del corso d'acqua lungo circa 40 km, dalla stazione idrometrica di Ponte di Piave alla foce (Fig. 65). La profondità media in questo tratto è di circa 5 m. La morfologia del fondo è piuttosto accidentata con frequenti e repentini abbassamenti del fondale (fino a profondità superiori ai 10 m) non solo nella parte esterna dei meandri, ma anche nel tratto rettilineo. Tale variabilità è dovuta non solo a processi erosivi legati alla dinamica del corso d'acqua, ma presumibilmente anche all'estrazione di inerti in alveo (molto intensa nel passato). L'alveo è prevalentemente costituito da sabbie fini. Nella parte superiore, fino a Fossalta, sono tuttavia presenti dei tratti con fondo ghiaioso. Il bacino del Piave, chiuso a Nervesa della Battaglia (TV), è caratterizzato da un massimo di piena registrato nel 1966, pari a circa 5000 m³/s; la portata media annua varia tra i 120 e i 130 m³/s.



Fig. 65 Immagine satellitare del tratto di fiume Piave analizzato

Attualmente, per lunghi periodi nella stagione estiva, si stenta a mantenere artificialmente una portata a Nervesa dell'ordine dei $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (ADBVE, 2009).

Il coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler è stato calibrato utilizzando la scala delle portate a Ponte di Piave. Il trasporto solido è stato stimato considerando gli ultimi 8 km, sostanzialmente da Eraclea alla foce, dove il fondo è costituito da sabbie fini per le quali si è assunto un diametro caratteristico d_{50} di 0.2 mm. Ne è risultata una portata formativa di $450 \text{ m}^3/\text{s}$, e una corrispondente portata solida di $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$. Il volume medio di sedimenti trasportati si attesta quindi attorno ai $0.44 \text{ Mm}^3/\text{anno}$. Tale valore è sostanzialmente confermato da una seconda simulazione, effettuata in un tratto di 8 km centrato a San Donà. D'altra parte, secondo ARPAV il trasporto solido medio annuo a Nervesa della Battaglia è stimato in circa $0.4 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.

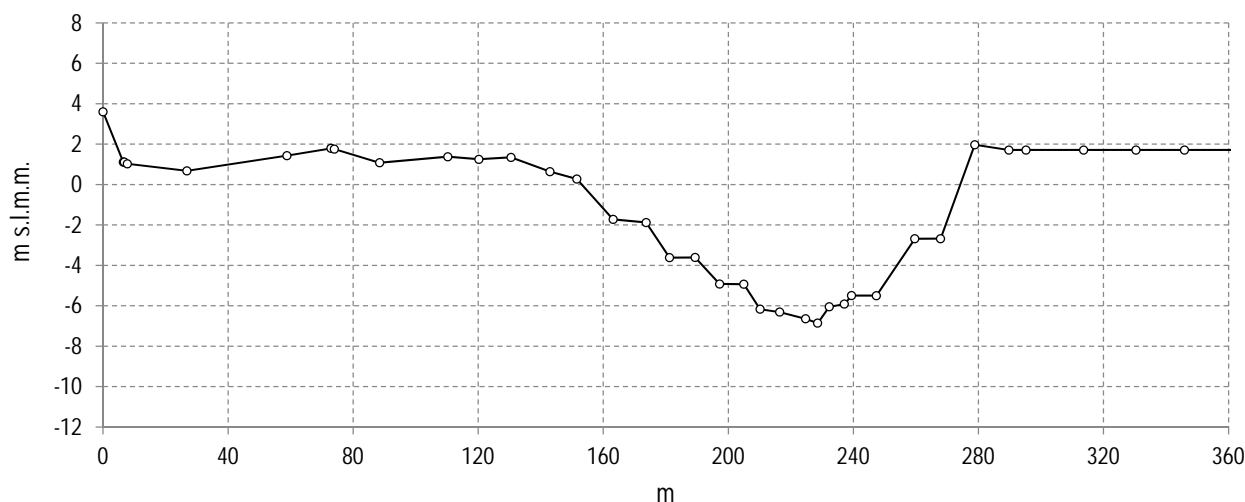


Fig. 66 Piave: sezione trasversale 2 posta a 0.55km dalla foce

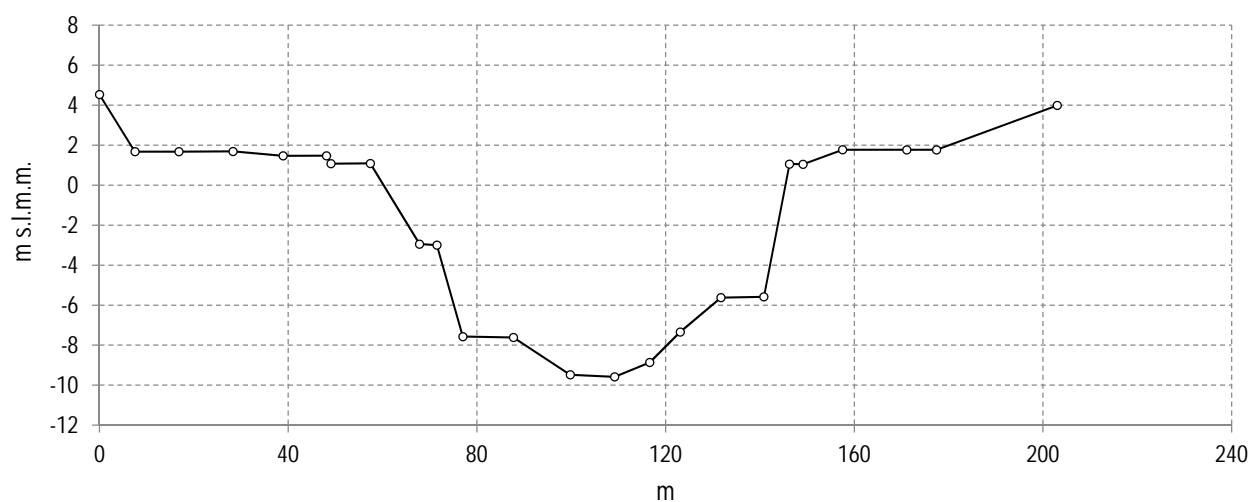


Fig. 67 Piave: sezione trasversale 16 posta a 4.83 km dalla foce

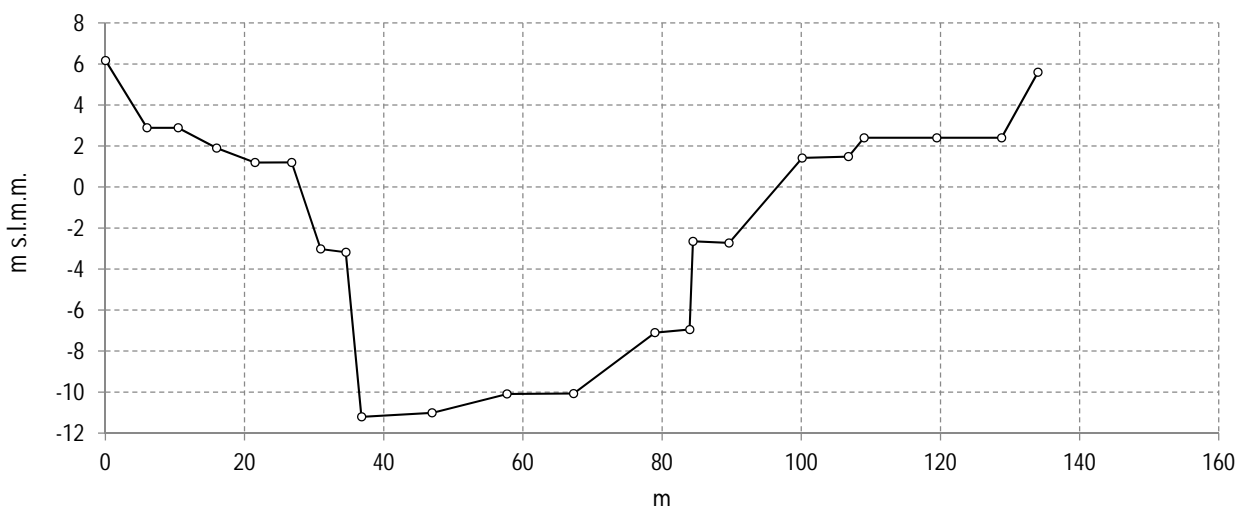


Fig. 68 Piave: sezione trasversale 23 posta a 7.44 km dalla foce

6.3.3 Brenta

Il Brenta, uno dei principali fiumi veneti, ha origine in prossimità dei laghi di Caldonazzo e Levico in Trentino-Alto Adige e, dopo un tragitto di circa 174 km, sfocia nel mar Adriatico poco più a nord della foce dell'Adige. Il suo bacino si estende per poco più di 5800 km². Dal punto di vista idrologico la portata media che defluisce a Bassano è di circa 60 – 90 m³/s (ARPAV, 2011 b e ARPAV, 2012 b) mentre la massima portata transitabile a valle di Stra è dell'ordine dei 1500 m³/s.

Il tratto di fiume analizzato (Fig. 69) è lungo circa 31 km e si estende da pochi chilometri a valle di Stra fino alla confluenza con il fiume Bacchiglione, posizionata a qualche chilometro prima della foce. Anche in questo caso non si è potuto procedere alla taratura del coefficiente di scabrezza in quanto, pur disponendo di una scala delle portate nella sezione in corrispondenza della briglia di Limena (ottenuta tramite prove su modello fisico), nelle simulazioni con portate medio-basse sul manufatto si instaura il tirante critico, che come noto è indipendente dalla scabrezza. Quindi sono state compiute più simulazioni con diversi valori di coefficiente di scabrezza per l'alveo.



Fig. 69 Immagine satellitare del tratto di fiume Brenta analizzato

Il diametro significativo d_{50} dei sedimenti è stato assunto pari a 0.2 mm assumendo, come per il Tagliamento, che il tratto sia costituito da sabbie medio-fini. La portata formativa, che meglio approssima l'andamento del fondo reale risulta compresa tra 200 e 250 m³/s; ad essa corrisponde un trasporto solido di 0.012 m³/s. Il volume di sedimenti che annualmente giunge alla foce risulta quindi pari a circa 0.378 Mm³/anno.

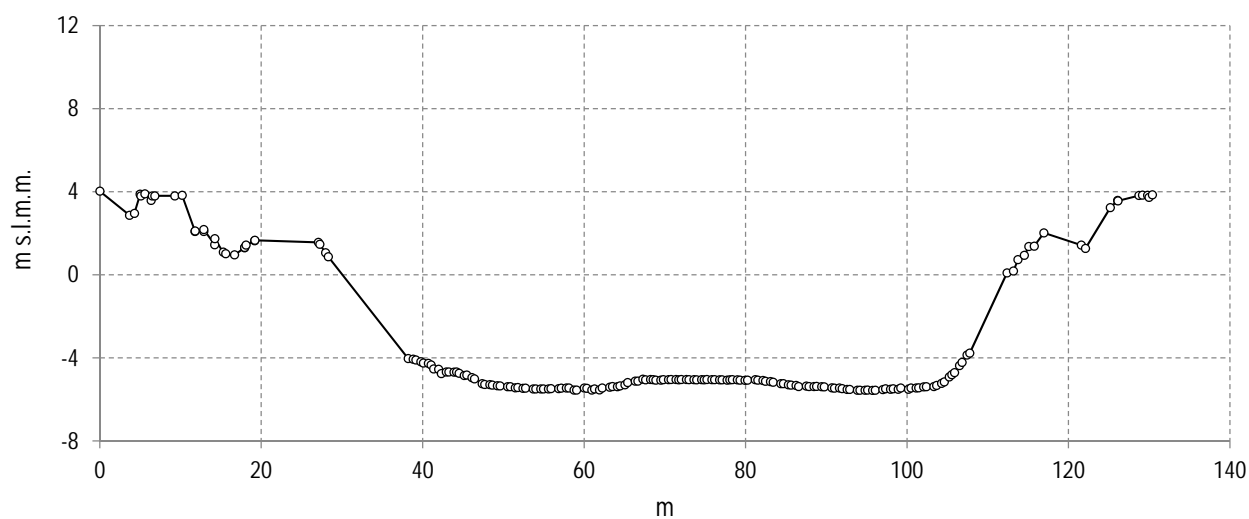


Fig. 70 Brenta: sezione trasversale 10 posta a 6.1 km dalla foce

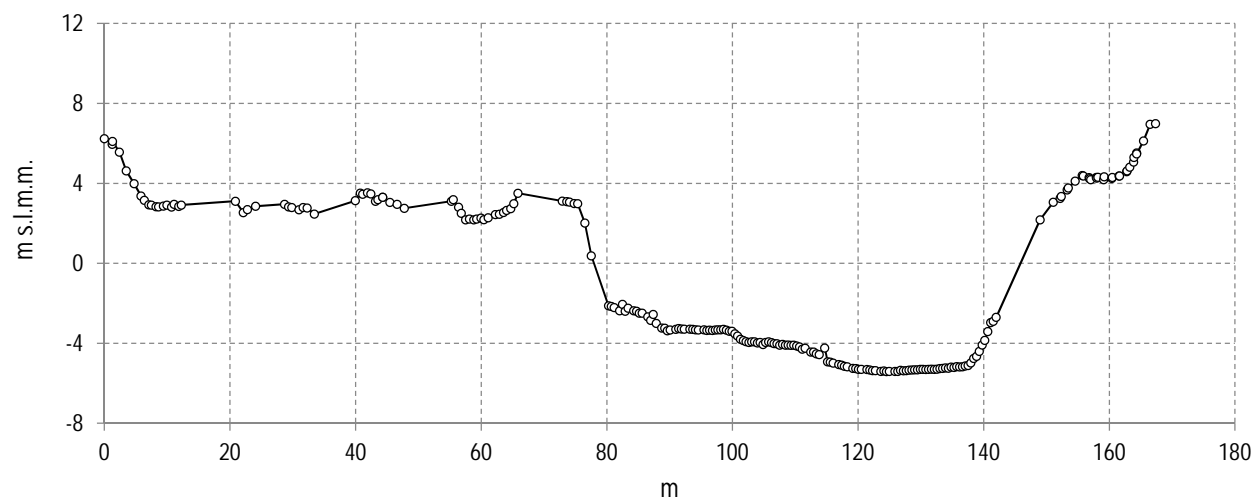


Fig. 71 Brenta: sezione trasversale 24 posta a 15.8 km dalla foce

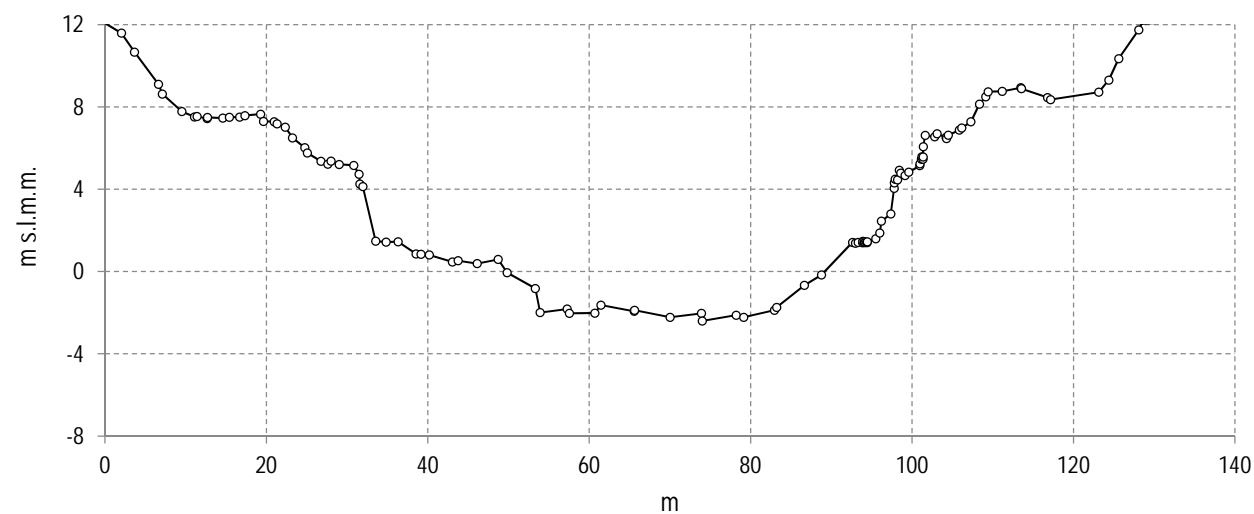


Fig. 72 Brenta: sezione trasversale 49 posta a 32.89 km dalla foce

6.3.4 Adige

L'Adige, con i suoi 410 km di percorso, è il secondo fiume italiano per lunghezza mentre, per estensione di bacino, è il terzo con un'ampiezza complessiva di poco superiore ai 12000 km². Nasce presso il Passo Resia in Alto Adige e sfocia nel Mare Adriatico presso Sant'Anna di Chioggia. La portata media annuale alla foce si aggira attorno ai 200 m³/s (ARPAV, 2011); inoltre l'Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige ha stimato a valle di Verona una portata di piena di circa 1500 m³/s con tempo di ritorno di 100 anni.

Il tratto di fiume analizzato è lungo circa 24 km (Fig. 73) e si estende da Cavarzere alla foce. Per valutare la scabrezza è stata condotta un'accurata analisi di sensibilità avendo la possibilità di confrontare i livelli calcolati e quelli misurati in corrispondenza del teleidrometro di Boara Pisani.



Fig. 73 Immagine satellitare del tratto di fiume Adige analizzato

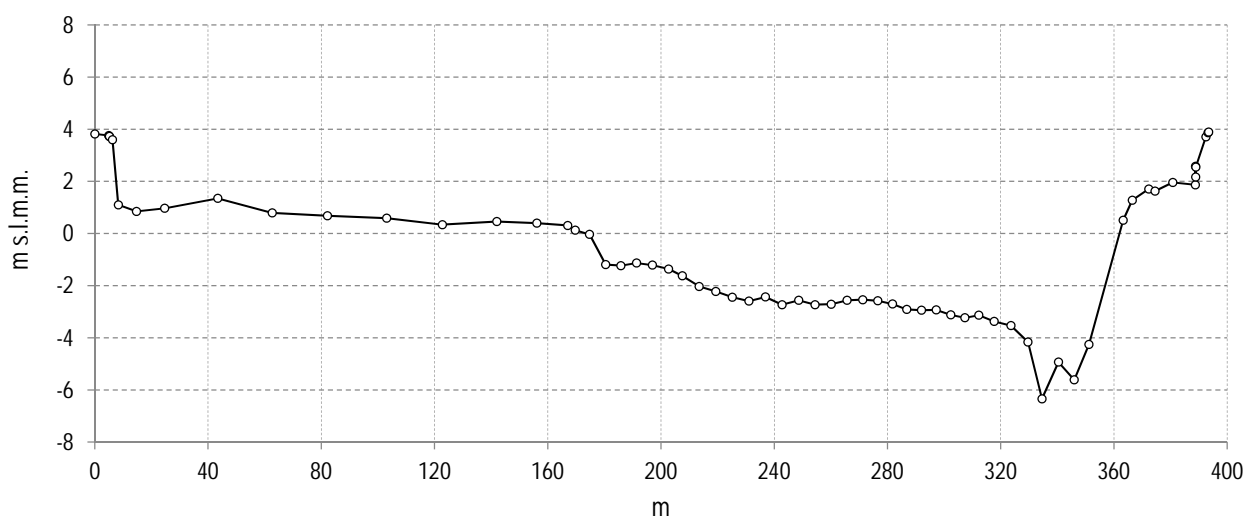


Fig. 74 Adige: sezione trasversale 1430 posta a 3.2 km dalla foce

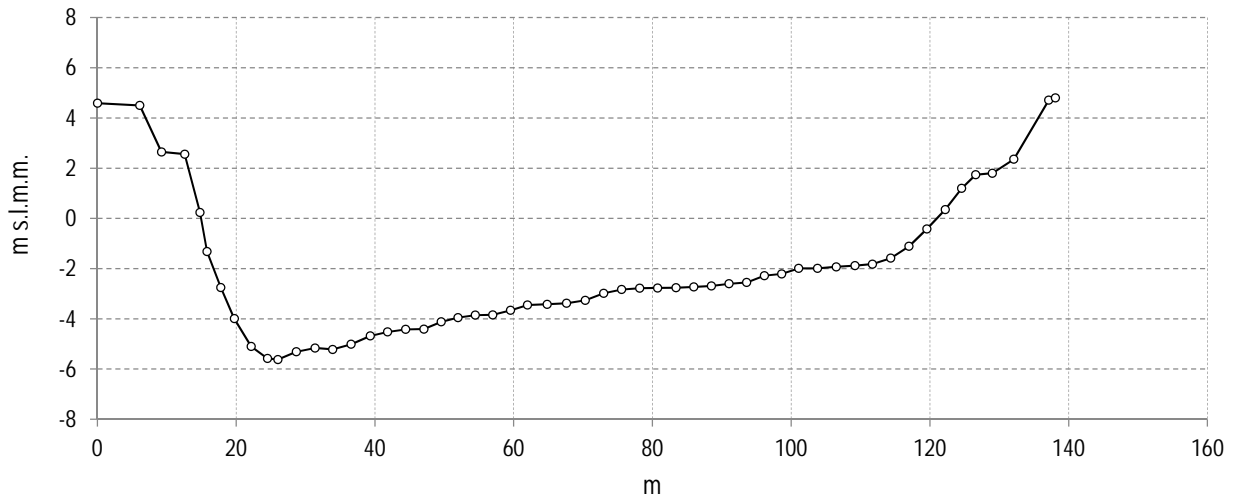


Fig. 75 Adige: sezione trasversale 1406 posta a 11.8 km dalla foce

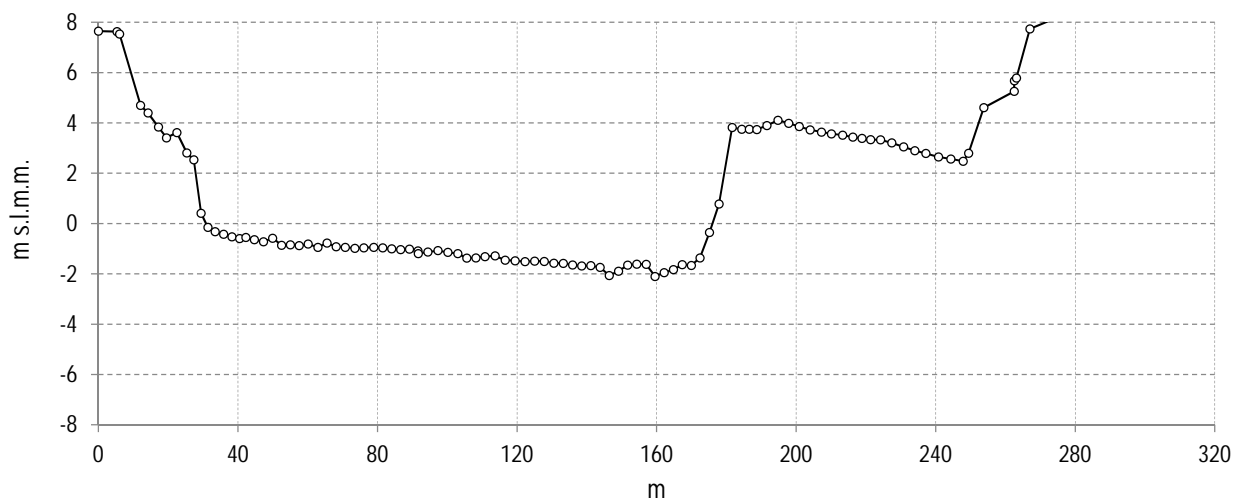


Fig. 76 Adige: sezione trasversale 1377 posta a 22.81 km dalla foce

Il diametro significativo d_{50} dei sedimenti è stato assunto pari a 0.3 mm, assumendo cioè che il letto sia composto da una sabbia media.

La portata formativa, che meglio approssima l'andamento del fondo reale, risulta di $450 \text{ m}^3/\text{s}$, a cui corrisponde un trasporto solido di $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$. Quindi in un anno il volume di sedimenti che complessivamente giunge alla foce risulta circa $0.858 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.

Il confronto tra le sezioni rilevate nel 2009 e nel 1996 evidenzia che il tratto di corso d'acqua analizzato (ultimi 25 km del tratto vallivo) è in leggera erosione: in 13 anni l'alveo si è abbassato mediamente di circa 80 cm, corrispondenti a una erosione di circa $0.2 \text{ Mm}^3/\text{anno}$. Tale quantità è quindi da sottrarre al volume di sedimenti trasportato annualmente dal corso d'acqua calcolato nell'ipotesi di fondo in condizione di equilibrio (i.e., $0.858 \text{ Mm}^3/\text{anno}$). Ne consegue che il volume di sedimenti che verosimilmente giunge al mare è circa pari a $0.658 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.

Tale valore risulta in accordo (come ordine di grandezza) con le misure del trasporto solido medio annuo *in sospensione* misurato a Boara Pisani nel corso del secolo scorso (Di Silvio et al., 2008), ovvero:

- 0.74 Mm^3 tra il 1929 e il 1941;
- 0.53 Mm^3 tra il 1958 e il 1965;

6.3.5 Po

Il bacino imbrifero del fiume Po, con i suoi 72000 km^2 , copre circa un quarto del territorio italiano includendo il versante meridionale delle Alpi, i versanti settentrionali degli Appennini toско-emiliani e la Pianura Padana. Il suo corso, lungo 652 km, viene comunemente suddiviso in quattro tratti principali (Marchi, 1984): l'alto Po, dalle sorgenti alla confluenza con il Ticino; il medio Po, dalla confluenza con il Ticino a quella con il Mincio; il basso Po, dalla confluenza con il Mincio all'incile con il Po di

Goro, a Serravalle; il delta, fino allo sbocco in mare. Il delta, a sua volta, è costituito da sei rami: Po di Maistra, Po di Venezia-Po della Pila (che sbocca in mare attraverso le bocche Busa di Tramontana, Busa Dritta e Busa di Scirocco), Po di Tolle, Po di Gnocca o della Donzella e Po di Goro.

Il regime idrologico annuale è caratterizzato da due periodi di magra (invernale ed estivo) e due periodi di piena (tardo autunnale e primaverile) associati, rispettivamente, all'intensificarsi delle precipitazioni e ai processi di scioglimento nivale che si verificano nelle porzioni montane del bacino. Per quanto riguarda le portate annuali minime, medie e massime, con riferimento alla sezione di misura di Pontelagoscuro, i valori si aggirano sui 600, 1500 e 5000 m³/s con picchi di piena dell'ordine dei 10000 m³/s e minimi sui 250 m³/s (Lanzoni, 2012).

Il tratto dalla sezione di Pontelagoscuro alla diramazione del Po di Goro presenta un alveo inciso monocursale da rettilineo a sinuoso, con una golena relativamente ristretta tra gli argini maestri e fortemente pensile. L'alveo di magra e le barre sono costituiti prevalentemente da sabbie fini: è sembrato quindi ragionevole assumere un d_{50} pari a 0.19 mm (Lanzoni, 2012), utilizzandolo per il ramo principale del delta nella sua interezza (Po di Venezia, Po di Pila). Il Po di Goro è l'unico tra i rami del delta di cui si disponevano sezioni trasversali. Si è per esso assunto un d_{50} pari a 0.14 mm, come da indicazioni presenti in letteratura (Cati, 1981).

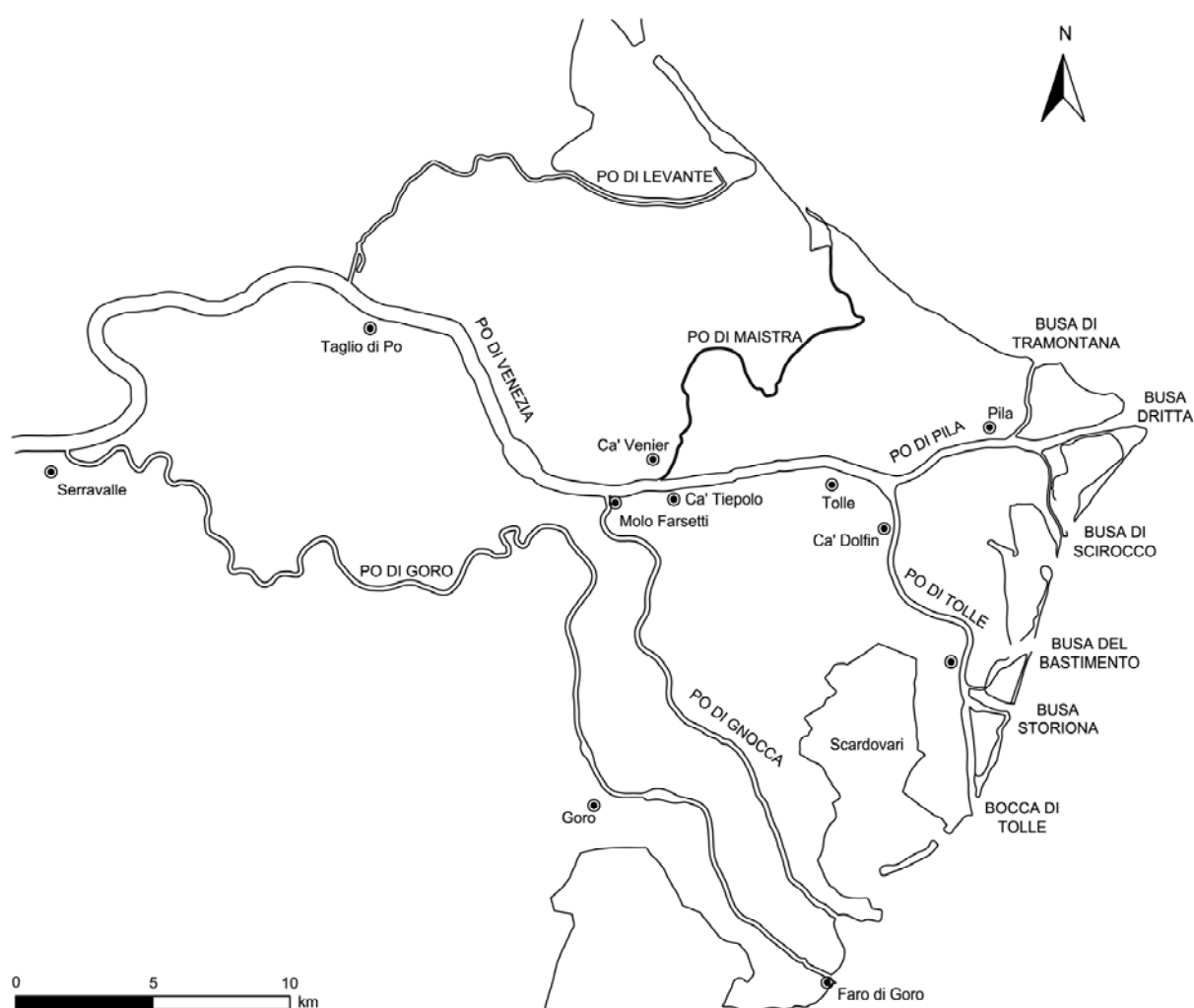


Fig. 77 Rete idrografica del Delta del Po

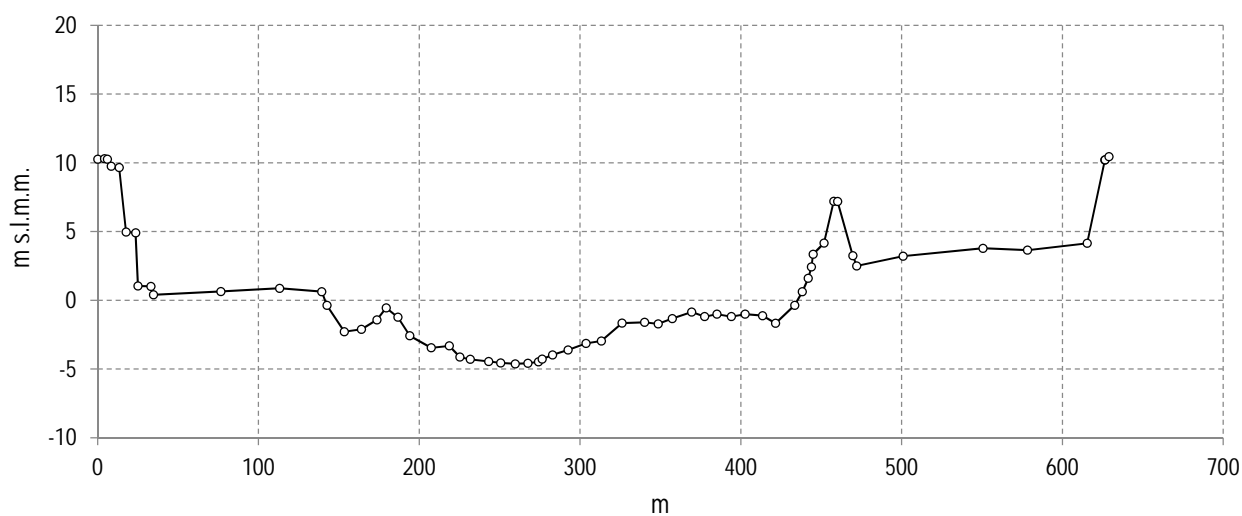


Fig. 78 Po: sezione trasversale 73A posta a 51.53 km dalla foce

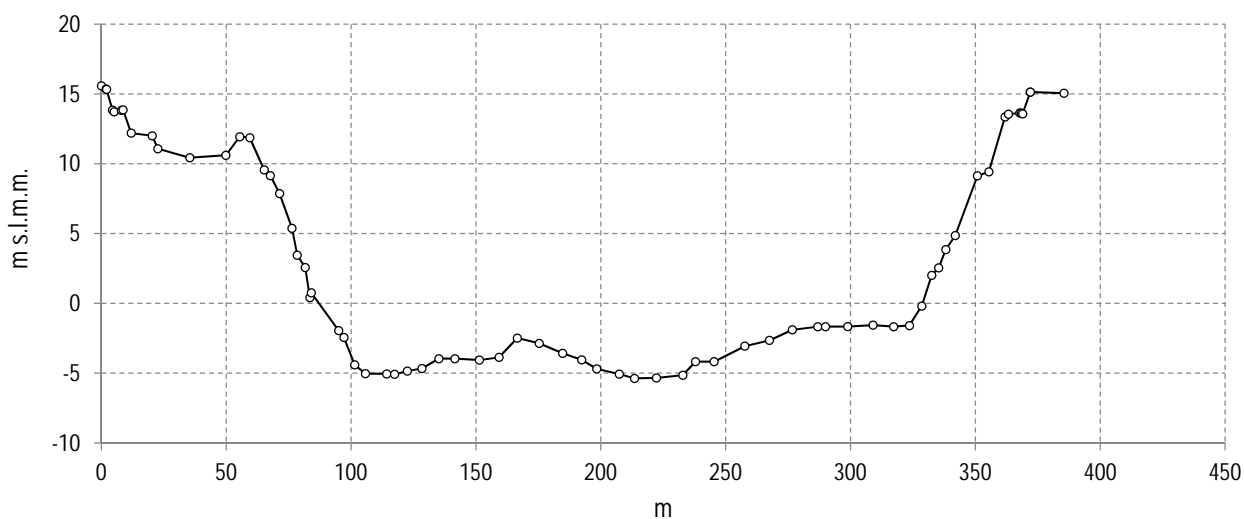


Fig. 79 Po: sezione trasversale 65(Pontelagoscuro) posta a 91.33 km dalla foce

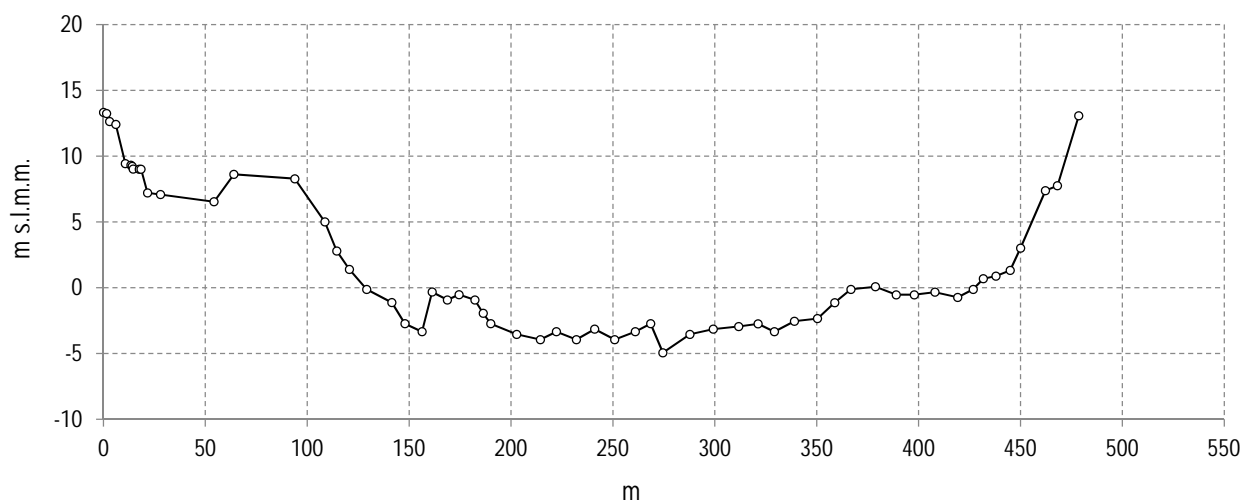


Fig. 80 Po: sezioni trasversale 70 posta a 71.4 km dalla foce

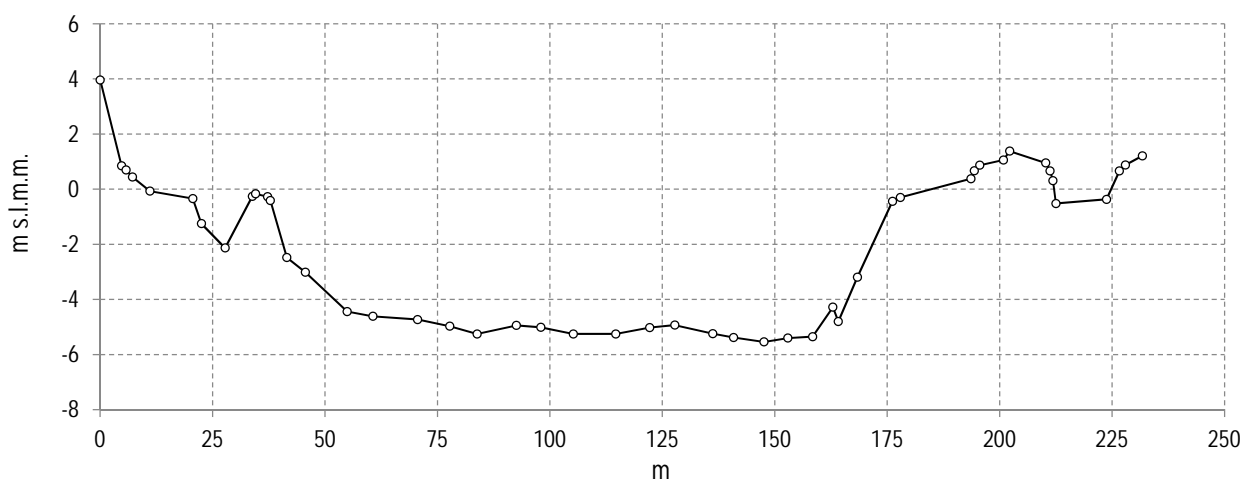


Fig. 81 Po di Goro: sezione trasversale G5 posta a 0.24 km dalla foce

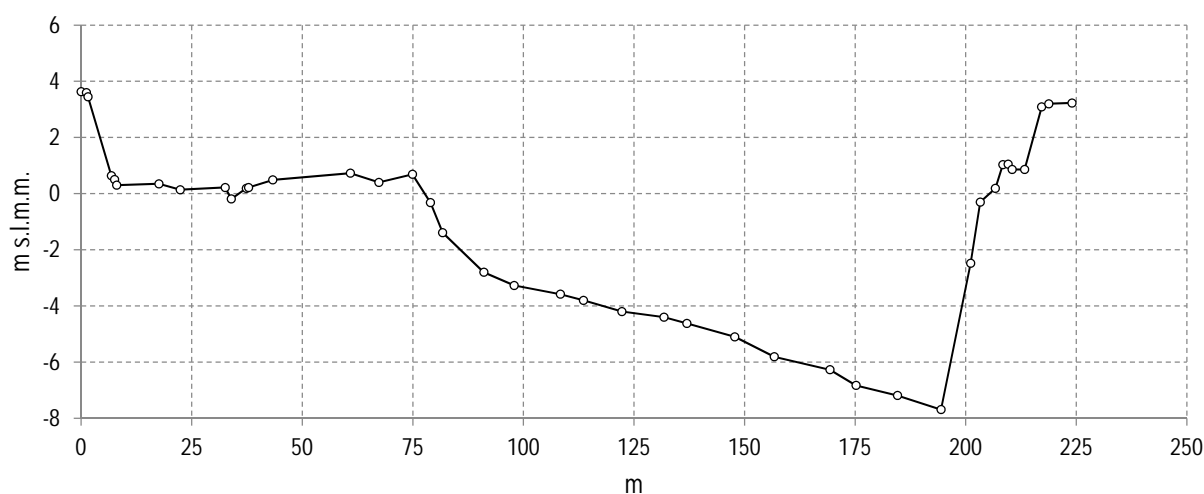


Fig. 82 Po di Goro: sezione trasversale 40 posta a 11.41 km dalla foce

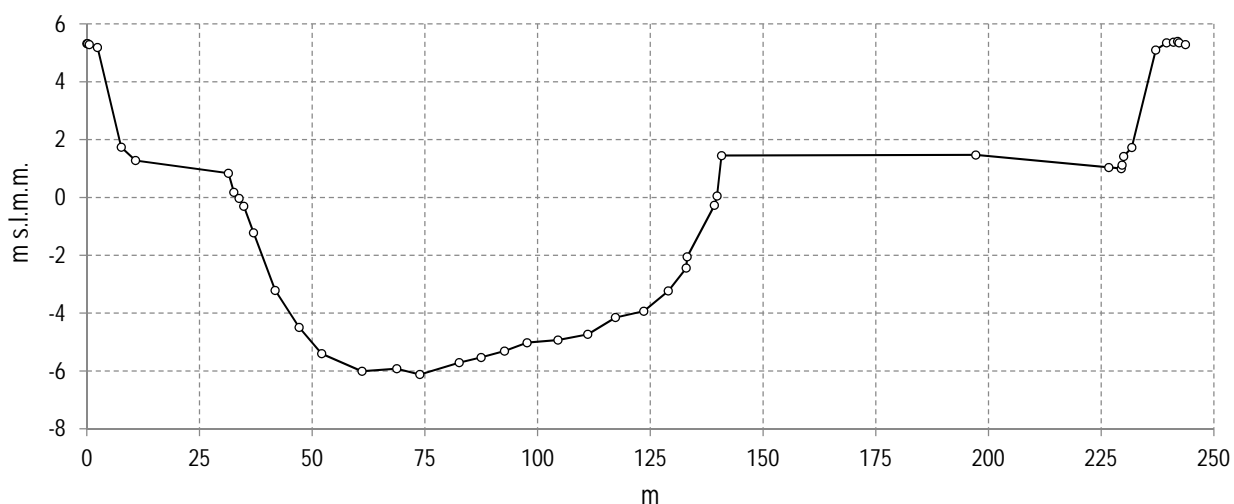


Fig. 83 Po di Goro: sezione trasversale 20 posta a 22.83 km dalla foce

Il tratto del Po di Goro è lungo circa 23 km e si estende da Ariano nel Polesine alla foce. Nel capitolo 2 si è già avuto modo di illustrare i risultati ottenuti: portata formativa pari a $400 \text{ m}^3/\text{s}$, portata solida corrispondente da $0.0137 \text{ m}^3/\text{s}$, trasporto medio

annuo stimato in 0.432 Mm³/anno. D'altra parte, i dati storici disponibili relativi al trasporto solido di questo ramo del Po sono i seguenti:

- Syvitski et al. (2005), sulla base delle misure del trasporto solido in sospensione condotte da Visentini (1940) negli anni 1932-37, stima il trasporto solido medio annuo in 0.84 Mm³/anno;
- Canali (1960-61): 1.01 Mm³/anno;
- Cati (1960-70): 0.58 Mm³/anno.

Il trasporto solido medio annuo stimato numericamente è quindi leggermente inferiore a quanto ottenuto dalle ultime rilevazioni sperimentali disponibili. Tale risultato appare ragionevole se si considera che, in generale, il trasporto solido del Po è diminuito nel corso dell'ultimo secolo. Per quanto riguarda invece gli altri rami del Po si è proceduto come segue. L'asta principale del fiume che da Pontelagoscuro sfocia in mare è stata suddivisa in tratti diversi (in totale 7) ogni qual volta da questa si presentasse una biforcazione. Le portate fluenti in ciascuno di questi tratti (via via decrescenti avvicinandosi alla foce) sono state determinate in base alla ripartizione delle portate nei vari rami fatta recentemente dall'ARPAV (2012). Si è quindi calibrato il modello integrando da valle verso monte, determinando il coefficiente di scabrezza dell'alveo in modo tale da garantire la continuità dei livelli nel passaggio da un tratto a quello successivo. Così facendo all'incile del Po di Goro si è ottenuto un valore della portata liquida formativa di 3000 m³/s, a cui corrisponde una portata solida di 0.177 m³/s, ovvero una portata solida media annuale di 5.582 Mm³/anno. Nel corso dell'ultimo secolo, diversi autori hanno cercato di valutare il trasporto solido in sospensione che fluisce attraverso la sezione di Pontelagoscuro. Il volume medio annuo che risulta da tali stime è pari a:

- Circa 10 Mm³ (Syvitski et al., 2005), in base alle misure effettuate da Visentini (1940) nel periodo 1932-1937;
- Circa 10 Mm³ (Canali, 1961);
- Circa 8 Mm³ (Cati, 1981, sulla base di misure effettuate nel periodo 1960-1970).

D'altra parte lo studio sul bilancio della linea di costa del delta del Po effettuato nell'ambito del progetto UE "MEDDELT" (Ruol & Tondello, Sediment transport and balance along the coastalfringe of the Po river delta, 1996) fornisce per il volume di sedimenti trasportato annualmente a mare le stime riportate in Tab. 28:

Tab. 28 Volume di sedimenti trasportato annualmente a mare (Ruol & Tondello, 1996)

ANNI	STIMA	
1956 - 1960	11.26	Mm ³ /anno
1961 - 1965	6.35	Mm ³ /anno
1971 - 1975	6.91	Mm ³ /anno
1976 - 1980	7.70	Mm ³ /anno
1981 - 1985	4.28	Mm ³ /anno

Risulta evidente nel corso degli anni una tendenza alla diminuzione del volume di sedimenti trasportato annualmente dal fiume, il cui valore, per i dati storici più recenti, è molto simile al risultato ottenuto dal modello matematico qui utilizzato.

Per ovviare alla mancanza di informazioni sulla geometria delle sezioni nei vari rami del delta (con l'eccezione del Po di Goro), al fine di valutare il volume di sedimenti che annualmente è trasportato a mare, si è supposto che il rapporto fra la portata solida nel ramo principale e quella ottenuta per il Po di Goro si potesse estendere anche agli altri rami. I risultati in tal modo ottenuti sono riassunti nella Tab. 29 e confrontati con i dati storici ottenuti da vari autori.

Tab. 29 Ripartizione della portata solida nei vari rami del delta del Po, valori in percentuale

RIPARTIZIONE IN PERCENTUALE DELLA PORTATA SOLIDA NEI VARI RAMI DEL PO						
Ramo	Syvitski	Albani	Cati	Canali	Ruol (Meddelt)	Valori assunti
	1932-37	1934-44	1960-70	1960-61	1971-85	
Pila	63.00	63.00	71.05	72.42	54.5	62.07
Tolle	13.20	12.00	9.37	6.28	16.5	15.48
Maistra	2.00	2.00	2.43	2.46	1.7	3.10
Gnocca	13.70	17.00	9.91	11.26	17	11.61
Goro	8.10	6.00	7.24	7.58	10.3	7.74

Si noti come per i rami del Po di Pila, del Po di Gnocca, del Po di Maistra e del Po di Goro il risultato ottenuto trova un buon riscontro con i dati storici, mentre gli stessi dati storici indicano un comportamento variabile nel corso del tempo per il Po di Tolle. Infatti per questo ramo, a un primo periodo a inizio del secolo scorso caratterizzato da una capacità di deflusso prossima al 15% del totale è seguita una diminuzione dell'efficienza idraulica nel periodo 1939-1959; tuttavia le misurazioni più recenti hanno evidenziato un netto incremento dell'officiosità di tale ramo riportandosi a valori leggermente superiori al periodo 1926-1938.

In definitiva, con la metodologia descritta, per i vari rami del delta del Po si ottengono le seguenti stime di trasporto solido:

- Po di Maistra: portata solida 0.0055 m³/s, trasporto solido medio annuo 0.173 Mm³/anno;
- Po di Gnocca: portata solida 0.0206 m³/s, trasporto solido medio annuo 0.648 Mm³/anno;
- Po di Tolle: portata solida 0.0274 m³/s, trasporto solido medio annuo 0.864 Mm³/anno;
- Po di Pila: portata solida di 0.1099 m³/s, trasporto solido medio annuo 3.465 Mm³/anno.

6.4 CONCLUSIONI

Un'interessante analisi dei risultati ottenuti può essere sviluppata confrontando i valori di portata formativa, con i valori di portata media annua caratterizzante i vari fiumi studiati (Tab. 30).

Tab. 30 Estensione del bacino idrografico, portata media annua e portata formativa per i vari fiumi

Fiume	Estensione bacino [km ²]	Portata media annua [m ³ /s]	Portata formativa [m ³ /s]
TAGLIAMENTO	2900	70	250
PIAVE	4500	120-130	450
BRENTA	5800	60-90	200-250
ADIGE	12000	200	450
PO ALL'INCILE DI GORO	72000	1500	3000

Dai dati riportati in tabella appare evidente come la portata formativa sia in ogni caso sensibilmente maggiore della portata media annua: il rapporto è circa il doppio per il Po e l'Adige, mentre varia da 3 a 4 per gli altri corsi d'acqua. Quindi, nonostante la differente conformazione e il diverso regime idrologico dei vari corsi d'acqua, si può supporre una risposta morfologica al regime idrologico abbastanza simile per tutti i corsi d'acqua analizzati.

Nella Tab. 31 sono riassunte le caratteristiche sedimentologiche medie assunte per i vari corsi d'acqua e le stime della portata formativa, della corrispondente portata solida e del volume medio annuo trasportato a mare.

Tab. 31 Sommario delle caratteristiche medie dei corsi d'acqua analizzati e delle stime ottenute con il modello matematico descritto

Fiume	DIAMETRO SEDIMENTI d ₅₀ [mm]	PORTATA FORMATIVA [m ³ /s]	PORTATA SOLIDA CORRISPONDENTE [m ³ /s]	VOLUME SEDIMENTI [Mm ³ /anno]
TAGLIAMENTO	0.2	250	0.0031	0.098
PIAVE	0.2	450	0.014	0.442
BRENTA	0.2	200-250	0.012	0.378
ADIGE	0.3	450	0.0272	0.858
PO ALL'INCILE DI GORO	0.19	3000	0.177	5.582
– Po di Goro	0.14	400	0.0137	0.432
– Po di Maistra			0.0055	0.173
– Po di Gnocca			0.0206	0.648
– Po di Tolle			0.0274	0.864
– Po di Pila	0.19		0.1099	3.465

Si può dunque osservare che l'unico corso d'acqua il cui risultato desta alcune perplessità sembra essere il Tagliamento: un trasporto medio di circa 0.1 Mm³/anno per questo fiume sembrerebbe ridotto se confrontato con i valori ottenuti per gli altri fiumi. I motivi per cui si spiega tale risultato possono essere:

- In primo luogo, a differenza degli altri corsi d'acqua per i quali si possiedono dati abbastanza recenti (i più vecchi sono per il Po: rilevazioni del 2005), per il Tagliamento le sezioni rilevate risalgono al 1982; si può ragionevolmente supporre che le sezioni attuali non siano rimaste invariate rispetto a quelle di allora per cui, evidentemente, dal momento con dati più recenti si potrebbe ottenere un risultato anche sensibilmente diverso; inoltre, il modello suppone che il fondo sia in condizione di equilibrio: con una geometria così datata e senza la possibilità di un confronto, tale ipotesi non può essere verificata;
- In secondo luogo, si rammenta come negli eventi di piena il canale scolmatore Cavrato lamini portate liquide dello stesso ordine di grandezza di quelle del Tagliamento: ciò comporta, in termini quantitativi, una non trascurabile sottrazione di portata solida al corso principale.

Nonostante il lavoro svolto si sia basato sull'applicazione di un modello matematico monodimensionale basato sulle equazioni di continuità e della quantità di moto della fase liquida e sull'equazione del bilancio totale dei sedimenti, che descrive in modo necessariamente semplificato un fenomeno complesso e basato su formule empiriche quale il trasporto dei sedimenti, i risultati ottenuti appaiono del tutto ragionevoli se confrontati con i pochi dati storici a disposizione.

Infine, si ricorda come le condizioni di equilibrio morfologico qui considerate si riferiscano a scale spaziali e temporali limitate. I tratti di fiume analizzati devono essere sufficientemente corti da poter supporre che le variazioni di portata liquida e solida, dovute ad esempio all'immissione di affluenti, siano trascurabili, e che la granulometria dei sedimenti costituenti il fondo sia costante. L'equilibrio si stabilisce su scale temporali, dell'ordine delle decine di anni, molto più piccole di quelle dei processi geologici (dell'ordine dei secoli) che conducono ad un generalizzato processo di erosione o sedimentazione del profilo longitudinale del corso d'acqua.

Risulta inoltre evidente come una stima affidabile della portata solida richieda dati affidabili e completi, relativi sia alla geometria dell'alveo inciso, sia alle sue caratteristiche granulometriche. I rilievi del fondo, ripetuti nel corso degli anni, consentono innanzitutto di valutare se il tratto di corso d'acqua considerato sia in condizioni prossime all'equilibrio morfologico oppure soggetto a generalizzati fenomeni di erosione o deposito. Nel caso in cui il corso d'acqua presenti condizioni di equilibrio (sia pure dinamico, ovvero soggetto a fluttuazioni fisiologiche indotte dal passaggio delle varie onde di piena), la procedura descritta precedentemente appare in grado di fornire stime attendibili della portata solida e del volume di sedimenti che viene trasportato verso mare.

In ogni caso, si auspica che per il prossimo futuro venga ripresa la buona pratica di effettuare misurazioni in situ del trasporto solido che ne consenta una stima più precisa o quantomeno una validazione più affidabile delle stime ottenute per via numerica.

7. IMBOCCATURE LAGUNARI

7.1 INFORMAZIONI DISPONIBILI

Lo studio dei meccanismi che controllano, sul lungo termine, lo scambio di sedimenti tra un bacino a marea ed il mare antistante, richiede la definizione di una sezione di controllo, le cui dimensioni generalmente si adattano alle condizioni idrodinamiche e di trasporto di sedimenti alle quali sono soggette.

Nei primi tentativi condotti, la relazione utilizzata per individuare un legame tra l'area della sezione liquida di una bocca lagunare e i flussi delle correnti a marea che la attraversano, era di tipo empirico e associava la sezione trasversale minima alla bocca, Ω , al prisma di marea di sizigie, P (definito come l'integrale delle portate che fluiscono attraverso la sezione in fase di flusso o di riflusso della marea), sulla base di una legge di potenze del tipo:

$$\Omega = kP^\alpha \quad \text{Eq. 18}$$

dove l'esponente α risultava tipicamente compreso tra 0.84 e 1.10 (O'Brien, 1931, 1969; Jarrett, 1976). Tale relazione esprime in modo semplice il complesso legame che intercorre tra le caratteristiche morfologiche dei canali di bocca e le caratteristiche idrodinamiche complessive del campo di moto nella laguna stessa.

Diversi autori (Krishnamurthy, 1977; Marchi, 1990; Hughes, 2002) hanno cercato di dare fondamento teorico alla sopracitata relazione, assumendo generalmente una marea sinusoidale e assumendo, inoltre, che all'equilibrio il massimo sforzo tangenziale al fondo fosse rappresentato dallo sforzo tangenziale critico di incipiente movimento dei sedimenti. In particolare, Marchi (1990), aveva elegantemente affrontato il problema considerando un bacino a marea schematico collegato con il mare attraverso un canale di bocca rettilineo di sezione rettangolare, imponendo che la propagazione della marea fosse unidimensionale all'interno del canale stesso (Fig. 84). Nell'ipotesi di bacino sufficientemente corto per poterlo assumere oscillante staticamente con superficie libera orizzontale, istante per istante, l'esponente della legge di potenza sopra definita risultava pari a 6/7, valore prossimo al valore 0.85 inizialmente determinato da O'Brien (1931). Per i motivi sopra citati, D'Alpaos et al. (2009) hanno proposto di definire la relazione che lega l'area liquida della sezione trasversale di un canale a marea, Ω , al prisma di marea, P , come "legge di O'Brien-Jarrett-Marchi".

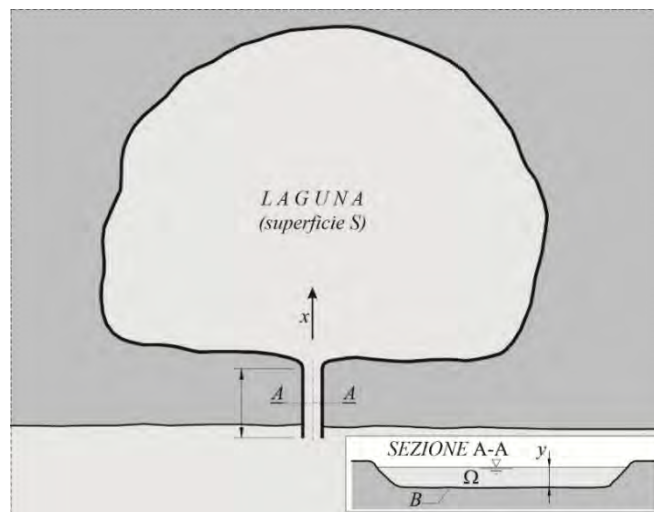


Fig. 84 Schema del sistema a marea alla base del modello di Marchi (1990), costituito dal mare, l'ingresso canale di lunghezza L , e la laguna interna (Marchi, 1990)

Recentemente, D'Alpaos et al. (2010) e Stefanon (2010) hanno indagato l'applicabilità della legge di O'Brien-Jarrett-Marchi alla Laguna di Venezia, ed ai suoi canali interni, e alle lagune del Delta del Po (Fig. 85), indagate per gli aspetti idrodinamici attraverso l'applicazione di un modello idrodinamico numerico bidimensionale agli elementi finiti (D'Alpaos e Defina, 2007).

I dati relativi a diverse configurazioni della laguna di Venezia descritte dai rilievi batimetrici a partire dai primi anni dell'800 (riferibili a estensioni di 400-500 km²), associati a quelli relativi ad alcune lagune del Delta del Po, che si distinguono per essere formate da bacini di ben più ridotta superficie (10-30 km²) e soprattutto per la presenza di fondali molto meno articolati, sono riportati in Fig. 86. I confronti tra le diverse configurazioni morfologiche storiche della laguna di Venezia e delle Lagune del Delta del Po, sono stati condotti assumendo in mare, lungo la frontiera esterna del reticolo di calcolo, una marea sinusoidale con carattere semidiurno (periodo di 12 ore), oscillante attorno al livello medio del mare e con ampiezza di 0.5 m. Si noti come i punti relativi a tutti i bacini costieri esaminati si collocano in generale nel diagramma in scala logaritmica $P - \Omega$, che descrive la legge di O'Brien-Jarrett-Marchi, molto vicino alla retta di interpolazione lineare individuata a suo tempo da Jarrett (1976), risultando ampiamente compresi nell'intervallo di dispersione dei dati (confidenza al 95%) (Fig. 86).

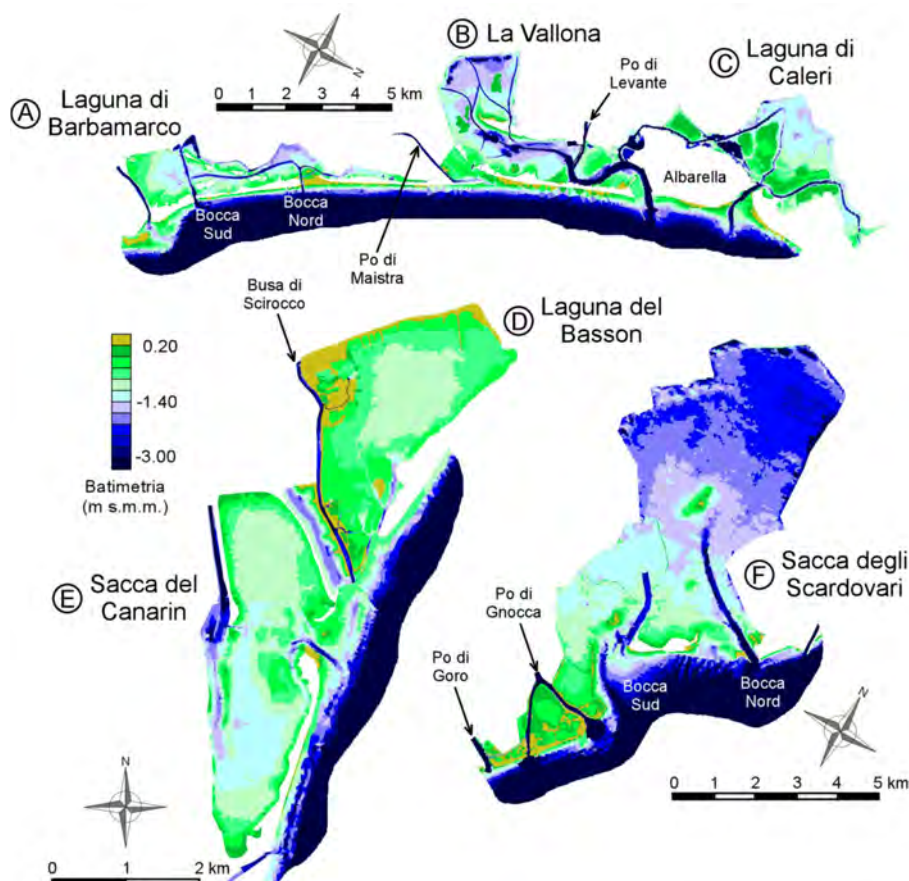


Fig. 85 Batimetrie delle lagune del delta del Po: (A) Laguna di Barbamarco; (B) La Vallona; (C) Laguna di Caleri; (D) Laguna del Basson; (E) Sacca del Canarin; (F) Sacca degli Scardovari (Stefanon, 2010)

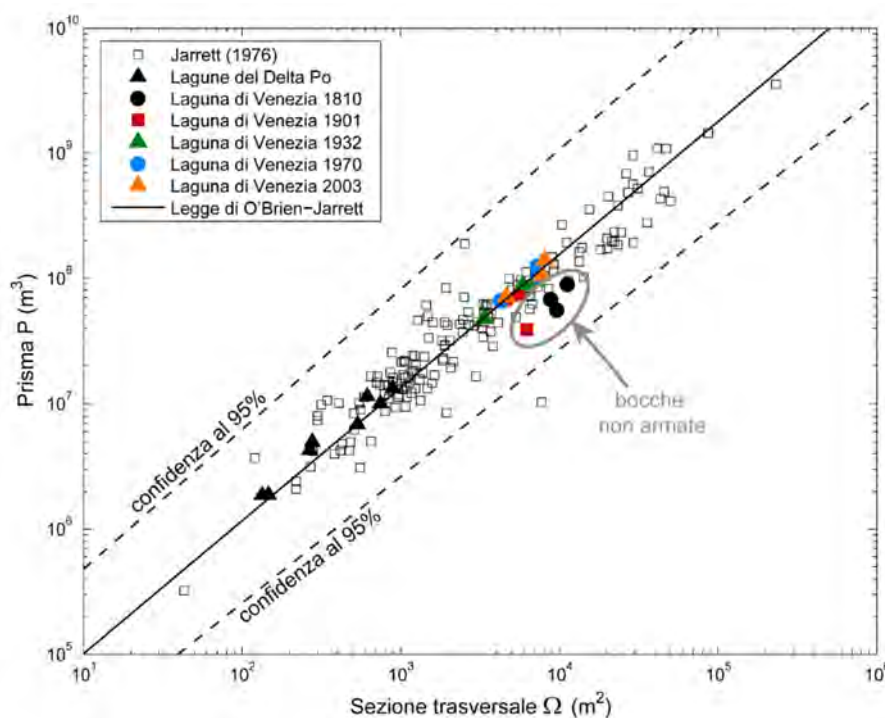


Fig. 86 Legge di O'Brien-Jarrett-Marchi. Relazione tra il prisma di marea, P , e l'area liquida della sezione trasversale della bocca di bacini a marea, Ω . I dati analizzati da Jarrett (1976) sono stati integrati con i dati relativi alla Laguna di Venezia nelle sue diverse configurazioni storiche (1810, 1901, 1932, 1970, 2003) e alle lagune del Delta del Po

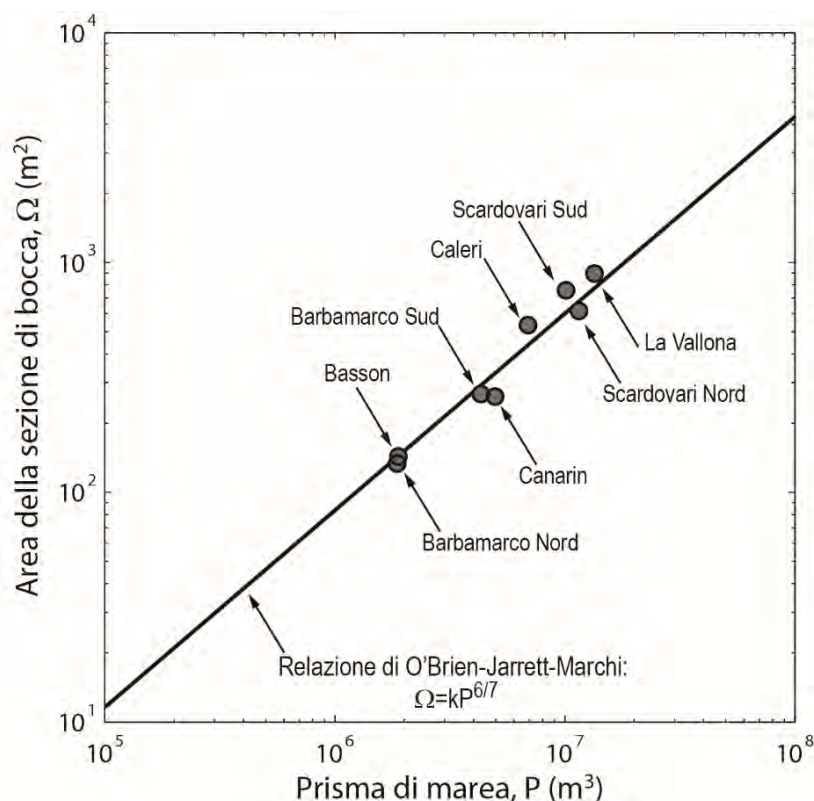


Fig. 87 Legge di O'Brien-Jarrett-Marchi. Relazione tra il prisma di marea, P , e l'area liquida della sezione trasversale della bocca di bacini a marea, Ω . Dati relativi alle lagune del Delta del Po

Tab. 32 Dati relativi alle lagune del Delta del Po

IMBOCCATURA	Prisma (m³)	Omega (m²)
Basson	1'890'000	143
Barbamarco Nord	1'870'000	133
Barbamarco Sud	4'300'000	268
Caleri	6'900'000	533
La Vallona	13'400'000	897
Canarin	4'970'000	261
Scardovari Nord	11'500'000	615
Scardovari Sud	10'100'000	755

7.2 CONCLUSIONI

Sono stati esaminati i dati relativi a diverse configurazioni della laguna di Venezia e ad alcune lagune del Delta del Po, che si distinguono per essere formate da bacini di ben più ridotta superficie. Negli ultimi due secoli, la laguna di Venezia ha sperimentato importanti trasformazioni, essendo passata da un comportamento di bacino fortemente dissipativo a quello di bacino via via dominato dalle forze inerziali con un contemporaneo apprezzabile aumento del prisma di marea.

I confronti tra le diverse configurazioni morfologiche storiche della laguna di Venezia e delle Lagune del Delta del Po si collocano in generale nel diagramma in scala logaritmica $P - \Omega$, che descrive la legge di O'Brien-Jarrett-Marchi. Tale legge definisce un legame tra l'area della sezione liquida di una bocca lagunare e i flussi delle correnti a marea che la attraversano, in conseguenza dei meccanismi che controllano, sul lungo termine, lo scambio di sedimenti tra un bacino a marea ed il mare antistante.

8. RILIEVO DELLA LINEA DI RIVA, AEROFOTOGRAMMETRICI E LIDAR

8.1 INFORMAZIONI DISPONIBILI

Lo studio della recente evoluzione della linea di riva dei litorali veneti rappresenta certamente una delle più efficaci e significative fonti di informazioni atte a definire i processi morfo-dinamici in essere. In questo paragrafo si considereranno la CTR del 1981/1983, le Ortofoto e i rilievi Lidar effettuati negli anni dai diversi Enti; per ottenere risultati coerenti si è ritenuto indispensabile confrontare le linee di riva ricavate da informazioni tra loro omogenee. La tabella seguente (Tab. 33) riporta i dati utilizzati.

Tab. 33 Informazioni disponibili per la valutazione della linea di riva

ORTOFOTO		
	ANNO	DESCRIZIONE
Provincia di Venezia e Provincia di Rovigo	2000	Regione Veneto - Sezione Pianificazione territoriale strategica e cartografia
	2003	Ortofoto digitali a colori Terraltaly it2000 NR 2003 "Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A. - Parma" (Regione Veneto - Sezione Pianificazione territoriale strategica e cartografia)
	2007	Ortofoto digitali a colori Terraltaly it2000 NR volo 2006-2007 "Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A. - Parma" (Regione Veneto - Sezione Pianificazione territoriale strategica e cartografia)
	2012	Ortofoto digitali a colori AGEA 2012 (Regione Veneto - Sezione Pianificazione territoriale strategica e cartografia)
RILIEVI LIDAR		
	ANNO	DESCRIZIONE
Provincia di Venezia	2008	DTM, matrice a passo regolare di 20 m, i pixel 2m x 2m riportano i valori delle quote, (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - MATTM)
	2013	DTM e DSM, i cui pixel (1m x 1m) riportano i valori delle quote (Regione Veneto - Sezione Difesa del suolo)
Provincia di Rovigo	2006	DTM e DSM, i cui pixel (1m x 1m) riportano i valori delle quote, effettuati da Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma (Regione Veneto - Sezione bacino idrografico Adige e Po, sezione di Rovigo)
	2008	DTM, matrice a passo regolare di 20 m, i pixel 2m x 2m riportano i valori delle quote, (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - MATTM)
	2009	DTM e DSM, i cui pixel (1m x 1m) riportano i valori delle quote, effettuati da Blom CGR di Parma (Regione Veneto - Sezione bacino idrografico Adige e Po, sezione di Rovigo)
	2012	DTM e DSM, i cui pixel (1m x 1m) riportano i valori delle quote, effettuati da Blom CGR di Parma (Regione Veneto - Sezione bacino idrografico Adige e Po, sezione di Rovigo)
CARTA TECNICA REGIONALE		
	ANNO	DESCRIZIONE
Provincia di Venezia e Provincia di Rovigo	1981 - 1983	Regione Veneto - Sezione Pianificazione territoriale strategica e cartografia

Per il tratto del Delta del Po (provincia di Rovigo) è possibile fare riferimento all'evoluzione storica della linea di costa presentata nello studio: *"Analisi dell'erosione costiera nel delta del Po dal 1933 al 2008 mediante aero-fotogrammetria multi-temporale"* (Fabris, Achilli, & De Gennaro, 2012).

Un'altra informazione disponibile è l'evoluzione della linea di riva rilevata in concomitanza ai rilievi batimetrici e topografici, questo dato è disponibile solo in alcuni tratti del litorale tra Eraclea e Isola Verde negli anni compresi tra il 2002 e il 2010 (Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova).

8.2 LINEA DI RIVA DA RILIEVI LIDAR

Il primo rilievo LIDAR nel territorio provinciale di Rovigo è stato effettuato il 26 aprile 2006; il volo ha coperto tutta la fascia costiera del Delta del Po, dalla foce del fiume Adige, a Nord, alla foce del Po di Goro, a Sud per una estensione di circa 57 km, con una larghezza di 750 m e una superficie complessiva di 42.5 km². Il rilievo è stato ripetuto sulla medesima area e con analogo sensore LIDAR il 7 marzo 2009; infine il 17 settembre 2012 è stata effettuata una terza campagna di rilievo con analogo sensore. In quest'ultimo caso la fascia coperta è stata leggermente più ampia, poiché ha coperto il medesimo tratto di 57 km con una larghezza media di 1 km e superficie complessiva di circa 61 km².

Per quanto riguarda il territorio della provincia di Venezia, il rilievo LIDAR è stato effettuato nel 2013 con le stesse modalità con le quali è stato effettuato il rilievo del 2012 per la provincia di Rovigo. Tale rilievo ha coperto un tratto di 100 km con una larghezza media di 1 – 1.5 km e superficie complessiva di circa 135 km². Tutti i rilievi Lidar sopra menzionati della Regione Veneto sono stati effettuati in condizioni di bassa marea per consentire il rilievo della massima estensione possibile di superfici emerse. I prodotti risultanti sono il DTM (Digital Terrain Model) e il DSM (Digital Surface Model), i cui pixel (1m x 1m) riportano i valori delle quote. Per quanto riguarda il DTM 2008 a copertura nazionale effettuato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), esso deriva dall'interpolazione dei dati orografici provenienti dalla cartografia dell'Istituto Geografico Militare. Il prodotto risultante è una matrice a passo regolare di 20 m, i cui elementi (pixel 2m x 2m) riportano i valori delle quote. Tale rilievo risulta essere tagliato in corrispondenza della linea di riva, esso copre un tratto di 160 km con una larghezza media di 1 km e superficie complessiva di circa 170 km².

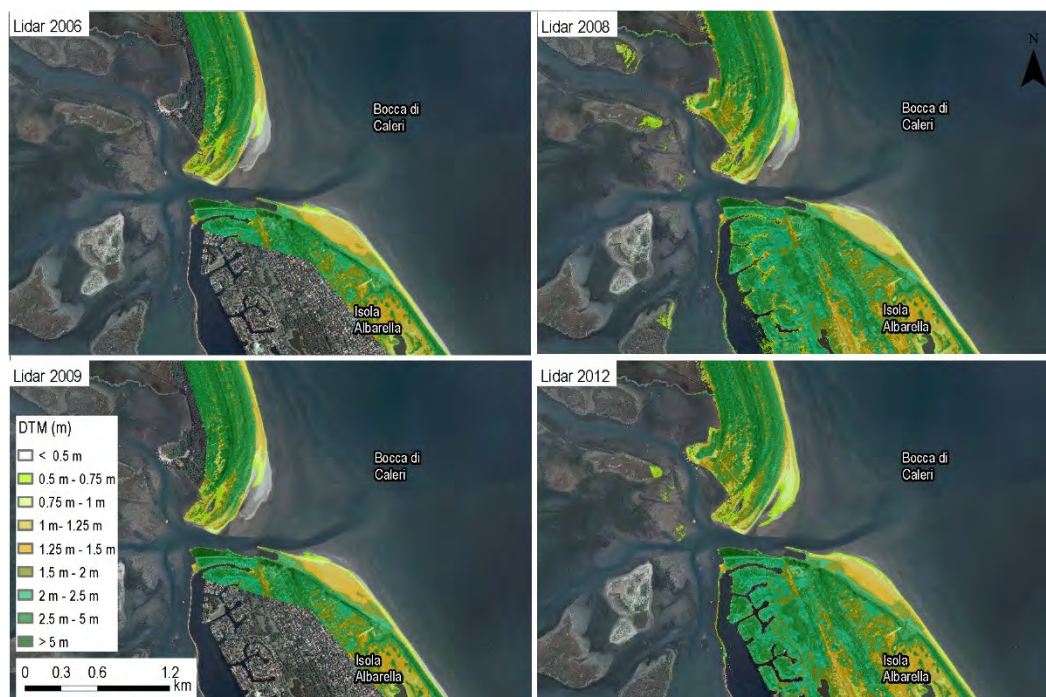


Fig. 88 Confronto rilievi LIDAR disponibili per la provincia di Rovigo (Bocca di Caleri)

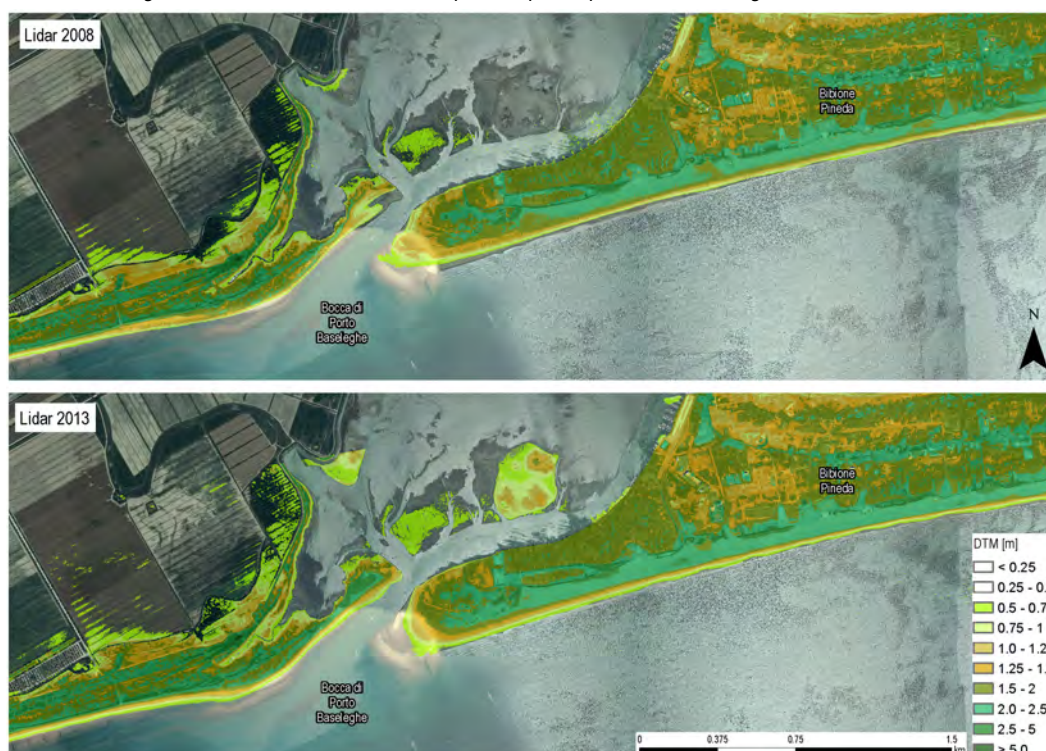


Fig. 89 Confronto rilievi LIDAR disponibili per la provincia di Venezia (litorale di Bibione)

Per quanto riguarda i rilievi LIDAR della Regione Veneto si è valutato di considerare come "linea di riva" (ossia come linea di riferimento per valutare le condizioni di avanzamento o arretramento della costa) la linea con quota pari a 0.25 m s.l.m., poiché meno soggetta all'interferenza del contatto acqua – terreno rispetto a quella con quota 0.0 m s.l.m. Per il DTM del 2008 si è invece considerata come linea di riva il bordo verso mare del rilievo, che purtroppo solo in alcuni tratti coincide con la linea di quota 0.25 m. s.l.m. Tale aspetto ha reso non omogeneo il dato 2008 con i restanti dati e dunque non è stato possibile effettuarne il confronto.



Fig. 90 Esempio di restituzione della linea di riva (a destra provincia di Venezia - litorale di Sottomarina, a sinistra provincia di Rovigo - litorale tra busa Tramontana e busa Scirocco)

8.3 LINEA DI RIVA DA ORTOFOTO E DA CTR

Nell'ambito dell'attività eseguita per la restituzione della linea di costa del litorale veneto, sono stati utilizzati gli elementi della Carta Tecnica Regionale (CTR) del 1981-1983 in scala 1:5000 e le ortofoto ottenute da immagini aeree acquisite nel 2000, 2003, 2007 e 2012.

Per quanto riguarda la georeferenziazione, che è un punto chiave per il corretto confronto dell'andamento di una polilinea tra anni diversi, la Carta Tecnica Regionale ha coordinate piane riferite al sistema nazionale Monte Mario fuso Est, mentre le ortofoto hanno coordinate piane riferite al sistema nazionale Monte Mario fuso Ovest. Trattandosi di zona di sovrapposizione, la georeferenziazione rimane garantita senza la necessità di dover attuare successive rototraslazioni.

In una fase iniziale è stato effettuato uno studio per valutare la correttezza della co-registrazione dei dati: allo scopo, sono stati misurati circa 200 punti naturali omologhi nella trattazione multi-temporale (spigoli di edifici, segnaletica stradale orizzontale, spigoli di marciapiedi o di piscine, ecc...), omogeneamente distribuiti lungo la fascia costiera veneta e confrontandone le coordinate. Naturalmente la valutazione è stata fatta in planimetria trattandosi di CTR ed ortofoto che sono elementi 2-D. Il confronto tra le coordinate ha evidenziato differenze medie maggiori sulle ortofoto del 2000 (a più scarsa risoluzione) e 2007. Si tratta comunque di differenze medie che, nelle coordinate Nord ed Est, risultano nell'ordine di 1 metro o poco superiore, mentre le differenze medie tra le ortofoto del 2003 e 2012 risultano nell'ordine di 50 cm: questi valori sembrano ampiamente accettabili per lo scopo del lavoro.

La CTR del 1981-1983 è stata scelta soprattutto per ampliare lo studio multi-temporale fino all'inizio degli anni '80 del novecento:

in questo caso la restituzione della linea di passaggio terra-mare è stata effettuata sulla base della precedente restituzione realizzata dall'operatore che ha prodotto la CTR, a partire dai modelli fotogrammetrici generati da un rilievo aerofotogrammetrico effettuato all'inizio degli anni '80 proprio allo scopo di produrre la CTR. Quindi il risultato finale che si ottiene è fortemente influenzato dalle scelte dell'operatore che, all'epoca, ha prodotto la CTR.

La Carta Tecnica Regionale considerata (1981 – 1984) consiste in una rappresentazione cartografica della Regione ed è costituita da 2750 elaborati di cui 2200 in scala 1:5000 denominati Elementi e 550 in scala 1:10000 chiamati Sezioni. Per quanto riguarda il tracciamento della linea di riva su CTR è stato riscontrato un unico problema concernente la zona di sovrapposizione tra due Elementi che in qualche occasione presentava una non perfetta coincidenza tra un Elemento e quello adiacente (Fig. 91).



Fig. 91 Esempio di sovrapposizione non coincidente tra due elementi adiacenti della CTR 81 – 83 (Litorale di Cavallino - Treporti VE)

Per quanto riguarda invece la restituzione sulle ortofoto, in questo caso si è scelto di restituire la linea di passaggio terra-mare su tutti gli elementi disponibili: tutte le restituzioni sono state effettuate dallo stesso operatore nelle stesse condizioni. Da notare che, trattandosi di elementi in 2-D, non è stato possibile realizzare studi sulle altezze di marea al momento dell'acquisizione delle singole immagini, dal momento che non sarebbe stato poi possibile correggere i dati in quota: il risultato finale risulta quindi influenzato dalla restituzione di linee di riva che, tra una restituzione e la successiva, possono presentare valori diversi dell'altezza di marea che rendono più complicato il confronto multi-temporale. Inoltre, la restituzione in corrispondenza delle spiagge è stata realizzata mediando l'effetto dell'onda che si abbatte sulla spiaggia e che fa sì che non sia possibile attribuire alla linea di riva così ottenuta una precisione inferiore ad un paio di metri. In questo caso, quindi, la precisione di co-registrazione dei dati (che, come detto precedentemente, è stata valutata mediamente nell'ordine massimo poco superiore al metro) risulta inferiore rispetto alla precisione nel tracciamento della linea di passaggio terra-mare: per questo motivo non si è ritenuto necessario migliorare la georeferenziazione degli elementi.



Fig. 92 Ortofoto 107160w, da sinistra in alto in senso orario anno 2000, 2003, 2007, 2012



Fig. 93 Scogliera di Caorle, esempio di corretta sovrapposizione delle differenti linee di riva (Ortofoto di base 2012)

La denominazione della singola ortofoto è la stessa per tutti e quattro gli anni ed il nome dell'immagine è relativo alla sua posizione (Fig. 92).

Dopo aver accuratamente tracciato le linee di costa si può ottenere un risultato visivo intuitivo del loro andamento sovrapponendo tutte le linee. Per verificare la bontà del risultato finale relativo alla corretta sovrapposizione delle immagini relative ad anni differenti, è possibile andare a controllare un elemento indeformato nel corso degli anni come può essere, ad esempio, la scogliera tra le due spiagge di levante e di ponente di Caorle (Fig. 93).

La rappresentazione della linea, sia nel caso delle Ortofoto che nel caso della CTR, segue tutta la costa risalendo per un certo tratto tutti i fiumi, salvo poi interrompersi e riprendere sul lato opposto del fiume stesso. Durante il tracciamento della linea le strutture ortogonali e parallele a riva sono state rappresentate come parte integrante della linea di costa.

8.4 CONFRONTO DELLA LINEA DI RIVA

Si è ritenuto più corretto valutare lo spostamento medio della costa confrontando linee di riva ricavate da informazioni omogenee. Non si è proceduto pertanto al confronto tra le linee di riva ricavate rispettivamente da Ortofoto e LIDAR poiché il procedimento di estrazione risulta essere diverso. Nel primo caso infatti la linea di riva proviene da un'interpretazione visiva della foto, nel secondo caso proviene da una valutazione altimetrica del dato LIDAR.

Inoltre il rilievo LIDAR 2008 non è stato esaminato perché è stato tagliato nel confine a mare e ciò non consente le necessarie elaborazioni di estrapolazione della linea di riva. Pertanto per la sola Provincia di Rovigo, dove sono disponibili i rilievi 2006, 2009 e 2012, è possibile riportare la valutazione dello spostamento medio (Tab. 34 e Tab. 35) ottenuto in corrispondenza dei transeiti delle 57 sezioni batimetriche, elaborazione tratta dallo "Studio dell'evoluzione morfologica del litorale di Rosolina e Scardovari (Regione del Veneto - Genio Civile di Rovigo, 2014).

Tab. 34 Spostamenti medi per le 57 sezioni, in base al confronto tra i voli Lidar 2006-2009, 2009-2012

Cella	n° sezione batimetrica	2006-2009 Spost. Medio (m/anno)	2009-2012 Spost. medio	Valutazione Trend evolutivo
RO1	1	-22.52	-16.09	Arretramento
	2	-0.17	-2.28	Sostanziale stabilità con alternanza di arretramenti ed avanzamenti
	3	-0.15	3.17	
	4	-3.27	-4.47	
	5	2.13	2.99	
	6	2.3	2.52	
	7	8.65	6.37	Avanzamento in corrispondenza della Bocca di Caleri
	8	-8.56	15.91	
RO2	9	4.96	13.83	Avanzamento
	10	4.37	5.02	
	11	7.1	-10.77	
RO3	12	24.96	51.75	Avanzamento
	13	26.61	32.49	
	14	9.02	10.89	
	15	2.02	30.26	
	16	2.56	15.33	
	17	-6.74	-25.5	Arretramento
RO4	18	-6.1	4.29	Iniziale arretramento e successiva stabilità
	19	-0.05	-1.57	
	20	1.7	6.63	
	21	13.44	0.68	
	22	-3.19	5.4	Avanzamento
	23	2.31	6.18	
	24	-20.87	-25.68	Arretramento
	25	5.4	4.45	
	26	-0.29	23.64	
RO5	27	13.28	7.49	Avanzamento
	28	-15.41	-17.51	Arretramento
	29	-11.48	14.2	
	30	-5.25	64.83	Avanzamento

Tab. 35 Spostamenti medi per le 57 sezioni, in base al confronto tra i voli Lidar 2006-2009, 2009-2012

Cella	n° sezione batimetrica	2006-2009 Spost. medio	2009-2012 Spost. medio	Valutazione Trend evolutivo
RO6	31	32.92	103.81	Avanzamento
	32	15.91	-131.03	Arretramento
	33	-2.78	-15.75	
	34	-49.69	-22.67	
	35	0.44	-11.93	
	36	12	19.64	Avanzamento
	37	-9.24	43.23	
RO7	38	-1.8	63.61	Alternanza di arretramento/avanzamento
	39	3.25	-2.86	
	40	5.02	-12.28	
	41	-15.59	-0.87	
	42	-2.29	-2.44	Arretramento
	43	2.56	-8.77	
	44	-9.47	-2.08	
RO8	45	-2.16	11.38	Avanzamento
	46	20.28	18.52	
	47	12.78	8.06	
	48	-10.45	11.44	Iniziale arretramento e successivo avanzamento
RO9	49	-13.74	-16.42	Arretramento
	50	-1.51	-19.99	Arretramento/avanzamento
	51	35.49	52.69	
	52	-51.12	-20.78	
RO10	54	-22.36	-13.68	Arretramento
	55	-35.18	-5.04	
	56	-30.16	-7.14	
	57	-11.24	32.1899	Iniziale arretramento e successivo avanzamento

Le linee di riva ricavate tramite l'analisi delle Ortofoto e della Carta Tecnica regionale (ritenute elaborazioni tra loro omogenee) hanno permesso di stimare l'arretramento e avanzamento medio per ogni cella sedimentologica.

A tal proposito si vuole tuttavia sottolineare che questi dati sono assai meno significativi rispetto ai volumi di erosione e accrescimento basati sui confronti tra successivi rilievi batimetrici (capitolo 9). Utilizzando infatti la sola linea di riva si perdono molte informazioni importanti in quelle zone: ad esempio dove questa linea è stabile, ma i fondali si approfondiscono (e.g. tratti dove vi sono i "Murazzi").

Si riporta, in Tab. 36 e Tab. 37 il risultato della elaborazione sulle linee di riva (riportato anche in forma grafica nelle Fig. 95 e Fig. 96 e in forma più approfondita nelle tabelle). La Fig. 94 mostra, a titolo esemplificativo, per la cella VE1 la variazione tra le linee di riva ricavate dall'Ortofoto 2007 e l'Ortofoto 2012 e dunque il trend evolutivo.

Tab. 36 Evoluzione linea di riva da confronto CTR e Ortofoto (provincia di Venezia)

Cella	CTR 83- 2000		2000 - 2003		2003 - 2007		2007 - 2012	
	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)
VE1	-9687	-1.1	-33904	-3.7	6798	0.7	-7636	-0.9
VE2	-416	-0.1	-17959	-3.7	10136	2.0	1320	0.3
VE3	13254	3.0	21782	4.9	-7157	-1.6	11992	2.7
VE4	-2467	-0.2	7098	0.6	-4920	-0.4	11924	0.9
VE5	147	0.0	27542	2.2	-13413	-1.1	13824	1.1
VE6	27058	2.0	-3591	-0.3	1038	0.1	15607	1.2
VE7	7702	0.7	21079	1.8	19681	1.7	-1875	-0.2
VE8	24101	2.2	5189	0.5	23188	2.2	-16346	-1.5
VE9	13795	2.8	-7107	-1.4	16542	3.3	1503	0.3
VE10	-1148	-0.5	4473	1.8	-3695	-1.5	1342	0.5

Tab. 37 Evoluzione linea di riva da confronto CTR e Ortofoto (provincia di Rovigo)

Cella	CTR 83- 2000		2000 - 2003		2003 - 2007		2007 - 2012	
	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)
RO1	6903	0.9	4566	0.6	20738	2.7	11978	1.5
RO2	2416	0.9	15205	6.8	6105	2.4	7173	3.0
RO3	4829	1.1	9604	2.1	22464	4.8	71739	14.9
RO4	-1119	-0.1	-15097	-1.5	22940	2.3	5255	0.6
RO5	38193	11.0	70021	20.6	2188	0.7	1237	0.3
RO6	2860	0.7	27833	6.2	8378	1.7	-4236	-0.9
RO7	-25938	-3.8	-6410	-1.1	5842	0.8	-3911	-0.6
RO8	6526	2.2	7215	2.5	15012	4.5	11308	3.4
RO9	-12	0.0	-75870	-24.8	78217	24.4	2046	0.6
RO10	-14695	-6.5	-25756	-11.6	-10455	-4.6	-20527	-9.2

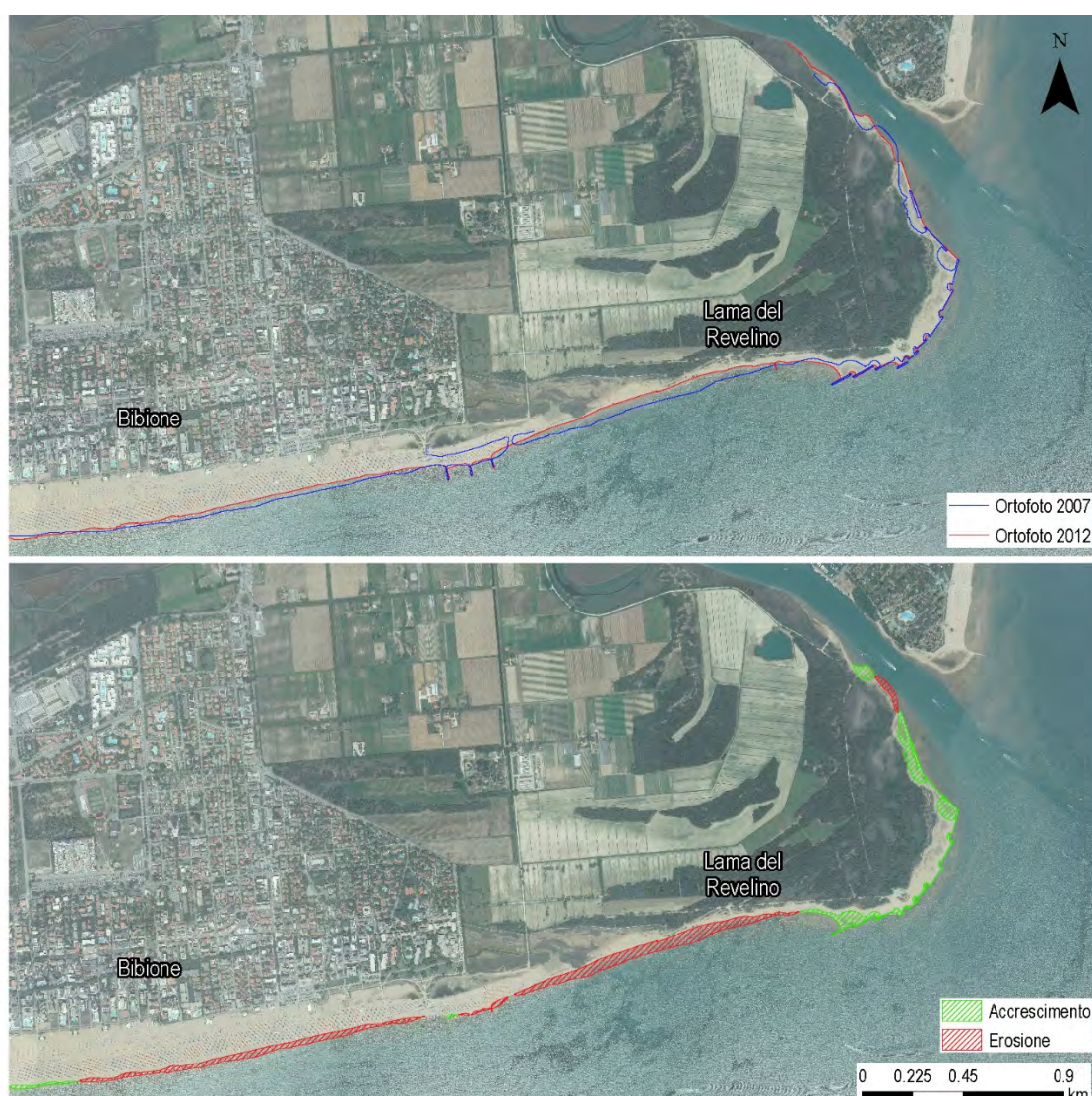


Fig. 94 Trend evolutivo tra il 2007 e il 2012 – Foce del fiume Tagliamento

Tab. 38 Evoluzione linea di riva da confronto CTR 1983 e Ortofoto 2000

CTR 83 - 2000								
Cella	Avanzamento			Arretramento			Generale	
	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)
VE1	6183.1	2.5	15227.8	2826.6	-8.8	-24915.3	-1.1	-9687.5
VE2	2476.3	1.4	3423.6	2373.1	-1.6	-3839.5	-0.1	-415.9
VE3	4398.0	3.0	13253.8	88.0	0.0	0.0	3.0	13253.8
VE4	3215.2	0.4	1355.6	8903.5	-0.4	-3822.3	-0.2	-2466.7
VE5	6208.0	1.2	7710.5	5463.0	-1.4	-7563.7	0.0	146.8
VE6	10883.9	2.8	30146.5	2073.1	-1.5	-3088.3	2.0	27058.2
VE7	8842.9	0.9	8207.5	2494.1	-0.2	-505.7	0.7	7701.8
VE8	9355.1	2.6	24592.8	1740.5	-0.3	-492.2	2.2	24100.6
VE9	4411.4	3.3	14425.3	479.5	-1.3	-630.6	2.8	13794.7
VE10	1213.0	2.9	3481.1	1261.5	-3.7	-4629.2	-0.5	-1148.1
RO1	4866.6	2.6	12792.1	2433.3	-2.4	-5889.1	0.9	6903.0
RO2	1790.6	1.9	3375.2	716.2	-1.3	-959.7	0.9	2415.5
RO3	2330.6	2.8	6486.8	1812.7	-0.9	-1657.6	1.1	4829.3
RO4	4019.0	2.6	10304.7	4975.9	-2.3	-11423.5	-0.1	-1118.8
RO5	2310.6	16.6	38330.0	203.9	-0.7	-136.8	11.0	38193.2
RO6	1961.0	6.1	11981.9	2387.3	-3.8	-9122.4	0.7	2859.6
RO7	270.0	1.6	425.6	6479.0	-4.1	-26364.0	-3.8	-25938.3
RO8	1794.9	4.1	7427.5	926.4	-1.0	-901.2	2.2	6526.3
RO9	758.7	2.7	2027.5	700.3	-2.9	-2039.0	0.0	-11.6
RO10	44.2	0.4	17.8	1945.7	-7.6	-14712.3	-6.5	-14694.5

Tab. 39 Evoluzione linea di riva da confronto Ortofoto 2000 e Ortofoto 2003

2000 - 2003								
Cella	Avanzamento			Arretramento			Generale	
	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)
VE1	3986.0	3.4	13587.5	4891.9	-9.7	-47491.9	-3.7	-33904.4
VE2	673.8	5.9	3980.2	4139.2	-5.3	-21939.4	-3.7	-17959.2
VE3	2464.6	11.5	28449.6	1936.4	-3.4	-6667.4	4.9	21782.2
VE4	6931.7	2.3	15712.8	4703.6	-1.8	-8615.3	0.6	7097.5
VE5	9165.6	5.0	46231.4	3220.4	-5.8	-18689.7	2.2	27541.7
VE6	5198.8	2.6	13400.3	7538.3	-2.3	-16990.9	-0.3	-3590.6
VE7	6980.4	3.9	27062.8	4188.2	-1.4	-5983.5	1.8	21079.3
VE8	4197.5	10.7	45025.4	6627.6	-6.0	-39836.0	0.5	5189.4
VE9	1076.0	3.1	3329.4	3717.2	-2.8	-10436.8	-1.4	-7107.4
VE10	1312.2	6.9	9013.4	1069.2	-4.2	-4540.8	1.8	4472.5
RO1	4021.4	3.5	14029.0	3425.6	-2.8	-9463.2	0.6	4565.8
RO2	1497.4	13.3	19923.1	748.7	-6.3	-4718.1	6.8	15205.0
RO3	2661.6	7.3	19494.0	1508.2	-6.6	-9890.1	2.1	9603.9
RO4	2940.6	6.8	20128.0	6665.4	-5.3	-35224.7	-1.5	-15096.6
RO5	1662.5	54.1	89897.3	1596.0	-12.5	-19876.3	20.6	70021.0
RO6	2568.8	13.6	34970.4	1151.5	-6.2	-7137.1	6.2	27833.2
RO7	1567.7	7.4	11557.5	4143.3	-4.3	-17967.7	-1.1	-6410.3
RO8	1782.5	6.4	11320.3	1035.0	-4.0	-4105.7	2.5	7214.6
RO9	60.0	0.2	13.6	2879.0	-26.4	-75883.7	-24.8	-75870.1
RO10	174.3	10.9	1899.2	2048.3	-13.5	-27654.8	-11.6	-25755.5

Tab. 40 Evoluzione linea di riva da confronto Ortofoto 2003 e Ortofoto 2007

2003 - 2007								
Cella	Avanzamento			Arretramento			Generale	
	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)
VE1	5349.3	3.8	20502.2	3689.2	-3.7	-13703.8	0.7	6798.4
VE2	3574.1	3.4	12140.3	1191.4	-1.7	-2004.6	2.0	10135.7
VE3	1580.4	2.4	3846.0	2809.6	-3.9	-11003.4	-1.6	-7157.3
VE4	4192.9	1.9	7922.4	7399.2	-1.7	-12842.3	-0.4	-4919.8
VE5	4468.3	2.0	8973.4	7695.4	-2.9	-22386.8	-1.1	-13413.3
VE6	5970.8	2.2	13102.1	7268.8	-1.7	-12063.8	0.1	1038.3
VE7	7890.7	2.7	21541.4	3249.1	-0.6	-1860.4	1.7	19681.0
VE8	9354.6	2.6	24578.7	1247.3	-1.1	-1390.7	2.2	23188.0
VE9	4079.9	4.3	17730.2	874.3	-1.4	-1188.4	3.3	16541.8
VE10	579.6	1.1	609.0	1883.7	-2.3	-4303.5	-1.5	-3694.5
RO1	5220.6	4.5	23233.7	2088.2	-1.2	-2496.0	2.7	20737.8
RO2	1878.9	3.5	6489.7	304.7	-1.3	-384.5	2.4	6105.3
RO3	4201.6	5.4	22858.8	274.0	-1.4	-394.8	4.8	22464.1
RO4	7335.6	3.9	28659.6	2379.1	-2.4	-5719.1	2.3	22940.5
RO5	1715.8	5.6	9614.9	1409.4	-5.3	-7427.2	0.7	2187.7
RO6	2643.8	8.4	22105.5	1605.1	-8.6	-13727.5	1.7	8378.0
RO7	3949.2	2.4	9475.6	1634.2	-2.2	-3633.7	0.8	5841.9
RO8	2816.5	5.3	15036.2	65.5	-0.4	-24.2	4.5	15012.0
RO9	2641.0	30.1	79433.4	314.4	-3.9	-1216.6	24.4	78216.7
RO10	44.5	0.0	0.3	2137.9	-4.9	-10454.8	-4.6	-10454.5

Tab. 41 Evoluzione linea di riva da confronto Ortofoto 2007 e Ortofoto 2012

2007 - 2012								
Cella	Avanzamento			Arretramento			Generale	
	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	L(m)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)	Variazione media (m/anno)	Area (m ² /anno)
VE1	3739.6	3.1	11532.8	4759.4	-4.0	-19168.4	-0.9	-7635.7
VE2	3281.9	1.8	5828.7	1641.0	-2.7	-4508.7	0.3	1320.0
VE3	3437.5	3.6	12365.4	881.4	-0.4	-373.4	2.7	11991.9
VE4	9167.9	1.9	17444.9	2477.8	-2.2	-5520.8	0.9	11924.1
VE5	9161.9	2.1	19023.9	3466.7	-1.5	-5199.6	1.1	13824.3
VE6	10740.4	1.7	18517.8	2357.6	-1.2	-2910.5	1.2	15607.2
VE7	7347.8	1.4	10161.5	3903.5	-3.1	-12036.6	-0.2	-1875.1
VE8	1673.9	1.9	3260.6	8788.1	-2.2	-19606.8	-1.5	-16346.2
VE9	2181.3	3.3	7137.9	2465.8	-2.3	-5634.5	0.3	1503.4
VE10	1089.4	3.4	3673.2	1337.0	-1.7	-2330.9	0.5	1342.2
RO1	5766.1	3.2	18361.8	1820.9	-3.5	-6383.9	1.5	11977.9
RO2	2164.8	3.5	7494.7	235.3	-1.4	-321.5	3.0	7173.3
RO3	4544.6	15.8	71738.6	0.0	0.0	0.0	14.9	71738.6
RO4	3781.8	5.9	22296.2	4985.1	-3.4	-17040.7	0.6	5255.5
RO5	896.6	17.3	15529.5	2166.9	-6.6	-14292.9	0.3	1236.7
RO6	2662.2	5.2	13790.9	1927.8	-9.4	-18027.4	-0.9	-4236.5
RO7	1659.6	5.5	9080.4	5117.1	-2.5	-12991.6	-0.6	-3911.2
RO8	3132.5	3.7	11675.3	195.8	-1.9	-367.1	3.4	11308.1
RO9	1864.2	4.7	8676.7	1242.8	-5.3	-6630.4	0.6	2046.2
RO10	87.2	3.0	264.8	2048.3	-10.2	-20791.7	-9.2	-20526.8



Fig. 95 Variazione linea di riva nelle celle in provincia di Venezia (m/anno)

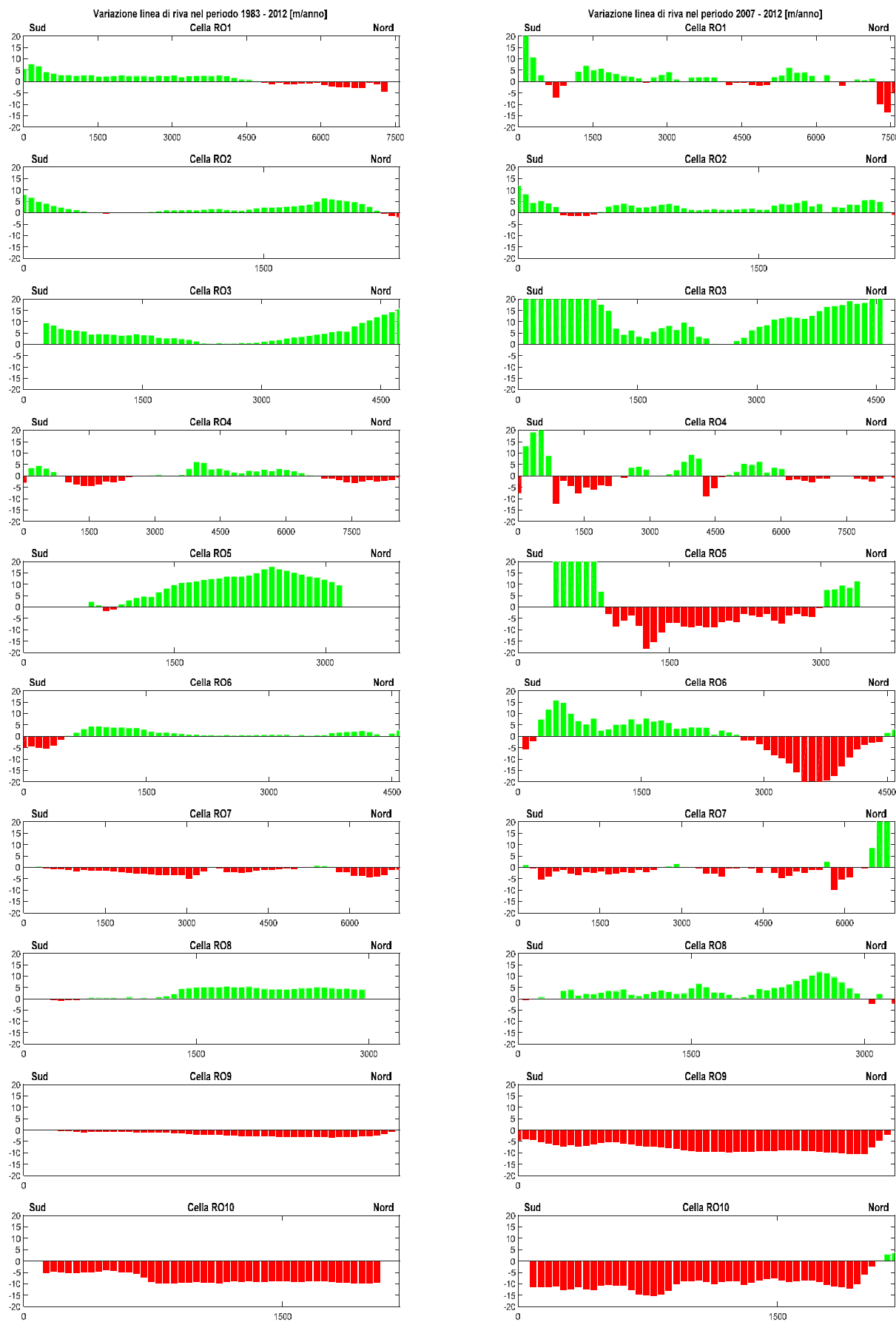


Fig. 96 Variazione linea di riva nelle celle in provincia di Rovigo (m/anno)

8.5 LINEA RIVA DI RIFERIMENTO PER LA GESTIONE FUTURA

Al fine di identificare una linea di riva di riferimento per la futura gestione del litorale sono stati anzitutto individuati i massimi avanzamenti e arretramenti registrati a partire dall'anno 2000. Come già anticipato in precedenza il confronto è stato effettuato sulla base delle linee di riva estratte dalle Ortofoto del 2000, 2003, 2007, 2012 e si è scelta come linea di base quella più recente, ovvero la linea estratta dall'analisi delle Ortofoto 2012. Sono stati anche considerati alcuni valori della posizione della linea di riva del 2014, ma in questo caso i rilievi sono stati effettuati solo in alcune sezioni e non hanno consentito di rappresentare con continuità la linea della spiaggia.

Nelle Tab. 42 e Tab. 43 e nelle Fig. 97 e Fig. 98 si riportano i risultati di tale elaborazione. Per ciascuna cella è possibile visualizzare e quantificare la fascia entro la quale la linea di riva ha oscillato negli ultimi 12 anni disponibili. Il limite a terra (campito in azzurro) e quello a mare (in ocra) rappresentano l'involuppo delle linee più arretrate e più avanzate lungo la singola cella. Per completezza nelle figure sono riportati anche i valori della batimetria 0 m, ricavati dai rilievi batimetrici più recenti (2014). Nelle tabelle, per ciascuna cella, sono riportati i valori degli avanzamenti massimi, degli arretramenti massimi e la massima distanza tra le due citate curve involuppo ($\Delta \max$), ossia la massima traslazione della linea di riva osservata nel periodo 2000-2012. Si può osservare che tale fascia di variabilità (l'area bianca centrale nelle figure) è sensibilmente più ridotta nel caso dei litorali più settentrionali, compresi tra foce Tagliamento e Bocca di Caleri rispetto a quelli più meridionali del Delta del Po. Questo ovviamente dipende dalla diversa dinamicità dei litorali (molto più elevata nelle zone del Delta), ma anche dalle diverse esigenze e conseguenti gestioni dei due tratti: nel primo caso si tratta di una costa a vocazione spiccatamente turistica e dunque negli anni la gestione è stata mirata ad una sua stabilizzazione; nel secondo caso si tratta di una zona caratterizzata da una elevata dinamicità, sulla quale sono stati assai limitati gli interventi strutturali.

E' anche stato calcolato il "baricentro" delle aree di avanzamento e di arretramento e si sono calcolate le medie degli avanzamenti e degli arretramenti, sempre per ciascuna cella e per il dodicennio indicato. Le ultime due colonne delle tabelle rappresentano dunque una variabilità media per cella litoranea (media degli accrescimenti e degli arretramenti della linea di riva nel recente passato).

Si deve anche tenere in considerazione che questa variabilità può localmente non essere rappresentativa di fenomeni di erosione critici o di accrescimenti eccessivi. Ad esempio la linea di massimo avanzamento potrebbe sottintendere un eccessivo avanzamento localizzato (ad es. a ridosso di un'opera importante aggettante a mare). Le figure evidenziano infatti alcuni avanzamenti e arretramenti locali importanti nelle celle che tuttavia vanno analizzati singolarmente. Le principali singolarità di questi fenomeni sono elencate nel seguito:

- Cella VE1: Il tratto a Nord-Est, ovvero adiacente alla foce Tagliamento, è caratterizzato da forti fenomeni erosivi, ben evidenziati anche dalla fascia di variabilità che attesta arretramenti dell'ordine dei 100 m negli ultimi 12 anni. Nel tratto a Sud-Ovest si deve sottolineare la recente evoluzione dell'imboccatura di Porto Baseleghe con un progressivo avanzamento dello spit sabbioso in direzione Ovest.
- Cella VE3: La spiaggia di Levante (tratto a Nord-Est della cella) evidenzia tendenza all'avanzamento, associata alla sedimentazione di materiale anche molto fine per la scarsa dinamica che la contraddistingue.
- Cella VE7: A circa 2 km dal confine Sud della cella si evidenzia un locale avanzamento della linea di riva, ciò è da correlare alla presenza dell'ultimo pennello a Sud della difesa a celle antistante ai Murazzi di Malamocco che ostacolando il trasporto solido induce fenomeni di accumulo localizzato.
- Cella RO1 e RO2: l'estremità Sud del litorale di Rosolina e l'estremità Nord di Isola Albarella sono un punto di convergenza del trasporto solido litoraneo (Bocca di Caleri). Esse dunque sono caratterizzate da fenomeni di deposito importanti.
- Cella RO3: La fascia di variabilità nella zona "oscurata" della Fig. 98 non è rappresentativa (foce Po di Maistra). Lo scanno che chiudeva foce Po di Maistra è stato recentemente riaperto e i sedimenti sono migrati verso Nord.
- Cella RO4: La fascia di variabilità nella zona oscurata della Fig. 98 non è rappresentativa. In questo punto vi è la bocca Nord di Boccasette la quale era stata inizialmente aperta più a Nord e poi è stata stabilizzata e debolmente armata 100 m più a Sud.
- Cella RO7: Il tratto a Nord della cella è lo scanno di protezione antistante l'ex canale di scarico dell'Enel. Tale zona ha subito variazioni consistenti negli ultimi anni che non sono ben rappresentate dalla fascia di variabilità.
- Cella RO9: Il tratto a Sud della cella (oscurato in Fig. 98) è lo scanno di protezione della Sacca di Scardovari. Tale tratto ha subito variazioni consistenti ed è stato caratterizzato da evoluzioni importanti che non sono ben rappresentate dalla fascia di variabilità.

Tab. 42 Variazioni della linea di riva rispetto al 2012 (provincia di Venezia)

Cella	Avanzamento max (m)	Arretramento max (m)	Δ max 2000 – 2012 (m)	Baricentro avanzamenti (m)	Baricentro arretramenti (m)	Media avanzamenti (m)	Media arretramenti (m)
VE1	107.1	-126.2	126.2	18.5	-30.1	12.3	-18.0
VE2	101.5	-38.6	101.5	17.5	-9.7	8.9	-4.2
VE3	141.2	-49.2	141.2	31.2	-5.1	15.6	-1.9
VE4	39.5	-38.5	39.5	11.9	-4.0	7.2	-2.3
VE5	40.3	-58.3	66.8	16.3	-10.0	9.6	-5.3
VE6	80.7	-22.4	80.7	13.4	-5.3	8.2	-2.7
VE7	90.0	-40.4	90.0	14.6	-5.4	8.5	-2.8
VE8	84.6	-42.4	84.6	14.9	-16.0	6.6	-8.3
VE9	75.8	-57.9	75.8	20.6	-8.0	14.2	-5.6
VE10	62.1	-29.8	76.8	13.3	-10.9	6.4	-6.1

Tab. 43 Variazioni della linea di riva rispetto al 2012 (provincia di Rovigo)

Cella	Avanzamento max (m)	Arretramento max (m)	Δ max 2000 – 2012 (m)	Baricentro avanzamenti (m)	Baricentro arretramenti (m)	Media avanzamenti (m)	Media arretramenti (m)
RO1	179.6	-69.5	179.6	29.2	-5.1	19.6	-3.5
RO2	184.0	-26.1	184.0	49.3	-1.5	27.7	-0.6
RO3	320.9	0.0	320.9	106.5	0.0	83.0	0.0
RO4	123.5	-60.3	129.1	25.8	-16.2	17.7	-9.6
RO5	584.6	-157.4	584.6	117.6	-32.8	54.5	-22.8
RO6	110.5	-162.7	162.7	48.3	-37.1	29.1	-24.7
RO7	206.0	-42.7	206.0	26.0	-15.3	10.7	-8.6
RO8	98.7	-12.5	98.7	45.3	-0.6	30.9	-0.2
RO9	379.5	-67.0	379.5	113.2	-17.5	53.2	-11.3
RO10	21.6	-129.4	129.4	0.6	-101.6	0.2	-70.4

8.1 CONCLUSIONI

La posizione della linea di riva è stata ottenuta sia dall'interpretazione delle Ortofoto (2000, 2003, 2007 e 2012) che dai rilievi Lidar (2006, 2008, 2009, 2012 e 2013) che dalla CTR 81-83. I rilievi CTR sono troppo datati per essere considerati come riferimento per definire la posizione attuale della linea di riva. Per i rilievi da Ortofoto e Lidar vi sono delle incertezze sui dati ottenuti, che risultano non omogenei fra loro. Nel primo caso l'interfaccia acqua terra appare a volte non ben definita e risente della quota di marea e del run-up al momento dello scatto dell'immagine. Pertanto il valore ottenuto è soggetto, a volte, ad una discreta incertezza. Nel secondo caso (rilievo Lidar), si è deciso di indicare come linea di riva la isolinea con quota +0.25 m s.l.m., poiché meno soggetta all'interferenza del contatto acqua-spiaggia, rispetto a quella a quota 0.0 m s.l.m.

Sono state eseguite diverse elaborazioni tese a valutare l'avanzamento/arretramento della costa e tutte le informazioni sono state organizzate in GIS (vedi Allegato B). La tendenza evolutiva del litorale nella sua interezza può essere desunta dalle Fig. 97 e Fig. 98 che presentano, per tutte le celle, la variazione della linea di riva in termini di accrescimento/erosione annuo valutata nel periodo 1983-2012 e 2007-2012. Per le province di Venezia e di Rovigo i valori più elevati si sono riscontrati rispettivamente in prossimità della foce del Tagliamento (con arretramenti medi di 12 m/anno) e in prossimità della foce principale del Po di Pila (con traslazioni della linea di riva dell'ordine dei 20 m/anno). Nel caso del litorale di Rovigo l'evoluzione è più rapida ed è indice di una maggiore dinamicità.

E' del tutto evidente che la individuazione di una linea di riferimento precisa appare assai complessa e forse imprecisa. Si ritiene pertanto opportuno utilizzare l'ultimo rilievo disponibile (allo stato attuale quello del 2012), considerando una "fascia di variabilità" (puntualmente definita nel paragrafo precedente) che si può assumere dell'ordine dei 20 m, in avanzamento o in arretramento rispetto a questo rilievo.

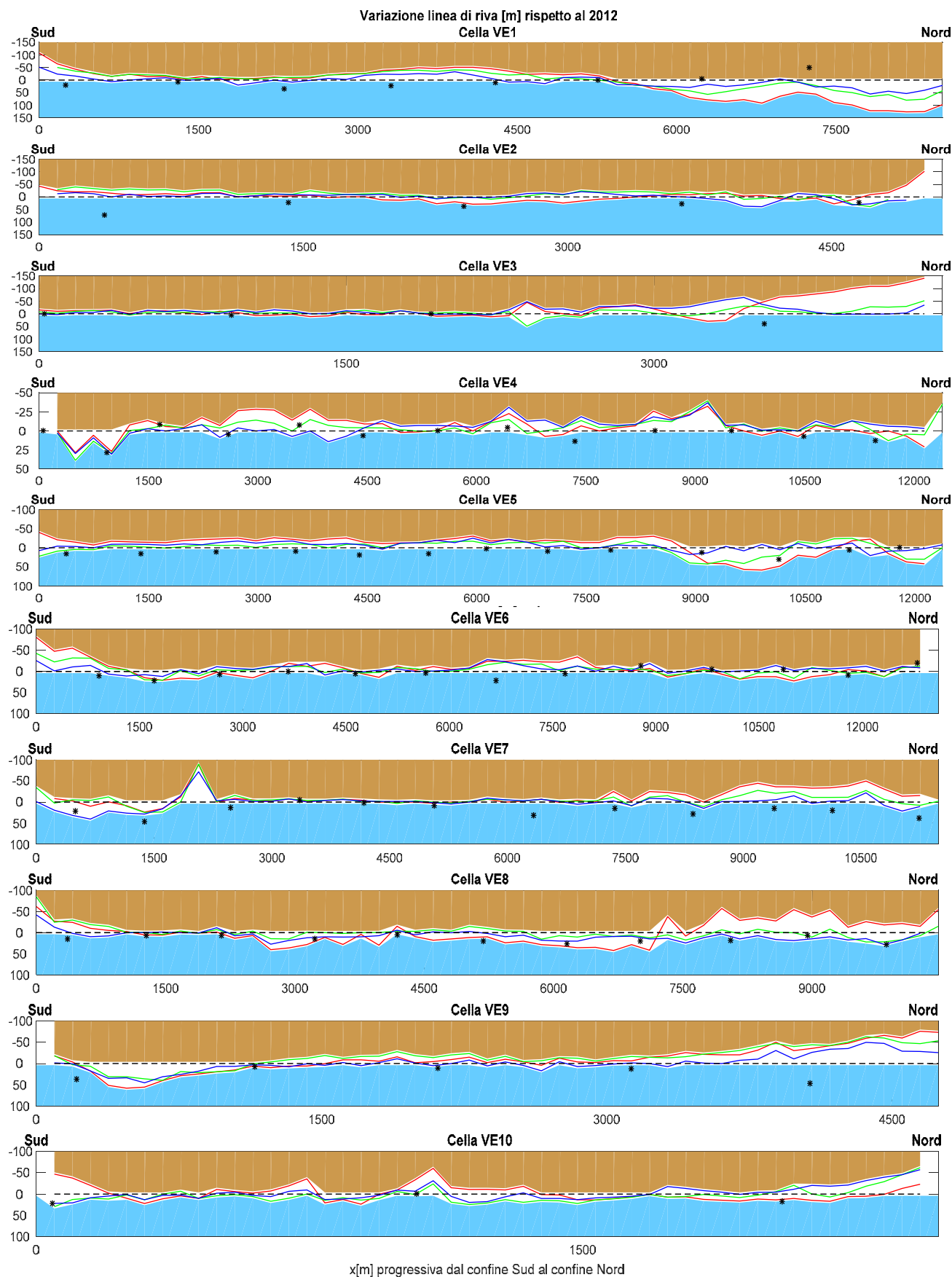


Fig. 97 Variazione della linea di riva (m), celle della provincia di Venezia

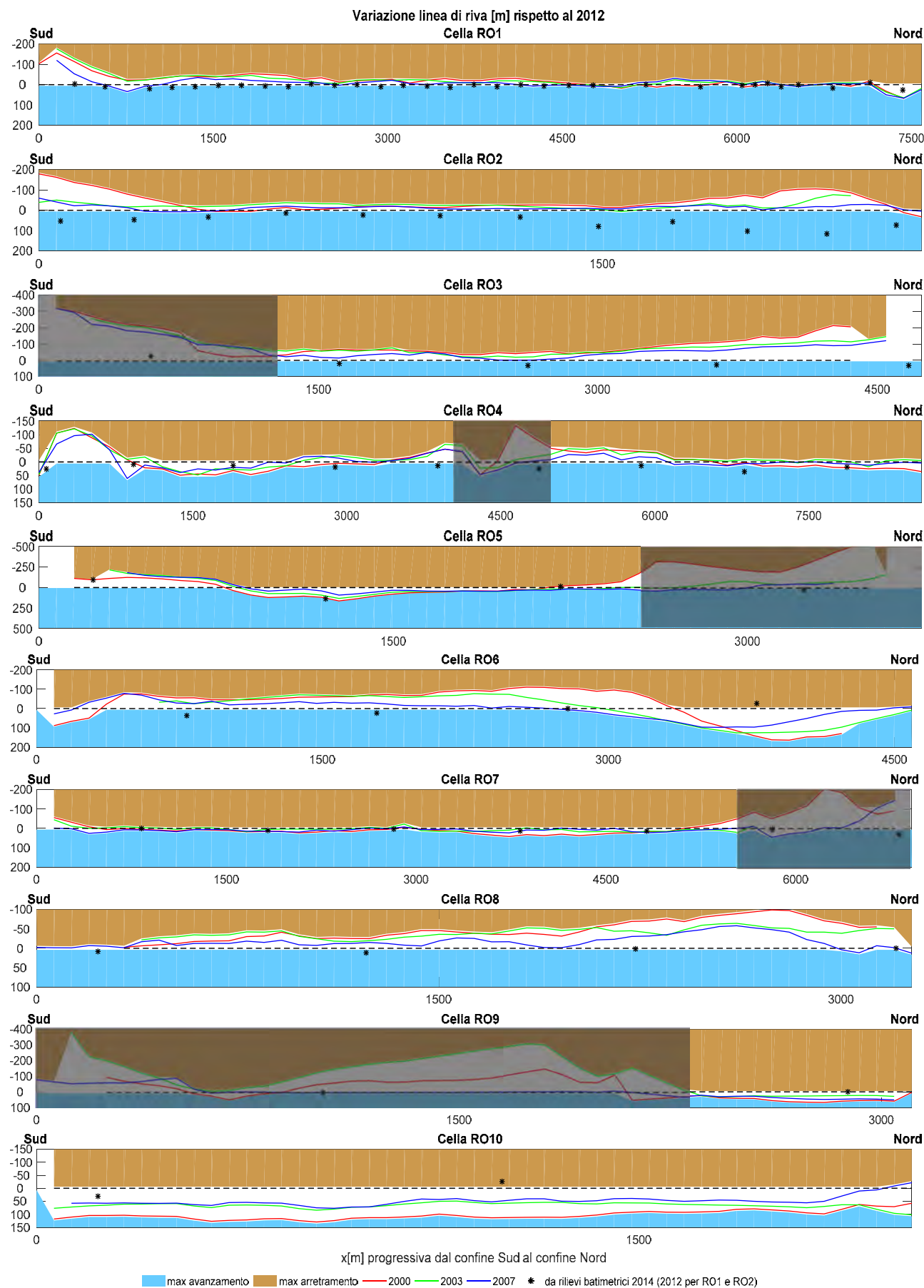


Fig. 98 Variazione della linea di riva (m), celle della provincia di Rovigo

9. RILIEVI TOPO-BATIMETRICI

9.1 DATI DISPONIBILI

Oltre alla più semplice valutazione della traslazione della linea di riva, lo studio della recente evoluzione morfologica dei litorali può essere basata sui rilievi batimetrico - topografici effettuati nel recente passato. Tramite una opportuna indagine di questi dati è possibile infatti calcolare il budget sedimentologico per valutare lo stato di un certo tratto di costa: ad esempio potrebbero essersi verificati fenomeni erosivi anche in assenza di arretramento della linea di costa (tale potrebbe essere ad esempio il caso di una costa protetta da opere rigide in aderenza). Risulta pertanto di estremo interesse il confronto tra successivi rilievi batimetrici, anche per valutare l'influenza degli interventi effettuati sul regime del litorale e sull'evoluzione morfologica dello stesso. Purtroppo i dati a disposizione nei vari tratti del Veneto sono molto disomogenei tra loro; di seguito sono elencati i rilievi disponibili (Tab. 44).

Tab. 44 Rilievi batimetrici disponibili

ZONA	ANNO	DESCRIZIONE
Litorale della provincia di Rovigo	Novembre 2005	57 sezioni ortogonali alla costa disposte ad interasse di circa 1 km l'una dall'altra ed estese fino alla batimetrica -15, che coprono l'intero litorale del Delta dalla foce dell'Adige a quella del Po di Gnocca, con raffittimenti in corrispondenza delle opere
Litorali da Tagliamento a Sile	Aprile 2007	47 sezioni fino alla - 5 m con interasse 1 km, prolungati alla -10 m ogni 4 km che coprono l'intero litorale da foce Tagliamento a foce Sile
Litorale della provincia di Rovigo	Maggio 2008	57 sezioni ortogonali alla costa disposte ad interasse di circa 1 km l'una dall'altra ed estese fino alla batimetrica -10, che coprono l'intero litorale del Delta dalla foce dell'Adige a quella del Po di Gnocca, raffittimenti in corrispondenza delle opere
Litorali di Eraclea, Jesolo, Cavallino, Lido, Pellestrina, Sottomarina e Isola Verde	Maggio 2002 Maggio 2003 Maggio 2005 Maggio 2006 Maggio 2007 Maggio 2010	Sezioni fino alla - 5 m nel tratto di litorale compreso tra foce Piave e foce Brenta
Intero litorale della Regione Veneto	2012 (Litorale di Rosolina e Albarella) Settembre 2014 (restante litorale)	Sezioni fino alla - 5 m con interasse 1 km, prolungati alla -10 m ogni 4 km che coprono l'intero litorale da foce Tagliamento a foce Sile

9.2 CALCOLO DEL VOLUME DEI SEDIMENTI ACCUMULATI O EROSI

Il calcolo delle variazioni volumetriche caratteristiche di ciascuna cella morfologica è stato basato sul confronto tra le due serie di sezioni batimetriche rilevate più di recente. Le sezioni rilevate distano generalmente 1000 m, ad eccezione dei profili rilevati nel Maggio 2010 nel tratto compreso tra Sile e Adige dove distano circa 100 m. In Fontolan & al. 2013, 2014, per ciascuna sezione si è calcolato l'incremento o la perdita di area (ossia di sedimenti) in tutta la zona attiva (ossia dalla spiaggia emersa fino alla batimetrica -5) in m³/m e in base a questa stima è stata assegnata a ciascun tratto la classificazione ASPE (A = Accumulo, S = Stabile, P = in equilibrio Precario, E = Erosione, ND = non disponibile).

Il valore della variazione volumetrica (per metro di lunghezza del litorale, Tab. 45, Tab. 46, Tab. 47) è stato inizialmente associato al tratto di costa a cavallo della sezione considerata (fino alla mezzera dei tratti adiacenti).

In alcuni casi, tuttavia, le variazioni delle aree calcolate sono evidentemente rappresentative di modificazioni morfologiche molto localizzate e non possono essere considerate rappresentative di un lungo tratto di litorale. Ad esempio una sezione posta in prossimità di una foce fluviale molto attiva può subire trasformazioni anche molto importanti in poco tempo che, evidentemente, non possono rappresentare l'evoluzione della costa a 1 km di distanza dalla foce. In altri casi, alcune delle sezioni rilevate potevano essere una volta in corrispondenza di uno scanno sabbioso dove oggi è presente un'imboccatura di una laguna o viceversa (tipicamente nel Delta del Po). In questi casi si è dato un "minor peso" a queste sezioni, ossia le variazioni volumetriche della sezione sono state associate ad un tratto di costa molto minore dell'interasse tra le sezioni.

Inoltre alcune delle sezioni poste a confronto manifestano evidenti incongruenze rispetto alle fotogrammetrie dello stesso periodo di osservazione (ad es. la linea di riva desunta dalle sezioni presenta avanzamenti od arretramenti non compatibili con le immagini fotografiche). In questi casi si sono scartati i calcoli delle sezioni in disaccordo, estendendo invece la valenza delle sezioni adiacenti a tratti più lunghi.

Alla luce delle precedenti osservazioni val la pena di sottolineare l'importanza di prevedere, in futuro, un monitoraggio che consideri un raffittimento delle sezioni in corrispondenza di punti cospicui quali foci fluviali, imboccature lagunari, o zone in cui

si siano manifestate o siano prevedibili rapide variazioni morfologiche costiere (e dunque di volumi di sedimenti). Non pare superfluo infine ribadire l'importanza di affidare i rilievi a ditte specialistiche di chiara fama, chiarendo bene gli obiettivi dei rilievi e la precisione richiesta delle misure.

Tab. 45 Calcolo Volumi accumulati o erosi, Celle VE1 – VE5 (Fontolan & al., 2013)

Cella	Celle GCV	anni	Tot (m³/m/anno)	ASPE		anni	Tot (m³/m/anno)	ASPE
VE1	BC1	Apr. 2002 - Mar. 2007	20.71	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	24.09	A
VE1	BC2	Apr. 2002 - Mar. 2007	6.10	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	18.92	A
VE1	BC3	Apr. 2002 - Mar. 2007	30.99	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	-3.61	S
VE1	BC4	Apr. 2002 - Mar. 2007	-12.38	E		Mar. 2007 - Lug. 2014	-37.58	E
VE1	BC5	Apr. 2002 - Mar. 2007	21.50	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	27.32	A
VE2	VC1	Apr. 2002 - Mar. 2007	24.52	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	34.05	A
VE2	VC2	Apr. 2002 - Mar. 2007	-0.95	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	19.05	A
VE2	VC3	Apr. 2002 - Mar. 2007	31.75	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	-13.72	E
VE3	CC1	Apr. 2002 - Mar. 2007	19.66	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	1.44	S
VE3	CC2	Apr. 2002 - Mar. 2007	13.21	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	4.62	S
VE3	CC3	Apr. 2002 - Mar. 2007	24.26	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	8.27	A
VE4	EC1	Sett. 2004 - Mag. 2010	-11.06	E		Mar. 2007 - Lug. 2014	-24.56	E
VE4	EC2	Sett. 2004 - Mag. 2010	-0.65	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	-6.51	E
VE4	EC3	Sett. 2004 - Mag. 2010	0.82	S			0.00	ND
VE4	EC4	Sett. 2004 - Mag. 2010	13.18	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	-12.42	E
VE4	EC6	Mag. 2005 - Mag. 2010	-3.64	P		Mar. 2007 - Lug. 2014	-14.91	E
VE4	EC7	Mag. 2005 - Mag. 2010	-17.19	E				ND
VE4	EC8	Apr. 2002 - Mar. 2007	2.94	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	0.37	P
VE4	DVC9	Apr. 2002 - Mar. 2007	1.01	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	2.31	P
VE4	SMC10	Apr. 2002 - Mar. 2007	-9.52	E		Mar. 2007 - Lug. 2014	19.98	A
VE4	SMC11	Apr. 2002 - Mar. 2007	-1.55	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	9.07	A
VE4	SMC12	Apr. 2002 - Mar. 2007	8.39	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	7.32	A
VE5	JC1	Mag. 2003 - Mag. 2010	2.34	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	-12.98	E
VE5	JC2	Mag. 2003 - Mag. 2010	9.37	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	-19.89	E
VE5	JC3	Mag. 2003 - Mag. 2010	3.01	S		Mar. 2007 - Lug. 2014	-9.99	E
VE5	JC4	Mag. 2003 - Mag. 2010	16.44	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	-12.97	E
VE5	JC5	Mag. 2003 - Mag. 2010	-14.08	E		Mar. 2007 - Lug. 2014	-11.04	E
VE5	JC6	Mag. 2003 - Mag. 2010	-2.40	P				ND
VE5	JC7	Mag. 2003 - Mag. 2010	20.11	A		Mar. 2007 - Lug. 2014	-3.17	P
VE5	JC8	Mag. 2003 - Mag. 2010	-41.19	E		Mar. 2007 - Lug. 2014	-26.58	E

Tab. 46 Calcolo Volumi accumulati o erosi, Celle VE6 – VE10 (Fontolan & al., 2013)

Cella	Celle GCV	anni	Tot (m ³ /m/anno)	ASPE		anni	Tot (m ³ /m/anno)	ASPE
VE6	CVC1	Giu. 2004 - Mag. 2010	14.79	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-10.20	E
VE6	CVC2	Giu. 2004 - Mag. 2010	6.70	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-23.98	E
VE6	CVC3	Giu. 2004 - Mag. 2010	5.18	A				ND
VE6	CVC4	Giu. 2004 - Mag. 2010	4.67	S				ND
VE6	CVC5	Giu. 2004 - Mag. 2010	3.45	S		Mag. 2010 - Nov. 2014	-39.11	E
VE6	CVC6	Giu. 2004 - Mag. 2010	9.22	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-34.76	E
VE6	CVC7	Giu. 2004 - Mag. 2010	-4.02	P		Mag. 2010 - Nov. 2014	-29.74	E
VE6	CVC8	Giu. 2004 - Mag. 2010	6.81	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-46.73	E
VE7	LC1			ND		Mag. 2010 - Nov. 2014	-33.70	E
VE7	LC2	Nov. 2000 - Mag. 2010	6.37	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-7.05	E
VE7	LC3	Nov. 2000 - Mag. 2010	8.99	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-11.94	E
VE7	LC4	Nov. 2000 - Mag. 2010	-18.61	E		Mag. 2010 - Nov. 2014	-18.67	E
VE7	LC5	Nov. 2000 - Mag. 2010	-5.18	E		Mag. 2010 - Nov. 2014	166.12	A
VE7	LC6			ND		Mag. 2010 - Nov. 2014	-20.91	E
VE8	PC1	Dic. 2000 - Mag. 2010	37.03	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-13.24	E
VE8	PC2	Dic. 2000 - Mag. 2010	-0.94	S		Mag. 2010 - Nov. 2014	-12.72	E
VE8	PC3	Dic. 2000 - Mag. 2010	-2.13	P		Mag. 2010 - Nov. 2014	-11.05	E
VE8	PC4	Dic. 2000 - Mag. 2010	5.61	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	2.34	S
VE8	PC5	Dic. 2000 - Mag. 2010	0.60	P		Mag. 2010 - Nov. 2014	-0.69	S
VE8	PC6	Dic. 2000 - Mag. 2010	7.34	A		Mag. 2010 - Nov. 2014	-4.21	S
VE8	PC7	Dic. 2000 - Mag. 2010	0.03	S		Mag. 2010 - Nov. 2014	-5.26	E
VE9	SC1	Giu. 2004 - Mag. 2010	17.46	A				ND
VE9	SC2	Giu. 2004 - Mag. 2010	-15.89	E		Mag. 2010 - Nov. 2014	81.12	A
VE9	SC3	Giu. 2004 - Mag. 2010	4.68	S				ND
VE9	SC4	Giu. 2004 - Mag. 2010	-29.33	E		Mag. 2010 - Nov. 2014	-35.90	E
VE9	SC5	Giu. 2004 - Mag. 2010	69.24	A				ND
VE10	IVC1	Gen. 2001 - Mag. 2010	0.66	P		Mag. 2010 - Nov. 2014	13.89	A
VE10	IVC2	Gen. 2001 - Mag. 2010	-0.76	P				ND
VE10	IVC3	Gen. 2001 - Mag. 2010	0.79	P				ND
VE10	IVC4	Gen. 2001 - Mag. 2010	-13.89	E		Mag. 2010 - Nov. 2014	9.63	A
VE10	IVC5	Gen. 2001 - Mag. 2010	-21.31	E				ND
VE10	IVC6	Gen. 2001 - Mag. 2010	-20.54	E				ND
VE10	IVC7	Gen. 2001 - Mag. 2010	-4.54	S		Mag. 2010 - Nov. 2014	-12.53	E
VE10	IVC8	Gen. 2001 - Mag. 2010	17.58	A				ND

Tab. 47 Calcolo Volumi accumulati o erosi, Celle RO1 – RO10 (Fontolan & al., 2014)

Cella	Celle GCV	anni	Tot (m³/m/anno)	ASPE
RO1	LRC1	2008-2013	-11.27	E
RO1	LRC2	2008-2013	-18.35	E
RO1	LRC3	2008-2013	21.95	A
RO2	IAC1	2008-2013	-20.89	E
RO3	SCC1	2008-2014	10.88	A
RO4	SPC1	2008-2014	0.88	S
RO4	SPC2	2008-2014	14.65	A
RO4	SPC3	2008-2014	138.40	A
RO5	BPC1	2008-2014	4.02	S
RO5	BPC2	2008-2014	13.68	A
RO6	BPC3	2008-2014	67.22	A
RO7	BPC4	2008-2014	47.33	A
RO7	BAC1	2008-2014	2.45	S
RO7	SBC1	2008-2014	-20.64	E
RO8	SBC2	2008-2014	33.14	A
RO9	SSC1	2008-2014	0.14	P
RO9	SSC2	2008-2014	41.68	A
RO9	BBC1	2008-2014	102.29	A
RO10	BBC2	2008-2014	-45.33	E
RO10	BBC3	2008-2014	23.67	A

In Tab. 48 sono anzitutto riportati i valori dei volumi calcolati sulla base delle sezioni utilizzate da Fontolan & al. 2013, 2014. Per tale calcolo si è moltiplicato il valore medio delle variazioni volumetriche delle singole sezioni per la lunghezza di ciascun tratto. Sono poi indicati i volumi di accrescimento/erosione aggiornati sulla base delle precedenti osservazioni (a seguito di verifica di incongruenze, poca rappresentatività o scarsa affidabilità dei rilievi batimetrici). Accanto a questi valori sono sintetizzate le motivazioni dell'aggiornamento effettuato.

Come già detto in precedenza i valori calcolati dal confronto tra sezioni batimetriche non sembrano affidabili in quei tratti dove, ad esempio, le sezioni presentano variazioni notevoli di batimetrie alla -5 m, o dove si alternano sezioni con importanti accrescimenti/erosioni apparentemente non giustificate oppure dove le sezioni non sono congruenti in punti fissi della spiaggia emersa (muretti, diaframmi etc.). In alcuni casi (e.g. nello scanno sabbioso della Laguna di Scardovari) si sono corretti i calcoli per considerare solamente le variazioni delle aree della spiaggia attiva senza comprendere gli apporti effettuati per consolidare lo scanno.

9.3 PROGETTAZIONE DELLA RETE

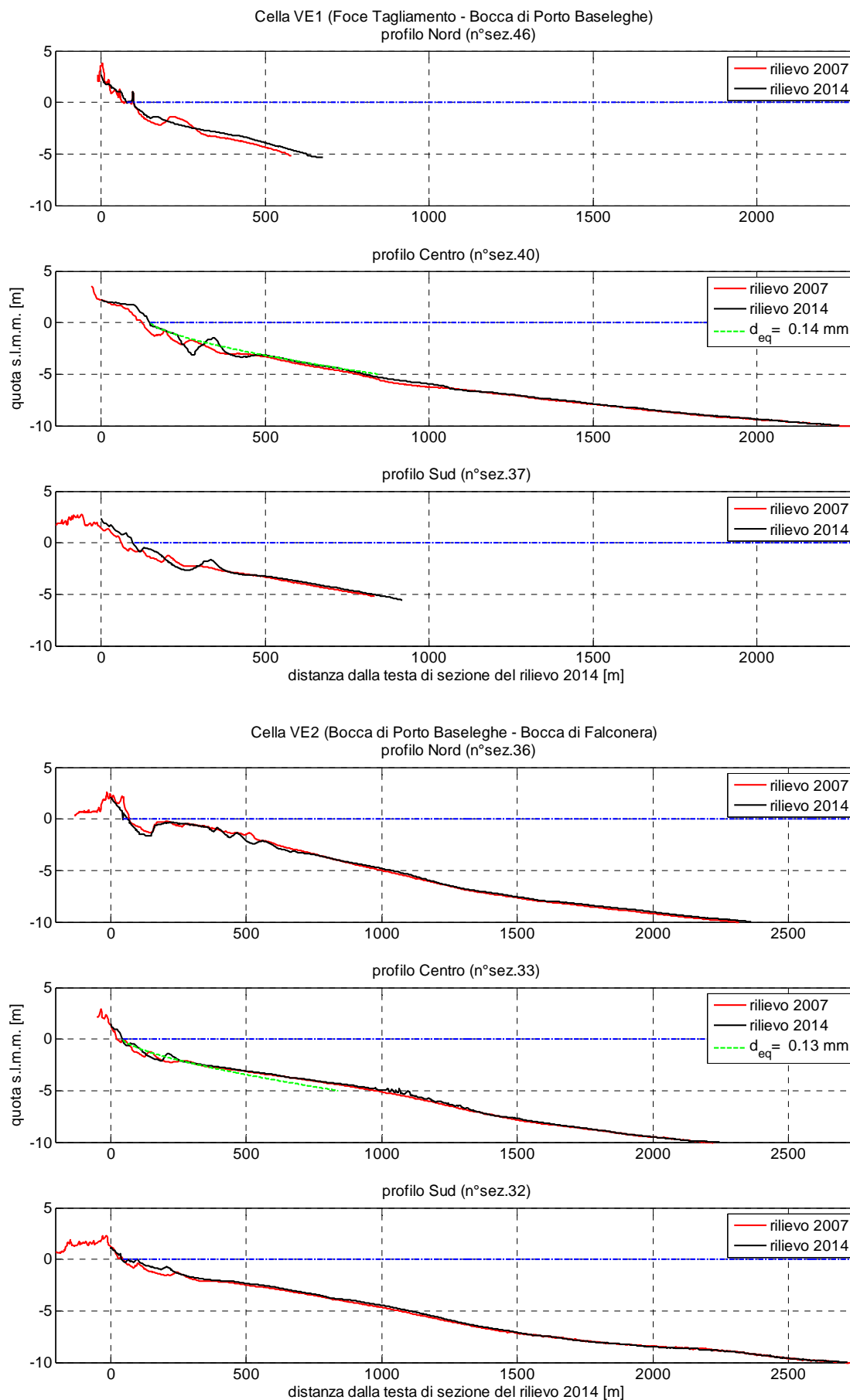
Nel 2014 sono stati rilevati dei profili perpendicolari a riva, che nel tratto Tagliamento – Sile e Provincia di Rovigo ripetono la stessa tracciato planimetrico dei profili rilevati rispettivamente nel 2007 e 2008. Tali profili fungono da base di partenza anche per futuri rilievi che dovranno essere convenientemente realizzati con frequenza almeno quinquennale. Lo studio di tali profili consente di:

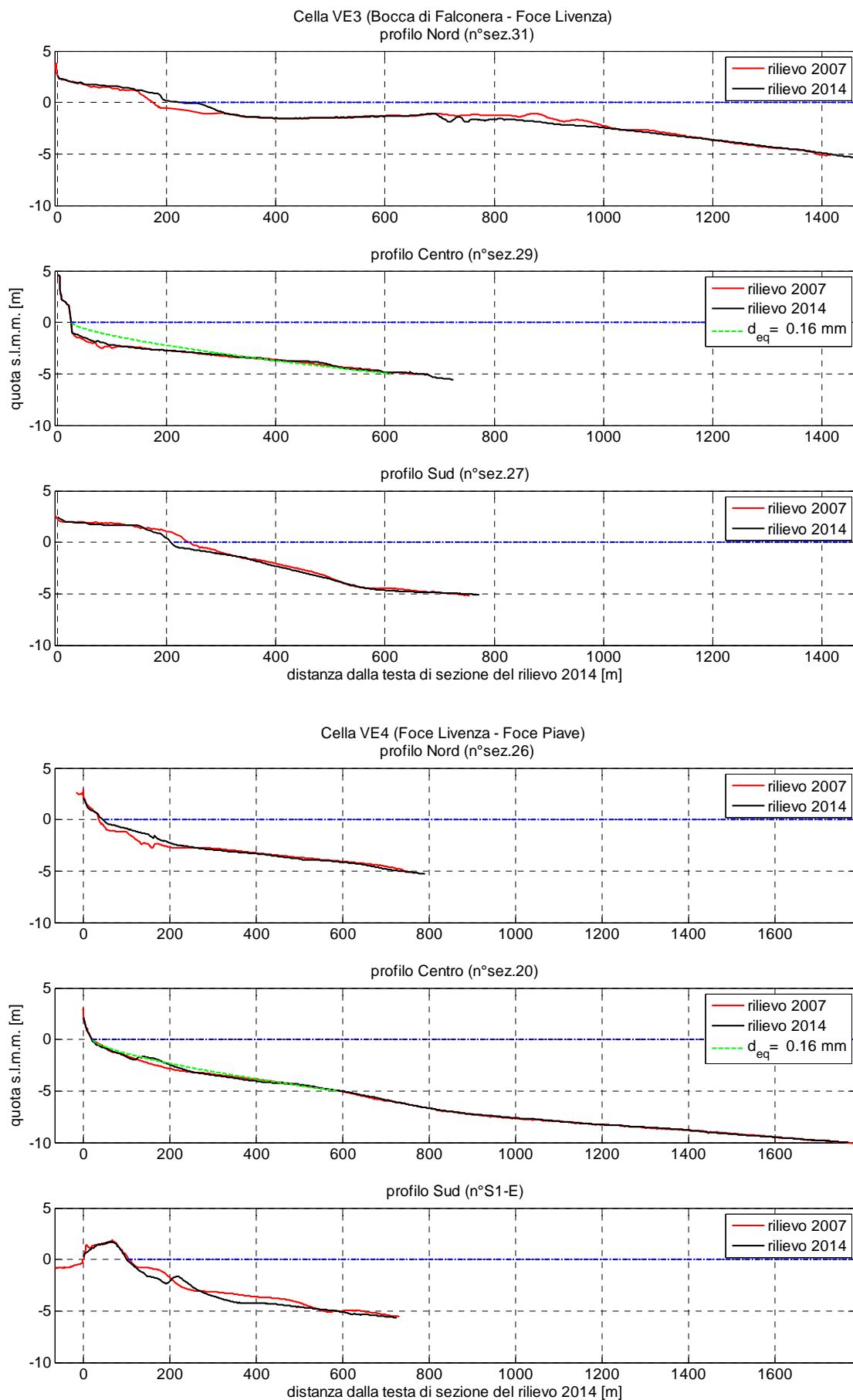
- Avere una rozza stima sui quantitativi di volumi erosi e/o accumulati su scala regionale
- Valutare la recente tendenza evolutiva del fondale sia nella parte prossima alla riva, funzione delle mareggiate più recenti, sia nella parte al largo, dovuta al combinato di vari processi tra i quali spicca l'apporto fluviale.
- Anticipare il trend accrescitivo/erosivo della spiaggia prossima a riva attraverso la variazione dell'orientazione delle batimetriche più lontane (- 5 m). Di fatto, la diminuzione dell'apporto solido fluviale non è immediatamente verificabile attraverso l'osservazione di erosione sottoflutto, ma quanto dall'erosione della barra di foce e dei fondali al largo.

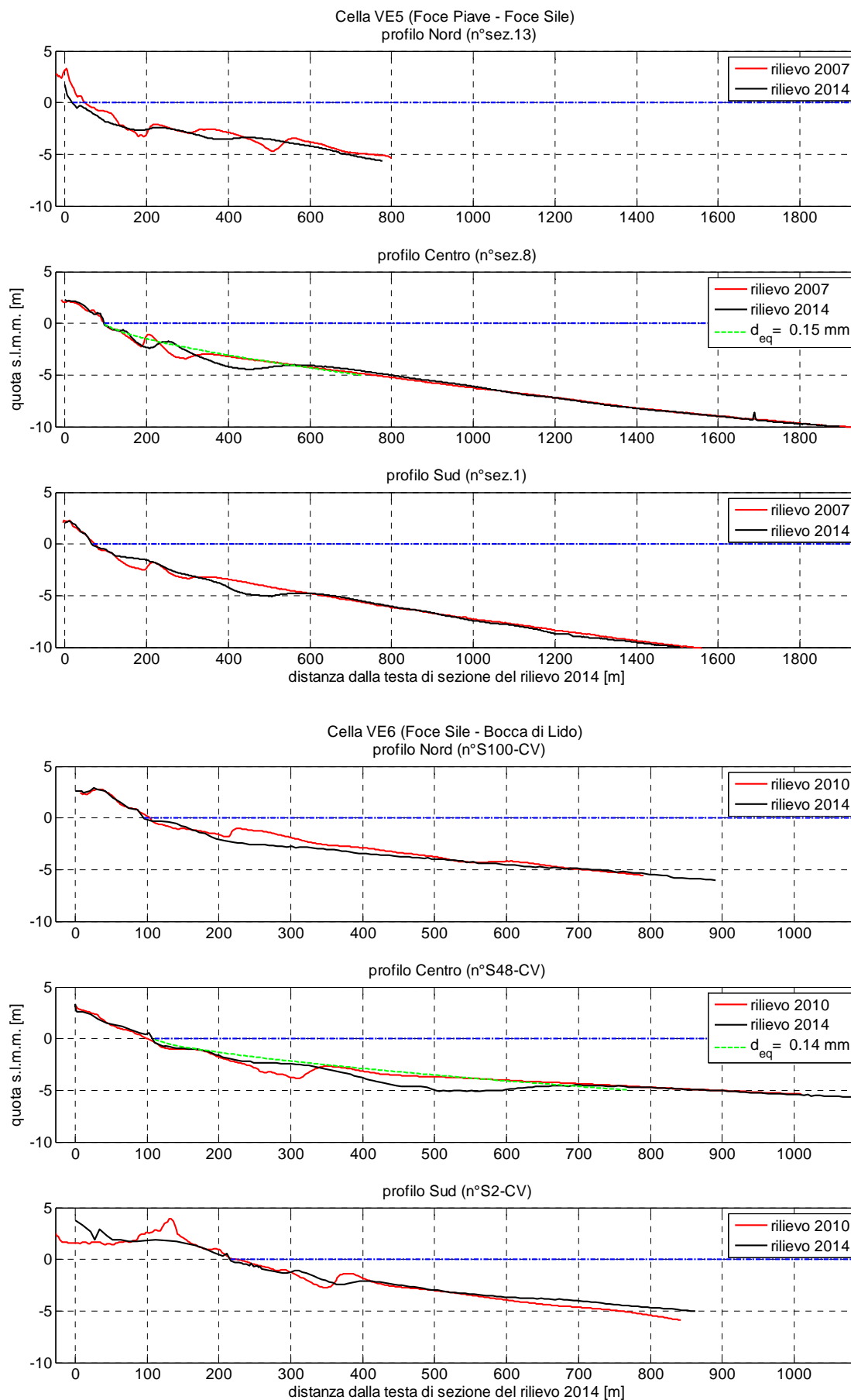
Di seguito si riportano tre profili batimetrici rappresentativi di ciascuna cella litoranea, situati all'estremità Nord, in mezzeria e all'estremità Sud del tratto di costa. Il profilo centrale è stato inoltre confrontato con il profilo d'equilibrio di Dean (1977), dato dalla nota equazione $y = Ax^{2/3}$. Si è calcolato, minimizzando gli errori, il valore del parametro A e dunque del "diametro d'equilibrio" $d(A) = (A/0.41)^{1/0.94}$.

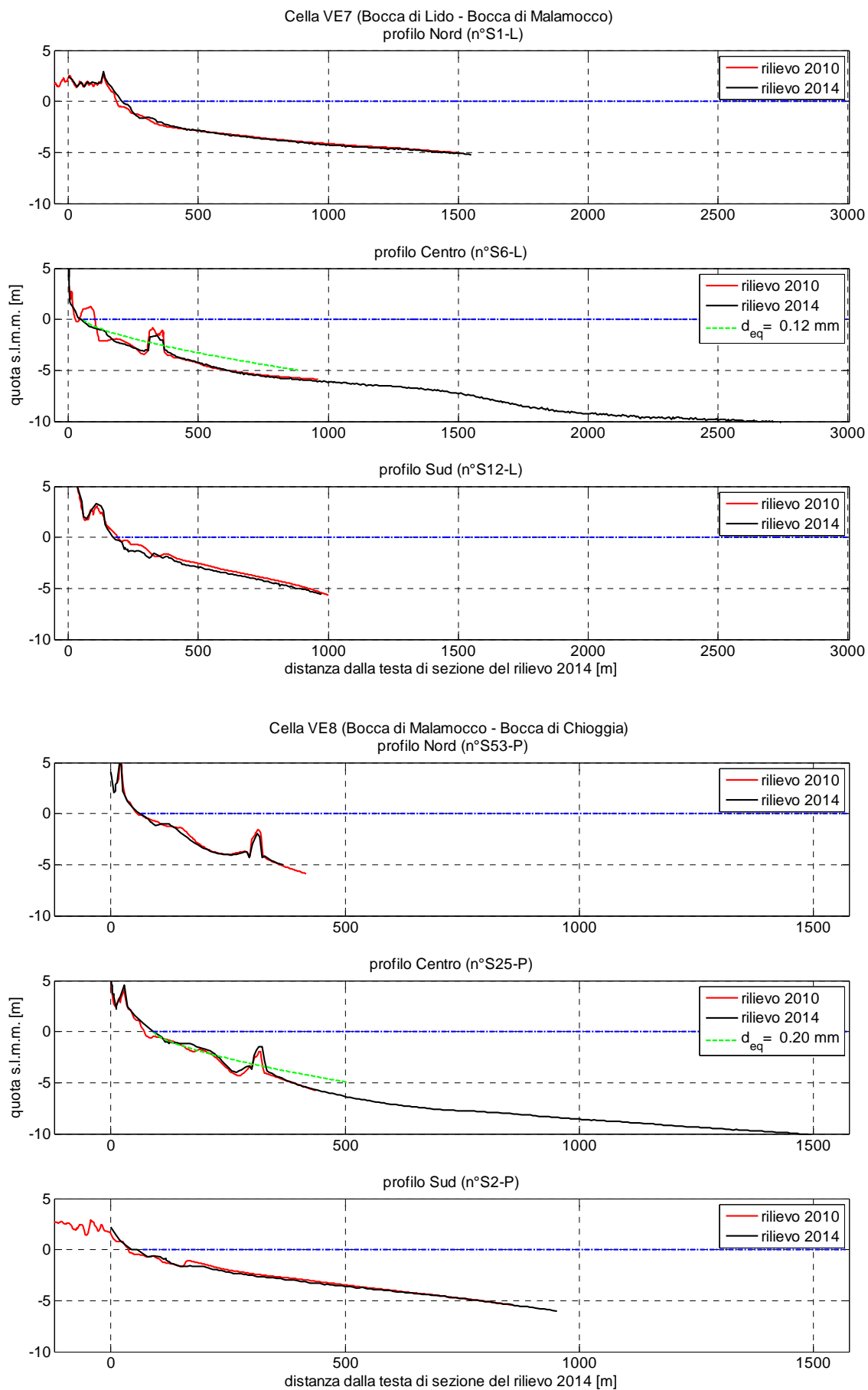
Tab. 48 Aggiornamento dei volumi erosi/accumulati per ciascun tratto

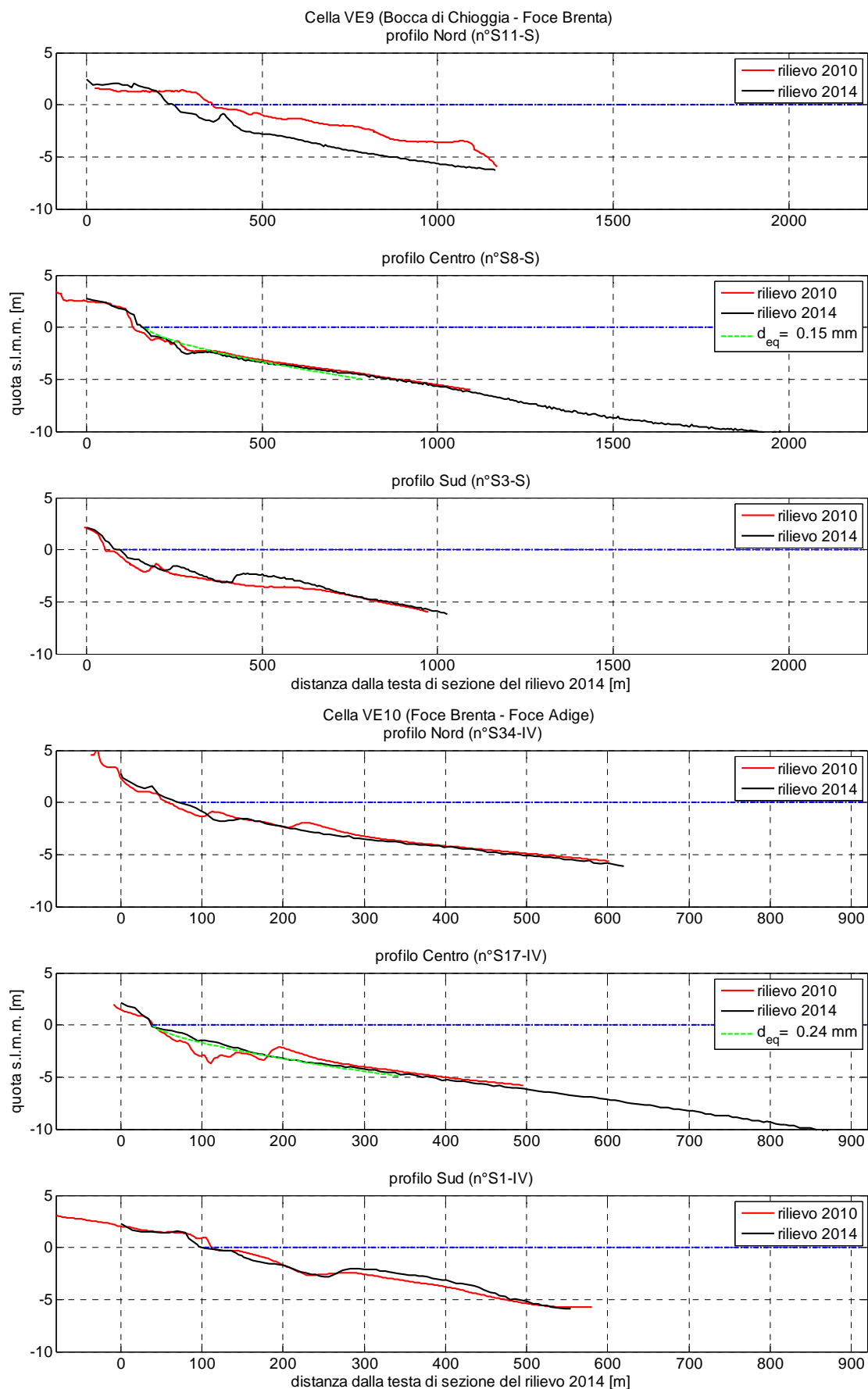
Cella	L (m)	Vol. Fontolan & al., 2013, 2014 (m³/anno)	Vol. aggiornato (m³/anno)	Motivazione
VE1N	6'375	-391	-20'534	La zona d'influenza della sezione BS44 è stata limitata poiché è rappresentativa di una zona ridotta. La zona d'influenza della sezione BS47 è stata limitata poiché l'accrescimento registrato è rappresentativo della dinamica di foce Tagliamento
VE1S	3'332	67'356	62'669	La zona d'influenza della sezione BS37 è stata limitata poiché l'accrescimento registrato è rappresentativo della dinamica di Bocca di Porto Baseleghe
VE2N	3'795	-6'011	29'744	La zona d'influenza della sezione VS36 è stata limitata poiché l'erosione registrata è rappresentativo della dinamica di Bocca di Porto Baseleghe
VE2S	1'443	35'701	35'701	
VE3N	2'739	22'642	22'642	
VE3S	1'989	4'968	4'968	
VE4N	7'249	52'316	52'316	
VE4S	7'827	-81'159	-62'643	La zona d'influenza della sezione ES14 è stata limitata poiché l'erosione registrata è rappresentativo della dinamica di foce Piave
VE5N	5'534	-77'376	-59'950	La zona d'influenza della sezione JS13 è stata limitata poiché l'erosione registrata è rappresentativo della dinamica di foce Piave
VE5S	7'042	-92'951	-64'925	La zona d'influenza delle sezioni JS3 e JS4 è stata limitata poiché è rappresentativa di una zona ridotta.
VE6N	6'788	-258'075	0	I valori calcolati dalle sezioni non sembrano affidabili
VE6S	7'088	-190'006	0	I valori calcolati dalle sezioni non sembrano affidabili
VE7N	5'416	91'780	0	I valori calcolati dalle sezioni non sembrano affidabili
VE7S	6'582	-105'714	0	I valori calcolati dalle sezioni non sembrano affidabili
VE8N	5'483	-35'922	-35'922	
VE8S	5'485	-12'707	-12'707	
VE9N	2'406	-86'359	34'000	I valori calcolati dalle sezioni non sembrano affidabili. Dato revisionato utilizzando l'avanzamento e arretramento della linea di riva
VE9S	2'498	202'669	-20'000	I valori calcolati dalle sezioni non sembrano affidabili. Dato revisionato utilizzando l'avanzamento e arretramento della linea di riva
VE10N	1'556	-19'487	-19'487	
VE10S	1'106	13'000	13'000	
RO1N	3'936	-12'729	-12'729	
RO1S	4'043	16'915	16'915	
RO2N	985	-26'479	-13'931	La zona d'influenza della sezione S9 (in corrispondenza della Bocca di Caleri) è stata limitata poiché l'erosione registrata dipende dal fatto che essa interseca la canaletta di accesso alla laguna e la perdita è da correlare al probabile dragaggio per garantire l'ufficiosità. Si è scelto di considerare valido il valore misurato nella sezione S10 come rappresentativo dell'intera cella RO2
RO2S	1'504	-31'422	-21'273	Si è scelto di considerare valido il valore misurato nella sezione S10 come rappresentativo dell'intera cella RO2
RO3N	2'133	62'728	62'728	
RO3S	2'639	-3'888	-3'888	
RO4N	3'764	26'749	26'749	
RO4S	5'274	278'078	52'151	La zona d'influenza delle sezioni S25 e S26 è stata limitata poiché l'accrescimento registrato è rappresentativo di una zona ridotta adiacente a Busa di Tramontana
RO5N	2'359	9'495	9'495	
RO5S	1'417	19'374	19'374	
RO6N	1'841	180'127	180'127	
RO6S	2'495	78'932	78'932	
RO7N	3'046	7'478	7'478	
RO7S	2'863	-59'077	-59'077	
RO8N	2'118	96'998	96'998	
RO8S	1'302	26'685	26'685	
RO9N	805	111	111	
RO9S	2'922	166'091	-23'429	Il volume delle sezioni S50, S51 e S52 è stato ricalcolato poiché nel calcolo dei volumi era stata presa in considerazione la zona dello scanno artificialmente ricreato. Inoltre La zona d'influenza della sezione S53 è stata limitata poiché rappresentativa esclusivamente della Bocca Sud della Laguna di Scardovari
RO10N	1'036	-51'993	-51'993	
RO10S	1'178	-11'837	-11'837	

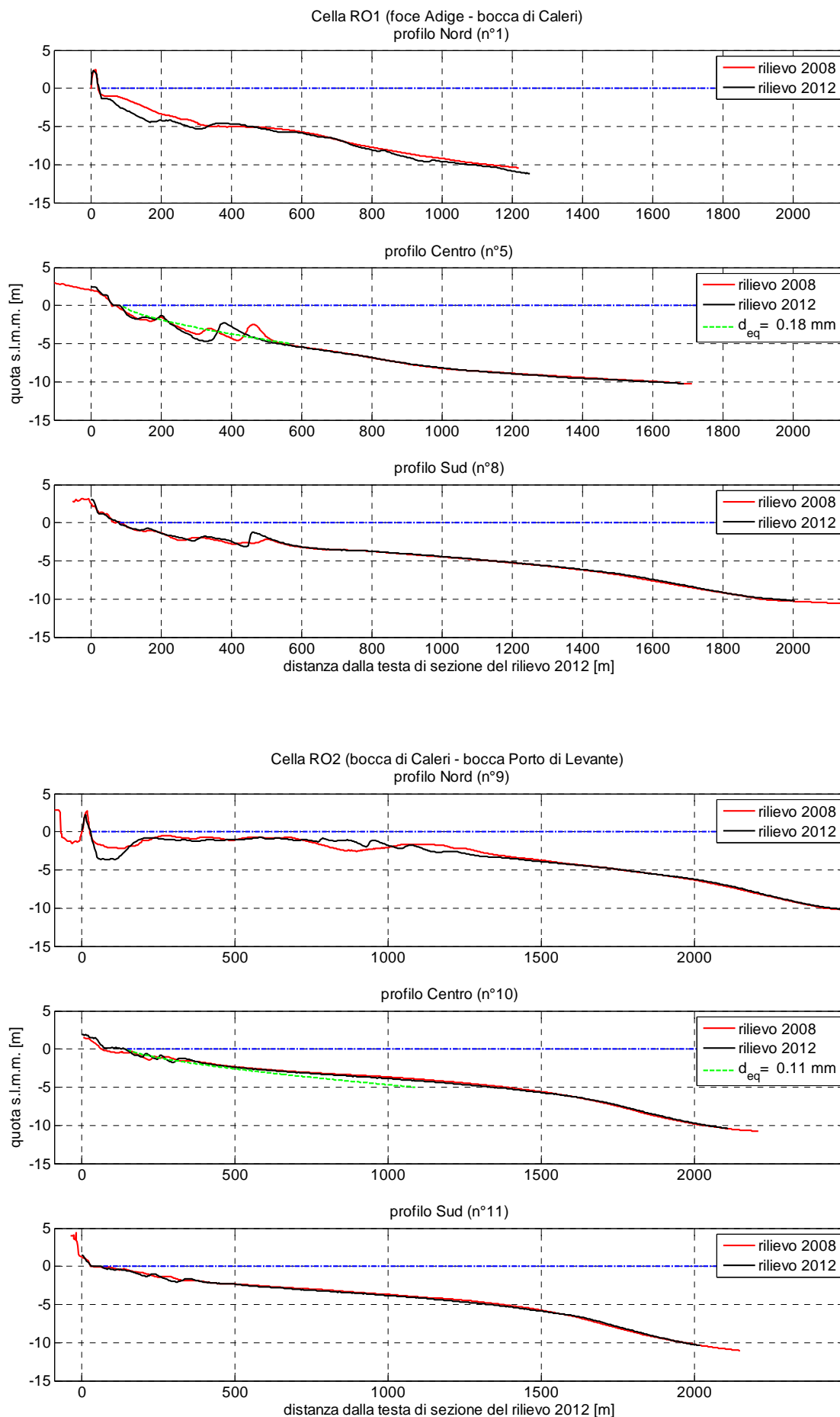


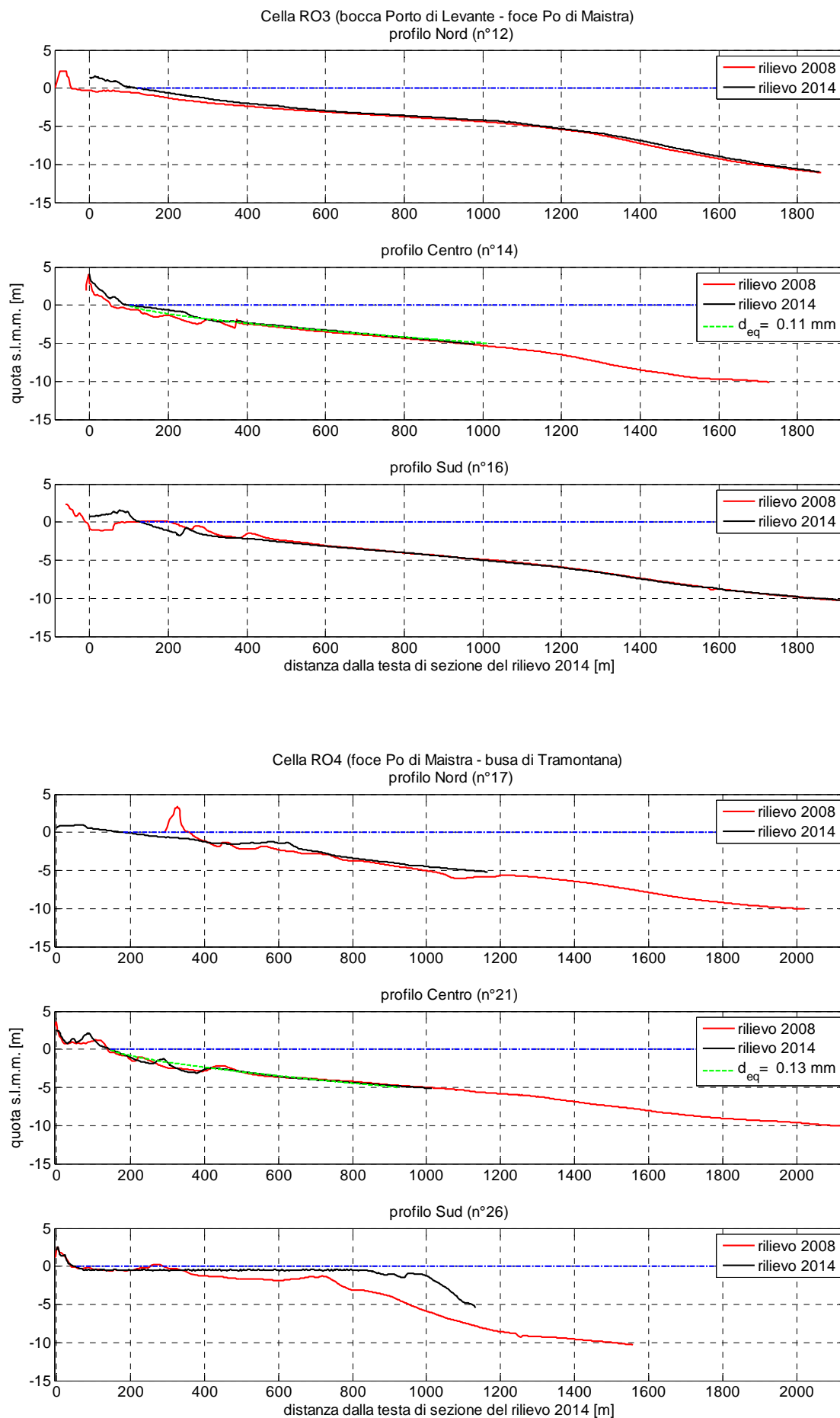


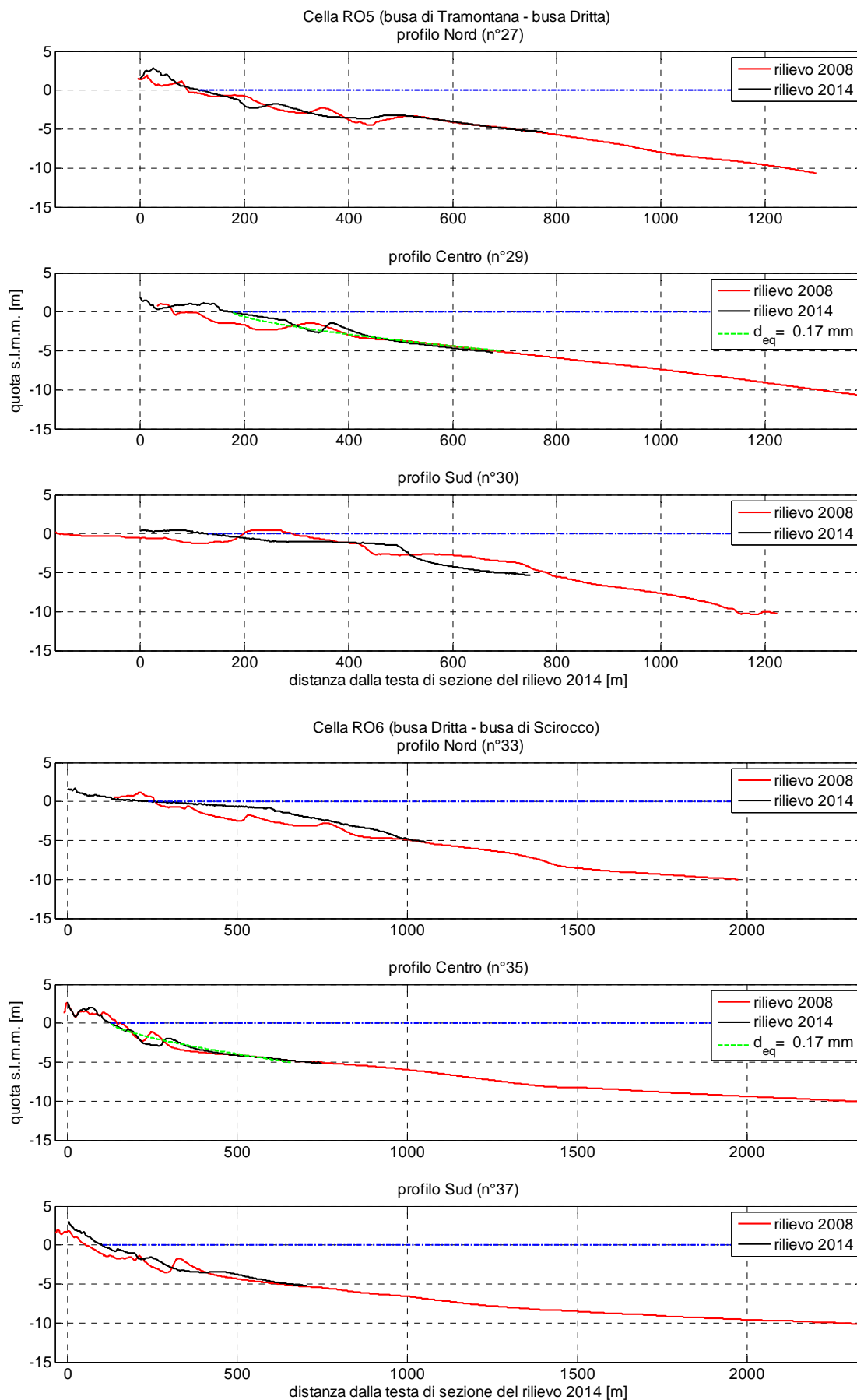


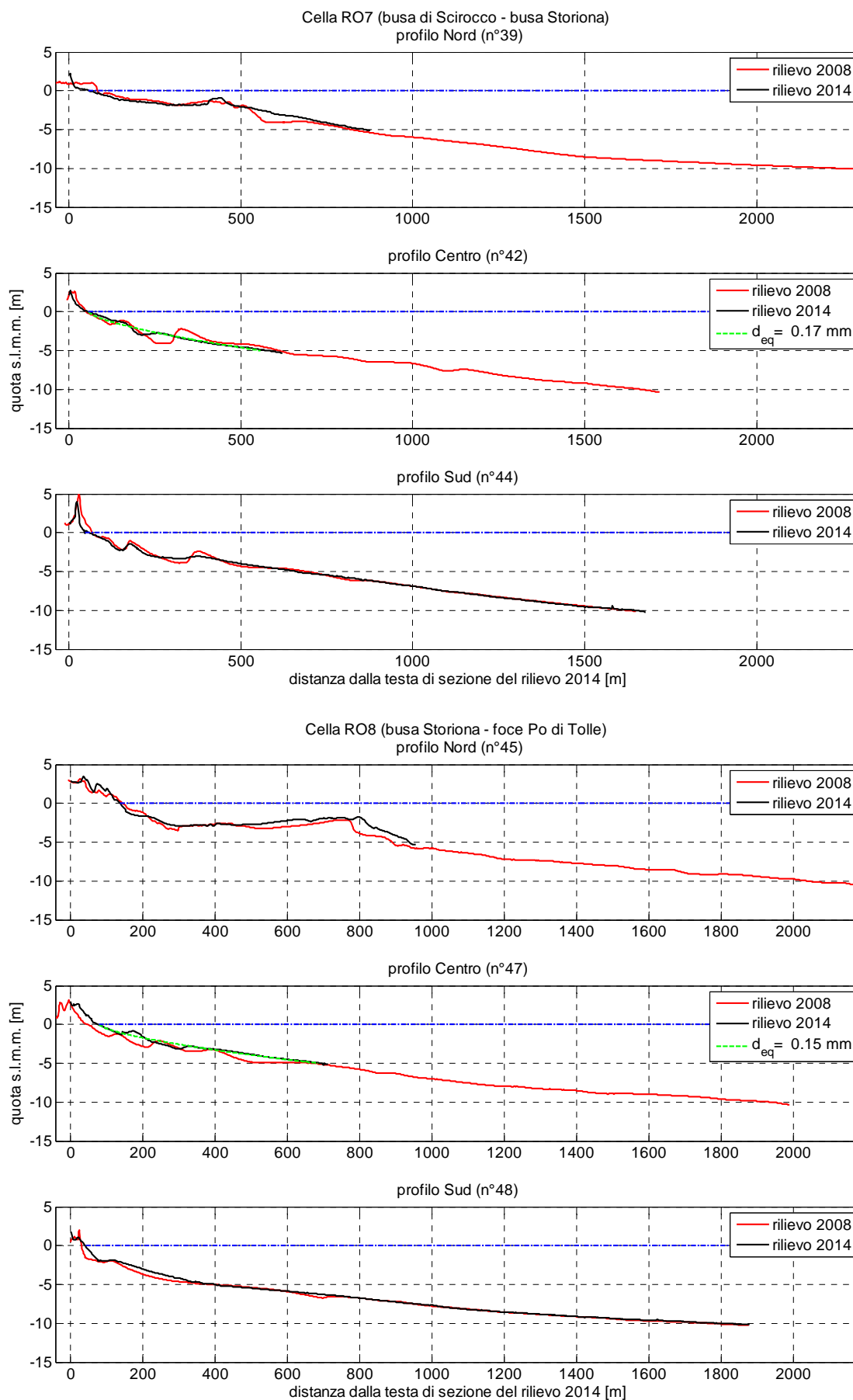


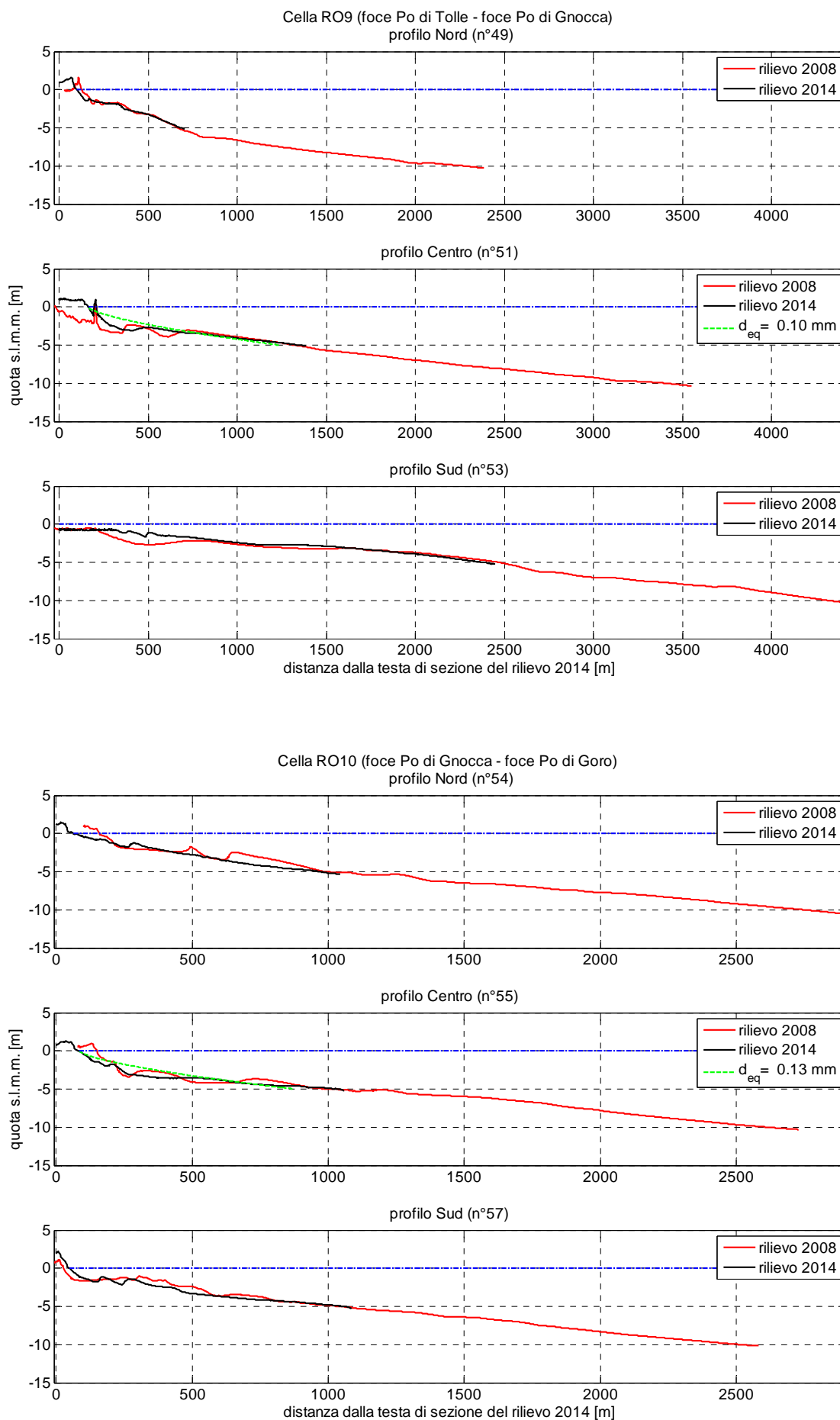












9.4 CONCLUSIONI

I rilievi topo – batimetrici assumono una funzione fondamentale nell'analisi del trend evolutivo del litorale poiché dalla corretta sovrapposizione di due profili batimetrici effettuati sulla medesima sezione e opportunamente ancorati allo stesso sistema di riferimento è possibile ricavare una stima concreta dei volumi erosi e accumulati in un arco temporale. L'accurata valutazione dei volumi permette di calibrare e correggere le voci del bilancio sedimentario.

10. PREVEDIBILI MODIFICAZIONI CLIMATICHE

10.1 DATI DISPONIBILI

L'effetto delle modificazioni climatiche sulle coste dell'Alto Adriatico riguarda diversi fattori quali ad esempio il cambiamento dei regimi fluviali, l'innalzamento del livello medio del mare con conseguente rischio di allagamento costiero ed erosione dei litorali. I primi scenari di crescita del livello medio mare sono stati definiti a livello globale dall'IPCC nel 1991. Sono seguiti poi ulteriori quattro rapporti nel 1995, nel 2001, nel 2007 e nel 2013.

Il rapporto del IPCC 2007 (AR4) individuava 4 gruppi di scenari in base a considerazioni socio – economiche e ambientali (Tab. 49). Lo scenario considerato più ragionevole da molti autori è l'A1B, usato anche nel più recente rapporto dell'IPCC 2013 (AR5) come scenario di confronto.

Tab. 49 Identificazione scenari IPCC 2007 (AR4)

IPCC 2007 (AR4)	MORE ECONOMIC FOCUS	MORE ENVIRONMENTAL FOCUS
Globalisation (homogeneous world)	A1 rapid economic growth (groups: A1T; A1B; A1FI) 1.4 – 6.4 °C	B1 global environmental sustainability 1.1 – 2.9 °C
Regionalisation (heterogeneous world)	A2 regionally oriented economic development 2.0 – 5.4 °C	B2 local environmental sustainability 1.4 – 3.8 °C

Il rapporto IPCC 2013 (IPCC Working Group I Contribution to AR5, 2013) riporta infatti una nuova suddivisione degli scenari futuri, tutti equamente possibili. La suddivisione è fatta in base alle emissioni di gas serra negli anni futuri e i quattro scenari RCP2.6, RCP4.5, RCP6, e RCP8.5, prendono il nome da una gamma di valori possibili nel 2100 rispetto a valori dell'epoca pre - industriale (2,6, 4,5, 6,0, e 8,5 W/m², rispettivamente). Il rapporto dell'IPCC sottolinea che è estremamente probabile che l'influenza umana sia stata la causa dominante del riscaldamento osservato sin dalla metà del XX secolo. L'IPCC stima, a seconda dei diversi scenari, variazioni di temperatura superficiale e livello medio del mare sintetizzati in Fig. 99 e Tab. 50.

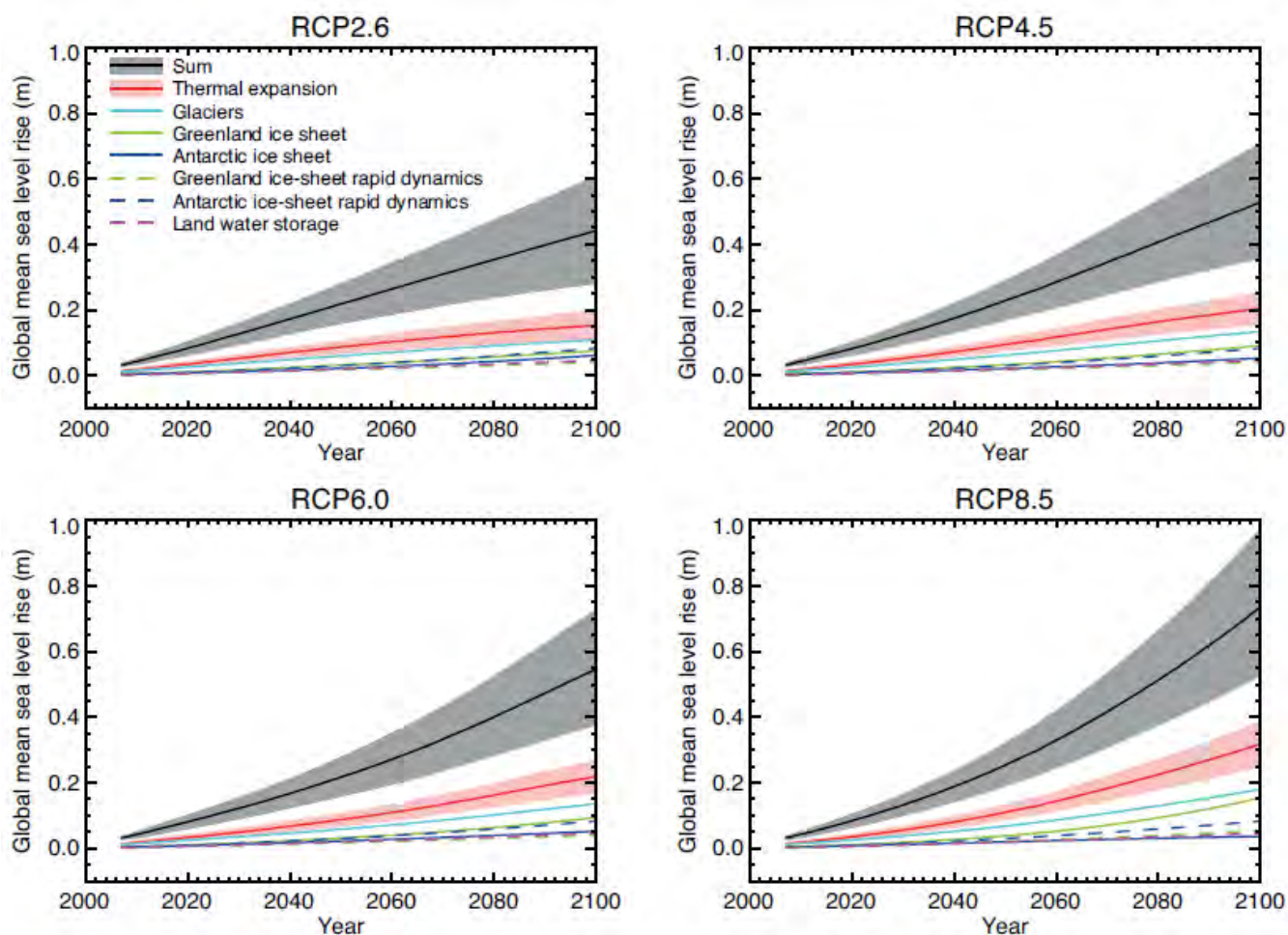


Fig. 99 Proiezioni di modelli basati su processi di innalzamento del l.m.m globale (GMSL) periodo 1986-2005

Variazione prevista della temperatura superficiale media globale dell'aria e l'innalzamento del livello medio globale del mare per la metà e la fine del XXI secolo rispetto al periodo di riferimento 1986-2005 (IPCC Working Group I Contribution to AR5, 2013).

Tab. 50 Scenari di variazione della temperatura superficiale media globale dell'aria e innalzamento del livello medio globale del mare

	SCENARIO	2046-2065		2081-2100	
		Media	Intervallo probabile	Media	Intervallo probabile
Variazione della temperatura superficiale media globale (°C)	RCP2.6	1	Da 0.4 a 1.6	1	Da 0.3 a 1.7
	RCP4.5	1.4	Da 0.9 a 2	1.8	Da 1.1 a 2.6
	RCP6.0	1.3	Da 0.8 a 1.8	2.2	Da 1.4 a 3.1
	RCP8.5	2	Da 1.4 a 2.6	3.7	Da 2.6 a 4.8
Innalzamento del livello medio globale del mare (m)	RCP2.6	0.24	Da 0.17 a 0.32	0.4	Da 0.26 a 0.55
	RCP4.5	0.26	Da 0.19 a 0.33	0.47	Da 0.32 a 0.63
	RCP6.0	0.25	Da 0.18 a 0.32	0.48	Da 0.33 a 0.63
	RCP8.5	0.3	Da 0.22 a 0.38	0.63	Da 0.45 a 0.82

In tutti i rapporti presentati dall'IPCC detti scenari di crescita sono stati valutati a scala globale, con informazioni limitate o nulle a scala locale, come quella di interesse per l'Alto Adriatico. Di seguito si riporta l'elenco di alcuni rapporti/studi che analizzano le prevedibili modificazioni climatiche, sia a scala globale che locale, e in Tab. 51 sono riassunte le diverse stime.

- 1) IPCC First Assessment Report 1990 (FAR).
- 2) IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR).
- 3) IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR).
- 4) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4).
- 5) IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013 (AR5).
- 6) Studio di Impatto Ambientale per la progettazione del sistema MOSE (Consorzio Venezia Nuova, 1997)
- 7) CO.RI.LA., Vol. 1 Novembre 1999, "Scenari di crescita del livello del mare per la laguna di Venezia".
- 8) Ufficio di Piano 8 aprile 2011 (Conseguenze per la salvaguardia di Venezia dei più recenti scenari di andamento del livello del mare a cura del prof. P. Vellinga)

Tab. 51 Scenari di crescita del livello del mare a livello globale e locale

FONTE	SCENARIO	ANNO 2030	ANNI 2046 - 2065	ANNO 2070	ANNO 2100
1) IPCC - First Assessment Report 1990 (FAR)	Business as usual scenario	+8/+29 cm con +18 cm (miglior stima)		+21/+71 cm con +44 cm (miglior stima)	+31/+110 cm con +66 cm (miglior stima)
	Altri scenari	Valori inferiori al precedente scenario		Valori inferiori al precedente scenario	Valori inferiori al precedente scenario
2) IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR)	IPCC IS92a scenario				+20/+86 cm con +49 cm (miglior stima)
3) IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR)					+9/+88 con +48 cm (miglior stima, riferimento 1990 - 2100)
4) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)	Scenario B1				+18/+38 cm
	Scenario B2				+20/+43 cm
	Scenario A1B				+21/+48 cm
	Scenario A1T				+20/+45 cm
	Scenario A2				+23/+51 cm
	Scenario A1F1				+26/+59 cm

5) IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013 (AR5)	A1B		+19/+34 (miglior stima +27 cm)		+42/+80 (miglior stima +60 cm)
	RCP2.6		+17/+32 (miglior stima +24 cm)		+28/+61 (miglior stima +44 cm)
	RCP4.5		+19/+33 (miglior stima +26 cm)		+36/+71 (miglior stima +53 cm)
	RCP6.0		+18/+32 (miglior stima +25 cm)		+38/+73 (miglior stima +55 cm)
	RCP8.5		+22/+38 (miglior stima +30 cm)		+52/+98 (miglior stima +74 cm)
6) Studio di Impatto Ambientale 1997	Scenario A				+4,4 cm (solo subsidenza)
	Scenario B				+16-20 cm (eustatismo e subsidenza come nel XX secolo)
	Scenario C				+53,4 cm (alla subsidenza ed all'eustatismo del XX secolo si aggiunge una crescita del livello del mare dovuto ai cambiamenti climatici)
7) CO.RI.LA. 1997 (<i>Scenari di crescita del livello del mare per la laguna di Venezia</i>)	Scenario più probabile (SPP)				+16,4 cm (12,3 cm di eustatismo +4,3 cm di subsidenza)
	Scenario probabile cautelativo (SPC)				+21-23 cm (16,5 – 18,7 cm di eustatismo e il resto di subsidenza)
	Scenario Pessimistico (SPe)				+31,4 cm (27 cm di eustatismo e il resto di subsidenza)
8) Ufficio di Piano 8 aprile 2011 (inclusa la subsidenza di 8 cm al secolo.)	Scenario Mediterraneo				+0/+38 cm
	Scenario Misto				+38/+54 cm
	Scenario Atlantico				+54/+84 cm
	Scenario H++ (altamente improbabile, ma non escludibile secondo gli autori)				+101/+198 cm

La tabella evidenzia come i rapporti più recenti riportano scenari di innalzamento del livello del mare più gravosi, anche se numerosi autori non concordano con questa visione peggiorativa.

In maniera opportuna per la zona dell'Alto Adriatico, ad esempio, il Consorzio Venezia Nuova considera, per il dimensionamento delle opere, lo scenario C presente nello "Studio di impatto ambientale, 1997" che stima un innalzamento del mare di 53,4 cm, maggiorato della subsidenza locale (valore finale pari a +60 cm). Per quanto riguarda invece la gestione delle opere considera lo scenario proposto da CO.RI.LA nel 1999 pari a 31,4 cm tra eustatismo e subsidenza.

Nel caso specifico del territorio Veneziano, per distinguere gli effetti dell'eustatismo da quelli della subsidenza locale, si è soliti confrontare la serie storica del l.m.m. annuale ricavato attraverso le registrazioni raccolte da ISPRA presso la stazione mareografica di Punta della Salute, con quella del l.m.m. annuale ricavato attraverso le registrazioni mareografiche raccolte dal CNR-ISMAR di Trieste presso la stazione mareografica di Trieste Molo Sartorio. La zona di Trieste risiede geologicamente su una piattaforma rocciosa e dunque non è affetta da quei fenomeni di costipamento propri dei profondi substrati argillosi che caratterizzano la Laguna di Venezia. La crescita del l.m.m. osservata in questa stazione in oltre un secolo di osservazioni, può dunque essere considerata, con buona approssimazione, come dovuta al solo fenomeno di variazione del livello del mare.

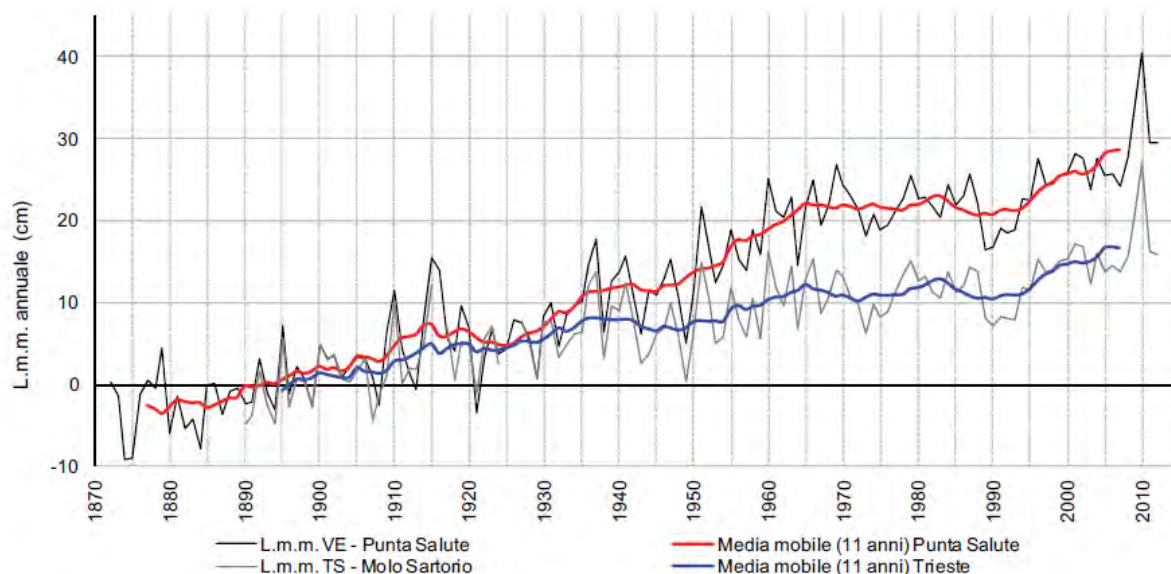


Fig. 100 Confronto tra l'andamento del l.m.m. annuale registrato nel periodo 1872 - 2012 presso le stazioni mareografiche di Venezia Punta della Salute e Trieste Molo Sartorio - elaborazioni ISPRA su dati ISPRA e CNR ISMAR di Trieste (Ferla, Crosato, & Ragazzo, 2013; ISPRA, 2012)

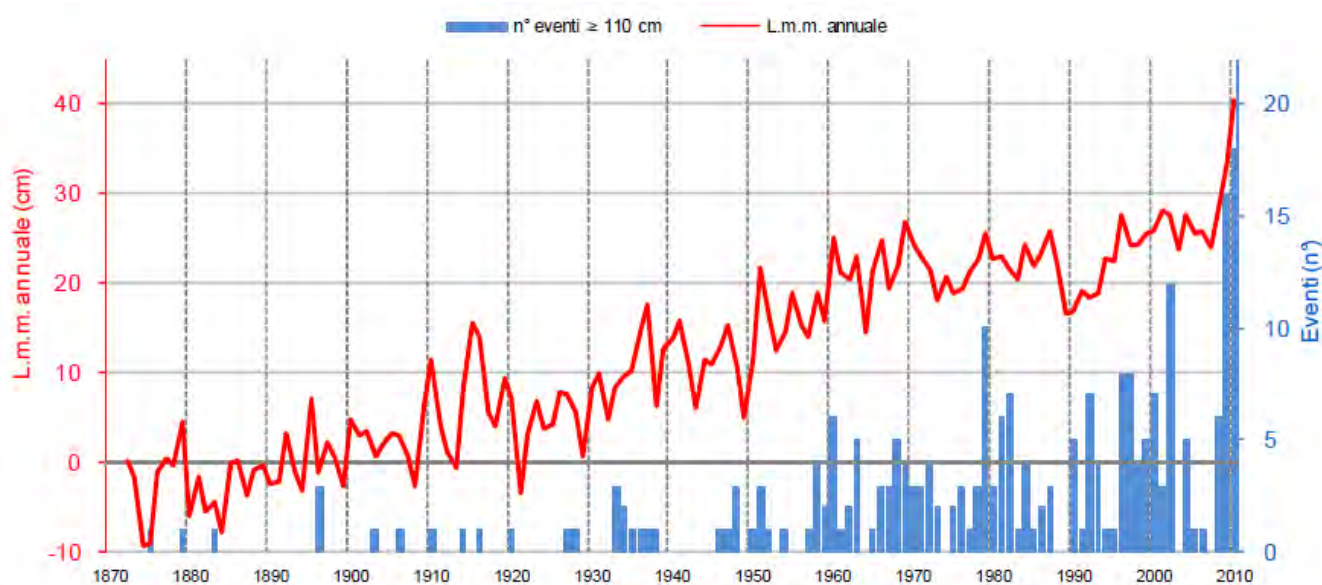


Fig. 101 Andamento l.m.m. e frequenza eventi "acqua alta", dati ISPRA e CNR ISMAR-Trieste (elaborazioni ISPRA, 2012)

La Fig. 101 mostra il significativo incremento del numero di eventi dei casi di "acqua alta" dall'inizio del XXI secolo, fenomeno di primaria importanza per una città come Venezia e in generale per l'Alto Adriatico. Nel 2008 si sono infatti verificati 6 eventi, incrementati a 16 nel 2009 e addirittura a 18 nel 2010.

10.2 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

La valutazione dell'innalzamento del livello medio del mare è essenziale per pianificare strategie di prevenzione dal rischio di allagamento costiero ed erosione dei litorali. La stesura di piani a scala nazionale suggerisce di uniformare le informazioni e considerare lo scenario RCP4.5 proposto dall'IPCC 2013, che indica come miglior stima per l'eustatismo 53 cm.

11. RISCHIO DI ALLAGAMENTO COSTIERO

11.1 RICHIAMO ALLA DIRETTIVA ALLUVIONI (2007/60/CE)

Il decreto legislativo 23 Febbraio 2010, n. 49 recepisce nell'ordinamento italiano la Direttiva comunitaria 2007/60, la quale intende istituire "un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche" (art.1). Il D.Lgs 49/2010 stabilisce che le Autorità di bacino distrettuali predispongano, a livello di distretto idrografico, mappe di pericolosità e del rischio di alluvioni nelle zone individuate dal medesimo decreto, zone ove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni o si ritenga che questo si possa generare in futuro. Il territorio della Regione del Veneto fa parte di due distinti distretti idrografici: il Distretto delle Alpi Orientali e il Distretto Padano.

11.1.1 Stima delle aree a rischio: Zona tra foce Tagliamento e Caleri

Per quanto riguarda il tratto di costa compreso tra la foce Tagliamento e Porto Caleri, facente parte del distretto idrografico delle Alpi Orientali, i principali elementi di riferimento utilizzati nella modellazione matematica hanno riguardato la rete idrografica di riferimento, la valutazione sugli effetti del possibile collasso delle strutture arginali e di difesa costiera e la valutazione del rischio idraulico. Gli scenari di allagabilità assunti sono stati riferiti ai tempi di ritorno 30, 100, 300 anni, ovvero rispettivamente frequente, medio e raro.

In relazione ai dati disponibili, nel caso dell'area Nord-Adriatica la caratterizzazione statistica dei valori di livello totale H_{TOT} , per i 100 e i 30 anni di tempo di ritorno è stata basata sulla caratterizzazione statistica di livelli estremi di marea, secondo l'approccio sviluppato da Pirazzolli e Tomasin (CNR grandi masse 2008).

Per gli eventi rari che il Decreto 49/2010 caratterizza con $Tr = 300-500$ anni, si è fatto riferimento ai valori della punta massima di marea raggiunta e certamente misurata (o quanto meno validata) nel corso di eventi alluvionali estremi (per Venezia il 4 novembre 1966 $H_{MAX} = 194$ cm ZMPS).

Sulla base di tali ipotesi sono stati assunti i seguenti scenari di riferimento:

Tab. 52 Scenari di riferimento (Zona tra foce Tagliamento e bocca Caleri)

	Tr 30	Tr 100	Tr 300
Livello medio mare + Marea astronomica + meteorologica (tide + surge)	+145 cm	+155 cm	+170 cm
Wave set up	+40 cm per ogni scenario		

I sistemi di difesa presenti sull'arco costiero sono definiti come l'insieme di una o più opere che, insistendo su un tratto di costa, lo difendono dagli effetti degli eventi meteo-marini. Per la classificazione si è tenuto conto:

- Dell'effetto smorzante che i sistemi possano offrire rispetto all'azione dinamica del mare;
- Dalla loro capacità di resistere e non lasciarsi danneggiare nel tempo dal moto ondoso;
- Dalla protezione che offrono rispetto all'alluvione definita come l'allagamento temporaneo, di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua.

Sulla base di questi assunti, per tutto l'arco costiero di riferimento sono stati definiti cinque livelli di difesa rispetto a due parametri:

- Affidabilità: parametro che tiene conto della tipologia costruttiva delle opere e della loro attitudine a difendere il territorio dagli eventi che principalmente causano le inondazioni;
- Manutenzione: parametro che tiene conto dell'attuale stato di manutenzione, dei programmi di manutenzione futura e di piani di monitoraggio.

Per ogni tratto di costa, l'ente che ne ha in carico la gestione, tenendo conto di tali parametri, ha quindi espresso un giudizio esperto sui sistemi di difesa esistenti rappresentativo sia del livello di difesa attuale che di quello futuro attraverso il parametro legato alla manutenzione. Nell'esprimere il giudizio è stato tenuto presente il comportamento che i sistemi di difesa hanno avuto in corrispondenza di eventi passati.

La valutazione dei tiranti d'acqua che si possono presentare sul territorio ha quindi considerato il livello di difesa offerto dall'insieme di opere che insistono sul tratto di costa considerato. Per ogni tratto è stata definita la possibile resistenza delle opere di difesa agli eventi con Tr 30, 100 o 300 anni e ne è stato, quindi, simulato l'effetto del possibile sfondamento, individuando i punti di intrusione (Fig. 102) e predisponendo le conseguenti mappe di allagabilità e di rischio. (Distretto Idrografico Alpi Orientali, 2013).



Fig. 102 Punti di intrusione sul tratto in sinistra idrografica al fiume Piave (Jesolo e Eraclea)

Di seguito, a titolo esemplificativo, si riportano le mappe di allagabilità nel tratto in destra idrografica al fiume Piave.



Fig. 103 Mappa di allagabilità Tr = 30, 100 e 300 anni, tratto in sinistra idrografica al fiume Piave (Jesolo e Eraclea)

11.1.2 Stima delle aree a rischio: Delta del Po

Il tratto di litorale veneto che fa da bordo esterno al Delta del fiume Po e precisamente nel segmento compreso tra la foce del Po di Maistra e la foce del Po di Goro è piuttosto complesso essendo presenti, partendo dal mare:

- Una linea discontinua di lidi, frecce litoranee (scanni) e isole sabbiose caratterizzate da spiagge con debole pendenza, lagune;
- Una linea di argini di prima difesa a mare dal Po di Maistra fino al Po di Gnocca (o della Donzella);
- Una seconda linea di argini di difesa a mare dal Po di Maistra al Po di Tolle.

Anche per quanto riguarda il Delta del Po le quote individuate per il medio mare in corrispondenza dei tre scenari sono dovute, per gli scenari di alta frequenza (H) e media frequenza (M) ad elaborazioni statistiche probabilistiche di serie storiche dei livelli massimi di marea registrati presso stazioni dell'Alto Adriatico (Tomasin e Pirazzoli, 2008) incrementati con stime di set-up costiero utilizzate per il dimensionamento di recenti opere di difesa radente realizzate lungo i litorali veneziani; per continuità con il resto della costa veneta la scelta dei tempi di ritorno per gli eventi H e M è caduta sui 30 e 100 anni. Per caratterizzare l'evento a bassa frequenza (evento raro), si è scelta la quota massima di marea di 194 cm ZMPS raggiunta a Venezia nel corso dell'evento del 4 novembre 1966.

Nel caso di superfici semichiuse esposte a scirocco, come l'esempio della Sacca di Scardovari, l'esperienza ha mostrato che l'entità dell'effetto di attenuazione dell'onda da parte degli scanni e di eventuali opere di sistemazione, è in genere assai limitata. Nel caso di superfici interne molto lunghe, cioè capaci di esporre al vento di scirocco un fetch interno locale di qualche entità (i punti più distanti del contorno della Sacca di Scardovari hanno, rispetto all'imboccatura a mare, un fetch di circa 6 km lungo la direzione dei venti da SE), bisognerebbe tener conto anche del set-up creato dal vento locale. In questo caso le storiche indicazioni di 0.75 m potrebbero essere sufficientemente cautelative.

Tab. 53 Scenari di riferimento (zona tra bocca di Caleri e Po di Goro)

	Frequenza elevata	Frequenza media	Evento raro (Sacca degli Scardovari)	Evento raro (resto del Delta)
Livello medio mare (cm)	+5	+5	+5	+5
Marea Astronomica + meteorologica (tide+surge) (cm)	+ 140	+ 150	+ 220	+ 170
Wave set up (cm)	+ 40	+ 40	+ 75	+ 40
TOTALE (cm)	+ 185	+ 195	+ 300	+ 215

Quindi, sulla base di queste quote e di varie alte grandezze afferenti la sagoma dei corpi arginali, la presenza o meno di opere di completamento e accessorie e di altri elementi morfologici antistanti i corpi arginali, l'ente che ne ha in carico la gestione, tenendo conto di tali parametri, ha quindi espresso un giudizio esperto attribuendo il "grado di difesa" delle opere idrauliche in gestione, ponendo particolare valore alla quota di sommità di dette strutture. Le risultanze sono state poi implementate da altri elementi, non scientifici, tra i quali la copiosa presenza di nutrie, la storicità delle zone, la subsidenza residua ancora in atto, ecc. allo scopo di valutare la resistenza alla rotta di dette opere idrauliche e la possibilità di essere sormontate.

Tali considerazioni hanno portato alla creazione di mappe di allagabilità in corrispondenza degli scenari molto frequente, frequente e raro (Fig. 104).

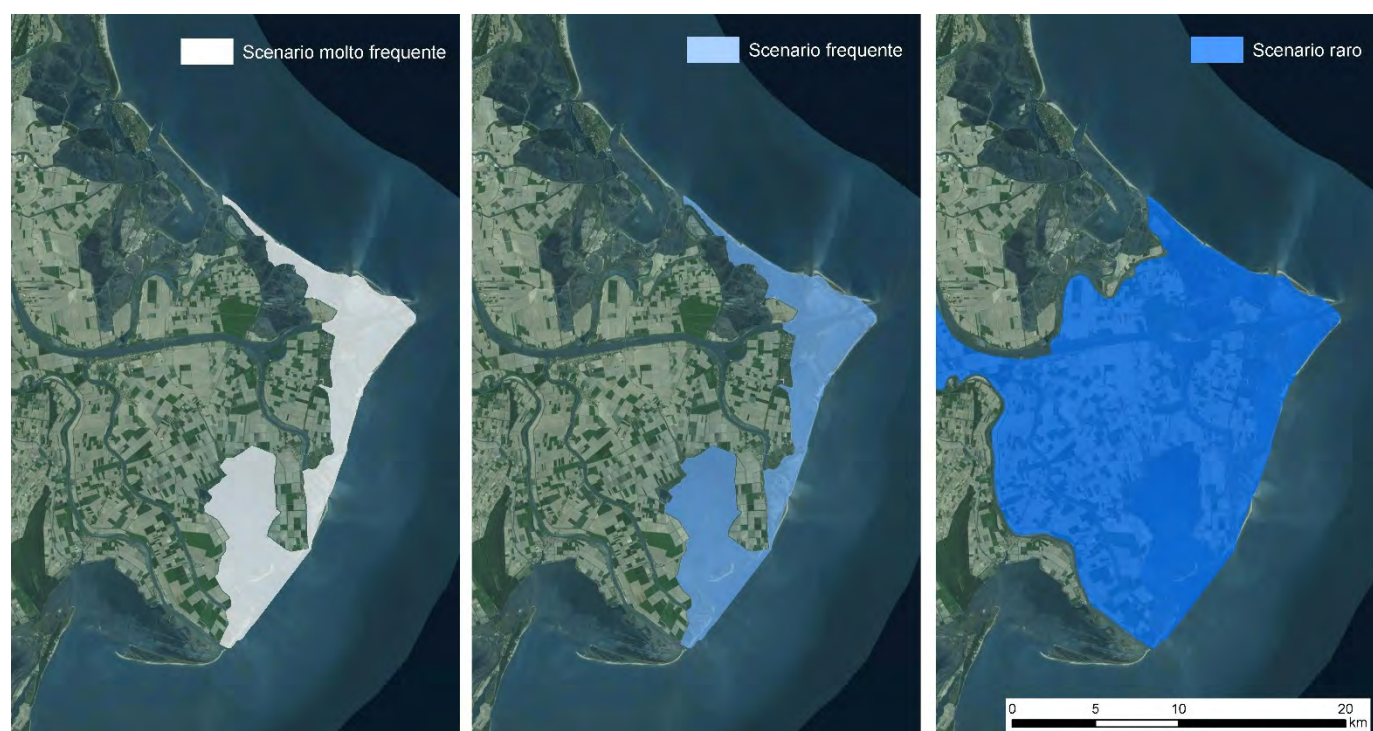


Fig. 104 Mappa di allagabilità Delta del Po, scenario molto frequente, frequente e raro

12. BILANCIO SEDIMENTARIO

12.1 RIPASCIMENTI E DRAGAGGI

Complessivamente il volume di ripascimento autorizzato dalla Regione Veneto per la provincia di Venezia nel periodo 2003 – 2014 è di circa 5'500'000 m³ (~500'000 m³/anno), mentre nella provincia di Rovigo nel periodo 2008 – 2013 è pari a 836'00 m³ (~140'000 m³/anno), per un totale di 640'000 m³/anno. Di seguito si riportano in Tab. 54 e Tab. 55 le autorizzazioni rilasciate tra il 2003 e il 2014 dalla Regione Veneto per ripascimenti e dragaggi.

Tab. 54 Autorizzazioni rilasciate dal 2003 al 2008 per ripascimenti e dragaggi

ANNO	ENTE ATTUATORE	LITORALE INTERESSATO	m ³ SABBIA	PROVENIENZA SABBIA			D.R. di autorizzazione	
				Dragaggio foci	Cave marine	Cave a terra	N°	Data
2003	Ufficio del Genio Civile di Venezia	Eraclea	15'000	Canaletta della Laguna del Morto			111	05/05/03
2003	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Località Porto Santa Margherita (Caorle)	7'000	Foce Livenza			113	08/05/03
2003	Magistrato alle Acque di Venezia	Venezia(Lido), Jesolo, Eraclea, Caorle (Proroga autorizzazione rilasciata dal Ministero Ambiente)	1'400'000		X		145	09/11/03
2003	Magistrato alle Acque di Venezia	Cortellazzo (Jesolo)	110'000	Foce Piave, Foce Sile			43	30/05/03
2004	Magistrato alle Acque di Venezia	Cortellazzo (Jesolo)	100'000			X	61	26/03/04
2004	Magistrato alle Acque di Venezia	Cortellazzo (Jesolo), Cavallino	150'000			X	50	15/03/04
2004	Magistrato alle Acque di Venezia	Eraclea, Jesolo	15'000	Canaletta della Laguna del Morto			189	07/11/04
2004	Ufficio del Genio Civile di Venezia	Località Porto Santa Margherita (Caorle)	10'000	Foce Livenza			1	27/01/05
2005	Comuni di Jesolo ed Eraclea	Jesolo, Eraclea	19'000	Canaletta della Laguna del Morto			66 75	26/04/05 04/05/05
2005	Magistrato alle Acque di Venezia	Cortellazzo (Jesolo)	108'000			X	56	30/03/05
2005	Magistrato alle Acque di Venezia	Cortellazzo (Jesolo)	24'000	Foce Sile			55	30/03/05
2005	Comune di San Michele al Tagliamento	Bibione (San Michele al Tagliamento)	25'000	Foce Baseleghe			141	31/08/05
2005	Comune di San Michele al Tagliamento	Bibione (San Michele al Tagliamento)	10'500			X	140	31/08/05
2006	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Bibione (San Michele al Tagliamento)	50'000	Foce Baseleghe e foce Tagliamento			34	12/04/06
2006	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Duna Verde (Caorle)	50'000	Foce Nicesolo e foce Laguna del Morto			35	12/04/06
2007	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Sottomarina - Chioggia	14'000	Litorale di Sottomarina			9	11/04/07
2007	Magistrato alle Acque di Venezia	(Cortellazzo) Jesolo	40'000			X	35	21/05/07
2007	Magistrato alle Acque di Venezia	Venezia, Cavallino - Treporti, Jesolo, Eraclea e Caorle (Proroga autorizzazione al 30.06.2011)	1'100'000		X		59	26/06/07
2008	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Bibione (San Michele al Tagliamento), Caorle, Eraclea, Cortellazzo, Jesolo, Cavallino - Treporti	220'000	Foci Tagliamento, Baseleghe, Falconera - Nicesolo, Piave				
2008	Unità Periferica del Genio Civile di Rovigo	Rosolina, nel tratto antistante villaggio turistico di Rosapineta	80'000	Bocca laguna di Caleri			62	08/05/08
2008	Comune di Chioggia	Sottomarina	5'000	Foce fiume Brenta			61	08/05/08
2008	Magistrato alle Acque di Venezia / Comune di Jesolo	(Cortellazzo) Jesolo	82'000			X	63	08/05/08

Tab. 55 Autorizzazioni rilasciate dal 2009 al 2014 per ripascimenti e dragaggi

ANNO	ENTE ATTUATORE	LITORALE INTERESSATO	m ³ SABBIA	PROVENIENZA SABBIA			D.R. di autorizzazione	
				Dragaggio foci	Cave marine	Cave a terra	N°	Data
2009	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Bibione (San Michele al Tagliamento), Caorle, Eraclea, Cortellazzo, Jesolo, Cavallino - Treporti, Sottomarina	500'000	Tagliamento, Baseleghe, Livenza, Piave, Sile, Brenta			37	20/02/09
2009	Magistrato alle Acque di Venezia	Sottomarina - Isola Verde	383'000	Canaletta del Lido, molo sud bocca di Chioggia, litorale di Sottomarina			113	30/04/09
2009	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo - Cavallino Treporti	93'000			X	119	05/05/09
2010	Unità Periferica del Genio Civile di Venezia	Bibione (San Michele al Tagliamento), Caorle, Eraclea, Cortellazzo, Jesolo, Cavallino - Treporti, Sottomarina	280'000	Tagliamento, Baseleghe, Nicesolo, Livenza, Piave, Brenta e Adige			18	08/03/10
2010	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo	140'000			X	65	19/04/10
2010	Magistrato alle Acque di Venezia	Cavallino Treporti	14'000			X	70	05/05/10
2010	Magistrato alle Acque di Venezia - Genio Civile Rovigo	Isola Verde - Rosolina	55'000	Foce Adige			71	06/05/10
2011	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo	37'000			X	99	14/04/11
2011	Magistrato alle Acque di Venezia	Isola Verde - Chioggia	30'000	Foce Adige			142	30/05/11
2011	Unità Periferica del Genio Civile di Rovigo	Rosolina	40'000	Foce Adige			142	30/05/11
2011	Magistrato alle Acque di Venezia - Genio Civile Rovigo	Venezia	3'500	Bocca del Lido			232	04/08/11
2011	Unità Periferica del Genio Civile di Rovigo	Rosolina	361'000	Bocca di Caleri, Scardovari e foce Po di Maistra			19	07/02/12
2013	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo	16'686			X	65	04/04/13
2013	Unità Periferica del Genio Civile di Rovigo	Rosolina	300'000	Foce Adige e bocca Caleri			64	04/04/13
2013	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo	150'000			X	91	30/04/13
2013	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo	100'000		Barra sommersa		90	30/04/13
2014	Magistrato alle Acque di Venezia	Jesolo e Cavallino Treporti	92'875		Barra sommersa	Cantieri edili	101	14/05/14
2014	Magistrato alle Acque di Venezia	Chioggia (Sottomarina e Isola Verde)	30'000	Foce Brenta			100	09/05/14

La provenienza della sabbia è di origine marina per il 43%, dragaggio foce fluviale per il 42% e terrestre per il 15% negli ultimi 11 anni. Se ci si limita ai soli ultimi 5 anni le percentuali diventano 7%, 75% e 17% ad indicazione di come il dragaggio delle foci fluviali sia sempre più importante nei ripascimenti autorizzati nella Regione Veneto.

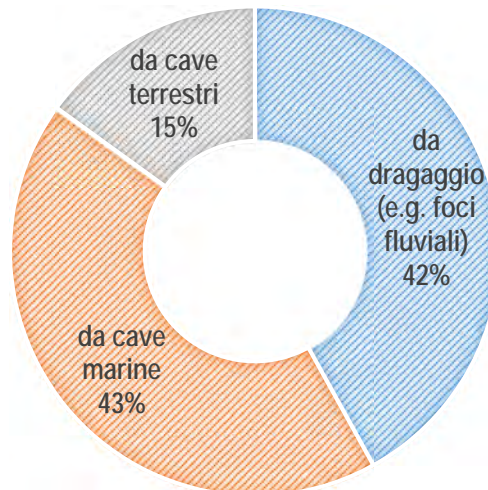


Fig. 105 Provenienza del materiale sabbioso utilizzato per i ripascimenti

12.2 BILANCIO SEDIMENTARIO

Nei capitoli precedenti sono stati valutati i diversi apporti e perdite di sedimenti (apporti fluviali, trasporto solido litoraneo, etc.) per ciascun tratto del litorale veneto (Fig. 106). Un eventuale abbassamento dei fondali (subsidenza) comporta un'apparente perdita di sedimenti che è stata considerata alla stregua delle perdite verso il largo. È stata anche calcolata la variazione di sedimenti all'interno di ciascuna cella sulla base delle ripetizioni di più recenti rilievi disponibili (Fontolan et al. 2013, 2014). A rigore di logica la differenza tra "ciò che entra e ciò che esce" da una cella dovrebbe coincidere con le variazioni di sedimenti presenti nella cella (eq. Di continuità dei sedimenti). In pratica tale bilancio non è mai perfettamente rispettato, viste le approssimazioni di calcoli e delle misure eseguite. È stato dunque effettuato un calcolo avente lo scopo di minimizzare gli errori stimati per ciascuna voce e che, in ultima analisi, fornisca un bilancio corretto tra trasporto e deposito di sedimenti. Con tale procedimento si sono ottenute indicazioni più affidabili sull'accrescimento o sull'erosione di vari tratti del litorale in esame. Le celle sono state divise a metà poiché il calcolo del trasporto solido longitudinale era stato stimato sia alle estremità che in mezz'era a ciascuna cella.

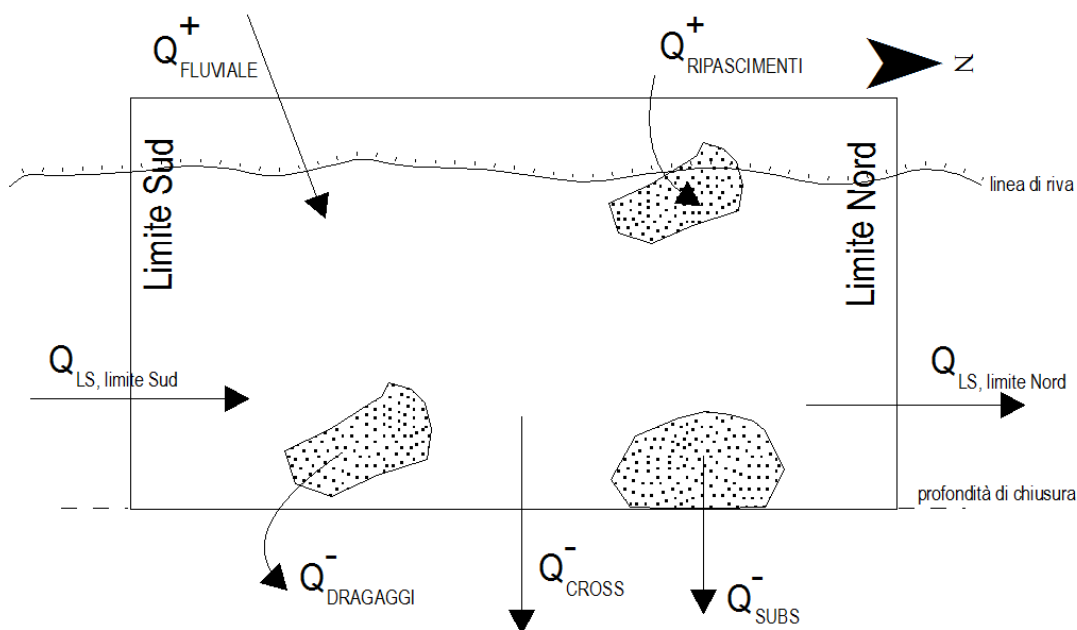


Fig. 106 Schema delle voci per il calcolo del bilancio sedimentario

La procedura di minimizzazione è eseguita con il metodo dei minimi quadrati, pesando ogni voce con una varianza stimata. A tale scopo è stata valutata a priori l'incertezza di ciascuna variabile (Tab. 57) e la varianza è scelta come una frazione di tale incertezza (Tab. 58).

Il criterio adottato per la scelta delle incertezze è specifico per ogni tipo di variabile ed è generalmente il seguente:

- Trasporto solido Litoraneo: incertezza pari ad un quarto del valore lordo
- Dragaggi e Ripascimenti: incertezza pari ad un decimo del valore ricavato dalle informazioni disponibili
- Trasporto solido diretto verso il largo: incertezza pari ad un quarto del valore stimato
- Trasporto solido fluviale: incertezza pari a metà del valore stimato
- Accumulo/Erosione misurata: incertezza pari a $2 \text{ m}^3/\text{m}$ moltiplicato per la lunghezza della cella

La varianza di ciascuna variabile non è uguale a tale incertezza poiché dipende dal grado di conoscenza che è diversa cella per cella.

Il criterio, omogeneo per tutta la costa veneta, con cui sono stati scelti i gradi di incertezza è il seguente. Si è ritenuto che i trasporti solidi litoranei fossero ben rappresentati nelle zone dinamicamente stabili, leggermente più incerti in prossimità delle foci fluviali e ancor di più nelle zone adiacenti ai rami del Delta del Po. In riferimento al trasporto solido verso il largo si è assunto un grado di incertezza elevato in prossimità delle foci e modesto nel resto del litorale. Per i ripascimenti e i dragaggi si è imposto un grado di incertezza uguale per tutta la costa, in quanto dovuto agli aspetti gestionali. Per l'apporto solido fluviale, che risulta una delle voci più problematiche, il grado di incertezza assunto è sempre elevato, ad eccezione del caso relativo al fiume Tagliamento dove vi sono conferme della stima effettuata, basate sull'accumulo alla foce.

Infine gli accumuli/erosioni misurati, facendo riferimento a quanto detto nel capitolo "Rilievi Topo-Batimetrici", si sono considerati più affidabili nelle celle comprese tra foce Tagliamento e foce Sile (VE1-VE5) e quelle comprese tra foce Adige e Bocca di Caleri (RO1 – RO2). Si sono invece considerati meno affidabili i valori misurati nelle celle del Delta del Po (RO3 – RO10) a causa della loro notevole dinamicità e nelle celle comprese tra Sile e Adige (VE6 - VE10) a causa della poca attendibilità riscontrata nelle stime. Le percentuali di incertezza assegnate a ciascuna stima o informazione sono riportate in Tab. 58.

In Tab. 59 è riportata la correzione apportata dal metodo, in termini di moltiplicatore della incertezza a priori definita per ciascun valore; in giallo e in grigio sono segnalate tutte quelle situazioni in cui il valore è variato di più del 100% in termini assoluti. Si osserva che la stima della incertezza fatta a priori è corretta per quasi tutte le variabili, tranne che nel caso dell'apporto solido fluviale. Infatti solo eccezionalmente è statisticamente atteso che la correzione superi di 3 volte la varianza, mentre ciò si verifica ben 7 volte per i trasporti fluviali. In sostanza per questa variabile l'incertezza è molto elevata. Per tutti gli altri casi invece la correzione è mediamente inferiore al 100% dell'incertezza assunta.

Con queste premesse, utilizzando il metodo di minimizzazione degli errori, si sono ottenuti i valori compensati dei bilanci sedimentari per ciascuna semi-cella (Tab. 60). Si tratta sostanzialmente di una correzione del bilancio che soddisfi l'equilibrio dei volumi e che distribuisca l'errore fra le variabili. La tabella conclusiva (Tab. 60) fornisce dunque il risultato del procedimento, ossia la stima più accurata per ciascuna voce del bilancio sedimentario.

Tab. 56 Valori iniziali stimati o disponibili ($m^3 \cdot 1000/\text{anno}$)

VALORI INIZIALI (in migliaia di m^3/anno)								
Cella	Tratto	q Is Nord	q Is Sud	q cross + subs.	q fluv.	Ripascimenti	Dragaggi	Accumulo / Erosione
VE1	N	-29.6	-45.9	24.3	10.0	50.0	50.0	-20.5
VE1	S	-45.9	-49.6	7.3	40.0			62.7
VE2	N	-53.5	-44.3	5.2				29.7
VE2	S	-44.3	-50.7	3.5		20.0	20.0	35.7
VE3	N	-23.2	-13.7	4.4		25.0		22.6
VE3	S	-13.7	-7.2	3.5		25.0	5.0	5.0
VE4	N	-8.5	-44.7	9.6		60.0		52.3
VE4	S	-44.7	-54.1	70.6	121.0	30.0		-62.6
VE5	N	-63.4	-90.8	169.5	321.0	40.0	40.0	-60.0
VE5	S	-90.8	-71.7	15.5		40.0		-64.9
VE6	N	-75.1	-99.1	22.9		20.0		
VE6	S	-99.1	-23.0	16.5			20.0	
VE7	N	-0.7	5.3	9.2		10.0		
VE7	S	5.3	2.1	9.9		10.0		
VE8	N	2.0	0.5	18.1				-35.9
VE8	S	0.5	2.3	18.1				-12.7
VE9	N	-0.6	24.7	4.7				34.0
VE9	S	24.7	17.2	45.5	189.0	40.0	20.0	-20.0
VE10	N	47.4	49.9	41.4	189.0	35.0	20.0	-19.5
VE10	S	49.9	59.0	89.2	429.0	35.0		13.0
RO1	N	-66.3	-82.1	95.8	429.0	30.0		-12.7
RO1	S	-82.1	-65.1	6.0				16.9
RO2	N	57.7	77.1	2.4				-13.9
RO2	S	77.1	80.5	3.1				-21.3
RO3	N	80.5	89.1	9.3				62.7
RO3	S	89.1	89.1	30.7	86.5			-3.9
RO4	N	85.0	103.2	38.3	86.5			26.7
RO4	S	103.2	199.7	21.4			60.0	52.2
RO5	N	195.1	220.5	6.7				9.5
RO5	S	220.5	378.0	353.3	1732.5			19.4
RO6	N	-429.5	-340.8	357.7	1732.5			180.1
RO6	S	-340.8	-305.8	8.7				78.9
RO7	N	-312.2	-210.0	9.1				7.5
RO7	S	-210.0	-181.7	8.7				-59.1
RO8	N	-219.1	-181.3	6.2				97.0
RO8	S	-181.3	-102.3	93.0	432.0			26.7
RO9	N	-178.8	-139.8	93.0	432.0			0.1
RO9	S	-139.8	-178.3	75.6	324.0			-23.4
RO10	N	-162.2	-139.3	5.0				-52.0
RO10	S	-139.3	-154.4	114.7	540.0			-11.8

Tab. 57 Incertezza attribuita a ciascuna variabile ($\pm \text{m}^3 \cdot 1000/\text{anno}$)

INCERTEZZA A PRIORI (in migliaia di m^3/anno)								
Cella	Tratto	q Is Nord	q Is Sud	q cross + subs.	q fluv.	Ripascimenti	Dragaggi	Accumulo / Erosione
VE1	N	13.5	13.0	6.1	5.0	5.0	5.0	10.2
VE1	S	13.0	15.8	1.8	20.0			10.2
VE2	N	28.3	19.5	1.3				5.6
VE2	S	19.5	22.8	0.9		2.0	2.0	5.6
VE3	N	10.8	4.5	1.1		2.5		5.2
VE3	S	4.5	6.5	0.9		2.5	0.5	5.2
VE4	N	8.8	24.0	2.4		6.0		12.6
VE4	S	24.0	20.8	17.7	60.5	3.0		12.6
VE5	N	20.5	28.3	42.4	160.5	4.0	4.0	12.8
VE5	S	28.3	21.0	3.9		4.0		12.8
VE6	N	22.8	27.3	5.7		2.0		13.6
VE6	S	27.3	14.0	4.1			2.0	13.6
VE7	N	0.3	12.3	2.3		1.0		12.0
VE7	S	12.3	0.8	2.5		1.0		12.0
VE8	N	1.0	7.8	4.5				10.8
VE8	S	7.8	0.5	4.5				10.8
VE9	N	0.3	28.5	1.2				6.2
VE9	S	28.5	14.8	11.4	94.5	4.0	2.0	6.2
VE10	N	13.0	15.0	10.4	94.5	3.5	2.0	2.8
VE10	S	15.0	22.0	22.3	214.5	3.5		2.8
RO1	N	26.8	41.0	23.9	214.5	3.0		7.8
RO1	S	41.0	29.3	1.5				7.8
RO2	N	23.3	21.8	0.6				2.6
RO2	S	21.8	22.5	0.8				2.6
RO3	N	22.3	26.5	2.3				5.2
RO3	S	26.5	28.0	7.7	43.3			5.2
RO4	N	25.3	31.8	9.6	43.3			8.8
RO4	S	31.8	50.0	5.3			6.0	8.8
RO5	N	49.5	55.0	1.7				3.8
RO5	S	55.0	95.8	88.3	866.3			3.8
RO6	N	111.5	138.5	89.4	866.3			6.6
RO6	S	138.5	106.0	2.2				6.6
RO7	N	98.0	66.0	2.3				6.2
RO7	S	66.0	93.8	2.2				6.2
RO8	N	87.3	69.0	1.6				4.4
RO8	S	69.0	25.8	23.3	216.0			4.4
RO9	N	55.0	35.8	23.3	216.0			5.2
RO9	S	35.8	76.8	18.9	162.0			5.2
RO10	N	70.8	40.8	1.2				2.8
RO10	S	40.8	70.8	28.7	270.0			2.8

Tab. 58 Grado di incertezza attribuito a ciascuna variabile (%)

GRADO DI INCERTEZZA								
Cella	Tratto	q Is Nord	q Is Sud	q cross + subs.	q fluv.	Ripascimenti	Dragaggi	Accumulo / Erosione
VE1	N	20%	10%	50%	50%	50%	50%	50%
VE1	S	10%	10%	50%	50%			50%
VE2	N	10%	10%	50%				50%
VE2	S	10%	10%	50%		50%	50%	50%
VE3	N	20%	20%	50%		50%		50%
VE3	S	20%	20%	50%		50%	50%	50%
VE4	N	20%	20%	50%		50%		50%
VE4	S	20%	50%	100%	100%	50%		50%
VE5	N	50%	20%	100%	100%	50%	50%	50%
VE5	S	20%	20%	50%		50%		50%
VE6	N	10%	20%	50%		50%		100%
VE6	S	20%	20%	50%			50%	100%
VE7	N	20%	20%	50%		50%		100%
VE7	S	20%	20%	50%		50%		100%
VE8	N	20%	20%	50%				100%
VE8	S	20%	20%	50%				100%
VE9	N	10%	10%	50%				100%
VE9	S	50%	50%	100%	100%	50%	50%	100%
VE10	N	50%	50%	100%	100%	50%	50%	100%
VE10	S	50%	50%	100%	100%	50%		100%
RO1	N	50%	50%	100%	100%	50%		50%
RO1	S	10%	10%	50%				50%
RO2	N	10%	10%	50%				50%
RO2	S	10%	10%	50%				50%
RO3	N	10%	20%	50%				100%
RO3	S	20%	50%	100%	100%			100%
RO4	N	50%	50%	100%	100%			100%
RO4	S	50%	20%	50%			50%	100%
RO5	N	20%	100%	50%				100%
RO5	S	100%	100%	100%	100%			100%
RO6	N	100%	100%	100%	100%			100%
RO6	S	100%	20%	50%				100%
RO7	N	20%	20%	50%				100%
RO7	S	20%	20%	50%				100%
RO8	N	20%	50%	50%				100%
RO8	S	50%	50%	100%	100%			100%
RO9	N	50%	50%	100%	100%			100%
RO9	S	50%	50%	100%	100%			100%
RO10	N	50%	20%	50%				100%
RO10	S	20%	20%	100%	100%			100%

Tab. 59 Correzioni in termini di moltiplicatore della incertezza assunta

CORREZIONI IN TERMINI DI MOLTIPLICATORE DELLA INCERTEZZA ASSUNTA								
Cella	Tratto	q Is Nord	q Is Sud	q cross + subs.	q fluv.	Ripascimenti	Dragaggi	Accumulo / Erosione
N	VE1	-9%	-1%	-25%	21%	21%	-21%	-42%
S	VE1	-1%	4%	-12%	129%			-66%
N	VE2	-51%	-19%	-58%				-253%
S	VE2	-19%	63%	-60%		138%	-138%	-386%
N	VE3	27%	19%	17%		-39%		82%
S	VE3	19%	-44%	37%		-105%	21%	218%
N	VE4	-17%	50%	-30%		74%		-155%
S	VE4	50%	-15%	52%	-178%	-2%		9%
N	VE5	4%	124%	34%	-127%	-1%	1%	3%
S	VE5	124%	-93%	107%		-111%		354%
N	VE6	-2%	28%	-14%		5%		-131%
S	VE6	28%	-9%	17%			8%	219%
N	VE7	0%	-3%	3%		-1%		53%
S	VE7	-3%	0%	-1%		0%		-22%
N	VE8	1%	-5%	15%				141%
S	VE8	-5%	0%	-3%				-29%
N	VE9	0%	9%	-8%				-174%
S	VE9	9%	-7%	22%	-179%	-2%	1%	12%
N	VE10	7%	-5%	21%	-191%	-2%	1%	6%
S	VE10	-5%	-4%	18%	-171%	-1%		2%
N	RO1	5%	-14%	18%	-162%	-1%		1%
S	RO1	-14%	0%	0%				-1%
N	RO2	92%	-11%	60%				258%
S	RO2	-11%	-78%	66%				226%
N	RO3	-23%	110%	-60%				-534%
S	RO3	110%	-10%	11%	-61%			7%
N	RO4	5%	-69%	8%	-35%			7%
S	RO4	-69%	16%	-10%			-12%	-69%
N	RO5	1%	-16%	0%				2%
S	RO5	-16%	-19%	18%	-172%			1%
N	RO6	18%	-38%	14%	-138%			1%
S	RO6	-38%	0%	0%				-1%
N	RO7	79%	0%	11%				125%
S	RO7	0%	-75%	11%				125%
N	RO8	-13%	77%	-1%				-17%
S	RO8	77%	-5%	17%	-154%			3%
N	RO9	11%	0%	18%	-170%			4%
S	RO9	0%	-16%	16%	-134%			4%
N	RO10	94%	-8%	2%				15%
S	RO10	-8%	-2%	16%	-155%			2%

Tab. 60 Valori compensati ($m^3 \cdot 1000/\text{anno}$)

VALORI COMPENSATI (in migliaia di m^3/anno)									
Cella	Tratto	q Is Nord	q Is Sud	q cross + subs.	q fluv.	Ripascimenti	Dragaggi	Accumulo / Erosione	Σ
VE1	N	-30.9	-46.1	22.7	11.0	51.0	49.0	-24.9	0.0
VE1	S	-46.1	-48.9	7.1	65.9			55.9	0.0
VE2	N	-67.9	-48.0	4.4				15.6	0.0
VE2	S	-48.0	-36.4	3.0		22.8	17.2	14.1	0.0
VE3	N	-20.3	-12.9	4.6		24.0	0.0	26.9	0.0
VE3	S	-12.9	-10.0	3.8		22.4	5.1	16.3	0.0
VE4	N	-10.0	-32.7	8.9		64.4		32.8	0.0
VE4	S	-32.7	-57.3	79.8	13.0	29.9		-61.5	0.0
VE5	N	-62.6	-55.7	183.7	117.3	40.0	40.0	-59.6	0.0
VE5	S	-55.7	-91.2	19.7		35.6		-19.6	0.0
VE6	N	-75.6	-91.5	22.1		20.1		-17.9	0.0
VE6	S	-91.5	-24.3	17.2			20.2	29.8	0.0
VE7	N	-0.7	4.9	9.3		10.0		6.4	0.0
VE7	S	4.9	2.1	9.9		10.0		-2.7	0.0
VE8	N	2.0	0.1	18.8				-20.7	0.0
VE8	S	0.1	2.3	18.0				-15.8	0.0
VE9	N	-0.6	27.2	4.6				23.2	0.0
VE9	S	27.2	16.2	48.0	19.8	39.9	20.0	-19.3	0.0
VE10	N	48.2	49.2	43.6	8.3	34.9	20.0	-19.3	0.0
VE10	S	49.2	58.0	93.2	62.5	35.0		13.1	0.0
RO1	N	-64.9	-87.9	100.1	80.4	30.0		-12.6	0.0
RO1	S	-87.9	-65.0	6.0				16.8	0.0
RO2	N	79.2	74.7	2.8				-7.2	0.0
RO2	S	74.7	62.9	3.6				-15.4	0.0
RO3	N	75.4	118.3	7.9				35.0	0.0
RO3	S	118.3	86.3	31.6	60.1			-3.5	0.0
RO4	N	86.3	81.4	39.1	71.4			27.4	0.0
RO4	S	81.4	207.6	20.8			59.3	46.1	0.0
RO5	N	195.6	211.9	6.7				9.6	0.0
RO5	S	211.9	359.8	368.8	240.4			19.4	0.0
RO6	N	-409.6	-393.0	370.5	534.0			180.2	0.0
RO6	S	-393.0	-305.3	8.7				78.9	0.0
RO7	N	-234.7	-210.1	9.4				15.2	0.0
RO7	S	-210.1	-252.5	9.0				-51.3	0.0
RO8	N	-230.5	-128.0	6.2				96.3	0.0
RO8	S	-128.0	-103.5	96.9	99.1			26.8	0.0
RO9	N	-172.9	-139.7	97.3	64.4			0.3	0.0
RO9	S	-139.7	-190.5	78.6	106.2			-23.2	0.0
RO10	N	-95.8	-142.4	5.0				-51.6	0.0
RO10	S	-142.4	-155.5	119.5	120.8			-11.8	0.0

13. SCHEDE RIASSUNTIVE

Cella VE 1

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	dalla foce Tagliamento alla bocca di Porto Baseleghe
Comune	San Michele al Tagliamento - Bibione (VE)
Lunghezza cella	10243 m
Direzione normale alla spiaggia	160 °N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3250033 Laguna di Caorle - Foce del Tagliamento ZPS IT3250040 Foce del Tagliamento ZPS IT3250041 Valle Vecchia - Zumelle - Valli di Bibione

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Barriere in aderenza discontinue	Posizionate nel tratto in destra idrografica, alla foce del fiume Tagliamento, realizzate in varie fasi a partire dagli anni '90 fino al 2010
Argine in cemento	Difesa entroterra costruita negli anni '70 e posizionata nel tratto a Sud - Ovest della foce del Tagliamento
Pennelli	Posizionati di fronte alla zona SIC e ZPS "Foce del Tagliamento", realizzati nel 2001
Argini	Presente in gran parte del litorale di Bibione, costruito in varie fasi a partire dalla fine degli anni '90
Sand Trap	Opera sperimentale realizzata in palancole metalliche trascinabili (lunghe all'incirca 100m con testata a quota -2m), costruita nel 2006-2007 presso la bocca di Porto Baseleghe. In seguito completata da una palificata infissa lungo il palancole esistente.

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Tratto in dx idrografica alla foce Tagliamento	30'000	m ³	2006
Tratto in dx idrografica alla foce Tagliamento	20'000	m ³	2007
Tratto in dx idrografica alla foce Tagliamento	40'000	m ³	2010
Tratto in dx idrografica alla foce Tagliamento	40'000	m ³	2012
Tratto in dx idrografica alla foce Tagliamento	52'000	m ³	2014
Tratto in dx idrografica alla foce Tagliamento	80'000	m ³	2015

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-29'636	54'181	-80'855
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-38'715	51'540	-196'372
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-43'859	63'040	-230'038

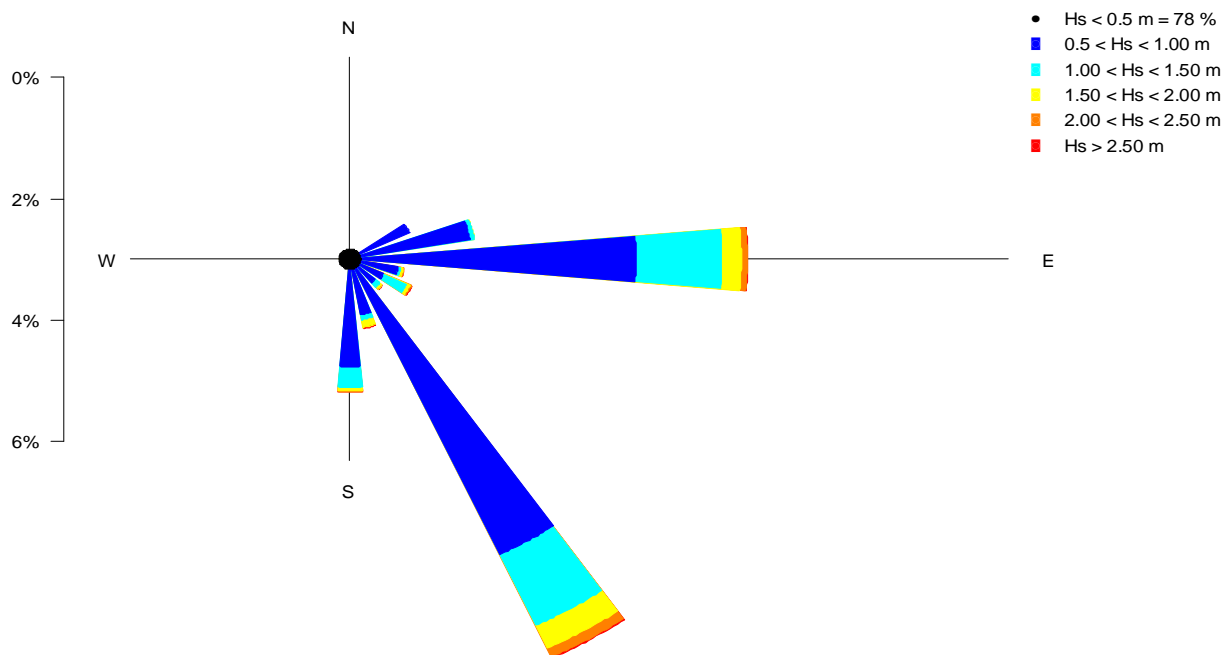
Trasporto Fluviale		
Q solida Tagliamento	98'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 1.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-9'687	-1.1
2000 - 2003	-33'904	-3.7
2003 - 2007	6'798	0.7
2007 - 2012	-7'636	-0.9

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
BC1	Aprile 2002 - Marzo 2007	905	14.69	6.02	20.71
BC2	Aprile 2002 - Marzo 2007	2'944	5.13	0.97	6.10
BC3	Aprile 2002 - Marzo 2007	2'079	4.76	26.23	30.99
BC4	Aprile 2002 - Marzo 2007	2'332	4.94	-17.32	-12.38
BC5	Aprile 2002 - Marzo 2007	1'983	-1.72	23.22	21.50
BC1	Marzo 2007 - Luglio 2014	905	8.44	15.65	24.09
BC2	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'944	6.94	11.98	18.92
BC3	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'079	1.25	-4.86	-3.61
BC4	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'332	-0.05	-37.53	-37.58
BC5	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'983	3.03	24.30	27.32

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
40	50	407	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419
50	60	109	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182
60	70	738	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	787
70	80	6817	962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7779
80	90	10855	1853	65	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12777
90	100	3423	3535	1019	108	0	0	0	0	0	0	0	0	8085
100	110	2523	814	282	187	91	8	0	0	0	0	0	0	3905
110	120	2429	749	37	36	12	8	8	0	0	0	0	0	3279
120	130	983	268	180	14	6	4	4	8	0	0	0	0	1467
130	140	1490	300	208	42	12	10	0	4	0	0	0	0	2066
140	150	2430	512	86	56	0	7	6	2	0	0	0	0	3099
150	160	22873	1145	248	54	24	0	3	3	0	0	0	0	24350
160	170	4123	4233	1046	362	131	24	8	32	0	0	0	0	9959
170	180	1202	937	79	128	0	20	12	0	0	0	0	0	2378
180	190	2108	1403	157	41	12	0	4	0	0	0	0	0	3725
190	200	4593	373	185	20	0	4	0	0	0	0	0	0	5175
200	210	179	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		77634	17255	3592	1052	288	85	45	49	0	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T_R	H_{m0}	T_P	T_m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.8	7.5	5.9	106
10	3.3	8.2	6.1	109
50	3.4	8.7	6.1	110
100	3.5	8.8	6.2	110

Settore di SCIROCCO				
T_R	H_{m0}	T_P	T_m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.1	9.4	6.5	161
10	3.8	10.2	6.5	162
50	3.9	10.6	6.6	163
100	3.9	10.7	6.7	164



Cella VE 1

Da foce Tagliamento
a bocca di Baseleghe

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

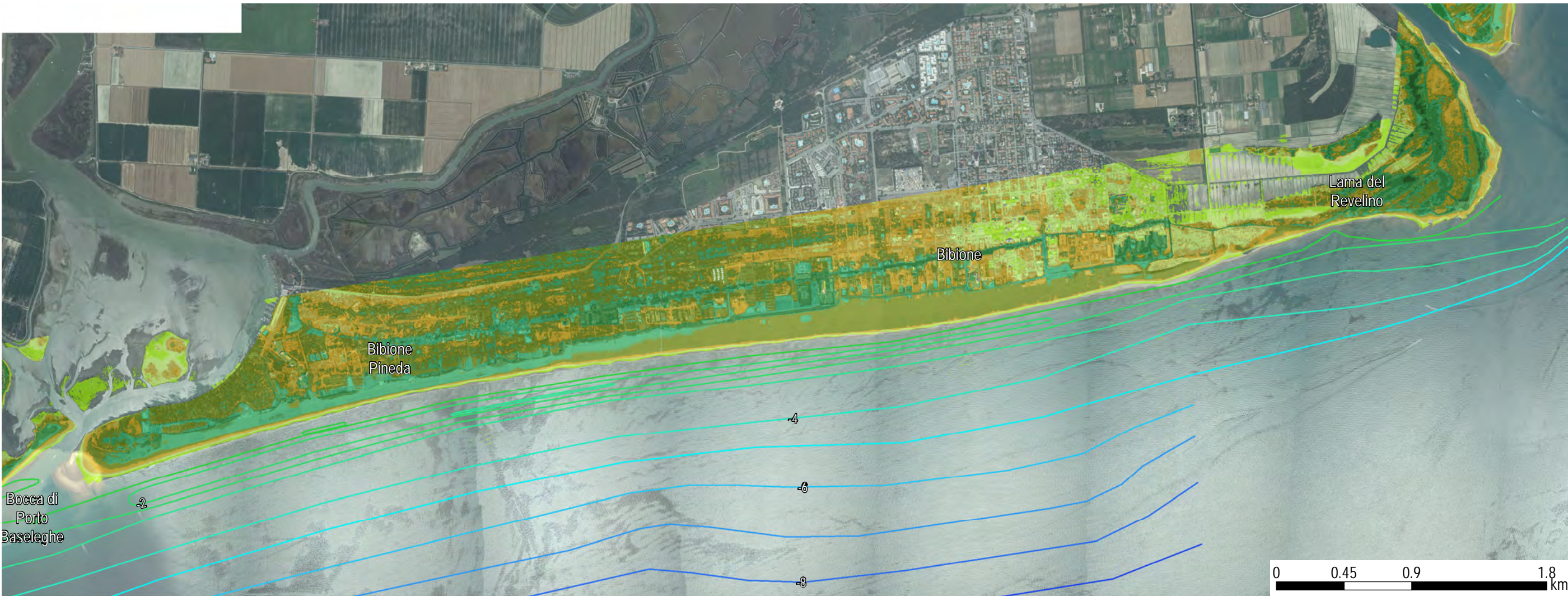
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 2

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	dalla bocca di Porto Baseleghe alla bocca di Falconera
Comune	Caorle (VE)
Lunghezza cella	5515 m
Direzione normale alla spiaggia	165 °N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3250033 Laguna di Caorle - Foce del Tagliamento ZPS IT3250041 Valle Vecchia - Zumelle - Valli di Bibione

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura foce	Posizionata all'imboaccatura di Porto Baseleghe
Pennelli	Posizionati in un breve tratto del litorale della cella, attualmente risultano aggirati dall'azione delle onde.

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Lungo tutto il litorale della cella per ricreare le barene lagunari	50'000	m ³	2008
Lungo tutto il litorale della cella per ricreare le barene lagunari	100'000	m ³	2009

DINAMICHE EVOLUTIVE

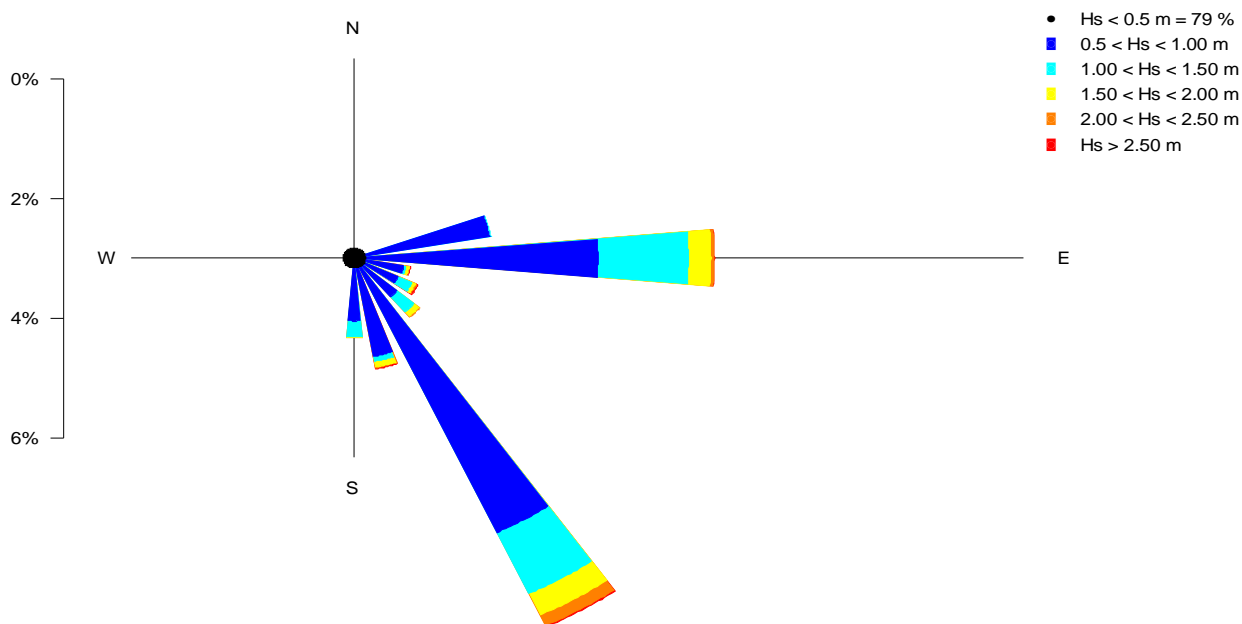
Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-53'498	113'269	-166'398
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-44'344	78'231	-172'215
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-50'676	90'874	-179'894

Subsidenza	
	~ 1.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-416	-0.1
2000 - 2003	-17'959	-3.7
2003 - 2007	10'136	2.0
2007 - 2012	1'320	0.3

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
VC1	Aprile 2002 - Marzo 2007	1'129	-2.98	27.49	24.52
VC2	Aprile 2002 - Marzo 2007	2'153	-2.17	1.22	-0.95
VC3	Aprile 2002 - Marzo 2007	2'233	2.09	29.65	31.75
VC1	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'129	1.20	32.85	34.05
VC2	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'153	0.69	18.36	19.05
VC3	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'233	-3.49	-10.22	-13.72

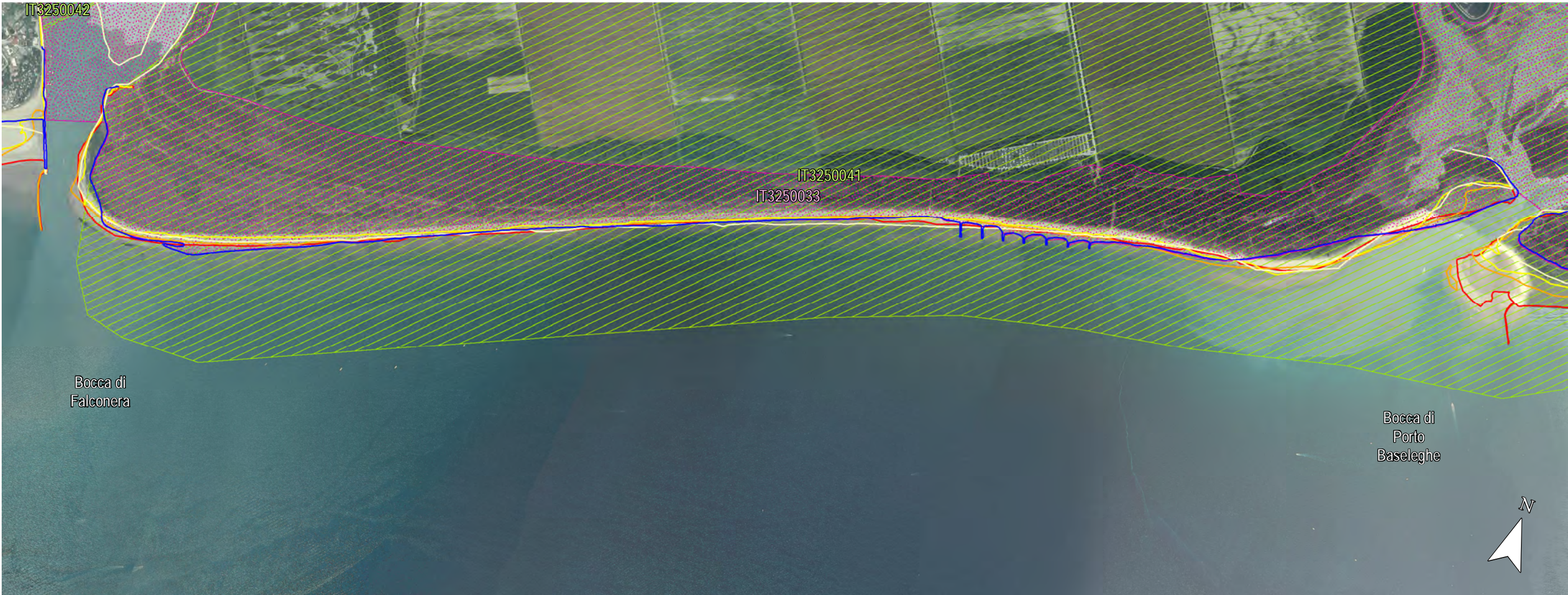
DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181
30	40	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
40	50	407	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419
50	60	162	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174
60	70	738	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	771
70	80	1190	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1226
80	90	16743	2053	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18812
90	100	4621	2139	836	70	0	0	0	0	0	0	0	0	7666
100	110	1515	1501	514	270	50	4	0	0	0	0	0	0	3854
110	120	3437	749	37	48	0	16	4	0	0	0	0	0	4291
120	130	1600	342	106	34	6	4	4	8	0	0	0	0	2104
130	140	873	385	123	22	12	17	6	6	0	0	0	0	1444
140	150	7115	840	334	94	16	0	3	3	0	0	0	0	8405
150	160	20888	3910	939	237	135	24	8	16	0	0	0	0	26157
160	170	1423	1140	186	158	57	0	12	16	0	0	0	0	2992
170	180	2211	1664	82	99	12	20	4	0	0	0	0	0	4092
180	190	2786	871	207	20	0	4	0	0	0	0	0	0	3888
190	200	3085	178	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3316
200	210	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		79146	15902	3433	1052	288	89	41	49	0	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.7	7.7	5.8	107
10	3.4	8.3	6.1	110
50	3.5	8.9	6.2	111
100	3.6	8.9	6.2	111

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.1	9.4	6.5	154
10	3.8	10.4	6.5	156
50	3.9	10.7	6.6	156
100	3.9	10.8	6.7	156



Cella VE 2

Da bocca di Baseleghe
a bocca di Falconera

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

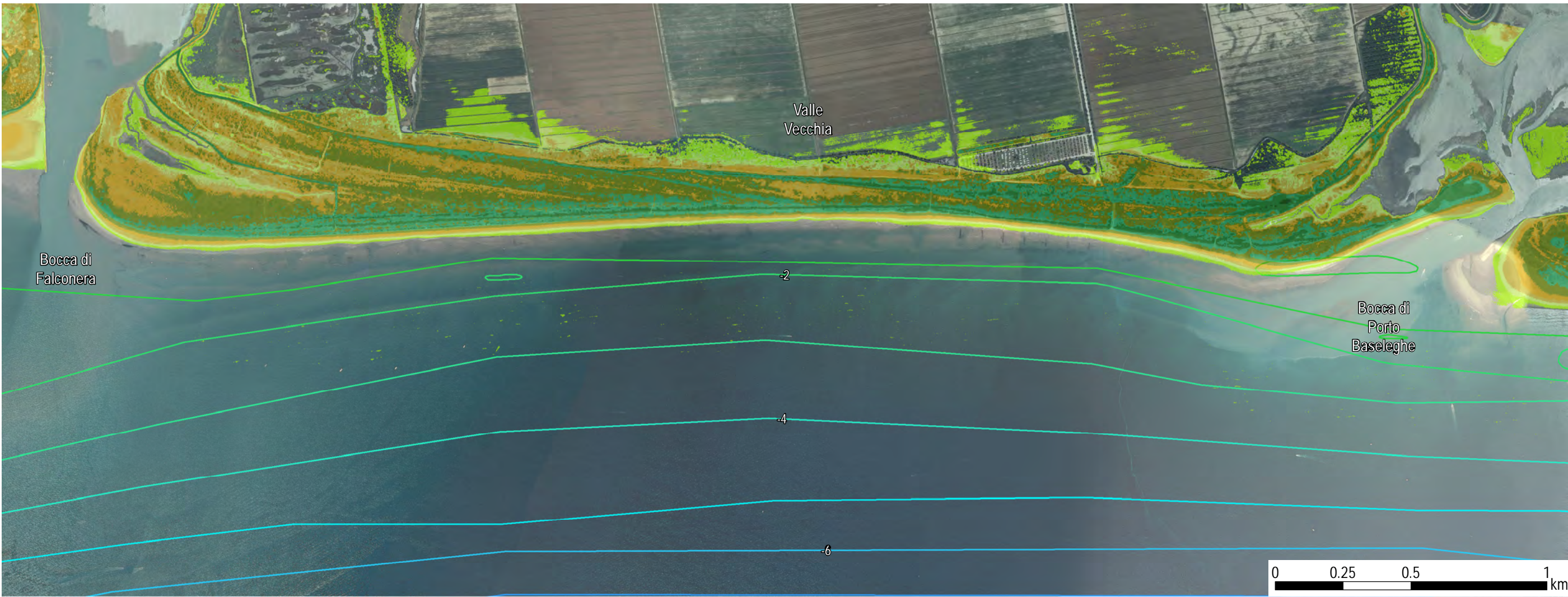
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 3

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	dalla bocca di Falconera alla foce del Livenza
Comune	Caorle (VE)
Lunghezza cella	5168 m
Direzione normale alla spiaggia	140 °N
Piani di gestione territoriale	-

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura foce	Posizionata nella bocca di Porto Falconera
Argine	Muro ornamentale, lungo il tratto di litorale da Porto Falconera alla cuspide della Madonna dell'Angelo
Scogliera in aderenza	Murazzi costituiti in varie fasi a partire dal XVII secolo, lungo il tratto davanti alla Madonna dell'Angelo
Pennelli in pietrame	Costruiti negli anni 60
Armatura Nord di foce Livenza	

DINAMICHE EVOLUTIVE

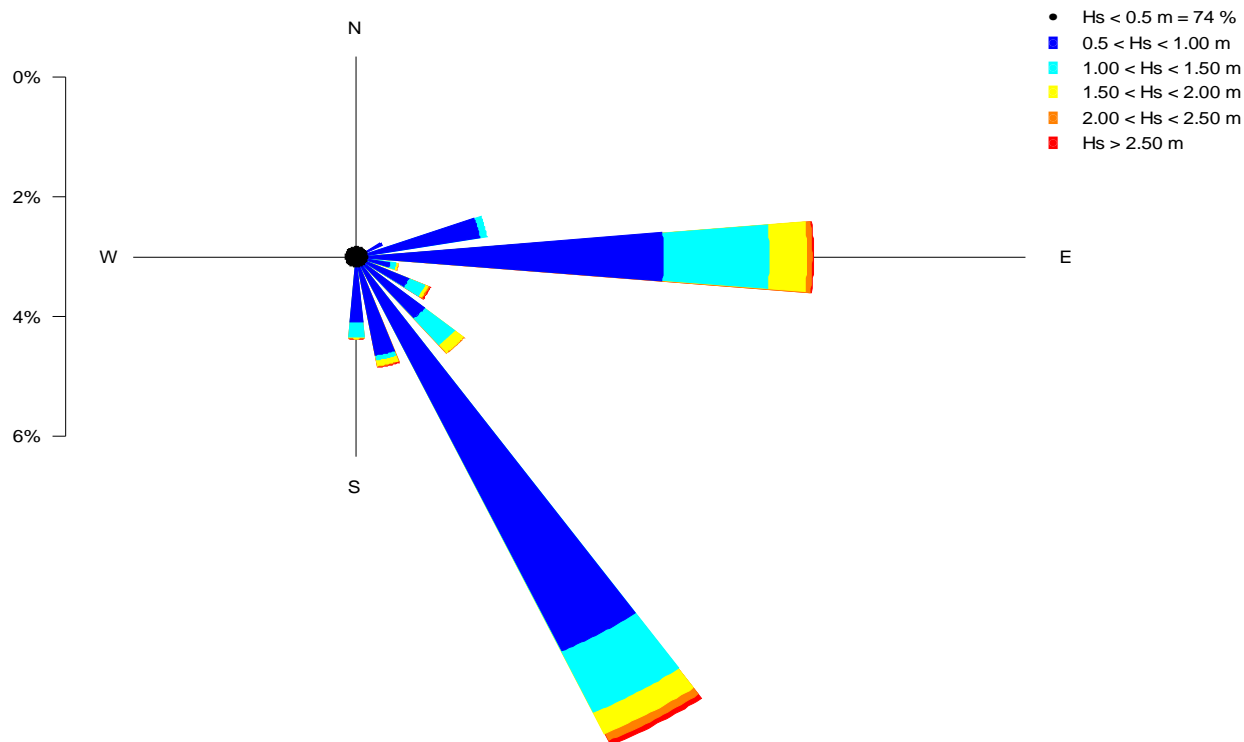
Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-23'242	43'062	-191'331
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-13'719	18'224	-242'168
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-7'184	26'053	-15'541

Subsidenza	
	~ 1.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	13'254	3.0
2000 - 2003	21'782	4.9
2003 - 2007	-7'157	-1.6
2007 - 2012	11'992	2.7

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
CC1	Aprile 2002 - Marzo 2007	1'681	6.76	12.90	19.66
CC2	Aprile 2002 - Marzo 2007	760	-0.02	13.23	13.21
CC3	Aprile 2002 - Marzo 2007	2'727	2.32	21.93	24.26
CC1	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'681	-2.22	3.66	1.44
CC2	Marzo 2007 - Luglio 2014	760	-0.05	4.67	4.62
CC3	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'727	3.72	4.55	8.27

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222
40	50	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
50	60	516	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	569
60	70	738	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	783
70	80	5798	388	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6186
80	90	13596	1871	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15574
90	100	1701	3535	1483	365	8	0	0	0	0	0	0	0	7092
100	110	2523	1051	95	195	74	25	8	0	0	0	0	0	3971
110	120	2898	512	86	36	0	4	4	4	0	0	0	0	3544
120	130	1131	546	57	30	14	12	4	10	0	0	0	0	1804
130	140	653	316	208	22	8	7	6	6	0	0	0	0	1226
140	150	14447	1329	584	172	16	0	3	3	0	0	0	0	16554
150	160	10531	6118	939	237	94	65	8	16	0	0	0	0	18008
160	170	1423	1140	186	158	37	20	12	16	0	0	0	0	2992
170	180	2211	1664	82	99	12	20	4	0	0	0	0	0	4092
180	190	2786	871	207	20	0	4	0	0	0	0	0	0	3888
190	200	3085	215	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3353
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		74389	19666	4087	1334	263	157	49	55	0	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.0	7.8	5.9	104
10	3.5	8.4	6.1	106
50	3.6	8.9	6.2	107
100	3.6	8.9	6.2	107

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.2	9.5	6.3	154
10	3.7	10.5	6.5	155
50	3.8	10.8	6.5	155
100	3.8	10.9	6.6	155



Cella VE 3

Da bocca di Falconera
a foce Livenza

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 4

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Livenza a foce Piave
Comune	Caorle e Eraclea (VE)
Lunghezza cella	12670 m
Direzione normale alla spiaggia	150 °N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3250013 Laguna del Mort e Pinete di Eraclea

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Sud di	
Gradonata in cls / Diaframma lungo tutta la cella litoranea (da foce Livenza a foce Piave)	Struttura paraonde parallela alla linea di riva alta 1 m sopra il livello dell'acqua, presente in tutta la cella ad eccezione del tratto antistante Duna Verde, realizzata nel 1968/1969
Tubi Longard	Per circa 1600 m da Porto Santa Margherita, posizionati circa 150 m a largo, oggi completamente sommersi
Pennelli in pietrame lungo tutta la cella litoranea (da foce Livenza a foce Piave)	Realizzati a partire dall'anno 2000. Nel tratto antistante Duna Verde ed Eraclea sono stati effettuati degli interventi di prolungamento di un pennello ogni tre e salpamento dei due intermedi (interesse di 240 m, lunghi 130 m).
Armature imboccatura laguna del Mort	
Armatura Nord di foce Piave	

Ripascimenti					
POSIZIONE	VOLUME [m³]	ANNO	POSIZIONE	VOLUME [m³]	ANNO
Duna Verde	60'000	2003 - 2004	Eraclea e Duna Verde	100'000	2011
Eraclea	300'000	2004	Eraclea e Duna Verde	180'000	2012
Porto S.Margherita	10'000	2009	Eraclea	80'000	2013

DINAMICHE EVOLUTIVE

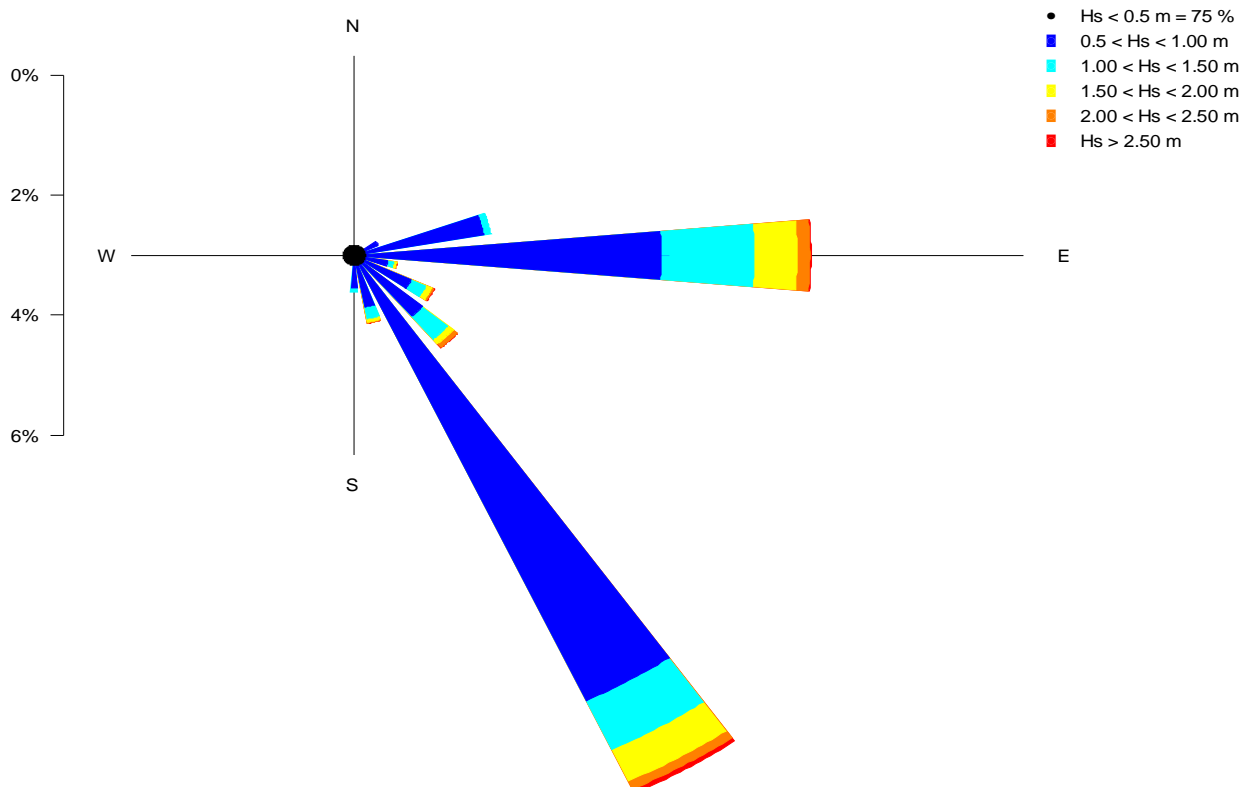
Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m³/anno] confine N	-8'474	34'798	-16'472
Q potenziale [m³/anno] medio	-44'653	95'530	-82'877
Q potenziale [m³/anno] confine S	-54'099	83'347	-90'057

Trasporto Fluviale			Subsidenza	
Q solida Piave	442'000	m³/anno	~ 1.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m²/anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-2'467	-0.2
2000 - 2003	7'098	0.6
2003 - 2007	-4'920	-0.4
2007 - 2012	11'924	0.9

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m³/m/anno]	Spiaggia sottomarina [m³/m/anno]	Spiaggia Totale [m³/m/anno]
EC1	Sett. 2004 - Maggio 2010	783	0.26	-11.33	-11.06
EC2	Sett. 2004 - Maggio 2010	364	0.37	-1.02	-0.65
EC3	Sett. 2004 - Maggio 2010	403	-0.07	0.89	0.82
EC4	Sett. 2004 - Maggio 2010	879	0.19	13.00	13.18
EC6	Maggio 2005 - Maggio 2010	1'255	-3.86	0.22	-3.64
EC7	Maggio 2005 - Maggio 2010	725	-5.45	-11.74	-17.19
EC8	Aprile 2002 - Marzo 2007	1'233	0.22	2.72	2.94
DVC9	Aprile 2002 - Marzo 2007	3'712	-0.42	1.43	1.01
SMC10	Aprile 2002 - Marzo 2007	857	-0.63	-8.89	-9.52
SMC11	Aprile 2002 - Marzo 2007	817	-0.42	-1.14	-1.55
SMC12	Aprile 2002 - Marzo 2007	1'252	1.59	6.80	8.39
EC1	Marzo 2007 - Luglio 2014	783	-1.79	-22.77	-24.56
EC2	Marzo 2007 - Luglio 2014	364	-0.91	-5.61	-6.51
EC4	Marzo 2007 - Luglio 2014	879	0.09	-12.50	-12.42
EC6	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'255	-2.15	-12.77	-14.91
EC8	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'233	-0.03	0.40	0.37
DVC9	Marzo 2007 - Luglio 2014	3'712	1.64	0.67	2.31
SMC10	Marzo 2007 - Luglio 2014	857	0.73	19.25	19.98
SMC11	Marzo 2007 - Luglio 2014	817	0.64	8.44	9.07
SMC12	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'252	-0.06	7.38	7.32

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
50	60	588	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600
60	70	847	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	920
70	80	5798	322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6120
80	90	13596	1962	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15665
90	100	1701	3535	1293	555	4	0	0	0	0	0	0	0	7088
100	110	2523	1051	95	87	186	21	8	0	0	0	0	0	3971
110	120	2898	512	86	50	0	8	4	4	0	0	0	0	3562
120	130	1131	546	53	20	22	4	4	8	4	0	0	0	1792
130	140	4488	401	188	73	8	11	2	3	1	0	0	0	5175
140	150	18443	1329	498	104	78	8	0	6	4	0	0	0	20470
150	160	2700	6118	711	432	95	65	20	28	8	0	0	0	10177
160	170	1423	2077	186	158	49	8	12	0	0	0	0	0	3913
170	180	2737	877	198	58	16	4	0	0	0	0	0	0	3890
180	190	5128	335	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5528
190	200	743	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	958
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		74915	19365	3480	1537	458	129	50	49	17	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.1	8.0	6.1	106
10	3.7	8.8	6.3	108
50	3.9	9.0	6.4	109
100	3.9	9.0	6.4	110

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.3	9.5	6.6	151
10	4.1	10.4	6.7	151
50	4.1	10.7	6.8	151
100	4.2	10.8	6.8	151



Cella VE 4

Da foce Livenza
a foce Piave

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

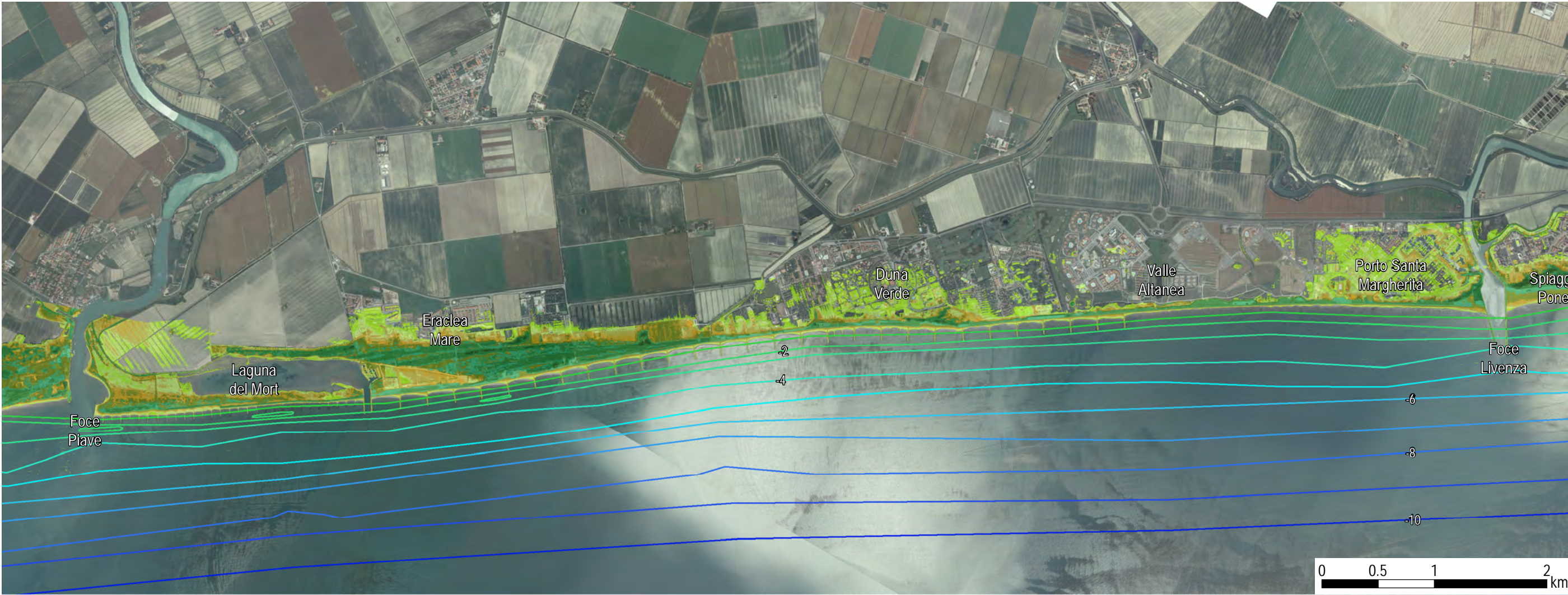
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 5

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Piave a foce Sile
Comune	Jesolo (VE)
Lunghezza cella	12796 m
Direzione normale alla spiaggia	150 °N
Piani di gestione territoriale	-

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura di foce Piave	
Pennelli in pietrame	6 pennelli posizionati subito a valle della foce del fiume Piave
Diaframma	Realizzato nel 1996 in vari tratti del litorale di Cavallino
Muro e Gradonata	Struttura di difesa entroterra realizzata nel 1999 in un tratto di spiaggia antistante Jesolo, subito a valle del litorale di Cortellazzo
Pennelli su pali	Posizionati lungo il litorale antistante Jesolo
Gradonata	Struttura di difesa entroterra realizzata nel 1999 in un tratto di spiaggia antistante Jesolo, subito a monte della foce del fiume Sile
Armatura di foce Sile	

Ripascimenti					
POSIZIONE	VOLUME [m ³]	ANNO	POSIZIONE	VOLUME [m ³]	ANNO
Cortellazzo	350'000	1999	Cortellazzo	45'000	2006
Litorale tra l'Ospedale marino e il Sile	423'000	1998 - 2002	Cortellazzo	40'000	2007
Litorale tra il Villaggio Malibù e l'Ospedale marino	112'000	1998 - 2002	Cortellazzo	65'000	2008
Cortellazzo	150'000	2003	Cortellazzo	100'000	2009
Cortellazzo	120'000	2004	Cortellazzo	100'000	2010
Cortellazzo	103'000	2005			

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-63'382	82'327	-179'177
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-90'754	113'384	-220'415
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-71'728	83'576	-138'254

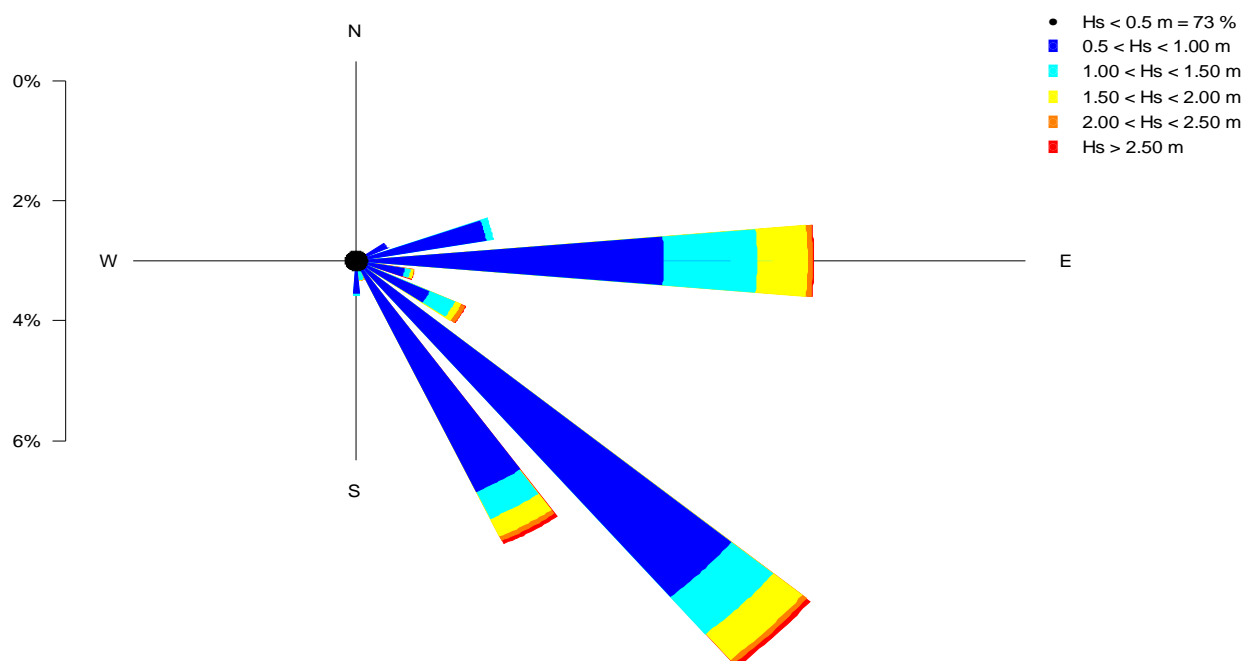
Trasporto Fluviale		
Q solida Piave	442'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 1.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	147	0.0
2000 - 2003	27'542	2.2
2003 - 2007	-13'413	-1.1
2007 - 2012	13'824	1.1

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
JC1	Maggio 2003 - Maggio 2010	753	0.36	1.98	2.34
JC2	Maggio 2003 - Maggio 2010	3'101	-0.10	9.47	9.37
JC3	Maggio 2003 - Maggio 2010	2'078	0.89	2.12	3.01
JC4	Maggio 2003 - Maggio 2010	2'915	2.38	14.05	16.44
JC5	Maggio 2003 - Maggio 2010	1'173	-5.83	-8.24	-14.08
JC6	Maggio 2003 - Maggio 2010	344	-8.45	6.06	-2.40
JC7	Maggio 2003 - Maggio 2010	1'306	2.09	18.03	20.11
JC8	Maggio 2003 - Maggio 2010	1'126	-6.68	-34.51	-41.19
JC1	Marzo 2007 - Luglio 2014	753	0.08	-13.06	-12.98
JC2	Marzo 2007 - Luglio 2014	3'101	1.43	-21.31	-19.89
JC3	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'078	-0.11	-9.88	-9.99
JC4	Marzo 2007 - Luglio 2014	2'915	0.61	-13.57	-12.97
JC5	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'173	-3.08	-7.96	-11.04
JC7	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'306	1.96	-5.13	-3.17
JC8	Marzo 2007 - Luglio 2014	1'126	-7.30	-19.28	-26.58

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
50	60	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181
60	70	942	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1116
70	80	9278	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9608
80	90	10319	1962	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12392
90	100	2709	3535	1106	563	4	0	0	0	0	0	0	0	7917
100	110	1515	1051	290	191	74	21	8	0	0	0	0	0	3150
110	120	2898	730	86	50	4	8	0	4	0	0	0	0	3780
120	130	993	466	47	30	22	0	4	10	2	0	0	0	1574
130	140	7768	738	363	73	50	11	2	3	1	0	0	0	9009
140	150	12791	7308	812	567	83	73	20	11	11	0	0	0	21676
150	160	2700	3139	334	213	58	53	0	20	4	0	0	0	6521
160	170	2625	1108	157	116	24	12	0	0	0	0	0	0	4042
170	180	4380	150	161	12	4	0	0	0	0	0	0	0	4707
180	190	3403	513	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3940
190	200	179	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		72852	21241	3491	1815	323	178	34	48	18	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.0	8.0	6.1	105
10	3.7	8.9	6.3	108
50	3.8	9.1	6.4	109
100	3.9	9.3	6.4	110

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	9.6	6.6	147
10	4.1	10.6	6.7	148
50	4.1	10.8	6.8	148
100	4.2	10.9	6.9	148



Cella VE 5

Da foce Piave
a foce Sile

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

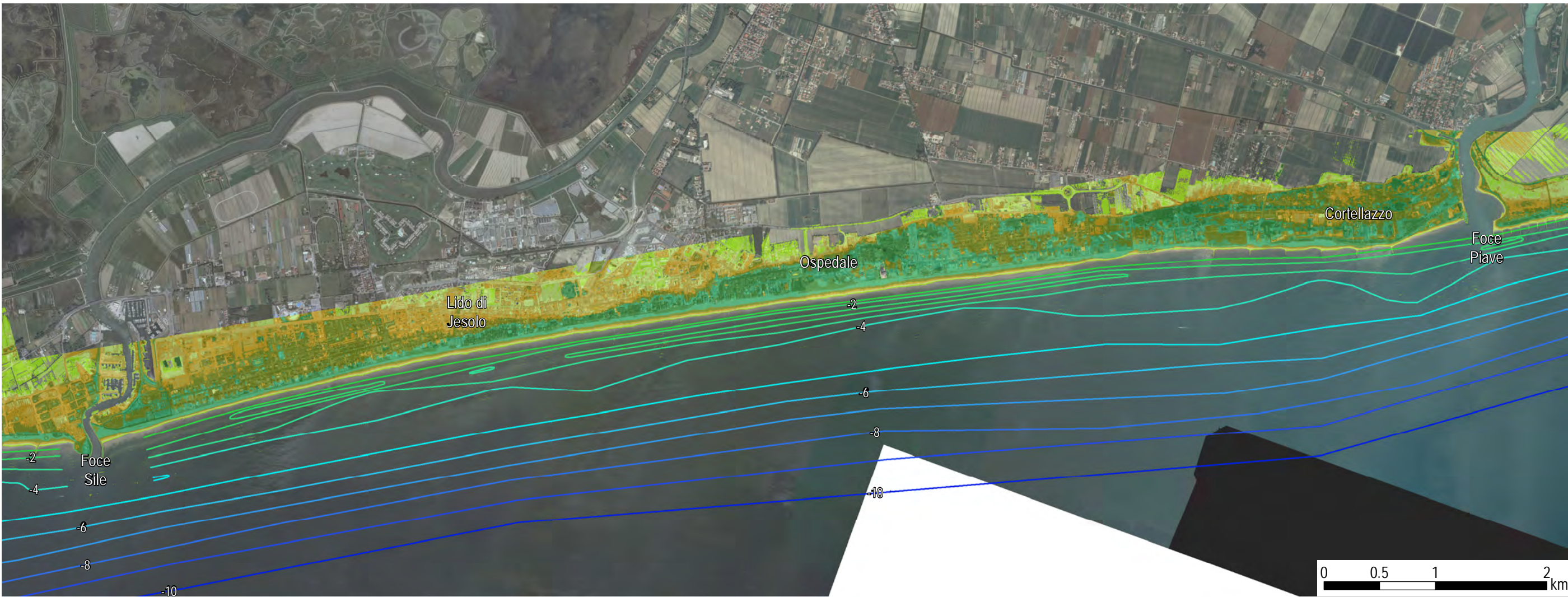
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 6

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Sile alla bocca di Lido
Comune	Cavallino - Treporti (VE)
Lunghezza cella	13682 m
Direzione normale alla spiaggia	150 °N
Piani di gestione territoriale	SIC - ZPS IT3250003 Penisola del Cavallino: biotopi litoranei

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura di foce Sile	
Pennelli in pietrame	32 pennelli, disposti lungo tutto il litorale antistante Cavallino
Diaframma antisifonamento	Realizzato nel 1996 in vari tratti del litorale antistante Cavallino.
Cordolo	Muro paraonde, realizzato nel 1996 in vari tratti del litorale antistante Cavallino.
Armatura Bocca di Lido	Sistema MOSE, inizio lavori 2003

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Litorale di cavallino (11 km)	1'921'604	m ³	1999
Cavallino	14'000	m ³	2011

DINAMICHE EVOLUTIVE

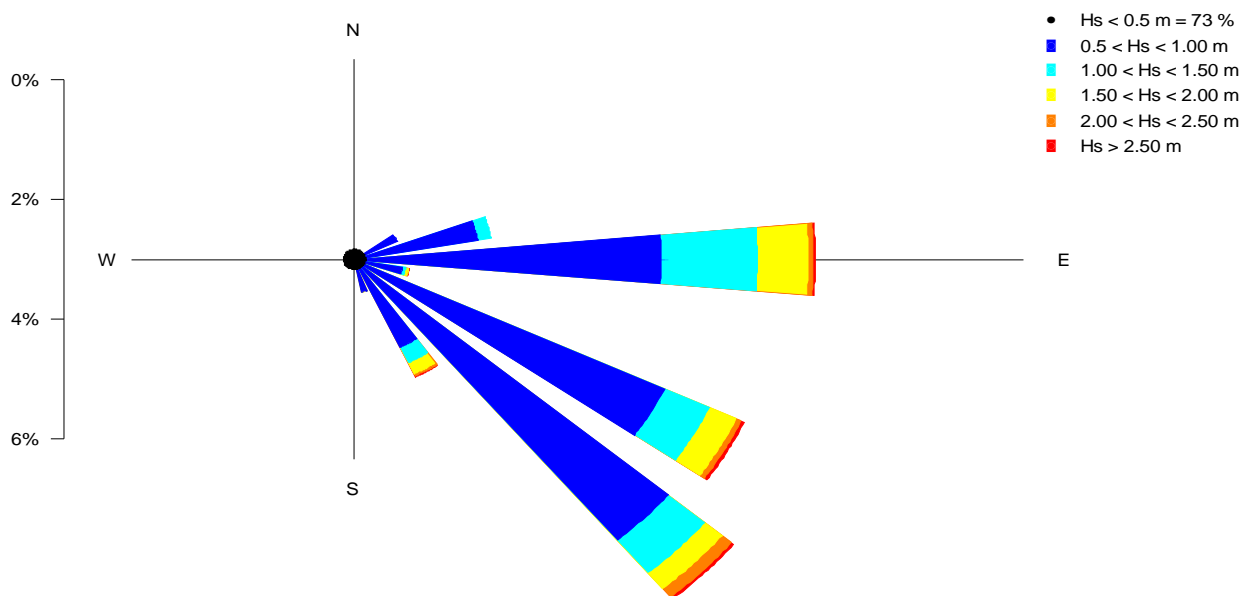
Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-75'121	91'285	-110'783
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-99'144	109'162	-261'364
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-23'022	56'498	-30'380

Subsidenza	
	_ 1.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	27'058	2.0
2000 - 2003	-3'591	-0.3
2003 - 2007	1'038	0.1
2007 - 2012	15'607	1.2

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
CVC1	Giugno 2004 - Maggio 2010	2'470	2.55	12.25	14.79
CVC2	Giugno 2004 - Maggio 2010	1'477	-1.84	8.53	6.70
CVC3	Giugno 2004 - Maggio 2010	273	-1.41	6.58	5.18
CVC4	Giugno 2004 - Maggio 2010	648	-0.31	4.98	4.67
CVC5	Giugno 2004 - Maggio 2010	1'424	0.02	3.44	3.45
CVC6	Giugno 2004 - Maggio 2010	1'943	2.04	7.18	9.22
CVC7	Giugno 2004 - Maggio 2010	2'700	-0.51	-3.51	-4.02
CVC8	Giugno 2004 - Maggio 2010	2'747	-0.49	7.30	6.81
CVC1	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'470	-0.74	-9.46	-10.20
CVC2	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'477	-0.17	-23.81	-23.98
CVC5	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'424	-3.25	-35.86	-39.11
CVC6	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'943	-1.26	-33.51	-34.76
CVC7	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'700	-5.75	-23.99	-29.74
CVC8	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'747	-4.33	-42.40	-46.73

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	60	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222
60	70	942	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1116
70	80	9075	533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9608
80	90	10319	1871	202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12392
90	100	2709	3535	1293	563	8	0	0	0	0	0	0	0	8108
100	110	1515	1051	140	199	70	29	8	0	0	0	0	0	3012
110	120	2898	730	49	42	10	4	0	12	0	0	0	0	3745
120	130	4076	771	189	26	12	4	4	4	2	0	0	0	5088
130	140	11202	4341	547	419	72	47	12	6	8	0	0	0	16654
140	150	5459	6118	711	341	186	45	20	24	4	0	0	0	12908
150	160	4833	1367	186	195	20	12	0	8	0	0	0	0	6621
160	170	3866	249	99	12	20	4	0	0	0	0	0	0	4250
170	180	4555	552	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	5111
180	190	742	57	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	819
190	200	179	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		72722	21386	3436	1801	398	145	44	54	14	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.1	8.1	6.1	104
10	3.7	9.0	6.3	107
50	3.8	9.7	6.4	108
100	3.8	9.8	6.4	108

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	9.6	6.5	142
10	4.0	10.6	6.7	142
50	4.1	10.8	6.8	142
100	4.1	10.9	6.8	142



Cella VE 6

Da foce Sile
a bocca di Lido

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

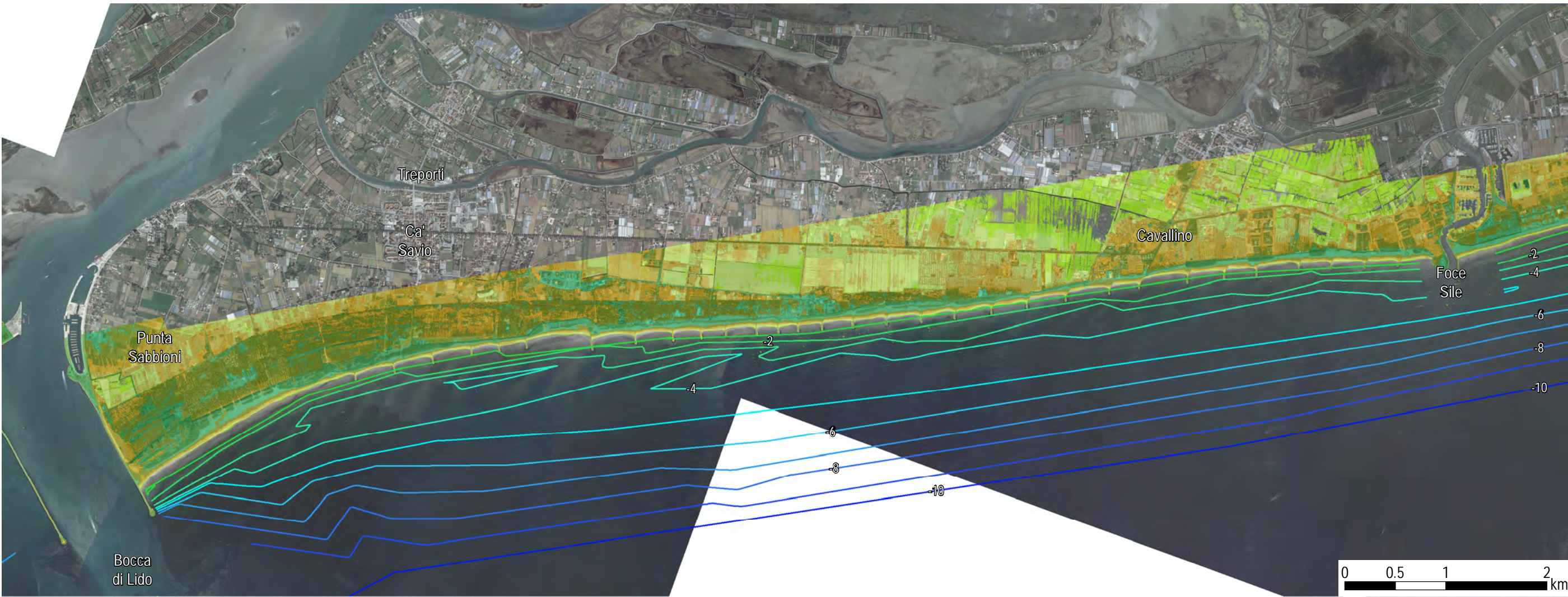
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 7

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	dalla bocca di porto di Lido alla bocca di porto di Malamocco
Comune	Lido di Venezia (VE)
Lunghezza cella	12046 m
Direzione normale alla spiaggia	110 °N
Piani di gestione territoriale	SIC - ZPS IT3250023 Lido di Venezia: biotopi litoranei

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Bocca di Lido	Sistema MOSE, inizio lavori 2003
Diga foranea	Sistema MOSE, inizio lavori 2003
Frangiflutti	2 frangiflutti paralleli alla riva, posizionati subito a valle dell'armatura della bocca di Lido
Pennelli in pietrame	Pennelli lunghi all'incirca 100 m, disposti lungo il litorale antistante Lido
Pennelli in pietrame	4 pennelli lunghi 250 m, disposti lungo il litorale antistante Malamocco
Murazzo	Realizzato negli anni 50, lungo il litorale antistante Malamocco
Barriera sommersa	Realizzato nel 2006, lungo il litorale antistante Malamocco
Armatura Bocca di Malamocco	Sistema MOSE, inizio lavori 2003

DINAMICHE EVOLUTIVE

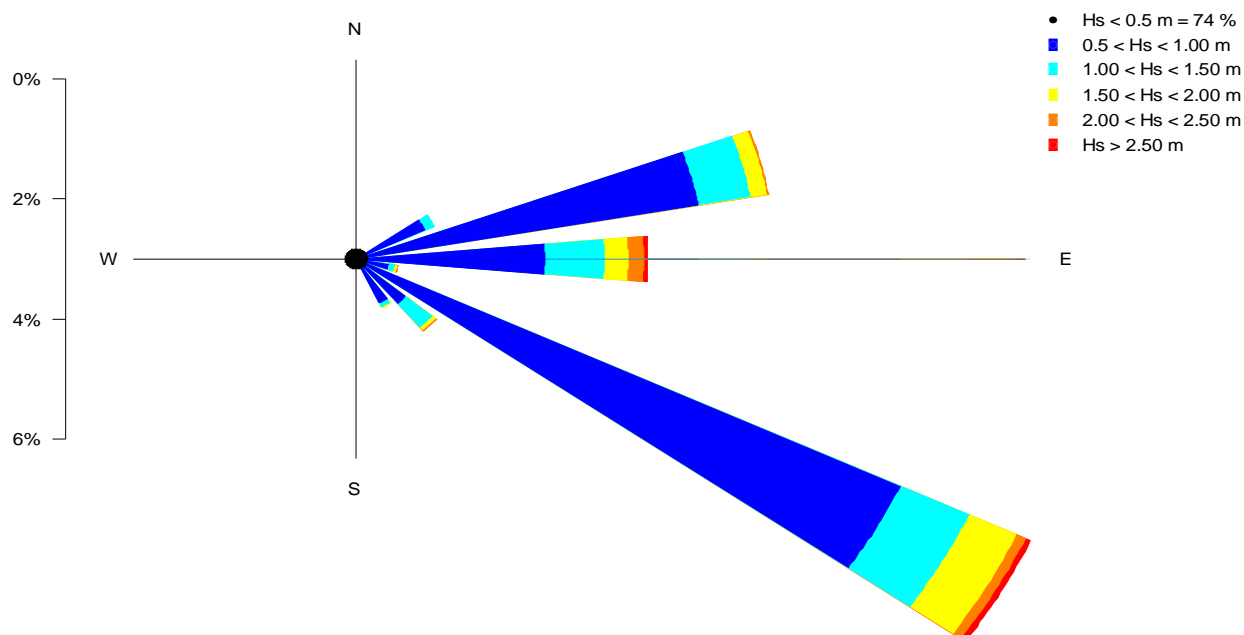
Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-748	1'022	-7'124
Q potenziale [m ³ /anno] medio	5'307	49'292	22'373
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	2'146	2'546	3'269

Subsidenza	
	~ 1.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	7'702	0.7
2000 - 2003	21'079	1.8
2003 - 2007	19'681	1.7
2007 - 2012	-1'875	-0.2

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
LC1	Dato 1997 non attendibile	2'476	0.00	0.00	0.00
LC2	Nov. 2000 - Maggio 2010	2'672	-0.03	6.40	6.37
LC3	Nov. 2000 - Maggio 2010	2'035	0.29	8.70	8.99
LC4	Nov. 2000 - Maggio 2010	979	1.17	-19.78	-18.61
LC5	Nov. 2000 - Maggio 2010	1'188	2.29	-7.47	-5.18
LC6	Dato 1997 non attendibile	2'696	0.00	0.00	0.00
LC1	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'476	3.65	-37.35	-33.70
LC2	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'672	-0.32	-6.73	-7.05
LC3	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'035	-6.15	-5.79	-11.94
LC4	Maggio 2010 - Nov. 2014	979	-2.29	-16.38	-18.67
LC5	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'188	-0.70	166.82	166.12
LC6	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'696	5.66	-26.57	-20.91

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181
40	50	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
50	60	407	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	528
60	70	5751	293	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6052
70	80	10624	841	145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11610
80	90	2730	5183	787	255	29	0	0	0	0	0	0	0	8984
90	100	3216	2064	850	311	236	58	21	8	0	0	0	0	6764
100	110	2429	749	37	44	0	8	4	12	0	0	0	0	3283
110	120	469	480	96	40	10	4	4	4	0	0	0	0	1107
120	130	5481	846	315	217	46	23	4	12	0	0	0	0	6944
130	140	15256	8123	812	567	104	65	36	20	0	0	0	0	24983
140	150	6405	964	510	58	32	0	12	0	0	0	0	0	7981
150	160	8108	555	70	24	0	0	0	0	0	0	0	0	8757
160	170	676	248	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	928
170	180	870	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	947
180	190	601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	601
190	200	179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		73554	20544	3630	1520	457	158	81	56	0	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	8.4	6.2	97
10	3.8	9.6	6.3	98
50	3.8	10.4	6.4	98
100	3.9	10.5	6.4	99

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.3	9.6	6.4	135
10	3.8	10.6	6.6	134
50	3.9	10.8	6.6	134
100	3.9	10.9	6.7	134



Cella VE 7

Da bocca di Lido
a bocca di Malamocco

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

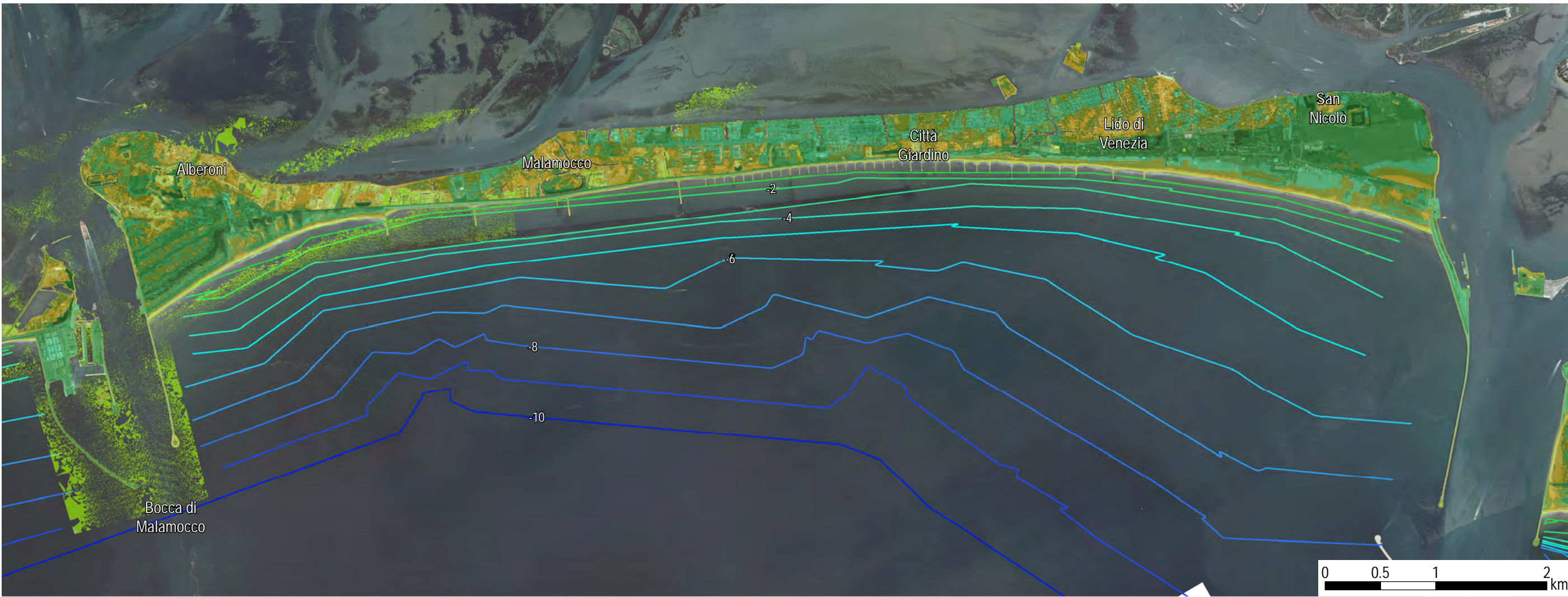
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 8

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	dalla bocca di Malamocco alla bocca di Chioggia
Comune	Pellestrina - Venezia (VE)
Lunghezza cella	10870 m
Direzione normale alla spiaggia	100 °N
Piani di gestione territoriale	SIC - ZPS IT3250023 Lido di Venezia: biotopi litoranei

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Bocca di Malamocco	Sistema MOSE, inizio lavori 2003
Murazzi	Realizzati lungo tutto il litorale di Pellestrina alla fine del XVIII secolo e restaurati in seguito all'evento del 1964
Pennelli in pietrame	18 pennelli lunghi 250 m e disposti lungo tutto il litorale della cella
Scogliera sommersa longitudinale	Realizzata a partire dal 1996 e terminata nel 1999, lungo tutto il litorale e collegata ai pennelli a formare 17 celle
Armatura Bocca di Chioggia	Sistema MOSE, inizio lavori 2003

DINAMICHE EVOLUTIVE

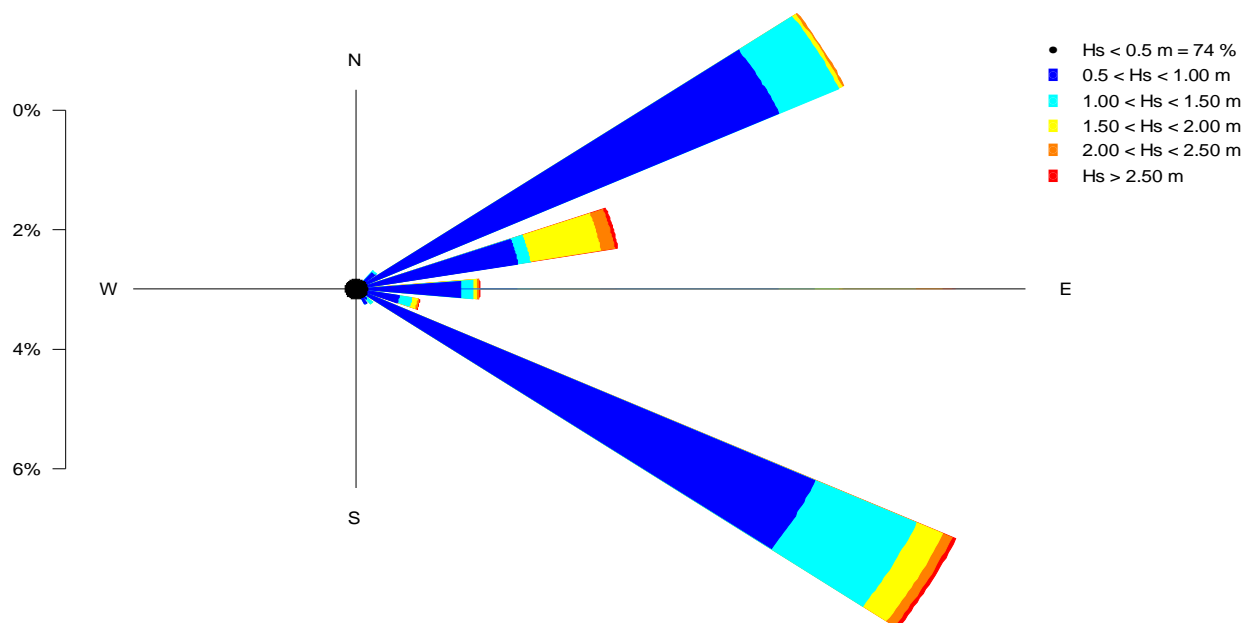
Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	2'009	4'418	-988
Q potenziale [m ³ /anno] medio	501	31'410	46'564
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	2'284	2'433	3'933

Subsidenza	
	~ 1.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	24'101	2.2
2000 - 2003	5'189	0.5
2003 - 2007	23'188	2.2
2007 - 2012	-16'346	-1.5

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
PC1	Dicembre 2000 - Maggio 2010	1'251	22.99	14.04	37.03
PC2	Dicembre 2000 - Maggio 2010	1'521	-0.09	-0.85	-0.94
PC3	Dicembre 2000 - Maggio 2010	1'709	-1.40	-0.73	-2.13
PC4	Dicembre 2000 - Maggio 2010	2'051	1.57	4.04	5.61
PC5	Dicembre 2000 - Maggio 2010	1'650	-1.03	1.63	0.60
PC6	Dicembre 2000 - Maggio 2010	1'353	3.07	4.27	7.34
PC7	Dicembre 2000 - Maggio 2010	1'335	-0.40	0.44	0.03
PC1	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'251	2.16	-15.40	-13.24
PC2	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'521	-0.89	-11.83	-12.72
PC3	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'709	-3.69	-7.36	-11.05
PC4	Maggio 2010 - Nov. 2014	2'051	0.49	1.86	2.34
PC5	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'650	0.07	-0.76	-0.69
PC6	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'353	-0.02	-4.19	-4.21
PC7	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'335	-0.21	-5.05	-5.26

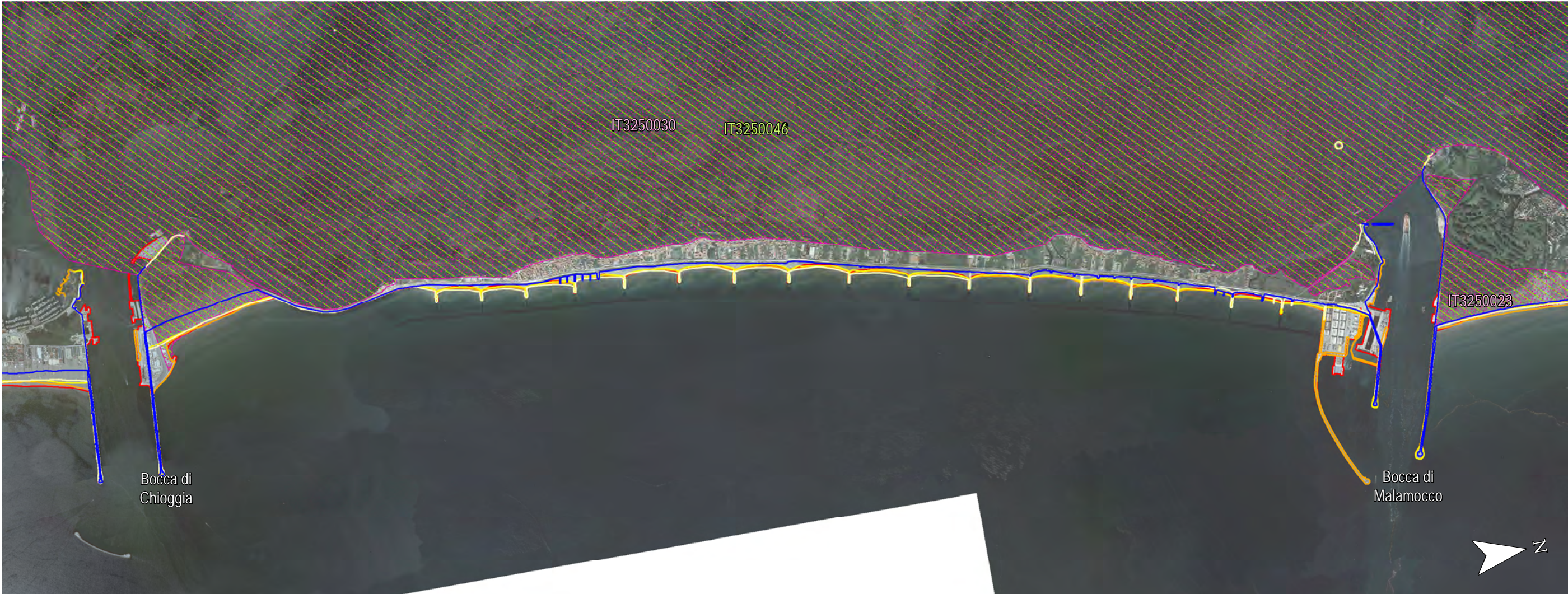
DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181
40	50	448	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	448
50	60	535	365	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	932
60	70	6817	817	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7828
70	80	7864	6152	787	57	37	0	0	0	0	0	0	0	14897
80	90	3423	2448	187	1069	212	50	29	4	0	0	0	0	7422
90	100	1515	1051	132	16	24	8	4	4	4	0	0	0	2758
100	110	2429	512	49	42	6	4	4	8	4	0	0	0	3058
110	120	3275	650	193	80	29	12	0	6	6	0	0	0	4251
120	130	11819	5283	945	352	137	59	16	0	8	0	0	0	18619
130	140	13466	2285	722	82	12	4	0	0	0	0	0	0	16571
140	150	9929	215	102	4	0	0	0	0	0	0	0	0	10250
150	160	676	161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	837
160	170	692	111	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	807
170	180	742	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	795
180	190	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		74157	20103	3347	1702	457	137	53	22	22	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.8	8.6	6.3	86
10	4.1	9.4	6.5	87
50	4.2	10.0	6.5	88
100	4.2	10.2	6.6	88

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.9	9.5	6.6	126
10	3.8	10.4	6.7	125
50	4.0	10.7	6.8	124
100	4.1	10.8	6.8	124



Cella VE 8

Da bocca di Malamocco
a bocca di Chioggia

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

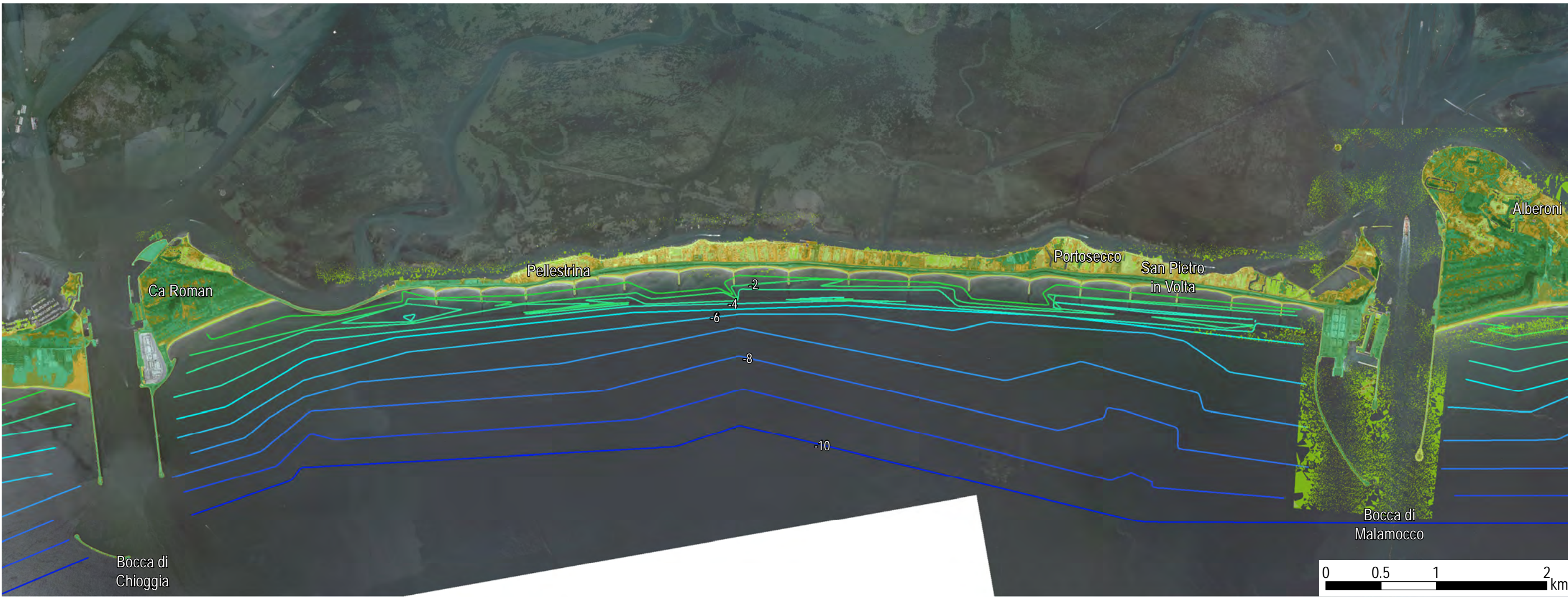
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	dalla bocca di Chioggia alla foce del fiume Brenta
Comune	Sottomarina - Chioggia (VE)
Lunghezza cella	6275 m
Direzione normale alla spiaggia	75 °N
Piani di gestione territoriale	-

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Bocca di Chioggia	Sistema MOSE, inizio lavori 2003
Diga foranea	Sistema MOSE, inizio lavori 2003
Difesa entroterra	Muretto posizionato lungo il litorale antistante Sottomarina
Armatura Nord	

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Tratto immediatamente a ridosso del fiume	100'000	m ³	Marzo/Aprile 2000
Ripascimento d'urgenza Sottomarina tratto a ridosso del fiume Brenta	140'000	m ³	2009
Falcatura meridionale del litorale di Sottomarina	5'000	m ³	2010
Ripascimento d'urgenza Sottomarina tratto a ridosso del fiume Brenta	40'000	m ³	2011

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-630	1'229	-549
Q potenziale [m ³ /anno] medio	24'718	114'308	180'755
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	17'231	59'485	44'551

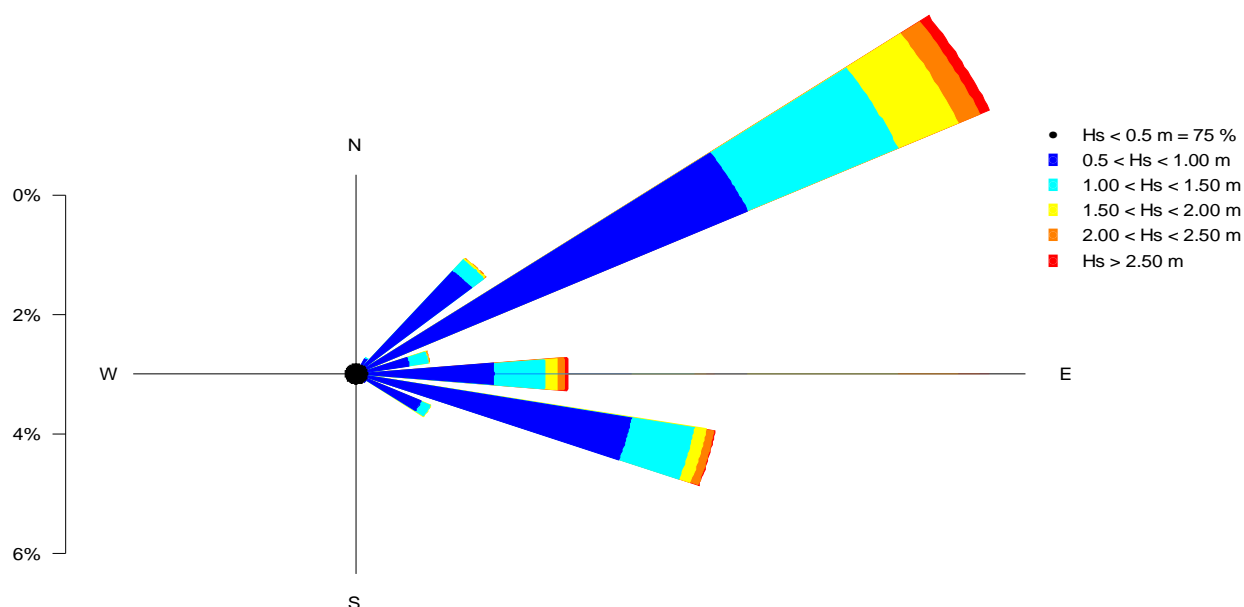
Trasporto Fluviale			
Q solida Brenta	378'000	m ³ /anno	

Subsidenza			
	~ 1.00	mm/anno	

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	13'795	2.8
2000 - 2003	-7'107	-1.4
2003 - 2007	16'542	3.3
2007 - 2012	1'503	0.3

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
SC1	Giugno 2004 - Maggio 2010	445	3.82	13.64	17.46
SC2	Giugno 2004 - Maggio 2010	1'290	-6.36	-9.53	-15.89
SC3	Giugno 2004 - Maggio 2010	869	0.97	3.71	4.68
SC4	Giugno 2004 - Maggio 2010	1'771	-2.02	-27.31	-29.33
SC5	Giugno 2004 - Maggio 2010	1'900	6.68	62.56	69.24
SC2	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'290	6.54	74.58	81.12
SC4	Maggio 2010 - Nov. 2014	1'771	-0.98	-34.92	-35.90

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222
40	50	2263	287	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2574
50	60	4763	2240	245	33	10	0	0	0	0	0	0	0	7291
60	70	6216	3918	1946	606	202	41	17	18	2	0	0	0	12966
70	80	2544	2535	534	386	152	121	6	10	4	0	0	0	6292
80	90	1701	806	287	8	17	0	7	0	2	0	0	0	2828
90	100	1515	594	432	51	10	6	6	8	7	0	0	0	2629
100	110	5261	1461	333	135	93	49	2	12	2	0	0	0	7348
110	120	11588	4171	955	180	123	14	2	2	0	0	0	0	17035
120	130	15789	713	129	10	0	0	0	0	0	0	0	0	16641
130	140	10436	356	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10816
140	150	1292	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1468
150	160	220	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222
160	170	505	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	527
170	180	447	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	447
180	190	348	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	348
190	200	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		75456	17279	4911	1409	607	231	40	50	17	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.9	8.6	6.3	74
10	4.1	9.6	6.5	74
50	4.2	10.4	6.6	74
100	4.2	11.1	6.6	74

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.7	9.5	6.5	113
10	3.5	10.4	6.7	110
50	3.8	10.7	6.8	109
100	3.9	10.8	6.8	109



Cella VE 9

Da bocca di Chioggia
a foce Brenta

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

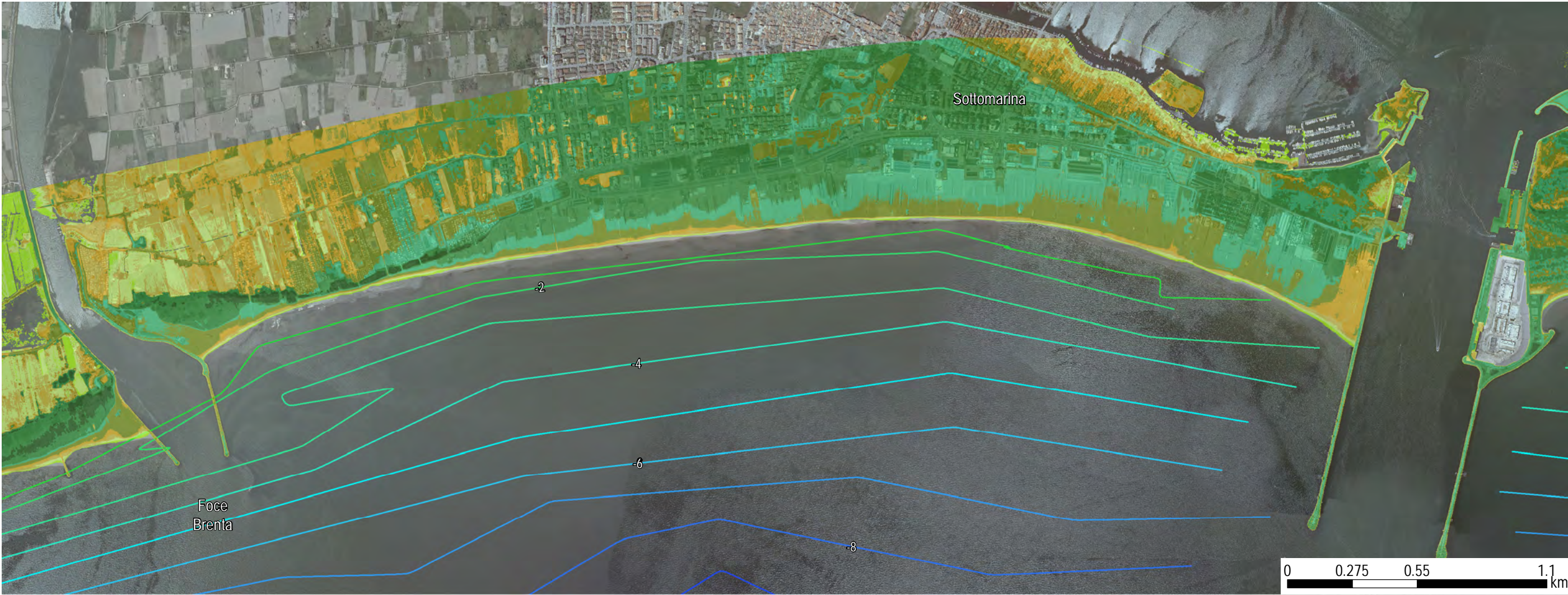
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella VE 10

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Brenta a foce Adige
Comune	Isola Verde (VE)
Lunghezza cella	2701 m
Direzione normale alla spiaggia	60 °N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3250034 Dune residue del Bacucco

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Sud di	
Pennelli in pietrame	7 pennelli lunghi 100 m, disposti su tutto il litorale della cella
Palancola	Realizzata nel 2001 nel litorale antistante il villaggio "Isamar"
Frangiflutti	Realizzato nel 2001, lungo 130 m e disposto nel litorale antistante il villaggio "Isamar"
Argine	Realizzato nel 1998, subito a monte della foce dell'Adige
Armatura Nord	

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Litorale Isola Verde	450'000	m ³	2002
Litorale Isola Verde	140'000	m ³	Maggio 2009 - Maggio 2011

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	47'380	51'525	69'569
Q potenziale [m ³ /anno] medio	49'935	59'690	228'476
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	58'978	88'366	131'060

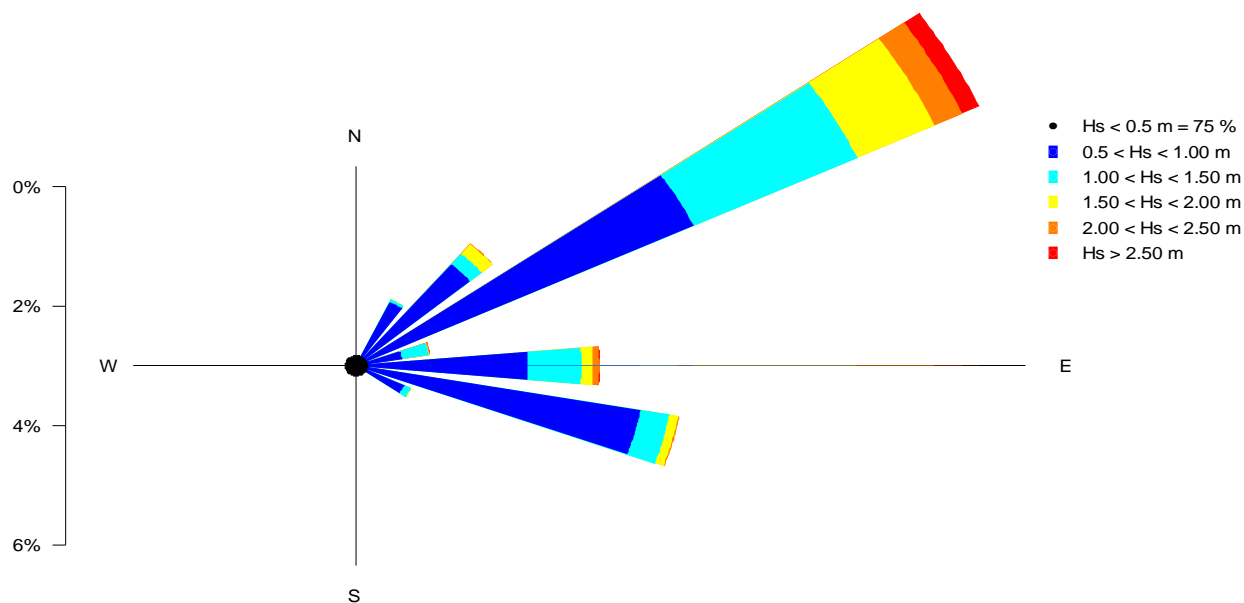
Trasporto Fluviale		
Q solida Brenta	378'000	m ³ /anno
Q solida Adige	858'000	m ³ /anno

Subsidenza	
	~ 1.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-1'148	-0.5
2000 - 2003	4'473	1.8
2003 - 2007	-3'695	-1.5
2007 - 2012	1'342	0.5

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta" (Fontolan et al, 2013)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
IVC1	Gennaio 2001 - Maggio 2010	422	7.45	-6.79	0.66
IVC2	Gennaio 2001 - Maggio 2010	298	1.95	-2.71	-0.76
IVC3	Gennaio 2001 - Maggio 2010	315	2.39	-1.60	0.79
IVC4	Gennaio 2001 - Maggio 2010	306	-2.86	-11.03	-13.89
IVC5	Gennaio 2001 - Maggio 2010	649	-6.91	-14.40	-21.31
IVC6	Gennaio 2001 - Maggio 2010	158	-4.34	-16.21	-20.54
IVC7	Gennaio 2001 - Maggio 2010	230	-2.18	-2.36	-4.54
IVC8	Gennaio 2001 - Maggio 2010	323	9.18	8.40	17.58
IVC1	Maggio 2010 - Nov. 2014	422	-5.05	18.94	13.89
IVC4	Maggio 2010 - Nov. 2014	306	2.89	6.73	9.63
IVC7	Maggio 2010 - Nov. 2014	230	5.65	-18.18	-12.53

DIR1	DIR2	Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	584	97	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	692
40	50	3684	1073	36	7	0	0	0	0	0	0	0	0	4800
50	60	6381	2204	226	211	14	0	0	0	0	0	0	0	9036
60	70	2533	4151	1994	951	220	122	19	26	4	0	0	0	10020
70	80	1956	1398	702	333	235	159	2	6	4	0	0	0	4795
80	90	1701	687	406	8	8	6	5	7	0	0	0	0	2828
90	100	1515	748	368	54	11	8	8	7	8	0	0	0	2727
100	110	6313	1809	432	116	84	1	8	5	0	0	0	0	8768
110	120	15633	4302	438	132	20	0	4	0	0	0	0	0	20529
120	130	13358	572	86	12	0	0	0	0	0	0	0	0	14028
130	140	8439	207	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8670
140	150	990	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1118
150	160	820	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	824
160	170	641	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	661
170	180	337	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	337
180	190	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	360	10130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10130
Σ		75052	17400	4723	1824	592	296	46	51	16	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.1	8.7	6.5	73
10	4.6	9.6	6.7	74
50	4.6	9.9	6.8	75
100	4.7	10.0	6.8	75

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.3	9.5	5.9	113
10	3.0	10.1	6.8	110
50	3.4	10.6	7.0	109
100	3.5	10.7	7.1	109



Cella VE 10

Da foce Brenta
a foce Adige

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 84
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

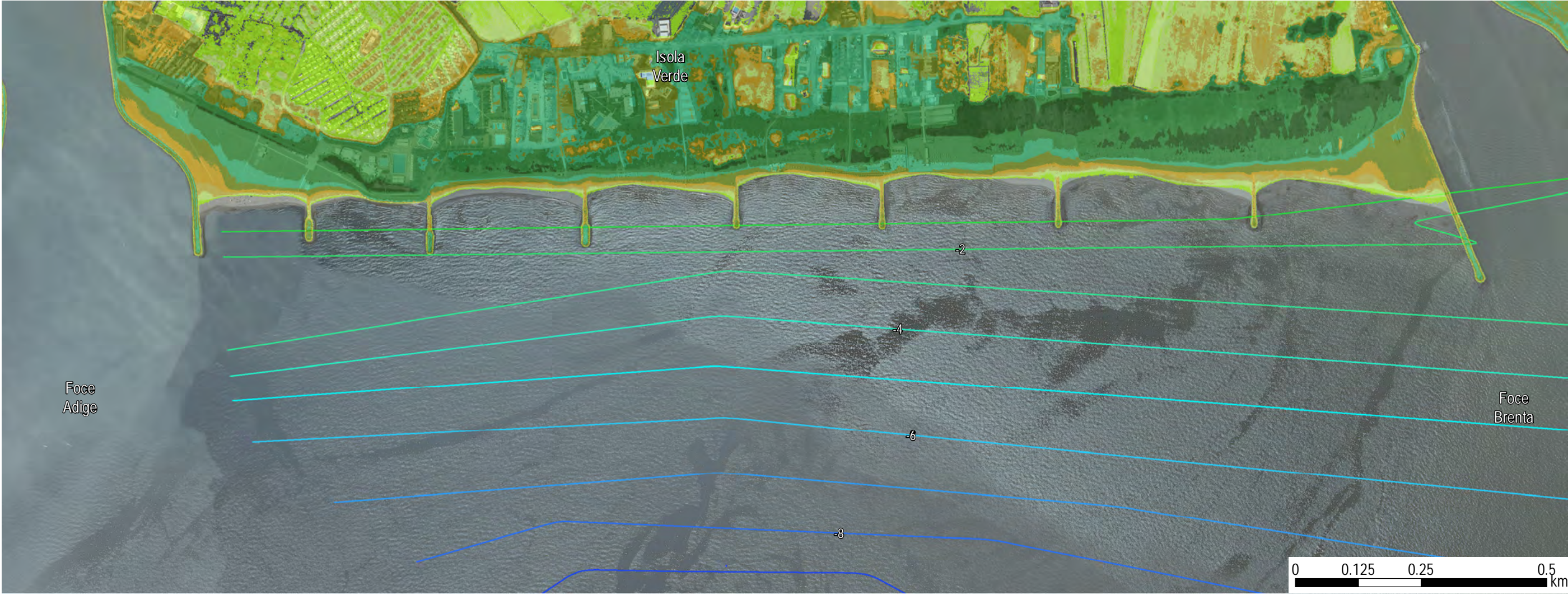
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2013

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 1

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Adige a Bocca di Caleri
Comune	Rosolina (RO)
Lunghezza cella	7800 m
Direzione normale alla spiaggia	80° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Sud Foce Adige	Scogliera in pietrame realizzata in destra idrografica alla foce Adige
Scogliera di protezione discarica	Scogliera in pietrame realizzata in destra idrografica alla foce Adige
Scogliera soffolta in pietrame	Costruita nel 2000 subito a valle della foce Adige
Pennelli in pietrame	5 pennelli costruiti nel 2001 e risagomati nel 2010 disposti subito a valle della foce del fiume Adige, a formare delle celle assieme alla scogliera soffolta
Scogliera di protezione pista	Scogliera in pietrame realizzata nel litorale antistante Rosolina

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia a sud del 5° pennello.	20'000	m ³	Dicembre 2006
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia tra il 4° e il 5° pennello	36'000	m ³	Aprile - Giugno 2009
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia tra il 3° e il 4° pennello e a sud del 5° pennello	38'000	m ³	Maggio - Giugno 2009
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia a sud del 5° pennello.	24'000	m ³	Maggio - Giugno 2009
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia tra il 3° e il 4° pennello, tra il 4° e il 5° pennello e a	32'000	m ³	Maggio - Luglio 2010
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia tra il 4° e il 5° pennello e a sud del 5° pennello.	45'000	m ³	Maggio - Luglio 2011
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia tra il 4° e il 5° pennello e a sud del 5° pennello.	40'000	m ³	Aprile - Maggio 2012
Litorale di Rosolina Mare, tratto di spiaggia tra il 4° e il 5° pennello e a sud del 5° pennello.	39'000	m ³	Maggio - Giugno 2013

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-66'303	106'569	-110'972
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-82'055	163'581	-79'136
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-65'099	116'584	-71'541

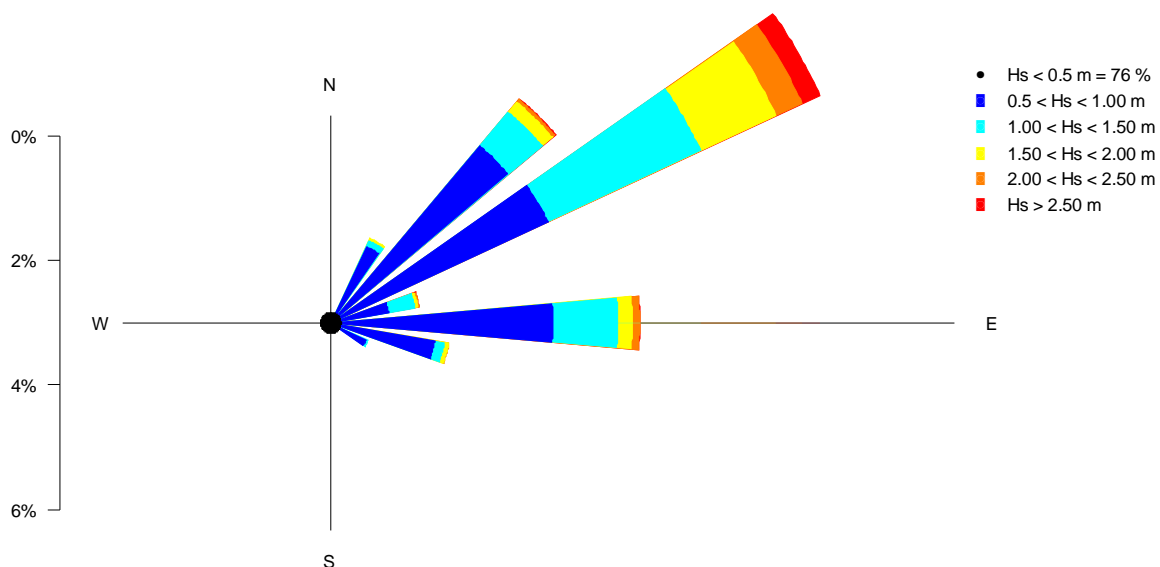
Trasporto Fluviale		
Q solida Adige	858'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83 - 2000	6'903	0.9
2000 - 2003	4'566	0.6
2003 - 2007	20'738	2.7
2007 - 2012	11'978	1.5

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
LRC1	2008-2013	1'674	2.01	-13.28	-11.27
LRC2	2008-2013	3'546	7.03	-25.37	-18.35
LRC3	2008-2013	2'978	6.91	15.04	21.95

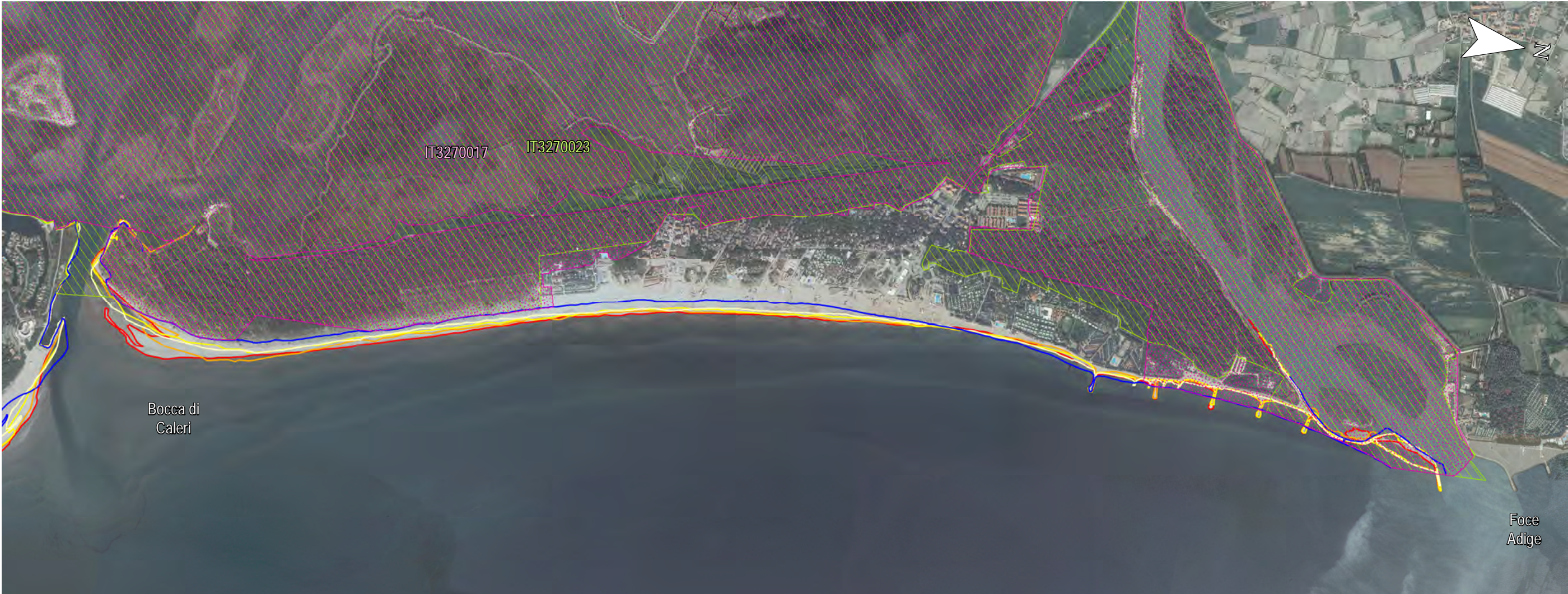
		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	562	141	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	713
40	50	5091	1213	91	43	0	0	0	0	0	0	0	0	6438
50	60	4858	3712	709	214	53	17	0	4	0	0	0	0	9567
60	70	2345	2307	2001	1028	423	169	44	33	13	0	0	0	8363
70	80	2074	1535	702	307	38	149	34	13	10	0	0	0	4862
80	90	1828	943	429	46	22	1	2	11	5	0	0	0	3287
90	100	2733	1693	368	76	58	0	8	4	3	0	0	0	4943
100	110	8660	1865	680	152	64	3	7	0	0	0	0	0	11431
110	120	20482	1690	157	70	5	0	0	0	0	0	0	0	22404
120	130	11601	419	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12050
130	140	2443	214	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
140	150	235	64	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	302
150	160	645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	645
160	170	701	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	704
170	180	3	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
180	190	679	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	679
190	200	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185
200	360	10748	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10748
Σ		75873	15816	5182	1936	663	339	95	65	31	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.3	10.4	6.7	71
10	4.4	12.6	7.0	70
50	4.4	12.8	7.0	70
100	4.4	13.8	7.1	69

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.3	9.4	5.8	103
10	2.8	10.0	6.5	101
50	3.1	10.4	6.7	101
100	3.2	10.6	6.8	100



Cella RO 1

Da foce Adige
a bocca di Caleri

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

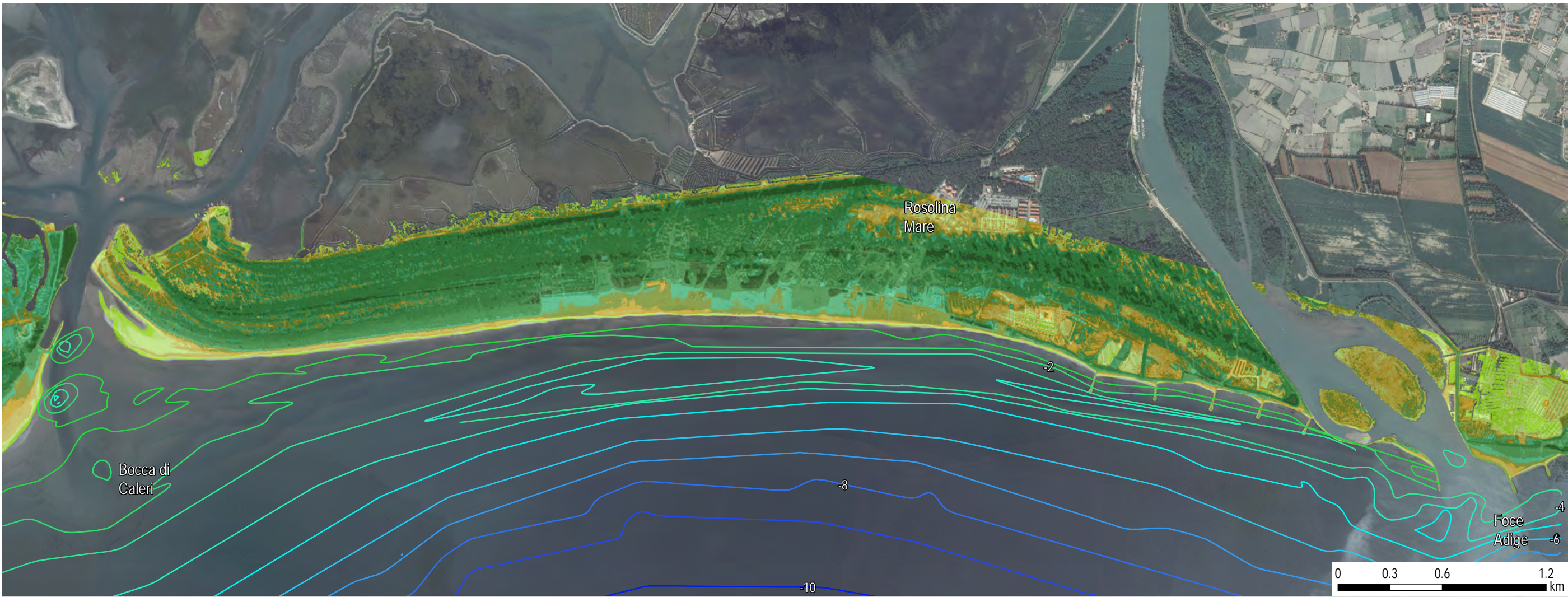
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 2

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da Bocca di caleri a Bocca Porto di Levante
Comune	Isola Albarella (RO)
Lunghezza cella	2550 m
Direzione normale alla spiaggia	45° N
Piani di gestione territoriale	-

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Scogliera in pietrame	Posizionata al capo Nord di Albarella
Armatura Nord Po di Levante	Molo in pietrame realizzato nel 1999

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	57'714	93'421	337'026
Q potenziale [m ³ /anno] medio	77'066	86'894	378'017
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	80'490	89'639	192'926

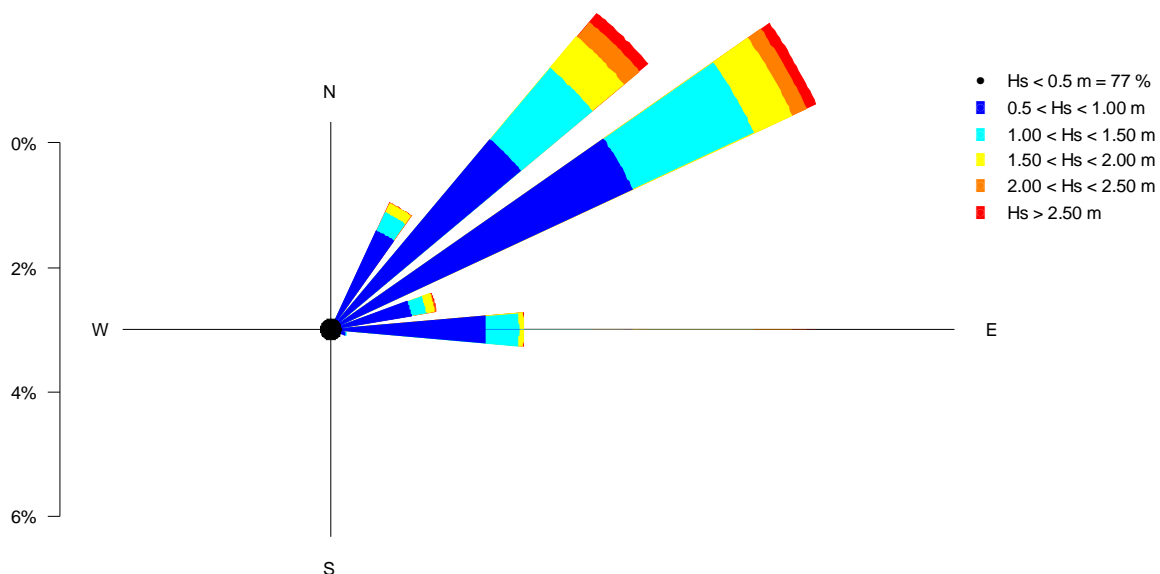
Subsidenza	
	~ 3.00 mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83 - 2000	2'416	0.9
2000 - 2003	15'205	6.8
2003 - 2007	6'105	2.4
2007 - 2012	7'173	3.0

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)

Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
IAC1	2008-2013	2'470	5.69	-26.58	-20.89

		Hs [m]												Σ
DIR °N		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
0	10	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	1970	133	54	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2165
40	50	4765	1611	271	151	8	1	0	0	0	0	0	0	6807
50	60	3307	3973	1494	664	318	187	105	67	11	0	0	0	10126
60	70	2842	2952	1359	619	240	167	34	29	12	0	0	0	8254
70	80	2353	2382	786	60	14	2	6	15	0	0	0	0	5618
80	90	5422	1304	237	143	15	14	1	0	0	0	0	0	7136
90	100	10217	1736	433	69	3	3	0	0	0	0	0	0	12461
100	110	19956	745	96	8	0	0	0	0	0	0	0	0	20805
110	120	10899	238	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11152
120	130	1087	95	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1190
130	140	176	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	231
140	150	383	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	411
150	160	563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	563
160	170	484	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	484
170	180	489	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	489
180	190	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
190	200	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
200	360	11924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11924
Σ		77018	15255	4753	1722	598	374	146	111	23	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.1	10.2	6.7	61
10	4.1	12.8	6.9	60
50	4.2	13.5	7.0	60
100	4.2	13.9	7.1	60

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	1.9	9.4	5.2	92
10	2.3	10.0	6.0	90
50	2.5	10.3	6.3	88
100	2.6	10.6	6.4	88



Cella RO 2

Da bocca di Levante
a foce Po di Maistra

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

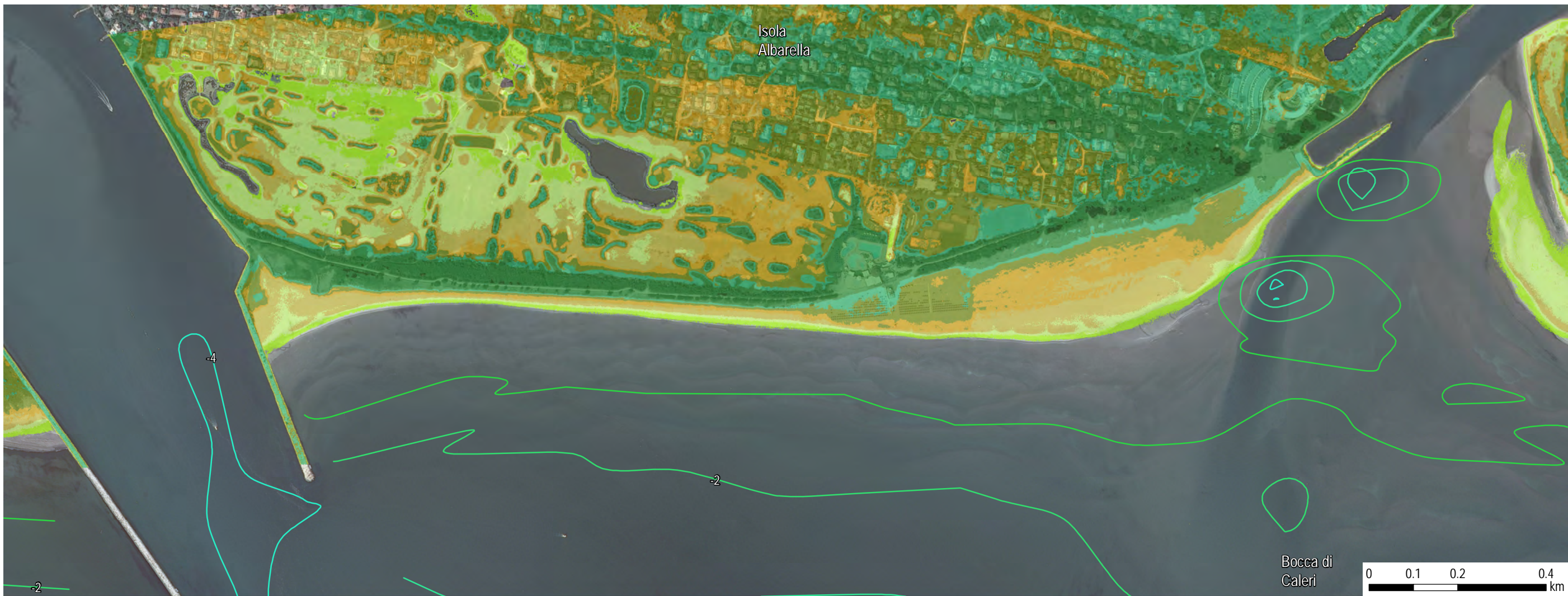
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 3

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da Bocca Porto di Levante a foce Po di Maistra
Comune	Porto Viro (RO)
Lunghezza cella	5100 m
Direzione normale alla spiaggia	47 °N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Sud Po di Levante	Molo in pietrame
Scogliera soffolta	Realizzata nel 2002 nel litorale antistante lo scanno Cavallari
Scogliera in pietrame	In sinistra idrografica a Po di Levante, realizzata nel 1985
Scogliera in pietrame	Scogliera di separazione ed esterna Laguna della Vallona

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	88'105	88'972	153'404
Q potenziale [m ³ /anno] medio	89'107	106'471	472'010
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	89'089	112'464	397'396

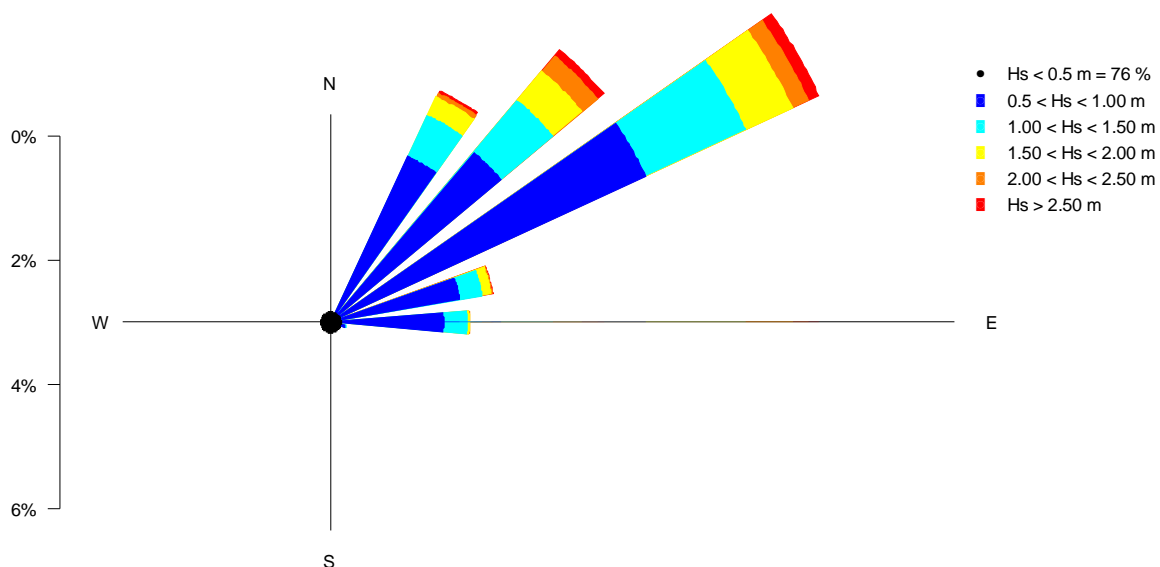
Trasporto Fluviale		
Q solida Po di Maistra	173'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	4'829	1.1
2000 - 2003	9'604	2.1
2003 - 2007	22'464	4.8
2007 - 2012	71'739	14.9

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
SCC1	2008-2014	5'243	7.61	3.27	10.88

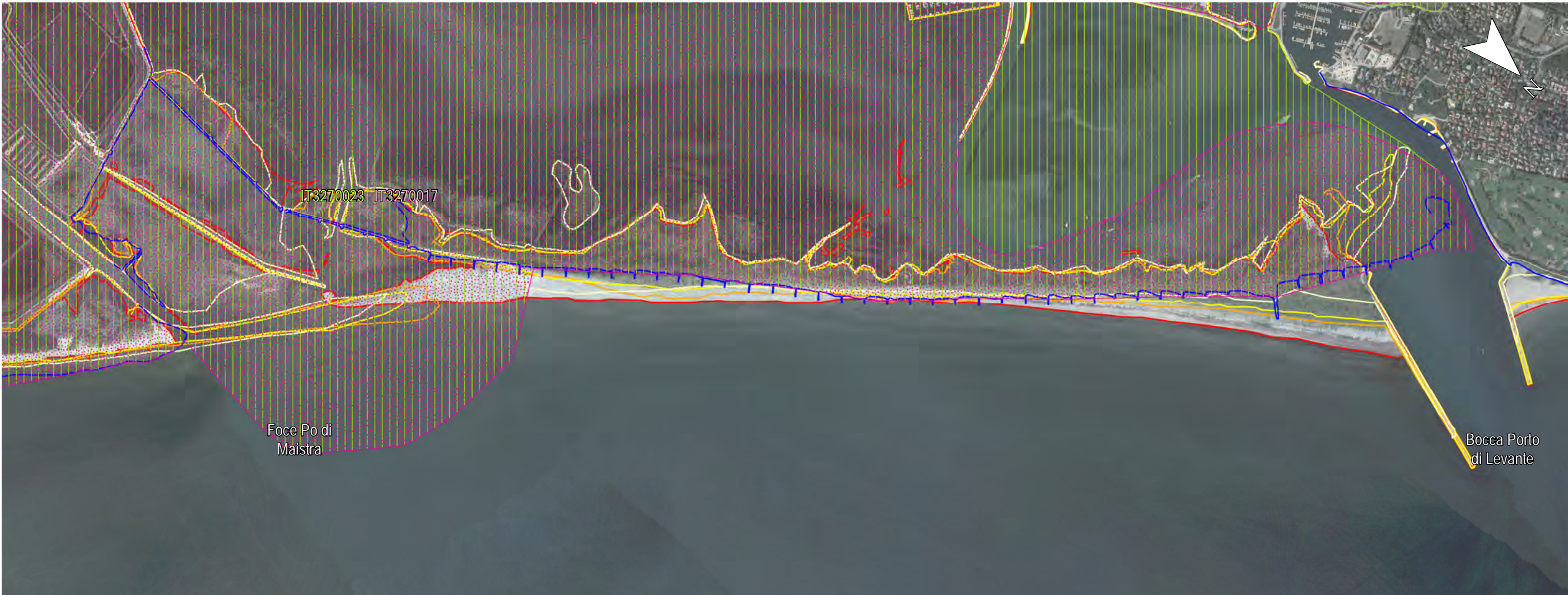
		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	106	24	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	137
30	40	2445	597	86	41	0	0	0	0	0	0	0	0	3169
40	50	4034	2342	641	285	71	46	0	4	0	0	0	0	7423
50	60	2911	3566	1085	615	319	128	158	76	39	0	0	0	8897
60	70	3138	3456	1342	716	271	181	40	33	12	0	0	0	9189
70	80	2618	2117	423	111	10	8	4	13	0	0	0	0	5304
80	90	6806	2103	364	147	18	8	2	0	0	0	0	0	9448
90	100	15432	1465	313	27	2	0	0	0	0	0	0	0	17239
100	110	15821	340	68	9	0	0	0	0	0	0	0	0	16238
110	120	7777	232	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8026
120	130	879	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	957
130	140	145	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188
140	150	339	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	370
150	160	439	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	439
160	170	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
170	180	165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	165
180	190	290	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	292
190	200	478	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	478
200	360	12017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12017
Σ		75864	16396	4339	1958	691	371	204	126	51	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.2	10.1	6.7	58
10	4.2	12.8	6.9	57
50	4.3	13.9	7.0	56
100	4.3	14.0	7.0	56

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	1.9	9.4	5.3	90
10	2.3	10.0	6.0	87
50	2.5	10.3	6.3	86
100	2.6	10.6	6.4	85



Cella RO 3

Da bocca di Caleri
a bocca di Levante

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

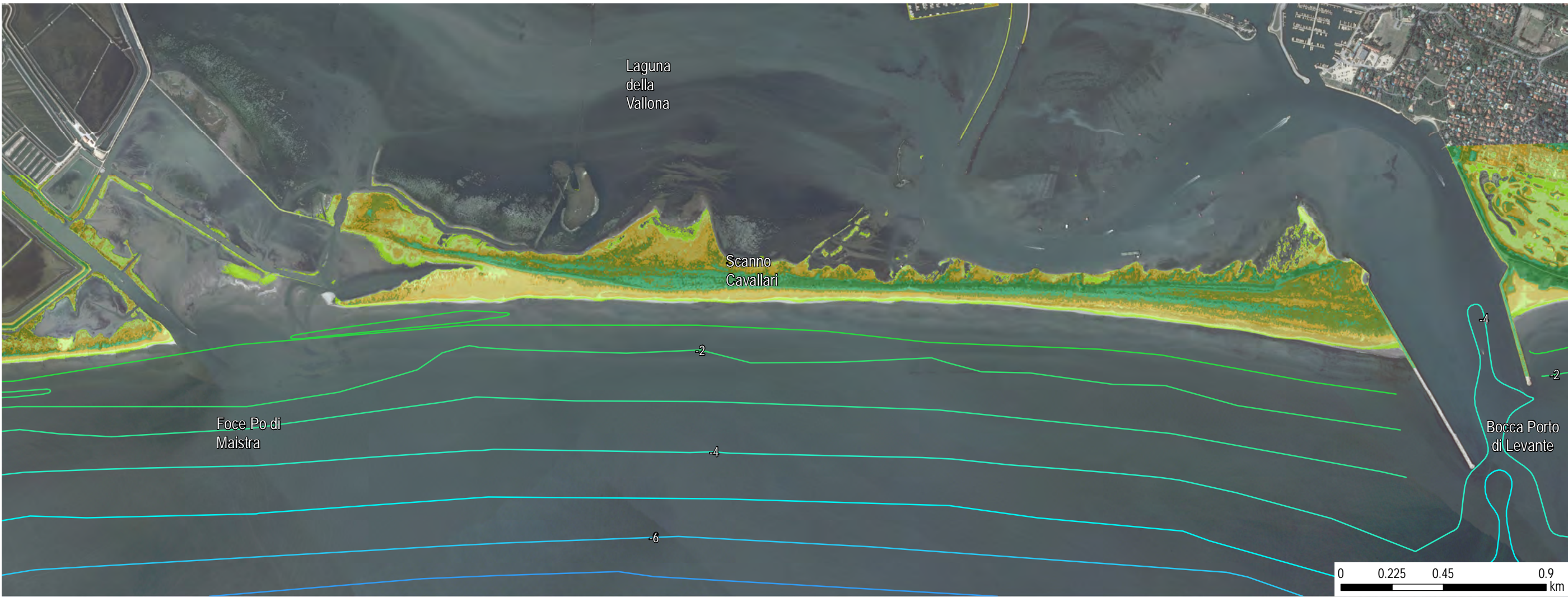
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 4

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Po di Maistra a Busa di Tramontana
Comune	Porto Tolle (RO)
Lunghezza cella	8760 m
Direzione normale alla spiaggia	43° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Sud e Nord Po di Maistra	Scogliera in pietrame realizzata tra il 2007 e il 2009
Palificata foce Po di Maistra	Realizzata con pali in legno nel 2008
Pennellini	Pennellini realizzati in pali in legno nel 2008 a sud della foce di Po di Maistra
Armatura Sud e Nord della bocca Nord della laguna di Barbamarco	Moli realizzati in pietrame e completato da due barriere soffolte parallele alla linea di riva
Armatura Sud e Nord della bocca Sud della laguna di Barbamarco	Moli realizzati in pietrame e completato da una barriera soffolta parallela alla linea di riva
Palancolato	Realizzato presso la bocca sud della laguna di Barbamarco con palancole metalliche

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	85'002	100'712	431'746
Q potenziale [m ³ /anno] medio	103'200	126'984	424'039
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	199'740	199'774	958'621

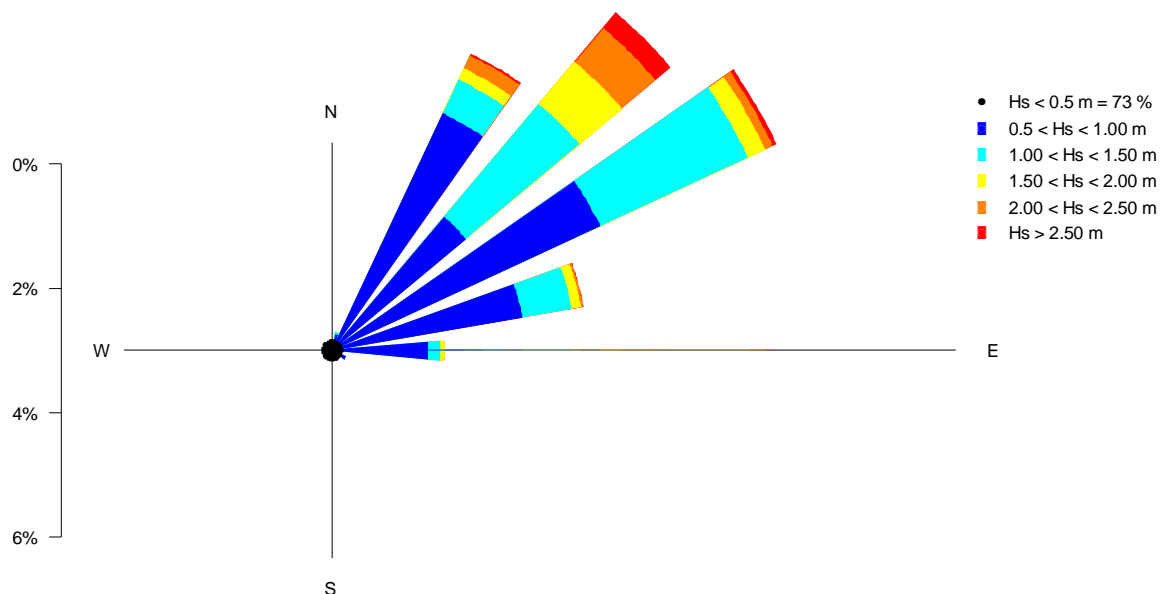
Trasporto Fluviale		
Q solida Po di Maistra	173'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83 - 2000	-1'119	-0.1
2000 - 2003	-15'097	-1.5
2003 - 2007	22'940	2.3
2007 - 2012	5'255	0.6

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
SPC1	2008-2014	4'621	1.05	-0.17	0.88
SPC2	2008-2014	3'130	2.11	12.54	14.65
SPC3	2008-2014	1'096	-5.15	143.55	138.40

		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	420	256	37	8	0	0	0	0	0	0	0	0	721
30	40	1513	1442	254	93	31	3	0	0	0	0	0	0	3336
40	50	4552	2750	344	105	196	31	171	71	23	0	0	0	8243
50	60	3087	2786	2370	886	712	320	45	117	67	0	0	0	10390
60	70	3434	2299	2182	221	99	62	10	11	9	0	0	0	8327
70	80	2273	2431	433	84	35	8	3	8	4	0	0	0	5279
80	90	8092	3088	801	154	32	8	4	0	0	0	0	0	12179
90	100	16632	1194	174	51	1	0	0	0	0	0	0	0	18052
100	110	11762	328	30	13	0	0	0	0	0	0	0	0	12133
110	120	5779	129	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5926
120	130	551	126	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	686
130	140	29	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
140	150	157	34	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	195
150	160	49	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
160	170	616	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	616
170	180	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
180	190	255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255
190	200	177	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178
200	360	13241	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13242
Σ		72664	16985	6656	1615	1106	432	233	207	103	0	0	0	100001



Statistica estremi

Settore di BORA					Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°	T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]		[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.2	10.0	6.7	55	1	2.0	9.4	5.7	89
10	4.3	12.8	7.0	54	10	2.5	10.0	6.5	86
50	4.3	14.0	7.1	54	50	2.8	10.3	6.7	85
100	4.3	14.1	7.1	54	100	2.9	10.6	6.8	85



Cella RO 4

Da foce Po di Maistra
a busa Tramontana

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 5

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da Busa di Tramontana a Busa Dritta
Comune	Porto Tolle (RO)
Lunghezza cella	3850 m
Direzione normale alla spiaggia	40° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	195'133	197'646	749'110
Q potenziale [m ³ /anno] medio	220'471	220'475	969'427
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	377'984	383'082	956'881

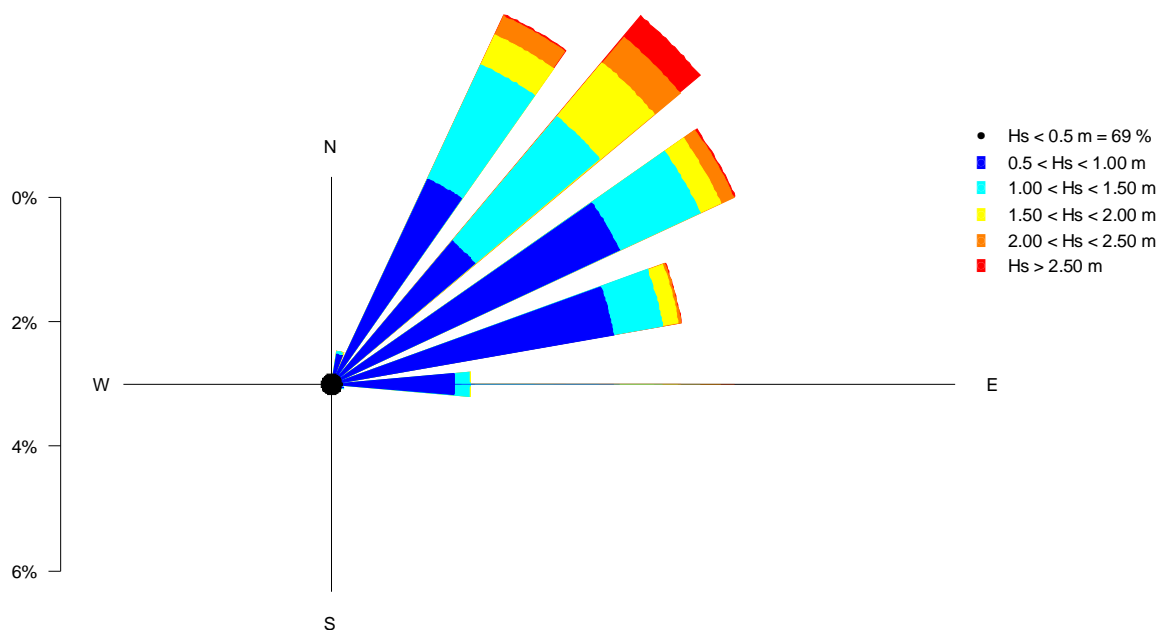
Trasporto Fluviale		
Q solida Po di Pila	3'465'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	38'193	11.0
2000 - 2003	70'021	20.6
2003 - 2007	2'188	0.7
2007 - 2012	1'237	0.3

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
BPC1	2008-2014	2'262	1.93	2.09	4.02
BPC2	2008-2014	1'119	7.37	6.30	13.68

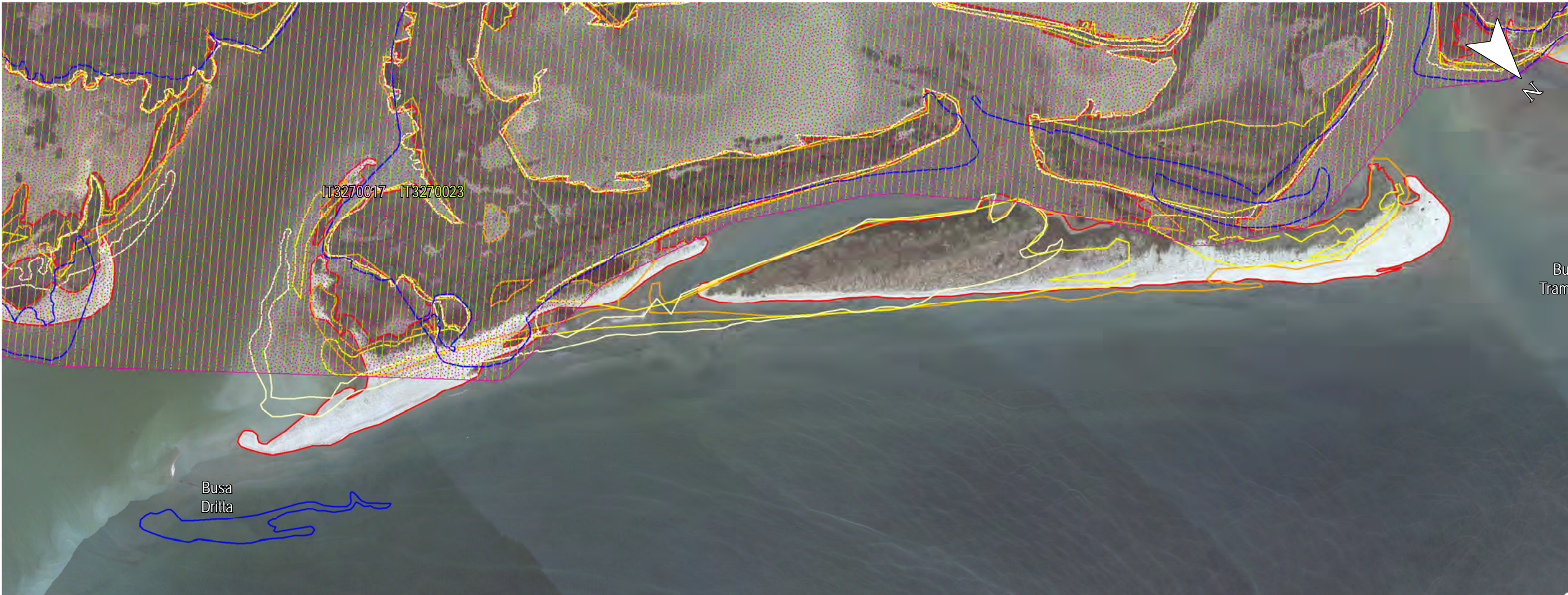
		Hs [m]												Σ
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
DIR1	DIR2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	22	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
20	30	247	490	44	3	1	0	0	0	0	0	0	0	785
30	40	1884	1260	60	277	52	12	15	0	4	0	0	0	3564
40	50	5431	2378	1966	251	282	14	190	115	32	0	0	0	10659
50	60	3093	3007	2611	1131	538	428	227	147	92	0	0	0	11274
60	70	2571	2973	1046	234	121	20	62	16	11	0	0	0	7054
70	80	2678	2119	382	131	112	8	12	8	0	0	0	0	5450
80	90	6777	4593	796	260	41	7	5	4	0	0	0	0	12483
90	100	17204	1523	222	10	4	0	0	0	0	0	0	0	18963
100	110	7997	448	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8469
110	120	5966	190	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6168
120	130	992	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1064
130	140	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107
140	150	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
150	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	22	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
170	180	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	360	13879	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13879
Σ		68900	19060	7163	2297	1151	489	511	290	139	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.2	10.0	6.7	53
10	4.3	11.0	7.0	52
50	4.4	14.0	7.2	52
100	4.4	14.1	7.2	52

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	2.3	9.5	6.8	84
10	3.0	10.0	6.8	83
50	3.3	10.5	6.8	83
100	3.4	10.7	6.9	82



Cella RO 5

Da busa Tramontana
a busa Dritta

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

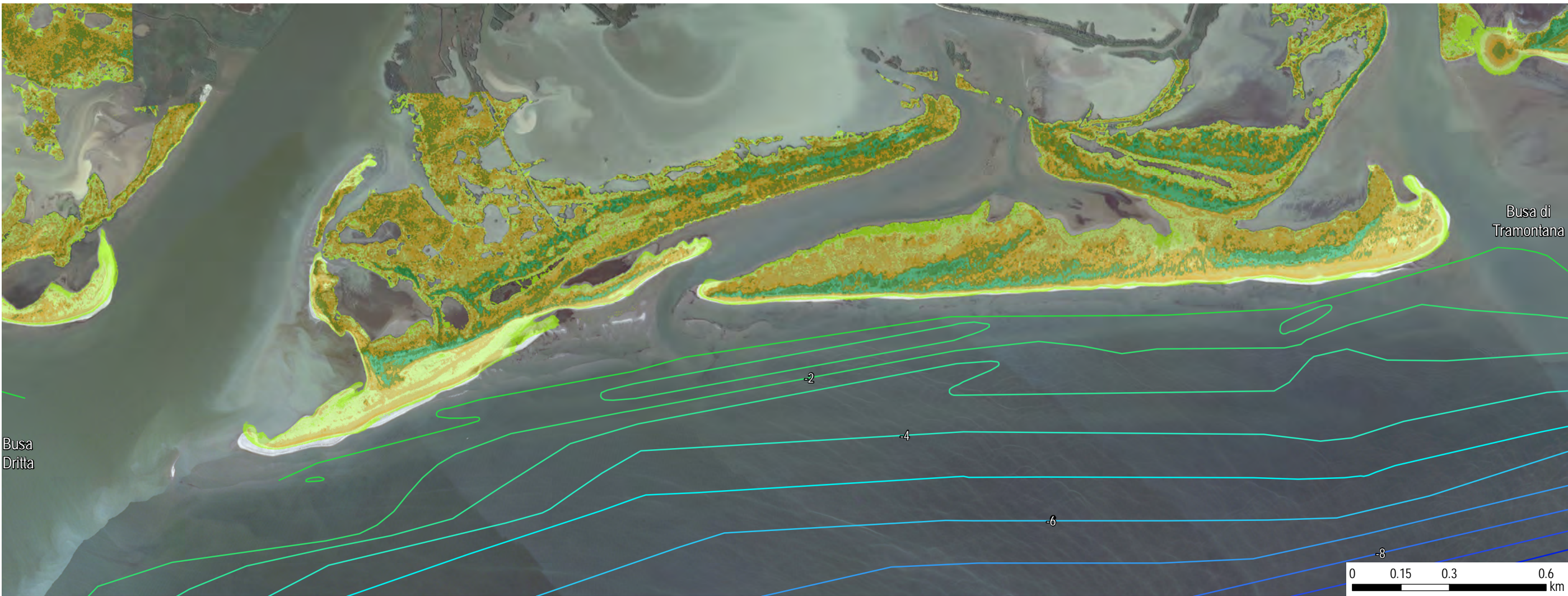
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 6

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da Busa Dritta a Busa di Scirocco
Comune	Porto Tolle (RO)
Lunghezza cella	6500 m
Direzione normale alla spiaggia	120° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-429'477	445'921	-950'214
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-340'814	553'948	-506'431
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-305'843	423'809	-536'493

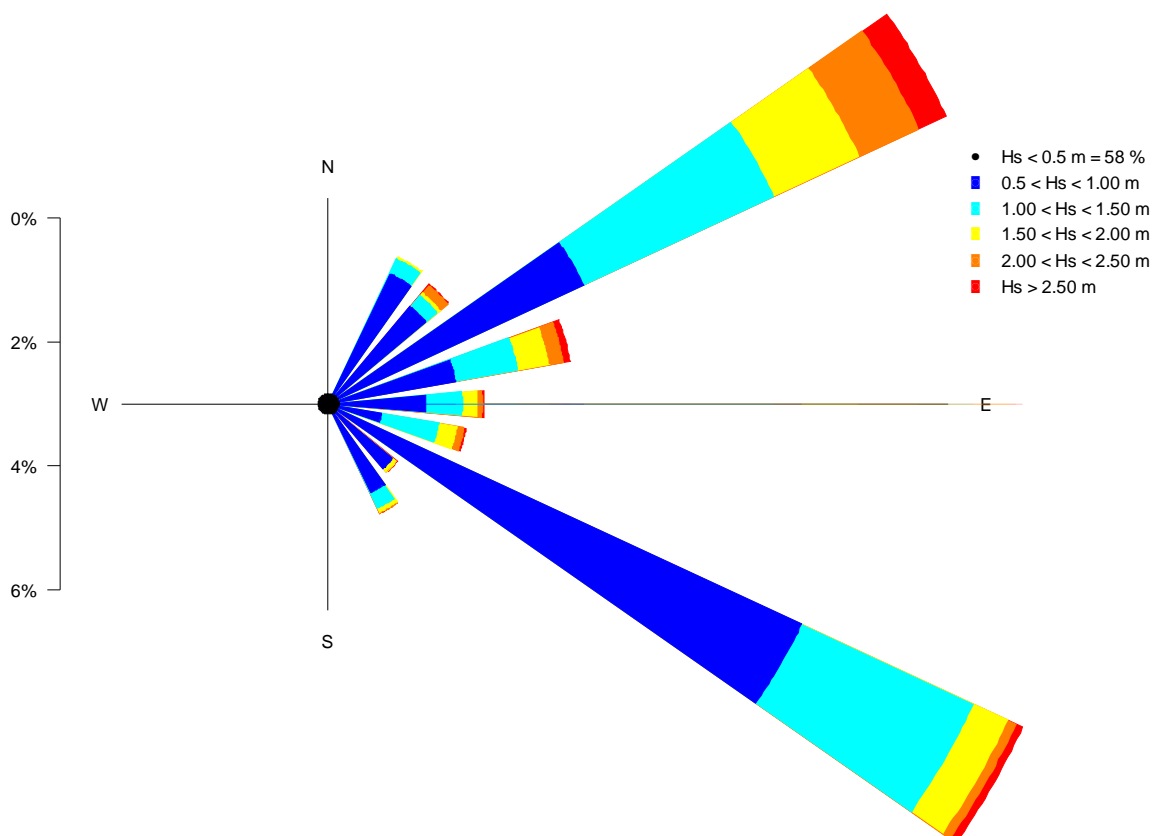
Trasporto Fluviale		
Q solida Po di Pila	3'465'000	m ³ /anno

Subsidenza		
	~ 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	2'860	0.7
2000 - 2003	27'833	6.2
2003 - 2007	8'378	1.7
2007 - 2012	-4'236	-0.9

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
BPC3	2008-2014	4'931	4.22	63.00	67.22

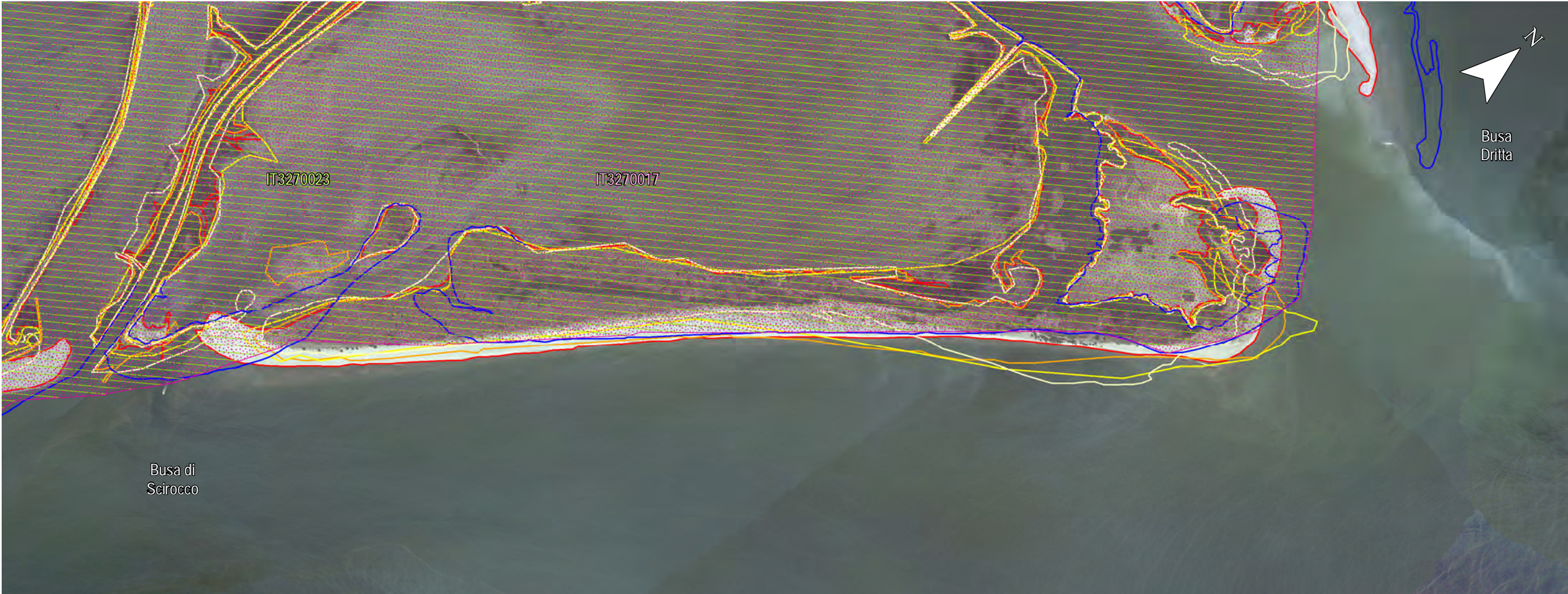
		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	411	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	502
40	50	5695	2232	260	37	0	0	0	0	0	0	0	0	8224
50	60	3540	2054	233	58	162	16	108	4	0	0	0	0	6175
60	70	1509	3124	2427	912	676	290	357	126	0	0	0	0	9421
70	80	2631	1415	958	606	381	199	183	242	24	0	0	0	6639
80	90	1293	2080	1017	507	240	110	83	20	40	0	0	0	5390
90	100	1281	784	307	141	37	16	4	4	12	0	0	0	2586
100	110	1534	780	286	103	45	12	37	8	8	0	0	0	2813
110	120	1874	871	935	299	116	33	44	12	4	0	0	0	4188
120	130	10414	3391	2723	398	91	100	45	28	8	0	0	0	17198
130	140	5459	5024	334	213	58	20	0	20	0	0	0	0	11128
140	150	4123	1367	0	70	0	12	0	4	0	0	0	0	5576
150	160	2211	1437	198	70	20	4	0	0	0	0	0	0	3940
160	170	1625	150	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1850
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	360	14370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14370
Σ		57970	24800	9753	3414	1826	812	861	468	96	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.1	10.0	6.7	80
10	4.2	13.0	6.9	81
50	4.2	14.0	7.1	81
100	4.2	14.1	7.1	81

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.7	9.5	6.5	127
10	4.0	10.1	6.7	126
50	4.1	10.6	6.8	126
100	4.1	10.8	6.8	126



Cella RO 6

Da busa Dritta
a busa di Scirocco

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

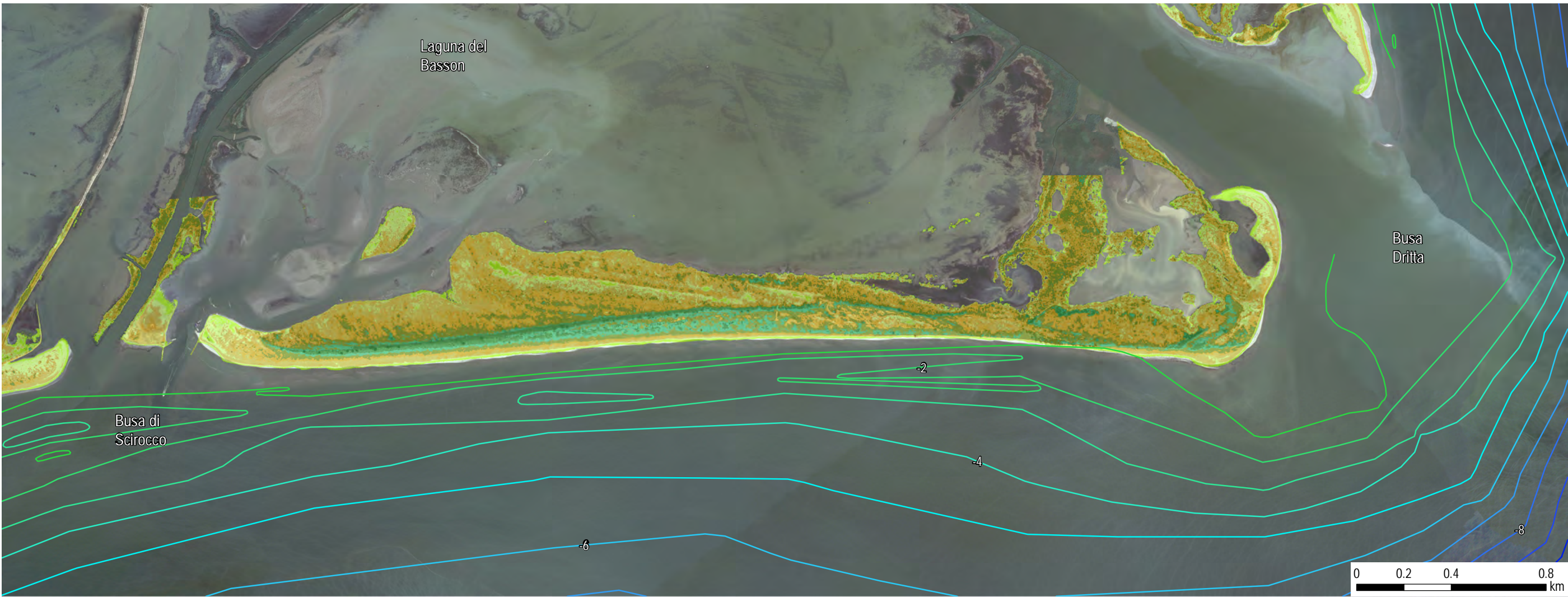
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 7

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da Busa di Scirocco a Busa Storiona
Comune	Porto Tolle (RO)
Lunghezza cella	6100 m
Direzione normale alla spiaggia	110° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Scogliera in pietrame	Realizzata presso la sacca Canarin dal Consorzio di bonifica Delta del Po
Armatura Sud e Nord Busa del Bastimento	Scogliera in pietrame realizzata dal AIPO
Palificata Busa del Bastimento	Realizzata con pali in legno
Armatura Nord Busa Storiona	Molo in pietrame realizzato dal AIPO

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-312'166	392'310	-663'687
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-210'012	264'408	-603'868
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-181'700	374'719	-363'153

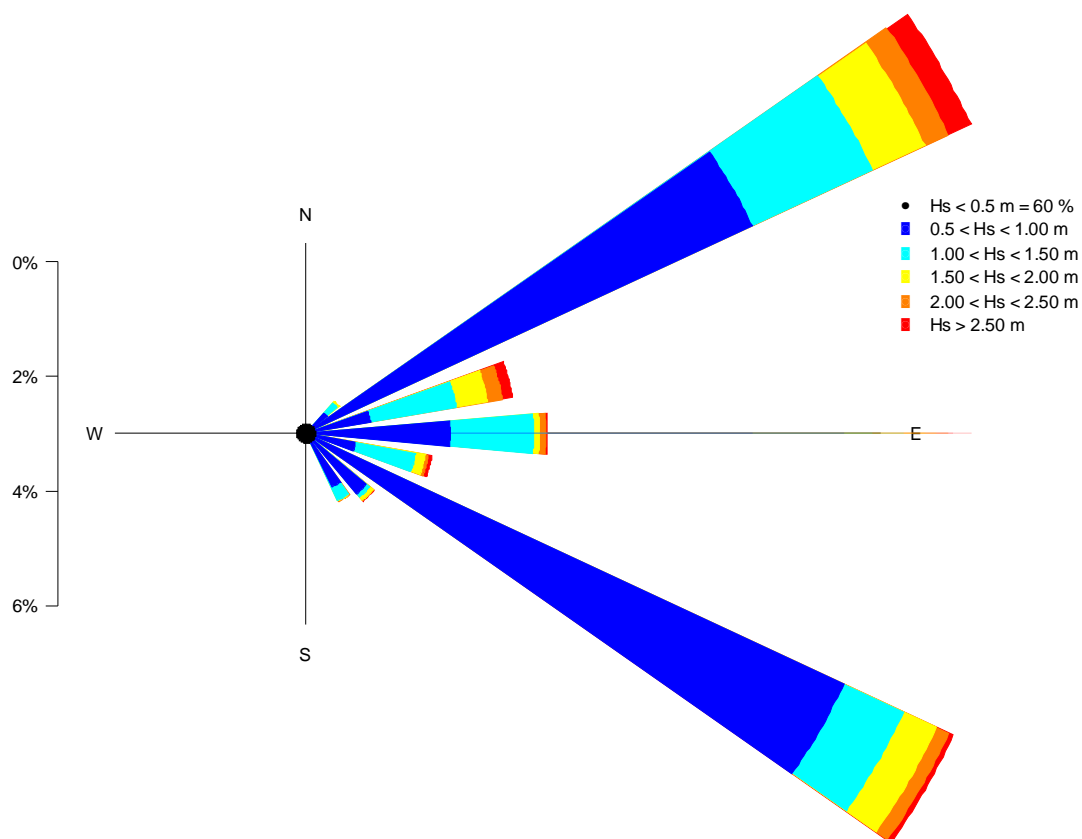
Subsidenza	
- 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-25'938	-3.8
2000 - 2003	-6'410	-1.1
2003 - 2007	5'842	0.8
2007 - 2012	-3'911	-0.6

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)

Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
BPC4	2008-2014	585	19.83	27.50	47.33
BAC1	2008-2014	3'146	-6.19	8.64	2.45
SBC1	2008-2014	2'905	-6.93	-13.70	-20.64

		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	2857	91	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2976
50	60	5004	477	232	37	0	0	0	0	0	0	0	0	5750
60	70	3540	4468	689	220	16	83	0	4	0	0	0	0	9020
70	80	2837	4096	1613	792	431	357	157	69	0	0	0	0	10352
80	90	1303	1139	1515	551	260	183	100	166	8	0	0	0	5225
90	100	2574	1725	922	70	49	16	4	24	24	0	0	0	5408
100	110	1534	780	530	29	65	12	8	4	12	0	0	0	2974
110	120	1874	871	1064	170	54	62	20	12	4	0	0	0	4131
120	130	10414	5302	812	398	186	83	85	16	0	0	0	0	17296
130	140	8159	5024	334	238	53	4	8	16	0	0	0	0	13836
140	150	1423	1367	79	70	8	12	0	0	0	0	0	0	2959
150	160	4392	1031	252	12	16	0	0	0	0	0	0	0	5703
160	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	360	14370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14370
Σ		60281	26371	8070	2587	1138	812	382	311	48	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.0	10.0	6.7	89
10	4.1	13.0	6.9	91
50	4.1	14.0	7.0	91
100	4.1	14.1	7.0	91

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	9.5	6.5	127
10	3.9	10.1	6.6	127
50	4.0	10.6	6.7	126
100	4.0	10.8	6.7	126



Cella RO 7

Da busa di Scirocco
a busa Storiona

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

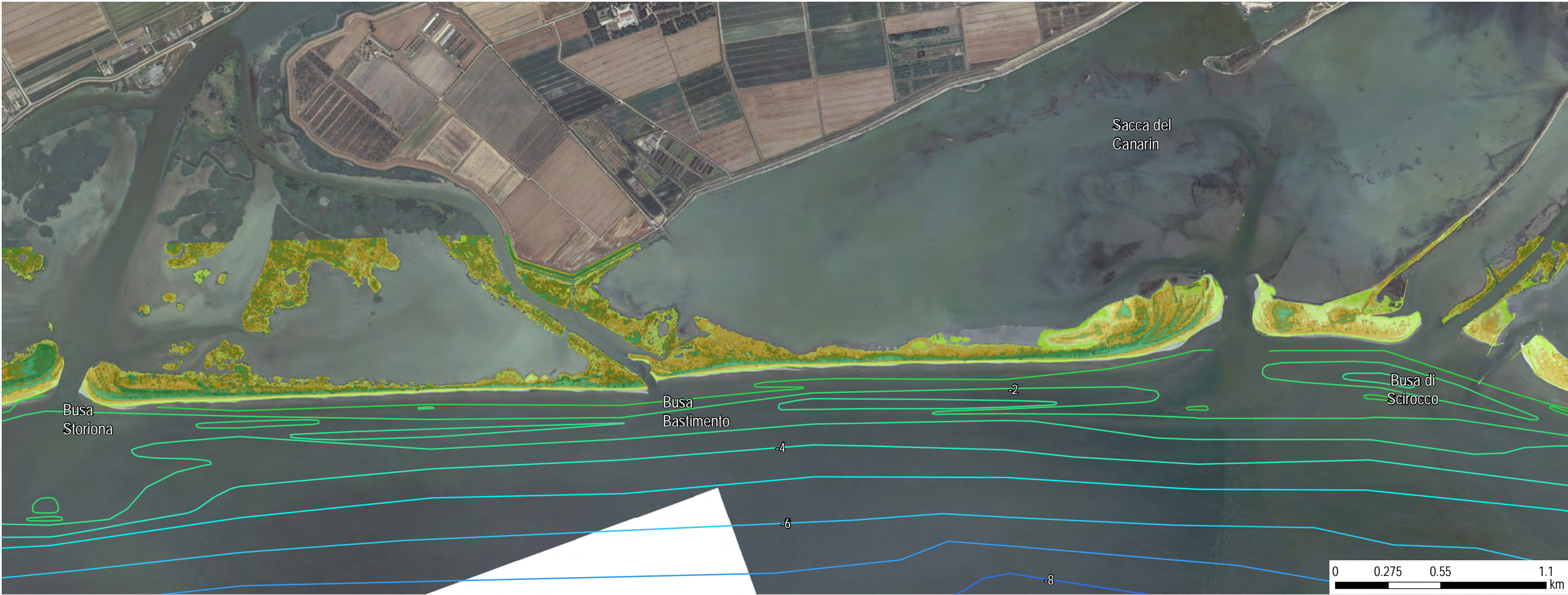
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 8

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da Busa Storiona a foce Po di Tolle
Comune	Porto Tolle (RO)
Lunghezza cella	4300 m
Direzione normale alla spiaggia	115° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Armatura Sud Busa Storiona	Molo in pietrame realizzato dal AIPO
Scogliera foce Po di Tolle	Scogliera in pietrame realizzata nel 2003
Soffolta	Scogliera soffolta in pietrame realizzata presso la spiaggia Barricata, realizzata nel 2003 e completata nel 2011

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-219'085	348'506	-640'098
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-181'276	276'462	-529'791
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-102'276	103'083	-351'600

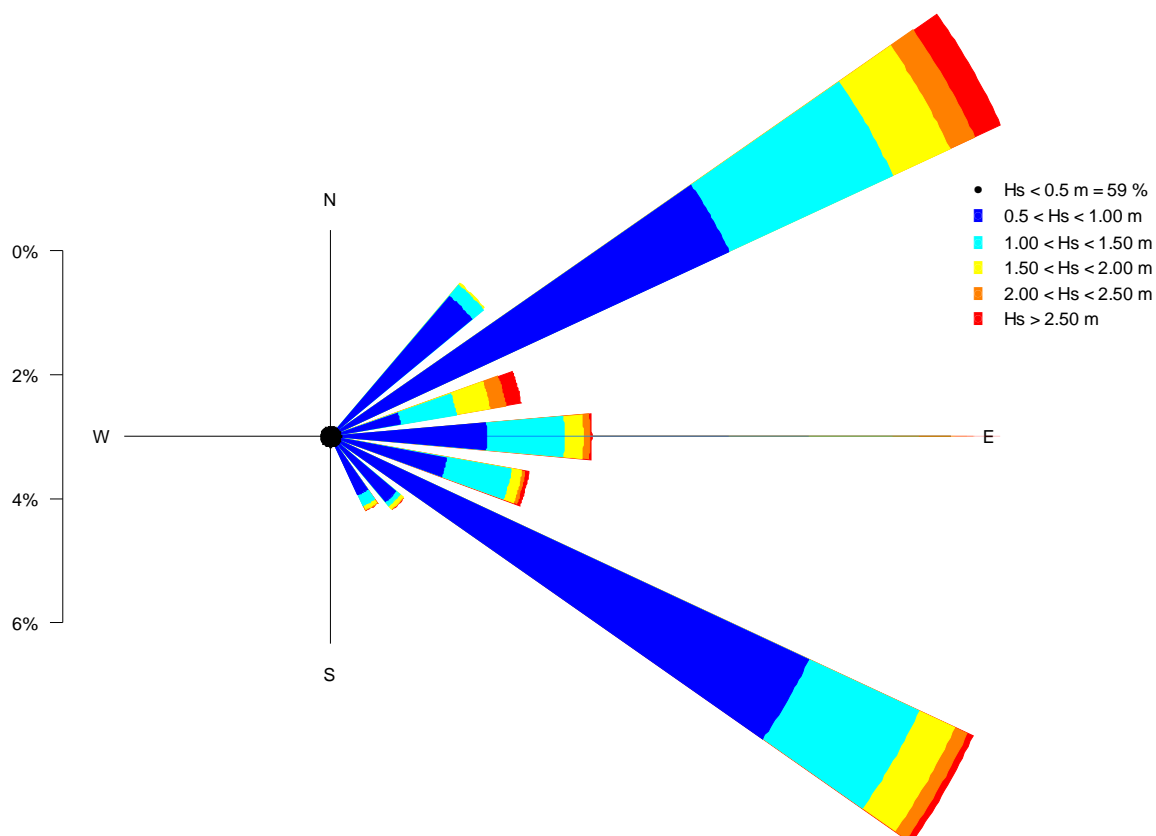
Trasporto Fluviale			
Q solida Po di Tolle	864'000	m ³ /anno	

Subsidenza			
	~ 3.00	mm/anno	

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	6'526	2.2
2000 - 2003	7'215	2.5
2003 - 2007	15'012	4.5
2007 - 2012	11'308	3.4

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
SBC2	2008-2014	3'156	3.44	29.70	33.14

		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	2857	91	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2976
50	60	5844	2963	232	37	0	0	0	0	0	0	0	0	9076
60	70	1700	2982	689	220	16	83	0	4	0	0	0	0	5694
70	80	2837	4096	2219	792	431	382	181	32	0	0	0	0	10970
80	90	1303	1139	909	551	260	250	33	138	40	0	0	0	4623
90	100	2574	1725	718	274	86	16	4	16	20	0	0	0	5433
100	110	1534	780	530	29	28	12	8	0	12	0	0	0	2933
110	120	1874	1890	1064	170	54	62	20	12	4	0	0	0	5150
120	130	10414	3466	1629	398	169	104	65	32	4	0	0	0	16281
130	140	8159	5024	334	238	53	0	8	16	0	0	0	0	13832
140	150	1423	1367	79	70	8	12	0	0	0	0	0	0	2959
150	160	2767	881	119	70	12	4	0	0	0	0	0	0	3853
160	170	1625	150	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1850
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	360	14370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14370
Σ		59281	26554	8625	2849	1117	925	319	250	80	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.0	10.0	6.7	88
10	4.1	13.0	6.9	90
50	4.1	14.1	7.0	90
100	4.2	14.1	7.0	89

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	9.5	6.4	127
10	3.9	10.1	6.6	126
50	4.0	10.6	6.7	125
100	4.0	10.7	6.8	125



Cella RO 8

Da busa Storiona
a foce Po di Tolle

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

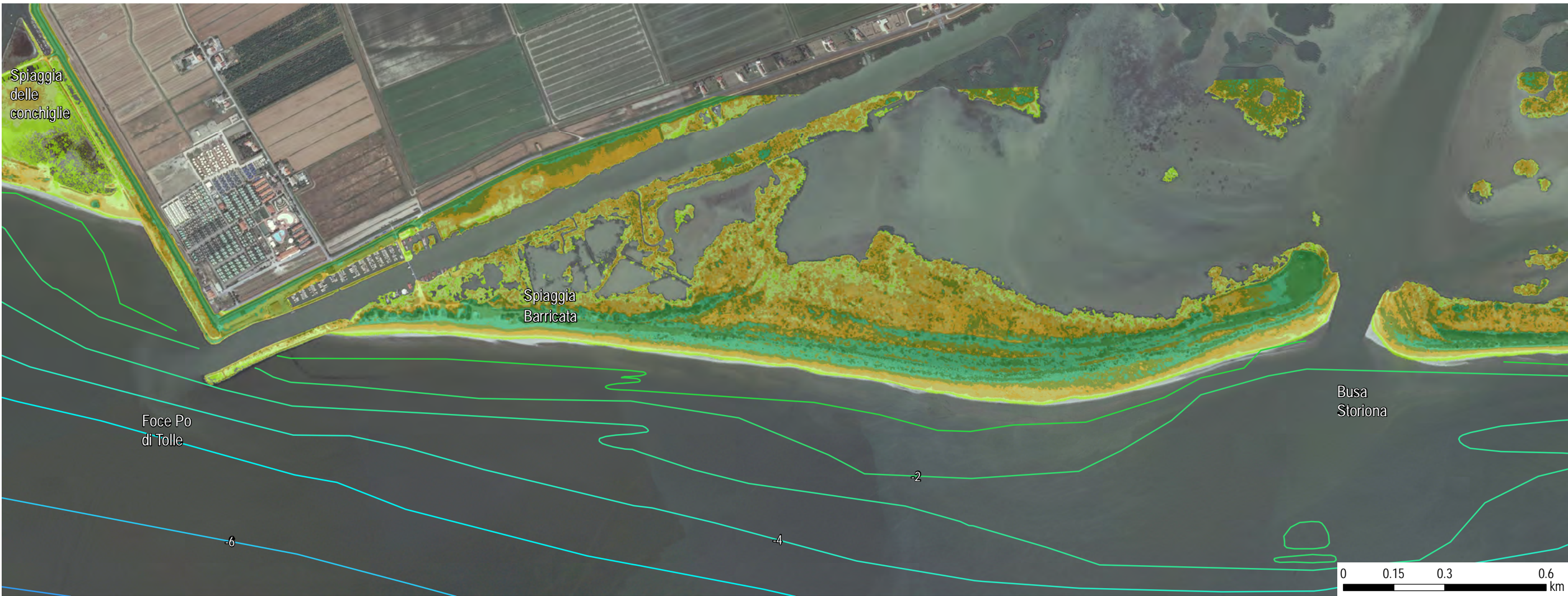
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 9

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	foce Po di Tolle a foce Po di Gnocca
Comune	Porto Tolle (RO)
Lunghezza cella	5200 m
Direzione normale alla spiaggia	120° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Saccata	Realizzata in sacchi di sabbia presso la spiaggia delle Conchiglie nel 2010 dal Genio Civile di rovig
Bocca artificiale Sacca di Scardovari	Scogliera in pietrame realizzata dal Consorzio di Bonifica del Delta del Po
Scogliera	Scogliera in pietrame a protezione dello Scanno di Scardovari, completata nel 2010
Scogliera	Scogliera in pietrame, realizzata nel 1997 e risistemata nel 2008 a protezione dello scanno a Nord della Foce Po di Gnocca

Ripascimenti			
POSIZIONE	VOLUME		ANNO
Litorale di Porto Tolle, spiaggia delle Conchiglie	30'000	m ³	Marzo - Giugno 2010

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-178'831	219'895	-247'583
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-139'803	143'192	-809'050
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-178'272	306'869	-521'068

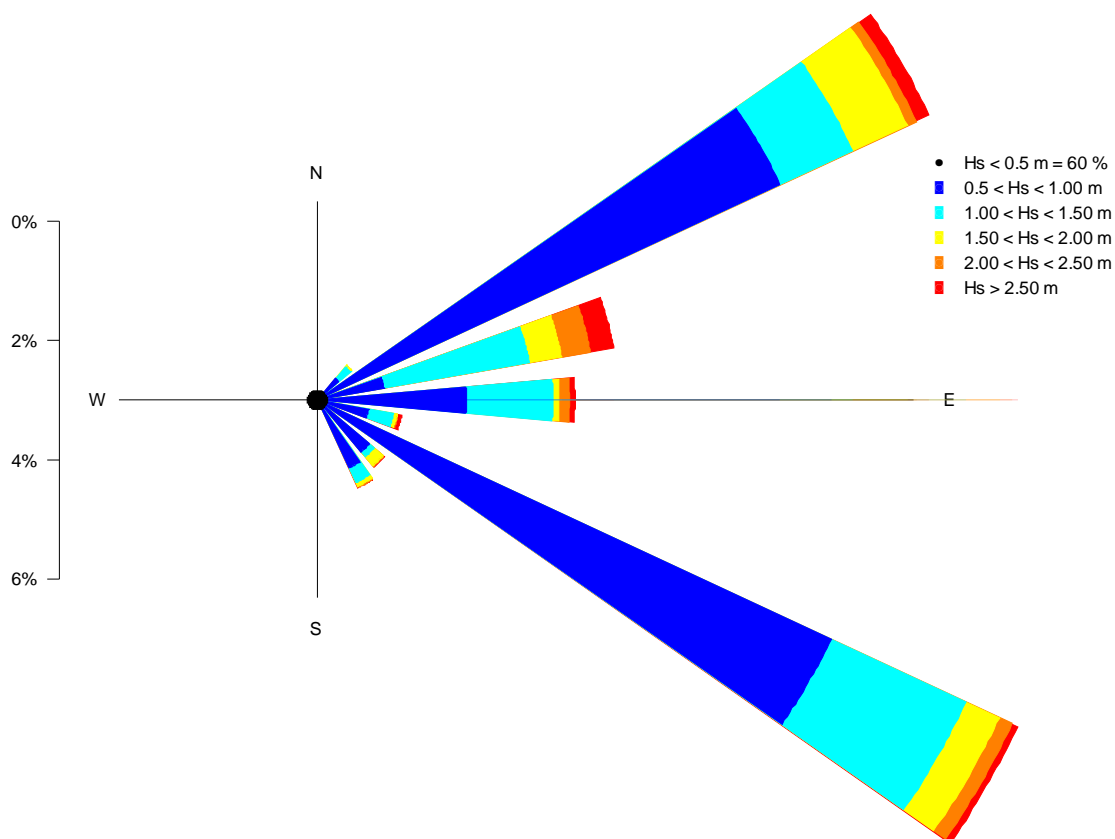
Trasporto Fluviale			
Q solida Po di Tolle	864'000	m ³ /anno	
Q solida Po di Gnocca	648'000	m ³ /anno	

Subsidenza			
	~ 3.00	mm/anno	

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-12	0.0
2000 - 2003	-75'870	-24.8
2003 - 2007	78'217	24.4
2007 - 2012	2'046	0.6

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
SSC1	2008-2014	1'267	7.11	-6.97	0.14
SSC2	2008-2014	2'890	16.64	25.04	41.68
BBC1	2008-2014	2'535	0.00	102.29	102.29

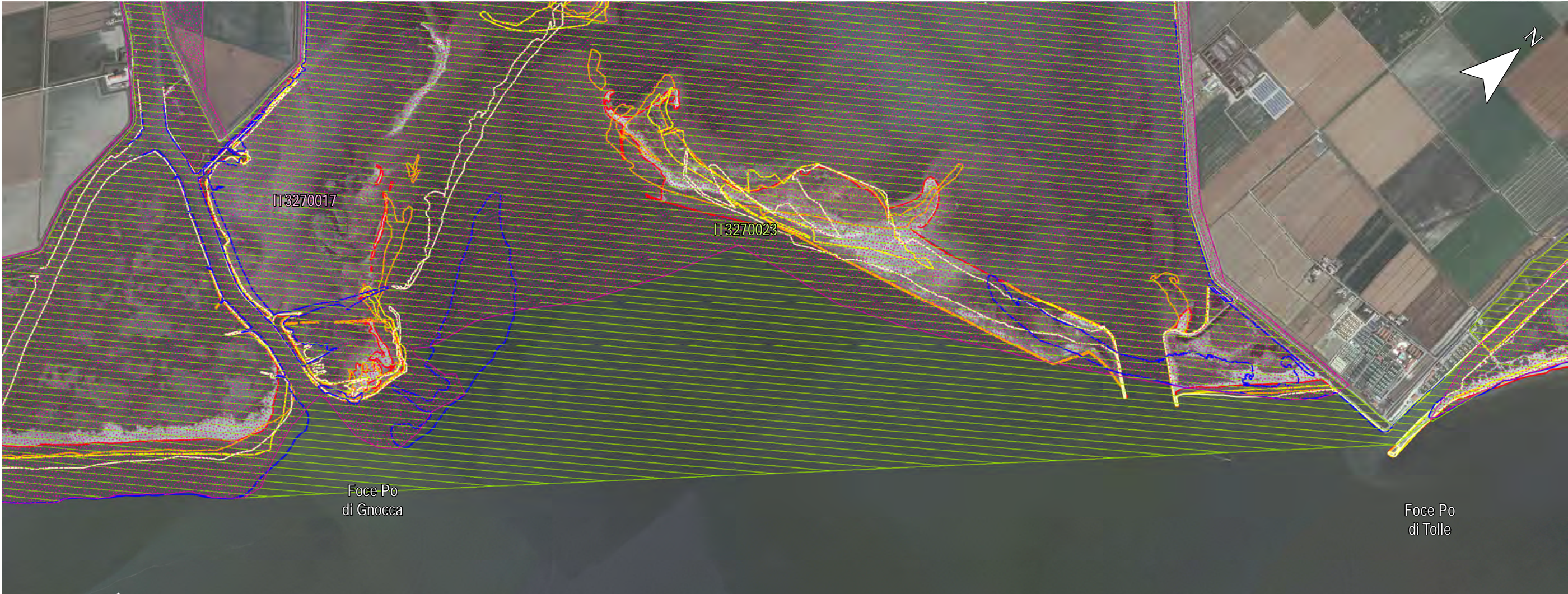
		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	411	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	502
50	60	7450	477	260	37	0	0	0	0	0	0	0	0	8224
60	70	3540	4472	229	154	4	0	0	0	0	0	0	0	8399
70	80	2837	4096	1111	858	165	237	57	4	0	0	0	0	9365
80	90	1303	1139	2473	551	489	399	157	142	16	0	0	0	6669
90	100	2574	941	615	70	110	83	4	40	36	0	0	0	4473
100	110	1534	1564	837	29	65	12	8	4	12	0	0	0	4065
110	120	1874	871	423	62	16	62	20	0	8	0	0	0	3336
120	130	10414	3391	2270	506	207	83	65	40	8	0	0	0	16984
130	140	8159	6118	227	113	33	21	8	12	4	0	0	0	14695
140	150	1423	1140	107	195	20	12	0	4	0	0	0	0	2901
150	160	3866	1108	198	70	20	4	0	0	0	0	0	0	5266
160	170	526	150	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	751
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	360	14370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14370
Σ		60281	25558	8825	2645	1129	913	319	246	84	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.0	10.0	6.7	92
10	4.1	13.0	6.9	94
50	4.1	14.1	7.0	94
100	4.1	14.1	7.0	93

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	9.5	6.5	130
10	4.0	10.1	6.6	130
50	4.1	10.6	6.7	129
100	4.1	10.7	6.8	129



Cella RO 9

Da foce Po di Tolle
a foce Po di Gnocca

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



Cella RO 10

DESCRIZIONE CELLA

Estensione cella	da foce Po di Gnocca a foce Po di Goro
Comune	Ariano nel Polesine (RO)
Lunghezza cella	2700 m
Direzione normale alla spiaggia	125° N
Piani di gestione territoriale	SIC IT3270017 - ZPS IT3270023 Delta del Po

INTERVENTI DI DIFESA

Opere	
TIPOLOGIA	INFORMAZIONI
Palificata	Realizzata in pali in legno presso la foce di Po di Goro nel 2007 dal Genio Civile di Rovigo

DINAMICHE EVOLUTIVE

Trasporto Solido			
	Bijker Net	Bijker Gross	CERC Net
Q potenziale [m ³ /anno] confine N	-162'235	282'948	-405'870
Q potenziale [m ³ /anno] medio	-139'267	162'819	-687'218
Q potenziale [m ³ /anno] confine S	-154'354	282'762	-390'229

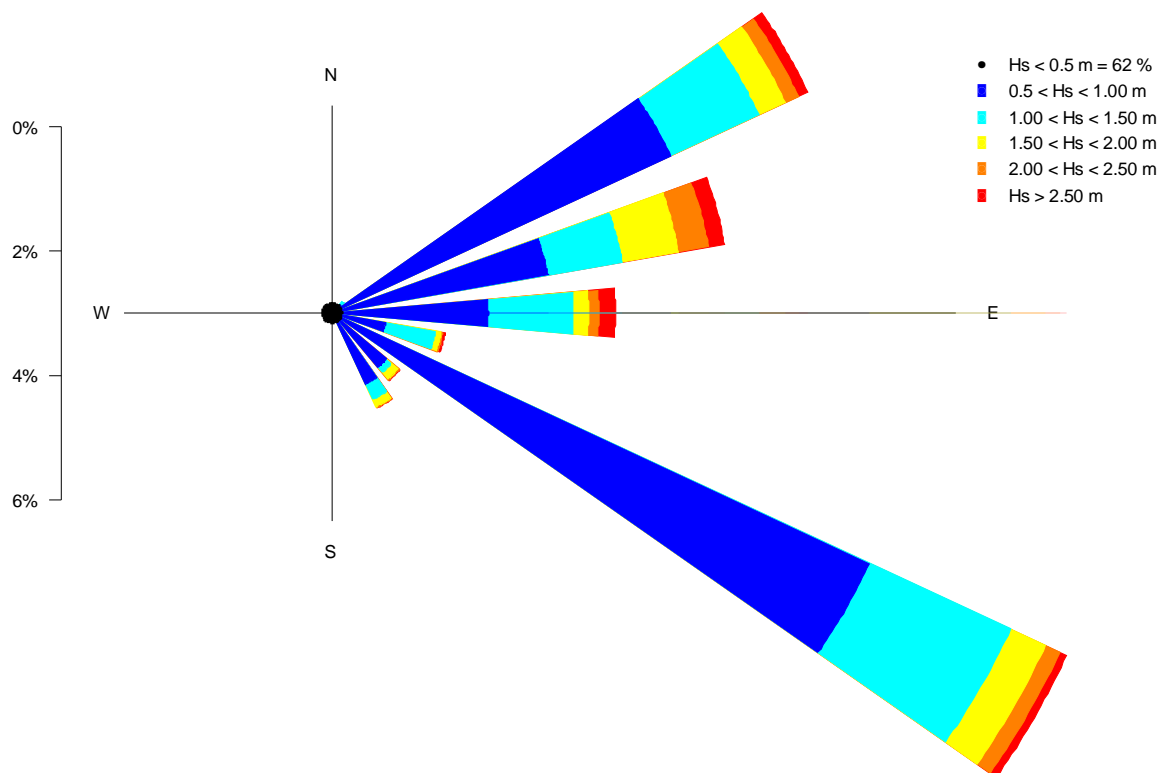
Trasporto Fluviale			
Q solida Po di Gnocca	648'000	m ³ /anno	
Q solida Po di Goro	432'000	m ³ /anno	

Subsidenza		
	~ 3.00	mm/anno

Variazione Linea di Riva		
Periodo di riferimento	Area[m ² /anno]	Variazione [m/anno]
CTR 83- 2000	-14'695	-6.5
2000 - 2003	-25'756	-11.6
2003 - 2007	-10'455	-4.6
2007 - 2012	-20'527	-9.2

Bilancio sedimentario "Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (Fontolan et al, 2014)					
Celle (da Sud verso Nord)	n° anni di riferimento	Lunghezza Cella [m]	Spiaggia emersa [m ³ /m/anno]	Spiaggia sottomarina [m ³ /m/anno]	Spiaggia Totale [m ³ /m/anno]
BBC2	2008-2014	2'531	-3.77	-41.56	-45.33
BBC3	2008-2014	1'107	-1.53	25.19	23.67

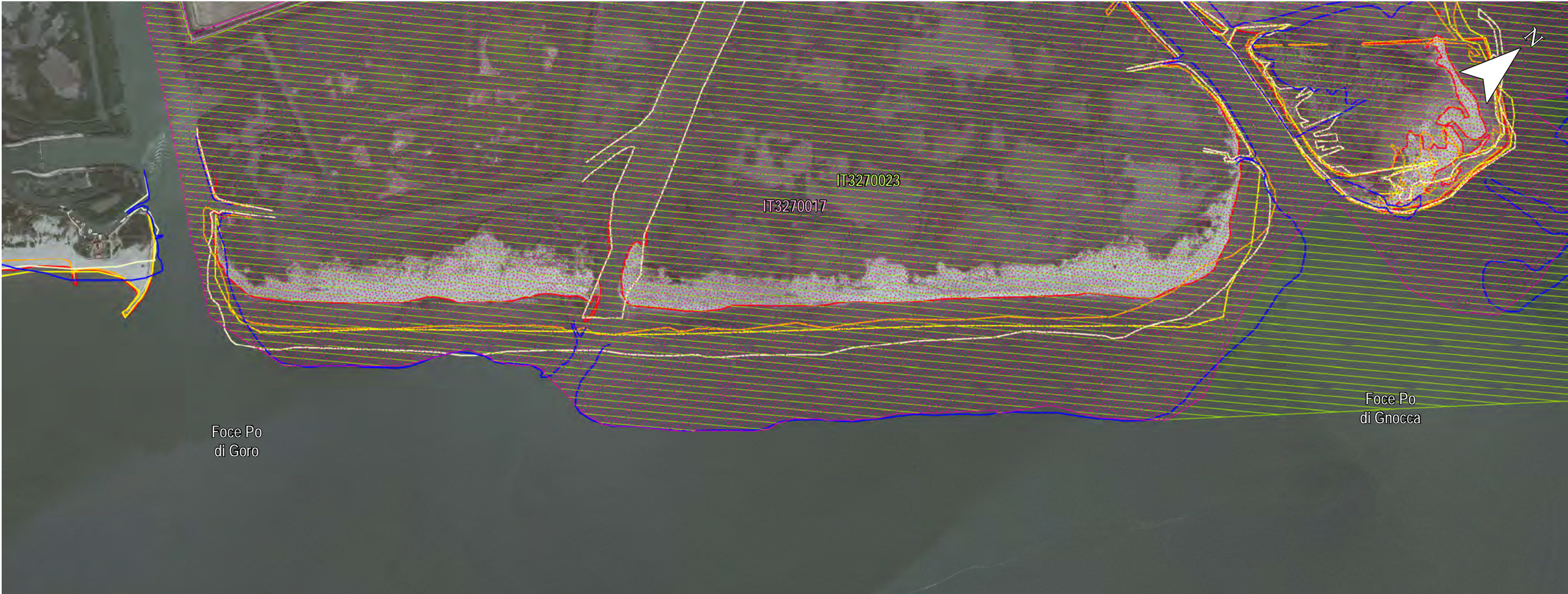
		Hs [m]												Σ
DIR1	DIR2	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	411	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	502
50	60	7450	182	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7702
60	70	5026	895	449	37	4	0	0	0	0	0	0	0	6411
70	80	1509	5095	1111	431	224	166	16	0	0	0	0	0	8552
80	90	2631	3512	1212	916	489	261	124	97	0	0	0	0	9242
90	100	1293	941	918	240	61	250	37	101	24	0	0	0	3865
100	110	2815	1564	448	0	102	20	0	20	8	0	0	0	4977
110	120	1874	871	812	91	28	37	8	0	8	0	0	0	3729
120	130	10414	3391	1786	278	207	71	85	40	8	0	0	0	16280
130	140	8159	6118	711	341	50	49	0	12	4	0	0	0	15444
140	150	1423	1140	107	137	20	12	8	4	0	0	0	0	2851
150	160	3866	1108	157	116	20	4	0	0	0	0	0	0	5271
160	170	526	150	116	12	0	0	0	0	0	0	0	0	804
170	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	360	14370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14370
Σ		61767	25058	7897	2599	1205	870	278	274	52	0	0	0	100000



Statistica estremi

Settore di BORA				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	4.0	10.1	6.7	95
10	4.1	13.0	6.9	96
50	4.1	14.0	7.0	96
100	4.1	14.1	7.0	96

Settore di SCIROCCO				
T _R	H _{m0}	T _P	T _m	Dir°
[anni]	[m]	[s]	[s]	
1	3.5	9.5	6.5	131
10	4.0	10.1	6.6	131
50	4.0	10.6	6.7	130
100	4.1	10.7	6.8	130



Cella RO 10

Da foce Po di Gnocca
a foce Po di Goro

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Linee di riva

- da CTR 81 - 83
- Ortofoto 2000
- Ortofoto 2003
- Ortofoto 2007
- Ortofoto 2012

Zone Rete Natura2000

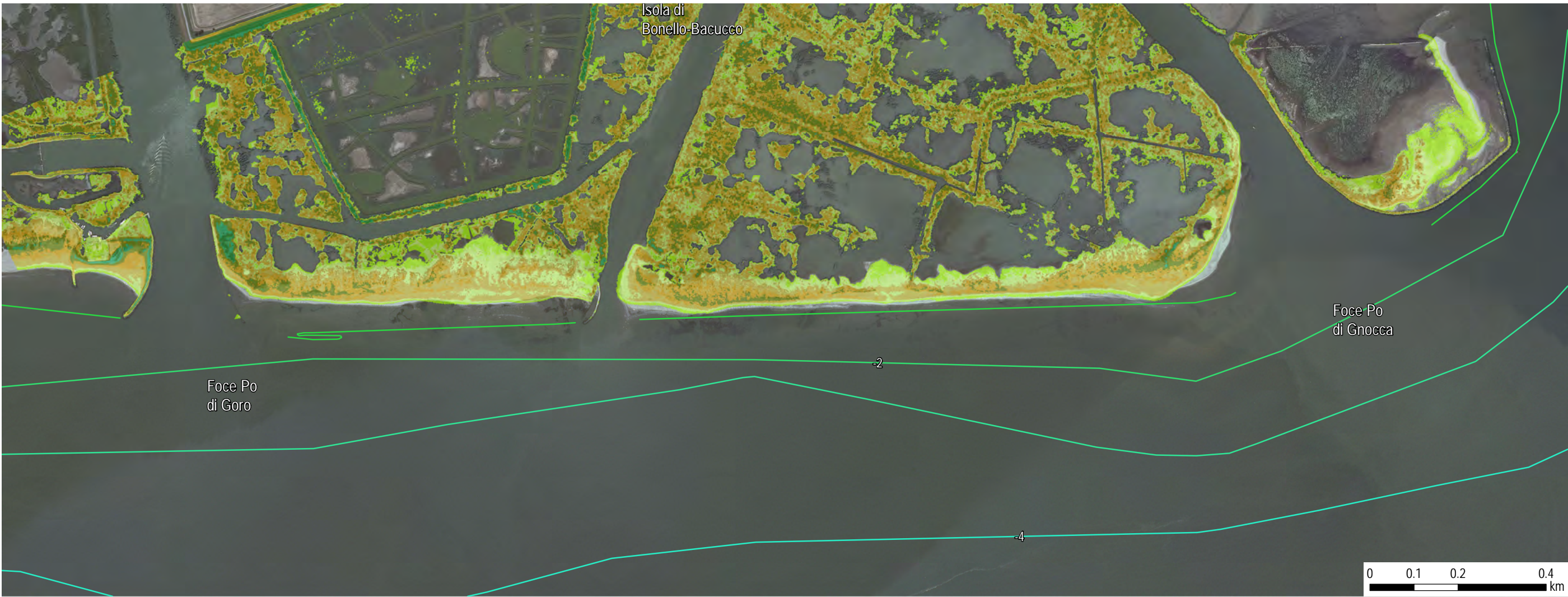
- SIC
- ZPS

DTM Lidar 2012

- < 0.5 m
- 0.5 m - 0.75 m
- 0.75 m - 1 m
- 1 m - 1.25 m
- 1.25 m - 1.5 m
- 1.5 m - 2 m
- 2 m - 2.5 m
- 2.5 m - 5 m
- > 5 m

Batimetriche 2014

- 1.0 m
- 2.0 m
- 3.0 m
- 4.0 m
- 5.0 m
- 6.0 m
- 7.0 m
- 8.0 m
- 9.0 m
- 10.0 m



14. CONCLUSIONI

14.1 PIANO DECENNALE DI SVILUPPO DEGLI ASPETTI CONOSCITIVI

La fase conoscitiva ha permesso di descrivere lo stato attuale dell'intero litorale del Veneto, valutando il recente trend evolutivo e formando un quadro utile alla pianificazione, gestione e monitoraggio degli interventi del prossimo decennio.

La raccolta organica delle informazioni e dei dati ha evidenziato una disomogeneità degli stessi dal punto di vista qualitativo, quantitativo e di modalità di catalogazione. Si ritiene dunque fondamentale che i tempi e i modi con cui vengono effettuate le campagne di raccolta dati siano ben definite e uniformi su tutta la costa della regione Veneto. Le modalità di raccolta dei dati verranno approfondite nell'allegato B.

Tab. 61 Aspetti conoscitivi

INFORMAZIONE/DATO	MODALITÀ	TEMPI
Rilievo dei profili topo-batimetrici e della linea di riva	Allegato B	Ogni 4 anni (contestuali al rilievo LIDAR)
Ortofoto	-	Ogni 2 anni (anni pari)
Rilievo LIDAR	-	Ogni 2 anni (anni dispari)
Dati di clima ondoso	Dati di clima ondoso sotto costa nei 42 punti individuati nel presente studio (elaborazioni CNR)	
Dati riguardanti l'apporto solido fluviale	Avviare una campagna di monitoraggio dei fiumi veneti (Piave, Adige, Brenta e Po) che comprende innanzitutto il rilievo del fondo e dei rilevati arginali, dati sulla composizione granulometrica dei sedimenti, curve di portata e dati di trasporto solido.	

Si ritiene fondamentale che i dati e le informazioni siano raccolti e organizzati in maniera organica al fine di agevolarne la fruibilità e di conseguenza facilitare la pianificazione di interventi e strategie per la gestione della zona costiera.

La loro catalogazione e classificazione va realizzata in maniera omogenea, univoca e divisa nelle 20 celle litoranee individuate nel presente progetto. Si ritiene opportuno la creazione di database nel quale includere, per ogni cella:

- Ripascimenti effettuati (quantitativi e localizzazione precisa)
- Dragaggi effettuati (quantitativi e localizzazione precisa)
- Opere e interventi realizzati (tipologia, anno di costruzione, importo di massima etc.)
- Opere rimosse/ricostruite/risagomate (tipologia, anno, importo di massima etc.)

Per la stesura di tale progetto sono state realizzate schede riassuntive che possono essere utilizzate come base di partenza e di aggiornamento futuro.

14.2 IMPLEMENTAZIONE DI UN DATABASE GIS

Durante la stesura del presente studio è stato implementato un database GIS (Geographical Information System) contenente tutte le informazioni raccolte e tutte le elaborazioni effettuate. Tale strumento si è rivelato utile in fase di valutazione delle criticità lungo il litorale e di programmazione degli interventi necessari, poiché permette di rappresentare graficamente in un'unica piattaforma tutti i dati disponibili fornendo un quadro completo dello stato della costa veneta. Tale database è stato strutturato tenendo presente la divisione in celle morfologicamente omogenee e in ciascun dato è stata riportata tale classificazione. Questo permette di individuare facilmente le informazioni riguardanti una zona specifica del litorale. In particolare all'interno di tale strumento è possibile rappresentare le seguenti informazioni/elaborazioni:

- Stato della costa: informazioni territoriali (toponimi, comuni, etc.), suddivisione della costa in celle litoranee, caratterizzazione opere presenti, individuazione siti Natura 2000 (SIC e ZPS), individuazione aree a rischio di ingressione marina (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE), informazioni sedimentologiche riguardanti la costa, valutazione del fenomeno della subsidenza, stima del trasporto solido litoraneo, indici di prioritizzazione e proposte progettuali
- Moto ondoso: informazioni sui punti dove sono stato calcolato il clima ondoso e le onde estreme, rappresentazione grafica del clima e della statica degli estremi.
- Variazione della linea di riva: linee di riva ricavate da Ortofoto, CTR, rilievi LIDAR.
- Rilievi topo-batimetrici: profili delle sezioni batimetriche rilevate e batimetrie sia recenti (2014) che passati (2007-2010). Sono presenti sia dati a scala globale che locale.
- Lidar: rilievi lidar DTM e DSM (dove presenti) che caratterizzano le altimetrie della zona costiera emersa in diversi anni.
- Immagine di base: Ortofoto di diversi anni (2000, 2003, 2007, 2012), Carta Tecnica Regionale.

Si ritiene pertanto opportuno inserire anche in futuro tutti i dati disponibili, i rilievi realizzati (sezioni topo-batimetriche, indagini sedimentologiche, ortofoto, rilievi LIDAR, etc.), le analisi e le stime effettuate in questa piattaforma GIS, che può essere considerata una solida base di partenza per aggiornamenti futuri. Nell'Allegato A sono state riportate le specifiche tecniche riguardanti i progetti GIS implementati.

14.3 PIANO DECENNALE DI SVILUPPO DEGLI ASPETTI TECNOLOGICI

Un altro aspetto che si ritiene fondamentale nella gestione del litorale riguarda la valutazione della fattibilità tecnica ed economica di tutti quegli interventi sulla costa che facciano uso di tecnologie, modalità costruttive e configurazioni non tradizionali. Tale valutazione deve essere esaminata previa dimostrazione dell'efficacia della proposta tramite studi con modelli idraulici e/o fisici (e.g. prove in laboratori specializzati). L'efficacia deve riguardare gli aspetti idraulici, tecnici/ingegneristici, economici e di impatto ambientale in relazione all'utilizzo di interventi "tradizionali".

GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA
STUDIO E MONITORAGGIO PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DEI LITORALI
DALL'EROSIONE NELLA REGIONE VENETO - LINEE GUIDA

FASE PROGETTUALE



15. OBIETTIVI E METODI

Come introduzione a questa fase progettuale dello Studio si vuole richiamare un passaggio tratto da "Considerazioni in margine all'evoluzione del litorale dell'Alto Adriatico" (Ruol & Matteotti, 1986): "Quanto poi alle opere di difesa realizzabili, nulla è più vero di quanto affermato da più esperti, e cioè che è meglio rimandare a domani tutto quello che si sarebbe forzati a fare oggi, in mancanza di una panoramica generale dei fenomeni. Purtroppo troppo spesso, incalzati da cadenze emotive di qualche evento eccezionale, si progettano opere in un tempo assai ristretto, ciò che certamente non conduce a soluzioni razionali".

Allo scopo di creare un'alternativa a questo approccio emergenziale non più adeguato al panorama attuale, si è cercato di dare un seguito alla prima fase conoscitiva dello studio (Fase A), dedicata alla comprensione dei fenomeni erosivi che interessano la costa del Veneto, pianificando gli interventi con criteri razionali in una scala temporale di qualche anno.

Obiettivo della fase progettuale dello studio, basato sulla documentazione raccolta nella fase A, è quindi la valutazione delle diverse tipologie di opere e interventi da porre in essere, sottolineando l'importanza del monitoraggio.

Viene fissata una strategia di intervento unica per l'intera Regione, individuando le tipologie di intervento più adatte in un'ottica di gestione del territorio su scala regionale e più idonee ad una gestione integrata della zona costiera, nel rispetto dei vincoli ambientali.

Al tal fine sono analizzati individualmente i tratti di litorale morfologicamente omogenei, già definiti nella fase A, valutando anzitutto le criticità e le priorità di intervento, per giungere alla definizione di idonee ipotesi progettuali in ciascun tratto. Tipicamente gli interventi individuati sono: ripascimenti artificiali, barriere sommerse, strutture tracimabili a cresta bassa, pennelli in massi o filtranti, ripristino dei cordoni dunali, altri interventi di conservazione ambientale e innovativi.

Da ultimo sono state stimate, ancorché in modo approssimato, le esigenze di manutenzione e le risorse necessarie per mettere a punto queste strategie.

16. INTERVENTI DI DIFESA DA EROSIONE E ALLAGAMENTO COSTIERO

16.1 LINEE GUIDA

L'erosione costiera è sostanzialmente dovuta ad un deficit del bilancio sedimentologico, ovvero le spiagge non hanno una sufficiente alimentazione di sabbia per mantenersi nelle condizioni attuali e la conseguenza di ciò è una tendenza all'arretramento della linea di riva. Il problema maggiore, perlomeno nella Regione Veneto, è legato alla riduzione degli apporti solidi fluviali a mare che sono venuti a mancare in conseguenza della gestione dei corsi d'acqua. Nel tempo si è assistito alla costruzione di dighe di sbarramento, realizzate per scopi idroelettrici, per la laminazione delle piene o per l'irrigazione, che hanno quasi totalmente intercettato il trasporto dei sedimenti. A questo si aggiungono i prelievi di sabbia dall'alveo dei fiumi, per scopi produttivi (e.g. costruzioni); l'unione di questi due fattori ha provocato dunque una sostanziale diminuzione dei quantitativi di sabbia che dunque non sono più sufficienti a garantire l'equilibrio delle spiagge. Queste sono le condizioni principali che hanno posto i litorali veneti in una condizione di criticità. A questi aspetti si sommano poi altri fattori, come la subsidenza (abbassamento dei fondali per effetto della compattazione dei terreni), dell'innalzamento del livello del mare e la realizzazione di opere costiere, quali i moli d'armatura delle foci fluviali o delle bocche lagunari che possono creare ripercussioni sulla evoluzione e sulla stabilità dei litorali limitrofi.

Per affrontare dunque il problema dell'erosione costiera si deve partire innanzitutto da un monitoraggio periodico del litorale (rilievo sistematico dei fondali, campagne di prelievo dei sedimenti etc.) e da uno studio approfondito delle dinamiche costiere coinvolte (moto ondoso, correnti, etc.). È fondamentale inoltre conoscere i piani di gestione attuati nel passato, le tipologie di opere presenti e la loro risposta alla dinamica costiera e la vocazione del litorale coinvolto dal punto di vista economico, sociale e ambientale.

La prima opzione da considerare per affrontare il problema dell'erosione è quella di cercare di capire cosa succederebbe se non si intervenisse, la cosiddetta "opzione zero". Questo perché esistono delle aree, ad alto valore ambientale, dove interventi di tipo tradizionale vanno valutati con maggior attenzione. Si tratta di aree non antropizzate, perlopiù caratterizzate dalla presenza di scanni litoranei o di isole-barriere o dall'esistenza di imboccature lagunari e foci fluviali. Una corretta gestione di tale litorale assume dunque tre diversi aspetti: l'aspetto puramente ingegneristico di difesa idraulica dall'allagamento costiero, un aspetto economico per il mantenimento dell'attività produttiva e un aspetto ambientale che miri a salvaguardare la ricchezza di habitat prioritari presenti. Dove c'è invece un elevato interesse turistico-balneare, come nella maggior parte delle coste venete (da Bibione a Albarella), è possibile giustificare l'adozione di interventi di protezione delle coste, sapendo tuttavia che non possono esistere soluzioni con validità temporale infinita. In tale situazione di squilibrio la realizzazione di un intervento cerca di andare in contrasto con una tendenza naturale, quella dell'erosione e il conseguente arretramento della riva, che di per sé dovrebbe avvenire. Rispetto a questo fenomeno si ritiene dunque opportuno, nella gran parte dei casi, combinare interventi morbidi, come i ripascimenti artificiali, a interventi rigidi, come le scogliere o i pennelli, avendo chiaro che si tratta di operazioni che hanno una vita di progetto limitata e che dovranno essere programmate e ripetute nel tempo.

La risorsa sabbiosa utile ad effettuare interventi di ripascimento può essere ricavata da cave marine al largo, oppure in corrispondenza delle barre di foce fluviali o in zone di accumulo lungo la costa, riutilizzando questo materiale per le zone in erosione (ad esempio prelevando sabbia in prossimità di moli d'armatura che intercettano i sedimenti). Un altro importante aspetto della gestione costiera consiste nella ricostruzione dei cordoni dunali che proteggono le spiagge e l'entroterra dalla possibile ingressione marina e che fungono da serbatoi di sabbia ai quali il mare può attingere in condizioni di mareggiate eccezionali.

La combinazione di soluzioni diverse può aiutare a prolungare la vita tecnica dei ripascimenti, che di solito si aggira intorno alla decina d'anni, e più in generale delle opere di difesa. Per garantire poi una maggiore efficacia delle misure, si deve costruire un sistema previsionale, basato sul monitoraggio dello stato di salute delle coste, delle modificazioni a cui sono sottoposte e cercare di definire la loro possibile evoluzione per operare al meglio nel futuro.

La necessità dunque di cambiare la strategia di programmazione e progettazione degli interventi è fondamentale per poter affrontare le problematiche legate alla gestione delle zone costiere. Finora si è intervenuti nell'ottica dell'emergenza, con opere realizzate localmente senza però avere una visione generale, che riguarda la costa nel suo insieme. Ad esempio un sistema di pennelli ortogonali a riva o di barriere parallele, realizzato in una certa zona, intercetta una parte dei sedimenti che viaggiano con le correnti costiere e può garantire una relativa stabilità dell'arenile nel tratto protetto, ma nel contempo priva un'altra spiaggia più a valle della sua alimentazione di sabbie e dunque ne accelera il processo erosivo. Visto dunque il delicato equilibrio cui ci troviamo di fronte i modelli previsionali devono valutare correttamente il moto ondoso sotto costa, la subsidenza dei terreni costieri, il trasporto solido litoraneo, l'apporto dei fiumi e le prevedibili modificazioni climatiche (quali l'innalzamento del livello del mare). Queste indicazioni forniscono dati validi per stabilire le prevedibili evoluzioni e quindi per pianificare le più idonee strategie di intervento e di gestione delle zone costiere.

16.2 POSSIBILI TIPOLOGIE DI INTERVENTI

Le tipologie di intervento atte a contrastare i fenomeni erosivi o governare l'evoluzione morfologica dei litorali possono essere suddivise in due categorie: interventi strutturali e interventi non strutturali.

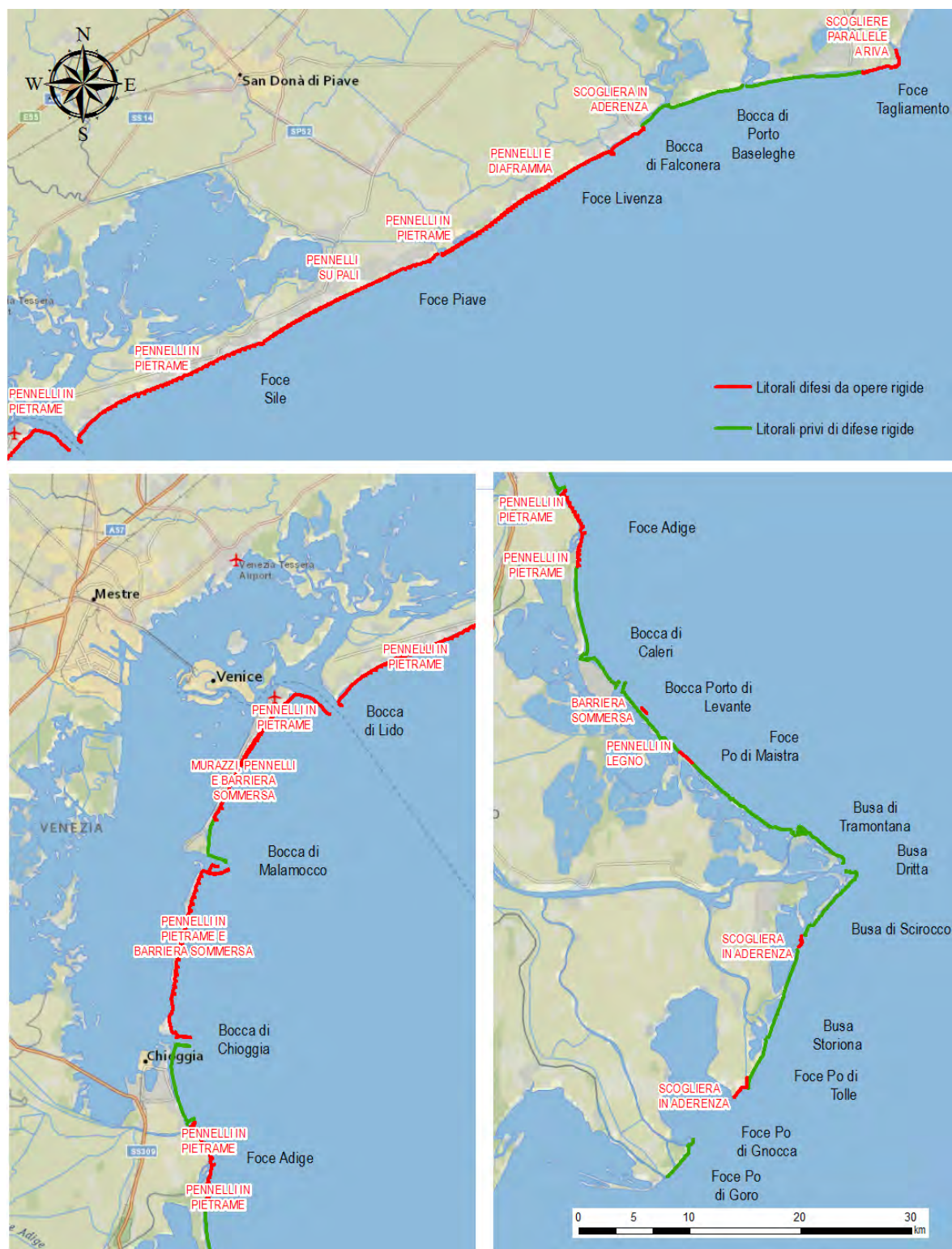


Fig. 107 Tipologie di interventi e opere presenti nel litorale Veneto

Nella prima tipologia la difesa della costa è affidata ad opere realizzate con elementi strutturali dimensionati per resistere nel tempo all'azione del mare e delle correnti (pennelli, barriere emerse e sommerse, ecc.). In generale, la loro funzione è quella di produrre perturbazioni della dinamica litoranea tali da provocare gli effetti desiderati sull'evoluzione morfologica dei fondali e

della linea di riva, ovvero di garantire la sicurezza nei confronti degli eventi meteomarinari per ambiti puntuali o diversamente estesi.

Per interventi non strutturali si intendono sia l'insieme di disposizioni normative e legislative atte a regolare l'utilizzo e la gestione del litorale (norme per la movimentazione dei sedimenti nella zona costiera, piani regolatori che definiscono gli abitati costieri e concessioni demaniali) sia quelle opere che vengono realizzate tramite risagomatura dei depositi sedimentari o apporto di nuovi sedimenti, provenienti o meno dal medesimo ambito costiero (ripascimenti, formazione o ricostruzione dune litoranee).

In Fig. 107 sono riportati i litorali della Regione Veneto classificati, in maniera semplificata, in base alla presenza o meno di opere rigide (interventi strutturali).

16.2.1 Interventi strutturali

- Muri e Gradonate

Queste opere sono strutture a parete verticale utilizzate per proteggere le aree retrostanti la spiaggia dall'azione del moto ondoso; possono essere realizzate in calcestruzzo armato, con palancole metalliche, con massi o blocchi di calcestruzzo.

Un uso improprio si traduce spesso in gravi fenomeni di erosione localizzata e ripercussioni negative sui litorali adiacenti, sia per i fenomeni di riflessione che questa tipologia di difesa determina sotto mareggiata, che per effetto delle concentrazioni di flusso che si realizzano a ridosso della stessa.

- Scogliere radenti

Le scogliere radenti (ad es. i "Murazzi") sono generalmente realizzate in materiale lapideo, disposto a formare una scarpata che si estende oltre la quota di massima risalita dell'onda; esse vengono utilizzate per risolvere criticità puntuali dove si vuole proteggere le zone retrostanti dal rischio di ingressione marina. Queste opere, così come i muri o gradonate appena descritti, hanno il compito di "fissare la linea di riva", ossia di bloccare l'arretramento della costa.

Tale sistema di difesa radente è stato largamente utilizzato in passato e oggi impiegata solo in situazioni nelle quali si temono rischi relativamente gravi a breve termine. Questi interventi sono infatti generalmente irreversibili, nel senso che difficilmente si arriverà alla naturale ricostruzione di una spiaggia emersa al piede di una difesa radente.

La lavorazione dei massi sulla scarpata può essere di diverse tipologie: massi alla rinfusa, massi lavorati a specchio, massi cementati. La lavorazione a specchio e la cementazione esaltano tuttavia i fenomeni di riflessione e risalita del moto ondoso, peggiorando la funzionalità della struttura e costringendo a realizzare opere di dimensioni elevate.

- Barriere frangiflutti sommerse ed emerse

Le barriere frangiflutti (emerse o sommerse) sono opere disposte parallelamente alla linea di riva, la cui funzione è quella di dissipare l'energia del moto ondoso incidente, proteggendo la zona retrostante e determinando un accumulo di sedimenti tra la barriera e riva. Se il trasporto solido parallelo a riva non è nullo, l'effetto di deposizione dei sedimenti può essere esercitato sia nei confronti della spiaggia di sopraflutto che di quella di sottoflutto.

La geometria di tale opera (dimensione dei varchi, lunghezza delle barriere, distanza da riva, larghezza, quota di coronamento) dovrebbe modificare lievemente l'andamento della linea di riva, generando un saliente a tergo della barriera stessa, ma garantendo una parziale continuità del trasporto solido litoraneo. Tuttavia, a causa della variabilità delle condizioni al contorno, non si arriva a definire una geometria ottimale e ciò provoca talora la formazione di un "tombolo", portando la linea di riva a toccare la barriera e la barriera stessa a funzionare di fatto come una difesa radente.

Per quanto riguarda le barriere con sommità situata al di sotto del livello medio del mare, esse possono essere divise in barriere sommerse (sommità < -1.0 m s.m.m.) e barriere tracimabili (sommità ≥ 0.0 m s.m.m.). La prima tipologia riduce l'energia dell'onda incidente del 20% e non induce piling up, la seconda invece riduce l'energia dell'onda per circa l'80% ma induce piling up.

- Pennelli

Il pennello è una struttura, opportunamente radicata a riva, disposta ortogonalmente alla linea di costa. Solitamente tali opere vengono realizzate in gruppi e risultano efficaci nelle zone in cui il trasporto parallelo alla linea di riva è elevato in una direzione. Il loro obiettivo è quello di intercettare il trasporto solido longitudinale, determinando un avanzamento della linea di riva sul lato di sopraflutto rispetto al verso del trasporto solido netto ed un corrispondente arretramento sottoflutto.

I pennelli possono essere realizzati in materiale lapideo o cementizio, sacchi o geotubi riempiti di sabbia, pali o palancole in legno o metalliche.

- Moli e armature di foce o di bocche lagunari

I moli sono strutture radicate a terra, pressoché ortogonali alla linea di riva, utilizzati per la stabilizzazione delle imboccature

portuali o lagunari o per l'armatura delle foci fluviali. Tali opere intercettano il trasporto solido longitudinale prevenendone l'intrusione e il deposito all'interno della bocca/foce. Possono essere realizzate in massi naturali o artificiali oppure con palancole metalliche o in calcestruzzo e si estendono verso mare fino a profondità più elevate rispetto ai pennelli.

- Argini

Sono strutture in terra tipicamente destinate alla protezione dell'entroterra dall'ingressione marina. Sono simili alle difese fluviali ma hanno un rivestimento idoneo a resistere all'azione diretta dell'onda o della sua risalita. A tale scopo possono essere utilizzati degli elementi artificiali. Diversamente dalle dune, non sono progettate per essere erose. Molto spesso possono essere integrati nel contesto urbano, sormontati da strade o ferrovie o svolgere la doppia funzione di argine a mare da un lato e argine fluviale dall'altro, come ad esempio, gli argini di prima difesa posti nel Delta del fiume Po.

- Strutture galleggianti

Questa tipologia di difesa comprende una serie di strutture innovative o comunque non usualmente utilizzate per la protezione della costa che possono avere anche funzioni complementari (ad esempio convertitori di energia ondosa).

Sono elementi in grado di contrastare l'azione dell'onda nella zona dei frangenti o al largo di questa (nel qual caso sono necessarie strutture imponenti), che non risentono significativamente della escursione di marea, permettono il ricambio idrico e interferiscono con il fondale solo in relazione al complesso sistema di ancoraggio. Possono essere collegati fra di loro o essere disposti con una elevata densità planimetrica.

- Ripascimento protetto

Il ripascimento protetto consiste nell'adozione di pennelli di lunghezza limitata e nella contestuale esecuzione di ripascimenti. Tale intervento consente di interferire in maniera controllata sul trasporto solido lungo riva, con lo scopo di stabilizzare la linea di riva in posizione più avanzata rispetto a quella iniziale. Rappresenta la soluzione maggiormente adottata negli ultimi anni e non fa eccezione il litorale della Regione Veneto.

- Difesa a celle

La difesa a celle risulta dalla combinazione di strutture emerse o sommerse, generalmente pennelli e barriere parallele a riva, realizzata in abbinamento ad un ripascimento strutturale per proteggere tratti di litorale entro i quali non vi siano apporti di sedimenti naturali. La difesa a celle si spinge quasi sempre a profondità e distanze da riva abbastanza elevate, in modo da permettere la realizzazione al suo interno di una spiaggia fruibile in ambito turistico-balneare. La spiaggia così formata risulta efficacemente protetta dall'azione del moto ondoso e delle correnti litoranee, anche se risente inevitabilmente di una progressiva perdita verso il largo dei sedimenti che la costituiscono, alla quale si dovrà far fronte con periodici interventi di ripascimento. La difesa interferisce pesantemente con il trasporto solido in direzione parallela alla riva, e pertanto il ripascimento manutentivo va esteso anche alle eventuali spiagge sottoflutto.

- Barriere costituite da massi/elementi con scopi ambientali

Questa tipologia consiste nella realizzazione di barriere o agglomerati di moduli forati o dalle forme che assomigliano a scogliere naturali. Gli scopi principali di queste strutture sono il ripopolamento ittico, la rinaturalizzazione degli ambienti marini, la delimitazione/ difesa delle aree interdette alla pesca; in parte minore possono fungere da sistemi di smorzamento delle correnti costiere per la protezione dall'erosione.

16.2.2 Interventi non strutturali

- Ripascimento

Il ripascimento è un intervento che prevede un apporto artificiale di idoneo materiale (per granulometria, mineralogia, composizione chimico-biologica) in una zona costiera che presenti un deficit di sedimenti, con lo scopo di ricostruire e mantenere la spiaggia, garantire larghezza e altezza tali da costituire una efficace protezione contro le mareggiate e/o realizzare una zona ricreativo-turistica

Le tecnologie impiegabili dipendono essenzialmente dalle caratteristiche dell'area (o cava) di prestito, dal sito da ripascere e dai volumi in gioco. Nel caso in cui i materiali non siano disponibili localmente si fa ricorso sempre più spesso alle cave marine, che garantiscano materiale affine a quello nativo in quantità elevata ma che, soprattutto per interventi a piccola scala o di tipo manutentivo, risultano avere un costo elevato. Nel caso in cui il materiale di riporto sia cromaticamente diverso si consiglia di ricoprirlo con materiale nativo, preventivamente stoccato.

- Bypass di sedimenti

Il Bypass di sedimenti consiste nella movimentazione, meccanica o idraulica, di materiale sabbioso da una zona in accrescimento a una zona sottoflutto in erosione, per compensare gli squilibri introdotti nel trasporto solido litoraneo dalla realizzazione di un'armatura di foce o, più in generale, di un'opera aggettante rispetto alla linea di riva.

- Pennelli ripascitori

Questa metodologia di intervento va certamente distinta dal puro ripascimento in quanto si configura come un deposito di sabbia in prossimità della riva ma esteso anche verso il largo, eseguito con tecnologie molto economiche. L'accumulo è destinato ad essere rimodellato dall'azione diretta delle onde. Il suo impiego ha una importante ricaduta sociale in quanto evidenzia che l'apparente natura temporanea del ripascimento è di fatto legata ad una redistribuzione della sabbia, in un contesto di conservazione complessiva della risorsa sabbiosa.

- Dune costiere

La funzione delle dune costiere, posizionate a tergo della spiaggia emersa, al limite della fascia attiva, è quella di cedere volume alla spiaggia in caso di eventi estremi, dotando quindi il cordone litoraneo di maggiore capacità di resilienza. Si tratta ovviamente di una struttura che è destinata a svolgere pienamente la sua funzione solo in caso di eventi eccezionali, a seguito dei quali deve essere ripristinata, con il riporto di nuovo materiale e la sua rinaturalizzazione, per accelerare il processo naturale di riformazione delle stesse. La piantumazione delle dune permette la loro stabilizzazione, limitandone l'erosione. La scelta del tipo di vegetazione si basa sul tipo di terreno e di condizioni meteo-marine, ma è sempre preferibile scegliere piante native e autoctone rispetto a vegetazione di tipo alieno.

È possibile inoltre realizzare delle dune cosiddette armate, costituite da rilevati dunali artificiali che prevedono al loro interno la presenza di un nucleo rigido, generalmente costituito da una struttura in geosintetici (geotubi, sacchi, terra rinforzata) o composita (burghe, gabbioni, fascinate, ecc.). La duna armata ha la medesima funzione della duna naturale ma la resilienza del cordone litoraneo viene incrementata dalla presenza dell'elemento rigido che, una volta esposto, rallenta l'ulteriore erosione della spiaggia emersa, prevenendo così l'ingressione marina.

- Gestione stagionale dell'arenile

L'arenile, e in generale la zona costiera, è influenzato dalla stagionalità, sia in termini morfologici che di attività antropiche e usi. Una gestione di queste aree mirata ad ottimizzare questa stagionalità è necessaria al fine di proteggere la spiaggia dalle mareggiate invernali ma al contempo garantire l'accesso ai bagnanti nella stagione estiva. Tra i possibili interventi vi sono: la realizzazione di accumuli di sabbia presente nella spiaggia e la protezione degli stessi con geosintetici; l'installazione di barriere frangivento per la protezione dal trasporto eolico; la gestione del materiale spiaggiato durante la stagione invernale con l'accortezza nel non eliminare sabbia durante le operazioni di pulizia dell'arenile.

- Pianificazione e zonizzazione

Questa modalità di intervento consiste in una serie di misure e normative atte a regolamentare la costruzione di strutture e lo sviluppo di attività antropiche in prossimità della costa.

In questa categoria si includono anche tutti quegli interventi di contenimento dei flussi turistici (sistemi di interdizione, staccionate, cartellonistica e segnaletica) utili sia per limitare i rischi per la balneazione che per salvaguardare gli ambienti naturali dall'eccessiva pressione antropica.

16.3 REQUISITI PER CELLA E CRITERI DI PRIORITÀ

Sono stati analizzati individualmente i tratti di litorale morfologicamente omogenei, già definiti nella prima parte di questo progetto (Quadro conoscitivo), valutando anzitutto le criticità, individuando di conseguenza le priorità di intervento. In ciascun tratto è stata svolta un'approfondita analisi delle dinamiche costiere ed è stata presentata una ipotesi progettuale che rispondesse alle criticità evidenziate. Per ogni cella litoranea è stato proposto un indice di prioritarizzazione ottenuto dal prodotto tra vulnerabilità morfologica V_M e vulnerabilità socio-economica V_{SE} dei vari tratti della fascia costiera in esame.

$$IP = V_M \times V_{SE} \quad \text{Eq. 19}$$

Con vulnerabilità morfologica si intende la somma della tendenza erosiva e della pericolosità all'ingressione marina in un tratto di litorale; con vulnerabilità socio-economica si intende la somma degli indici relativi ad aspetti economici e culturali quali ad esempio la pressione d'uso turistica, il valore ambientale, la fruibilità produttiva (Tab. 63). A ciascun termine di vulnerabilità

viene assegnato un "punteggio" variabile tra 1 (poco rilevante) e 4 (molto rilevante) in relazione alle caratteristiche della cella in esame. Nel caso in cui una cella litoranea presenti disomogeneità al suo interno essa è stata suddivisa ulteriormente per fornire un maggiore dettaglio delle zone di criticità.

Tab. 62 Scala degli Indici di priorità

4	3	2	1
Molto Rilevante → Poco rilevante			

Nei seguenti paragrafi 16.4e 16.5 sono analizzate rispettivamente le celle della provincia di Venezia e quelle della provincia di Rovigo. Per ciascuna cella è presentata un'analisi contenente le principali informazioni generali, seguita da una descrizione e una scheda/mappa riportante il trend evolutivo recente, le opere presenti lungo la costa e le aree di prelievo e deposito individuate con il supporto degli enti gestori del litorale. In particolare il trend evolutivo recente in termini di trasporto solido litoraneo, volumi erosi/accumulati nel tratto a Nord e a Sud di ciascuna cella (derivanti da Tab. 48) e il codice ASPE ricavato dal Fontolan et al. 2013, 2014.

Tab. 63 Indici di vulnerabilità per i tratti costieri

VULNERABILITÀ MORFOLOGICA	TENDENZA EROSIVA	- Variazione recente e passata della linea di riva - Confronti rilievi batimetrici
	PERICOLOSITÀ ALL'INGRESSIONE MARINA	- Richiamo alla Direttiva Alluvioni (2007/60/CE) - Presenza di zone a rischio di allagamento
VULNERABILITÀ SOCIO – ECONOMICA	RILEVANZA INTERVENTI DI DIFESA	- Investimenti negli ultimi decenni - Frequenza degli interventi negli ultimi decenni
	VALORE AMBIENTALE	- Presenza Siti Natura 2000 - Presenza di parchi o oasi naturalistiche
	PRESSIONE D'USO TURISTICA E BALNEARE	- Presenze turistiche - Presenza stabilimenti balneari
	GRADO DI URBANIZZAZIONE	- Presenza strutture ad uso turistico - Presenza e grandezza di centri abitati
	FRUIBILITÀ PRODUTTIVA	- Attività economiche diverse dal turismo (pesca, agricoltura, molluschicoltura etc.)
	EREDITÀ CULTURALE	- Zone di particolare interesse culturale - Presenza di monumenti di interesse storico

16.4 ANALISI DELLE CELLE APPARTENENTI ALLA PROVINCIA DI VENEZIA

- Cella VE1: da foce Tagliamento a bocca di porto Baseleghe

La cella compresa tra la foce del fiume Tagliamento e la Bocca di Porto Baseleghe è un tratto di costa che presenta un'alternanza sia di tipologie di ambienti che di trend evolutivi.

Il primo tratto a Nord, tra il faro di Bibione e la zona umida denominata Lama del Revelino ha grande valenza naturalistica ed è zona SIC e ZPS. Analizzando in particolare l'evoluzione della linea di riva, si osserva che il primo tratto di litorale antistante al faro, difeso con barriere parallele a riva (oggi in aderenza), ha subito un forte accumulo di sabbie nella zona protetta. A Ovest delle barriere, si è invece registrato un forte arretramento della spiaggia emersa. Questo fenomeno è certamente da mettere in relazione con l'effetto combinato del trasporto solido litoraneo parallelo a riva indotto dall'azione delle onde diretto da Est verso Ovest e dell'insufficiente alimentazione di materiale sabbioso dalla foce del Tagliamento. Dallo studio della batimetria della zona risulta inoltre evidente che i depositi di materiale recapitato a mare dal Tagliamento non scorrono più vicino alla costa ma bypassano le zone più in crisi, in parte alimentano le barre sommerse relativamente distanti da riva e in parte vengono persi al largo (dunque non sono più disponibili per il trasporto solido litoraneo). È possibile che la presenza delle barriere in destra alla foce del Tagliamento e il periodico dragaggio della cunetta navigabile possano aver contribuito ad allontanare dalla riva i sedimenti di origine fluviale. Il combinato di questi fenomeni è probabilmente responsabile dell'erosione riscontrata a valle delle barriere.

In destra idrografica alla foce Tagliamento, al largo delle barriere, vi è una zona di accumulo di sedimenti. L'ipotesi di prelevare sabbia da questo deposito per ripascere i tratti più critici sembra del tutto opportuna, dal punto di vista della corretta gestione della zona costiera, una volta verificata la compatibilità chimico-fisica dei sedimenti. Il prelievo di materiale dalla foce del Tagliamento anticipa in parte la dinamica naturale, ma è comunque da considerarsi necessario per la soluzione della criticità dell'area in discussione. Per riportare i sedimenti nella disponibilità del trasporto solido litoraneo, è in fase di approvazione la realizzazione di un sabbiodotto permanente in grado di alimentare il litorale dal faro verso Ovest. Qualora i sedimenti derivati da tale sabbiodotto non risultassero sufficienti, va considerata la possibilità di integrare il ripascimento con volumi prelevati dalla cella stessa o da cava marina. L'utilizzo di pennelli, o di opere rigide in generale, è sconsigliabile a causa della elevata dinamicità morfologica dell'area. In caso di intense mareggiate di direzione atipica o in caso di piena eccezionale del Tagliamento e conseguente apporto ingente di sabbia nelle spiagge (dell'ordine del milione di metri cubi) le opere permanenti realizzate risulterebbero inutili. I tre pennelli costruiti nel 2001 e recentemente rimossi si sono infatti dimostrati efficaci solo nei primi anni di utilizzo.

Il tratto centrale di questa cella litoranea, antistante Bibione (Bibione Centro, Lido del Sole, Bibione Pineda), è una zona turistico-balneare. Osservando il trend evolutivo recente della linea di riva, è possibile constatare che la prima parte presenta ancora una lieve tendenza all'erosione (come la zona precedentemente descritta), mentre proseguendo verso Ovest si osserva un avanzamento della linea di riva. Infatti, in tale zona, i sedimenti provenienti dalla foce Tagliamento si avvicinano sufficientemente alla costa, determinando tale avanzamento. È ipotizzabile che i fenomeni erosivi manifestatisi inizialmente nella zona del Faro, ed oggi estesi fino a Piazzale Zenith, siano destinati a progredire verso sottoflutto, interessando però aree attualmente caratterizzate da ampi arenili.

La zona prossima alla Bocca di Porto Baseleghe è anch'essa a vocazione turistico-balneare, ad eccezione del tratto terminale che risulta essere una zona SIC e ZPS. La variazione della linea di riva, tra il 2007 e il 2012, è rappresentativa di un arretramento del litorale davanti a Bibione Pineda, tuttavia tale indicazione non rappresenta un fenomeno erosivo, ma potrebbe essere in parte il risultato dei prelievi di sabbia stagionali, realizzati per il ripascimento del litorale più in crisi a Est (in particolare nell'area sottoflutto alle barriere parallele a riva).

La recente evoluzione dell'imboccatura di Porto Baseleghe evidenzia un progressivo avanzamento dello spit in direzione Ovest, dell'ordine delle decine di metri all'anno, che deve essere certamente analizzato e sottoposto a monitoraggio in relazione alla sua interazione con il deflusso delle acque del Tagliamento attraverso il canale scolmatore Cavrato (che potrebbe, in futuro, scaricare oltre 1000 m³/s per eventi di piena estremi). A monte della Bocca di Porto Baseleghe è presente una Sand Trap, costituita da una palificata in legno e palancole metalliche, sottoposta a screening ambientale dal 2008 al 2012. Tale opera contribuisce a confinare i sedimenti sopraflutto alla foce di Baseleghe e, se adeguatamente gestita, potrebbe rendere disponibile un significativo volume di sedimenti per il ripascimento del litorale. Non pare inopportuno infatti riutilizzare tale risorsa sabbiosa nei litorali adiacenti, o prevedere una strategia di spostamento periodico della sabbia, mediante refluento idraulico o spostamento meccanico. In relazione ai volumi e alle scelte strategiche potrebbe essere adottata la soluzione del sabbiodotto fisso (soluzione adottata a Nord) o temporaneo, ovvero altre soluzioni che siano comunque compatibili con le caratteristiche del sito e la flessibilità d'impiego, intrinsecamente legata al concetto di manutenzione nel contesto specifico. Parte dei sedimenti dragati in prossimità della bocca di Porto Baseleghe o all'interno del canale potrebbe essere utilizzata per la ricomposizione

morfologica delle dune della Brussa oltre la foce (cella VE2).

L'intervento di rimozione dei sedimenti ha importanti ricadute anche in relazione alla salvaguardia ambientale della zona SIC-ZPS. Il tratto terminale di questa cella, estremamente dinamico comporta delle modifiche ambientali a causa dell'evoluzione della foce; questo tratto è inoltre potenzialmente a rischio di esondazione qualora la bocca di Porto Baseleghe non risulti opportunamente efficiente al momento dello scarico del canale scolmatore Cavrato. Va peraltro evidenziato che già la deriva verso Ovest della foce di Baseleghe (accompagnata da una progressiva riduzione dei fondali) ha presumibilmente modificato le caratteristiche e la planimetria delle aree di valenza naturalistica.

Tab. 64 Indici di priorità cella VE1

Tratti CELLA VE1	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (Zona del Faro, Lama del Revelino)	4	4	4	3	3	3	1	2
Tratto centrale (Bibione)	3	1	2	1	4	4	1	1
Tratto a Sud (Bibione Pineda, Porto Baseleghe)	2	3	2	3	3	3	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Nei primi 3 km a Est si evidenzia un arretramento di circa di 10 m/anno, nonostante un ripascimento manutentivo dell'ordine dei 40'000 m³/anno. Ciò equivale ad un deficit di circa 70'000 m³/anno, da reintegrare tramite un incremento dei volumi di ripascimento manutentivo.
- Nel tratto centrale si osserva un'alternanza di zone in lieve arretramento o avanzamento.
- Nel tratto più meridionale, nonostante il prelievo di sedimenti in una zona ristretta, si osserva un accumulo di parte del trasporto litoraneo, con un incremento del deposito di circa 20'000 m³/anno.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Il sabbiodotto attualmente in via di realizzazione in prossimità di foce Tagliamento potrebbe portare nella zona settentrionale un quantitativo di circa 50'000 m³/anno da integrare con il riporto di ulteriori volumi (circa 20'000 m³/anno) da zone di prelievo situate più a Ovest (ad esempio Lido del Sole, Bibione Pineda).
- Non sono previsti interventi nel tratto centrale.
- Monitoraggio specifico dello spit in avanzamento e della bocca di Porto Baseleghe, finalizzato al dragaggio periodico della stessa. Tale zona si configura anche come potenziale area di prelievo dei circa 20'000 m³/anno da utilizzare a Nord.



Cella VE 1

Da foce Tagliamento
a bocca di Baseleghe

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di
prelievo

Area di
deposito

Ripascimento

Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione
ASPE (Fontolan & al.
2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva 2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE2: da bocca di porto Baseleghe a bocca di Falconera

Questo tratto di costa, conosciuto come Valle Vecchia, è un sito di particolare interesse naturalistico dovuto alla molteplicità di specie vegetali e faunistiche. È un'area SIC – ZPS nella quale sono presenti numerosi habitat prioritari. Il litorale confina la laguna di Caorle-Bibione. Tra le valli e le barene retrostanti si trovano i "casoni", tipiche costruzioni usate in passato dai pescatori durante il periodo della pesca, di interesse storico e culturale. Si tratta di fatto dell'unico tratto di litorale del Veneto Orientale che conserva l'assetto originale, sostanzialmente privo di infrastrutture turistico-balneari e di opere di difesa.

L'assetto delle bocche della laguna di Caorle-Bibione, rispetto alla configurazione storica, è probabilmente ancora in evoluzione in seguito alle importanti modifiche subite dalla dinamica idraulica della laguna stessa, il cui cuneo di marea si è drasticamente ridotto. È possibile che le dimensioni delle bocche siano ancora sovrabbondanti rispetto alla dinamica mareale e tendano quindi a ridursi di dimensione.

Il primo tratto di costa in destra alla bocca di Porto Baseleghe manifesta una tendenza erosiva dell'arenile, da mettere in relazione con l'evidente accumulo di sedimenti nel lato opposto della bocca e alle operazioni di dragaggio e gestione dei sedimenti. Evidentemente, per la dinamica litoranea di questo primo tratto, valgono le considerazioni già presentate per la precedente cella. In generale, il bilancio sedimentario di tutto il tratto potrebbe essere modificato qualora mutassero le condizioni al contorno poste ad Est, per esempio se, in seguito alle piene scolmate dal Civrato, dalla bocca di Porto Baseleghe dovessero uscire grossi quantitativi di sabbia.

Per il tratto centrale il bilancio dei sedimenti ha evidenziato un trasporto longitudinale proveniente dalla cella VE1 di circa 50'000 m³/anno. Analizzando l'evoluzione recente della linea di riva, è possibile verificare che tale zona è sostanzialmente in accrescimento, anche a discapito dei sistemi dunali retrostanti, che manifestano locali criticità.

Una delle problematiche riscontrate in questa cella è infatti il forte rischio di allagamento costiero nelle valli a tergo, causato da alcune interruzioni nel cordone dunale (utilizzate per il transito dei mezzi e la manutenzione della spiaggia). Si ritiene pertanto necessario ricorrere ad una ricostruzione dunale. L'accesso alla spiaggia dei mezzi adibiti alla pulizia deve tenere conto della mobilità intrinseca della duna e della sua erodibilità in conseguenza a mareggiate eccezionali (normalmente associate, nel caso dello Scirocco, a elevati sovralti del livello del mare).

Altri problemi riscontrati nell'area fanno riferimento al degrado generato dal flusso turistico. In particolare, in prossimità dell'accesso alla spiaggia (nel tratto a Est, in destra idrografica alla bocca di Porto Baseleghe), si è manifestato il danneggiamento della duna, che evidentemente dovrà essere salvaguardata per mezzo di adeguati dispositivi di protezione (recinzioni, passerelle, ecc.) e cartelli informativi.

Nell'estremità Ovest della cella si assiste ad un fenomeno di insabbiamento della bocca di porto, probabilmente correlato all'elevato trasporto solido longitudinale pari a circa 50'000 m³/anno e alla ridotta dinamica mareale, incapace di mantenere aperta la bocca nelle sue dimensioni attuali. È pertanto necessario ricorrere al periodico dragaggio della imboccatura. I volumi dragati, dell'ordine di 30'000 m³/anno, possono essere ritenuti una riserva di sabbie da poter utilizzare nei litorali adiacenti o, se le caratteristiche granulometriche non fossero adeguate, almeno per il ripascimento della spiaggia sommersa.

Gli interventi necessari in questa cella devono mantenere il carattere strettamente ambientale della zona, possibilmente ricostruendo i sistemi dunali necessari per la difesa costiera, ripristinando la continuità tra ambiente marino e terrestre (Tegnue e dune), migliorando la funzionalità delle aree SIC – ZPS e individuando le soluzioni migliori per la regolarizzazione dei flussi turistici.

Tab. 65 Indici di priorità cella VE2

Tratti CELLA VE2	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (Valle Vecchia)	3	3	1	4	1	1	2	2
Tratto centrale e tratto a Sud (Valle Vecchia)	1	3	1	4	1	1	2	2

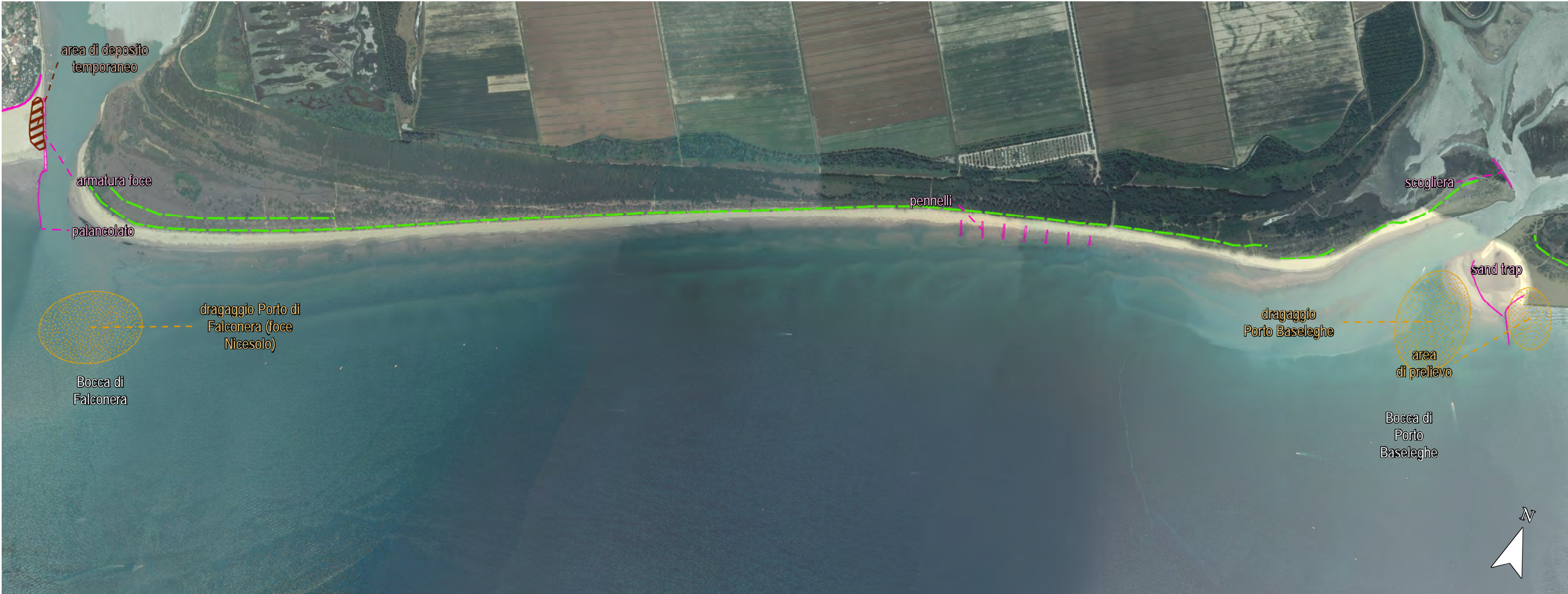
IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Nei primi 1,5 km a Est si evidenzia un arretramento della linea di riva dell'ordine circa dei 6 m/anno, legati alla tendenza evolutiva della bocca di Porto Baseleghe e alla variabilità del trasporto solido del Cavrato.
- Nel tratto centrale e occidentale si osserva una lieve tendenza all'avanzamento.
- Presso la foce del fiume Nicesolo vengono dragati circa 20'000 m³/anno. Ciò nonostante, si osserva un accumulo a riva di circa 10'000 m³/anno, da correlare all'elevato contributo del trasporto solido longitudinale proveniente da Est di 50'000 m³/anno, e ad un trasporto diretto verso la cella VE3 di circa 20'000 m³/anno.
- In alcuni tratti si osserva il danneggiamento del cordone dunale.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Monitoraggio del primo tratto di 1,5 km a Est, senza interventi immediati di ripristino della linea di riva, che potrebbe avvenire naturalmente in relazione al regime del Cavrato.
- Ripristino cordone dunale, realizzazione di sistemi per la regolarizzazione dei flussi turistici (interventi di ingegneria naturalistica, creazione di percorsi ciclo-pedonali, cartellonistica informativa etc.), derivando il materiale necessario dalla cella stessa, se possibile.
- Monitoraggio della Bocca di Falconera, finalizzato al dragaggio periodico a fine di ripascimento. Tale zona si configura come area di prelievo dei circa 30'000 m³/anno da utilizzare nelle celle adiacenti (VE2 e VE3).



Cella VE 2

Da bocca di Baseleghe
a bocca di Falconera

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna

Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE (Fontolan & al. 2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto

Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva 2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE3: da bocca di Falconera a foce Livenza

Il tratto costiero compreso tra la Bocca di Falconera (anche nota come foce Nicesolo) e la foce del fiume Livenza è il litorale urbano del comune di Caorle, caratterizzato da un'elevata valenza turistico/balneare e da attività economiche legate alla pesca.

La foce del canale Nicesolo è tuttora protetta, in destra idrografica, da una scogliera in massi che si prolunga verso mare con palancole Larssen. L'attuale configurazione della foce verrà probabilmente resa definitiva. Qualunque soluzione andrà comunque verificata anche in relazione alle batimetrie della foce; nel passato infatti i rilievi hanno evidenziato zone con profondità molto elevate (-7.5 m) in prossimità delle palancole.

La spiaggia di Caorle-Levante è costituita principalmente da sedimenti di granulometria molto fine, con frazioni limose che provocano difficoltà di drenaggio e talora, durante le precipitazioni più intense, la formazione di pozzanghere. In questo tratto la spiaggia emersa è molto ampia (addirittura scomoda per la fruibilità turistica) e, così come i primi 500 – 600 m di spiaggia sommersa, risultano caratterizzati da pendenze estremamente dolci, creando problemi di balneazione e di qualità delle acque. Questo primo tratto di costa ha una posizione più arretrata rispetto alle zone adiacenti (storicamente era parte integrante delle foci dei canali Nicesolo e Palangone). In questo tratto, le linee batimetriche poste oltre la -2.0 m hanno un'orientazione omogenea a quella delle zone adiacenti, ma diversa da quella della linea di riva. La spiaggia prossima a riva infatti si configura come una "pocket beach", orientandosi quindi in modo perpendicolare al clima ondoso medio. Essa è isolata ad Est dal palancolato, ad ovest dalla cuspide della Madonna dell'Angelo e la permanenza di sedimenti così sottili nella zona è giustificata dalla presenza di importanti barre che la proteggono dal moto ondoso. Tale conformazione potrebbe addirittura favorire un modesto trasporto perpendicolare a riva che va ad alimentare la spiaggia, ora in avanzamento. La zona potrebbe essere considerata come possibile area di prelievo, tenendo conto della criticità dei sedimenti dal punto di vista della granulometria; a questo fine si dovrà prevedere un'accurata caratterizzazione dei sedimenti ed una ancora più accurata strategia di gestione degli stessi in aree con caratteristiche compatibili.

Il trasporto longitudinale oltre le barra è dell'ordine dei 20'000 m³/anno in direzione Est – Ovest. La cella è alimentata da Est dal trasporto litoraneo che supera sia foce Nicesolo che il palancolato esistente, interessando fondali caratterizzati da materiale fine.

Il tratto adiacente alla cuspide della Chiesa della Madonna dell'Angelo è difeso da un lungo murazzo in scogliera, in parte a gettata e in parte cementata (di lunghezza pari a circa 800 m), realizzato nel XVII secolo e dunque di grande rilevanza storica e culturale. Gli interventi di ripristino periodicamente realizzati hanno sempre rispettato le parti storiche e, di conseguenza, anche la valenza turistica è notevole. La spiaggia sommersa risulta in sostanziale equilibrio.

Lungo la spiaggia di Ponente il trasporto solido longitudinale rimane circa pari a 20'000 m³/anno, diretto da Nord-Est a Sud-Ovest. Tale materiale va in parte ad alimentare la spiaggia di Ponente, in parte si accumula presso i moli della foce del Livenza e solo poche migliaia di m³ alimentano la cella VE4. Infatti i lunghi moli di armatura della foce del fiume Livenza ostacolano in maniera importante il trasporto solido: si è stimato che solamente il 20% riesce a oltrepassare le opere aggettanti a mare. Complessivamente la costa è in leggero avanzamento, evidenziato sia dalla variazione della linea di riva che dal bilancio sedimentario (accumulo di circa 20'000 m³/anno), nonostante vi siano periodici dragaggi. In particolare, in sinistra idrografica alla foce del Livenza, nei pressi del molo, vi è un dragaggio localizzato di circa 5'000 m³/anno, che viene portato a Porto Santa Margherita, Duna Verde o nella spiaggia di Levante per coprire i sedimenti fini.

Si ritiene necessario monitorare e dragare periodicamente la foce del fiume Livenza in relazione all'officiosità di questa per la navigazione. Il materiale dragato potrà essere considerato, dopo opportune verifiche, risorsa sabbiosa utile al ripascimento delle celle litoranee adiacenti.

Tab. 66 Indici di priorità cella VE3

Tratti CELLA VE3	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (spiaggia di Levante)	1	2	1	1	4	3	2	1
Tratto centrale (proteetto da murazzo)	1	2	3	1	3	4	2	4
Tratto a Sud (spiaggia di Ponente)	1	2	2	1	4	4	2	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- La cella viene interessata da un trasporto solido proveniente da Est di circa 20'000 m³/anno.
- La spiaggia di Levante evidenzia una naturale tendenza all'avanzamento, associata alla sedimentazione di materiale anche molto fine per la scarsa dinamica che la contraddistingue.
- Il trasporto proveniente da Est rimane al largo della batimetrica -2.0 m ed alimenta direttamente la spiaggia di Ponente, dove, oltre ai 5'000 m³/anno dragati, si registra un accumulo di ulteriori 10'000 m³/anno. Il trasporto verso la cella VE4, che oltrepassa i moli del Livenza è molto modesto, di circa 5'000 m³/anno.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Presso la spiaggia di Levante si propone la realizzazione di un canale dragato posto ad una certa distanza dalla linea di riva per favorire il ricambio idrico e la balneazione. Tale ipotesi è da verificare mediante idonei modelli matematici di circolazione onde e marea. (Canale 2 km x 20m x 2m).
- Monitoraggio della foce Livenza finalizzato al dragaggio periodico della stessa. Tale zona si configura come area di prelievo dei circa 10'000 m³/anno da utilizzare nelle celle adiacenti.



Cella VE 3

Da bocca di Falconera
a foce Livenza

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione
ASPE (Fontolan & al.
2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva
2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE4: da foce Livenza a foce Piave

Il litorale compreso tra la foce del Livenza e la foce del fiume Piave è nella sua maggior parte attrezzato per uso turistico e balneare. La cella comprende anche una zona SIC (IT3250013): in particolare sul sistema di dune relitte, situate nella zona di Duna Verde e Eraclea, si sviluppano delle pinete, mentre nella zona Sud della cella c'è la laguna del Mort, vecchio tracciato della foce del Piave, protetta dal mare da un sottile lembo litoraneo, oggi sostanzialmente artificiale. L'area propriamente lagunare, soggetta a progressivo interrimento, ha una notevole importanza per migrazioni e svernamento di numerose specie e inoltre è caratterizzata dalla presenza di entità di rara o notevole rilevanza fitogeografica.

La cella è caratterizzata dalla presenza continua di opere di difesa: lungo tutta la cella è presente un diaframma in cemento armato, associato a pennelli di diversa tipologia, dimensione e spaziatura. In gran parte della cella è presente anche una gradonata in lastre di calcestruzzo armato dotate di un muretto paraonde sommitale; in particolare, la gradonata è presente dal Livenza a Duna Verde e da Eraclea al Piave. Nel tratto compreso tra Eraclea e Duna Verde la gradonata si interrompe, e sono ancora visibili le dune relitte.

In questa cella litoranea si è realizzato, nel primo decennio degli anni 2000, un importante intervento che ha comportato il prolungamento di un pennello ogni 3, il salpamento dei due pennelli intermedi e il versamento di circa 5'000 – 10'000 m³ di sabbia in ciascuna cella così creata. La riconfigurazione dei pennelli, originariamente molto corti e con una spaziatura di 80 m, ha interessato tutto il tratto antistante Eraclea e Duna Verde, ma verrà completato proseguendo verso Nord fino alla foce Livenza con la stessa modalità (pennelli con interasse di 240 m, lunghi 130 m).

Il trasporto litoraneo, crescente da Nord-Est a Sud-Ovest, congiuntamente alla scarsa alimentazione da monte (a causa dei lunghi moli della foce Livenza), è causa di alcuni fenomeni erosivi, in particolare laddove il mare lambisce il diaframma in calcestruzzo armato. Se le opere a parete verticale, anziché essere protette da una idonea copertura in sabbia, sono esposte alle onde si verifica un'accelerazione dell'erosione della spiaggia emersa e sommersa a causa del fenomeno della riflessione. Le locali importanti criticità non appaiono dall'esame su larga scala dei rilievi considerati, secondo i quali il tratto compreso tra il Livenza e la bocca della laguna del Mort presenta una complessiva stabilità sia in termini di variazione della linea di riva che di bilancio volumetrico dei sedimenti. Ciò è dovuto alla rigidità del litorale (ripascimenti manutentivi, pennelli, etc.), per cui laddove vi è grave carenza di sedimenti non si osservano ulteriori erosioni. Questo tratto necessita, nelle zone più fragili, o di una riconfigurazione delle opere di difesa o di un importante ripascimento strutturale, in grado di ricoprire abbondantemente il diaframma e la gradonata, così come era originariamente (anni '70-'80), nonché di frequenti versamenti manutentivi. Per minimizzare i quantitativi di apporto necessari a tale scopo, comunque notevoli, si dovrà studiare approfonditamente i volumi di materiale da versare e l'intervallo di tempo tra i successivi interventi.

Proseguendo verso il Piave, la costa è interrotta dalla bocca della laguna del Mort, che funge anche da accesso alla darsena. Il litorale antistante la laguna è privo di spiaggia emersa e il mare ha addirittura prodotto lo scalzamento della gradonata esistente con notevoli danni strutturali. Questo tratto, appartenente al comune di Jesolo, non ha un grande interesse turistico, tuttavia ha un alto valore ambientale e di difesa dall'ingressione marina nella laguna retrostante. In tale area l'approfondimento dei fondali va correlata alla riflessione delle onde sul diaframma. Si ritiene di fondamentale importanza adottare una politica di gestione di questo tratto che impedisca l'esposizione delle opere alla diretta azione del mare. Nel caso si voglia valorizzare la spiaggia della laguna del Mort è idoneo prevedere una sistemazione analoga a quella effettuata nel tratto più a monte, con il prolungamento di un pennello ogni tre, adeguato ripascimento e programma manutentivo. Alternativamente, qualora si volesse adottare una soluzione che si limiti a proteggere la laguna dall'ingressione marina, è necessario almeno realizzare una scogliera in aderenza al diaframma che diminuisca la riflessione ondosa e gli effetti conseguenti.

Il fiume Piave, dal punto di vista del trasporto solido fluviale, recapita tuttora a mare volumi modesti di sabbia. Ogni anno nella foce vengono dragati circa 40'000 m³ di sedimenti, risorsa utile per il ripascimento delle zone limitrofe.

Tab. 67 Indici di priorità cella VE4

Tratti CELLA VE4	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
<i>Tratto a Nord (Porto Santa Margherita)</i>	3	2	4	1	4	4	1	1
<i>Tratto centrale (Duna Verde - Eraclea)</i>	3	3	4	2	4	3	1	1
<i>Tratto a Sud (laguna del Mort)</i>	4	4	3	3	1	1	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Nella cella il trasporto solido longitudinale, che entra da Nord-Est al di là dei moli del fiume Livenza, è pari a circa 7'000 m³/anno, insufficiente all'alimentazione della cella.
- Nel tratto antistante Porto Santa Margherita, Duna Verde e Eraclea Mare si osserva una stabilità, dovuta i periodici interventi di ripascimento (circa 30-40'000 m³/anno) non sufficienti a garantire ovunque la presenza di una vera e propria spiaggia di fronte alle opere rigide.
- Il tratto a Sud (laguna del Mort) è in forte crisi erosiva con gravi danni strutturali alle opere di difesa dall'ingressione marina.
- Il trasporto longitudinale, caratteristico della cella, è diretto verso la foce del fiume Piave ed è di circa 50'000 m³/anno.
- L'apporto solido del Piave stimato è di 440'000 m³/anno in media. Il quantitativo di sabbia che viene regolarmente dragato dalla foce per mantenerne l'officiosità è al più di 40'000 m³/anno e il trasporto solido longitudinale verso la cella VE5 è di circa 60'000 m³/anno. Di fronte alla foce, di conseguenza, dovrebbe essere alimentata una barra al ritmo di 390'000 m³/anno. Poiché non si riscontra un deposito di materiale entro la profondità di chiusura, si ritiene che l'apporto fluviale sia in larga misura perso verso il largo o che l'apporto fluviale negli ultimi anni sia stato significativamente inferiore al valore atteso.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Ripascimento strutturale nel tratto compreso tra foce Livenza a foce Piave di 2'000'000 m³.
- Salpamento di 2 pennelli ogni 3 e allungamento del terzo pennello (interasse = 235 m, L = 130 m).
- Ripascimento periodico di circa di 60'000 m³/anno, di cui circa 30'000 - 40'000 m³/anno potrebbero provenire dal dragaggio della foce Piave.
- Monitoraggio periodico della gradonata in cls al fine di stimare volumi e intervalli temporali dei versamenti di materiali utili a ricoprire queste opere rigide.
- Monitoraggio della foce Piave finalizzato al dragaggio periodico della stessa e alla stima dei volumi da prelevare.



Cella VE 4

Da foce Livenza
a foce Piave

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE (Fontolan & al. 2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva 2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE5: da foce Piave a foce Sile

La cella litoranea compresa tra le foci dei fiumi Piave e Sile è caratterizzata da un intenso e prolifico uso turistico-balneare. Essa è interamente compresa nel comune di Jesolo e i flussi turistici si attestano attorno ai 4/5 milioni di presenze nella stagione estiva.

Dall'analisi dell'evoluzione della linea di riva si evince che il tratto in maggiore sofferenza è quello antistante Cortellazzo; tale tratto ha manifestato negli ultimi 50 anni una rapida evoluzione morfologica certamente legata agli apporti solidi durante le piene fluviali. Infatti si è riscontrato che grossi apporti fluviali, nei primi anni '70, hanno provocato grosse variazioni della linea di riva e formazione di barre di foce. L'evoluzione recente evidenzia invece che l'apporto solido proveniente dal fiume Piave (che negli ultimi anni è risultato inferiore anche alla media attesa) non è stato sufficiente a mantenere la linea di riva attuale. In particolare a valle dell'ultimo pennello in massi vi è un tratto di circa 1,3 km, non protetto da opere rigide, che attesta un arretramento della linea di riva pari a circa 5 m/anno. Il mancato apporto di sedimenti dal fiume Piave e l'elevato trasporto solido longitudinale provocano l'instabilità di questa zona che necessiterebbe di un apporto di sabbia pari a circa 50'000 m³/anno. L'erosione a Cortellazzo si estende peraltro alle dune costiere retrostanti, degradate anche dal considerevole flusso turistico, che dunque non possono svolgere la loro funzione di riserva di sedimenti durante le mareggiate estreme, né quella di difesa dall'ingressione marina. Nel litorale antistante Cortellazzo sono stati realizzati degli interventi sperimentali (pennelli in rete permeabili ortogonali alla riva e rimovibili) operati durante la stagione invernale seguiti da più efficaci e periodici interventi di ripascimento, anche con volumi prelevati da depositi vicini a costa (batimetrica -4.5 m/-6 m).

Si riterrrebbe opportuno pensare ad un intervento che non irrigidisca il litorale ma che possa garantirne una stabilità più duratura, come ad esempio pennelli ripascitori o un deposito localizzato di sabbia presso il litorale di Cortellazzo. Entrambe queste modalità atipiche di ripascimento, da analizzare approfonditamente con modelli fisici e/o numerici, prevedono che i sedimenti vengano rimodellati dall'azione delle onde, garantendo nel tempo un apporto anche alle spiagge poste più a valle. Tale intervento potrebbe ricreare la dinamica naturale che caratterizzava gli anni 70' - 80' dovuta all'accumulo di sabbia presso la foce del fiume Piave a seguito di una piena.

Nel tratto antistante a Jesolo sono presenti pennelli su pali che intercettano solo in minima parte (meno del 5%) l'elevato trasporto longitudinale (90'000 m³/anno verso Sud-Ovest). Questa zona non presenta gravi fenomeni erosivi ma necessita comunque di manutenzione per stabilizzare la linea di riva in seguito a mareggiate eccezionali. L'attuale gestione, basata su ripascimenti periodici, sembra del tutto opportuna.

Dato l'elevato trasporto longitudinale, la più indicata tecnica di difesa dall'erosione è quella che prevede il combinato di ripascimenti e pennelli, eventualmente di tipo filtrante. Eccezionalmente si potrebbe ricorrere alla tipologia della difesa a cresta bassa, che potrebbe tuttavia avere un impatto troppo negativo sulle spiagge sottoflutto, richiedendo quindi una manutenzione troppo onerosa.

Come intervento invernale a protezione degli stabilimenti balneari è indicata la struttura in geo-sintetici, già utilizzata in passato, che ha una maggiore resistenza alle mareggiate invernali rispetto al semplice cordone sabbioso.

Il confine Sud della cella è segnato dalla presenza del Sile, il cui apporto fluviale è considerato trascurabile. È in essere un intervento di stabilizzazione della foce teso a risolvere le problematiche di interrimento poiché l'esigua velocità della corrente fluviale non è in grado di aprire un varco attraverso le barre formatesi per interazione con l'elevato trasporto solido longitudinale. Infatti il molo Nord trattiene circa 40'000 m³/anno e ben 70'000 m³/anno lo superano.

Tab. 68 Indici di priorità cella VE5

Tratti CELLA VE5	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (Cortellazzo)	4	3	3	1	4	3	1	1
Tratto centrale e tratto a Sud (Jesolo)	3	2	3	1	4	4	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Data la episodicità degli eventi di piena, che può di molto differire da un anno all'altro, la morfologia della foce del fiume Piave ha un'elevata dinamicità. Appare pertanto evidente che opere rigide della stabilizzazione della riva potrebbero avere durata utile limitata e di ciò bisognerà tenere conto in fase progettuale.
- Nella cella il trasporto solido longitudinale, che entra da Nord-Est è pari a circa 65'000 m³/anno, giustificando a pieno la presenza di pennelli che riducono il quantitativo di ripascimento manutentivo necessario. Questa tipologia (pennelli rigidi o meglio filtranti) potrebbe essere indicata anche per il tratto di circa 1300 m attualmente non protetto (se giustificato da studi specifici).
- Nel tratto antistante Cortellazzo si osserva globalmente un grave arretramento (circa 75'000 m³/anno). Questo risulta pertanto il quantitativo anno da ripristinare in assenza di ulteriori difese.
- Anche il tratto antistante Jesolo necessita di un ripascimento di circa 75'000 m³/anno per garantirne la stabilità.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Ripascimento periodico (circa 4 km) di circa 75'000 m³/anno nel tratto antistante Cortellazzo.
- Realizzazione di pennelli su pali nel tratto di 1,3 km posto tra l'ultimo pennello in massi antistante Cortellazzo e il primo pennello su pali esistente.
- Ripascimento periodico (circa 9 km) di circa 75'000 m³/anno nel tratto antistante Jesolo.
- Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa dell'intera cella.
- Monitoraggio delle foci Piave e Sile finalizzate al loro dragaggio periodico. Tali zone si configurano come aree di prelievo da utilizzare nelle celle adiacenti.



Cella VE 5

Da foce Piave
a foce Sile

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna



Trend evolutivo
recente

Classificazione
ASPE (Fontolan & al.
2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva
2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE6: da foce Sile a bocca di Lido

Il litorale compreso tra la foce del Sile e la bocca di Lido fa parte del Comune di Cavallino-Treporti, località balneare con numerose presenze durante la stagione estiva. Lungo la costa ci sono villaggi e campeggi, mentre la parte del territorio comunale più interna è dedicata all'agricoltura intensiva.

Dalla recente evoluzione della linea di riva è possibile osservare che, dopo l'importante intervento ultimato alla fine degli anni 90', il litorale risulta essere stabile grazie anche a periodici ripascimenti manutentivi di circa 20'000 m³/anno.

Il molo Nord dell'armatura della bocca di Lido intercetta potenzialmente circa il 60% del trasporto solido longitudinale, che complessivamente è pari a circa 50'000 m³/anno diretto da NE a SW. Infatti, dalla variazione della linea di riva nel lungo termine (30 anni) si osserva che l'avanzamento in prossimità della bocca di Lido è stato pari a circa 100 m. Di fatto la ri-orientazione della linea di riva, conseguente all'accumulo di materiale in prossimità del molo, ha sensibilmente ridotto il quantitativo di materiale intercettato, che comunque rimane dell'ordine dei 20'000 m³/anno. Da tale area sarebbe pertanto opportuno prelevare almeno 20'000 m³/anno sabbia per depositarli all'interno della stessa cella (verso foce Sile), con conseguente minor necessità di interventi strutturali certamente necessari. Il prelievo consentirebbe anche di salvaguardare il tratto facente parte della Rete Natura2000 (SIC – ZPS IT3250003) che, a causa dell'avanzamento della linea di riva indotto dal molo, potrebbe subire una modifica dell'ecosistema naturale. Il limite a mare della zona SIC-ZPS potrebbe essere fissato in corrispondenza del cordone dunale retrostante la spiaggia emersa.

Un importante quantitativo di sabbia potrebbe essere ricavato anche dal periodico dragaggio della canaletta di Bocca di Lido, operazione effettuata per mantenere l'ufficiosità del canale d'accesso. Tale deposito di sedimenti potrebbe essere prelevato e versato tramite by-pass verso la spiaggia di Cavallino o, in caso di necessità, verso la cella adiacente (Lido di Venezia), previa verifica di compatibilità chimico-fisica.

Tab. 69 Indici di priorità cella VE6

Tratti CELLA VE6	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
<i>Tratto a Nord e tratto centrale (Cavallino - Treporti)</i>	2	2	3	2	4	3	2	1
<i>Tratto a Sud (a ridosso dell'armatura di bocca di Lido)</i>	1	2	2	3	4	3	2	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Il trasporto longitudinale che entra da Nord-Est è di circa 75'000 m³/anno, ma aumenta sino a 95'000 m³/anno lungo il litorale del Cavallino.
- Nel litorale di Cavallino la stabilità è infatti garantita dal versamento di 20'000 m³/anno.
- Il tratto adiacente all'armatura di bocca di Lido evidenzia un accumulo di circa 20'000 m³/anno.
- Il trasporto che oltrepassa il molo dell'armatura di Bocca di Lido è pari a circa 30'000 m³/anno.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Monitoraggio del litorale di Cavallino finalizzato alla valutazione dei volumi dei sedimenti e al progetto del versamento manutentivo (stimato in circa 20'000 m³/anno).
- Monitoraggio del litorale a monte dell'armatura di bocca di Lido. Tale zona si configura come area di prelievo di circa 20'000 m³/anno da utilizzare nelle celle adiacenti.
- Monitoraggio della canaletta di accesso a bocca di Lido, finalizzato ad un progetto che garantisca il dragaggio della bocca (occluso da sedimenti di diversa provenienza) recuperando però il materiale sabbioso trasportato dalle correnti litoranee, per un riutilizzo sulla costa. Tale zona si configura infatti come area di prelievo da versare nelle celle adiacenti (stimato in circa 30'000 m³/anno).



Cella VE 6

Da foce Sile
a bocca di Lido

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE (Fontolan & al. 2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva 2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE7: da bocca di Lido a bocca di Malamocco

Il tratto costiero del Lido di Venezia ha una vocazione prevalentemente turistica e culturale. Esso presenta un'alternanza di tipologie di opere e di ambienti. La zona centrale è fortemente antropizzata e le spiagge sono attrezzate per la balneazione; il Lido inoltre ospita dal 1932 la "Mostra del Cinema di Venezia" che attrae in quest'isola numerosi visitatori. A ridosso dei moli delle bocche lagunari la zona di San Nicolò e la zona degli Alberoni, oltre ad essere comunque utilizzate per la balneazione, sono caratterizzate anche da una forte valenza ambientale (zone SIC – ZPS). In queste aree sono di grande rilevanza naturalistica le strutture dunali nelle quali è possibile trovare i tipici aspetti vegetazionali litoranei, seppure frammentati a causa della forte pressione turistica.

Dal punto di vista del bilancio sedimentario questa cella risulta essere completamente isolata. Non vi è infatti alimentazione dalle zone limitrofe, data la presenza dei due lunghi moli d'armatura delle bocche lagunari che confinano l'isola. Le erosioni localizzate sono verosimilmente dovute a perdita cross-shore di sedimenti.

Il trasporto costiero longitudinale netto è molto basso, poiché l'azione delle onde da Bora e Scirocco si compensano; infatti solo nelle zone d'ombra dei moli si verifica un trasporto in direzione dei moli per qualche centinaia di metri. Queste due porzioni di litorale sono solitamente soggette a fenomeni di accumulo di sabbia con conseguente formazione di un'ampia battigia e di strutture dunali. Il cordone di dune, oltre a rivestire come già detto una valenza naturalistica, possiede grande importanza anche per la difesa costiera. È possibile constatare che questi ambienti dunali sono soggetti a forti pressioni antropiche con conseguente alterazione dell'assetto geomorfologico.

La zona centro-settentrionale, antistante il centro del Lido di Venezia fino a Città Giardino (lungomare Marconi), è protetta da una serie di pennelli in pietrame e la linea di riva è in avanzamento, probabilmente a discapito dei fondali più a largo. In questa zona nel periodo invernale viene accumulata la sabbia formando delle piccole dune a ridosso delle "capanne" in legno (usate per la balneazione) favorendo le perdite di sedimenti verso il largo, mentre sarebbe più opportuno utilizzare contenitori in geosintetico come nella cella VE5. La difesa dall'allagamento costiero è garantita in questo tratto dalla presenza di un rilevato stradale.

Il litorale centrale e antistante Malamocco è difeso dai "Murazzi", antica difesa a mare costruita per proteggere Venezia dal rischio di ingressione marina. In questa zona è stata realizzata una difesa tramite barriera soffolta larga in sommità circa 50 m, articolata in 5 celle: le prime 2 a Nord integrate da diversi pennelli corti e le rimanenti 3 a Sud delimitate da 4 pennelli di circa 200 m di lunghezza. La presenza di queste opere irrigidisce la linea di costa che dunque non varia la sua posizione. Dato il modesto trasporto longitudinale, un eventuale ripascimento (protetto dalle barriere sommerse esistenti) potrebbe avere una lunga durata garantendo una maggiore fruibilità turistica.

Per l'estremità Sud della cella (Alberoni) l'evoluzione recente ha evidenziato una certa tendenza erosiva probabilmente da mettere in relazione al trasporto cross-shore, che non sembra tuttavia giustificare l'adozione di urgenti azioni di protezione-mitigazione, in considerazione dell'ampiezza dell'arenile in questa zona. Si ritiene opportuno un monitoraggio per osservare se tale processo di arretramento è costante e di conseguenza pianificare eventuali interventi.

Tab. 70 Indici di priorità cella VE7

Tratti CELLA VE7	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (San Nicolò)	1	1	1	3	3	2	1	1
Tratto Centrale (Lido di Venezia e Città Giardino)	1	1	2	1	4	4	1	2
Tratto Centrale (Malamocco)	1	1	3	1	4	3	1	1
Tratto a Sud (Alberoni)	2	1	1	3	3	2	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- La cella si configura come una pocket beach senza scambi con i litorali adiacenti e con modeste perdite verso il largo.
- Nel tratto centrale (lungomare Marconi) si osserva una sostanziale stabilità della linea di riva, probabilmente a discapito dei fondali antistanti che subiscono un'erosione di circa 2'500 m³/anno.
- Nel tratto antistante Malamocco la linea di riva è irrigidita dalla presenza dei Murazzi, davanti ai quali sarebbe opportuno realizzare un ripascimento.
- Nella porzione meridionale (Alberoni) si evidenzia un arretramento della linea di riva di circa 5 m/anno, che non comporta criticità gestionali.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Ripascimento manutentivo lungomare Marconi (5'000 m³/anno).
- Ripascimento nel tratto antistante ai Murazzi, protetto dalle 5 celle esistenti, per un avanzamento di 20 m di spiaggia.
- Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa dell'intera cella, con particolare attenzione alla porzione meridionale (Alberoni) per valutare la costanza o l'occasionalità del processo erosivo evidenziato dalla recente variazione della linea di riva.

Cella VE 7

Da bocca di Lido
a bocca di Malamocco

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna

Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE (Fontolan & al. 2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Variazione linea di riva 2007-2012

Accrescimento

Erosione



- Cella VE8: da bocca di Malamocco a bocca di Chioggia

Il litorale dell'isola di Pellestrina è, insieme al Lido, la naturale difesa a mare per la laguna di Venezia. Tutta la costa, ad eccezione del tratto a Sud (Ca' Roman), è protetto da un sistema di difesa a celle e da un "murazzo" che percorre l'isola. La cella litoranea VE8 è compresa tra i lunghi moli d'armatura delle bocche lagunari e costituisce una unità fisiografica isolata. Il trasporto solido litoraneo risulta essere molto modesto in ragione dell'orientazione della linea di riva, pressoché perpendicolare alla direzione media del clima ondoso, ed è confinato al largo dei pennelli e della barriera sommersa.

La difesa a celle, completata alla fine degli anni 90', è stata realizzata tramite il versamento di oltre 4 milioni di m³ protetti da una serie di pennelli e una barriera sommersa. Le opere di protezione e di contenimento del materiale versato hanno garantito una elevata durata del ripascimento. Tuttavia, a distanza di circa 15 anni, si riscontra la necessità di un nuovo apporto di sabbie. Si ritiene infatti indispensabile procedere a un ripascimento prima che l'azione delle onde possa raggiungere direttamente il murazzo con conseguente incremento delle perdite verso il largo (per riflessione su una parete verticale). Il monitoraggio effettuato sull'intervento ha evidenziato perdite dell'ordine dei 4'000 m³/anno/km e, non essendo mai stato eseguito alcun intervento di manutenzione, è opportuno prevedere un versamento dell'ordine dei 600'000 m³ per ripristinare la situazione iniziale (post-ripascimento).

L'isola di Pellestrina è caratterizzata da una media affluenza turistica nella stagione estiva e da attività economiche legate alla pesca e all'agricoltura. Le estremità Nord e Sud di questa cella sono aree con una grande valenza ambientale. In particolare la zona di Ca' Roman è un'oasi (oasi LIPU) che conserva, grazie al suo relativo isolamento e all'assenza di un eccessivo sfruttamento turistico, uno degli ambienti dunali più integri di tutto l'Alto Adriatico dove si possono trovare associazioni vegetali ormai rare e specie animali di pregio. Per la sua valenza naturalistica il biotopo di Ca' Roman è stato designato Sito di Importanza Comunitaria (SIC) e Zona di Protezione Speciale (ZPS). Si ritiene pertanto che l'isola di Pellestrina debba essere monitorata, salvaguardata e valorizzata non solo per l'elevato valore culturale e naturalistico, ma anche per il potenziale turismo ambientale che potrebbe svilupparsi.

Tab. 71 Indici di priorità cella VE8

Tratti CELLA VE8	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord e centrale (Pellestrina)	4	3	3	1	2	2	2	3
Tratto a Sud (Ca' Roman)	1	1	1	4	1	1	1	3

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- La cella VE8 si configura come una pocket beach isolata dalle aree adiacenti in termini di trasporto solido longitudinale.
- Lungo il litorale protetto da muraio, pennelli e barriera soffolta si attesta un arretramento della linea di riva e una perdita di 40'000 m³/anno (ovvero una perdita di 5'000-10'000 m³ x anno x km)
- La zona di Ca' Roman è sostanzialmente stabile.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Realizzazione di un versamento di circa 600'000 m³ per ripristinare la situazione successiva all'intervento effettuato negli anni '90.
- Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa nell'intera isola di Pellestrina per la valutazione dei quantitativi e della frequenza degli interventi manutentivi. Si stimano circa 5'000-10'000 m³ x anno x km.

Cella VE 8

Da bocca di Malamocco
a bocca di Chioggia

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di
prelievo

Area di
deposito

Ripascimento

Duna

Trend evolutivo
recente

Classificazione
ASPE (Fontolan & al.
2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva
2007-2012

Accrescimento

Erosione



- Cella VE9: da bocca di Chioggia a foce Brenta

Il tratto costiero di Sottomarina è una zona a elevata fruibilità turistica e nella spiaggia sono presenti numerosi stabilimenti balneari.

Il trasporto solido litoraneo, che risulta diretto verso Sud a partire dalla cella VE1 sino alla VE6 e appare sostanzialmente mediamente azzerato in corrispondenza dei lidi Veneziani, a Sottomarina è diretto verso Nord. I sedimenti vengono dunque intercettati quasi totalmente dall'armatura Sud della Bocca di Chioggia. La zona in destra idrografica alla bocca è in costante avanzamento e la battigia in alcuni punti arriva a raggiungere i 300 m di larghezza. La zona sommersa situata a ridosso del molo Sud della bocca di Chioggia è risultata, a seguito di idonee verifiche effettuate dalla Regione Veneto, un'area di prestito di volumi di sabbia utile per la realizzazione di ripascimenti.

Per contro la zona a ridosso della foce Brenta, oggi armata con moli della lunghezza di circa 450 m, manifesta una chiara tendenza erosiva, provocata principalmente da mareggiate eccezionali. In alcuni punti l'erosione ha danneggiato i rilevati dunali retrostanti e ha provocato l'affioramento dei gabbioni posti alla base delle dune. Proprio per contrastare tali fenomeni negli ultimi anni sono stati realizzati ripascimenti d'emergenza con volumi prelevati nell'area di prestito sopra menzionata. L'evoluzione recente della linea di riva fa emergere un arretramento nei 2 km di litorale in sinistra al fiume Brenta, ad eccezione del primissimo tratto (300 m) adiacente all'armatura di foce che invece presenta un trend di accrescimento.

Per prevenire e contrastare i fenomeni erosivi è stato sottoposto a procedura di VIA un progetto preliminare per la configurazione del litorale di Sottomarina, risultando definitivamente approvato con DGRV n. 1550 del 31.07.2012. Alla data attuale sono in corso di realizzazione nel litorale in sinistra al fiume Brenta le seguenti opere: il ripristino dell'arenile fino ad una quota di +1.50 m s.m.m. (circa 40'000 m³), il ripristino dei fondali ad esso adiacenti per una larghezza compresa tra 175 e 250 m (circa 280'000 m³) e la costruzione di una barriera sommersa di protezione dal moto ondoso di estensione pari a 1200 m (a partire dall'armatura si foce Brenta verso Nord) e sommità a -1.20 m s.m.m. Si ritiene opportuno svolgere un attento monitoraggio della zona a Nord del tratto protetto dalla nuova barriera poiché, nonostante si possa prevedere un'iniziale avanzamento beneficiando del materiale versato nella zona d'intervento, nel tempo potrebbe manifestarsi una locale tendenza erosiva.

Ad integrazione dell'intervento di difesa si potrebbe ripristinare il sistema di cordoni dunali che, come già anticipato, è stato danneggiato dalle mareggiate eccezionali e dall'eccessiva pressione turistica (non rispettosa della funzionalità e della valenza ambientale delle dune). La presenza di diverse recinzioni limita inoltre lo sviluppo naturale delle strutture dunali.

Tab. 72 Indici di priorità cella VE9

Tratti CELLA VE9	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (Sottomarina)	1	1	1	1	4	3	1	1
Tratto a Sud (2 km da foce Brenta verso N)	4	2	3	1	4	3	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Le simulazioni condotte contestualmente al progetto della barriera tendono ad evidenziare che il trasporto solido longitudinale non supera i moli d'armatura del fiume Brenta nemmeno durante le mareggiate estreme. Di conseguenza si assume che la cella non venga significativamente alimentata da Sud. Similmente, la forma e l'evoluzione della linea di riva, in prossimità della foce del fiume Brenta, evidenzia che non c'è interazione con il trasporto solido fluviale. È ipotizzabile che gran parte del trasporto fluviale (400'000 m³/anno) venga diretto dai lunghi moli di foce verso il largo su fondali posti oltre la profondità di chiusura, essendo i quantitativi medi dragati dell'ordine dei 20'000 m³/anno.
- Il trasporto solido in corrispondenza della metà cella è di circa 15'000 m³/anno e cresce in prossimità del molo d'armatura di Bocca di Chioggia fino a 25'000 m³/anno, in ragione dell'effetto di schermatura dalle onde di Bora esercitato dal molo stesso. In conseguenza di questa distribuzione dei trasporti si manifesta un'erosione del litorale a Sottomarina di circa 10'000 m³/anno e un accumulo in corrispondenza del molo di Chioggia di circa 25'000 m³/anno.
- Nel tratto a Sud della cella, in sinistra Brenta e oggetto dell'intervento di difesa con barriera sommersa, si evidenzia una tendenza erosiva accentuata (arretramento linea di riva di circa 5m/anno), che deriva dalla mancata alimentazione di sedimenti di origine fluviale rispetto al passato.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Monitoraggio della zona sottoflutto al nuovo intervento ed eventuale manutenzione mediante ripascimento.
- Monitoraggio del tratto di spiaggia di Sottomarina attualmente in erosione finalizzato ad un ripascimento periodico dell'ordine di 10'000 m³/anno.
- Dragaggio della spiaggia emersa e sommersa adiacente al molo di Bocca di Chioggia, finalizzato al riutilizzo dei sedimenti sia in questa cella che nella celle adiacenti.



Cella VE 9

Da bocca di Chioggia
a foce Brenta

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

Opera rigida

Duna

Interventi programmati

Opera

Area di prelievo

Area di deposito

Ripascimento

Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE (Fontolan & al. 2014)

A (accumulo)

S

P

E (erosione)

Trasporto Longitudinale

→

←

Variazione linea di riva 2007-2012

Accrescimento

Erosione

- Cella VE10: da foce Brenta a foce Adige

Il litorale di Isola Verde, che coincide per intero con la cella VE10, è delimitato dalle foci del fiume Brenta e Adige. A partire dagli anni sessanta la parte dell'isola prossima alla spiaggia ha assunto crescente valenza turistica, con la progressiva costruzione di strutture alberghiere, campeggi e stabilimenti balneari. Il resto dell'isola viene tuttora destinato all'agricoltura. Il tratto a ridosso del fiume Brenta è un'area SIC (IT3250034) caratterizzata dalla presenza di un sistema dunale residuale e un complesso di dune mobili, sistemi vulnerabili a causa dell'erosione provocata dalle mareggiate più gravose e dell'elevato carico antropico presente durante la stagione estiva.

Dall'analisi dell'evoluzione della linea di riva, il litorale di Isola Verde presenta, soprattutto nella zona centrale e meridionale, fenomeni erosivi causati presumibilmente dalla diminuzione della portata solida del fiume Adige. La ridotta ampiezza dell'arenile, la vicinanza degli insediamenti al litorale e la fragilità dei sistemi dunali non garantiscono la sicurezza nei confronti dell'allagamento costiero a seguito di mareggiate eccezionali.

I numerosi interventi di ripascimento che si sono susseguiti per far fronte a questi fenomeni erosivi, non sono stati sufficienti a contrastare la tendenza all'arretramento che si osserva per circa 1700 m a Nord della foce Adige. Volendo garantire l'efficacia nel tempo del ripascimento, nel DGRV n. 1550 del 31.07.2012 sono stati approvati, oltre al già citato intervento per Sottomarina, i progetti preliminari per la configurazione definitiva della foce del fiume Adige e del litorale di Isola Verde. Per gli interventi di protezione e ripascimento del litorale di Isola Verde, sono previsti: il prolungamento dei sette pennelli trasversali già esistenti, in modo che la relativa testata si estenda fino alla batimetrica -3.0 m s.m.m.; l'ulteriore prolungamento dei pennelli fino alla batimetrica -3.50 m s.m.m. tramite setti sommersi; la realizzazione di una barriera sommersa parallela a riva, su fondale a -3.50 m s.m.m. con una quota di sommità posta a -1.50 m s.m.m. e larghezza 20 m lungo l'intero litorale, che collega quindi le estremità dei moli esistenti in destra Brenta e sinistra Adige; il ripascimento artificiale del litorale, mirando ad avere un avanzamento della linea di riva, dell'ordine di 50 m; la ricostruzione del rilevato dunale.

Si ritiene che, qualora fossero disponibili risorse per la realizzazione di questo progetto, i primi interventi da effettuare sarebbero il versamento di sabbia per un avanzamento di circa 20 m, inclusa la ricostruzione del rilevato dunale, e il prolungamento dei 7 pennelli. Infatti è auspicabile che l'Adige possa dare un contributo importante in termini di apporto solido fluviale e in tal caso l'intervento più idoneo per intercettare tali sedimenti sono i pennelli (in continuità con la strategia già adottata). Qualora invece si dovesse riscontrare che il ripascimento manifesti perdite troppo repentine negli anni, sarà opportuno procedere con la costruzione della barriera sommersa.

Per l'armatura della foce Adige, nel progetto preliminare era prevista la realizzazione di pennelli composti da una parte fissa realizzata in scogliera e da una parte stagionale da realizzare con "dighe flessibili" riempite in acqua. A tal proposito, in fase di progettazione definitiva, si dovrà tenere conto di problematiche legate al deflusso idrico fluviale, alla distribuzione dell'apporto fluviale tra la bocca principale e le aperture laterali, al possibile insabbiamento della foce causato dal deposito dei sedimenti trasportati dalle onde attraverso i varchi (quando aperti) e infine ai costi di gestione e manutenzione dell'opera. Si ritiene pertanto che qualsiasi intervento che modifichi o isoli, dal punto di vista del trasporto solido litoraneo, Isola Verde dalle zone adiacenti e che modifichi il normale deflusso idrico fluviale debba essere studiato con idonei modelli matematici litoranei e fluviali.

Tab. 73 Indici di priorità cella VE10

Tratti CELLA VE10	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Litorale Isola Verde	3	2	3	2	3	3	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Dell'apporto fluviale dell'Adige (stimato in $800'000 \text{ m}^3/\text{anno}$) solo una parte si riscontra interagire con il trasporto solido costiero (dell'ordine di $100'000 \text{ m}^3/\text{anno}$), a causa della dimensione del sedimento e della presenza di moli e palancole provvisorie che tendono ad allontanare il materiale verso il largo.
- A causa dell'azione delle onde, parte dell'apporto fluviale ($50'000 \text{ m}^3/\text{anno}$) è convogliato verso Sud e parte verso la cella in esame ($50'000 \text{ m}^3/\text{anno}$).
- La parte meridionale e centrale della cella soffre di fenomeni erosivi con arretramento della linea di riva di circa 4 m/anno. L'accumulo riscontrato a ridosso del molo Sud di foce Brenta è di circa $30'000 \text{ m}^3/\text{anno}$ e la parte rimanente del trasporto solido litoraneo viene probabilmente deviata verso il largo.

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Realizzazione di una difesa a celle: prolungamento dei 7 pennelli, ripascimento finalizzato all'avanzamento della linea di riva di circa 20 m e ricostruzione del cordone dunale.
- Monitoraggio dell'intero litorale di Isola Verde finalizzato alla valutazione dei volumi dei sedimenti e al progetto del versamento manutentivo (stimato pari a circa $20'000 \text{ m}^3/\text{anno}$ con prelievo da foce Brenta e foce Adige).

Cella VE 10

Da foce Brenta a foce Adige

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

— Opera rigida

Interventi programmatici

 Opera

 Area di
prelievo



 Ripascimento

 Duna

Trend evolutivo
recente

Classificazione
ASPE (Fontolan & al.
2014)

↔ A (accumulo)

 $\longleftrightarrow S$

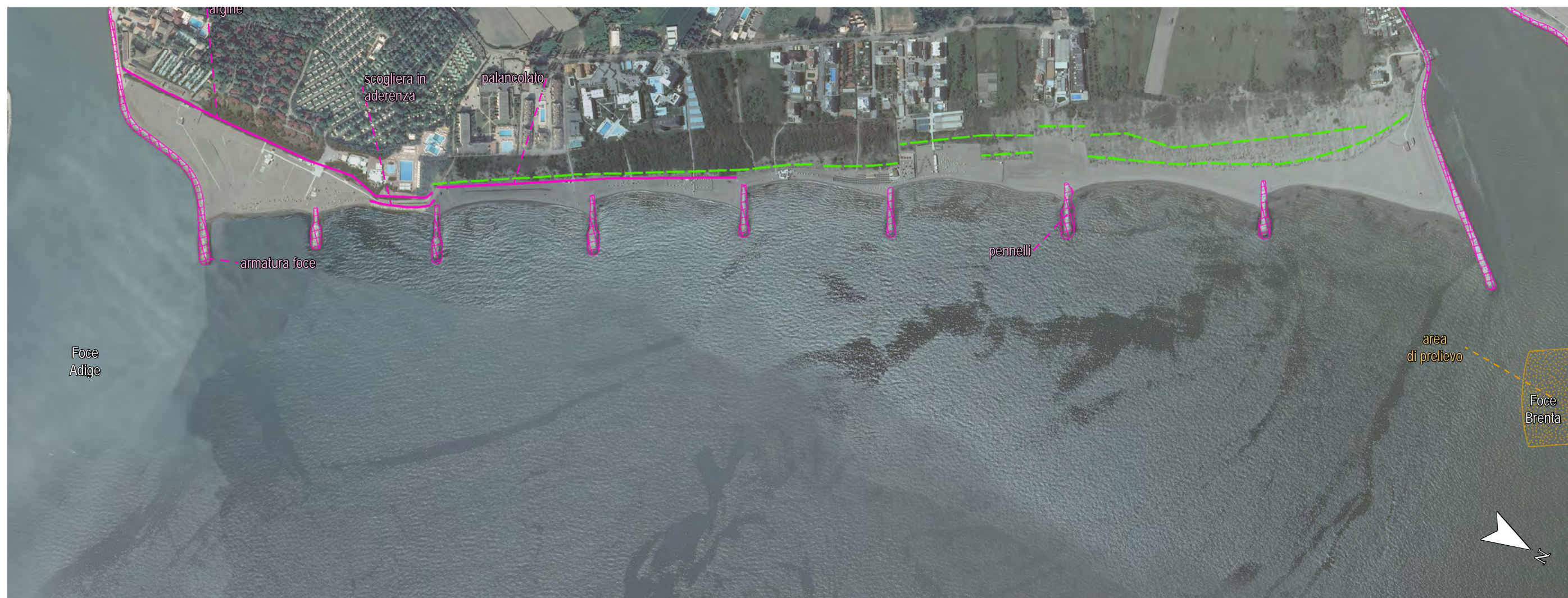
$\longleftrightarrow P$

 E (erosione)

Trasporto Longitudinale

Variazione linea di riva 2007-2012

 Accrescimento

 Erosione

16.5 ANALISI DELLE CELLE APPARTENENTI ALLA PROVINCIA DI ROVIGO

- Cella RO1: da foce Adige a bocca di Caleri

Il litorale di Rosolina, che coincide interamente con la cella RO1, ha un'economia basata principalmente sul turismo (Rosolina Mare) e sulla pesca nelle valli e nelle lagune retrostanti. Le aree a tergo del litorale fanno parte della zona SIC e ZPS, denominata "Delta del Po".

Il primo tratto a Nord è costituito da una fragile struttura artificiale (coronella in pietrame con sommità + 1.5 m), talora tracimata dalle onde durante le più violente mareggiate, che divide il mare aperto dalla foce dell'Adige chiudendo planimetricamente un vecchio ramo della foce presente fino agli anni '30 dello scorso secolo. La piccola spiaggia antistante la coronella lato mare è interessata da un grave fenomeno erosivo che ne ha determinato la quasi totale scomparsa. A ridosso della coronella, lato fiume, si accumulano i sedimenti recapitati dalle onde che tracimano la struttura, poi distribuiti lungo la spiaggia attraverso il sabbiodotto ivi presente. Questa zona potrebbe essere utilizzata anche come deposito temporaneo di sedimenti una volta verificato che non sia ostacolato il regolare deflusso idrico fluviale. Per quanto riguarda l'aspetto idraulico-fluviale della foce, valgono le considerazioni espresse nella cella VE10.

Nel litorale a Sud della coronella è stata realizzata, tra il 2000 - 2001, una difesa a celle composta da cinque pennelli e una barriera sommersa antistante; sono in fase di costruzione ulteriori due pennelli posizionati nel litorale immediatamente a Sud di quelli esistenti. Dato l'elevato trasporto solido litoraneo diretto verso Sud, appare opportuno continuare con la realizzazione di pennelli lungo questo tratto, per proteggere la parte in erosione, mentre non sembrano sussistere le condizioni per estendere la barriera sommersa. Come già anticipato è presente in questa zona un sabbiodotto realizzato nel 2007, che si estende da foce Adige fino a 600 m a valle dell'ultimo pennello esistente; alla radice di ciascun pennello c'è un pozzetto utilizzato per il refluento del materiale. Con il suddetto sabbiodotto vengono versati 20'000-30'000 m³/anno di sabbia, che tuttavia non risultano essere sufficienti a mantenere stabile la costa, vista la insufficiente alimentazione di sedimenti dall'Adige.

Al largo della barriera sommersa si osserva la presenza di un canale profondo 3 m circa (la cui origine può essere in parte ricondotta alla interazione della idrodinamica costiera con la barriera) oltre il quale si osserva una barra sabbiosa con sommità a quote anche inferiori alla -2 m. Il canale formatosi potrebbe impedire che la sabbia in circolazione proveniente dall'Adige si avvicini alla riva. Nelle zone più meridionali, in cui non vi sono opere rigide, si osserva un avanzamento della linea di riva dell'ordine di 4-5 m/anno.

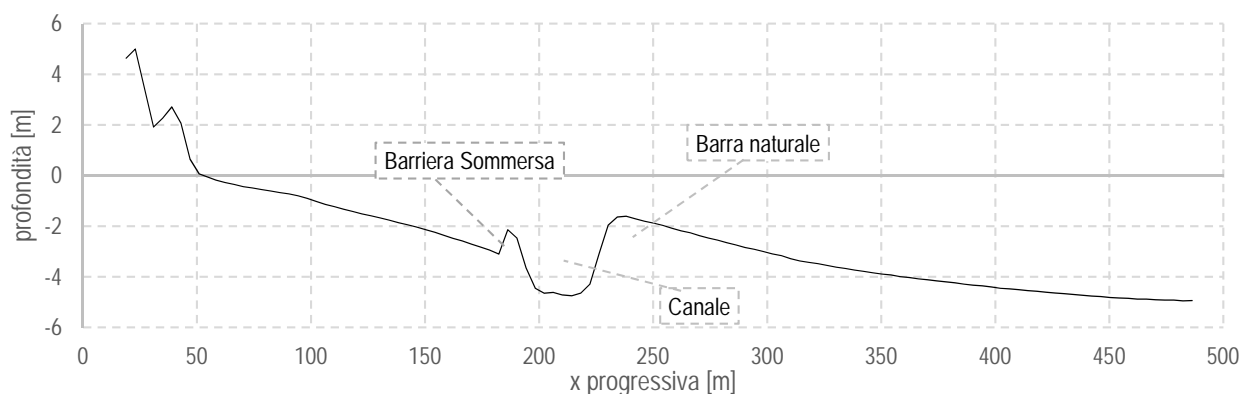


Fig. 108 Sezione batimetrica Rosolina Nord (post ripascimento), presenza barra naturale e canale

Sembra pertanto logico pensare che il trasporto solido litoraneo sia diretto da Nord verso Sud ossia divergente dalla foce del fiume Adige, e che avvenga prevalentemente ad una certa distanza da riva, circa in corrispondenza della barra naturale sabbiosa al largo del canale (Fig. 108).

Planimetricamente il fondale appare più ripido nella parte centrale che rispetto al tratto adiacente Bocca di Caleri. In altri termini, la batimetrica - 5 m dista da riva 400 - 500 m nella parte antistante l'abitato di Rosolina Mare mentre presso Bocca di Caleri dista circa 1000 m (i dati a cui si fa riferimento sono del 2012 non essendo stato fornito un rilievo più recente). Ciò conforta l'immagine di un accumulo dei sedimenti provenienti dall'Adige verso Bocca Caleri che si configura come una potenziale area di prelievo. Peraltro lungo il canale di accesso a bocca di Caleri c'è un grosso accumulo di sedimenti, che necessita di periodici interventi di dragaggio per garantire l'officiosità dell'imboccatura e il ricambio idrico nella laguna. È opportuno che il materiale disponibile venga prelevato per usi di ripascimento.

Il tratto più meridionale è una zona di particolare interesse ambientale-naturalistico con percorsi attrezzati e zone di osservazione.

Tab. 74 Indici di priorità cella RO1

Tratti CELLA RO1	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto a Nord (antistante Rosolina Mare)	3	2	3	2	4	4	2	1
Tratto a Sud (Rosolina)	1	1	1	3	2	2	2	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- L'apporto fluviale del fiume Adige è di 50'000 m³/anno verso Nord e altrettanto verso la cella in esame.
- Diversamente dalla cella VE10, il trasporto verso Sud indotto dalle onde, calcolato in assenza di pennelli, non è in equilibrio con l'apporto fluviale. Esso è sensibilmente maggiore, come testimonia la asimmetria della bocca. Tale asimmetria è una conseguenza dell'irrigidimento della foce fluviale ma anche della linea di riva, non libera di evolvere secondo le dinamiche naturali ed ha comportato una forte erosione tuttora in atto.
- Il trasporto longitudinale in questa cella è ovunque diretto verso Sud. Tipicamente ci si aspetterebbe una riduzione del valore medio del trasporto allontanandosi dalla foce verso Sud. In realtà i pennelli nel primo tratto a Nord intercettano parte dei sedimenti in transito. Il trasporto stimato per i tratti settentrionale e meridionale è di circa 70'000 m³/anno, mentre per quello centrale è di circa 80'000 m³/anno.
- Quindi, stante la ridotta portata solida del fiume Adige, la perdita complessiva del primo tratto è di soli 20'000 m³/anno (quasi integralmente ripristinati da ripascimenti periodici eseguiti prelevando il materiale da Bocca Caleri).
- Nel tratto centrale si osserva una perdita di circa 10'000 m³/anno.
- Nel tratto meridionale si osserva un accumulo di circa 10'000 m³/anno.
- I 70'000 m³/anno diretti verso Bocca Caleri si depositano in corrispondenza di questa, che è punto di convergenza del trasporto solido sia da Nord che da Sud (vedi cella RO2).

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato e che venga realizzato il primo stralcio dei lavori consistenti in due pennelli a Sud delle celle esistenti, si ipotizza la seguente gestione:

- Dragaggio di Bocca di Caleri di circa 70'000 m³/anno di cui 30'000 m³/anno finalizzati al ripascimento dei tratti critici posti a Nord.
- Eventuale realizzazione nel tratto centrale, antistante l'abitato di Rosolina Mare, di pennelli filtranti/degradanti al fine di rendere omogeneo il valore di trasporto litoraneo lungo tutta la cella, riducendo quindi il rischio di erosione su tutto il tratto in esame.
- Monitoraggio degli accumuli/erosioni nell'intero litorale, finalizzato alla definizione dei volumi di prelievo/versamento.



Cella RO 1

Da foce Adige
a bocca di Caleri

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto
Longitudinale



Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

- Cella RO2: da bocca di Caleri a bocca Porto di Levante

L'isola di Albarella (comune di Rosolina) è un'isola privata ad uso turistico – balneare e fa parte del Parco Regionale del Delta del Po.

La bocca di Caleri rappresenta un punto di convergenza del trasporto solido litoraneo che per questa cella, a differenza della precedente, ha direzione Sud – Nord. Di conseguenza nel tratto prossimo alla bocca, si osserva un trend di avanzamento della linea di riva con evidente accumulo di sedimenti al largo della bocca stessa. La bocca è protetta in sinistra idrografica da una scogliera in pietrame in aderenza alla linea di riva ma un nuovo intervento ha previsto il suo salpamento e la realizzazione di due pennelli ortogonali alla riva. Va osservata una particolare attenzione alla gestione dei fondali del canale di accesso alla laguna di Caleri, al fine di garantire un adeguato ricambio idrico alla laguna e di limitare i rischi per la balneazione, legati alla prossimità del canale agli arenili degli stabilimenti di Albarella.

Dall'analisi dell'evoluzione della linea di riva, nel litorale di Isola Albarella, ad eccezione di un tratto in lieve erosione posto a 300 m a Nord del molo di Porto Levante, si è assistito ad un progressivo incremento della spiaggia che oggi non sembra evidenziare preoccupanti fenomeni erosivi, anche in considerazione dei versamenti eseguiti. Il tratto a ridosso dell'armatura della bocca di Porto Levante, presenta un avanzamento della linea di riva di circa 120 m in 12 anni.

Dal confronto volumetrico si osserva invece un approfondimento dei fondali su tutta la zona, tale da ridurre una perdita di circa 10'000 m³/anno nell'ultimo periodo. Tuttavia questo aspetto non desta preoccupazione per quanto riguarda il manifestarsi di possibili fenomeni erosivi a riva.

La bocca di Porto Levante viene costantemente dragata per il mantenimento nel canale navigabile di una profondità di circa - 4.2 m. I sedimenti prelevati possono essere utilizzati per ripascimenti manutentivi, previa verifica di compatibilità chimico-fisica. Nel periodo invernale del 2014 sono stati prelevati circa 40'000 m³, depositati temporaneamente in sinistra idrografica alla bocca di Porto Levante e in seguito utilizzati per il rinforzo delle dune costiere situate a Nord di Isola Albarella.

Il monitoraggio degli apparati dunali assume particolare importanza per il mantenimento della loro continuità, sia per la loro funzione preventiva all'ingressione marina sia come riserva sabbiosa in concomitanza di eventi eccezionali. La gestione dei sedimenti in questa cella assume dunque una grande rilevanza poiché entrambe le bocche che ne delimitano i confini possono essere pensate come aree di prelievo di sabbia.

Tab. 75 Indici di priorità cella RO2

Tratti CELLA RO2	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Litorale di Albarella	1	1	2	2	3	3	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

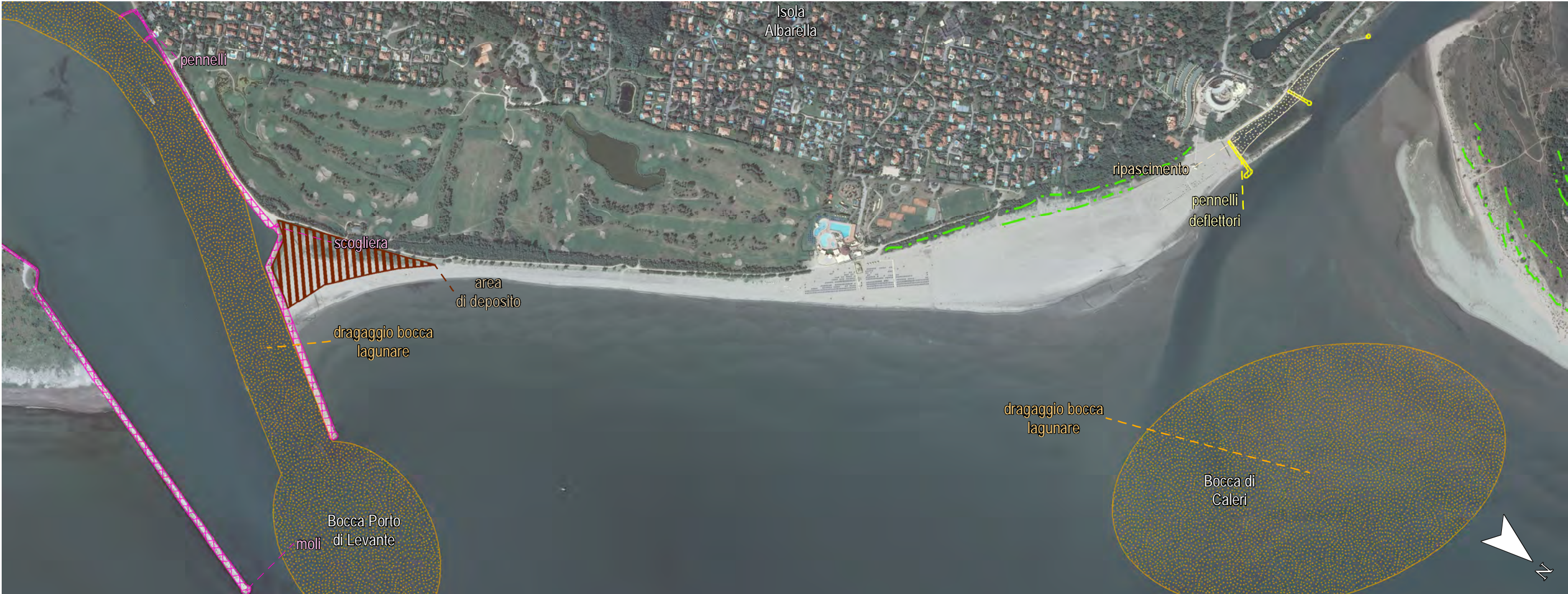
Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Dall'analisi delle onde non risultano quasi mai eventi che inducano trasporto litoraneo diretto verso Sud. Questo giustifica la configurazione dei moli portuali, funzionali a proteggere la bocca solo dal trasporto diretto verso Nord. Tuttavia, a causa delle circolazioni presenti nell'area, parte dei sedimenti dei fondali di Albarella si depositano comunque in sinistra idrografica a Porto Levante.
- Nella cella RO2 il trasporto solido longitudinale, diretto da Sud verso Nord, che oltrepassa l'armatura di foce Porto di Levante è pari a circa 80'000 m³/anno e cala fino a 40'000 m³/anno in corrispondenza della Bocca di Caleri. Il conseguente accumulo non è osservato sui fondali oltre la batimetrica – 2 m ma solo in corrispondenza della spiaggia prossima alla linea di riva. Complessivamente dall'ultimo rilievo si registra una perdita di 10'000 m³/anno. È ragionevole assumere che circa 50'000 m³/anno si depositino nella porzione dragata del canale di accesso al porto a causa di circolazioni legate all'interazioni tra la Bocca di Caleri e i moli di Porto Levante. Questa interpretazione necessita tuttavia di una validazione mediante studi opportuni.
- La bocca di Caleri è un punto di convergenza del trasporto e quindi si configura come area di prelievo di circa 40'000 m³/anno da sommare ai 70'000 m³/anno provenienti dalla cella RO1.
- La foce Po di Levante si configura come area di prelievo di sedimenti (circa 50'000 m³/anno)

Ipotizzando che il trend evolutivo osservato rimanga invariato, si ipotizza la seguente gestione:

- Monitoraggio dell'intero litorale di Isola Albarella e delle due bocche, con particolare attenzione al dragaggio della bocca di Caleri per limitare i rischi ai bagnanti associati alla prossimità del canale alla spiaggia e alla idrodinamica complessiva dell'area. Il monitoraggio deve dunque riguardare sia indagini topo-batimetriche che una caratterizzazione granulometrica dei sedimenti.
- Dragaggio della bocca di Caleri in azione congiunta alla programmazione relativa alla cella RO1 per un quantitativo complessivo di 110'000 m³/anno.
- Dragaggio della bocca di Porto di Levante per garantirne l'officiosità (tale "sediment stock" forse potrebbe essere utile non tanto per le celle RO2 e RO3 ma piuttosto per le celle RO1 e RO4)

Le azioni previste per questa cella sono finalizzate al mantenimento dei fondali nelle due bocche, ma anche al recupero di risorse indispensabili per la gestione dell'intera costa e vanno quindi in parte imputate alle aree che beneficeranno di tali risorse.



Cella RO 2

Da bocca di Levante
a foce Po di Maistra

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto Longitudinale

-
- ←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

- Cella RO3: da bocca Porto di Levante a foce Po di Maistra

A partire da questa cella proseguendo verso Sud la costa della Provincia di Rovigo assume un carattere prevalentemente naturale essendo parte integrante del Delta del fiume Po, dunque le considerazioni che ora seguono sono valide per tutte le successive celle. Ad eccezione di alcuni brevi tratti, il litorale non è antropizzato e risulta essere un susseguirsi di foci del fiume Po, imboccature lagunari, isole e scanni che fungono da prima difesa per le lagune retrostanti. Tutta l'area è SIC – ZPS (Delta del Po codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017) e fa parte del Parco regionale del Delta del Po; in essa si trovano complesse associazioni vegetazionali, habitat prioritari ed è un importante sito per la nidificazione, la migrazione e lo svernamento di numerose specie.

La conformazione di questo litorale impone una valutazione, un'analisi e dunque una pianificazione diverse rispetto alla restante costa Veneta. Essendo infatti un'area con una forte rilevanza ambientale e relativamente poco antropizzata, va pensata una gestione che miri a mantenerne e valorizzarne tale carattere. Il monitoraggio e l'eventuale ricostruzione degli apparati dunali assume particolare importanza per garantire il mantenimento della loro continuità, sia per la loro funzione preventiva all'ingressione marina sia come riserva sabbiosa in concomitanza di eventi eccezionali. Si ritiene inoltre opportuno limitare la costruzione di opere che irrigidiscano la costa, favorendo interventi che si adattino alla dinamicità morfologica della zona e che abbiano un impatto ambientale minimo. Tuttavia, vista la difficoltà di garantire il mantenimento delle imboccature lagunari, non pare inopportuno adottare opere di armatura delle bocche, ad esempio in pietrame o con strutture galleggianti, che però dovranno essere progettate in modo da intercettare solo una piccola parte del trasporto solido longitudinale. La stabilità delle imboccature lagunari dovrà essere valutata con idonei modelli fluviali-marittimi in relazione anche alla superficie delle lagune e al prisma di marea caratteristico. Ovviamente tali canali dovranno essere periodicamente dragati per mantenere l'efficienza della bocca ed il ricambio idrico nelle retrostanti lagune. Il materiale dragato da questi canali può essere considerata una risorsa a fine di ripascimento degli arenili.

È necessario inoltre definire una strategia di gestione del materiale spiaggiato. I detriti vegetali (tronchi, rami, alghe, etc.) si depositano nella battigia durante la stagione invernale. Nel periodo precedente alla stagione estiva si ritiene opportuno accumulare tali materiali nella zona antistante le dune, a protezione delle stesse, eventualmente ricoprendolo con sabbia prelevata da zone di accumulo latitanti. Tale operazione va evidentemente preceduta dalla rimozione di materiale plastico e in generale materiale non compatibile dal punto di vista ambientale. Nel tempo tali accumuli potrebbero favorire la ricostruzione naturale degli apparati dunali, grazie all'azione del vento e della vegetazione, fungendo da nucleo interno.

Una corretta gestione di tale litorale assume dunque tre diversi ed importanti aspetti: un aspetto puramente ingegneristico di protezione degli scanni ai fini della difesa idrogeologica delle lagune retrostanti, un aspetto economico per il mantenimento dell'attività produttiva (in particolare ittica) e un aspetto ambientale mirato alla salvaguardia della varietà di habitat presenti. Si ritiene essenziale attuare strategie che valorizzino questo territorio e che incentivino un turismo ambientale mediante la realizzazione di percorsi naturalistici e area ricreative.

La cella RO3, compresa tra bocca Porto di Levante e foce Po di Maistra, è conosciuta come scanno Cavallari. Tale scanno protegge la laguna della Vallona che in passato era aperta verso mare in corrispondenza della foce del Po di Maistra; a Sud della laguna vi è una porta vinciana che favorisce la circolazione interne ad essa. Quasi tutto questo tratto, lato mare, è in condizioni di accrescimento per la presenza del lungo molo di Porto Levante che ostacola parte del trasporto solido, arrestando la migrazione dello scanno che si trovava davanti alla foce del Po di Maistra. A causa della sua elevata dinamicità, questo litorale è, come già detto in precedenza, un'unità fisiografica fragile, che va tutelata per garantire la difesa dall'ingressione marina delle aree retrostanti. Lo scanno Cavallari ha tuttavia subito, nei decenni scorsi, notevoli riduzioni nel lato interno, verso il fiume e tali perdite di superfici emerse hanno reso ancor più fragile e vulnerabile questo sottile lembo di terra. L'attività economica in questa zona è legata esclusivamente alla molluschicoltura sviluppata nella laguna della Vallona.

Negli anni compresi tra il 1977 e il 2000 il fiume Po non ha registrato piene significative e la foce Po di Maistra si è chiusa. In questa zona la laguna è oggi delimitata a mare da una scogliera e la foce del Po di Maistra è stata nuovamente aperta (nel Dicembre 2007) dall'AIPO. L'accumulo di sabbia antistante ad essa è migrato verso Nord, in accordo con la direzione del trasporto solido litoraneo.

Tab. 76 Indici di priorità cella RO3

Tratti CELLA RO3	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Scanno Cavallari	1	2	1	3	1	1	3	1
Tratto in sinistra idrografica a Po di Maistra	3	3	3	3	1	1	2	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- L'apporto solido fluviale del Po di Maistra è pari a circa 170'000 m³/anno. Di questo materiale la maggior parte si disperde al largo e una parte interagisce con il trasporto solido litoraneo diretto da Sud verso Nord.
- Il trasporto solido litoraneo presso foce di Po di Maistra è pari a circa 90'000 m³/anno: 10'000 m³/anno si depositano lungo il litorale, intercettati dall'armatura Sud di Porto di Levante e 80'000 m³/anno la superano. L'accumulo verificatosi nel tempo a Sud del lungo molo d'armatura ha infatti contribuito a ridurre significativamente l'effetto di ostacolo al trasporto indotto dal molo.
- L'area è estremamente dinamica e fragile per cui è elevato il pericolo di allagamento costiero. Va inoltre posta particolare attenzione al deflusso idrico e apporto solido presso la foce del Po di Maistra in relazione alla sua vicinanza con la bocca della laguna della Vallona (Bocchetta).

Si ipotizza la seguente gestione:

- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo anche lato laguna per individuare gli eventuali zone di arretramento o punti dove il cordone dunale è interrotto (o con quote troppo ridotte) finalizzato al ripristino degli stessi per garantire la protezione dall'ingressione marina nella laguna retrostante.
- Interventi di stabilizzazione (da valutare e studiare tramite indagini e modelli matematici litoranei e fluviali) della foce Po di Maistra, dell'adiacente bocca della laguna della Vallona e del tratto posto immediatamente a Nord di esse.
- Monitoraggio della foce Po di Maistra e dell'adiacente bocca della laguna della Vallona.



Cella RO 3

Da bocca di Caleri
a bocca di Levante

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

-
- ←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

- Cella RO4: da foce Po di Maistra a busa di Tramontana

Per questa cella valgono le considerazioni generali introdotte nella descrizione della cella RO3. Anche questo scanno svolge la funzione di difesa dall'ingressione marina per la laguna retrostante e ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, facendo parte del Parco regionale del Delta del Po ed essendo area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017).

Questo tratto di litorale (parzialmente di proprietà privata) conosciuto come scanno di Boccasette, racchiude verso mare la laguna di Barbamarco. Tale scanno, lungo all'incirca 9 km, è interrotto in due punti dalle bocche Nord e Sud della laguna; la bocca Sud funge anche da canale di accesso per Porto di Pila.

Nella prima parte a Nord di questo scanno il comune di Porto Tolle autorizza l'insediamento di stabilimenti balneari stagionali. Questo tratto, protetto da una serie di pennellini in legno poco efficaci, è in erosione e annualmente, per garantirne la fruibilità turistica, vengono versati piccoli volumi di sabbia (5'000 – 10'000 m³/anno). Sono presenti in questa zona dei rilevati dunali, anche questi interessati da una grave tendenza erosiva; in alcuni punti è elevato il rischio di ingressione marina e sono visibili le tracce di fenomeni di "breaching", ossia di rottura del cordone dunale.

Osservando l'evoluzione della linea di riva, si nota che la parte centrale di questo scanno, è in accrescimento. In particolare, in destra idrografica alla Bocca Nord di Barbamarco (protetta con corti moli in pietrame e barriere sommerse parallele a riva) si forma una zona di deposito sabbioso. Essa potrebbe essere pensata come una zona dalla quale prelevare il materiale per depositarlo, magari tramite bypass, nel tratto più critico a Nord.

Nel litorale meridionale di questa cella litoranea vi è la bocca Sud di Barbamarco, utilizzata come canale d'accesso al Porto di Pila. Questo porto, esclusivamente peschereccio, è molto importante per la pesca del pesce azzurro. Data l'importanza dell'attività del porto e le dimensioni delle barche che vi transitano (pescaggio di 3,5 m) il canale viene regolarmente dragato. Presso questa imboccatura sono in fase di progettazione e realizzazione delle opere di protezione: finora è stato realizzato solo il molo Nord della bocca lagunare; il molo Sud è invece una struttura temporanea, realizzata con palancole metalliche. Lo studio preliminare del progetto prevede, dopo la realizzazione di entrambi i moli, un interrimento di circa 60'000 m³ all'anno variabile in ragione della portata solida uscente dalla busa di Tramontana. Si potrebbe dunque pensare ad effettuare un bypass di sedimenti dalla bocca verso Nord, per il mantenimento della navigabilità del canale. Data l'elevata dinamicità della zona le immagini fornite del 2012 sono già alquanto differenti dallo stato di fatto.

Tab. 77 Indici di priorità cella RO4

Tratti CELLA RO4	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
<i>Tratto a Nord (scanno Boccasette)</i>	3	3	1	3	2	1	2	1
<i>Tratto centrale (tra bocca Sud e Nord di Barbamarco)</i>	3	4	1	3	1	1	3	1
<i>Tratto a Sud (tra bocca Nord di Barbamarco e busa Tramontana)</i>	3	3	1	3	1	1	2	1

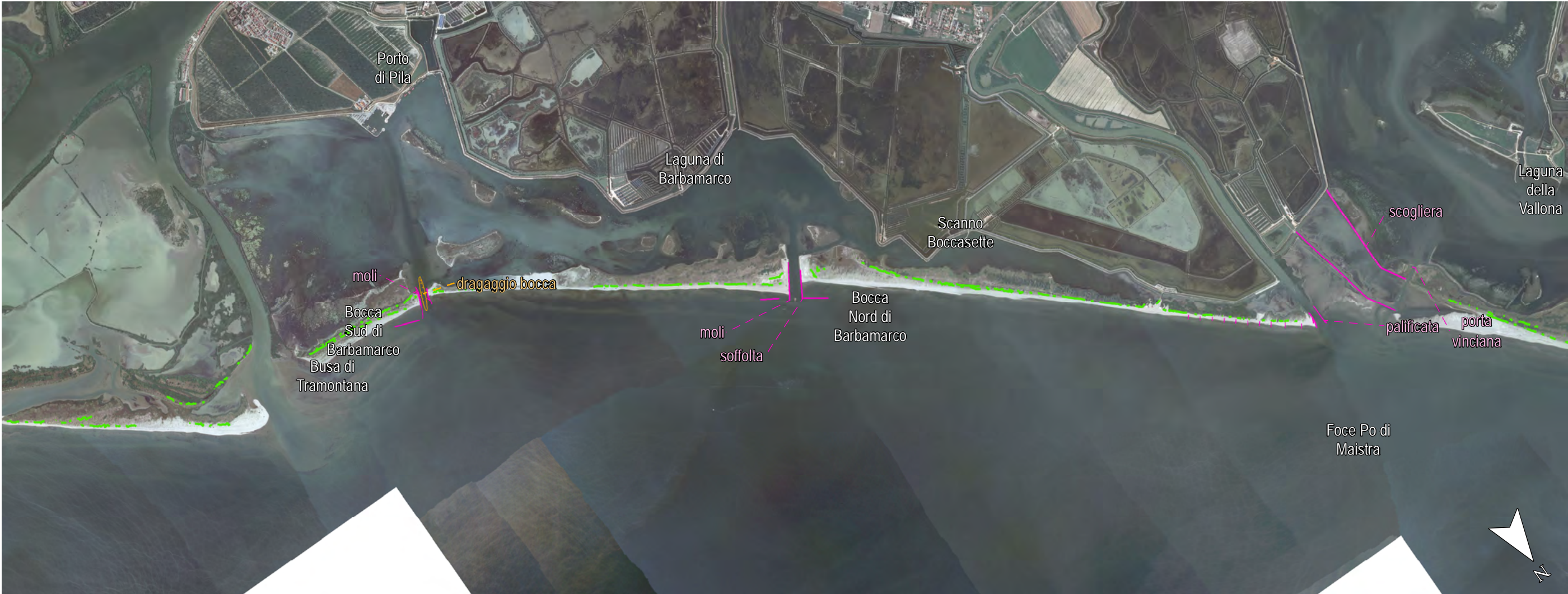
IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Il trasporto solido litoraneo al confine Sud di questa cella è pari a circa 150'000-200'000 m³/anno, diretto verso Nord. Tale valore è soggetto a notevole variabilità per l'elevata dinamicità dell'area (e quindi la difficile valutazione dei fondali di calcolo) in continua evoluzione a causa dell'intermittente apporto solido fluviale del fiume Po.
- Il trasporto solido fluviale uscente da Busa Tramontana è una modesta frazione dei circa 3'500'000 m³/anno in transito a Po di Pila. La parte di sedimenti di granulometria idonea ad interagire con i fondali più prossimi a costa sembra essere oltre di 200'000 m³/anno, visto l'accumulo osservato negli ultimi anni nei pressi del confine Sud della cella RO4.
- Gran parte del trasporto solido litoraneo si deposita nel tratto più a Sud della cella, compreso tra Busa di Tramontana e la bocca Sud della laguna di Barbamarco. Infatti circa 20'000 m³/anno sono intercettati dal molo e circa 60'000 m³/anno si depositano all'interno della bocca e devono essere dragati.
- Il trasporto che caratterizza il tratto compreso tra le due bocche è di circa 100'000 m³/anno e il tratto è globalmente in equilibrio con un accumulo complessivo di soli 10'000 m³/anno, verso bocca Nord.
- Il tratto più a Nord di questa cella (tra la bocca settentrionale della laguna di Barbamarco e il Po di Maistra) è caratterizzato da lievi fenomeni erosivi, che interessano anche le dune retrostanti con perdite stimate di circa 5'000 – 10'000 m³/anno in parte dovuti alla presenza delle opere presenti. Il trasporto litoraneo è ancora dell'ordine dei 90'000–100'000 m³/anno.

In questo tratto non è realistico immaginare che il trend evolutivo osservato rimanga invariato. È quindi necessario che la pianificazione venga continuamente aggiornata sulla base di un monitoraggio dell'area. La seguente gestione ha quindi un orizzonte temporale breve:

- Dragaggio delle bocche della laguna di Barbamarco (circa 80'000 m³/anno).
- Ripascimento del tratto a Nord (a ridosso di foce Po di Maistra) di circa 15'000 m³/anno (ad es. prelevati durante il dragaggio delle bocche).
- Ricostruzione dunale e consolidamento dell'intero scanno litoraneo (100'000 m³) fortemente danneggiato da fenomeni di "breaching", in particolare nel tratto compreso tra foce Po di Maistra e Bocca Sud di Barbamarco. Tale rinforzo è finalizzato a ristabilire la continuità dello scanno ed evitare rischi di ingressione marina nella laguna retrostante.
- Creazione di un deposito localizzato a Nord della bocca Sud della laguna di Barbamarco di circa 20'000 m³/anno (prelevati durante il dragaggio della bocca). Tale deposito si ridistribuirà grazie all'azione della dinamica litoranea, andando ad alimentare l'intero scanno.
- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi per evitare il "breaching" del cordone dunale e garantire la protezione dall'ingressione marina nella laguna retrostante.



Cella RO 4

Da foce Po di Maistra
a busa Tramontana

LEGENDA

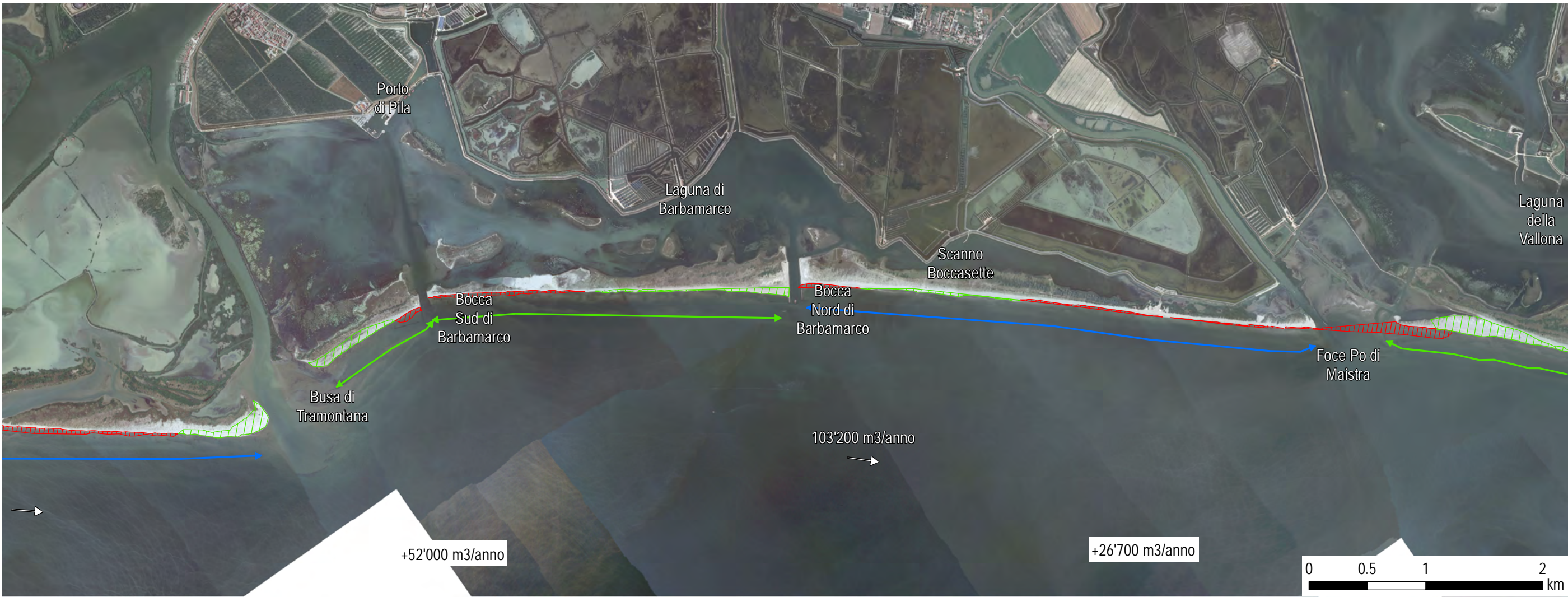
Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto Longitudinale

-
- ←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

- Cella RO5: da busa di Tramontana a busa Dritta

Anche per questa cella valgono le considerazioni generali introdotte nella descrizione della cella RO3. Anche questo scanno svolge la funzione di difesa dall'ingressione marina per la laguna retrostante e ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, facendo parte del Parco regionale del Delta del Po ed essendo area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017).

Questa cella litoranea e la seguente sono i due scanni che delimitano la cuspide del Delta del Po, ovvero la busa di Maistra. Sono tratti di litorale in continua evoluzione e variano la loro morfologia a seconda della dinamica litoranea e soprattutto fluviale. Come avviene in prossimità delle foci dei fiumi più importanti, Busa Dritta rappresenta un punto di divergenza del trasporto solido litoraneo, ovvero a Nord è diretto verso Nord, mentre a Sud di essa la direzione è opposta.

L'alternanza di eventi di piena e anni caratterizzati da portate basse determina il quantitativo di trasporto solido fluviale, ovvero la voce più influente nel bilancio sedimentario di queste celle. Osservando le ortofoto e la linea di riva nei diversi anni infatti è possibile osservare la migrazione o la formazione dei diversi accumuli di sedimenti che compongono questi scanni (con volumi che variano di milioni di m³/anno).

In continuità con quanto già affermato, entrambe queste celle sono zone completamente naturali (Riserva naturale Bocca di Po) nelle quali non è ipotizzabile pensare ad interventi antropici importanti, data anche la elevata dinamicità evolutiva di scanni e isole-barriere.

Tab. 78 Indici di priorità cella RO5

Tratti CELLA RO5	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Scanno a Nord di Busa Dritta	1	1	1	4	1	1	1	3

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- La valutazione dei quantitativi di sedimenti trasportati, depositati o erosi in questa cella è di difficile definizione data la notevole dinamicità di questo scanno litoraneo e la sua vicinanza ai rami principali del fiume Po.
- L'apporto fluviale del fiume Po stimato è circa 3'500'000 m³/anno; si ipotizza che gran parte di tale quantitativo si disperda verso il largo, essendo costituito da sedimenti molto fini.
- Il trasporto solido litoraneo, fortemente influenzato da tale apporto fluviale è stato stimato in circa 400'000 m³/anno divergenti da Busa Dritta (ovvero diretto verso Nord-Est). Parte di tale trasporto si deposita nella cella RO5, parte prosegue verso la cella RO4 (200'000 m³/anno) e molto probabilmente parte si deposita oltre la profondità di chiusura.

In questa cella non si ipotizzano dunque interventi antropici importanti, ma piuttosto risulta fondamentale attuare una politica di salvaguardia della biodiversità degli habitat (recentemente il Parco del Delta del Po è diventato riserva della biosfera UNESCO). Si ritiene tuttavia necessario prevedere una programmazione di monitoraggi per la verifica dell'integrità ambientale dell'area.



Cella RO 5

Da busa Tramontana
a busa Dritta

LEGENDA
Base: Ortofoto 2012

- Sistemi di difesa
- Opere rigide
 - Dune
- Interventi programmati
- Opera
 - Area di prelievo
 - Area di deposito
 - Ripascimento
 - Duna



- Trend evolutivo recente
- Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)
- A (accumulo)
 - S
 - P
 - E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

→

←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

- Cella RO6: da busa Dritta a busa di Scirocco

Per questa cella valgono le considerazioni generali introdotte per la cella RO3. Anche questo scanno svolge la funzione di difesa dall'ingressione marina per la laguna retrostante e ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, infatti fa parte del Parco regionale del Delta del Po ed è area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017).

Per quanto riguarda la dinamica che coinvolge questa cella si fa riferimento a quanto detto nella cella RO5. Si ritiene opportuno evidenziare che nell'estremità Sud di questo tratto convergono tre uscite a mare (in ordine da Nord): l'imboccatura della Laguna del Basson, lo sbocco a mare del Po di Scirocco (Busa scirocco) e il canale di scarico dell'Enel, oramai interrito.

Tab. 79 Indici di priorità cella RO6

Tratti CELLA RO6	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Scanno a Sud di Busa Dritta	1	1	1	4	1	1	1	3

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- La valutazione dei quantitativi di sedimenti trasportati, depositati o erosi in questa cella è di difficile definizione data la notevole dinamicità di questo scanno litoraneo e la sua vicinanza alla foce principale del fiume Po.
- L'apporto fluviale del fiume Po stimato è circa 3'500'000 m³/anno; si ipotizza che gran parte di tale quantitativo si disperda verso il largo.
- Il trasporto solido litoraneo, fortemente influenzato da tale apporto è stato stimato pari a circa 400'000 m³/anno divergenti da Busa Dritta (ovvero diretto verso Sud-Est). Parte di tale trasporto si deposita nella cella RO6, parte prosegue verso la cella RO7 (300'000 m³/anno) e molto probabilmente parte si deposita oltre la profondità di chiusura.

Anche in questa cella non è ipotizzabile pensare ad alcun intervento antropico importante data l'elevata dinamicità dell'area e la sua integrità ambientale e valgono le considerazioni fatte per la cella RO5. L'unica eccezione riguarda gli interventi di manutenzione dell'estremità Sud della cella dove, come precedentemente illustrato, convergono una foce, una imboccatura e un canale.



Cella RO 6

Da busa Dritta
a busa di Scirocco

LEGENDA
Base: Ortofoto 2012

- Sistemi di difesa
- Opere rigide
 - Dune
- Interventi programmati
- Opera
 - Area di prelievo
 - Area di deposito
 - Ripascimento
 - Duna



Trend evolutivo recente
Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

-
- ←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

- Cella RO7: da busa di Scirocco a busa Storiona

Per questa cella valgono ancora le considerazioni generali introdotte nella descrizione della cella RO3. Anche questo scanno svolge la funzione di difesa dall'ingressione marina per la laguna retrostante e ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, infatti fa parte del Parco regionale del Delta del Po ed è area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017).

Tale scanno compreso tra busa di Scirocco e busa Storiona protegge, nella parte settentrionale, la sacca del Canarin, nella quale è molto sviluppata l'attività di molluschicoltura. Anche questo tratto, come tutto il Delta del Po, ha un forte valore ambientale e naturalistico. A metà di questo tratto si trova Busa Bastimento, uno dei rami terminali del Po di Tolle.

Il trasporto solido litoraneo è diretto da Nord verso Sud, ovvero è ancora divergente dalla cuspide del Delta del Po. In prossimità di busa Scirocco, presso l'ex canale di scarico dell'Enel, è stata realizzata una scogliera, completamente interrita nella parte interna e ha indotto, lato mare, la formazione di una zona di accumulo. Un recente pennello, non visibile nelle immagini del 2012, contribuisce ad aumentare tale accumulo. Vi sono dubbi sull'opportunità di considerare questa zona come area di prelievo (sediment stock) dato che la variazione della linea di riva nel tratto sottoflutto evidenzia fenomeni erosivi. In particolare si riscontra un arretramento lungo tutta la cella litoranea, seppure compensato da un accumulo al largo, che ne denota la fragilità nei confronti del rischio di sormonto e ingressione marina nella laguna.

L'armatura di foce di Busa Storiona con moli in pietrame evidenzia delle criticità. Il deposito fluviale a Sud della bocca e il contemporaneo danno alla protezione posta a Nord, inducono un curioso effetto di accumulo ed erosione contrario a quanto sarebbe lecito attendersi.

Nell'intero complesso di scanni si evidenziano fragilità nel cordone dunale, anche a seguito di numerosi fenomeni di "breaching". Lo scanno dunque non svolge la sua funzione preventiva all'ingressione marina, pertanto il monitoraggio periodico delle dune assume particolare importanza per garantire il mantenimento della loro continuità planimetrica e altimetrica.

Tab. 80 Indici di priorità cella RO7

Tratti CELLA RO7	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Tratto antistante "Canale di scarico Enel"	1	1	3	3	1	1	1	1
Scanno (protezione laguna Canarin)	3	4	1	3	1	1	3	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Il trasporto solido litoraneo che proviene dalla cella RO6 ed è diretto verso Sud-Est è circa 300'000 m³/anno. Una notevole percentuale di questo trasporto si deposita presso la scogliera antistante l'ex canale di scarico dell'Enel. In tale zona si è stimato un accumulo pari a circa 100'000 m³/anno. Il trasporto rimanente che prosegue verso Sud lungo la cella è di circa 200'000 m³/anno.
- Si osservano, nel tratto meridionale, delle perdite di circa 10'000 m³/anno, dovute all'equilibrio instabile che si instaura tra l'effetto di intercettazione della scogliera a Nord e l'apporto fluviale uscente da Busa Bastimento.

Si ipotizza la seguente gestione:

- Ricostruzione dunale e consolidamento dell'intero scanno litoraneo (100'000 m³) fortemente danneggiato da fenomeni di "breaching". Tale rinforzo è finalizzato a ristabilire la continuità dello scanno ed evitare rischi di ingressione marina nella laguna retrostante fortemente anche a seguito di mareggiate eccezionali.
- Creazione di un deposito localizzato a Sud della bocca della laguna del Canarin di circa 20'000 m³/anno (prelevati in corrispondenza della scogliera antistante l'ex scarico dell'Enel). Tale deposito si ridistribuirà naturalmente verso Sud, grazie all'azione della dinamica litoranea, andando ad alimentare l'intero scanno.
- Rinforzo annuale dello scanno litoraneo, per evitare il rischio di ingressione marina nella laguna retrostante anche a seguito di mareggiate eccezionali (20'000 m³).
- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi per garantire la protezione dall'ingressione marina nella laguna retrostante.

Cella RO 7

Da busa di Scirocco
a busa Storiona

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna

Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

-
-

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione



- Cella RO8: da busa Storiona a foce Po di Tolle

Per questa cella valgono sempre le considerazioni generali fatte per la cella RO3. Anche questo scanno svolge la funzione di difesa dall'ingressione marina per la laguna retrostante e ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, infatti fa parte del Parco regionale del Delta del Po ed è area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017).

Il tratto è delimitato a Nord da Busa Storiona (ramo del Po di Tolle), la cui imboccatura è stata ampliata e protetta negli anni '90 dall'AIPO. Attualmente circa l'80% della portata del Po di Tolle viene convogliata a mare attraverso questa Busa. Tale intervento ha indotto l'accrescimento della cella in esame soprattutto nei fondali antistanti alla Busa, al punto che la batimetrica -3 m si è già riorientata, allontanandosi di circa 0.5 km in corrispondenza della Busa. La linea di riva è avanzata, senza tuttavia mutare la sua orientazione.

Il trasporto viene intercettato dall'armatura di foce del Po di Tolle, composta da un molo e da una barriera soffolta, che favorisce il deposito localizzato dei sedimenti. La zona in sinistra idrografica alla foce del Po di Tolle può dunque essere considerata un'area di prelievo di sabbia.

Questa cella ha anch'essa, come già affermato precedentemente, una forte valenza ambientale, e inoltre, nel tratto terminale verso Sud, vede la presenza di una spiaggia attrezzata ad uso turistico/balneare (spiaggia Barricata).

Tab. 81 Indici di priorità cella RO8

Tratti CELLA RO8	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Spiaggia Barricata	1	2	2	3	2	1	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Il trasporto solido litoraneo (diretto da Nord verso Sud) è pari a circa 200'000 m³/anno presso Busa Storiona, ed è proveniente dalla cella a Nord (RO7).
- L'apporto fluviale del Po di Tolle è di circa 850'000 m³/anno, di cui circa l'80% esce da Busa Storiona. I fondali antistanti ad essa sono infatti interessati da ingenti fenomeni accrescitivi evidenti in termini di delta sommerso (la cui quantificazione richiederebbe il confronto di batimetrie di dettaglio non disponibili).
- Il trasporto litoraneo non diminuisce significativamente lungo la cella ed è solo in parte intercettato dal molo Nord del Po di Tolle in quanto la spiaggia si è già riorientata in maniera significativa, disponendosi quasi ortogonalmente alle più violente mareggiate di Scirocco. Il litorale è in modesto accrescimento con volumi che si attestano a circa 20'000 m³/anno.

Si ipotizza la seguente gestione:

- Monitoraggio a cadenza annuale dei fondali antistanti Busa Storiona per quantificare l'apporto fluviale.
- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi per garantire la protezione dall'ingressione marina nella laguna retrostante.



Cella RO 8

Da busa Storiona
a foce Po di Tolle

LEGENDA
Base: Ortofoto 2012

- Sistemi di difesa
- Opere rigide
 - Dune
- Interventi programmati
- Opera
 - Area di prelievo
 - Area di deposito
 - Ripascimento
 - Duna



- Trend evolutivo recente
Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)
- A (accumulo)
 - S
 - P
 - E (erosione)

Trasporto
Longitudinale

→

←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

• Cella RO9: da foce Po di Tolle a foce Po di Gnocca

Anche per questa cella valgono le considerazioni generali introdotte nella descrizione della cella RO3. È del tutto evidente l'essenziale funzione dello scanno per difendere la laguna retrostante che ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, infatti fa parte del Parco regionale del Delta del Po ed è area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017). Questa cella litoranea è composta da due tratti ben distinti: la spiaggia delle Conchiglie e lo scanno di protezione della Sacca Scardovari.

Il primo tratto è compreso tra la foce del Po di Tolle e la bocca Nord della Sacca (bocca artificiale). La spiaggia (denominata spiaggia delle conchiglie) è attrezzata ad uso balneare. Dall'analisi della variazione della linea di riva si osserva un forte trend erosivo di questa spiaggia, fenomeno probabilmente dovuto alla presenza della scogliera di armatura di Po di Tolle che, allontana i sedimenti trasportati verso il largo e non favorisce la deposizione presso questa zona. Poiché la spiaggia è molto arretrata, gran parte delle onde provenienti da Est/Nord-Est sono schermate dall'armatura della foce del Po di Tolle.

Nel 2014 sono state completate due scogliere sommerse ai due estremi di questo piccolo tratto. Sono in corso dei monitoraggi volti a verificare l'efficienza delle opere realizzate. Nel caso il trend erosivo non fosse sostanzialmente diminuito, si potrebbe pensare alla realizzazione di un allungamento delle barriere sommerse, fino a formare un sistema pressoché continuo. È qui presente anche un piccolo sabbiodotto che porta i sedimenti provenienti dall'accumulo situato nella zona retrostante (all'interno della laguna).

Il secondo tratto è invece lo scanno di protezione della sacca di Scardovari, laguna di notevole interesse ambientale e ittico, dove sono presenti numerosi allevamenti di molluschi. Osservando l'evoluzione passata è evidente la fragilità che contraddistingue questo scanno, caratterizzato da una rapida evoluzione morfologica. Dalla variazione della linea di riva si osserva come l'isola è migrata verso Sud-Ovest nei diversi anni assumendo diverse conformazioni, anche a seguito di numerosi interventi antropici per la sua stabilizzazione delle bocche. Alla fine degli anni 90' il Consorzio di Bonifica ha aperto la bocca artificiale a Nord, stabilizzata con la realizzazione di due scogliere. È possibile che tale intervento abbia amplificato fenomeni erosivi già in atto lungo lo scanno litoraneo e dunque, per evitarne la scomparsa, è stata successivamente realizzata una scogliera di protezione davanti allo scanno che ne ha irrigidito la posizione. Sono ora in fase di progetto ulteriori interventi da parte del Genio Civile di Rovigo per mantenere aperta la bocca Sud di Scardovari, che negli ultimi anni ha evidenziato problemi di interrimento. La zona in sinistra idrografica al Po di Gnocca è protetta da una scogliera in pietrame realizzata nel 2008.

Tab. 82 Indici di priorità cella RO9

Tratti CELLA RO9	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
<i>Spiaggia delle Conchiglie</i>	2	2	2	3	3	2	1	1
<i>Scanno di protezione Sacca Scardovari</i>	3	4	3	3	1	1	4	2

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso è il seguente:

- Al trasporto solido litoraneo (180'000 m³/anno diretti da Nord-Est a Sud-Ovest) che oltrepassa l'armatura di foce Po di Tolle si aggiunge una parte dell'apporto solido fluviale del Po di Tolle. Questi sedimenti tuttavia non sembrano alimentare direttamente la "spiaggia delle conchiglie", ma proseguono seguendo l'andamento della batimetria – 3 m. Questo piccolo tratto è dunque escluso dalla dinamica costiera ed è interessato da fenomeni erosivi (arretramento della linea di riva di circa 5 – 10 m/anno) per trasporto ortogonale a riva (cross-shore). Il clima ondoso locale è di difficile definizione data la presenza della foce del Po di Tolle e la conformazione irregolare delle linee batimetriche.
- Proseguendo verso Sud, lo scanno di protezione della laguna di Scardovari è caratterizzato da una rapida evoluzione morfologica, e nonostante la linea di riva rimanga inalterata (vista la presenza di opere rigide in aderenza) i fondali antistanti sono in condizioni di accrescimento (20'000 m³/anno). Tale fenomeno è da correlarsi probabilmente sia al trasporto solido litoraneo che ad eventuali perdite di sedimenti dalla laguna.
- Il tratto compreso tra la bocca Sud di Scardovari e la foce del Po di Gnocca è anch'esso in condizioni di accrescimento (circa 40'000 m³/anno).

Si ipotizza la seguente gestione:

- Ripascimento presso la spiaggia delle conchiglie di circa 20'000 m³ con un intervallo di tempo tra un versamento e l'altro da verificare con un adeguato monitoraggio.
- Monitoraggio delle nuove barriere presso la spiaggia delle conchiglie ed eventuale completamento del sistema di

- difesa con barriere sommerse (finalizzato alla riduzione delle circolazioni da queste indotte).
- Manutenzione della scogliera in aderenza allo scanno di Scardovari per garantire la sua funzione di protezione dall'ingressione marina nella Sacca.
 - Monitoraggio dei fenomeni erosivi e dell'idrodinamica presso la spiaggia delle conchiglie.
 - Interventi in progetto ("Lavori di realizzazione della difesa in pietrame e di riattivazione del fondale marino presso la bocca della Sacca degli Scardovari, in Comune di Porto Tolle").
 - Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi per garantire la protezione dall'ingressione marina nella laguna retrostante.



Cella RO 9

Da foce Po di Tolle
a foce Po di Gnocca

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna

Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto
Longitudinale



Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione



- Cella RO10: da foce Po di Gnocca a foce Po di Goro

Per quest'ultima cella valgono ancora le considerazioni generali introdotte nella descrizione della cella RO3. Anche questo scanno svolge la funzione di difesa dall'ingressione marina per i territori retrostanti e ha una grande rilevanza dal punto di vista ambientale, infatti fa parte del Parco regionale del Delta del Po ed è area SIC-ZPS (codice ZPS IT3270023, codice SIC IT3270017).

Il tratto immediatamente a Sud della bocca meridionale della Sacca, conosciuto come Punta Polesine, è interamente protetto da una scogliera in pietrame, la quale ha favorito il deposito di sedimenti nell'area retrostante.

Il tratto compreso tra la foce del Po di Gnocca e la foce del Po di Goro è l'estremità Sud del litorale Veneto. Il trend evolutivo che caratterizza questa cella è fortemente erosivo e la linea di riva presenta un costante arretramento. L'apertura nel 2008 per opera dell'AIPO di un secondo ramo della foce del Po di Gnocca in mezzzeria a questa spiaggia non ha diminuito l'erosione di questa cella. Nella zona più settentrionale, compresa tra i due rami del Po di Gnocca e conosciuta come isola di Bonello – Bacucco, sono stati realizzati dei pennellini in legno, la cui funzione è quella di limitare (anche se in modesta parte) le criticità riscontrate.

La foce del Po di Goro, confine geografico tra la Regione Veneto e la Regione Emilia-Romagna, è protetta nel lato veneto da una palificata in legno realizzata nel 2007.

Anche questo scanno litoraneo è interessato da fenomeni di "breaching" che lo rendono particolarmente fragile, aumentando il rischio di allagamento costiero. Risulta di fondamentale importanza prevedere un rinforzo di questo tratto anche per garantire la salvaguardia di uno degli habitat di maggior rilevanza qui presenti: il "Canneto del Delta"

Tab. 83 Indici di priorità cella RO10

Tratti CELLA RO10	Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Fruibilità turistica	Grado di Urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale
Spiaggia Bonello - Bacucco	3	2	1	3	1	1	1	1

IPOTESI PROGETTUALE

Il quadro conoscitivo emerso sulla base del bilancio sedimentario è il seguente:

- Il trasporto solido indotto dalle onde diretto verso Sud è di circa 150'000 – 160'000 m³/anno, ma non è adeguatamente alimentato sopraflutto. La presenza delle foci di Po di Gnocca e di Po di Goro alle due estremità di questa cella influenzano certamente il bilancio sedimentario che evidenzia un deficit importante negli ultimi anni. Anche l'apertura della nuova bocca in mezzzeria sembra aver contribuito in maniera negativa, accentuando i fenomeni erosivi che interessano questo tratto.
- L'arretramento della linea di riva riscontrato è infatti di circa 8 m/anno e nonostante la pendenza della spiaggia sommersa sia relativamente modesta, si sono stimate le perdite di sedimenti pari a 15'000 – 20'000 m³/anno.

Si ipotizza la seguente gestione:

- Rinforzo del cordone dunale e apporto di sedimenti lungo l'arenile nell'intera cella per la prevenzione dall'erosione costiera (circa 20'000 m³/anno) e per la salvaguardia gli habitat naturali presenti.
- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi per garantire la protezione dall'ingressione marina nella laguna retrostante.



Cella RO 10

Da foce Po di Gnocca
a foce Po di Goro

LEGENDA

Base: Ortofoto 2012

Sistemi di difesa

- Opere rigide
- Dune

Interventi programmati

- Opera
- Area di prelievo
- Area di deposito
- Ripascimento
- Duna



Trend evolutivo recente

Classificazione ASPE
(Fontolan & al. 2014)

- A (accumulo)
- S
- P
- E (erosione)

Trasporto Longitudinale

-
- ←

Variazione Linea di riva
2007-2012

- Accrescimento
- Erosione

16.6 MAPPA DELLE CRITICITÀ

L'analisi svolta su ciascun tratto di litorale della regione Veneto ha evidenziato le zone di maggiore criticità, emerse da valutazioni riguardanti il fenomeno erosivo e il rischio di ingressione marina in relazione alla vocazione della costa. La seguente mappa delle criticità (Fig. 109) e le conseguenti tabelle (Tab. 84 e Tab. 85) mirano a riassumere questo risultato ottenuto, identificando e segnalando le zone dove intervenire in modo prioritario. È possibile che la valutazione eseguita in termini globali possa celare criticità estremamente localizzate, che dunque sfuggono all'immagine complessiva.

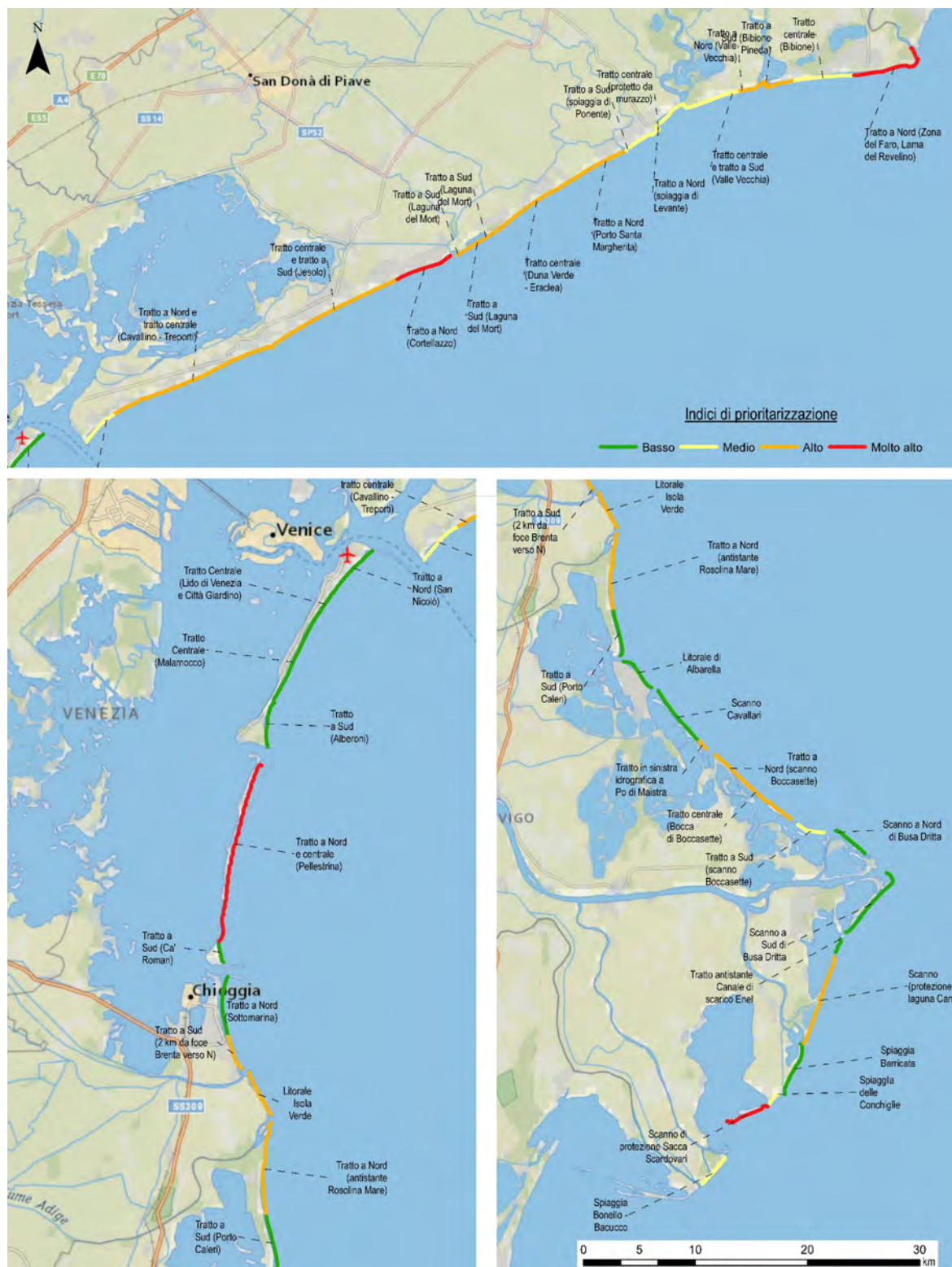


Fig. 109 Mappa delle zone critiche

Tab. 84 Tabella riassuntiva indici di priorità (provincia di Venezia)

CELLA	Tratto	Vulnerabilità morfologica		Vulnerabilità socio-economica						
		Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Pressione d'uso turistica	Grado di urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale	
VE1	Tratto a Nord (Zona del Faro, Lama del Revelino)	4	4	4	3	3	3	1	2	
VE1	Tratto centrale (Bibione)	3	1	2	1	4	4	1	1	
VE1	Tratto a Sud (Bibione Pineda)	2	3	2	3	3	3	1	1	
VE2	Tratto a Nord (Valle Vecchia)	3	3	1	4	1	1	2	2	
VE2	Tratto centrale e tratto a Sud (Valle Vecchia)	1	3	1	4	1	1	2	2	
VE3	Tratto a Nord (spiaggia di Levante)	1	2	1	1	4	3	2	1	
VE3	Tratto centrale (protetto da muraio)	1	2	3	1	3	4	2	4	
VE3	Tratto a Sud (spiaggia di Ponente)	1	2	2	1	4	4	2	1	
VE4	Tratto a Nord (Porto Santa Margherita)	3	2	4	1	4	4	1	1	
VE4	Tratto centrale (Duna Verde - Eraclea)	3	3	4	2	4	3	1	1	
VE4	Tratto a Sud (Laguna del Mort)	4	4	3	3	1	1	1	1	
VE5	Tratto a Nord (Cortellazzo)	4	3	3	1	4	3	1	1	
VE5	Tratto centrale e tratto a Sud (Jesolo)	3	2	3	1	4	4	1	1	
VE6	Tratto a Nord e tratto centrale (Cavallino - Treporti)	2	2	3	2	4	3	2	1	
VE6	Tratto a Sud (a ridosso dell'armatura di bocca di Lido)	1	2	2	3	4	3	2	1	
VE7	Tratto a Nord (San Nicolò)	1	1	1	3	3	2	1	1	
VE7	Tratto Centrale (Lido di Venezia e Città Giardino)	1	1	2	1	4	4	1	2	
VE7	Tratto Centrale (Malamocco)	1	1	3	1	4	3	1	1	
VE7	Tratto a Sud (Alberoni)	2	1	1	3	3	2	1	1	
VE8	Tratto a Nord e centrale (Pellestrina)	4	3	3	1	2	2	2	3	
VE8	Tratto a Sud (Ca' Roman)	1	1	1	4	1	1	1	3	
VE9	Tratto a Nord (Sottomarina)	1	1	1	1	4	3	1	1	
VE9	Tratto a Sud (2 km da foce Brenta verso N)	4	2	3	1	4	3	1	1	
VE10	Litorale Isola Verde	3	2	3	2	3	3	1	1	

Tab. 85 Tabella riassuntiva indici di priorità (provincia di Rovigo)

CELLA	Tratto	Vulnerabilità morfologica		Vulnerabilità socio-economica						
		Tendenza erosiva	Rischio di ingres. marina	Rilevanza interventi di difesa	Valore ambientale	Pressione d'uso turistica	Grado di urbaniz.	Fruibilità produttiva	Eredità culturale	
RO1	Tratto a Nord (antistante Rosolina Mare)	3	2	3	2	4	4	2	1	
RO1	Tratto a Sud (Porto Caleri)	1	1	1	3	2	2	2	1	
RO2	Litorale di Albarella	1	1	2	2	3	3	1	1	
RO3	Scanno Cavallari	1	2	1	3	1	1	3	1	
RO3	Tratto in sinistra idrografica a Po di Maistra	3	3	3	3	1	1	2	1	
RO4	Tratto a Nord (scanno Boccasette)	3	3	1	3	2	1	2	1	
RO4	Tratto centrale (Bocca di Boccasette)	3	4	1	3	1	1	3	1	
RO4	Tratto a Sud (scanno Boccasette)	3	3	1	3	1	1	2	1	
RO5	Scanno a Nord di Busa Dritta	1	1	1	4	1	1	1	3	
RO6	Scanno a Sud di Busa Dritta	1	1	1	4	1	1	1	3	
RO7	Tratto antistante "Canale di scarico Enel"	1	1	3	3	1	1	1	1	
RO7	Scanno (protezione laguna Canarin)	3	4	1	3	1	1	3	1	
RO8	Spiaggia Barricata	1	2	2	3	2	1	1	1	
RO9	Spiaggia delle Conchiglie	2	2	2	3	3	2	1	1	
RO9	Scanno di protezione Sacca Scardovari	3	4	3	3	1	1	4	2	
RO10	Spiaggia Bonello - Bacucco	3	2	1	4	1	1	1	1	

17. INDIVIDUAZIONE DELLE RISORSE

17.1 ECONOMIA LEGATA ALLA COSTA

Il litorale della Regione Veneto presenta una molteplicità di attività economiche. La costa compresa tra la foce del Tagliamento e Bocca di Porto Levante ha una vocazione prevalentemente turistico-balneare; sono presenti infatti nelle spiagge numerosi stabilimenti balneari e nelle zone immediatamente retrostanti strutture legate al turismo. Le presenze annuali nelle spiagge turistiche del Veneto, ovvero quelle comprese nel tratto da Bibione a Rosolina, si attestano mediamente attorno ai 25'000'000 di persone (Fig. 110 e Tab. 86). I numeri maggiori si registrano ovviamente durante la stagione estiva (da Maggio a Settembre), con una media di 5'000'000 di persone al mese presenti nelle località balneari (Fig. 111).

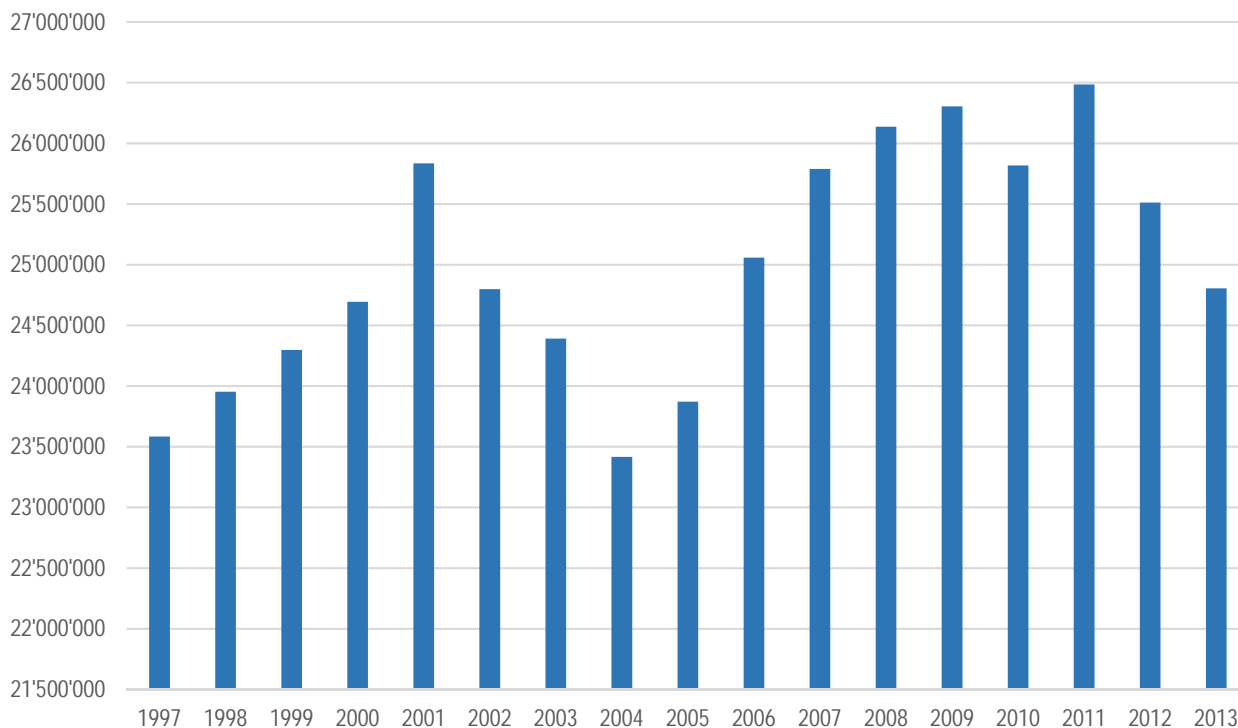


Fig. 110 Presenze annuali nel comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina). Elaborazioni della Sezione Sistema Statistico Regionale su dati Istat - Regione Veneto

Tab. 86 Arrivi e presenze annuali nel comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina).

Anno	Arrivi	Presenze	Anno	Arrivi	Presenze
1997	3'104'613	23'584'182	2006	3'543'880	25'058'815
1998	3'278'814	23'952'849	2007	3'685'642	25'789'589
1999	3'309'762	24'297'499	2008	3'746'815	26'136'962
2000	3'418'582	24'694'072	2009	3'768'079	26'304'260
2001	3'513'393	25'834'834	2010	3'685'059	25'818'498
2002	3'344'870	24'798'939	2011	3'875'418	26'485'634
2003	3'315'233	24'390'603	2012	3'835'747	25'512'082
2004	3'261'350	23'416'930	2013	3'727'235	24'805'496
2005	3'348'681	23'872'284			

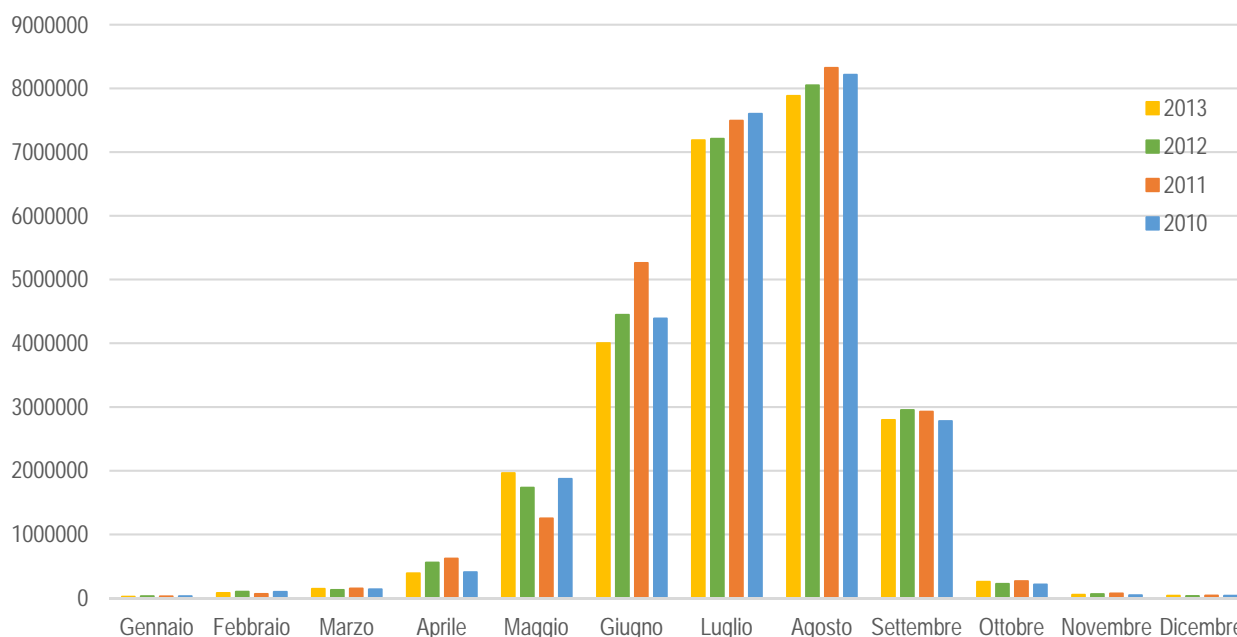


Fig. 111 Presenze mensili nel comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina). Elaborazioni della Sezione Sistema Statistico Regionale su dati Istat - Regione Veneto

Le presenze turistiche nell'anno 2013 registrate nei comuni della costa veneta (Fig. 112) dimostrano che le località maggiormente visitate sono Cavallino-Treporti, Jesolo, Caorle e Bibione, escludendo ovviamente il comune di Venezia che attesta numeri molto elevati dati dalla presenza di turisti che arrivano per visitare la città di Venezia e non solo turisti per soggiorni balneari.

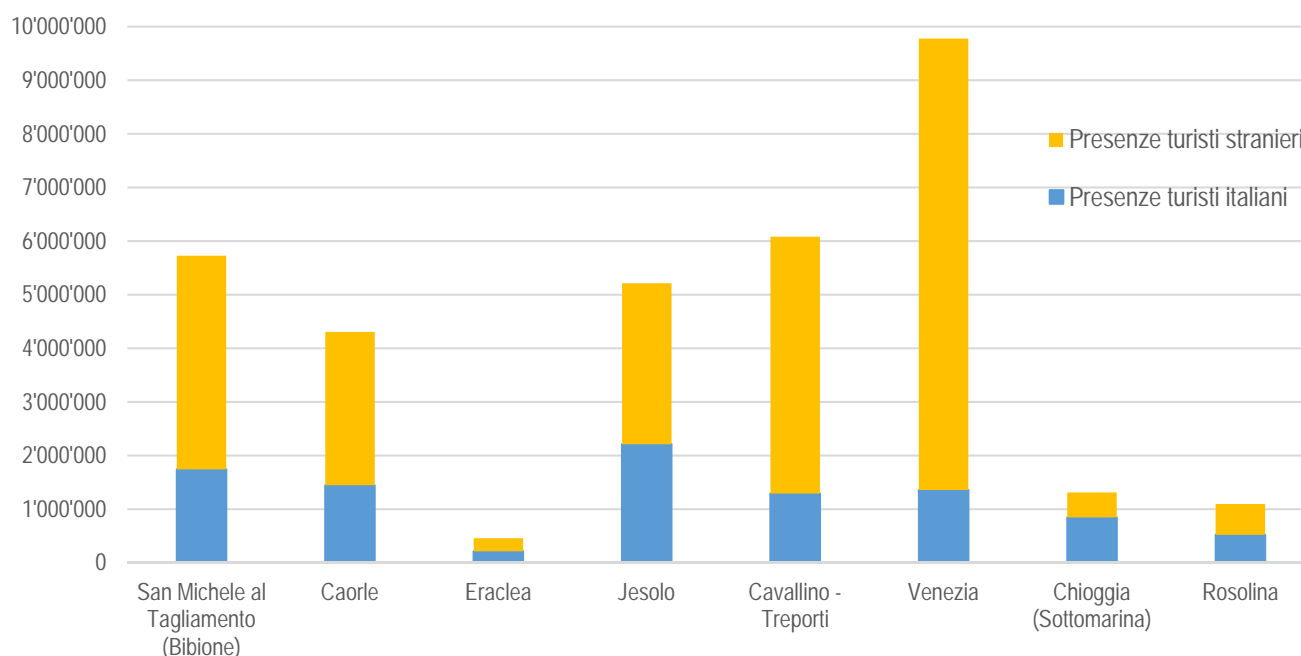


Fig. 112 Presenze annuali divise nei comuni del comprensorio balneare (da Bibione a Rosolina). Elaborazioni della Sezione Sistema Statistico Regionale su dati Istat - Regione Veneto

Un'altra attività economica di notevole valore lungo il litorale Veneto è quella legata al settore ittico. Sia nella laguna di Venezia che nelle lagune del Delta del Po sono presenti valli da pesca e zone dove si pratica la molluschicoltura (attività con stime economiche attorno ai 50 milioni di €). Esistono inoltre numerosi impianti di miti-coltura installati a poca distanza dalla costa. Lungo la costa vi sono numerosi porti ad uso peschereccio, ad esempio l'importante Porto di Chioggia o il Porto di Pila che riveste un ruolo primario per la pesca del pesce azzurro. In alcune zone, retrostanti la prima fascia costiera, si trovano anche attività legate all'agricoltura (Pellestrina, Isola Verde etc.).

17.2 RISORSA SABBIOSA

17.2.1 Risorsa sabbiosa dalla fascia costiera

La risorsa sabbiosa proveniente dalla fascia litoranea consente di disporre di modesti volumi di materiale di facile reperimento, utili a ripascimenti manutentivi e/o emergenziali. La sabbia disponibile viene prelevata da zone di accumulo dei sedimenti presso il litorale, come ad esempio aree in accrescimento adiacenti ad armature di foce che intercettando parte del trasporto costiero, o proviene dal dragaggio di foci fluviali e bocche lagunari, per garantirne la stabilità e/o la navigabilità.

I volumi di risorsa sabbiosa, di cui è ipotizzabile poter disporre nella costa Veneta, sono riassunti nella tabella e nella figura seguenti (Tab. 87, Fig. 113).

È del tutto evidente che i valori indicati sono approssimati, in quanto basati sul confronto delle recenti evoluzioni litoranee e sulla base di informazioni ottenute dai gestori delle aree, non sempre supportati da precise misure e rilievi. Inoltre la imprevedibilità e la stagionalità delle future mareggiate potrebbe modificare, anche sensibilmente, questi valori.

In altre parole i "volumi disponibili" indicati non sono una certezza, ma potrebbero anche essere diversi da questi e solamente una accorta attività di monitoraggio potrà fornire i dati reali anno per anno. Se la risorsa disponibile di sabbia si dimostrasse inferiore alle aspettative, si dovrà ipotizzare il reperimento dei sedimenti da altre fonti (e.g. cave marine). Per contro, se tale volume disponibile fosse superiore alle aspettative, questo potrebbe sottintendere una maggiore dinamicità dei processi evolutivi costieri e potrebbe quindi celare indesiderati fenomeni erosivi in altre porzioni di litorale.

Infine, non appare superfluo far presente che il volume indicato in Tab. 87 potrebbe anche non essere completamente riutilizzabile per ripascimenti manutentivi, nel senso che potrebbe non essere idoneo al 100% (ad es. in relazione alla tessitura, granulometria, tonalità cromatica del deposito) oppure potrebbe essere destinato ad altre tipologie di interventi da operare in ambito costiero (ad es. formazione di velme o barene nelle lagune adiacenti). Per tale motivo, nel seguito si è ipotizzato che di tali depositi ne possa essere utilizzato il 50-70%.

Tab. 87 Volumi depositi sabbiosi prossimi a riva

Zona	Volumi disponibile	
Area di prelievo presso foce Tagliamento (prelievo tramite sabbiodotto in via di realizzazione)	50'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso bocca di Porto Baseleghe	20'000	m ³ /anno
Area di prelievo da dragaggio foce Nicesolo (bocca di Falconera)	30'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso foce Livenza	10'000	m ³ /anno
Area di prelievo Laguna del Mort	10'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso foce Piave	40'000	m ³ /anno
Area di prelievo a ridosso dell'armatura di bocca di Lido (Cavallino-Treporti)	20'000	m ³ /anno
Area di prelievo dalla canaletta di bocca di Lido	30'000	m ³ /anno
Area di prelievo a ridosso dell'armatura di bocca di Chioggia (Sottomarina)	10'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso foce Brenta	20'000	m ³ /anno
Area di prelievo/deposito presso foce Adige	20'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso bocca di Caleri	110'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso bocca di Porto di Levante	50'000	m ³ /anno
Area di prelievo bocche Laguna di Barbamarco	80'000	m ³ /anno
Area di prelievo ex canale di scarico Enel	100'000	m ³ /anno
Area di prelievo presso foce Po di Tolle	20'000	m ³ /anno
Area di prelievo bocca Sud Scardovari	20'000	m ³ /anno
TOTALE	640'000	m³/anno

Per quanto riguarda il deposito delle sabbie sull'arenile può essere effettuato direttamente, ovvero essere preceduto da un deposito temporaneo a terra, su area debitamente delimitata e fuori del contatto con acque marine fluviali o di altro tipo. Si devono prevedere, in prossimità delle foci fluviali e lagunari (per una larghezza di circa 30 m), aree destinate al deposito temporaneo delle sabbie da utilizzarsi per il ripascimento delle spiagge. Nelle schede riassuntive delle celle litoranee sono state indicate tali zone di deposito temporaneo quasi tutte situate in prossimità di foci o bocche, ad eccezione di due aree: la prima

presso Punta Tagliamento è situata a tergo delle barriere parallele a riva e la seconda in adiacenza alla bocca della laguna del Mort (lato Eraclea) situata tra l'arenile e la darsena retrostante.

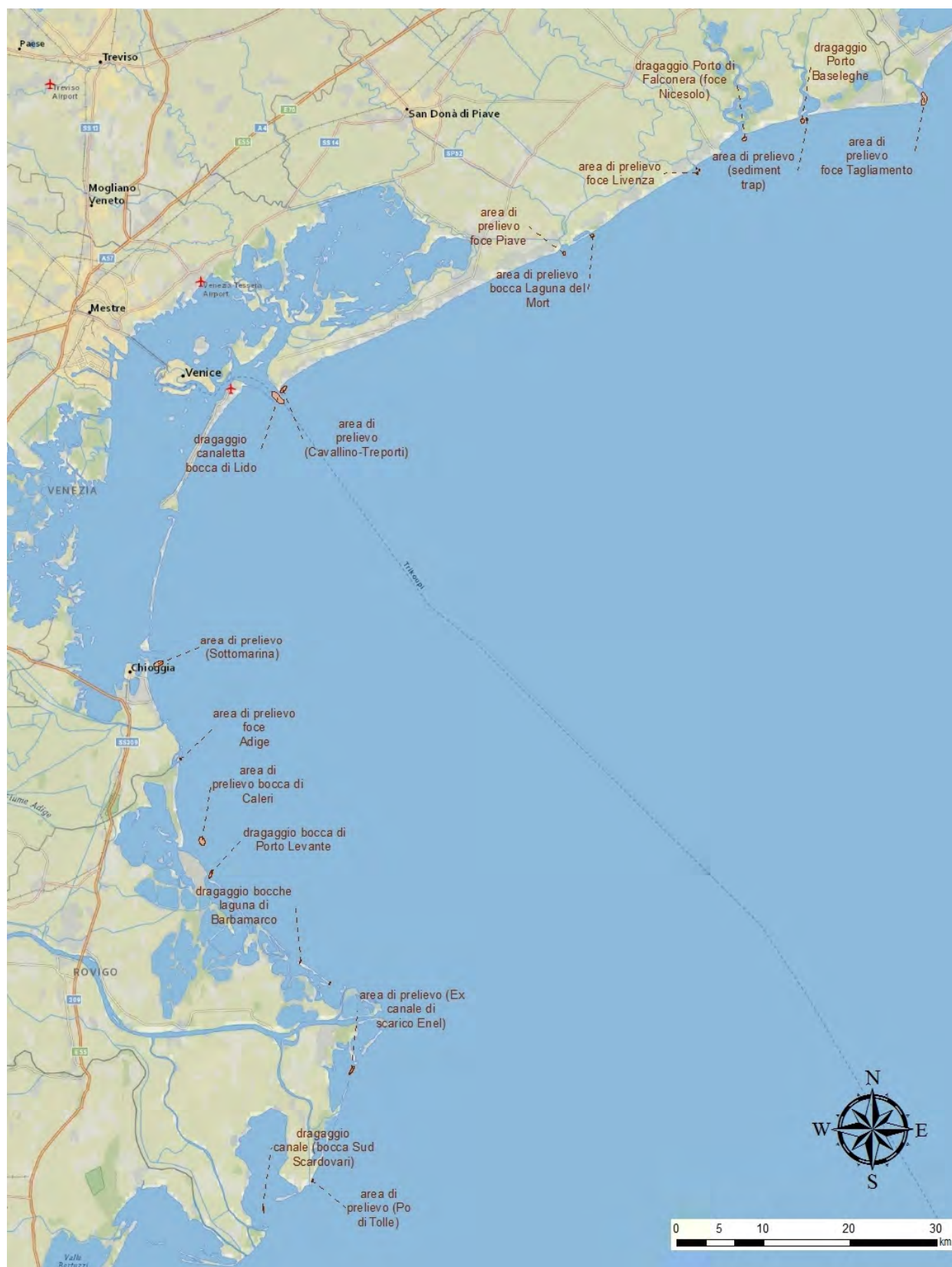


Fig. 113 Localizzazione depositi sabbiosi prossimi a riva

17.2.2 Risorsa sabbiosa da cave marine al largo

Il mare Adriatico comprende la più estesa piattaforma continentale a basso gradiente dell'intero Mediterraneo e per questo rappresenta una sorta di "mareografo" che ha registrato le fasi di innalzamento e abbassamento relativo del livello del mare durante il tardo-quaternario. Durante l'ultimo massimo glaciale (18000-22000 anni fa) gran parte della porzione centro settentrionale del bacino era emersa a causa della bassa profondità (0-120 m) e circa 18.000 anni fa è stata progressivamente sommersa per l'instaurarsi di condizioni climatiche più temperate che hanno favorito lo scioglimento delle calotte glaciali (Antonoli et al. 2004; Correggiari et al. 1996). I sistemi costieri sommersi vengono definiti "relitti" perchè rappresentano antiche spiagge che si sono formate durante la migrazione verso terra della linea di riva ed in seguito annegate. Generalmente la conservazione di questi depositi sedimentari dipende dalla dinamica costiera, dal basso gradiente della piattaforma, dalle modalità di risalita del livello del mare, dalle geometrie e dalle dimensioni dei depositi originari. I depositi trasgressivi di barriera-laguna, depositati durante la trasgressione del mare, sono formati da un'unità tabulare a base erosiva comprendente sabbie bioclastiche talora argillose poggianti su una complessa successione di depositi paralici aggradanti e prevalentemente fini, mentre la parte sommitale può contenere sabbie di ambiente marino di acqua bassa (Trincardi et al. 1994; Correggiari et al. 1996 a, b). Si possono trovare accumuli di sabbie ben cernite di ambiente di transizione e litosomi costieri più complessi (depositi di fronte deltizio, barre di foce, barre litoranee, scanni, cordoni, barre di canali distributori) annegati ed erosi durante la fase di rimaneggiamento marino. La porzione sabbiosa di questi depositi trasgressivi, presenti nella piattaforma continentale, può essere utilizzata per il ripascimento costiero e costituisce attualmente una delle migliori risorse per le coste sabbiose in erosione. Il vantaggio nell'utilizzare depositi sabbiosi sommersi si concretizza, nel medio e lungo termine, nel rimettere in gioco quantitativi di sedimento considerevoli che sono stati progressivamente sottratti al sistema costiero durante le fasi di innalzamento eustatico e permette di compensare, almeno in parte, la riduzione di apporti solidi dai fiumi. È importante però essere consapevoli che è una risorsa non rinnovabile da gestire in modo oculato con una logica di sostenibilità ambientale ed economica. La cubatura di questi depositi per poter programmare le strategie di salvaguardia della costa come negli altri paesi europei, va quindi valutata accuratamente.

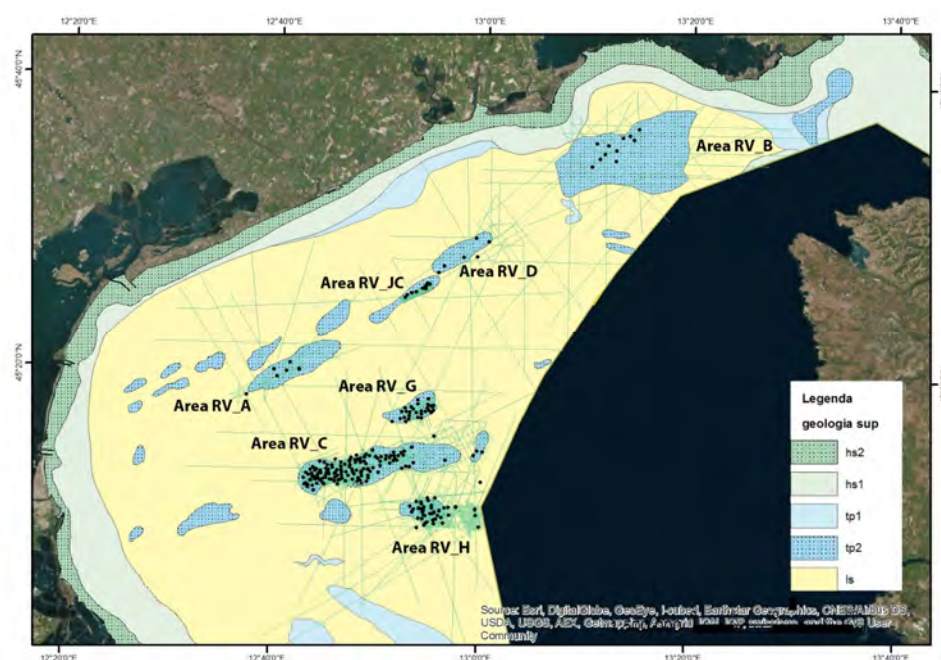


Fig. 114 Ubicazione delle aree d'indagine RV_A, RV_B, RV_C, RV_D, RV_G, RV_H e RV_JC. In verde le tracce dei profili sismoacustici ad alta risoluzione acquisiti per la ricerca di depositi sabbiosi in nero la posizione dei vibrocarotaggi campionati. La base cartografica si riferisce alla Foglio NL33-7 Venezia della Geologica dei Mari Italiani scala 1:250000 e le unità rappresentate sono quelle della carta superficiale riferibili ai depositi di età tardo quaternaria formati durante ultimo ciclo glacio-eustatico

Nell'ambito di collaborazioni tra Regione del Veneto e ISMAR-CNR Sezione di Bologna sono state avviate diverse attività di ricerca di depositi sabbiosi utili al ripascimento nella piattaforma veneta del nord Adriatico (Fig. 114 - Foglio NL33-7 VENEZIA 2011 http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/index_marine.html). Dopo una prima fase di raccolta dati per individuare le aree da investigare si è passati ad una seconda fase in cui sono state indagate 11 aree con l'acquisizione di 980 km di nuovi profili sismoacustici e 151 vibrocarotaggi. Nella terza fase, focalizzata sulle tre aree denominate RV_G, RV_C e RV_H risultate le più promettenti dalle fasi precedenti, sono stati acquisiti 571 km di profili sismoacustici, 135 vibrocarotaggi e 117 km² di batimetria multibeam. Infine, nel 2012 e nel 2014, durante alcune campagne successive organizzate da ISMAR-CNR Sezione

di Bologna, si è continuato ad indagare per risolvere alcuni problemi scientifici interpretativi. Di seguito verranno indicate le caratteristiche di alcune di queste aree e le cubature del deposito sabbioso potenzialmente presente in ciascuna di esse e di quello utilizzabile. Infatti per limitare l'impatto delle attività estrattive sul fondale il volume del deposito sabbioso di ogni giacimento sommerso viene considerato al netto di uno strato di rispetto di 0,5 m che permetta di mantenere inalterate le caratteristiche granulometriche del fondale per facilitare il ripopolamento delle biocenosi. Le aree RV_G, RV_C ed RV_H sono state studiate con maggior dettaglio perchè, trovandosi più lontane dalla costa, l'utilizzo dei depositi sabbiosi comporterà un numero minore di conflitti con le altre attività che si effettuano in mare.

- Area RV_A

L'area RV_A, situata tra i -20 ed i -24 metri di profondità e ad una distanza da costa compresa tra i 15 ed i 19 km, ha un'estensione di 45 km², ed è caratterizzata da un complesso sistema di forme di fondo asimmetriche, *sand-waves*, orientate NO-SE originatosi durante l'ultima fase della risalita del livello del mare per rimaneggiamento di un litosoma costiero. Il deposito è costituito da sabbia fine sulle creste e sabbia media mista a detrito conchigliare nei truogoli (Correggiari et al 1996). Con l'utilizzo dei dati geofisici e geognostici presenti nell'archivio CNR-ISMAR Sezione di Bologna e dei nuovi profili acquisiti nel 2008 (Regione del Veneto) sono state interpretate le cubature di sedimento sabbioso disponibile nel campo di *sand waves*. L'immagine del deposito presente nell'area A mette in evidenza come gli accumuli sabbiosi singoli corrispondano alle forme di fondo di grandi dimensioni che sono abbastanza comuni in tutta la porzione di piattaforma nord adriatica tra i -18 ed i -24 metri di profondità (Fig. 115, Fig. 116).

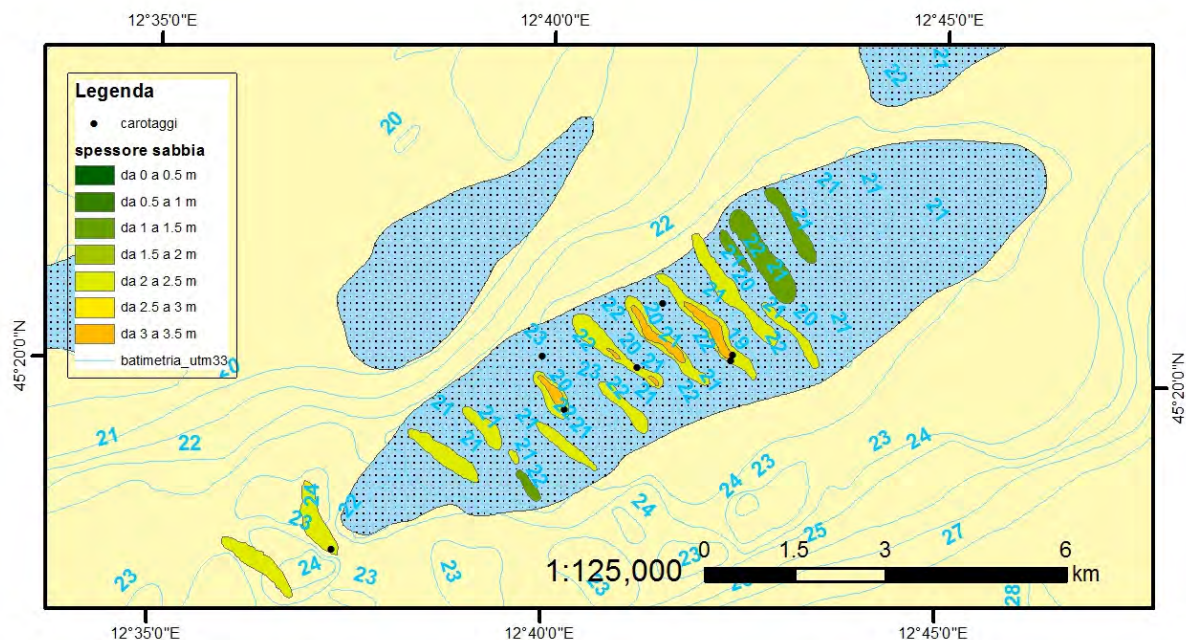


Fig. 115 Area RV_A - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri

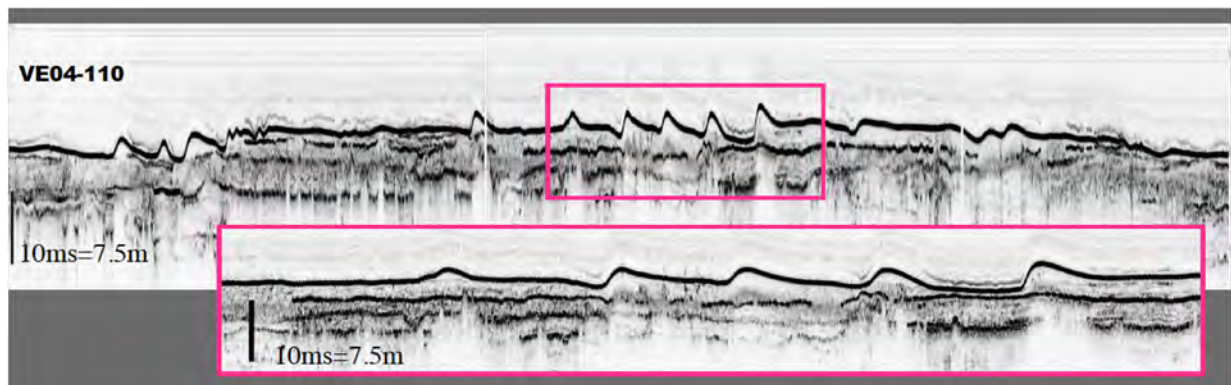


Fig. 116 Area RV_A Profilo sismoacustico Chirp sonar dove sono visibili le forme di fondo presenti nell'area. Nel riquadro sono rappresentate le forme di fondo con una minore esagerazione verticale

In assenza di una batimetria multibeam dettagliata dell'area RV_A è stato fatto un calcolo approssimativo del materiale sabbioso potenzialmente sfruttabile interpolando i dati geofisici disponibili. L'ammontare totale per l'area RV_A è di 4,85 milioni di m³. Il

materiale sabbioso presente in questi depositi contiene un valore medio di sabbia del 96,3% (prevalentemente sabbia da medio a fine) con frammenti di bioclasti (>2mm) non superiori nella media al 0,9%. Il D50 (mediana): 0,181 mm; 2,472 ϕ diametro medio o media grafica: 0,182 mm.

- Area RV B

Il deposito trasgressivo che si trova nell'area RV_B, conosciuto localmente con il nome di Trezza Grande (superficie di circa 120 km²) è un rilievo sottomarino a geometria trapezoidale, situato nella parte centro-occidentale nord adriatica, in posizione mediana rispetto Lignano e Grado e ad una profondità compresa tra i -11 e -16 m. Corrisponde al vecchio apparato deltizio del fiume Tagliamento (Fontana, 2008; Trincardi et al 2011; Zecchin et al. 2015) annegato ed eroso durante l'ultima risalita del livello del mare. Il versante SW è caratterizzato da un esteso campo di forme di fondo sommerse, mentre la parte NW del rilievo si raccorda dolcemente al fondale, attraverso una superficie quasi pianeggiante. Il deposito sabbioso, che presenta un'estensione di 49 km², è privo di copertura fangosa. Lo spessore medio della sabbia è di circa 2,5 m (Fig. 117). In assenza di una batimetria *multibeam* dettagliata anche nell'area RV_B è stato fatto un calcolo approssimativo del materiale sabbioso potenzialmente sfruttabile interpolando i dati geofisici e geognostici disponibili. L'ammontare totale per l'area RV_B è di 71,3 milioni di m³, mentre il volume potenzialmente utilizzabile è di 48,4 milioni di m³. Il materiale sabbioso presente nel deposito trasgressivo RV_B contiene un valore medio di sabbia del 94,8% (prevalentemente sabbia da media a fine) con frammenti di bioclasti (>2mm) non superiori nella media al 0,8%. Il D50 (mediana): 0,166 mm; 2,606 ϕ diametro medio o media grafica: 0,167 mm.

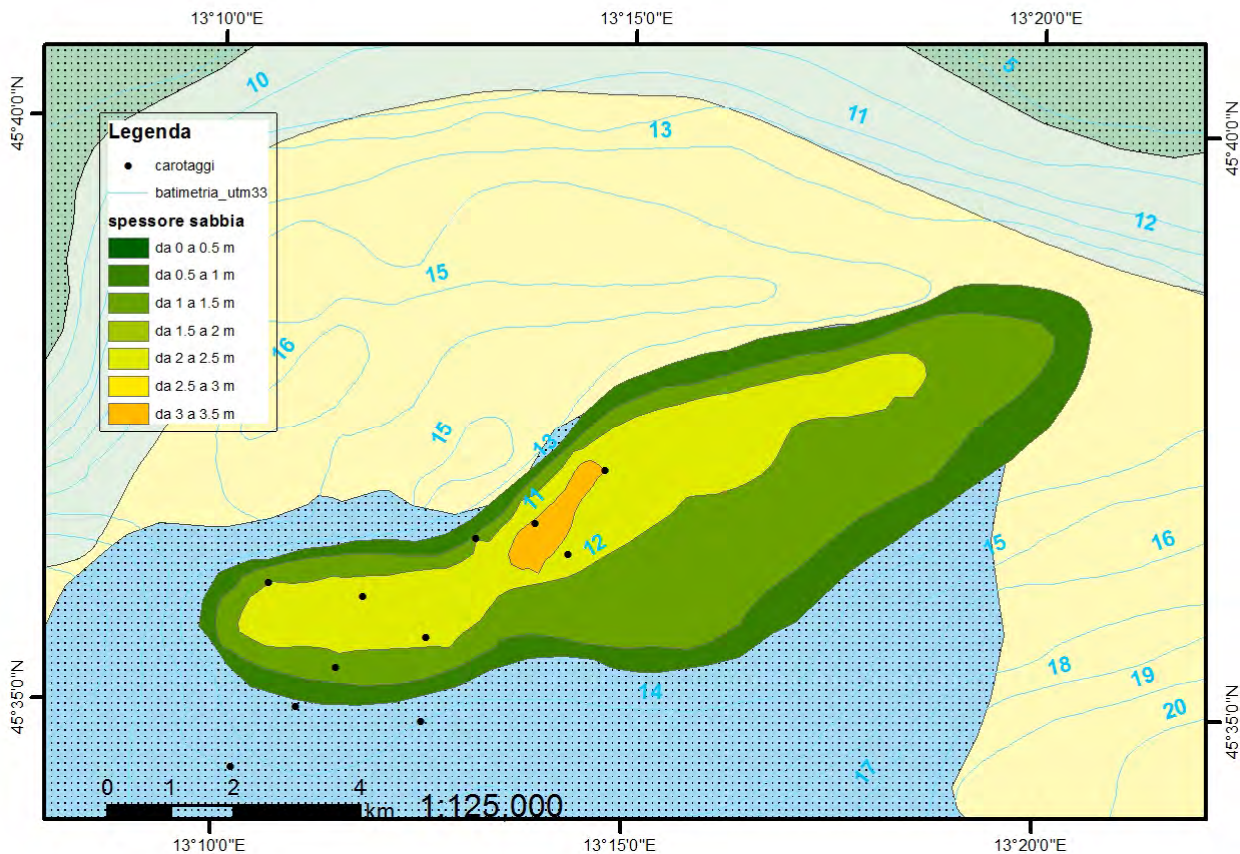


Fig. 117 Area RV_B - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri

L'area RV_D si trova tra i -21 ed i -24 m di profondità ad est dell'area RV_B, ha un'estensione di 38 km² ed una distanza di 15 km da terra. Il deposito trasgressivo presente in quest'area è costituito da un sistema di forme di fondo di piccole e medie dimensioni. Lo spessore massimo del deposito sabbioso arriva a tre metri, anche se molto variabile. Presenta una morfologia molto accidentata e la batimetria esistente non ne mette in evidenza la complessità. Un calcolo approssimativo dei volumi può essere fatto considerando un'altezza media del deposito sabbioso di 0,7 metri (Fig. 118, Fig. 119). Un valore indicativo può essere di 18 milioni di m³. Il materiale sabbioso presente (contenuto di sabbia pari al 95,2%) è prevalentemente sabbia da media a fine con frammenti di bioclasti (>2mm) non superiori nella media al 0,3%. Il D50 (mediana): 0,181 mm; 2,485 ϕ diametro medio o media grafica: 0,171 mm.

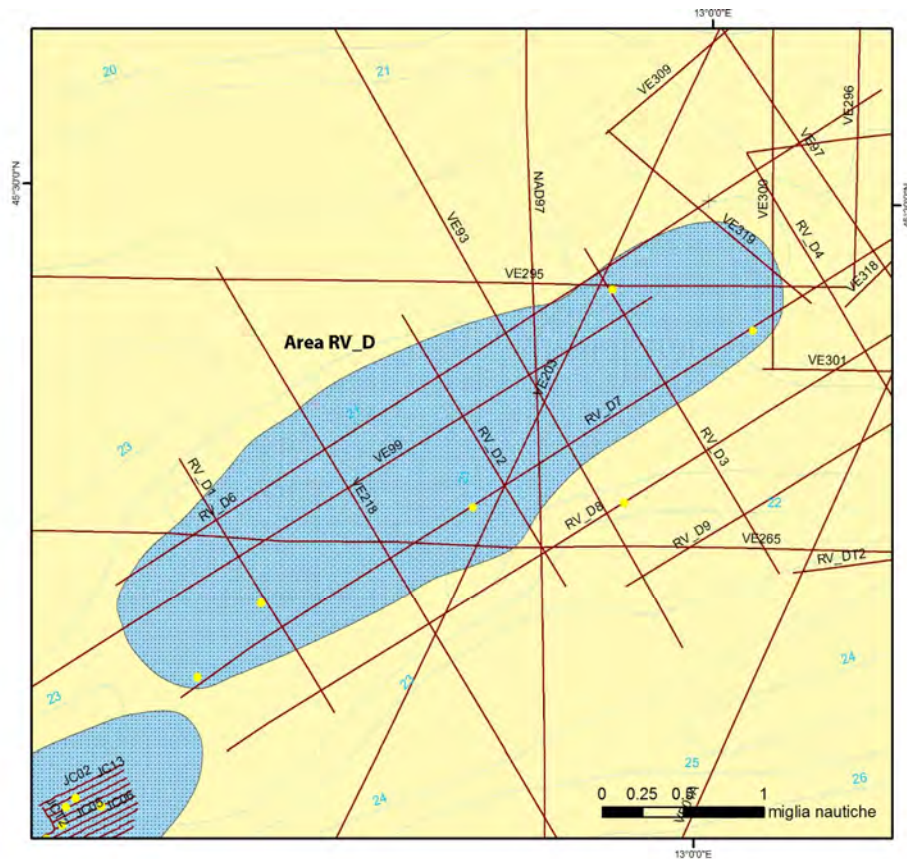


Fig. 118 Ubicazione dell'area RV_D in piattaforma nord adriatica, profili Chirp acquisiti e vibrocarotaggi effettuati nell'area

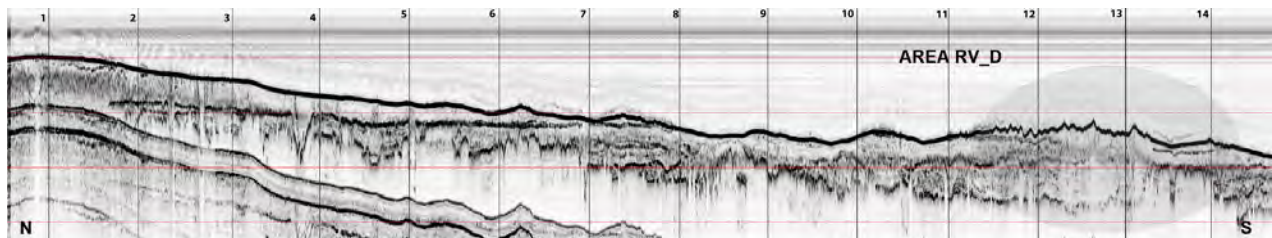


Fig. 119 Profilo Chirp Sonar: in evidenza l'estrema variabilità degli spessori di sedimento sabbioso nell'area RV_D (in grigio). Nella sezione sismoacustica visibili le forme di fondo di dimensioni diverse che caratterizzano l'area

- Area RV C

L'area RV_C, che si trova tra i -26 ed i -32 m di profondità, si presenta con una morfologia a dosso tipicamente allungata in direzione est-ovest confinata da due truogoli più profondi a nord e a sud. I profili che attraversano l'area presentano una facies sismica molto disomogenea. La porzione sabbiosa del corpo sedimentario ha un andamento molto articolato e sono stati acquisiti molti vibrocarotaggi per indagare al meglio le caratteristiche della sabbia (Fig. 120, Fig. 121). In quest'area è stato anche individuato un affioramento di substrato duro con concrezioni e faune bentoniche assimilabile a quelli che in alto Adriatico vengono comunemente denominati *Tegnùe*. La presenza di questo deposito comporterà un corridoio di rispetto nel quale non potrà essere fatta nessuna attività di dragaggio e particolari programmi di monitoraggio. Nell'area RV_C è stata acquisita una batimetria multibeam che ha fornito la morfologia dettagliata del grande dosso alla sommità del quale sono presenti i depositi sabbiosi.

L'ammontare totale per l'area RV_C è di 6,1 milioni di m³, mentre il volume potenzialmente utilizzabile è di 3,9 milioni di m³. Il materiale sabbioso presente in questi depositi contiene un valore medio di sabbia del 93,9% (prevalentemente sabbia da media a fine) con frammenti di bioclasti (>2mm) non superiori nella media al 1%. Il D50 (mediana): 0,210 mm; 2,257 ϕ diametro medio o media grafica: 0,206 mm.

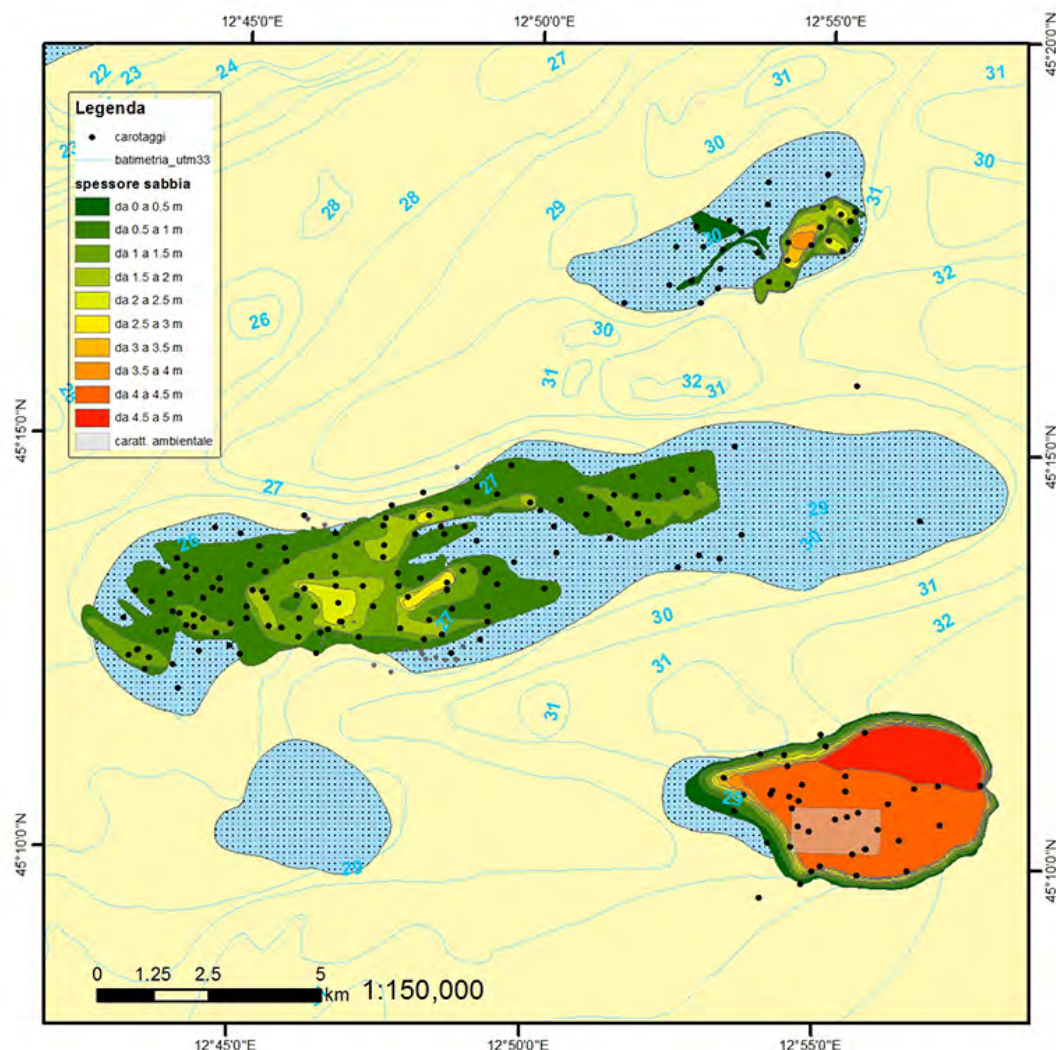


Fig. 120 Aree RV_G RV_C ed RV_H - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri ed ubicazione dei vibrocarotaggi per ciascuna area

- Area RV_G

L'area RV_G si trova ad una profondità tra i -30 ed i -31 metri ad una distanza di 28 km dalla costa e si estende con una morfologia a dosso tipicamente allungata in direzione sudovest-nordest (Fig. 120). La facies sismica trasparente riconducibile a sedimento sabbioso e interpretata sui profili sismici è abbastanza uniforme, mentre i vibrocarotaggi recuperati raggiungono i 3.8 cm di spessore sabbioso. Il volume totale del deposito sabbioso presente RV_G è di 2,6 milioni di m³. Il volume potenzialmente utilizzabile è di 2,0 milioni di m³. Il materiale sabbioso presente nel deposito trasgressivo RV_G contiene un valore medio di sabbia del 94,4% ed è costituito prevalentemente sabbia da fine a molto fine con D50 (mediana): 0,154 mm; 2,715 ϕ diametro medio o media grafica: 0,149 mm.

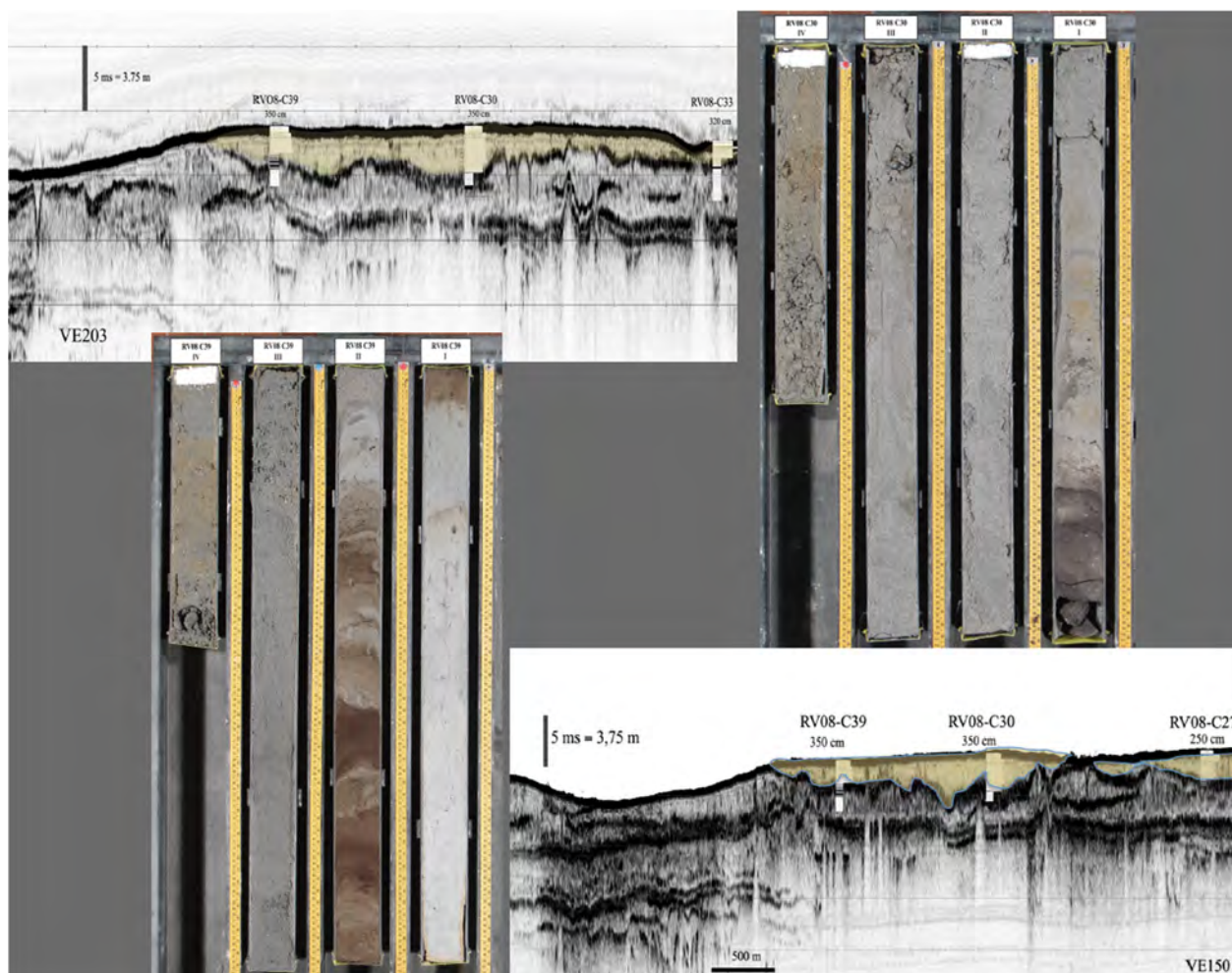


Fig. 121 Alcuni esempi di profili Chirp sonar e vibrocarotaggi acquisiti nell'area RV_C. Nei profili in giallo sono messe in evidenza le porzioni sabbiose dei depositi e sono ubicati i log litologici dei vibrocarotaggi

- Area RV_H

L'area RV_H situata a circa 23 miglia nautiche dal Lido di Jesolo e 26 miglia nautiche da Chioggia, ha un'estensione di 23 km² e si presenta come un dosso sviluppato in senso est ovest dai -29 ai -31 metri di profondità. L'estensione della porzione sabbiosa risulta essere più ampia dell'area definita in origine, infatti durante campagne successive di ISMAR-CNR Sezione di Bologna sono stati ampliati i confini d'indagine, e i nuovi dati interpretati dovranno essere validati da nuove acquisizioni geognostiche ma forniscono una maggior conoscenza della morfologia del deposito a scala regionale (Fig. 120). Nell'ambito dello studio "Caratterizzazione ambientale dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma alto adriatica potenzialmente sfruttabili come cave di prestito per il ripascimento costiero nella Regione Veneto", realizzato da ISPRA per la Regione Veneto, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, geofisiche e di caratterizzazione ambientale in un settore nell'area indicata da ISMAR-CNR Sezione di Bologna (riquadro grigio in Fig. 120).

Il deposito sabbioso presente nell'area RV_H ha un volume molto elevato la sua base è abbastanza tabulare e le caratteristiche litologiche sono omogenee (Fig. 122). Il suo spessore raggiunge i 4,5 metri. Il materiale sabbioso presente (contenuto di sabbia pari al 91,3%) è prevalentemente formato da sabbia media a fine con frammenti di bioclasti (>2mm) non superiori, nella media, allo 0,7%. Il D50 (mediana): 0,178 mm; 2,511 ϕ diametro medio o media grafica: 0,168 mm. Il volume totale del deposito sabbioso presente RV_H è di 60,5 milioni di m³. Il volume potenzialmente utilizzabile è di 51,8 milioni di m³.

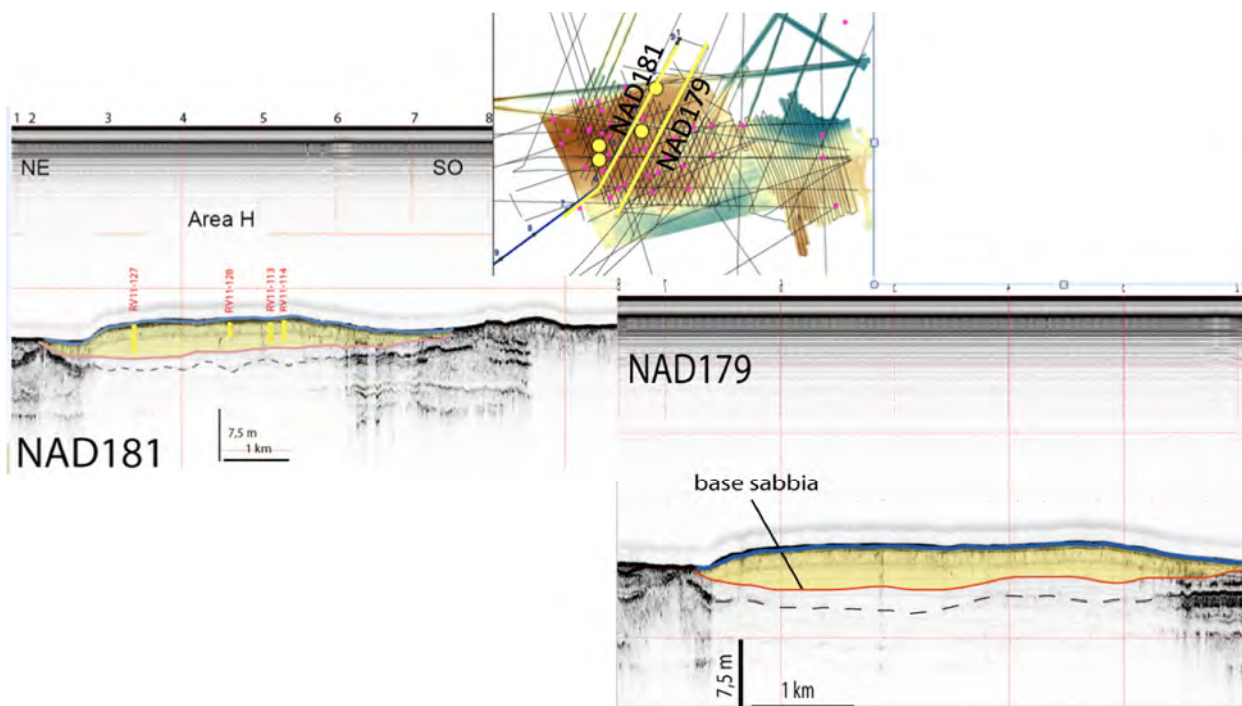


Fig. 122 Area RV_H - Due profili Chirp Sonar acquisiti nel 2012 nell'area, l'ubicazione nella mappa. Si può notare in giallo il deposito sabbioso con base tabulare

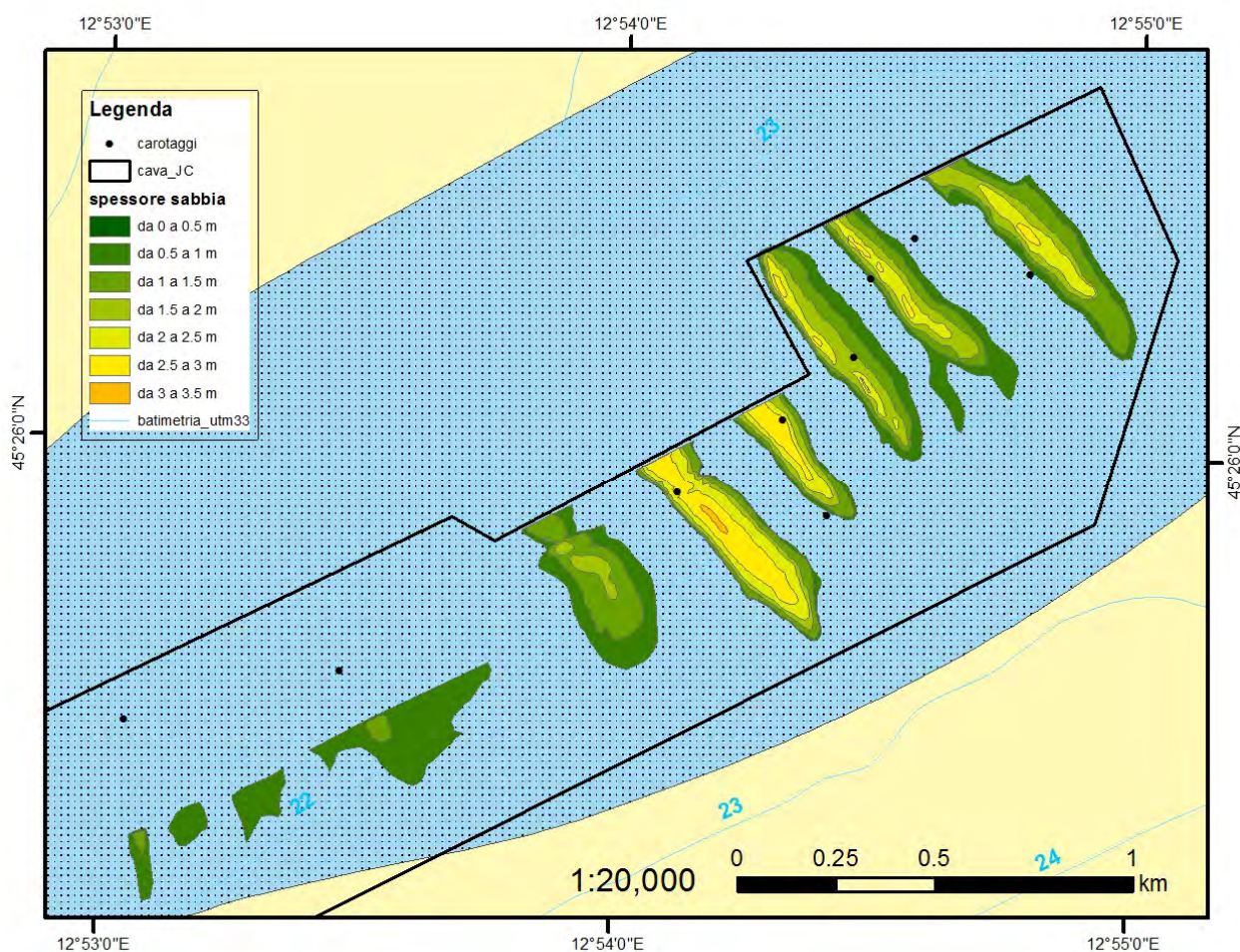


Fig. 123 Area RV_JC - Spessori dei depositi sabbiosi espressi in metri

- Area RV_JC

Il deposito RV_JC è un'area di cava di 4 km² situata al largo di Caorle (16 km dalla costa) ad una profondità dai -20 ai -24 metri (Fig. 123). È un deposito già utilizzato dal Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova per alcuni interventi di dragaggio di sabbie per ripascimento. Utilizzando i dati geofisici e di batimetria di dettaglio acquisiti nel 2008 e nel 2012 e resi disponibili dalla Regione del Veneto sono stati mappati i depositi sabbiosi ancora disponibili.

Il materiale sabbioso presente (contenuto di sabbia pari al 96,5%) è prevalentemente formato da sabbia media a fine con frammenti di bioclasti (>2mm) non superiori, nella media, allo 0,3%. Il D50 (mediana): 0,194 mm; 2,363 ϕ diametro medio o media grafica: 0,195 mm. Il volume totale del deposito sabbioso presente RV_JC è di 6 milioni di m³. Il volume potenzialmente utilizzabile è di 4,1 milioni di m³.

Nella tabella riassuntiva sono riportati i volumi dei depositi sabbiosi che sono stati oggetto delle ricerche dal 2008 ad oggi. È importante sottolineare che nelle aree RV_G, RV_C e RV_H i dati acquisiti hanno reso possibile uno studio di dettaglio e le cubature sono da ritenersi con buona approssimazione molto precise, mentre per le altre aree i volumi, calcolati con i dati in nostro possesso, sono da ritenersi approssimativi e necessitano di ulteriori raffittimenti.

Tab. 88 Tabella riassuntiva dei volumi di sabbia presenti in Adriatico Settentrionale

Sigla	Nome DSMR e localizzazione di massima	Profondità max m	Profondità min m	Potenzialità teorica Mm ³	Potenzialità accessibile Mm ³	Tipologia Sedimento prevalente
RV_A	Offshore Laguna di Venezia (16 miglia)	24	20	4.85	4.85	sabbia da media a fine
RV_B	Offshore Tagliamento (5 miglia)	11	16	71.3	48.4	sabbia da media a fine
RV_C	Offshore Chioggia (20 miglia)	26	32	6.10	3.90	sabbia da media a fine
RV_D	Offshore Caorle (8 miglia)	21	24	18 spess 0.7 cm	18 spess 0.7 cm	sabbia da media a fine
RV_G	Offshore Caorle (15 miglia)	30	31	2.6	2	sabbia da fine a molto fine
RV_H	Offshore Chioggia (26 miglia)	29	31	60.53	51.86	sabbia da media a fine
RV_JC	Offshore Caorle (8 miglia)	20	23	6	4,1	sabbia fine

17.3 PIANO DI INTERVENTO

Il piano di intervento legato alla gestione della risorsa sabbiosa può essere suddiviso in due parti: una parte si occupa della gestione della risorsa interna alla circolazione litoranea e fa riferimento a modesti volumi da movimentare (generalmente da poche migliaia fino a massimo 100'000 m³); l'altra parte ha lo scopo di organizzare il prelievo da cava sottomarina e il contemporaneo ripascimento con quantitativi tipicamente molto rilevanti (dell'ordine dei milioni di m³).

Per quanto riguarda la gestione della risorsa interna alla circolazione litoranea è necessario definire un programma di monitoraggio quantitativo e qualitativo dei depositi sabbiosi con un intervallo di prelievo congruo alle quantità da prelevare. Tale programma deve anche mirare a minimizzare l'impatto dei lavori sull'ambiente e avvalersi di in iter autorizzativo ben definito per poter pianificare congiuntamente prelievo e ripascimento.

Le aree di potenziale prelievo dei sedimenti sono già stati indicati al paragrafo precedente. Il piano di intervento ha come finalità quella di associare le diverse risorse sabbiose agli interventi di ripascimento, tenendo presente che spesso la tempistica richiesta dai ripascimenti è legata alla fruizione turistica dei litorali, mentre le esigenze di prelievo sono legate alle necessità di dragaggio per mantenere la navigabilità. Ciò dunque comporta un'anticipazione delle operazioni di dragaggio in modo da non dover operare a seguito di mareggiate intense, usufruendo al più delle zone di deposito temporaneo se non fosse possibile realizzare contemporaneamente il versamento.

Il piano di utilizzo della risorsa proveniente da cava marina, può riunire un unico intervento di dragaggio a diversi interventi di ripascimento lungo il litorale, beneficiando così di una economia di scala.

Le seguenti tabelle (Tab. 89 e Tab. 90), divise per tipologia di ripascimento (manutentivo e di ripristino) associano alle diverse necessità di ripascimento la risorsa sabbiosa da utilizzare.

Tab. 89 Ripascimenti manutentivi e risorsa sabbiosa correlata

CELLA	Zona	Ripascimenti manutentivi (m ³ /anno)	Possibile risorsa sabbiosa situata all'interno della cella o nelle foci/bocche che la delimitano	Volumi rimanenti da recuperare in altri depositi lungo il litorale Veneto o da cave marine
VE1	Tratto a Nord (Zona del Faro, Lama del Revelino)	70'000	50'000 m ³ /anno (area di prelievo presso foce Tagliamento tramite sabbiodotto) + 10'000 m ³ /anno (area di prelievo presso bocca di Porto Baseleghe)	10'000 m ³ /anno
VE2	Intera cella	10'000	10'000 m ³ /anno (area di prelievo presso bocca di Porto Baseleghe)	
VE4	Tratto a Nord e centrale (Porto Santa Margherita - Duna Verde - Eraclea)	55'000	40'000 m ³ /anno (area di prelievo presso foce Piave)	15'000 m ³ /anno
VE4	Tratto a Sud (laguna del Mort)	5'000	5'000 m ³ /anno (area di prelievo bocca laguna del Mort)	
VE5	Tratto a Nord (Cortellazzo)	75'000		75'000 m ³ /anno
VE5	Tratto centrale e tratto a Sud (Jesolo)	75'000		75'000 m ³ /anno
VE6	Tratto a Nord e tratto centrale (Cavallino - Treporti)	20'000	20'000 m ³ /anno (area di prelievo a ridosso dell'armatura di bocca di Lido)	
VE7	Tratto Centrale (Lido di Venezia e Città Giardino)	5'000	5'000 m ³ /anno (area di prelievo dalla canaletta di bocca di Lido)	
VE8	Tratto a Nord e centrale (Pellestrina)	40'000		40'000 m ³ /anno
VE9	Tratto a centro - Nord (Sottomarina)	10'000	10'000 m ³ /anno (area di prelievo a ridosso dell'armatura di bocca di Chioggia - lato Sottomarina)	
VE10	Intero litorale di Isola Verde	20'000	20'000 m ³ /anno (area di prelievo da foce Brenta e foce Adige)	
RO1	Tratto a Nord (antistante Rosolina Mare)	30'000	30'000 m ³ /anno (parte dell'area di prelievo/deposito presso foce Adige - bocca di Caleri)	
RO4	Tratto a Nord (scanno Boccasette)	15'000	15'000 m ³ /anno (parte dell'area di prelievo/deposito presso bocche laguna di Barbamarco)	
RO4	Tratto a Sud (scanno Boccasette)	20'000	20'000 m ³ /anno (Area di prelievo/deposito presso bocche laguna di Barbamarco)	
RO7	Scanno (protezione laguna Canarin)	40'000	40'000 m ³ /anno (Area di prelievo/deposito presso ex canale scarico Enel)	
RO9	Spiaggia delle Conchiglie	20'000	20'000 m ³ /anno (Area di prelievo/deposito presso foce Po di Tolle o da deposito interno alla sacca di Scardovari)	
RO9	Intero scanno	20'000	20'000 m ³ /anno (Area di prelievo/deposito interno alla sacca di Scardovari)	
TOTALE		530'000		

Nell'individuazione della possibile risorsa sabbiosa si è ipotizzato di poter riutilizzare la totalità di depositi indicati in Tab. 87 come già anticipato questa possibilità (riutilizzo al 100%) potrebbe non essere garantita e in questo caso si dovrà integrare il volume necessario per completare il ripascimento manutentivo con prelievo da altre fonti (o da "stock area" limitrofe, oppure da cave marine al largo).

Tab. 90 Ripascimenti strutturali e risorsa sabbiosa correlata

CELLA	Zona	Ripascimenti necessari per ripristino della costa (m ³)
VE4	Intera cella	2'000'000
VE7	Tratto Centrale (Malamocco)	500'000
VE8	Tratto a Nord e centrale (Pellestrina)	600'000
VE10	Litorale Isola Verde	350'000
RO4	Intero scanno litoraneo	100'000
RO7	Intero scanno litoraneo	100'000
Totale		3'650'000 m³

Per quanto concerne questi ripascimenti strutturali, si deve far notare che la "vita tecnica" dell'intervento si attesta generalmente tra i 5 e i 10 anni. Trascorso tale intervallo di tempo è ipotizzabile che si debba procedere ad un nuovo intervento di ripascimento, i cui volumi necessari potranno essere definiti solo a valle del monitoraggio che sarà effettuato negli anni successivi all'intervento.

In conclusione il presente studio ha evidenziato che il quantitativo di risorsa sabbiosa necessaria per gli interventi di ripristino delle aree in sofferenza erosiva è di 3'650'000 m³, oltre a un quantitativo previsto per la manutenzione annuale pari a 530'000 m³/anno. Per quanto riguarda le aree a terra o nella spiaggia sommersa prossima a costa di potenziale prelievo dei sedimenti (quindi sabbia già appartenente alla circolazione litoranea), i volumi individuati ammontano a circa 640'000 m³/anno, di cui solo in parte idonei al ripascimento. Rimane quindi la necessità di reperire circa 3'000'000 m³ di sabbia all'esterno del sistema litoraneo, ossia da cave sottomarine, sia situate a notevole distanza dalla costa sia poste immediatamente al di fuori della profondità di chiusura.

18. PIANO DECENNALE DI GESTIONE

18.1 TRATTI CRITICI

Nel capitolo 16 sono state analizzate le 20 celle in cui è suddivisa la costa della Regione Veneto, focalizzando l'analisi anche su sotto-tratti e riportando l'indice di criticità associato a ciascuno di essi. Si vuole ora porre l'attenzione sui tratti di maggiore criticità che dunque evidenziano la priorità di interventi di protezione dal fenomeno erosivo e dal rischio di ingressione marina. La seguente tabella riassume questi tratti, indicando l'origine della criticità (Tab. 91).

Tab. 91 Tratti maggiormente critici

Tratto	Zona	Origine della criticità
VE1A	Tratto a Nord (Zona del Faro, Lama del Revelino)	A valle del primo tratto difeso con barriere parallele a riva (oggi in aderenza) si è registrato un forte arretramento della spiaggia emersa. Questo fenomeno è certamente da mettere in relazione con l'effetto combinato di trasporto solido litoraneo sotto costa indotto dall'azione delle onde diretto da Est verso Ovest e dell'insufficiente alimentazione di materiale sabbioso dalla foce del Tagliamento. Dallo studio della batimetria della zona risulta inoltre evidente che i depositi di materiale recapitato a mare dal Tagliamento non scorrono vicino a costa, ma vanno ad alimentare barre di foce e barre sommerse relativamente distanti da riva, da cui discende la forte erosione che la spiaggia ha subito a valle delle barriere
VE1C	Tratto a Sud (Bibione Pineda)	La recente evoluzione dell'imboccatura di Porto Baseleghe evidenzia un progressivo avanzamento dello spit in direzione Ovest dell'ordine delle decine di metri all'anno, che deve essere certamente analizzato e sottoposto a monitoraggio in relazione al deflusso delle acque del Tagliamento attraverso il canale scolmatore Cavrato. Tale area è a rischio allagamento qualora la bocca di Porto Baseleghe non risulti opportunamente dragata al momento dello scarico del canale scolmatore Cavrato.
VE2A	Tratto a Nord (Valle Vecchia)	Il primo tratto di costa in destra alla bocca di Porto Baseleghe manifesta una tendenza erosiva dell'arenile, da mettere in relazione con l'evidente accumulo di sedimenti nel lato opposto della bocca e alle operazioni di dragaggio e gestione dei sedimenti.
VE4A/B	Tratto a Nord e centrale (Porto Santa Margherita - Duna Verde - Eraclea)	Il trasporto litoraneo, crescente da NE a SW, congiuntamente alla mancanza di alimentazione da monte (a causa dei lunghi moli della foce Livenza) comporta la necessità di frequenti versamenti manutentivi. Il bilancio sedimentario evidenzia infatti una sostanziale stabilità garantita per l'appunto dai periodici ripascimenti qui effettuati. La perdita di volumi va correlata anche alla riflessione delle onde sulle opere in aderenza (diaframma e gradonate in cls).
VE5A	Tratto a Nord (Cortellazzo)	Il mancato apporto di sedimenti dal fiume Piave e l'elevato trasporto solido longitudinale provocano l'instabilità di questa zona che necessiterebbe di un apporto di sabbia pari a circa 50.000 m ³ /anno. L'erosione a Cortellazzo si estende peraltro anche alle dune costiere retrostanti, degradate anche dal considerevole flusso turistico, che dunque non possono svolgere la loro funzione di riserva di sedimenti durante le mareggiate estreme, né quella di difesa dall'ingressione marina.
VE5B	Tratto a Sud (Jesolo)	Nel litorale di Jesolo si registrano perdite di circa 50.000/60.000 m ³ /anno
VE6A	Tratto a Nord e tratto centrale (Cavallino - Treporti)	Nel litorale di Cavallino la stabilità è oggi garantita dal versamento di 20.000 m ³ /anno.
VE8A	Tratto a Nord e centrale (Pellestrina)	Le opere di protezione e di contenimento del materiale versato hanno garantito una elevata durata del ripascimento effettuato alla fine degli anni '90. Tuttavia, a distanza di circa 15 anni, si riscontra la necessità di un nuovo apporto di sabbie. Si ritiene infatti indispensabile procedere a un ripascimento prima che l'azione delle onde possa raggiungere direttamente il muraio con conseguente incremento delle perdite verso il largo (per riflessione su una parete o scarpata)
VE9B	Tratto a Sud (2 km da foce Brenta verso N)	La zona a ridosso della foce Brenta, oggi armata con moli della lunghezza di circa 450 m, manifesta una tendenza erosiva, provocata principalmente da mareggiate eccezionali.
VE10	Litorale Isola Verde	Dall'analisi dell'evoluzione della linea di riva, il litorale di Isola Verde presenta, soprattutto nella zona centrale e meridionale, fenomeni erosivi causati presumibilmente dalla diminuzione della portata solida del fiume Adige. La ridotta ampiezza dell'arenile, la vicinanza degli insediamenti al litorale e la fragilità dei sistemi dunali non garantiscono la sicurezza nei confronti dell'allagamento costiero a seguito di mareggiate eccezionali.

Tratto	Zona	Origine della criticità
RO1A	Tratto a Nord (antistante Rosolina Mare)	Il tratto settentrionale, che non beneficia del apporto dell'Adige, perde circa 30'000 m ³ /anno a favore dei litorali sottoflutto.
RO3B	Tratto in sinistra idrografica a Po di Maistra	L'area è estremamente dinamica e fragile per cui è elevato il pericolo di allagamento costiero. Va posta particolare attenzione al deflusso idrico e apporto solido presso la foce del Po di Maistra in relazione alla sua vicinanza con la bocca della laguna della Vallona
RO4A	Tratto a Nord (scanno Boccasette)	Il litorale è interessato da fenomeni erosivi localizzati che interessano anche il cordone dunale; in alcuni punti è elevato il rischio di ingressione marina.
RO4B	Tratto centrale (Bocca di Boccasette)	Il litorale è interessato da fenomeni erosivi localizzati che interessano anche il cordone dunale; in alcuni punti è elevato il rischio di ingressione marina.
RO7B	Scanno (protezione laguna Canarin)	Nell'intero scanno si evidenziano fragilità nel cordone dunale che dunque non svolge la sua funzione preventiva all'ingressione marina.
RO9B	Scanno di protezione Sacca Scardovari	La sacca di Scardovari è una laguna di notevole interesse ambientale e produttivo. Questa laguna è protetta da uno scanno che risulta essere molto fragile e caratterizzato da una veloce evoluzione morfologica. Dalla variazione della linea di riva si osserva come l'isola è migrata nei diversi anni assumendo diverse conformazioni. Risulta dunque necessario garantire la stabilità dello scanno e dunque la difesa dall'ingressione marina all'interno della Sacca.

18.2 INTERVENTI PRIORITARI

Alla luce del presente studio sembra necessario adottare una strategia di programmazione e progettazione degli interventi che affronti le problematiche legate alla gestione delle zone costiere, con una visione globale del sistema litoraneo. Un'analisi sistematica e unitaria dell'intero litorale ha permesso di focalizzare l'attenzione verso alcune criticità locali senza però perdere la visione globale della dinamica costiera che avviene nella costa Veneta. Come conseguenza delle criticità individuate in alcuni tratti del litorale Veneto (Tab. 91) si ritiene che gli interventi prioritari da eseguire per affrontare i fenomeni di erosione e ingressione marina che affliggono queste zone siano quelli illustrati in Tab. 92.

Tab. 92 Interventi prioritari sui tratti critici

Tratto	Zona	Ripascimento	Altri interventi (opere, monitoraggio)
VE1A	Tratto a Nord (Zona del Faro, Lama del Revelino)	70'000 m ³ /anno (utilizzo sabbiodotto)	Monitoraggio periodico dell'evoluzione della linea di riva e dei fondali antistanti
VE1C	Tratto a Sud (Bibione Pineda)		Monitoraggio specifico dello spit in avanzamento e della bocca di Porto Baseleghe finalizzato al dragaggio periodico della stessa
VE2A	Tratto a Nord (Valle Vecchia)		Monitoraggio del primo tratto di 1,5 km a Nord, senza interventi immediati di ripristino della linea di riva, che potrebbe avvenire naturalmente in relazione al regime del Cavrato.
VE4	Tratto a Nord e centrale (Porto Santa Margherita - Duna Verde - Eraclea)	2'000'000 m ³ + 60'000 m ³ /anno	Monitoraggio periodico della gradonata in cls presente al fine di stimare volumi e intervalli temporali dei versamenti di materiali utili a ricoprire queste opere rigide.
VE5A/B	Tratto a Nord e Sud (Cortellazzo e Jesolo)	150'000 m ³ /anno	Realizzazione di pennelli su pali nel tratto di 1,3 km posto tra l'ultimo pennello in massi antistante Cortellazzo e il primo pennello su pali esistente.
VE6A	Tratto a Nord e tratto centrale (Cavallino - Treporti)	20'000 m ³ /anno	Monitoraggio del litorale di Cavallino finalizzato alla valutazione dei volumi dei sedimenti e al progetto del versamento manutentivo
VE8A	Tratto a Nord e centrale (Pellestrina)	600'000 m ³ + 40'000 m ³ /anno	Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa nell'intera isola di Pellestrina per la valutazione dei quantitativi e della frequenza degli interventi manutentivi (si stimano circa 5.000-10.000 m ³ x anno x km).
VE9B	Tratto a Sud (2 km da foce Brenta verso N)	10'000 m ³ /anno	In questo tratto è stata realizzata una barriera sommersa (anno 2015). È dunque necessario effettuare un monitoraggio della zona protetta e del tratto sottoflutto al nuovo intervento (con eventuale manutenzione tramite ripascimento)
VE10	Litorale Isola Verde	350'000 m ³	Prolungamento dei 7 pennelli, ricostruzione del cordone dunale. Monitoraggio dell'intero litorale di Isola Verde finalizzato alla valutazione dei volumi dei sedimenti e al progetto del versamento manutentivo.

Tratto	Zona	Ripascimento	Altri interventi (opere, monitoraggio)
RO1A	Tratto a Nord (antistante Rosolina Mare)	30'000 m ³ /anno	Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto.
RO3B	Tratto in sinistra idrografica a Po di Maistra		Monitoraggio della foce del Po di Maistra e della bocca della Laguna della Vallona finalizzati ad interventi di stabilizzazione dell'area.
RO4A	Tratto a Nord (scanno Boccasette)	15'000 m ³ /anno	Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto.
RO4B	Tratto centrale (Bocca di Boccasette)	20'000 m ³ /anno (creazione deposito localizzato) + 100'000 m ³ (ricostruzione cordone dunale intera cella RO4)	Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto.
RO7B	Scanno (protezione laguna Canarin)	20'000 m ³ /anno (creazione deposito localizzato) + 100'000 m ³ (ricostruzione cordone dunale intera cella RO7)	Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto.
RO9B	Scanno di protezione Sacca Scardovari		Interventi in progetto (Lavori di realizzazione della difesa in pietrame e di riattivazione del fondale marino presso la bocca della Sacca degli Scardovari, in Comune di Porto Tolle)

18.3 PROGRAMMA DI MANUTENZIONE

Per garantire una maggiore efficacia degli interventi prioritari ipotizzati è necessario stilare un programma di manutenzione dell'intera costa. La combinazione di diverse attività, quali monitoraggi, ripascimenti manutentivi, piani di gestione aiutano a prolungare la vita tecnica delle azioni proposte. Nel paragrafo 17.3 è stato presentato un piano di intervento per l'utilizzo della risorsa sabbiosa, combinando le diverse aree di prelievo agli interventi di ripascimento. In Tab. 93 si riassumono i volumi necessari da versare annualmente per mantenere la stabilità del litorale.

Tab. 93 Ripascimenti manutentivi

CELLA	Confini	Ripascimenti manutentivi (m ³ /anno)
VE1	Da foce Tagliamento a bocca di Porto Baseleghe	70'000
VE2	Da bocca di Porto Baseleghe a bocca di Falconera	10'000
VE4	Da foce Livenza a foce Piave	60'000
VE5	Da foce Piave a foce Sile	150'000
VE6	Da foce Sile a Bocca di Lido	20'000
VE7	Da bocca di Lido a bocca di Malamocco	5'000
VE8	Da bocca di Malamocco a bocca di Chioggia	40'000
VE9	Da bocca di Chioggia a foce Brenta	10'000
VE10	Da foce Brenta a foce Adige	20'000
Totale Provincia di Venezia		385'000
RO1	Da foce Adige a bocca di Caleri	30'000
RO4	Da foce Po di Maistra a busa di Tramontana	35'000
RO7	Da busa di Scirocco a busa Storiona	40'000
RO9	Da foce Po di Tolle a foce Po di Gnocca	20'000
RO10	Da foce Po di Gnocca a foce Po di Goro	20'000
Totale Provincia di Rovigo		145'000
TOTALE		530'000

Si deve inoltre costruire un sistema previsionale, basato sul monitoraggio dello stato di salute delle coste, delle modificazioni a cui sono sottoposte per cercare di definire la loro possibile evoluzione e per operare al meglio nel futuro. Queste indicazioni forniscono dati validi per stabilire le prevedibili evoluzioni e quindi per pianificare le più idonee strategie di intervento e di gestione delle zone costiere. In Tab. 94 sono suggeriti i monitoraggi da effettuare nelle varie celle morfologicamente omogenee al fine di controllare alcune criticità individuate e in generale l'evoluzione della linea di riva e dei fondali.

Tab. 94 Monitoraggi

CELLA	Monitoraggio
VE1	- Monitoraggio dell'evoluzione della linea di riva e dei fondali antistanti il tratto a Nord - Monitoraggio dello spit in avanzamento e della bocca di Porto Baseleghe finalizzato al dragaggio periodico della stessa, in relazione anche al regime idrico del Cavrato.
VE2	- Monitoraggio del primo tratto di 1,5 km a Nord (linea di riva e fondali) in relazione al regime del Cavrato. - Monitoraggio della Bocca di Falconera finalizzato al dragaggio periodico della stessa
VE3	- Monitoraggio dei fondali e delle granulometrie dei sedimenti presenti nella spiaggia di Levante. - Monitoraggio muraio in aderenza per eventuali interventi di manutenzione. - Monitoraggio della foce Livenza finalizzato al dragaggio periodico della stessa
VE4	- Monitoraggio della gradonata in cls presente al fine di stimare volumi e intervalli temporali dei versamenti di materiali utili a ricoprire queste opere rigide. - Monitoraggio della foce Piave finalizzato al dragaggio periodico della stessa.
VE5	- Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa nel intero litorale (Cortellazzo e Jesolo) finalizzato al ripascimento periodico dello stesso. - Monitoraggio della foce Sile finalizzato al dragaggio periodico della stessa
VE6	- Monitoraggio del litorale di Cavallino finalizzato alla valutazione dei volumi dei sedimenti e al progetto del versamento manutentivo.
VE7	- Monitoraggio del litorale a monte dell'armatura di bocca di Lido. - Monitoraggio lungomare Marconi finalizzato al periodico versamento manutentivo. Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa della porzione meridionale (Alberoni) per valutare la costanza o l'occasionalità del processo erosivo evidenziato dalla recente variazione della linea di riva.
VE8	- Monitoraggio della linea di riva e della spiaggia sommersa nell'intera isola di Pellestrina per la valutazione dei quantitativi e della frequenza degli interventi manutentivi.
VE9	- Monitoraggio del tratto di spiaggia di Sottomarina finalizzato ad un ripascimento periodico. Monitoraggio della zona sottoflutto al nuovo intervento (barriera sommersa adiacente a foce Brenta).
VE10	- Monitoraggio dell'intero litorale di Isola Verde finalizzato alla valutazione dei volumi dei sedimenti e al progetto del versamento manutentivo.
RO1	- Monitoraggio degli accumuli/erosioni nell'intero litorale, finalizzato alla definizione dei volumi di prelievo/versamento.
RO2	- Monitoraggio dell'intero litorale di Isola Albarella e delle due bocche, con particolare attenzione al dragaggio della bocca di Caleri per limitare i rischi di balneazione associati alla prossimità del canale alla spiaggia e alla idrodinamica complessiva dell'area.
RO3	- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o con quote troppo ridotte) finalizzato al ripristino degli stessi. Monitoraggio della foce Po di Maistra e dell'adiacente bocca della laguna della Vallona.
RO4	- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi.
RO5	- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo.
RO6	- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo.
RO7	- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi.
RO8	- Monitoraggio dei fondali antistanti Busa Storiona per quantificare l'apporto fluviale. - Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi.
RO9	- Monitoraggio delle nuove barriere presso la spiaggia delle conchiglie ed eventuale completamento del sistema di difesa con barriere sommerse (finalizzato alla riduzione delle circolazioni da queste indotte). - Monitoraggio dei fenomeni erosivi e dell'idrodinamica presso la spiaggia delle conchiglie. - Monitoraggio dell'intero scanno di Scardovari per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi.
RO10	- Monitoraggio dell'intero scanno litoraneo per individuare gli eventuali punti dove il cordone dunale è interrotto (o troppo basso) finalizzato al ripristino degli stessi.

19. CONCLUSIONI

Le motivazioni che sono state assunte alla base di questo lavoro sono la conservazione ottimale e la valorizzazione delle attività sul territorio balneare e la salvaguardia degli habitat naturali e dell'ecosistema di zone ad alto valore ambientale.

Nella fase progettuale di questo studio sono state considerate le 20 celle in cui è stata suddivisa la costa veneta e per ciascuna di esse, sulla base delle elaborazioni effettuate e delle informazioni raccolte nella prima fase conoscitiva, è stato valutato il recente trend evolutivo e sono state di conseguenza evidenziate le criticità puntuali. Si è inoltre giunti alla proposizione di schemi progettuali che potrebbero essere considerati per ciascun tratto, sempre da affiancare alle necessarie attività di monitoraggio, per garantire una maggiore efficacia degli interventi.

Lo studio ha perciò fornito un quadro generale della condizione della costa veneta, basato su misure, rilievi e calcoli omogenei e scientificamente basati per tutta la Regione. E' del tutto evidente che le indicazioni progettuali scaturite non vogliono, né possono, sostituirsi alla progettazione puntuale e specifica, che dovrà essere effettuata a scala molto più ampia, ossia più particolareggiata, effettuando rilievi, calcoli ed analisi molto più dettagliati.

Questo studio fornisce quindi una strategia unitaria per la pianificazione, gestione e monitoraggio degli interventi da effettuare lungo tutto il litorale, da considerare per il prossimo decennio. Si auspica comunque che tale strumento sulla gestione e difesa del litorale possa essere aggiornato (ogni 2-5 anni) con i criteri e le metodologie illustrate, acquisendo nuove informazioni (e.g. rilievi batimetrici più recenti) e aggiornando, se possibile, i dati sulle forzanti (e.g. moto ondoso, apporto solido fluviale), in relazione alle evoluzioni che di volta in volta si verificano sulla costa.

È stato stimato il fabbisogno complessivo di sedimenti nel litorale veneto sia per interventi manutentivi che strutturali, da confrontare con i quantitativi disponibili. Sono state indicate le priorità di intervento in base ad un criterio oggettivo e omogeneo per tutte le celle, basato sulle criticità riscontrate, sia dal punto di vista erosivo che rispetto al rischio di ingressione marina, in relazione alla vocazione e fruibilità dei diversi tratti.

Uno degli aspetti che ritiene debba essere d'aiuto alla gestione integrata dell'area costiera (ICZM) è la suddivisione in celle morfologicamente omogenee. Questa metodologia è utile per la caratterizzazione futura e si ritiene opportuno che venga adottata per la raccolta e la catalogazione di qualsiasi dato inerente al monitoraggio e alla gestione del litorale. Per questo motivo è stato realizzato un Database GIS nel quale sono state inserite tutte le informazioni e le elaborazioni del presente studio. Tale strumento potrà dunque essere continuamente aggiornato, fornendo validi strumenti per prevedere le future evoluzioni e quindi per pianificare le più idonee strategie di intervento e di gestione delle zone costiere.

La stesura del documento "*Gestione integrata della zona costiera*" è stata possibile grazie alla sinergia tra la Regione Veneto, gli enti gestori della costa e l'Università di Padova che ha permesso di produrre un lavoro ampio e condiviso.

GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA
STUDIO E MONITORAGGIO PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DEI LITORALI
DALL'EROSIONE NELLA REGIONE VENETO - LINEE GUIDA

ALLEGATI

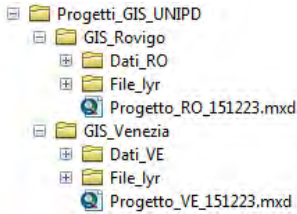
A. ALLEGATO: I PROGETTI GIS

A.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO GIS

I dati disponibili, i vincoli normativi, le analisi, le stime e le elaborazioni effettuate riguardanti l'intero litorale veneto sono state organizzate in due progetti GIS (Geographic Information System), suddivisi nelle due province (Venezia e Rovigo). Tale strumento permette di rappresentare tutte le informazioni riguardanti il territorio, agevolandone la fruibilità e facilitando il processo decisionale di gestione della zona costiera.

La Tab. 95 riporta il software utilizzato, la struttura, i sistemi di coordinate utilizzati e la modalità di archiviazione dei dati. In Fig. 124 e in Fig. 125 si riportano due schermate relative ai due progetti GIS implementati.

Tab. 95 Descrizione specifiche dei progetti GIS

SPECIFICHE SUI PROGETTI GIS		
Tipologia di file	Progetto GIS - Map document	
Software	ESRI ArcGIS (10.2)	
Nome file	progettoVE.mxd progettoRO.mxd	
Sistema di coordinate di riferimento del Map document	Monte Mario Italy 1 (Gauss-Boaga Fuso OVEST) Projection: Transverse Mercator False Easting: 1500000 False Northing: 0 Central Meridian: 9 Scale Factor: 0.9996 Latitude Of Origin: 0 Linear Unit: 1 m	Geographic Coordinate System: GCS Monte Mario Angular Unit: -0.0174532925199433 degree Prime Meridian: Greenwich 0 Datum: D Monte Mario
Struttura Directory	La directory principale contiene due sottocartelle a cui fanno riferimento il progetto GIS per la provincia di Rovigo (GIS_Rovigo) e quello per la provincia di Venezia (GIS_Venezia). Al loro interno si trova il file del progetto (".mxd"), una cartella contenente i file ".lyr" (ovvero i file di rappresentazione dei dati) e infine la cartella di archiviazione dei dati.	
Archiviazione dei dati	Stato della costa:	Suddivisione della costa in celle litoranee, Caratterizzazione opere presenti, Individuazione siti Natura 2000 (SIC e ZPS), Individuazione aree a rischio di ingressione marina (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE), Informazioni sedimentologiche riguardanti la costa, Valutazione del fenomeno della subsidenza, Stima del trasporto solido litoraneo Indici di prioritizzazione e soluzioni progettuali
	Clima ondoso al largo e a riva e statistica delle onde estreme	Informazioni sui punti dove sono stato calcolato il clima ondoso e le onde estreme. Questa cartella contiene anche due file ".xlsx" riportanti i dati ottenuti.
	Variazione delle linea di riva	Linea di riva ricavata da Ortofoto, CTR, rilievi LIDAR, etc.
	Rilievi topo-batimetrici disponibili	Profili delle sezioni batimetriche rilevate e batimetrie, sia a scala globale che locale
	Lidar	Rilievi lidar DTM e DSM (dove presenti)
	Immagini di base	Ortofoto di diversi anni (2000, 2003, 2007, 2012), Carta Tecnica Regionale

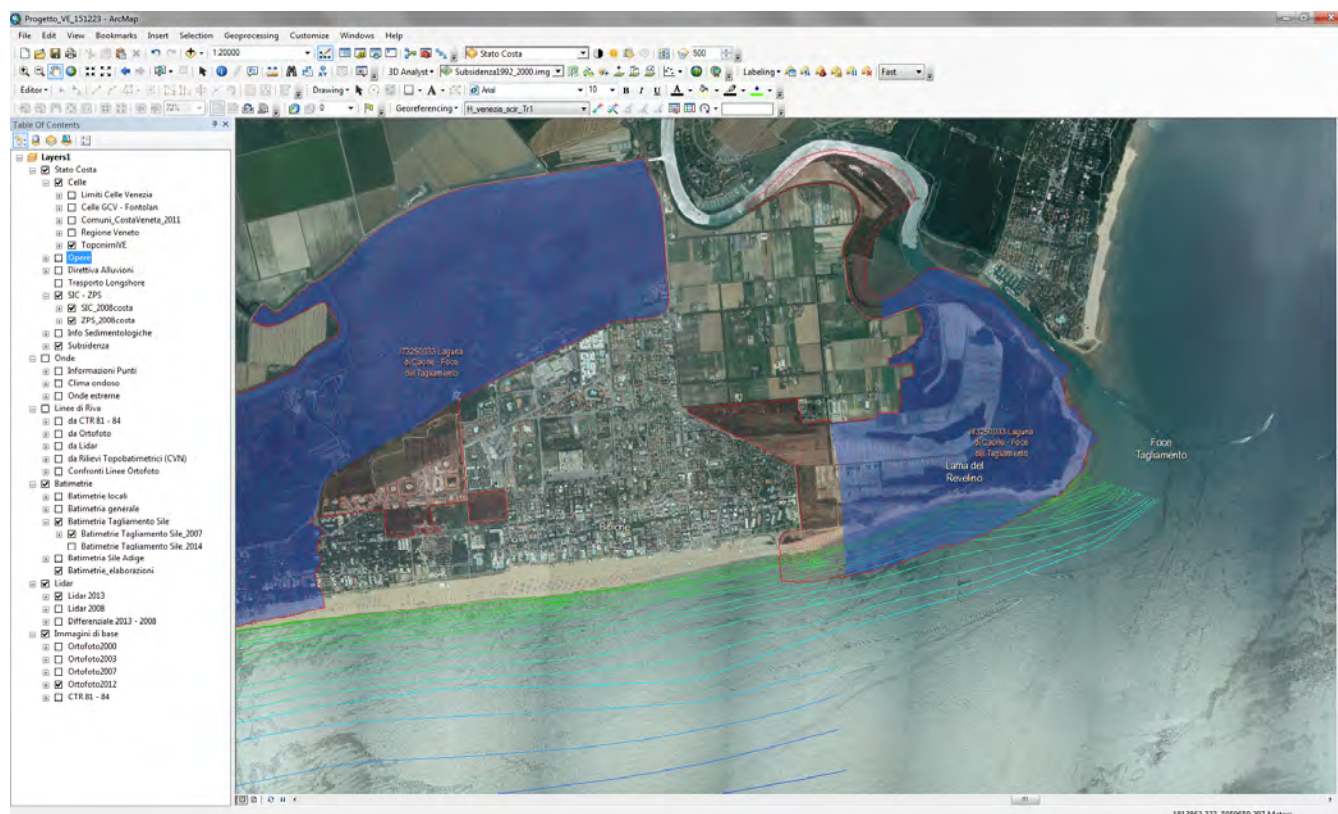


Fig. 124 Schermata Progetto GIS – provincia di Venezia

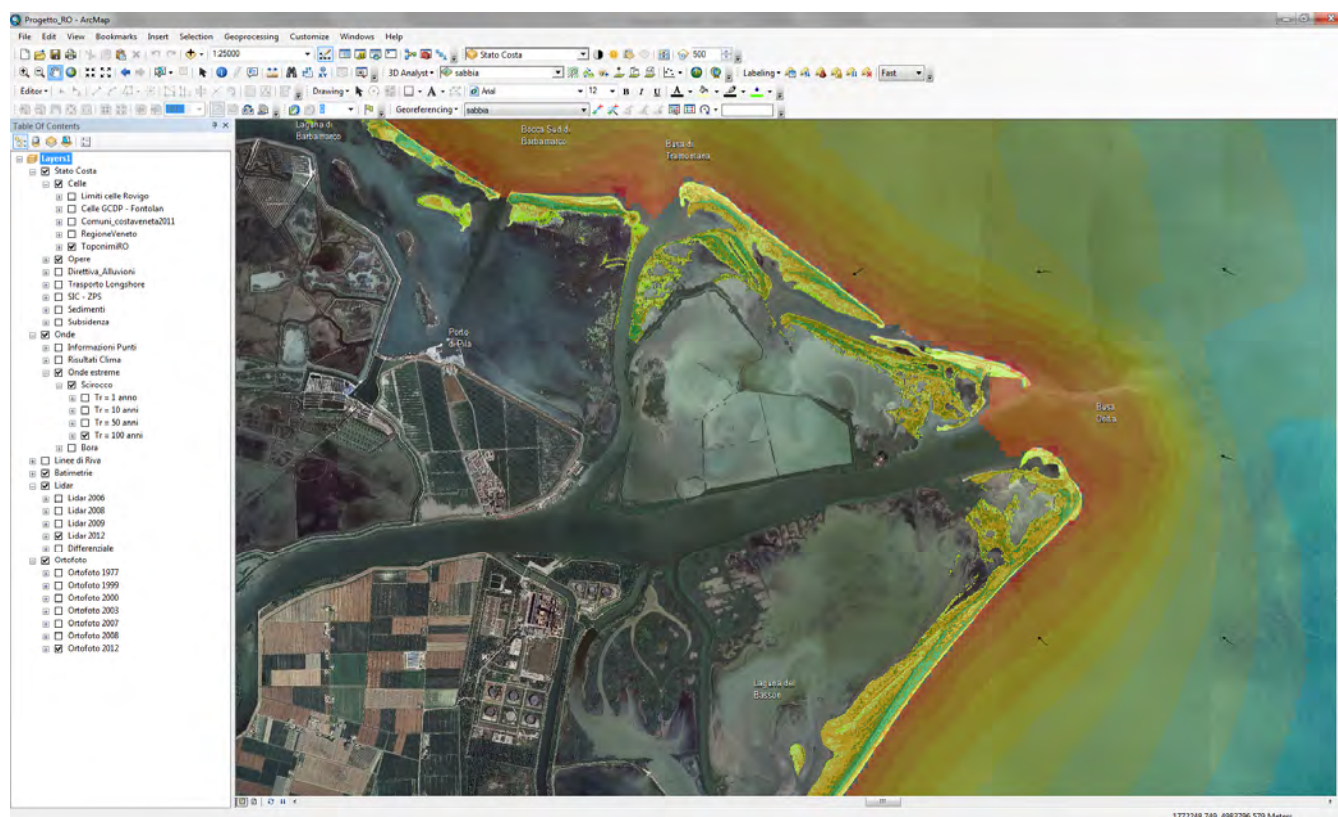


Fig. 125 Schermata Progetto GIS – provincia di Rovigo

A.2 STRUTTURA E CONTENUTI DEL PROGETTO GIS

Nelle tabelle successive vengono descritti dettagliatamente i contenuti dei due progetti GIS, specificando il tipo di dato e i sistemi di riferimento di ciascuno di essi.

- Progetto GIS: Provincia di Venezia

Tab. 96 Dati ed elaborazioni archiviati in GIS - provincia di Venezia

DATA LAYER	DATA TYPE	GEOMETRY TYPE	PROJECTED COORDINATE SYSTEM	GEOGRAFIC COORDINATE SYSTEM
Stato della costa	Group Layer			
<u>Celle e informazioni territoriali:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Limiti celle litoranee	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Bilancio sedimentario dai rilievi batimetrici (Fontolan et al. 2013, Geodatabase gestionale per la zona costiera veneta)	Shapefile	Polygon, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Limiti comunali	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Limiti regionali	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Toponimi	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Opere:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Opere parallele alla costa	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Opere ortogonali alla costa	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Cordoni dunali	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Proposte di interventi (zone di prelievo e deposito, opere in fase di realizzazione)	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Direttiva Alluvioni (2007/60/CE):</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Punti di intrusione	Shapefile	Point	WGS 1984 UTM zone 32N	GCS WGS 1984
□ Mappe di allagabilità per Tr = 30, 100, 300 anni	Shapefile	Polygon	WGS 1984 UTM zone 32N	GCS WGS 1984
<u>Trasporto solido lungo riva m³/anno (tra riva e la profondità di chiusura e tra i moli e profondità di chiusura)</u>	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Rete Natura2000: siti SIC e ZPS</u>	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Informazioni sedimentologiche (da fonte Arpa Veneto, Fontolan et al. 2013)</u>	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Subsidenza: variazione mm/anno da dati SAR-ENVISAT</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Subsidenza (dati ERS) 1992 - 2000	Raster	Image (signed integer)	WGS 1984 UTM zone 32N	
□ Subsidenza (dati ENVISAT) 2002 - 2010	Raster	Image (signed integer)	WGS 1984 UTM zone 32N	
<u>Indici di prioritarizzazione</u>	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Onde	Group Layer			
<u>Informazioni sui punti:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Punti al largo Alto Adriatico (P1 e P2, P3)	Shapefile	Point	-	GCS WGS 1984
□ Punti al largo piattaforma CNR Acqua Alta	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Punti sotto costa per la trasformazione delle onde	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Clima ondoso:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Rose delle energie per ciascun punto vicino alla costa	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Rose del flusso di energia per ciascun punto vicino alla costa	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Onde estreme:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Altezza onde estreme settore di Bora (Tr = 1,10,50,100 anni)	Raster	AAIGrid (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Direzione onde estreme settore di Bora (Tr = 1,10,50,100 anni)	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Altezza onde estreme settore di Scirocco (Tr=1,10,50,100 anni)	Raster	AAIGrid (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Direzione onde estreme settore di Scirocco (Tr=1,10,50,100 anni)	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario

DATA LAYER	DATA TYPE	GEOMETRY TYPE	PROJECTED COORDINATE SYSTEM	GEOGRAFIC COORDINATE SYSTEM
Linee di riva	Group Layer			
<u>Da CTR 81-83</u>	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 2	GCS Monte Mario
<u>Da Ortofoto: (2000, 2003, 2007, 2012)</u>	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Da Lidar:</u>	Group Layer			
□ Da Lidar DTM 2008 – MATTM,	Shapefile	Line	-	GCS WGS 1984
□ Da Lidar DTM 2013-Regione Veneto Sez. Difesa Suolo.	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Da rilievi topobatimetrici (Consorzio Venezia Nuova):	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 2	GCS Monte Mario
Confronto recente linea di riva: confronto linea di riva da Ortofoto 2007 e linea di riva da Ortofoto 2012.	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Batimetrie	Group Layer			
<u>Batimetrie:</u>	Group Layer			
□ Profili batimetrici e batimetriche del tratto Tagliamento-Sile (Aprile 2007)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Profili batimetrici e batimetriche del tratto Tagliamento-Sile (Settembre 2014)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Profili batimetrici e batimetriche del tratto Sile-Adige (Maggio 2010)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Profili batimetrici e batimetriche del tratto Sile-Adige (Dicembre 2014)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Batimetria generale Alto Adriatico</u>	Raster	AAIGrid (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Profili e normali alla spiaggia utilizzati per elaborazioni (in particolare usati per il calcolo del trasporto solido long-shore)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Lidar	Group Layer			
<u>Lidar:</u>	Group Layer			
□ Lidar DTM 2008 – MATTM,	Raster	GRID (floating point)	-	GCS WGS 1984
□ Lidar DTM e DSM 2013 - Regione Veneto Sez. Difesa Suolo.	Raster	GRID (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Differenziale: differenza di quote tra il Lidar 2008 e il 2013	Raster	GRID (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Ortofoto/CTR	Group Layer			
<u>Ortofoto (Anno 2000, 2003, 2007 e 2012)</u>	Raster	TIFF (unsigned integer)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>CTR 1981-1983</u>	Raster	TIFF (unsigned integer)	Monte Mario Italy 2	GCS Monte Mario

• Progetto GIS: Provincia di Rovigo

Tab. 97 Dati ed elaborazioni archiviati in GIS - provincia di Rovigo

DATA LAYER	DATA TYPE	GEOMETRY TYPE	PROJECTED COORDINATE SYSTEM	GEOGRAFIC COORDINATE SYSTEM
Stato della costa	Group Layer			
<u>Celle e informazioni territoriali:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Limiti celle litoranee	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Bilancio sedimentario dai rilievi batimetrici (Fontolan et al. 2014, Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po)	Shapefile	Polygon, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Limiti comunali	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Limiti regionali	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Toponimi	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Opere:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Opere	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Cordoni dunali	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Proposte di interventi (zone di prelievo e deposito, opere in fase di realizzazione)	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Direttiva Alluvioni (2007/60/CE):</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Scenari molto frequente, frequente e raro	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Trasporto solido lungo riva m ³ /anno (tra riva e la profondità di chiusura e tra i moli e profondità di chiusura)	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Rete Natura2000: siti SIC e ZPS	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Informazioni sedimentologiche (da fonte Arpa Veneto, Fontolan et al. 2013, Genio civile di Rovigo 2007)	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Subsidenza: variazione mm/anno da dati SAR-ENVISAT</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Subsidenza (dati ERS) 1992 - 2000	Raster	Image (signed integer)	WGS 1984 UTM zone 32N	
□ Subsidenza (dati ENVISAT) 2002 - 2010	Raster	Image (signed integer)	WGS 1984 UTM zone 32N	
<u>Indici di prioritizzazione</u>	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Onde	Group Layer			
<u>Informazioni sui punti:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Punti al largo Alto Adriatico (P1 e P2, P3)	Shapefile	Point	-	GCS WGS 1984
□ Punti al largo piattaforma CNR Acqua Alta	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Punti sotto costa per la trasformazione delle onde	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Clima ondosio:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Rose delle energie per ciascun punto vicino alla costa	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Rose del flusso di energia per ciascun punto vicino alla costa	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Onde estreme:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Altezza onde estreme settore di Bora (Tr = 1,10,50,100 anni)	Raster	AAIGrid (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Direzione onde estreme settore di Bora (Tr = 1,10,50,100 anni)	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Altezza onde estreme settore di Scirocco (Tr=1,10,50,100 anni)	Raster	AAIGrid (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
□ Direzione onde estreme settore di Scirocco (Tr=1,10,50,100 anni)	Shapefile	Point	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Linee di riva	Group Layer			
Da CTR 81-83	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 2	GCS Monte Mario
Da Ortofoto: (2000, 2003, 2007, 2012)	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Da Lidar:</u>	<u>Group Layer</u>			
□ Da Lidar DTM 2008 – MATTM	Shapefile	Line	-	GCS WGS 1984
□ Da Lidar 2006, 2009, 2012 - Regione Veneto Sez. Genio Civile di Rovigo	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Da Fotogrammetria - Ortofoto 1977, 1999, 2008, 2012 (Fabris et al., 2012)	Shapefile	Line	Roma 1940 Gauss Boaga Ovest	GCS Roma 1940
Confronto recente linea di riva: confronto linea di riva da Ortofoto 2007 e linea di riva da Ortofoto 2012.	Shapefile	Polygon	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario

DATA LAYER	DATA TYPE	GEOMETRY TYPE	PROJECTED COORDINATE SYSTEM	GEOGRAFIC COORDINATE SYSTEM
Batimetrie	Group Layer			
<u>Batimetrie:</u>	<u>Group Layer</u>			
<input type="checkbox"/> Batimetrie bocca di Caleri	Shapefile	Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<input type="checkbox"/> Profili batimetrici e batimetriche del tratto Adige - Po di Goro (2005)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<input type="checkbox"/> Profili batimetrici e batimetriche del tratto Adige - Po di Goro (2008)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<input type="checkbox"/> Profili batimetrici e batimetriche del tratto Adige - Bocca di Porto Levante (2012)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<input type="checkbox"/> Profili batimetrici e batimetriche del tratto Bocca di Porto Levante - Po di Goro (2014)	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Batimetria generale Alto Adriatico e Delta del Po</u>	Raster	AAIGrid (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Profili e normali alla spiaggia utilizzati per elaborazioni (in particolare usati per il calcolo del trasporto solido long-shore)</u>	Shapefile	Point, Line	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Lidar	Group Layer			
<u>Lidar:</u>	<u>Group Layer</u>			
<input type="checkbox"/> Lidar DTM 2008 – MATTM,	Raster	GRID (floating point)	-	GCS WGS 1984
<input type="checkbox"/> Lidar DTM 2006, 2009, 2012 - Regione Veneto Sez. Genio Civile di Rovigo	Raster	GRID (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
<u>Differenziale:</u> differenza di quote tra Lidar 2006-2009, 2009-2012, 2006-2012	Raster	GRID (floating point)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario
Ortofoto/CTR	Group Layer			
<u>Ortofoto:</u>				
<input type="checkbox"/> Anno 1977, 1999, 2008	Raster	TIFF (unsigned integer)	Roma 1940 Gauss Boaga Ovest	GCS Roma 1940
<input type="checkbox"/> Anno 2000, 2003, 2007 e 2012	Raster	TIFF (unsigned integer)	Monte Mario Italy 1	GCS Monte Mario

**B. ALLEGATO: RACCOLTA DATI E MONITORAGGI PER L'AGGIORNAMENTO DEL
DOCUMENTO: "GESTIONE INTEGRATA DELLA ZONA COSTIERA"**

Il documento "Gestione integrata della zona costiera. Studio e monitoraggio per la definizione degli interventi di difesa dei litorali dall'erosione nella regione veneto - Linee guida" qui presentato necessita evidentemente di periodici aggiornamenti, ad esempio con cadenza triennale, per rappresentare uno strumento di utilità per la gestione del litorale a livello regionale. La imprevedibilità e la non ripetitività delle forzanti (onde, vento e livelli) condiziona infatti la recente evoluzione costiera che può anche differire significativamente dalle previsioni effettuate. In tale ottica, appare fondamentale aggiornare continuamente il "database" di tutte le informazioni necessarie. Ad esempio si dovranno raccogliere i nuovi dati inerenti al moto ondoso, ripetere periodicamente i rilievi batimetrici e topografici, effettuare analisi granulometriche sui sedimenti, aggiornare con continuità le informazioni riguardanti i nuovi interventi realizzati nel litorale.

È del tutto evidente che questo aggiornamento non sarà sufficiente per procedere alla redazione e realizzazione di progetti di ingegneria costiera. Nel seguito sono elencati i dati e le informazioni necessarie al predetto aggiornamento.

B.1 RACCOLTA DI DATI METEOMARINI

Per una efficace gestione della zona costiera è fondamentale disporre anzitutto di informazioni aggiornate sulle forzanti che agiscono lungo il litorale (onde e maree). Si ritiene pertanto indispensabile la raccolta di dati meteo-marini aggiornati sia al largo che nei 42 punti (o "boe virtuali") sotto costa individuati (Tab. 98). Tali dati potrebbero essere ottenuti, ad esempio, dal CNR-ISMAR di Venezia che è in possesso delle competenze e degli strumenti modellistici idonei allo scopo. Si riterebbe opportuno anche il posizionamento di boe ondometriche in grado di fornire dati di confronto (altezza, periodo, direzione delle onde e livello ogni 30 minuti) con la modellazione numerica previsionale.

Tab. 98 Posizione dei 42 punti sotto costa lungo il litorale veneto

Nome Punto	X (m) Gauss Boaga Ovest	Y (m) Gauss Boaga Ovest	Profondità (m s.m.m.)	Nome Punto	X (m) Gauss Boaga Ovest	Y (m) Gauss Boaga Ovest	Profondità (m s.m.m.)
VE_01	1821830	5060700	-10	RO_02	1763220	5002580	-10
VE_02	1815340	5058890	-10	RO_03	1764420	4999760	-10
VE_03	1810520	5057760	-10	RO_04	1765150	4998640	-10
VE_04	1808640	5056930	-10	RO_05	1765960	4997740	-10
VE_05	1807290	5055200	-10	RO_06	1767540	4995810	-10
VE_06	1805160	5054470	-10	RO_07	1769560	4994160	-10
VE_07	1803060	5053430	-10	RO_08	1773090	4991670	-10
VE_08	1797310	5050890	-10	RO_09	1776890	4989250	-10
VE_09	1792290	5046720	-10	RO_10	1778960	4987990	-10
VE_10	1786750	5044290	-10	RO_11	1780660	4986950	-10
VE_11	1781130	5041000	-10	RO_12	1781690	4985640	-10
VE_12	1775070	5037890	-10	RO_13	1780800	4982500	-10
VE_13	1771720	5032710	-15	RO_14	1778810	4979420	-10
VE_14	1764960	5030120	-10	RO_15	1777560	4976740	-10
VE_15	1765760	5024030	-15	RO_16	1776810	4973800	-10
VE_16	1761110	5019730	-10	RO_17	1776130	4971920	-10
VE_17	1763330	5013980	-15	RO_18	1775200	4969940	-10
VE_18	1761010	5011670	-10	RO_19	1774180	4967870	-10
VE_19	1761810	5009580	-10	RO_20	1772830	4965970	-10
VE_20	1762400	5008300	-10	RO_21	1771860	4964840	-10
VE_21/RO_01	1763200	5007120	-10	RO_22	1770960	4963810	-10

B.2 MONITORAGGI DEI LITORALI

Il monitoraggio dei litorali è un requisito fondamentale per la valutazione del trend evolutivo recente, per la verifica dell'efficacia degli interventi proposti e per la pianificazione delle azioni future da porre in essere lungo il litorale. Nello specifico risultano essenziali i seguenti monitoraggi:

- Realizzazione di Ortofoto e Rilievi Lidar:

L'esecuzione di ortofoto e rilievi Lidar (DTM e DSM con grid 1m) va programmata lungo l'intero litorale della Regione Veneto. Sia per le ortofoto che per i rilievi Lidar l'intervallo temporale tra un monitoraggio e il seguente non dovrebbe essere superiore ai 2 anni (ad anni alterni). Tali rilievi risultano utili per la caratterizzazione ambientale e morfodinamica dei litorali (posizione linea di riva, criticità localizzate, etc.)

- Rilievi topo-batimetrici e della linea di riva

I rilievi topo-batimetrici e della linea di riva vanno eseguiti lungo l'intero litorale della Regione Veneto (da foce Tagliamento a foce Po di Goro) e devono essere contestuali al rilievo Lidar (ogni 2 anni). L'interasse delle sezioni non deve essere maggiore di 1km e ciascuna sezione si deve estendere dal limite superiore della spiaggia emersa fino alla batimetrica -5 m s.m.m. Una sezione ogni 4 km deve invece estendersi fino alla batimetrica -10 m s.m.m. Oltre alle sezioni dovrà anche essere rilevata in continuo la linea di riva di tutta la costa. Tali rilievi vanno eseguiti nel sistema di riferimento della Carta Tecnica Regionale, seguendo le specifiche indicate dalla sezione cartografica della Regione Veneto. Si raccomanda di specificare la quota e l'anno di quotatura dei caposaldi utilizzati come livello di riferimento. L'elenco delle sezioni da effettuare come requisito minimo è riportato in Tab. 99, nella quale i codici delle sezioni sono in accordo con quanto riportato da Fontolan et al 2013, 2014.

I rilievi dovrebbero essere approfonditi e raffittiti in alcune zone di particolare interesse, quali ad esempio le foci fluviali (come descritto nel paragrafo B.3) o aree di deposito sotto riva.

Nel caso di monitoraggi al fine di realizzare interventi di ripascimento manutentivo, bypass o ricostruzione di morfologie costiere, si rimanda a quanto previsto dall'Allegato A alla DGR n.1215 del 15 luglio 2014 "Criteri generali da osservarsi nella progettazione ed esecuzione degli interventi di ripascimento manutentivo e bypass degli arenili e di ricostruzione di morfologie costiere".

Tab. 99 Codici sezioni batimetriche (codici da Fontolan et al 2014)

Tab. 77 Codici Sezioni bathimetriche (codici da Fontolan et al 2014)

Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione
VE1	BS37	VE2	VS32	VE4	ES14	VE5	JS1	VE6	CVS1	VE7	LS1
VE1	BS38	VE2	VS33	VE4	ES15	VE5	JS2	VE6	CVS4	VE7	LS2
VE1	BS39	VE2	VS34	VE4	ES16	VE5	JS3	VE6	CVS8	VE7	LS3
VE1	BS40	VE2	VS35	VE4	ES17	VE5	JS4	VE6	CVS17	VE7	LS4
VE1	BS41	VE2	VS36	VE4	ES18	VE5	JS5	VE6	CVS26	VE7	LS5
VE1	BS42	VE3	CS27	VE4	ES19	VE5	JS6	VE6	CVS35	VE7	LS6
VE1	BS43	VE3	CS28	VE4	ES20	VE5	JS7	VE6	CVS48	VE7	LS7bis
VE1	BS44	VE3	CS29	VE4	DVS21	VE5	JS8	VE6	CVS58	VE7	LS8
VE1	BS45	VE3	CS30	VE4	DVS22	VE5	JS9	VE6	CVS67	VE7	LS9
VE1	BS46	VE3	CS31	VE4	DVS23	VE5	JS10	VE6	CVS75	VE7	LS10
VE1	BS47			VE4	SMS24	VE5	JS11	VE6	CVS83	VE7	LS11
				VE4	SMS25	VE5	JS12	VE6	CVS91	VE7	LS12
				VE4	SMS26	VE5	JS13	VE6	CVS100		

Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione	Cella	Codice sezione
VE8	PS2	VE9	SS3	RO1	LRS1	RO4	SCS17	RO6	BPS31	RO8	SBS45
VE8	PS3	VE9	SS6	RO1	LRS2	RO4	SPS18	RO6	BPS32	RO8	SBS46
VE8	PS4	VE9	SS7	RO1	LRS3	RO4	SPS19	RO6	BPS33	RO8	SBS47
VE8	PS5	VE9	SS8	RO1	LRS4	RO4	SPS20	RO6	BPS34	RO8	SBS48
VE8	PS8	VE9	SS9	RO1	LRS5	RO4	SPS21	RO6	BPS35	RO9	SSS49
VE8	PS12	VE9	SS10	RO1	LRS6	RO4	SPS22	RO6	BPS36	RO9	SSS50
VE8	PS14	VE9	SS11	RO1	LRS7	RO4	SPS23	RO6	BPS37	RO9	SSS51
VE8	PS17	VE10	IVS1	RO1	LRS8	RO4	SPS24	RO6	BPS38	RO9	SSS52
VE8	PS19	VE10	IVS8	RO2	IAS9	RO4	SPS25	RO7	BAS39	RO9	BBS53
VE8	PS23	VE10	IVS17	RO2	IAS11	RO4	SPS26	RO7	BAS40	RO10	BBS54
VE8	PS25	VE10	IVS25	RO2	IAS10	RO5	BPS27	RO7	BAS41	RO10	BBS55
VE8	PS29	VE10	IVS34	RO3	SCS12	RO5	BPS28	RO7	SBS42	RO10	BBS56
VE8	PS30	VE10	IVS38	RO3	SCS13	RO5	BPS30	RO7	SBS43	RO10	BBS57
VE8	PS32			RO3	SCS14	RO5	BPS29	RO7	SBS44		
VE8	PS35			RO3	SCS15						
VE8	PS38			RO3	SCS16						
VE8	PS41										
VE8	PS44										
VE8	PS47										
VE8	PS50										
VE8	PS53										
VE8	PS56										

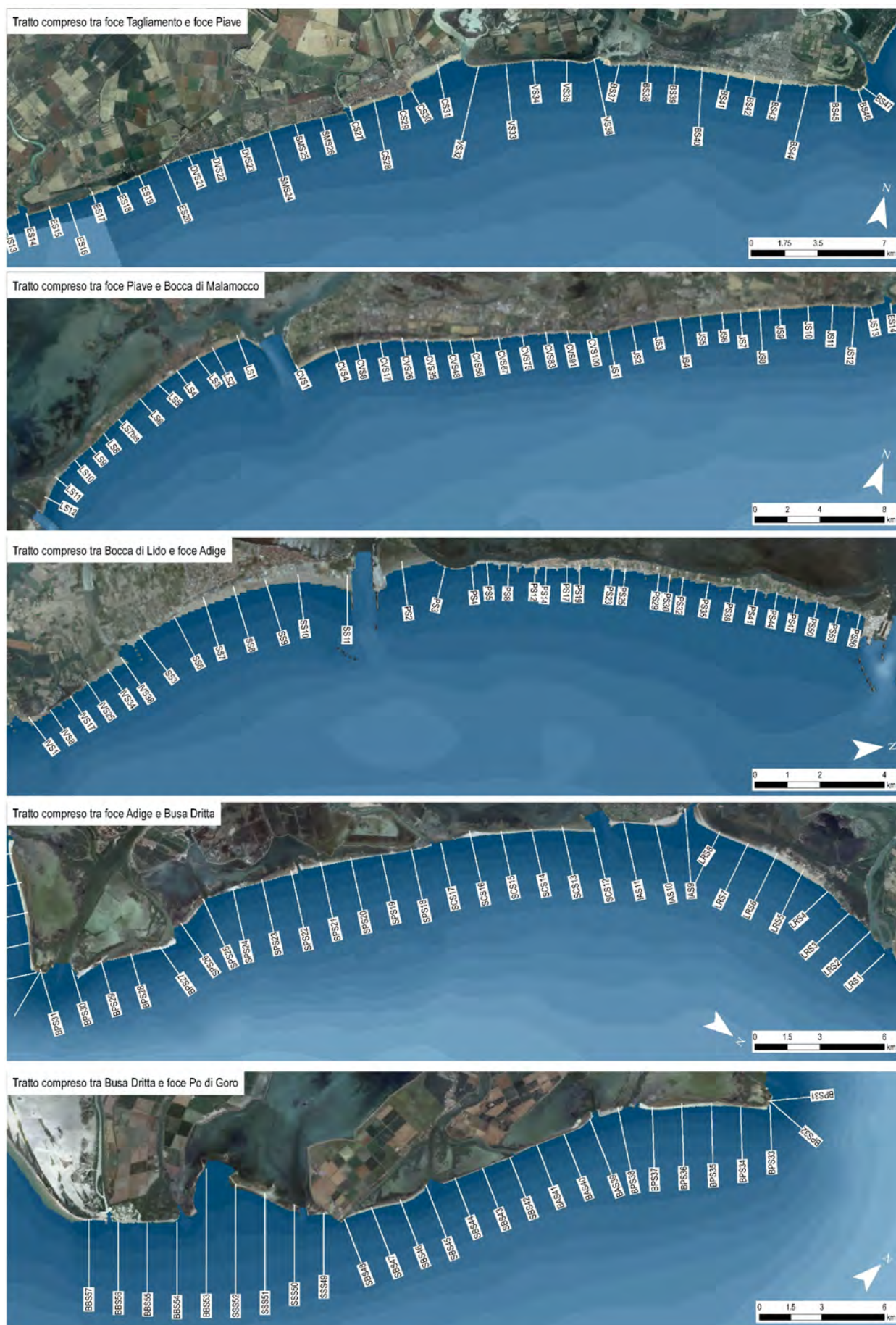


Fig. 126 Codici sezioni batimetriche (codici da Fontolan et al 2014)

- Campagna di caratterizzazione granulometrica e chimica

La campagna di caratterizzazione dei sedimenti va eseguita almeno ogni 4 anni, contestualmente alla campagna di rilievi topo-batimetrici. I prelievi potrebbero essere effettuati in corrispondenza delle sezioni batimetriche prolungate fino alla -10 m s.m.m, in corrispondenza della spiaggia emersa, della linea di riva (0m s.m.m) e delle batimetriche -1m s.m.m, -3m s.m.m, -5m s.m.m, -10m s.m.m. La campagna di caratterizzazione dei sedimenti deve includere le informazioni granulometriche, chimiche, microbiologiche ed eventualmente ecotossicologiche dei campioni.

- Acquisizione dei dati InSAR

Il monitoraggio e la valutazione accurata del fenomeno della subsidenza può essere stimato con l'analisi dei dati interferometrici. Si raccomanda pertanto il recepimento dei dati InSAR (Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare) per poter effettuare tali elaborazioni. Esse risulterebbero maggiormente accurate se venisse previsto il posizionamento di bersagli fissi lungo il litorale veneto per permettere uno studio approfondito delle deformazioni lungo la costa.

- Raccolta organica informazioni riguardanti ciascuna delle 20 celle morfologicamente omogenee

Si ritiene di fondamentale importanza la raccolta e catalogazione, in base alla suddivisione in celle morfologicamente omogenee, di tutte le informazioni riguardanti gli interventi svolti lungo il litorale. Tra queste informazioni si fa particolare riferimento a: ripascimenti effettuati (quantitativi e localizzazione precisa), dragaggi effettuati (quantitativi e localizzazione precisa), opere e interventi realizzati (tipologia, dimensioni, anno di costruzione, importo di massima etc.), opere rimosse/ricostruite/risagomate (tipologia, dimensioni anno, importo di massima etc.).

In Tab. 100 vengono riassunti i monitoraggi e le tempistiche suggerite.

Tab. 100 Possibile programma dei monitoraggi litorali

ATTIVITÀ	TEMPI	NOTE
Ortofoto	Ogni 2 anni	Anni pari
Rilievi Lidar (con elaborazioni DTM e DSM)	Ogni 2 anni	Anni dispari
Rilievi topo batimetrici dei fondali e rilievo della linea di riva	Ogni 2 anni	Contestuali al rilievo LIDAR, profili ogni 1 km fino alla batimetrica -5 m, ogni 4 km fino alla batimetrica -10 m.
Rilievi topo batimetrici dei fondali, finalizzati alla stima dei volumi di deposito sotto riva e alla realizzazione di interventi manutentivi	Da valutare in base alle esigenze delle celle litoranee	Come da indicazioni presenti nell'Allegato A alla DGR n.1215 del 15 luglio 2014
Campagna di caratterizzazione granulometrica e chimica	Ogni 4 anni	Contestuali alla campagna di rilievi batimetrici, ed effettuati in corrispondenza dei profili rilevati ogni 4 km. Prelievi in corrispondenza della spiaggia emersa, della linea di riva (0 m) e delle batimetriche -1 m, -3 m, -5 m, -10 m
Recepimento ed elaborazione dati InSAR	In base alla disponibilità di questi dati	Eventuale posizionamento di bersagli fissi lungo il litorale per una stima accurata del fenomeno della subsidenza lungo la costa
Raccolta organica informazioni su opere e ripascimenti	In concomitanza ad ogni nuovo intervento	Informazioni suddivise in base alla cella di appartenenza

B.3 MONITORAGGI DI FOCI FLUVIALI E IMBOCCATURE LAGUNARI

Il monitoraggio delle imboccature lagunari e delle foci fluviale risulta essenziale per valutare le dinamiche costiere e per stimare l'apporto solido dei sedimenti provenienti dai fiumi e dalle lagune. Data la quasi totale mancanza di queste informazioni si ritiene fondamentale programmare le seguenti campagne di raccolta dei dati:

- Rilievi batimetrici specifici per la valutazione accurata dei volumi di sedimenti depositati o rimossi in corrispondenza delle foci e imboccature lagunari, finalizzati al dragaggio delle stesse sia per mantenerne l'officiosità e l'eventuale navigabilità sia a scopi di ripascimento.
- Caratterizzazioni granulometriche e chimiche dei sedimenti delle foci e delle bocche lagunari per valutare la compatibilità di eventuali depositi di sedimenti a fini di ripascimento.
- Dati riguardanti l'apporto solido fluviale. Avviare una campagna di monitoraggio dei fiumi veneti (Piave, Adige, Brenta e Po) che comprenda innanzitutto il rilievo delle sezioni fluviali e dei rilevati arginali nei tratti terminali delle aste, dati sulla composizione granulometrica dei sedimenti, curve di portata e auspicabilmente dati di trasporto solido

Tab. 101 Possibile programma dei monitoraggi di foci fluviali e imboccature lagunari

ATTIVITÀ	TEMPI	NOTE
Rilievi batimetrici del "Delta di deposito" e di alcune sezioni del tratto terminale dell'asta fluviale o dell'imboccatura	Ogni 2 anni	
Caratterizzazioni chimico fisiche e granulometriche in corrispondenza delle sezioni da rilevare	Prima di ogni attività di dragaggio	
Raccolta di dati per la stima dell'apporto solido fluviale		Da coordinare con gli enti di gestione dei corsi d'acqua (autorità di bacino, consorzi di bonifica, etc.)

B.4 MONITORAGGI CAVE MARINE OFFSHORE

Per la stima dei volumi e della compatibilità dei sedimenti presenti in cave marine poste al largo, si ritiene opportuno far riferimento alla medesima metodologia proposta nello studio "Caratterizzazione ambientale dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma alto adriatica potenzialmente sfruttabili come cave di prestito per il ripascimento costiero nella Regione Veneto" realizzato da CNR Bologna-Ispira, dal quale è possibile dedurre le tecniche utilizzate per i rilievi batimetrici dei fondali al largo per valutare i volumi a disposizione nella cave marine, le ricognizioni ed analisi ambientali e le caratterizzazioni fisico, chimiche e granulometriche dei sedimenti. Si rimanda pertanto a tale studio per la metodologia da seguire.

BIBLIOGRAFIA

- Antonioli F., Lambeck K., Amorosi A., Belluomini G., Correggari A., Devoti S., Demuro S., Monaco C., Marocco R., Pagliarulo R., Orru P., Silenzi S. (2004) - CLIMEX Maps of Italy. In: F. Antonioli, C. Margottini, G.B. Vai Eds, *Litho-palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes* 1:1,000,000. Lac, Firenze, 23/14-15: 1567-1598.
- ARPA ER. (2013). *Annali idrologici 2013* – Parte seconda. Servizio idrometeorologico area idrologia.
- ARPAV. (2005). *Guida agli ambienti del Veneto per realizzare attività educative*. Padova: Area Ricerca e Informazione - Servizio Comunicazione ed Educazione Ambientale.
- ARPAV. (2006). *Considerazioni sulla scala di deflusso del fiume Adige a Boara Pisani*.
- ARPAV. (2006a). *Livelli e portate medie giornaliere del fiume Piave a Ponte di Piave negli anni 2004-05*. Belluno: Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.
- ARPAV. (2008). *Livelli e portate medie giornaliere del fiume Piave a Ponte di Piave negli anni 2006-07*. Belluno: Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.
- ARPAV. (2011). *Livelli e portate medie giornaliere del fiume Adige a Boara Pisani nell'anno 2010*. Belluno: Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.
- ARPAV. (2011a). *Livelli e portate medie giornaliere del fiume Brenta a Barziza negli anni 2009-10*. Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio. Belluno.
- ARPAV. (2012). *Sulla ripartizione delle portate del Po tra i vari rami e le bocche a mare del delta: esperienze storiche e nuove indagini all'anno 2011*. Belluno: Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.
- ARPAV. (2012a). *Livelli e portate medie giornaliere del fiume Brenta a Barziza nell'anno 2011*, Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio. Belluno.
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione - ADBVE. (1997). *Piano di bacino del fiume Tagliamento - Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso Tagliamento*.
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione - ADBVE. (2009). *Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso*.
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione - ADBVE. (1997). *Piano di bacino del fiume Tagliamento - Piano Stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso*.
- Autorità di Bacino dell'Adige. (2005). *Piano di Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico - Bacino dell'Adige. Regione Veneto*.
- Benassai, G., Chirico, F., & Corsini, S. (2009). *Una metodologia sperimentale per la definizione del rischio da inondazione costiera*. Studi costieri, 16, 51-72.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). *A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms*. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 40(11), 2375-2383.
- Bitelli, G., Bonsignore, F., Carbognin, L., Ferretti, A., Strozzi, T., Teatini, P., & al. (2010). *Radar interferometry-based mapping of the present land subsidence along the low-lying northern Adriatic coast of Italy*. IAHS-AISH publication, 279-286.
- Brambati, A., Carbognin, L., Quaia, T., Teatini, P., & Tosi, L. (2003). *The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence*. Episodes, 26(3), 264-268.
- Canali, L. (1962). *Ufficio Idrografico del Po – Parma, Annali Idrologici 1961 parte seconda*. Roma: Istituto poligrafico dello Stato - Libreria.
- Carbognin, L., Teatini, P., & Tosi, L. (2004). *Eustacy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium*. Journal of Marine Systems, 51(1), 345-353.
- Carminati, E., & Doglioni, C. (2003). *Apennines subduction-related subsidence of Venice (Italy)*. Geophysical Research Letters, vol. 30, n. 13, 1717.
- Carminati, E., & Martinelli, G. (2002). *Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation*. Engineering Geology, 66(3), 241-255.
- Cati, L. (1981). *Idrografia e idrologia del Po*, pubblicazione n. 19 dell'Ufficio Idrografico del Po. Roma, Istituto Poligrafico dello Stato.

Centro Internazionale di Idrologia Dino Tonini dell'università degli Studi di Padova, resp. scientifico: Prof. Ing. Marco Marani, Prof. Ing. Luigi D'Alpaos. (2010). *Modellazione matematica del bacino idrografico del fiume Brenta*. Committente: ARPAV.

Consiglio nazionale delle ricerche. Sottoprogetto dinamica dei litorali. (1980). *Risultati delle ricerche fino al 1978 sul litorale alla foce dell'Adige: spiaggia modello*. Padova: Il Consiglio, 64.

CNR-ISMAR. (2011). *Programma di ricerca MARINA- Modellistica ad Alta Risoluzione Integrata del Nord Adriatico, Definizione scenari di simulazione*. Venezia

Consorzio per il Canale Emiliano Romagnolo. (1990). *Po Acquagricolturambiente*. Bologna: Il Mulino.

Correggiari, A., Field M. E., Trincardi F. (1996a). *Late Quaternary transgressive large dunes on the sedimentstarved Adriatic shelf*. In: De Batist, M., Jacobs, P. (Eds.), *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Geological society special publication, 117: 155-169.

Correggiari A. Roveri M. Trincardi F. (1996b). *Late-Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. In: *Late-Glacial and early Holocene climatic and environmental changes in Italy*. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 9: 697-704.

D'Alpaos, A., Lanzoni, S., Marani, M., & Rinaldo, A. (2009). *On the O'Brien-Jarrett-Marchi law*. Rendiconti Lincei, 20(3), 225-236.

D'Alpaos, A., Lanzoni, S., Marani, M., & Rinaldo, A. (2010). *On the tidal prism-channel area relations*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface (2003-2012), 115(F1).

D'Alpaos, L. (2000). *Ottimizzazione infrastrutturale degli interventi intrapresi e da intraprendere per la riqualificazione ambientale e sviluppo sostenibile di un ambito comprensoriale delimitato dalle lagune di Caorle e Bibione e relativi corsi d'acqua immissari*.

D'Alpaos, L., & Defina, A. (2007). *Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon*. Computers & Geosciences, 33(4), 476-496.

Di Silvio, G., Guarino, L., & Nones, M. (2008). *Modello per l'analisi del bilancio di sedimenti a scala di bacino nel fiume Adige*. 31° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 9-12 Settembre 2008. Perugia.

Dip. ICEA, Università degli Studi di Padova, responsabile scientifico Prof. Ing. Luigi D'Alpaos. (2012). *Modello matematico bidimensionale per lo studio della propagazione delle piene nel fiume Piave tra Macchietto e la foce - integrazione*. Committente: Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione.

Dip. IMAGE, Università degli Studi di Padova, responsabile scientifico Prof. Ing. Luigi D'Alpaos. (2008). *Modello matematico bidimensionale per lo studio della propagazione delle piene nel fiume Piave tra Macchietto e la foce*. Committente: Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione.

Distretto Idrografico Alpi Orientali. (2013). *Attività di implementazione della direttiva 2007/60 e del d.lgs 49/2010, Predisposizione delle mappe di allagabilità e rischio*.

Fabris, M., Achilli, V., & De Gennaro, M. (2012). *Analisi dell'erosione costiera nel delta del Po dal 1933 al 2008*. Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012, 651-658.

Ferla, M., Crosato, F., & Ragazzo, M. (2013). *Litorali e Lagune del Nord Est*.

Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). *Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry*. Geoscience and Remote Sensing, IEEE transactions on, 38(5), 2202-2212.

Fontolan, & al. (2013). *Geodatabase gestionale per la zona costiera del Veneto*. Costruzione - implementazione di un geodatabase gestionale per la zona costiera del Veneto (dalla foce del fiume Adige alla foce del fiume Tagliamento), contenente descrizione fisiografica, trend evolutivo e quantificazione dei budget sedimentari.

Fontolan, & al. (2014). *Geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po*. Costruzione di un geodatabase gestionale per la zona costiera del Delta del Po (dal Po di Goro alla foce Adige)

Goovaerts, P. (1999). *Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives*. Geoderma, 89(1), 1-45.

Hughes, S. A. (2002). *Equilibrium cross sectional area at tidal inlets*. Journal of Coastal Research, 160-174.

ISPRA. (2012). *2010: un anno da ricordare per l'eccezionale crescita del livello medio del mare a Venezia e nel Nord Adriatico* (Vol. Quaderni - Ricerca Marina n. 4/2012).

- Jarrett, J. (1976). *Tidal prism-inlet area relationships*. Gen. Invest. Tidal Inlets Rep. 3, 32 pp., U.S. Army Coastal Eng. Res. Cent., Fort Belvoir, Va.
- Krishnamurthy, M. (1977). *Tidal prism of equilibrium inlets*. J. Waterw. Port Coastal Ocean, 103(4), 423–432.
- Lanzoni, S. (2013). *Evoluzione morfologica recente dell'asta principale del Po*. Atto Accademia Nazionale dei Lincei.
- Lanzoni, S., Luchi, R., & Pittaluga, M. B. (2014). *Modeling the morphodynamic equilibrium of an intermediate reach of the Po River (Italy)*. Advances in Water Resources.
- Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova. (1998 - 2014). *Quaderni Trimestrali*.
- Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova. (2010). *Monitoraggio dei litorali da Isola Verde a Eraclea*.
- Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova. (2012). *Monitoraggio dei Litorali Veneti, Analisi degli effetti delle opere a monte sui litorali di Jesolo e Cavallino*.
- Marchi, E. (1990). *Sulla stabilità delle bocche lagunari a marea*. Rendiconti Lincei, 1(2), 137-150.
- Marchi, E., Roth, G., & Siccardi, F. (1995). *The Po: centuries of river training*. Physics and Chemistry of the Earth, 20(5), 475-478.
- O'Brien, M. P. (1931). *Estuary tidal prisms related to entrance areas*. Civil Engineering, 1(8), 738-739.
- O'Brien, M. P. (1969). *Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts*. J. Water. Harbors Coastal Eng. Div. ASCE, 95, 43–52.
- Preti, M., De Nigris, N., Morelli, M., Monti, M., Bonsignore, F., & Aguzzi, M. (2009). *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione*. Quaderni ARPA-Regione Emilia Romagna.
- Regione del Veneto - Direzione difesa del suolo. (2002). *Studio di Impatto Ambientale del Progetto preliminare di adeguamento delle opere di difesa costiera e ripascimento nel tratto da Piave a Livenza*.
- Regione del Veneto - Genio Civile di Rovigo. (2014). *Studio dell'evoluzione morfologica del litorale di Rosolina e Scardovari*. Padova: Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l.
- Regione del Veneto - Genio Civile di Venezia. (2014). *Interventi di contrasto all'erosione costiera e di ripristino ambientale del litorale di Bibione*.
- Matteotti, G., & Ruol, P. (1986). *Considerazioni in margine all'evoluzione del litorale dell'Alto Adriatico*. Porti Mare e Territorio, 8(2), 61-71.
- Ruol, P., & Tondello, M. (1996). *Sediment transport and balance along the coastal fringe of the Po River Delta*. In Proceedings final workshop "impact of climatic change on northwestern Mediterranean Deltas", Venice (pp. 2-6).
- Stefanon, L. (2011). *Analisi sperimentale sulla nascita e sullo sviluppo di reti a marea generate in laboratorio*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Padova.
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., al. (2013). *Climate Change 2013-the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC*.
- SWAN (2014). *Scientific and Technical Documentation*. Cycle III version 41.01, Delft University of Technology, <http://www.swan.tudelft.nl>.
- SWAN (2014). *User Manual*. Cycle III version 41.01, Delft University of Technology, <http://www.swan.tudelft.nl>.
- Syvitski, J. P., Kettner, A. J., Correggiari, A., & Nelson, B. W. (2005). *Distributary channels and their impact on sediment dispersal*. Marine Geology, 222, 75-94.
- Teatini, P., Tosi, L., & Strozzi, T. (2011). *Quantitative evidence that compaction of Holocene sediments drives the present land subsidence of the Po Delta, Italy*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), 116(B8).
- Trincardi F., Correggiari A., Roveri M. (1994). *Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: The Adriatic Semiencloded Basin*. Geo-Marine Letters, 14: 41-51.
- US Army Corps of Engineers. (1984). *Shore protection manual*. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 2v, 37-53.
- Williams, A., & Micallef, A. (2009). *Beach management. Principles and Practice*. Earthscan: London, 12602.
- Zunica, M. (1971). *Le spiagge del Veneto*. CNR Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane. Antoniana, Padova, 144.

