L.R. 16.7.1976 n. 28
Formazione della Carta Tecnica Regionale

RETE DELLE STAZIONI PERMANENTI GPS NEL TERRITORIO DEL VENETO

PROGETTO

Progetto a cura di:
Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Geoscienze
e CISAS 'G. Colombo'
Regione del Veneto – Segreteria Regionale all'Ambiente e Territorio -Unità di Progetto per il Sistema Informativo Territoriale e la Cartografia

Luglio 2008

La Regione del Veneto, nella propria azione di governo, ha da tempo avviato un'attenta politica territoriale, programmando una serie di iniziative e progetti, di particolare contenuto scientifico, orientate a fornire strumenti di documentazione e conoscenza a supporto delle analisi e valutazioni necessarie per una corretta gestione e pianificazione della risorsa "ambientale e territoriale".

In questo particolare quadro di iniziative, il progetto *"Rete di stazioni permanenti GPS nel territorio Veneto",* che può vantare l'autorevole e prestigiosa partecipazione dell'Università degli Studi di Padova, rappresenta una qualificata e prestigiosa esperienza che consentirà di realizzare un nuovo strumento che renderà possibile l'utilizzo e l'elaborazione dei dati prodotti dalle tecnologie satellitari GPS: un progetto sviluppato in coerenza con i programmi avviati e che si stanno attuando in Italia ed in Europa, e che proietta il Veneto in una posizione di particolare rilievo.

La realizzazione di questo progetto, che si sviluppa secondo le strategie della programmazione regionale e le linee di innovazione che coinvolgono l'Università e i Centri di ricerca, si attua attraverso un percorso che richiede un costante impegno professionale, nonché investimenti, in capillari e preziose attività di ricerca e sperimentazione che richiedono l'utilizzo e l'applicazione offerte dalle sofisticate e capaci strumentazioni della moderne tecnologie, in un innovativo scenario tecnico-scientifico progettato e sviluppato in una rete di sistemi di conoscenza e comunicazione delle *"Information Tecnologies"*.

L'attuazione dell'iniziativa rappresenta quindi il raggiungimento di un ulteriore ed importante obiettivo dell' azione di governo del territorio, dove un articolato sistema di Piani, strumenti e progetti, hanno l'imprescindibile esigenza di utilizzare ed elaborare il complesso quadro di conoscenze di dati e informazioni: una giusta risposta, dai qualificanti contenuti scientifici, per tutti coloro che operano sul territorio e per quanti hanno il compito di governare lo sviluppo socio-economico del Veneto in armonia con le politiche di tutela, salvaguardia e valorizzazione del territorio.

On. dott. Giancarlo Galan

Presidente della Regione del Veneto

Il progetto *"Rete di stazioni permanenti GPS nel territorio Veneto"* rappresenta un ulteriore iniziativa in attuazione del "3° Programma cartografico", con il quale è stato previsto lo sviluppo di alcune indicazioni scientifiche, tra le quali, risulta di particolare importanza, la realizzazione ed il coordinamento di un sistema di posizionamento globale, costituito da una rete di stazioni GPS distribuite nel Veneto, basato sull'osservazione dei dati satellitari: un qualificato strumento che consentirà di avere un continuo e costante monitoraggio del territorio nei suoi aspetti fisici e morfologici.

La Giunta Regionale, secondo queste finalità, ha da tempo definito ed avviato con l'Università degli Studi di Padova, un'intensa e proficua attività di ricerca che ha previsto, tra i diversi aspetti condivisi, il controllo delle reti geodetiche, la trasformazione delle coordinate geografiche e lo sviluppo delle reti stazioni fisse: attività i cui contenuti sono risultati fondamentali e propedeutici per l'attuazione dell'iniziativa.

La "Rete" sarà pertanto realizzata d'intesa tra la Regione del Veneto e l'Università degli Studi di Padova che nelle discipline geodetiche rappresenta, con i propri centri di ricerca, un'eccellenza riconosciuta a livello internazionale nonché nazionale: è noto infatti che alcune strutture dell'Università svolgono delicati ed impegnativi compiti di elaborazione dei dati della *"Rete fondamentale europea EUREF"* e della costituenda *"Rete Dinamica Nazionale"*, mentre rappresentanti del Dipartimento di Geoscienze sono membri scientifici di EUREF stesso e partecipano negli specifici *working-groups* attivati nell'ambito delle azioni previste dalla Direttiva dell'UE denominata *INSPIRE*.

Il progetto è stato sviluppato anche secondo le recenti indicazioni del Codice dell'Amministrazione Digitale, che prevedono forme di accesso, gestione e fruibilità dell'*"Informazione Territoriale"* in modalità digitale, e risulta in linea con gli indirizzi programmatori della Regione che prevedono forme di comunicazione ed informazione attraverso l'utilizzo dei nuovi canali telematici; un nuovo strumento che fornirà una molteplicità di prodotti e di dati, che saranno organizzati e gestiti nell'ambito del Sistema Informativo Territoriale regionale, ed offrirà ad un'utenza, sempre più composita e qualificata, una serie di servizi on-line che vanno dai più diffusi e noti sistemi di assistenza "car-navigation", alle più specifiche e significative applicazioni professionali.

Renzo Marangon

Assessore per le politiche al Territorio
della Regione del Veneto

L'esplorazione dello spazio extraterrestre e le osservazioni della Terra dallo spazio sono, unitamente agli esperimenti di Fisica fondamentale, i grandi temi intorno ai quali si concentra la ricerca pura e applicata in campo spaziale.

L'inaugurazione della Rete GNSS della Regione Veneto trova il CISAS nella posizione importante di braccio operativo e consulente scientifico della Regione Veneto. Se fosse ancora tra noi, Bepi Colombo non potrebbe che compiacersi che uno dei settori che egli aveva considerato come prioritari vede una lusinghiera realizzazione proprio nel Veneto, con il CISAS come uno dei protagonisti.

Devo anche aggiungere che questo evento è una gratificazione più in generale per tutti noi docenti del Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale, in quanto alcuni nostri studenti sono stati e sono tuttora attivamente coinvolti nella realizzazione del progetto, unitamente a studenti e dottorandi di altri Corsi delle Scienze e dell'Ingegneria. Il ruolo dell'Università è di fare ricerca e di comunicarla, e qui siamo di fronte a un esempio che testimonia come un'attività pluriennale di ricerca si è poi sviluppata in uno spinoff ad elevato contenuto tecnologico, che spazia dai satelliti alle telecomunicazioni fino al monitoraggio del territorio.

Nell'assicurare il pieno supporto del CISAS a questa importante iniziativa, esprimo l'augurio che le tecnologie spaziali entrino sempre di più nella vita quotidiana e vengano colte dall'opinione pubblica come apportatrici di un contributo indispensabile per un migliore standard professionale e di qualità della vita.

Prof. Francesco Angrilli

Direttore del CISAS
Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali
G. Colombo, Università di Padova

Indice

1. Premessa 9
1.1 Il Terzo Programma e il controllo geodetico del veneto 9
1.2 La ricerca dell'Università di Padova e il Convegno "La rete Geodetica Satellitare GNSS a servizio per il Veneto 10
1.3 L'attività del Dipartimento di Geoscienze in materia di reti GPS 11
1.3.1 Attività internazionale nell'ambito EUREF e IGS 11
1.3.2 Il progetto CERGOP 2 per le reti geodetiche in Centro Europa (5° Programma Quadro)... 14
1.3.3 Attività in ambito nazionale per il Dipartimento della Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia 15
1.3.4 Reti regionali in tempo reale e progetto europeo GALILEA (6° Programma Quadro) 18
1.3.5 Attività di sviluppo industriale di reti miniaturizzate 19
1.3.6 Attività di formazione 22
2. Progetto 23
2.1 Gli obbiettivi, i campi di applicazione e gli utilizzi della rete di stazioni permanenti GPS 23
2.1.1 Descrizione della rete 23
2.1.2 Gli scopi scientifici 27
2.1.2.1 Geodesia 27
2.1.2.2 Sismicità 29
2.1.2.3 Meteorologia 31
2.1.3 Le funzioni per l'ingegneria e la topografia 33
2.1.3.1 Ingegneria del Territorio 33
2.1.3.2 Ingegneria dei Trasporti 33
2.1.4 Descrizione di una stazione permanente 34
2.2 Il sistema delle reti e gli standard nazionali ed internazionali 37
2.2.1 Reti geodetiche regionali nel contesto nazionale ed europeo 37
2.2.2 Reti regionali limitrofe 39
2.2.2.1 Rete GPS Lombardia 39
2.2.2.2 Rete GPS Trentino 41
2.2.2.3 Rete GPS Friuli Venezia Giulia 43
2.2.2.4 Rete GPS Emilia Romagna 44
2.2.3 La rete geodetica del Veneto tra vecchi e nuovi standard 45
2.2.4 Tempo Reale (RTK) 46
2.2.5 Affidabilità delle correzioni differenziali trasmesse ed esempi di applicazioni delle stesse 49
2.2.5.1 Test per verificare l'affidabilità delle correzioni differenziali trasmesse 49
2.2.6 Gli standard EUREF 52
2.3 La gestione della rete 54
2.3.1 Il software Euronav 54
2.3.2 Le funzioni gestionali e scientifiche dell'Università 61
2.3.3 Il portale regionale e il ruolo della Regione 61
2.3.3.1 L'interfaccia web per il download dei file RINEX 62
2.3.3.2 Lo schema di funzionamento delle procedure giornaliere 64

2.3.3.3 Il software Verto3 65

Indice delle figure 69
Indice delle tabelle 71
Indice degli acronimi 72

Premessa.

1.1 Il Terzo Programma e il controllo geodetico del Veneto

La Regione del Veneto con la L.R. 16.7.1976 n. 29, ha da tempo dato avvio all'attività di "Formazione della Carta Tecnica Regionale", per dare attuazione alle finalità previste dalla Legge,si è proceduto attraverso strumenti operativi (1°e 2° programma cartografico) che hanno consentito la realizzazione della CTR e successivi aggiornamenti a copertura dell'intero territorio regionale.

Più di recente, con l'approvazione del Terzo Programma (deliberazione della Giunta Regionale n 2591 del 08.08.2003) l'attività cartografica, oltre a continuare nel precipuo compito di formazione ed aggiornamento della cartografia, si è sviluppata in una nuova logica di strutturazione delle banche dati territoriali idonee per la creazione dei Database geografici e verso l'attuazione del Sistema Informativo Territoriale (SIT).

Tra le diverse azioni previste dal Programma, risulta di particolare interesse lo sviluppo di iniziative progettuali, anche in relazione alle nuove tecnologie, in materia di misura e controllo del territorio; in particolare, il Capitolo 10, denominato **"Le nuove indicazioni scientifiche",** evidenzia la necessità di fornire indirizzi e risposte scientifiche adeguate alle questione inerenti la rappresentazione cartografica della Regione.

La cartografia del Veneto, come previsto nelle "Norme proposte per la formazione di Carte Tecniche alle scale 1:5000 e 1:10000" elaborate dalla Commissione Geodetica Italiana nel 1973, è inquadrata nella rappresentazione conforme di Gauss, inquadrata nel reticolato geografico del sistema di riferimento ED 50 (European Datum 1950) ed utilizza le coordinate del Sistema nazionale Gauss-Boaga corrispondenti al fuso Ovest (da 6° a 12° ad Est di Greenwich) ed al fuso Est (da 12° a 18° ad Est di Greenwich): siffatta suddivisione comporta conseguentemente una difficoltà nella gestione integrata dei dati e delle informazioni territoriali presenti nei sistemi informativi che invece richiedono una rappresentazione senza soluzione di continuità.

Appare opportuno inoltre evidenziare che le misure satellitari, oggi, non rappresentano più soltanto uno strumento settoriale gestito da tecnici specializzati, ma hanno avuto una vasta e capillare diffusione e utilizzo in moltissimi settori produttivi coinvolgendo, anche direttamente, aspetti ed applicazioni di quotidiana consuetudine (esempio i sistemi di navigazione satellitare automobilistica*, car navigation*). In questo articolato quadro di usi ed applicazioni scientifiche e tecniche, di sofisticate tecnologiche hardware e software, emerge l'importanza di dover omogeneizzare l'enorme mole di dati secondo parametri standardizzati e condivisi. E' noto infatti che il sistema di riferimento (*datum),* utilizzato dai ricevitori GPS, denominato WGS84, (modello matematico della Terra da un punto di vista geometrico, geodetico e gravitazionale) risulta diverso dall'ellissoide internazionale (Hayford 1909) attualmente utilizzato nella cartografia: il cambio di *datum* tra i dati cartografici già acquisiti nel sistema Roma 40 e quelli derivati dalle determinazioni

spaziali satellitari GPS, comporta alcune problematiche dovute alla gestione delle relative banche dati geografiche, che possono trovare un'efficace soluzione nell'attivazione di capaci e funzionali algoritmi di conversione.

Nel 3° Programma per dare una risposta a queste problematiche, sono state previste tre specifiche azioni quali:

A. la predisposizione nel WebGIS degli archivi informatizzati dei dati geodetici storici regionali;
B. l'acquisizione dell'algoritmo di conversione tra i diversi *datum* utilizzato dall'IGM;
C. il coordinamento della rete regionale delle stazioni fisse GPS.

In relazione ai primi due punti si osserva che il WebGIS della Regione è già attivo e da tempo l'utenza pubblica e privata ha a disposizione, in rete, l'intero patrimonio di dati cartografici e geo-topografici regionali fin qui prodotti. Sono stati inoltre attivati accordi con l'Istituto Geografico Militare (IGMI) per la diffusione al comparto degli Enti Locali dell'algoritmo di conversione delle coordinate geo cartografiche.

La terza azione prevede il coordinamento della rete regionale delle stazioni permanenti GPS, oggetto del presente progetto, iniziativa che dovrà essere attivata in relazione a due problematiche fondamentali:

1. la definizione e il rispetto di procedure di attivazione e *standard* di raccolta dei dati definite a livello internazionale, quale strumento scientifico di controllo del territorio;
2. l'organizzazione di un'attività di controllo efficiente ed efficace tale da garantire e semplificare le attività di misura, aumentando altresì la precisione, in quanto servizio aperto e gratuito per i tecnici ed i professionisti dei diversi settori che a vario titolo operano sul territorio.

Dopo un'accurata ricognizione è emerso che numerosi Enti territoriali hanno già attivato, in ambito locale, delle proprie stazioni fisse GPS al fine di agevolare i propri tecnici nell'attività di misura ovvero di poter disporre di dati territoriali di precisione necessari per il continuo monitoraggio del territorio: queste installazioni risultano oggi operative in diversi sotto-sistemi auto referenti e non coordinati tra loro.

La Regione, assolvendo al proprio ruolo di coordinamento territoriale, ha ritenuto fondamentale progettare e creare la rete delle stazioni permanenti del Veneto utilizzando, anche per motivi di opportunità ed economicità, le stazioni esistenti sul territorio predisposte da Enti Pubblici e/o da altri soggetti, dopo aver opportunamente valutato le caratteristiche tecnico-scientifiche, stabilendo protocolli di connessione per la gestione dei dati, e prevedendo il completamento della copertura del territorio con l'attivazione di nuove strumentazioni, ove necessario.

1.2 La ricerca dell'Università di Padova e il Convegno "La rete Geodetica Satellitare GNSS a Servizio per il Veneto"

Sulla base delle indicazioni del Terzo programma, è stata sottoscritta in data 8.2.2006 la

Convenzione tra la Regione del Veneto e il Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università degli Studi di Padova per una *"attività di ricerca relativa al controllo delle reti geodetiche, alla rappresentazione cartografica, alla trasformazione delle coordinate geografiche e alla rete delle stazioni fisse GPS"*.

La ricerca ha portato all'elaborazione del presente progetto per le stazioni permanenti GPS che, come detto, prevede l'utilizzo di stazioni già esistenti di proprietà di vari enti territoriali, come ARPAV e Consorzio Venezia Nuova – Magistrato alle Acque, che dispongono dei necessari requisiti di qualità, secondo criteri di una razionale ed economica gestione dell'iniziativa.

Il progetto è stato presentato nel convegno di studio organizzato presso l'Università di Padova nel maggio 2006, dedicato a "La rete Geodetica Satellitare GNSS a servizio per il Veneto", ed ha ottenuto un ampio consenso tra gli Enti e gli Organi Professionali presenti, i quali hanno manifestato il proprio interesse a partecipare all'iniziativa regionale.

1.3 L'attività del Dipartimento di Geoscienze e CISAS in materia di reti GPS

1.3.1 Attività internazionale nell'ambito EUREF e IGS

L'attività scientifica basata sull'utilizzo delle tecnologie satellitari per il posizionamento di precisione svolte presso l'Università di Padova è da considerarsi una delle molteplici attività sviluppate dal Prof. Giuseppe Colombo. Ben consapevole del potenziale dei segnali irradiati da satelliti artificiali per una migliore comprensione della cinematica della crosta terrestre, con implicazioni sulla sismicità e sulla comprensione del livello del medio mare, il Prof. Colombo già agli inizi degli anni 80 si è adoperato, insieme ai colleghi veneziani prof. Gianpietro Puppi e prof. Luciano Guerriero, per l'istituzione della stazione di geodesia spaziale di Matera, e per stimolare nei ricercatori italiani un interesse attivo di ricerca in questo settore. Con l'istituzione del Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali (CISAS), intitolato al prof. Colombo, il settore del telerilevamento e della geodesia spaziale è stato fin dagli inizi una delle attività principali. Attività concretizzatasi con la realizzazione e l'attivazione, nel 1994, della stazione permanente GPS, su iniziativa del prof. Alessandro Caporali, membro del CISAS e docente al Dipartimento di Geoscienze. Successivamente, su iniziativa dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), e con l'avvallo del dott. Roberto Frassetto dell'ISDGM-CNR di Venezia, fu installata un'ulteriore stazione permanente GPS presso Palazzo Papadopoli in Venezia, già sede dell'ISDGM-CNR, rimasta in attività fino ai primi mesi del 2007. Queste due stazioni sono state le prime ad operare in Veneto, e seconde in Italia solo alla citata stazione GPS di Matera. Le stazioni di Padova e Venezia sono inoltre state inserite nella rete dell'International GPS Service (IGS: http://igscb.jpl.nasa.gov) gestita dal Jet Propulsion Laboratory della NASA, presso il California Institute of Technology (CALTECH) di Pasadena, California e come tali sono impiegate per la definizione del sistema di riferimento terrestre ITRF, per il monitoraggio della rotazione terrestre, e per il calcolo delle effemeridi precise dei satelliti GPS.

Dal punto di vista della rete geodetica europea, le stazioni GPS di Padova e Venezia sono state inoltre inserite nella rete EUREF (European Reference Frame, http://www.epncb.oma.be/). EUREF è un'associazione informale tra Università e Istituti Geografici Nazionali europei che opera come sottocommissione della International Association of Geodesy con l'obiettivo di realizzare una rete geodetica di riferimento in Europa, includendo la Turchia, il Medio Oriente e l'Africa Settentrionale, i Paesi dell'Europa dell'Est (alcuni dei quali nel frattempo diventati membri effettivi della UE) e la Russia, in modo consistente con le direttive dell'IGS (International GPS Service) e dell'ITRF (International Terrestrial Reference Frame) (Figura 1). Nel 1999 il prof. Caporali è stato nominato membro effettivo del Technical Working Group dell'EUREF, su indicazione dell'ASI e IGM. Presso il Dipartimento di Geoscienze ha iniziato l'attività il Local Analysis Center 'UPA' dell'EUREF, con il compito di elaborare settimanalmente una sottorete di circa 25 stazioni (Figura 2). Lavorando in coordinamento con altri 15 Local Analysis Centers, la rete di circa 200 stazioni permanenti GPS europea è compensata settimanalmente e viene realizzato l'allineamento all'ITRF, mediante combinazione dei risultati parziali ottenuti dai 16 LAC: ad ognuno di essi infatti è attribuita una sottorete da analizzare settimanalmente. Ciascuna sottorete è a parziale sovrapposizione con le altre, così che ogni stazione GPS viene analizzata da almeno 4 LAC. I risultati parziali vengono raccolti settimanalmente dal Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, Ufficio Federale di Cartografia e Geodesia) tedesco che effettua la combinazione delle 16 sottoreti e verifica scarti e ripetibilità. Normalmente i risultati dei vari LAC mediati nell'arco di una settimana differiscono per meno di 1 mm.

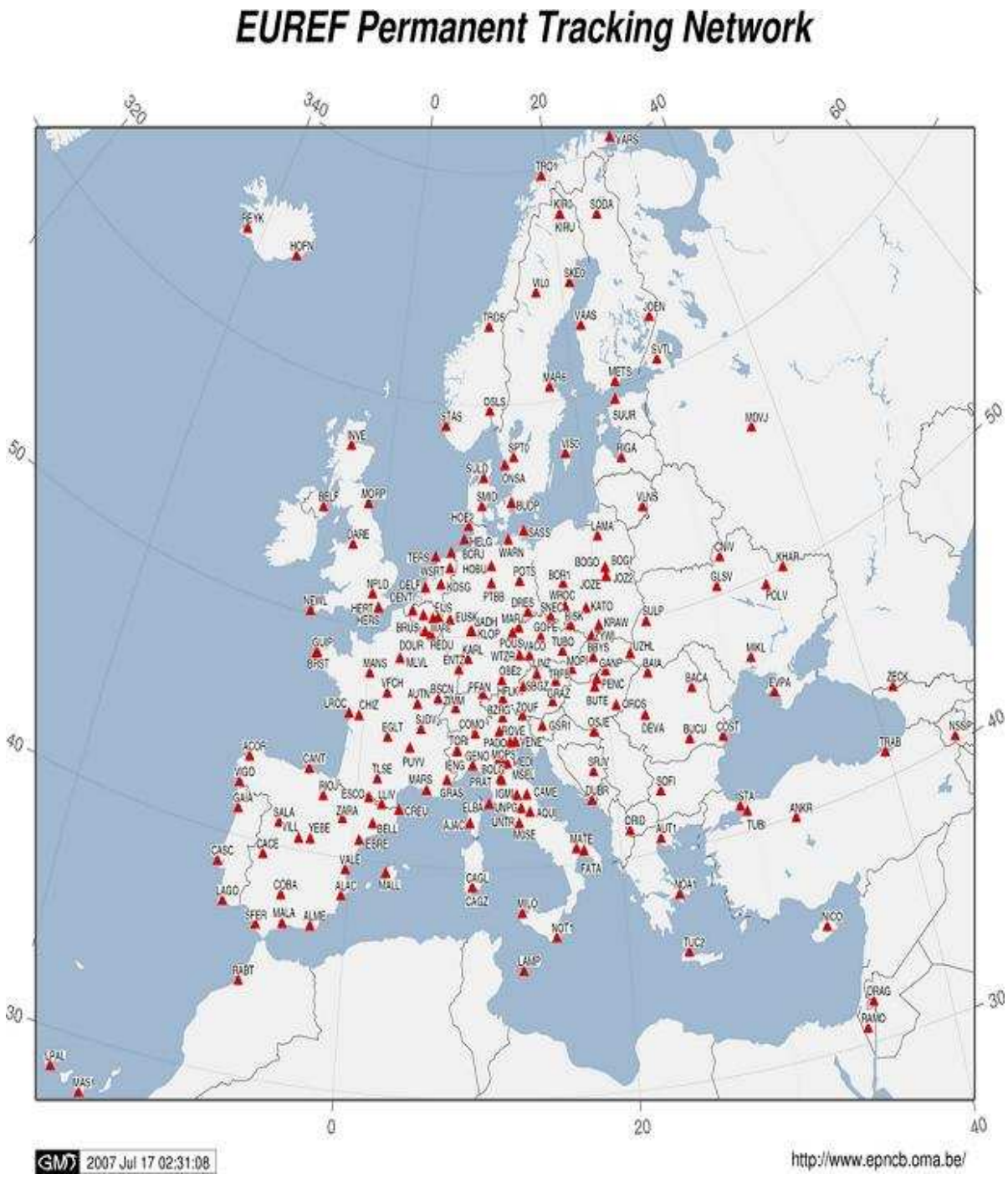

Figura 1 - Distribuzione delle stazioni permanenti GPS che partecipano alla rete europea EUREF. In Veneto sono presenti due stazioni, a Padova e Venezia.

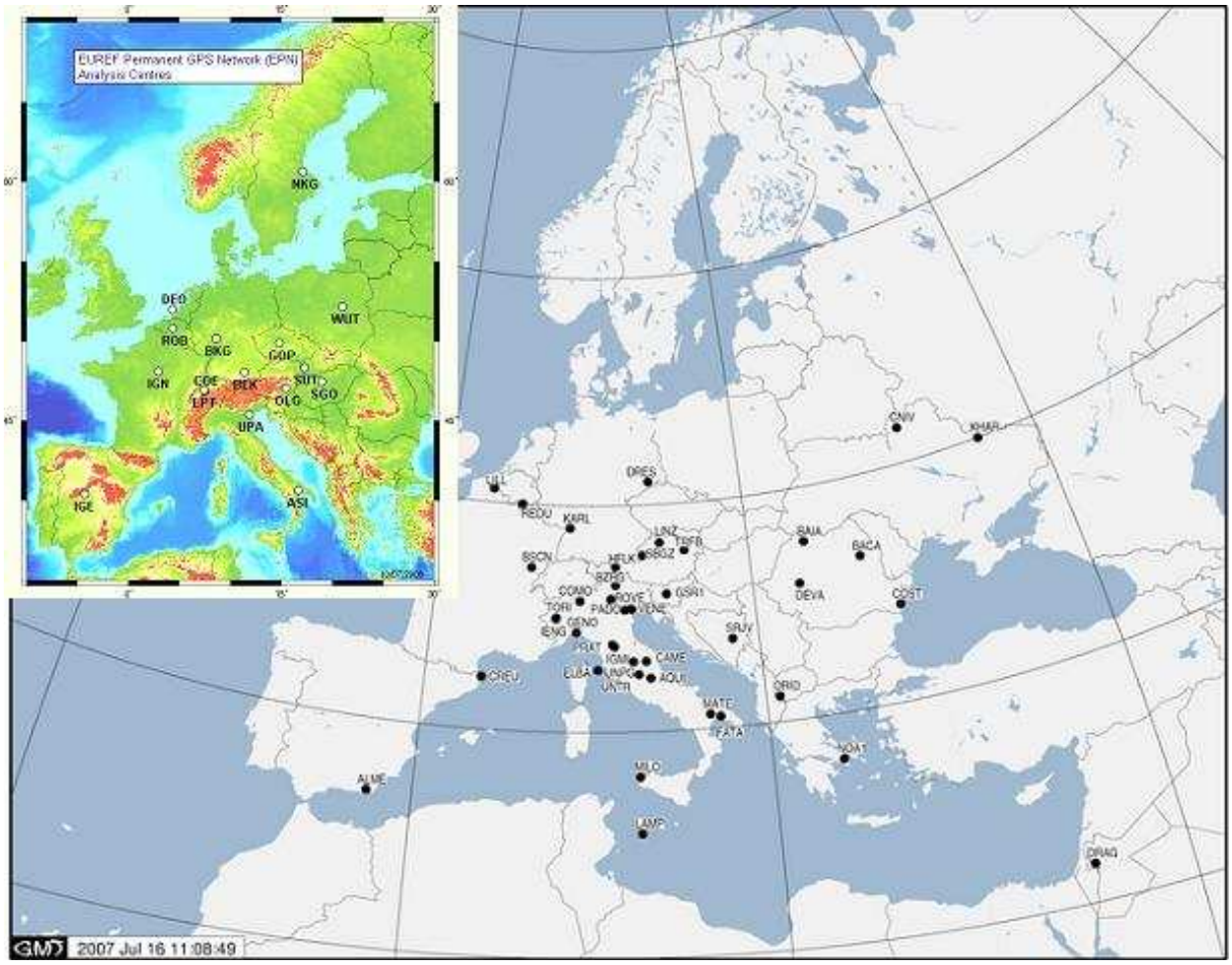

Figura 2 - Sottorete di stazioni permanenti GPS elaborate settimanalmente dal Centro di analisi EUREF presso l'Università di Padova. Nell'inserto in alto a sinistra sono mostrati i 16 Centri Locali di Analisi (LAC) attivi nell'EUREF. In Italia essi sono Matera e Padova.

1.3.2 Il progetto CERGOP 2 per le reti geodetiche in Centro Europa (5° Programma Quadro)

Sempre in ambito europeo, il Dipartimento di Geoscienze ha partecipato attivamente a diversi progetti. Tra questi di particolare rilievo è il progetto CERGOP 2, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del 5° Programma Quadro, coordinato dal dott. Peter Pesec dell'Accademia delle Scienze Austriaca. Scopo del progetto, conclusosi nel 2007 e che riunisce 13 partecipanti da 12 diverse nazioni, era la definizione delle coordinate di una rete geodetica di precisione costituita da stazioni GPS in Centro Europa (Figura 3).

Figura 3 - Distribuzione delle stazioni GPS che hanno partecipato al progetto CERGOP 2 finanziato dall'Unione Europea nel 5° Programma Quadro, per la definizione di una rete geodetica comune in Centro Europa. In Veneto sono state coinvolte le stazioni GPS di Padova, Rovigo e Asiago, gestite dall'Università di Padova.

Dall'analisi delle serie storiche delle coordinate, e delle loro variazioni nel tempo, si è così potuta determinare per la prima volta un'accurata mappa delle deformazioni tettoniche in centro Europa, che certamente svolgono un ruolo importante nella generazione di fenomeni sismici e sono a questi fortemente correlate.

1.3.3 Attività in ambito nazionale per il Dipartimento della Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Nel 2007 è stato completato un altro importante progetto a carattere nazionale, nel quale il Dipartimento di Geoscienze rivestiva il ruolo di capofila, per la parte relativa alle reti GPS . Il progetto S2 denominato "Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità di forti terremoti in Italia" (http://www.ingv.it/progettiSV/Progetti/Sismologici/sismologici.htm), finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile e gestito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Le reti geodetiche di stazioni permanenti GPS in questo caso vengono utilizzate non tanto a scopo cartografico, bensì per monitorare la deformazione della crosta terrestre mediante la variazione delle coordinate di stazioni GPS in superficie. Le deformazioni su scala regionale

definiscono delle zone compressive, distensive o di deformazione di taglio (*shear*) che normalmente ben si accordano con la geometria delle faglie attive, così come descritto dai meccanismi focali dei terremoti più recenti. Ad esempio il Nord-Est Italia, e in particolare il Friuli, è sottoposto a una compressione in direzione Sud-Nord dovuto alla spinta della microplacca Adriatica verso Nord. Questo movimento, di circa 2 mm/anno, è chiaramente visibile nella variazione di posizione delle stazioni GPS situate nell'area italo-austriaca. Questo movimento è accompagnato da deformazioni di taglio sinistre e destre lungo la linea delle Giudicarie e le Dinaridi, (Figura 4). Naturalmente la distribuzione di stazioni GPS permanenti attive da un numero di anni sufficientemente elevato da consentire un'affidabile determinazione della velocità di spostamento è limitata, ma il numero di stazioni recentemente entrate in funzione è tale da ritenere che nel giro di due-tre anni sarà possibile monitorare direttamente l'accumulo di deformazioni nelle aree sismogenetiche, una possibilità che nessuna altra tecnologia di misura è oggi in grado di offrire su scale regionali. In questo senso, l'apporto delle reti regionali di stazioni permanenti GPS va considerato anche sotto il punto di vista del monitoraggio di deformazioni del suolo. In Veneto sono di particolare interesse anche le deformazioni verticali, che con una rete GPS abbastanza fitta potrebbero essere monitorate in modo efficiente, accurato ed economico.

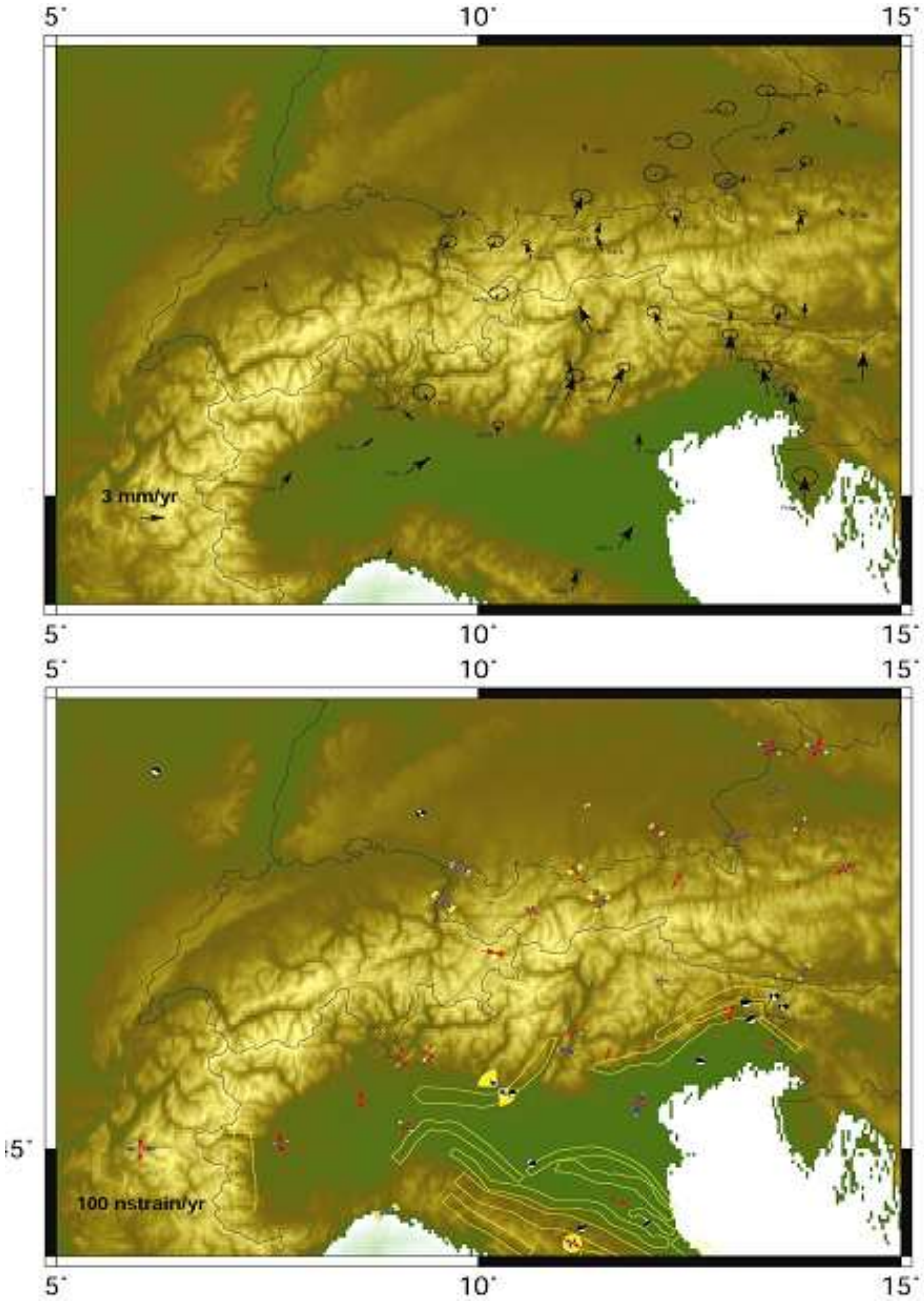

Figura 4 - In alto: velocità di stazioni permanenti GPS in Nord Italia, Austria e Svizzera, calcolate rispetto al Continente Eurasiatico. Il movimento verso nord tende a decrescere con l'aumentare della latitudine, e questo è indicativo di una spinta Sud-Nord che si scarica in particolare nelle Alpi orientali, che infatti sono particolarmente sismiche. In basso: direzioni principali di deformazione calcolate dai dati GPS: la compressione è in rosso e la distensione è in blu. Sono inoltre riportate le sfere focali dei terremoti di Magnitudo (Richter) > 5.5 dal 1976 a oggi, e, in giallo, i contorni delle aree sismogenetiche identificate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sulla base di dati geologici.

1.3.4 Reti regionali in tempo reale e progetto europeo GALILEA (6° Programma Quadro)

Nell'ambito del 6. Programma Quadro, l'Unione Europea, tramite il Galileo Joint Undertaking, ha finanziato partenariati tra Università e PMI (Piccole Medie Imprese) affinché venisse studiata la modalità di miglioramento del segnale irradiato dai satelliti Galileo ad opera di reti locali di stazioni permanenti. Il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, ha partecipato tramite il CISAS al progetto, coordinato dalla Space Engineering Spa di Roma, insieme all'Ufficio Federale Tedesco di Cartografia e Geodesia (BKG) di Francoforte, l' azienda tedesca Navpos GmbH di Lindau, e il Politecnico di Budapest. Sono state in particolare studiate le informazioni che le stazioni della rete regionale devono calcolare e trasmettere in tempo reale all'utente con il duplice obiettivo di:

a) verificare l'affidabilità del segnale che l'utente sta per impiegare per calcolare la propria posizione;
b) fornire all'utente dei dati correttivi riguardanti le orbite dei satelliti, la deriva degli oscillatori di bordo, il ritardo tropo-ionosferico al fine di ottenere qualità dei dati più accurati di quelli ottenibili direttamente dai satelliti, e tali da permettere una più accurata determinazione della posizione.

Lo studio ha previsto la messa a punto degli algoritmi, le modalità di trasmissione dei dati correttivi via Internet, e l'applicazione di questo approccio alla navigazione aerea, che è particolarmente interessata a disporre di segnali di navigazione della massima affidabilità. Il Politecnico di Budapest ha reso disponibile la rete regionale ungherese di stazioni permanenti GPS per una valutazione della metodologia sviluppata e dei vantaggi direttamente fruibili dall'utente (Figura 5).

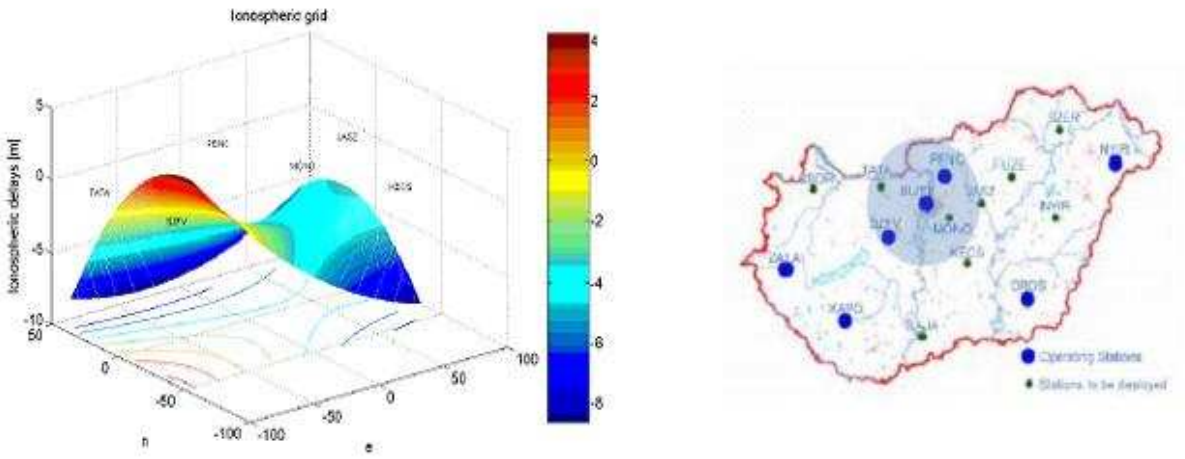

Figura 5 - A sinistra un esempio della entità del disturbo, espresso in metri, prodotto alla ionosfera nella propagazione di un segnale di navigazione da un satellite all'utente. A destra la planimetria delle rete regionale di stazioni GPS messe a disposizione dal Politecnico di Budapest (Ungheria) per effettuare il calcolo del disturbo. L'informazione sul ritardo ionosferico è uno dei fattori più importanti per il funzionamento di reti in tempo reale e per consentire all'utente di posizionarsi con precisione submetrica.

1.3.5. Attività di sviluppo industriale di reti miniaturizzate

Le reti geodetiche GPS non devono necessariamente essere su larga scala. Reti confinate in un'area ridotta possono essere utili in alcune applicazioni, e portare a realizzazioni più direttamente fruibili sul piano commerciale, ove diventino fattori rilevanti il costo (sia in conto esercizio che in conto capitale), la velocità di produzione del dato e la semplicità d'uso da parte dell'operatore.
Sono stati sviluppati, nell'ambito di contratti industriali, tre diversi tipi di sensore. Caratteristiche comuni sono l'impiego di sensori a singola frequenza, di costo e consumo limitato e fruibili per separazioni al più di qualche km, e la tecnica interferometrica in tempo reale basata su algoritmi proprietari sviluppati dall'Università di Padova. Le tre tipologie di sensore sono:

- Sensore di *azimuth* per applicazioni alla navigazione marina, in collaborazione con la Società GEM Elettronica S.p.A. di San Benedetto del Tronto (Figura 6). In questo caso la rete è costituita da tre antenne allineate a distanza prefissata di 20 e 100 cm, fissate su un'asta rigida. Vengono calcolati in tempo reale l'azimuth e l'elevazione dell'asta con una procedura a *bootstrap*: dapprima si ottiene una stima grezza (entro ± 1 grado) usando le antenne a 20 cm; poi si ottiene una stima più raffinata usando i dati dalle antenne a 100 cm. In tal caso la risoluzione angolare diventa ± 0.2 gradi r.m.s. (scarto quadratico medio) Tali sistemi vengono correntemente impiegati in imbarcazioni, specie quelle a notevole dinamica, con particolare vantaggio sui sistemi tradizionali basati su girobussole. Il vantaggio è nei tempi di inizializzazione estremamente rapidi (qualche secondo contro tempi dell'ordine dell'ora), l'insensibilità a sollecitazioni termomeccaniche o magnetiche, i costi notevolmente inferiori e la perfetta integrazione del sensore di direzione con il sensore *standard* GPS di posizione.
- Dispositivo di taratura dell'*encoder* di azimuth di antenne mobili per telecomunicazioni via satellite (Figura 7) Si tratta di una collaborazione con Catania Ricerche e la PMI Antech Spa di Catania. Il sistema realizzato consente di puntare antenne di TLC su un satellite da parte di un mezzo mobile in posizione sconosciuta (ad es. Protezione Civile, Vigili del Fuoco, postazioni TV mobili…). Il sistema prevede un *software* per la connessione in rete e lo scarico dal sito del NORAD delle effemeridi del satellite selezionato nel formato *standard* TLE (*Two Line Elements*), propagazione dell'orbita all'istante di misura, calcolo degli angoli di puntamento impiegando le coordinate GPS dell'antenna, procedura statica di orientamento a nord dell'antenna, (con un algoritmo simile a quello usato per il sensore di assetto), e comunicazione agli attuatori degli incrementi angolari per il puntamento dell'antenna nella direzione del satellite prescelto.
- Sensore delle deformazioni (Figura 8). Il sensore è stato realizzato in collaborazione con la ditta SEPA S.p.A. di Torino. Trattasi di una struttura modulare formata di ricevitori autosufficienti sia per quanto concerne l'alimentazione (pannelli solari) che le comunicazioni (radio modem). I segnali ricevuti da ciascun sensore vengono inviati ad una unità centrale di elaborazione che in tempo reale calcola la posizione relativa delle antenne, che normalmente si trovano a distanza dell'ordine delle centinaia di metri o del chilometro. Le uscite prevedono un monitoraggio in tempo reale sia delle posizioni istantanee dei sensori, sia delle medie giornaliere o plurigiornaliere che evidenziano con la massima precisione

l'evoluzione della deformazione in atto. Questo sensore, scalabile in blocchi di quattro elementi (moduli) fino a un totale di 24 antenne, è stato collaudato con successo nel monitoraggio di deformazioni di ponti e viadotti, e di fronti di frana.

Figura 6 - Sensore di assetto per applicazioni in alta dinamica. Vengono utilizzati tre ricevitori e due linee di base: la più corta per una prima stima dell'angolo, la più lunga per la stima finale. Immagine grande: idealizzazione artistica, come da progetto risultato tra i primi dieci dello StartCup 2004 (Dalla Torre A.,

Caporali G. e Redi A.). Foto piccola: prototipo in navigazione sul motoscafo Litus del CNR nel Canal Grande - Venezia.

Figura 7 - Sensore di puntamento di antenne mobili per TLC, montato piggyback su un'antenna ANTECH SpA di Catania per la Protezione Civile, in posizione di lavoro (in alto) e inattiva (in basso). Mediante una speciale procedura si collega con il sito del NORAD per lo scarico degli elementi orbitali del satellite TLC da acquisire, combina le effemeridi con le coordinate del sito e un modello orbitale per determinare gli angoli di puntamento del satellite, attiva la procedura di misura dell'assetto dell'antenna e fornisce ai servosistemi gli incrementi angolari per consentire agli attuatori di puntare l'antenna nella direzione del satellite TLC.

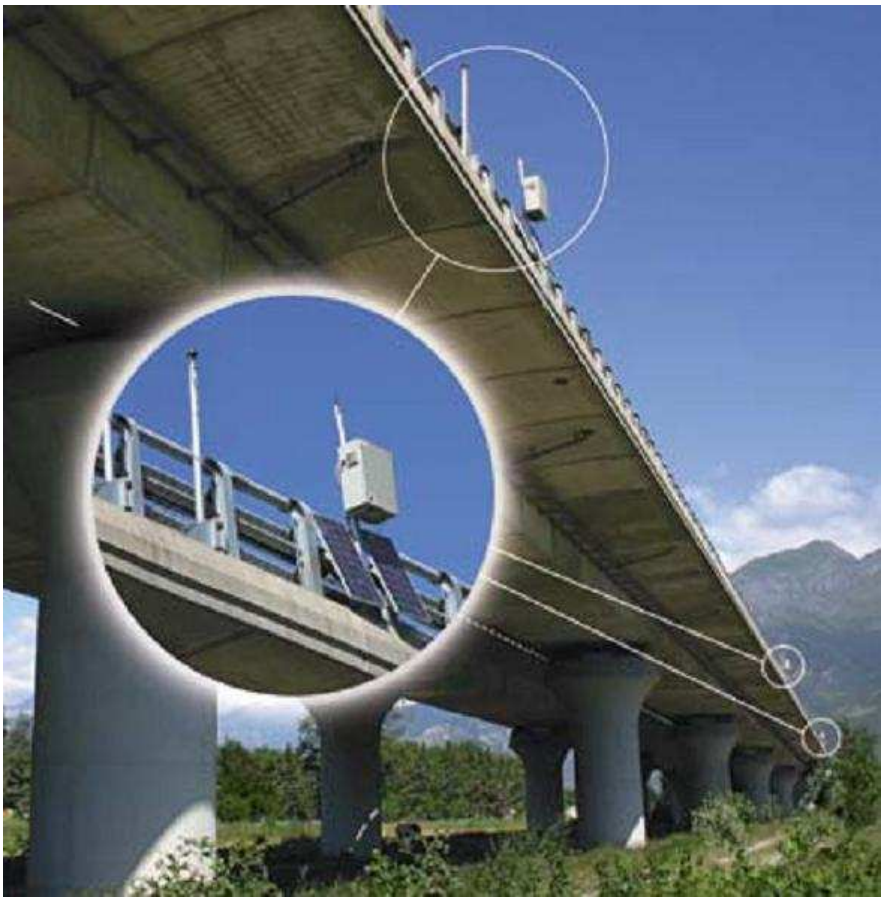

Figura 8 - Viadotto di Casalborgone (Torino) equipaggiato con una rete di sensori monofrequenza GPS realizzata in collaborazione con la SEPA Spa di Torino. I sensori sono autonomi quanto ad alimentazione e comunicazioni. L'invio dei dati a una unità centrale di elaborazione consente, in tempo reale, il monitoraggio delle deformazioni, con una frequenza fino a 10 Hz.

1.3.6 Attività di Formazione

L'acquisizione di esperienze concrete nell'ambito della ricerca pura ed applicata ha naturalmente avuto un effetto sull'attività formativa, specie a livello dottorale e postdottorale presso l'Università di Padova. In particolare, nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Scienze e Tecnologie Spaziali, sono stati istituiti corsi specifici sulla tecnologia GPS, e sono state assegnate diverse tesi di laurea per l'approfondimento di temi specifici. L'applicazione di tecniche a larga banda, quale il segnale GPS, per scopi ambientali e di prevenzione rientra nei temi prioritari identificati nella Legge 170, e ogni anno vengono ottenuti 1-2 posti di dottorato.

2. Il Progetto

2.1 Gli obiettivi, i campi di applicazione e gli utilizzi della rete di stazioni permanenti GPS

2.1.1 Descrizione della rete

Il progetto nasce da una collaborazione tra la Regione del Veneto e l'Università degli Studi di Padova, con l'obiettivo primario di creare una Rete di stazioni permanenti GNSS (GPS e, ove possibile, GPS + GLONASS), in grado di assicurare la copertura di tutto il territorio regionale con un fattore di ridondanza pari a tre e raggio di copertura di circa 20 km. Una densità di stazioni tale da garantire un adeguato fattore di ridondanza è un requisito indispensabile, tenuto conto che uno degli obiettivi primari consiste nella fornitura continua e sistematica di un servizio come quello che si propone di realizzare la Regione del Veneto; una densità tale che possa garantire quindi, in caso di indisponibilità di una delle stazioni della rete, la copertura con un'altra nelle immediate vicinanza per sostenere così una continuità nel servizio.
Dopo una prima ricognizione ed un censimento delle stazioni già disponibili di proprietà di enti e strutture pubbliche e private che si sono resi disponibili ad ospitare le attrezzature necessarie, si è fatta una valutazione sulle rispondenze alle caratteristiche progettuali. La Figura 9 riporta la mappa della rete attualmente gestita dall'Università di Padova, la cui copertura garantita rappresenta circa il 60% del territorio regionale con raggi di 50 km dalle stazioni; indicate le stazioni delle quali l'Università esegue sia il post processamento (*post-processing*) dei relativi file di osservazione (dati RINEX) sia la distribuzione dei dati in tempo reale (RTCM), le stazioni delle quali trasmette soltanto i dati in tempo reale, in *nero* quelle i cui dati vengono soltanto post processati e le stazioni che entreranno, a breve, a far parte della rete (si veda la tabella Tabella 1).

Stazioni	Codice	Tempo reale	Post processing	Ente di appartenenza
Padova	PADO	√	√	Università di Padova
Asiago	ASIA	√	√	Osservatorio Astronomico Università di Padova
Rovigo	ROVI	√	√	Consorzio Università di Rovigo Università di Padova
Bassano	BSNO	√	√	Quascom S.r.l, Università di Padova
Taglio di Po	TGPO	√	√	Consorzio di Bonifica Delta Po Adige Università di Padova
Bonavigo	BTAC	√	√	Privato
Legnago	LEGN	√	√	Consorzio di Bonifica Valli Grandi
Mestre	MSTR	√		Privato
Portogruaro	PORT	√	√	Consorzio di Bonifica Adige Tagliamento
San Donà di Piave	SDNA	√	√	Consorzio di Bonifica Adige Tagliamento
Venezia Arsenale	VEAR		√	ISMAR-CNR
Venezia	VENE		√	ASI-Telespazio
San Felice	SFEL		√	Consorzio Venezia Nuova- Magistrato alle Acque
Cavallino	CAVA		√	Consorzio Venezia Nuova- Magistrato alle Acque
Voltabarozzo	VOLT		√	Consorzio Venezia Nuova- Magistrato alle Acque
Belluno	BL01	√	√	Agenzia del Territorio – Trimble
Venezia	VE01	√	√	Agenzia del Territorio – Trimble
Verona	VR01	√	√	Collegio Geometri – Trimble
Treviso	TREVI	√	√	GEOTOP
Vicenza	VICE	√	√	Istituto per Geometri – GEOTOP
Borca di Cadore	BORC	√	√	Regione Veneto
Sappada	SAPP	√	√	Regione Veneto
Teolo	TEOL		√	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulc.
Boscochiesanuova	BOSC	√	√	ARPAV Regione Veneto
Monte Avena	MAVE	√	√	ARPAV Regione Veneto
Montebelluna	MBEL	√	√	ARPAV Regione Veneto
Alpe Faloria	AFAL	√		Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperim., Trieste
Totale Stazioni	**27**			

Tabella 1- Stazioni GPS operanti in Veneto

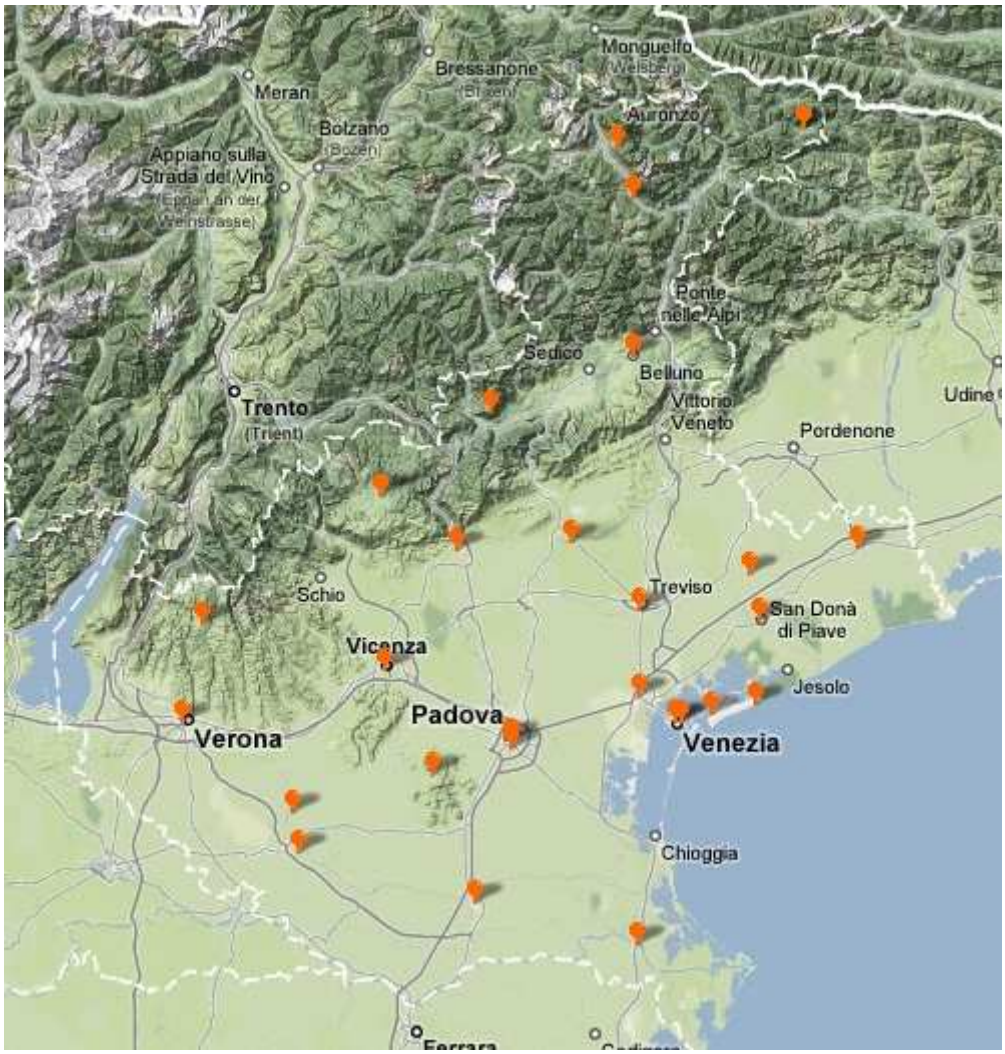

Figura 9 - Rete di stazioni permanenti GPS attive in Veneto.

Il Progetto prevede che l'Università di Padova svolgerà un triplice ruolo:

- **Monitoraggio e gestione** della singola stazione di riferimento in termini di procedure automatiche di *download* dei dati, creazione dei files RINEX orari (campionati a 1 secondo) e giornalieri (30 secondi), verifica di eventuali anomalie e malfunzionamenti della stazione stessa a livello locale secondo il principio di massimo coinvolgimento e trasparenza.
- **Compensazione** giornaliera/settimanale della rete, verifica delle coordinate del sito, inquadramento della stazione in ITRF 2005 e post processamento dei dati.
- **Raccolta e distribuzione** delle correzioni differenziali via Internet (protocollo Ntrip) utilizzando un approccio di rete basato su tecniche DGPS o RTK.

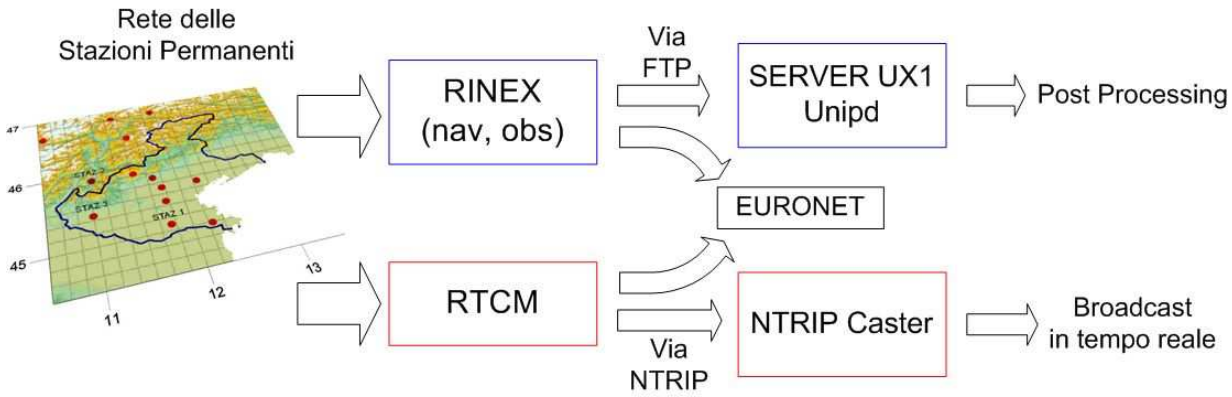

Figura 10 - Attività svolte dall'Università di Padova.

I servizi che la Rete GPS Veneto si propone di offrire sono molteplici: dai servizi di carattere tecnico-scientifico per l'utente professionale, ai servizi utili per la navigazione marittima costiera e terrestre, le cui caratteristiche e modalità di utilizzo sono di seguito riportate.

- Servizi per l'utente professionale
  - POST PROCESSING:
    - Calcolo con procedura automatica delle coordinate di punti rilevati in modo autonomo.
    - Riallineamento e inquadramento reti locali.
    - Trasformazione di datum in ETRS89, UTM/GRS80 (IGM95 compatibile).
  - REAL TIME:
    - Fornitura di correzioni differenziali RTCM/RTK.

- Servizi di navigazione
  - Correzioni RTCM per navigazione marittima costiera e terrestre via Internet distribuite via Ntrip dal Caster dell'Università.

I dati geotopografici saranno forniti a chiunque ne faccia richiesta, in forma non onerosa, secondo quanto stabilito dalla Legge Regionale 2/3/2006.
Sono stati previsti i casi in cui l'utenza possa utilizzare diverse forme di tipologia di servizi, come di seguito riportato.

1. Posizionamento in un determinato punto e acquisizione dati in modalità statica per alcune ore: sono previste due possibilità:
   - inviare all'Università di Padova il file dei dati raccolti, che saranno elaborati (*software* BERNESE 5.0) assieme ai dati relativi alle stazioni permanenti della rete;
   - scaricare dal server dell'Università di Padova i dati RINEX delle stazioni limitrofe al punto di acquisizione, e procedere personalmente all'elaborazione.

2. Attività GIS di picchettamento:scaricare dall'Ntrip Caster dell'Università di Padova (Figura 11) le correzioni differenziali della stazione di interesse;scaricare le correzioni relative alla cella (o alla stazione virtuale) creata in relazione alla sua stessa posizione, quando sarà disponibile una soluzione di rete di correzioni differenziali affidabile, precisa e continuata.

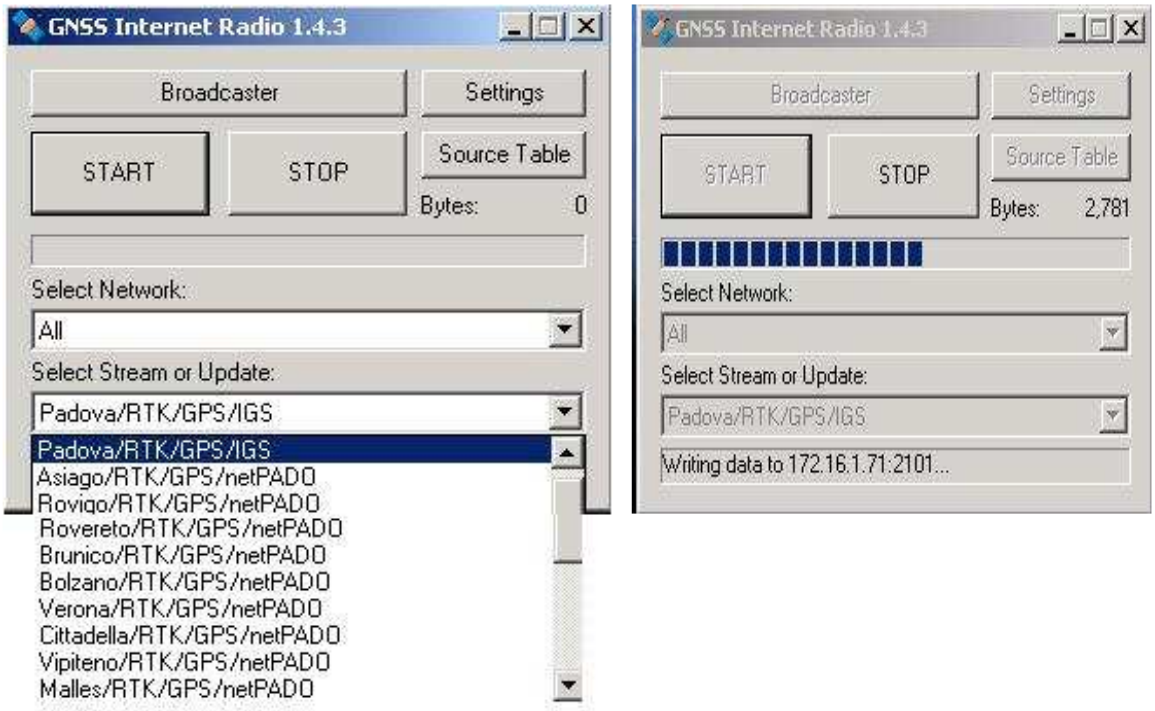

Figura 11 - Download tramite l'Ntrip Client delle correzioni RTCM distribuite in tempo reale dal Caster dell'Università di Padova.

2.1.2 Gli scopi scientifici

Una rete permanente GPS è non solo un'infrastruttura a servizio della collettività ma anche uno strumento scientifico particolarmente funzionale alla gestione di problemi di geodesia e cartografia, monitoraggio ambientale di deformazioni del suolo planialtimetriche.
Nel seguito si analizzano i principali ambiti scientifici interessati.

2.1.2.1 Geodesia

L'aspetto più rilevante è la determinazione del modello del Geoide, ovvero della differenza che si riscontra quando si confrontano dislivelli misurati con i sistemi di posizionamento GPS e quelli misurati con i procedimenti operativi topografici quali le livellazioni geometriche. E' noto, infatti, che le misure effettuate con le tecnologie GPS sono insensibili alla direzione locale del filo a piombo, mentre la livellazione geometrica prevede una accurata "messa in bolla" dello strumento. La direzione del filo a piombo varia, secondo la posizione del punto, in conseguenza di concentrazioni locali di massa legate alla topografia ed alle anomalie di densità all'interno della

Terra. Ne consegue che il dislivello tra due punti, anche quando risultante dalla sommatoria algebrica di dislivelli intermedi, è influenzato dal valore locale della gravità, ovvero dall'andamento della superficie equipotenziale terrestre.

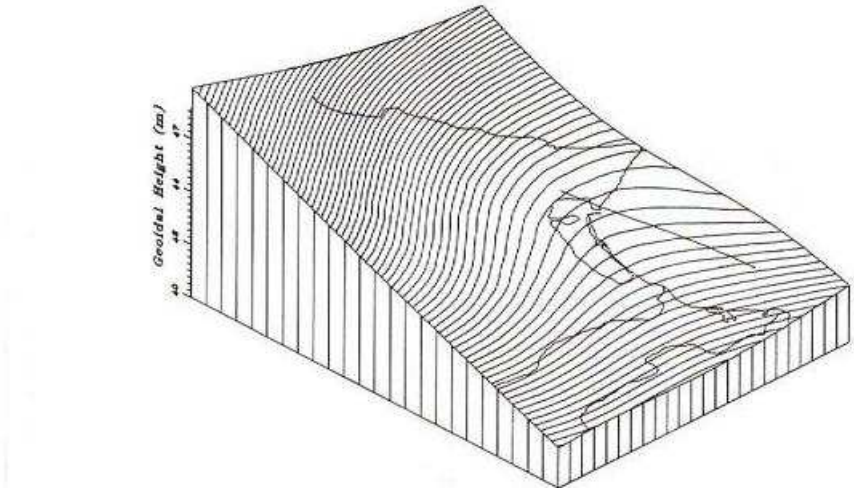

Figura 12 - Modello tridimensionale del geoide ricavato nel 1991 in occasione della calibrazione del radar altimetro a bordo del satellite ERS 1 dell'Agenzia Spaziale Europea, la cui traccia è rappresentata da una linea retta in mare e che passa sopra la piattaforma Acqua Alta (Lido di Venezia) del CNR ISDGM. Rispetto all'ellissoide WGS84, il geoide in Veneto presenta una inclinazione verso Nord di circa 10 secondi d'arco, correlata con la presenza delle Alpi, e un valore assoluto dell'ordine di 45 metri.

Il Veneto è stata la prima regione italiana a disporre di un modello di geoide di dettaglio. Nel 1991 l'Agenzia Spaziale Europea, dovendo calibrare il radar altimetro montato a bordo del satellite di telerilevamento ERS 1, chiese all'Università di Padova di elaborare un modello dettagliato del geoide nell'area circostante la piattaforma oceanografica 'Acqua Alta' del CNR, posta di fronte alle Bocche di Lido di Venezia, ove sarebbe stato installato un transponder. In collaborazione con l'Istituto Geografico Militare e il Politecnico di Zurigo (ETH) furono effettuate misure di deviazione della verticale e misurati dislivelli GPS tra caposaldi di livellazione in tutta la Regione, generando un primo modello di geoide di precisione. Tale modello, pubblicato nella più autorevole rivista internazionale di Geodesia (Bulletin Géodesique), fu successivamente usato dal Politecnico di Milano per calibrare e validare un modello di geoide gravimetrico da loro elaborato su scala nazionale, e la cui evoluzione è stata ora resa disponibile dall'Istituto Geografico Militare. Occorre precisare che il modello nazionale del geoide deve essere considerato come una soluzione transitoria, infatti lo *standard* europeo è attualmente chiamato EGG07 (European Gravimetric Geoid 2007) ed è elaborato dall'Università di Hannover.

L'Istituto Geografico Militare mette a disposizione i files dei grigliati del geoide gravimetrico calcolato dal Politecnico di Milano. Tali grigliati possono essere interpolati con il programma VERTO3, e pertanto si può correggere la misura GPS di dislivello con il dato geoidico e confrontarla così con quella ottenuta mediante livellazione geometrica. Anche se il dato GPS è spesso di precisione centimetrica o subcentimetrica, il termine correttivo del geoide è di peggiore precisione. Pertanto un aspetto molto importante è l'esecuzione di misure aggiuntive di gravità e

di deflessione della verticale al fine di validare il modello di geoide e renderlo effettivamente compatibile come precisione alle misure GPS.
Le stazioni GPS della rete Veneto assumono particolare importanza perché tanto le misure di deviazione della verticale quanto quelle gravimetriche devono essere appoggiate a punti di coordinate ben determinate. A tale proposito è opportuno ricordare che la Regione del Veneto ha già da tempo incaricato l'Università di Trieste dell'effettuazione di misure gravimetriche e di deviazione della verticale. E' pertanto prevedibile che con l'istituzione di una rete geodetica GPS permanente in Veneto, tali misure potranno trovare una corretta collocazione, nel senso di un raffinamento a livello regionale del modello del geoide e quindi una sua migliore fruibilità da parte dell'utenza.

2.1.2.2 Sismicità

Il Veneto è una regione strutturalmente di moderata sismicità, ma risente degli sforzi tettonici in atto in corrispondenza all' Appennino Settentrionale e delle Alpi Orientali. In entrambi i casi si è in presenza di sforzi compressivi, anche se causati da diversi tipi di movimenti tettonici. Nel caso dell'Appennino, i fronti di spinta sono sepolti nella porzione di Pianura Padana immediatamente a Nord delle falde dell'Appennino Romagnolo, come evidenziato da profili sismici effettuati dall'Agip, e da profili gravimetrici. Nel caso delle Alpi Orientali e Meridionali, il cuneo (*indenter*) adriatico, forse una propaggine del continente africano, esercita una pressione sulla piattaforma Eurasiatica in direzione Nord, ed è il principale responsabile della sismicità in Friuli. Tale movimento di penetrazione è svincolato lateralmente da due sistemi di faglie a scorrimento: ad Est la linea delle Dinaridi con sismicità concentrata ai confini tra l'Italia e la Slovenia, che recentemente ha prodotto i due terremoti di Bovec (Slovenia, 1999 e 2004), entrambi di magnitudo maggiore di 6; a ovest la linea delle Giudicarie, con sismicità concentrata nella zona del Lago di Garda (ricordiamo gli eventi di Gardone Valtrompia, 2005, e Merano, 2001, e la sismicità diffusa nella zona del Monte Baldo), nonché la sismicità in Tirolo.
Esiste infine l'enigmatica linea Schio-Vicenza, ma che in realtà si prolunga fino e probabilmente oltre i Colli Euganei, che potrebbe teoricamente attivarsi per contribuire a svincolare gli sforzi accumulati dalla penetrazione della microplacca o promontorio adriatico in direzione Nord. In Veneto una notevole sismicità, anche se a livello prevalentemente strumentale, è registrata nel Bellunese, nella zona del Cansiglio, ed è anch'essa da considerarsi associata alla interazione compressiva tra la placca Adriatica e l'Eurasia.

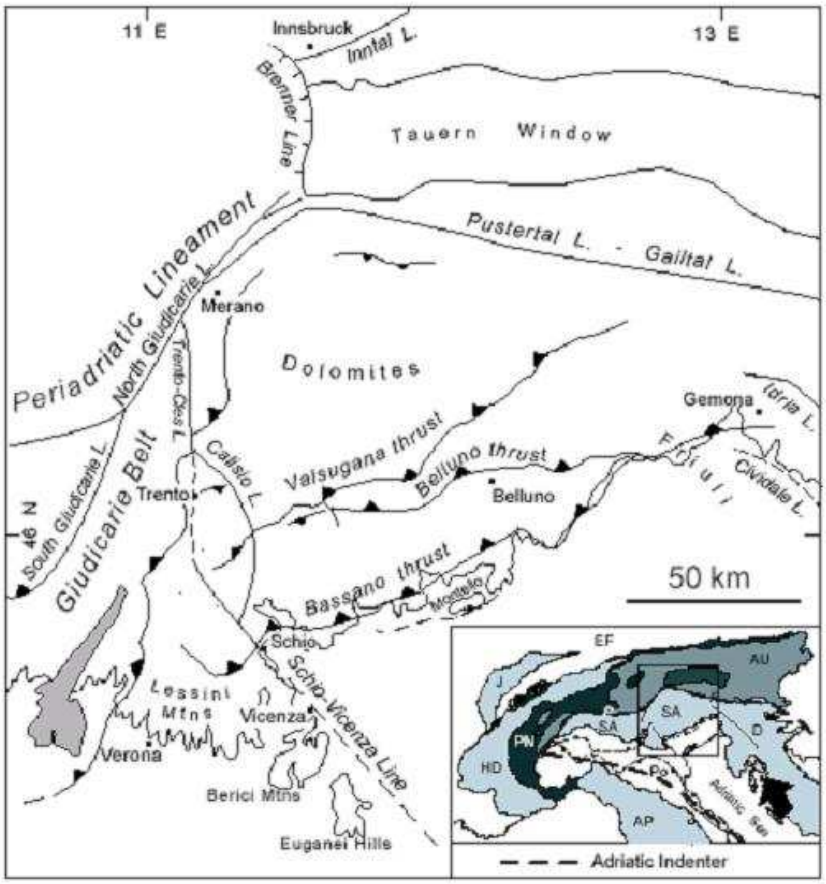

Figura 13 - Principali lineamenti tettonici in Veneto sismicamente attivi. Si riconoscono zone compressive (thrusts) e zone di svincolo, quali le Giudicarie e la linea Schio Vicenza, entrambe legate alla penetrazione del cuneo Adriatico nella piattaforma eurasiatica. I movimenti e le deformazioni associati sono misurabili da una rete di stazioni permanenti GPS. Tale misura contribuisce in modo notevole alla definizione del rischio sismico di un'area.

I movimenti associati alla deformazione sono tipicamente dell'ordine dei mm/anno. L'esperienza pregressa ha dimostrato in modo convincente, ed esiste ampia letteratura al riguardo, che tali movimenti di superficie sono accuratamente misurabili in termini di variazione della distanza relativa tra stazioni permanenti GPS che abbiano acquisito dati con continuità per almeno due - tre anni, e i cui dati siano stati elaborati secondo le procedure e gli *standard* definiti dall'IGS e dall'EUREF. La Figura 4 dimostra che il campionamento nell'Italia Nord-Est, anche se molto buono nel contesto italiano, è ancora carente. Tuttavia la mappa non mostra le stazioni che sono di recente entrate in funzione, e che pertanto non hanno ancora delle velocità misurate con sufficiente accuratezza. L'elaborazione dei dati di tutte le stazioni disponibili, in Italia, Austria e Slovenia, è in corso presso l'Università di Padova, e si prevede che già nel 2008 si potrà disporre di una mappa più dettagliata delle velocità e pertanto anche delle deformazioni in superficie.

Quanto sopra dimostra in modo eloquente l'importanza che la presenza di una rete permanente GPS riveste in una zona potenzialmente sismica. Poiché le strutture geologiche associate alla

sismicità, quali la citata linea delle Giudicarie e delle Dinaridi, la Schio-Vicenza, la linea della Pusteria e le sue diramazioni in Friuli e Austria, sono tipicamente transregionali e transnazionali, è evidente che le reti geodetiche regionali devono agire in stretto coordinamento, in modo da favorire lo scambio dei dati e agevolare le attività di elaborazione dati.

2.1.2.3 Meteorologia

La rifrazione atmosferica è il fenomeno che causa una deviazione della traiettoria dei raggi di luce dalla linea retta, ed è responsabile, ad esempio, dell'ingrandimento delle immagini del sole e della luna quando sono ai limiti dell'orizzonte. Le proprietà rifrattive dell'aria dipendono principalmente da pressione, temperatura e umidità atmosferica. E' consuetudine separare la rifrazione in una componente secca e una componente umida, che dipendono dalla pressione e temperatura dell'aria nonché dal vapore dell'acqua. La componente umida è all'incirca il 10% di quella secca. Il motivo di tale distinzione è di natura pratica: mentre la componente secca è ben modellabile con dati di temperatura e pressione prelevati al suolo, essendo la troposfera ben approssimabile ad un gas perfetto in equilibrio idrostatico, questo non è possibile per la componente umida, perché il vapore d'acqua è disciolto nell'atmosfera in modo non uniforme.
Nella propagazione di un segnale radio da un satellite a un ricevitore a terra, il ritardo nella propagazione indotto dalla rifrazione troposferica è di circa 2.2 metri allo zenith, di cui 0.22 metri (10%) sono grosso modo imputabili alla umidità nell'aria. Essendo il ritardo troposferico misurabile con il GPS con una precisione millimetrica, la sottrazione della componente secca, calcolata secondo un modello *standard* sulla base di dati di pressione e temperatura a terra, fornisce per differenza una misura della componente umida. Questa procedura è stata collaudata e validata con i dati di palloni sonda, che sono notevolmente più costosi e danno informazioni simili. Attualmente molti centri di meteorologia in Europa Centro-Settentrionale acquisiscono dati di ritardo troposferico provenienti dall'elaborazione della rete EUREF, che vengono impiegati sia come dati e sia vincoli nella elaborazione di modelli evolutivi dell'atmosfera, dal *nowcasting* al *forecasting*.
E' certamente ipotizzabile che in futuro l'evoluzione meteorologica a livello regionale verrà stimata anche sulla base dei dati troposferici prodotti dall'elaborazione in tempo quasi reale dei dati ottenuti da una rete di stazioni permanenti GPS, che possibilmente ospitino anche sensori meteo di pressione e temperatura dell'aria.

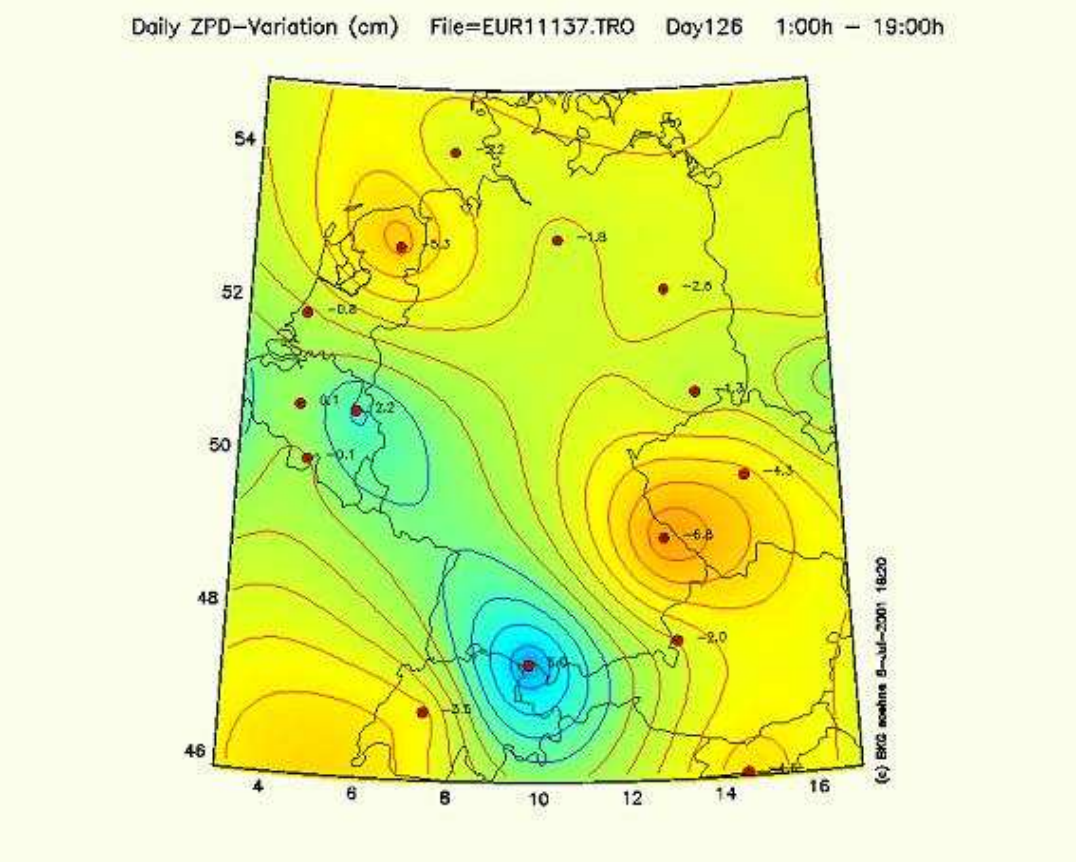

Figura 14 - Esempio di variazioni rispetto a un valore medio del ritardo, in centimetri, accumulato da un segnale GPS mentre si propaga nella troposfera sovrastante l'Europa. Tali variazioni sono direttamente legate a cambiamenti nella pressione, temperatura e umidità.

In previsione di questi importanti sviluppi, presso il Dipartimento di Geoscienze e CISAS sono già state effettuate l'elaborazione raccolti dalle reti europea e italiana GPS in modalità rapida, con tempi di latenza ridotti a meno di 24 ore dalla raccolta dei dati, sotto il coordinamento dell'EUREF.

Per quanto in precedenza espresso, si ritiene che una rete di stazioni permanenti GPS in Veneto, operante in coordinamento con analoghe reti in regioni limitrofe, possa servire operativamente alla meteorologia, purché al tempo stesso si sviluppino le tecniche di elaborazione e scambio dati che ne sono l'indispensabile complemento.

2.1.3 Le funzioni per l'ingegneria e la topografia

2.1.3.1 Ingegneria del Territorio

L'importanza di avere un Sistema di riferimento con basi di riferimento consolidate è fondamentale per tutte le procedure la formazione e georeferenziazione delle cartografie numeriche e per la conversione dei dati nei database geografici, che rappresentano la base dei Sistemi Informativi Territoriali.
Il sistema di riferimento Roma 40/Gauss Boaga da oltre 50 anni rappresenta il Sistema di Riferimento Nazionale, ma, la costante evoluzione delle tecnologie e la conseguente applicazione ed utilizzo delle stazioni GPS, comporterà necessariamente prevedere la sostituzione con il sistema convenzionale cui fanno riferimento i sistemi di posizionamento globale GPS.
Ovviamente anche il Sistema Cassini-Soldner, per il quale fu prevista una proliferazione dei punti di emanazione, è risultato valido per un sistema di coordinate al livello locale, ma certamente inadeguato per una gestione del territorio con i sistemi di cartografia numerica.

In questo contesto le reti di stazioni satellitari permanenti consentono di mantenere il sistema di riferimento, e di misurare rapidamente e senza perdita di precisione, le coordinate compatibili tra i diversi sistemi: inoltre, un risultato che garantisce la coerenza geografica dei data-base territoriali a tutte le scale, e la possibilità di scambiare strati informativi tra le strutture sia centrali che periferiche. Uno sviluppo che ha valore a livello nazionale, a livello europeo o internazionale e segue la linea già da tempo tracciata dalla cartografia per la navigazione aerea, che necessariamente abbisogna di alti livelli di uniformità.

Il Veneto risulta suddiviso nel Sistema Nazionale in due fusi, una situazione che evidenzia il problema della rappresentazione dei dati numerici territoriali nel c.d. "Fuso Unico". I programmi GIS memorizzano le coordinate in un unico sistema e la coesistenza di due fusi comporta difficoltà gestionali per l'identificazione geografica degli oggetti, che comporta una conseguente perdita di precisione e/o distorsioni, progressivamente maggiori quanto più si allontana dalla zona di validità di ± 3 gradi rispetto al meridiano centrale.
Il programma VERTO 3 prevede il cosiddetto "Fuso Italia" con meridiano centrale a 12 gradi di Longitudine Est e estensione sufficiente da coprire tutta l'Italia. Il modulo di deformazione lineare si discosta notevolmente dall'unità, e le deformazioni associate sono tuttavia comunque calcolabili con precisione. Tra i diversi progetti ed iniziative sviluppate in Italia, il progetto "Veneto" potrebbe essere un valido test per l'adozione del "Fuso Unico", essendo particolarmente sensibile ai vantaggi che esso comporta, e si ravvisa il grande apporto scientifico che potrà essere fornito da un sistema di riferimento affidabile e ben controllato, quale la rete di stazioni permanenti.

2.1.3.2 Ingegneria dei Trasporti

Una forte domanda di *localizzazione* e *posizionamento* di precisione viene dal settore dei trasporti. Per localizzazione si intende il monitoraggio da parte di un sito centrale di una o più unità mobili. E' questo il caso della *gestione delle flotte* (*fleet management*), ove le unità mobili

inviano la loro posizione, tipicamente con messaggistica SMS, a un sito centrale, o della gestione dei *containers*. Per posizionamento si intende la misura diretta della propria posizione da parte del mezzo mobile, e il suo impiego per la navigazione. Questo è il caso molto comune della navigazione satellitare.
Per impieghi professionali, o nei quali diventano importanti aspetti legati alla precisione della posizione, quali ad esempio la sicurezza della persona (*safety of life*), il trasporto valori, le applicazioni ferroviarie o di navigazione aerea, le manovre di attracco (*docking*), il dato di posizione non può essere basato sull'algoritmo *standard*, che fornisce precisioni dell'ordine dei 10 metri, ma viene richiesta una precisione submetrica, e in alcuni casi subdecimetrica, in tempo reale. Ecco dunque delinearsi un ruolo attivo per le stazioni della rete permanente GPS, in quanto in grado di trasmettere segnali correttivi sul codice (RTCM) e/o sulla fase (RTK) che riducono o rimuovono gli errori sistematici più importanti, dovuti ad incertezze nelle orbite e nei ritardi tropo/ionosferici, e portano l'accuratezza finale a livelli compatibili con le applicazioni professionali.

2.1.4 Descrizione di una stazione permanente

Una stazione permanente GNSS è costituita da un ricevitore, un'antenna, un cavo (di 20-30 m) che collega l'antenna al ricevitore e un *software* di gestione della stazione stessa fornito dall'azienda produttrice. I requisiti fondamentali sono riassunti nella Tabella 2.
Una delle peculiarità della rete veneta di stazioni permanenti è quella di non essere costituita da ricevitori e antenne tutti dello stesso modello e della stessa casa produttrice ma di combinare tecnologie e *software* differenti anche se con caratteristiche comuni. La Figura 15 mostra l'antenna relativa alla stazione permanente di Padova installata sopra il tetto della sede del CISAS.

ANTENNA	
Choke Ring o equivalente purché certificata IGS con calibrazione assoluta	
RICEVITORE	
TRACKING	• Doppia frequenza (L1, L2 e se possibile anche L2C).
	• Numero canali: 24 o 72 se in grado di tracciare i satelliti Glonass.
	• Tracciamento satelliti Glonass opzionale
COMUNICAZIONI	• Porta ethernet per poter controllare in remoto il ricevitore
	• Assegnazione di un IP statico al ricevitore
	• Apertura delle porte 2101 (2102) sul firewall per lo scambio dei dati GNSS.
	• Configurazione porta FTP per scambio dati da ricevitore a *software* di controllo
	• Accesso via PPP
DATA STORING	• Memoria interna (possibilmente rimovibile) almeno di 1/2 Gb
	• Data update/Output Rate: 1-20 Hz selezionabile
	• Latenza dati ≤ 0.03 s.
	• Real time output: CMR, CMR+, RTCM 2.3 (e tutti i messaggi correlati) e possibilità di generare, se non già forniti dal ricevitore, RTCM 3.0.
	• Generazione RINEX v2.11 orari, campionati ad 1 s.
	• NMEA 0183 output opzionale.
ACCURATEZZA	Statica (fase): H: 3mm + 0.5ppm, V: 5/6 mm + 0.5 ppm.
CARATTERISTICHE FISICHE	Porte seriali (RS232) e porta ethernet .
	Connettore RJ45.
	Alimentazione interna ed esterna (2 porte di alimentazione).
	Consumo ≤ 4 W.
	6-28 V DC.
	Peso ≤ 2 kg.
	Temperatura di lavoro: -40° +65° C.
	Temperatura di storage: -40°C +75°C (indicativa).
	IP67 waterproof/dustproof.
	Resistenza all'umidità fino al 100%
SHOCK E VIBRAZIONI	MIL-810-F su ogni asse
ULTERIORI REQUISITI	
Software di gestione del ricevitore (in caso non abbia un web server interno) in grado di permettere il data logging di Rinex v2.11 campionati a 1 sec e RTCM 3.0 in caso non siano direttamente forniti dal ricevitore.	
Cavo d'antenna a 30 m.	
Gruppo di continuità.	
Connessione 24 ore su 24 ADSL.	
Orizzonte circolare sgombro.	
Collocazione per l'antenna in un luogo dove la visibilità sia buona, lontano da edifici alti ed ingombranti e da ponti radio e antenne che trasmettono tra 1 e 3 GHz.	
Accesso alla rete elettrica.	
Collocazione per il ricevitore al riparo da vibrazioni, urti e agenti atmosferici.	

Tabella 2 - Specifiche ricevitori/antenne GPS per una stazione permanente.

Figura 15 - Antenna GPS relativa alla stazione di Padova.

In Figura 16, sono riportati il ricevitore relativo alla stazione permanente di Padova e l'interfaccia web che permette di gestire e monitorare in remoto la stazione stessa.

(a) **(b)**

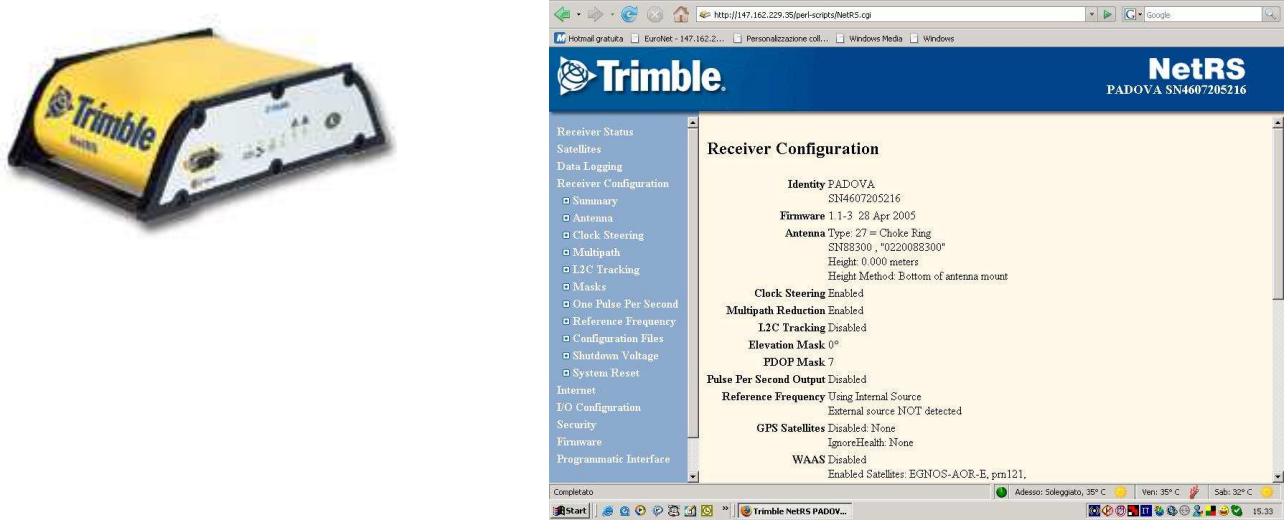

Figura 16 - (a) Ricevitore della stazione di Padova. (b) Interfaccia web dalla quale si può monitorare e configurare il ricevitore.

Altri ricevitori che, differentemente da quello utilizzato per la stazione di Padova, non hanno un web server integrato, utilizzano per la gestione e il controllo dei *software* dedicati forniti dalla casa

produttrice. In Figura 17, è mostrato il *software* di gestione delle stazioni di Asiago e Rovigo (Spidernet).

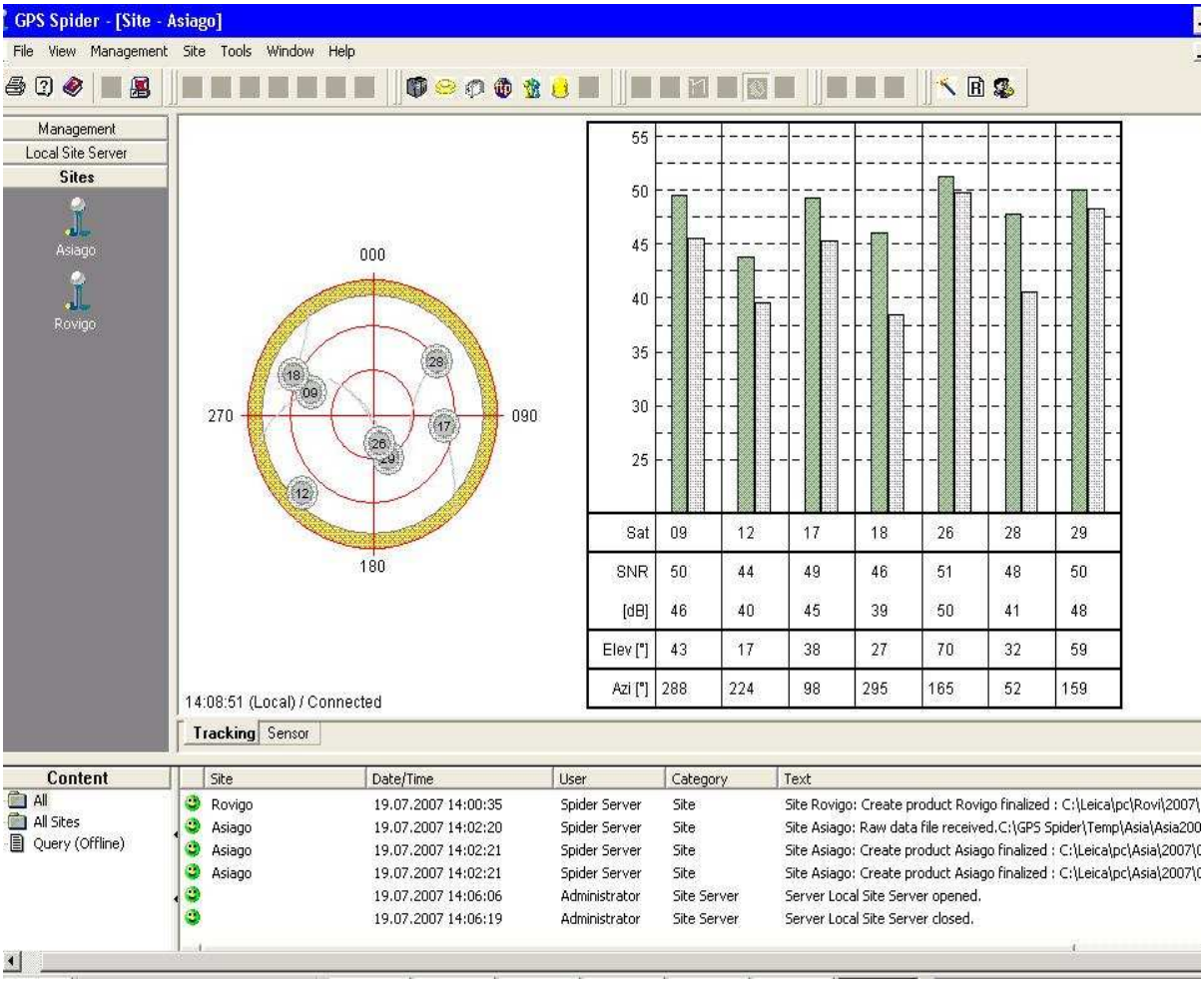

Figura 17 - *Software* di gestione delle stazioni permanenti di Asiago e Rovigo.

2.2 Il sistema delle reti e gli standard nazionali ed internazionali

2.2.1 Reti geodetiche regionali nel contesto nazionale ed europeo

Nel processo d'unificazione europea, e in un contesto di armonizzazione degli *standard* geocartografici (vedasi ad es. la Direttiva Commissione Europea INSPIRE – Infrastrucutre for Spatial Information in Europe ove l'Italia è rappresentata dall'Università di Padova nel gruppo di lavoro tematico sulle Reti Geodetiche), la realizzazione di un sistema geodetico di coordinate condiviso a livello europeo è certamente una priorità. Se, fino a circa 50 anni fa, i limiti delle tecnologie di rilevamento, prevalentemente basate su misure terrestri con il teodolite, avrebbero posto dei seri dubbi circa la fattibilità di una rete geodetica europea, l'avvento delle tecniche satellitari rende oggi possibile colmare il *gap* tecnologico. L'organizzazione EUROGEOGRAPHICS che raggruppa le National Mapping Authorities Europee (IGM, per l'Italia), e l'EUREF, la sottocommissione dell'International Association of Geodesy responsabile della rete geodetica europea, hanno scelto un sistema di riferimento da adottare in Europa, noto come ETRS89.
L'introduzione di questo *standard* è motivata dal fatto che la determinazione dei punti geodetici trigonometrici sulla superficie terrestre viene fatta rispetto al riferimento comune rappresentato dalle orbite dei satelliti con una precisione centimetrica. Il moto di deriva dei continenti è di qualche centimetro/anno, e pertanto, se non opportunamente considerato, richiederebbe un aggiornamento su base annua delle coordinate dei vertici, al fine di mantenere una precisione centimetrica. Poiché questa revisione periodica non risulta attuabile (e sarebbe comunque ingestibile) nelle applicazioni cartografiche, è stato assunto che il sistema di coordinate europee 'si muova' solidalmente con le stazioni GPS che insistono sulla parte più stabile della placca eurasiatica, minimizzando così le variazioni di coordinate in questo sistema di riferimento. A partire dal 1991, gli Stati europei hanno intrapreso una azione comune per adeguare i propri *standard* cartografici al sistema ETRS89. In Italia, dove era in vigore il sistema ROMA40 per la parte trigonometrica, con ellissoide internazionale e orientamento a Roma M. Mario – M. Soratte, l'IGM ha avviato un progetto denominato IGM95, concluso nel 1995, che è stato pianificato per realizzare lo *standard* ETRS89 a livello nazionale.
L'assorbimento di questo nuovo *standard* da parte della Cartografia Tecnica Regionale è un processo che necessariamente richiede tempi non brevi, e comporta un periodo di transizione nel quale il vecchio e nuovo *standard* devono coesistere. Tuttavia molte Regioni si sono dotate esse stesse di stazioni satellitari e sono in grado di realizzare autonomamente gli *standard* ETRS89 senza necessariamente doversi appoggiare ai vertici del sistema IGM95. D'altra parte l'IGM stesso, nell'impossibilità di rilevare periodicamente e aggiornare i vertici IGM95, sta valutando la possibilità di creare una rete c.d. "di ordine zero" a livello nazionale, denominata Rete Dinamica Nazionale, a partire dalle reti regionali che nel frattempo si sono costituite.
L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha istituito in sud Italia e nelle Isole la Rete RING che, anche se pensata per scopi geofisici, può validamente essere utilizzata per scopi topografici, senza con questo interferire con gli obiettivi scientifici primari.

Di particolare interesse sono poi le applicazioni in tempo reale, in cui l'utente interagisce e scambia dati durante il rilievo con la stazione di riferimento, senza perdere in precisione, ma anzi riuscendo a comprendere subito se il rilievo si è svolto correttamente o meno. La produttività viene notevolmente aumentata dal fatto che il formato di uscita dei dati rilevati in campagna è direttamente utilizzabile dai programmi GIS di gestione territoriale (*shapefile*).

2.2.2 Reti regionali limitrofe

In questo paragrafo sarà considerato brevemente l'approccio alla costituzione delle reti proposto dalle regioni limitrofe al Veneto in termini di soluzione di rete scelta (VRS, MAC etc.), servizi offerti, copertura della rete, gestione della stessa ed eventuale tariffazione dei servizi offerti.
Nelle regioni confinanti si è deciso di adottare una diversa strategia da quella adottata dalla Regione del Veneto: ogni Regione ha creato e mantenuto interamente la rete procedendo all'acquisto e alla gestione di *software* e *hardware* dedicati, e assegnando il servizio relativo all'intera rete ad un'unica azienda (Leica, Trimble o Geotop) e offrendo una serie di servizi diversificati (a pagamento in alcuni casi) all'utente.
La rete veneta nasce dalla convergenza di realtà anche abbastanza diverse tra loro, quali reti private oppure appartenenti ad enti regionali o all'Università stessa, già operative sul territorio, dotate di *hardware* e *software* diversi tra loro, ovvero distribuiti da diverse case produttrici. Una politica di questo genere, consente di testare strumenti ed approcci diversi e ridurre i costi di creazione della rete stessa, permettendo la fornitura di servizi e dati a titolo esclusivamente gratuito.

2.2.2.1 Rete GPS Lombardia

Il progetto relativo alla rete GPS Lombardia viene presentato nel giugno del 2003 e portato a compimento con 14 stazioni permanenti operative nel luglio 2005. Attualmente le stazioni operative sono 18, coordinate da un centro di controllo (si veda la figura Figura 18).

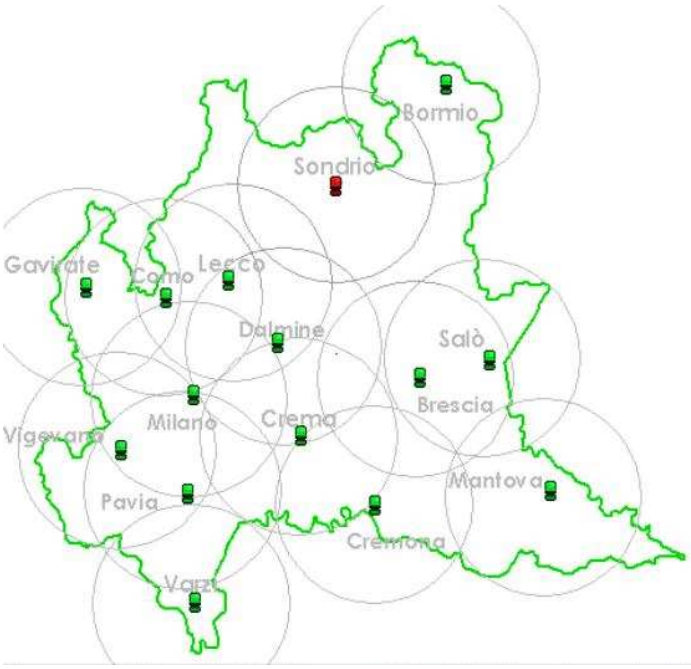

Figura 18 - Rete GPS Lombardia.

La rete lombarda nasce da una collaborazione tra la Regione Lombardia, il Politecnico di Milano e l'IREALP (Istituto di ricerca per l'ecologia e l'economia applicate alle aree alpine). La Regione svolge un ruolo di regia e coordinamento rispetto a iniziative avviate da altri enti lombardi per la realizzazione di stazioni permanenti GPS; promuove lo sviluppo di applicazioni e servizi connessi al posizionamento satellitare (cartografia, applicazioni catastali, monitoraggio ambientale ecc.) e promuove la ricerca in questo settore per lo sviluppo di nuove applicazioni anche in vista dell'avvio del programma europeo GALILEO.
I servizi attualmente offerti e disponibili via web (http://www.gpslombardia.it/) sono:

- dati grezzi in formato RINEX di tutte le stazioni permanenti, per il posizionamento in post-elaborazione, che si possono scaricare dal sito web;
- informazioni relative allo stato della rete ottenute in tempo reale, con tabulati sulla qualità delle osservazioni e la disponibilità dei dati;
- correzioni differenziali di codice, per un posizionamento di precisione metrica o submetrica;
- correzioni differenziali di codice e fase, per un posizionamento di precisione centimetrica.

Inoltre il Politecnico di Milano e la Regione stanno collaborando per poter offrire anche ulteriori servizi quali:

- analisi automatica e in tempo reale dei dati grezzi;
- analisi diretta dei casi di criticità nei dati grezzi per il monitoraggio e la manutenzione delle stazioni permanenti;

- compensazione quotidiana della rete, per un'ulteriore valutazione di qualità e criticità dei dati: distribuzione di ulteriori bollettini sintetici di qualità;
- compensazione settimanale della rete per il suo inquadramento in EUREF e il monitoraggio delle coordinate ITRF e ETRF delle stazioni permanenti;
- servizi di post-processamento e compensazione sui dati grezzi rilevati dagli utenti;
- stime per la modellizzazione in post-processamento dei disturbi atmosferici, che costituiscono allo stato attuale uno dei principali fattori limitanti nell'accuratezza del metodo GPS.

Le stazioni GPS della rete lombarda sono state tutte realizzate con ricevitori, antenne e programmi Topcon distribuiti in Italia dalla Geotop Srl.
La rete lombarda per la fruizione dei servizi propone un abbonamento annuo di iscrizione più una serie di schede prepagate che permettono di scaricare i dati RINEX o i dati in tempo reale fino ad un certo ammontare di secondi.

2.2.2.2 Rete GPS Trentino

La rete trentina nasce da una sinergia tra il Catasto, la Provincia Autonoma di Trento, gestore dell'infrastruttura e dei prodotti forniti, l'Università di Trento che elabora i dati e fornisce supporto tecnico, e la Ditta Informatica Trentina che provvede al monitoraggio dei sistemi operativi, all'archiviazione dei dati ed alla gestione della connettività della rete dal punto di vista informatico. La rete è composta da otto stazioni permanenti di cui sette distribuite lungo il perimetro del territorio e una centrale a Trento (Figura 19). A Trento è anche collocato il centro per la ricezione, archiviazione, elaborazione e distribuzione dei dati (CEDeC), gestito dal personale tecnico del Catasto e collegato con le stazioni periferiche 24 ore al giorno per 365 giorni l'anno. Il centro di elaborazione dati svolge i seguenti compiti:

- controllo della rete e certificazione dei dati rilasciati;
- eventuali aggiornamenti;
- registrazione degli utenti;
- gestione delle richieste di dati contenuti all'interno dell'archivio storico GPS e non disponibili on-line;
- gestione dati statistici relativi al sistema

Figura 19 - Rete trentina.

La rete è al servizio dei professionisti, dei tecnici degli enti pubblici e potenzialmente di tutti i cittadini gratuitamente previa registrazione via web (http://www.catasto.provincia.tn.it/TPOS_-Trentino POsitioning Service/). Sono disponibili due categorie di dati:

1. dati RINEX (*post-processing*) campionati a 1,5,15 e 30 secondi. I dati vengono conservati per un periodo massimo di sei mesi, al termine dei quale vengono cancellati dal sito web anche se rimangono disponibili nell'archivio storico gestito dall'unità centrale di elaborazione dati.
2. correzioni differenziali per le singole stazioni permanenti e correzione di rete in formato RTCM 2.3 e 3.1 create secondo l'approccio MAC (si veda il paragrafo 2.2.4 per una trattazione più dettagliata). Ai dati in tempo reale di può accedere via GPRS o GSM.

Le stazioni della rete trentina sono costituite da *software* ed *hardware* "Leica".

2.2.2.3 Rete GPS Friuli Venezia Giulia

La rete Friuli Venezia Giulia (FGV) istituita nel 1999 per soddisfare le esigenze di tecnici regionali che per competenza istituzionale devono effettuare misurazioni topografiche urgenti e precise ovvero, più frequentemente, localizzare elementi rilevanti per la gestione del territorio. Attualmente la rete è disponibile anche per utenti esterni. La rete FVG è composta da sei stazioni permanenti (Figura 20) seppure si stia progettando di aggiungere ulteriori tre stazioni permanenti. La scelta dei siti di ubicazione è stata effettuata in base a precisi criteri di tipo sia tecnico sia logistico: l'idoneità dei siti destinati ad ospitare le Stazioni GPS permanenti è stata valutata considerando diversi fattori, quali l'assenza di ostacoli e di disturbi elettromagnetici, l'affidabilità statica del sito, la distribuzione geografica dei siti stessi. Dal punto di vista logistico si è scelto di collocare le stazioni permanenti GPS presso sedi periferiche di Uffici Regionali per garantire l'accessibilità diretta alla strumentazione, la continuità di alimentazione elettrica e il collegamento alla rete telematica regionale.

Figura 20 - Rete GPS Friuli Venezia Giulia (FVG)

Dal sito regionale (http://www.regione.fvg.it/asp/gps/gps.htm) è possibile accedere a tre diverse tipologie di servizi offerti gratuitamente all'utente:

- *download* dei file in formato Rinex delle sei stazioni scegliendo fra diverse epoche di registrazione (*files* orari campionati a 1 e 5 sec e *files* giornalieri campionati a 30 sec);
- accesso all'archivio storico dei dati;

- collegamento all'Ntrip *caster* della Regione per effettuare il *download* dei dati in tempi reale (correzioni DGPS e RTK) in formato RTCM 2.x.

Hardware e *software* relativi a tutte le stazioni permanenti sono Trimble.

I dati sono distribuiti attraverso il portale della Regione Friuli Venezia Giulia e distribuiti dalla Insiel, concessionaria dei servizi informatici della Regione che utilizza la RUPAR (Rete Unitaria Pubblica Amministrazione Regionale) come rete telematica di collegamento tra le stazioni GPS e il centro di controllo ed elaborazione dati.

2.2.2.4 Rete GPS Emilia Romagna

In Emilia Romagna il progetto preliminare di rete di stazioni permanenti risale al 15 febbraio 2002, quando la Regione sottoscrisse un protocollo d'intesa con i Collegi dei Geometri della propria area in cui si prevedeva che i nove Collegi, tramite un proprio soggetto concessionario, avviassero subito la creazione dell'infrastruttura il cui completamento era previsto entro l'anno. Tale progetto prevedeva per la Regione Emilia-Romagna una compartecipazione finanziaria alla realizzazione e gestione dell'infrastruttura dei Geometri nei primi cinque anni di attività in cambio sia di una serie di requisiti tecnici progettuali ed operativi, sia dell'uso gratuito dell'infrastruttura per le attività che non implicassero attività commerciali/professionali relative all'aggiornamento geometrico catastale. La realizzazione della rete che prevede 15 Stazioni Permanenti GNSS è stata affidata alla GEOTOP s.r.l.. Sono stati installati ricevitori Topcon Odissey-RS GPS/GLONASS ed il Software GEO++ GNSMART per la gestione dei dati, per il post processamento e la generazione della correzione differenziale in tempo reale (VRS e FKP). Il progetto prevede la monumentazione delle Stazioni Permanenti GPS/GLONASS, a totale copertura della Regione Emilia Romagna, e la costituzione di un centro per il controllo della rete e per l'erogazione dei servizi all'utenza che verrà realizzato a Bologna. Attualmente sono operative soltanto cinque stazioni (Figura 21).

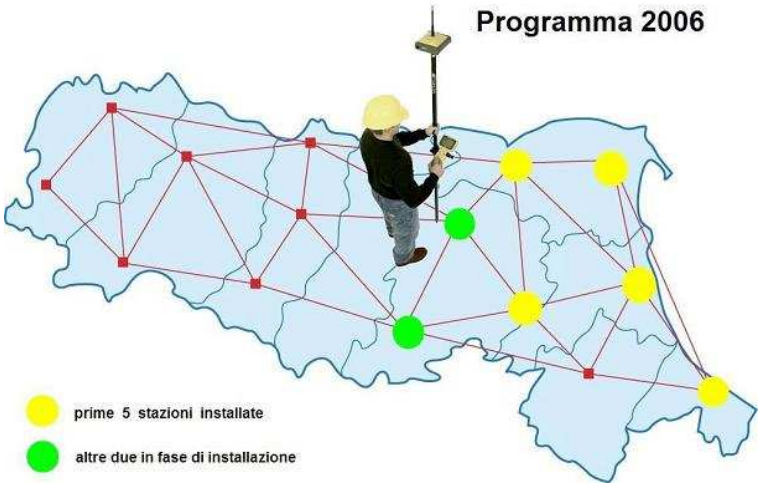

Figura 21: Progetto della Rete GPS Emilia Romagna.

L'Università di Bologna ha testato, e sta ancora studiando, varie configurazioni di rete (VRS, approccio MAC, coefficienti FKP) per determinare quale sia l'approccio più adatto alle esigenze e caratteristiche della rete regionale.

2.2.3 La rete geodetica del Veneto tra vecchi e nuovi *standard*

La cartografia regionale adotta il sistema Roma40 e, nel contempo, sono presenti nel territorio regionale numerosi vertici IGM95. Anche il Catasto sta effettuando dei rilievi di raffittimento appoggiati a vertici IGM95, recependo quindi le indicazioni del mondo scientifico – accademico di inadeguatezza del sistema Cassini Soldner e del Gauss Boaga. Il territorio della Regione Veneto inoltre è interessato dalle zone 32 e 33 UTM (Fuso Est e Ovest Gauss Boaga), cosa che è fonte di difficoltà da parte dei programmi GIS che richiedono normalmente una unicità del sistema di coordinate. In ambienti scientifici è stato segnalato che l'introduzione di un fuso unico sarebbe senz'altro auspicabile e non creerebbe eccessivi problemi numerici, essendo le distorsioni calcolabili con sufficiente precisione.
L'attività di ricerca di partecipazione in organi e progetti scientifici sia a livello nazionale che europeo ed internazionale avviata dall'Università di Padova, ha comportato un ottimo livello di conoscenza nel settore; inoltre esiste uno stretto e costruttivo rapporto di collaborazione tra Università e Regione su diversi temi, quali la livellazione di alta precisione, la gravimetria e il modello del geoide, la rete di stazioni permanenti GPS ed il monitoraggio di deformazioni in aree sismiche o subsidenti.
Vi è infine la consapevolezza che alcune regioni limitrofe si sono completamente o in parte attrezzate con reti di stazioni permanenti GPS e/o GPSGLONASS, in grado di distribuire correzioni differenziali in tempo reale in supporto al rilievo di campagna, e dall'altro lato, che esistono in ambito veneto tutte le competenze e l'esperienza necessarie per realizzare analoghe infrastrutture.

Gli obiettivi principali sono:

A) istituzione di una rete geodetica attiva, costituita da 15-20 stazioni permanenti, le cui coordinate siano regolarmente calcolate e controllate, tipicamente su scala settimanale, in analogia con quanto fatto a livello europeo con l'European Permanent Network, e in sintonia con i piani dell'IGM;
B) disponibilità dei segnali correttivi DGPS-RTK in tempo reale, scaricabili gratuitamente da Internet con il protocollo Ntrip, secondo gli *standard* europei, anche in modalità Virtual Reference Station;
C) disponibilità dei dati RINEX delle stazioni della rete sul portale Internet della Regione del Veneto, anch'essi scaricabili gratuitamente.

2.2.4 Tempo Reale (RTK)

Se più ricevitori vengono usati per tracciare simultaneamente gli stessi satelliti, le loro misurazioni possono essere combinate dando luogo a tecniche di posizionamento relativo in tempo reale che permettono di correggere fino al 90% degli errori di misura. Tali tecniche solitamente prevedono una stazione che si trova in una posizione nota (stazione di riferimento) mentre l'altra, la cui posizione va determinata, è in continuo movimento (*rover*). Il ricevitore di riferimento confronta la sua posizione (nota) con quella calcolata a partire dai dati ottenuti dai satelliti visibili; la differenza tra i due valori costituisce l'errore di misura che viene trasmesso al *rover* in qualità di correzione differenziale (Figura 22).
Due tra le tecniche più diffuse di posizionamento relativo sono il "*Differential Global Positioning System (DGPS)*" e il *"Real Time Kinematic (RTK)"*. Il metodo DGPS calcola la distanza *rover*/stazione di riferimento a partire dal tempo impiegato dal segnale trasmesso dal satellite per raggiungere il ricevitore, mentre il metodo RTK misura non soltanto il tempo, ma anche la fase dell'onda portante, andando a rilevare il numero di cicli d'onda contati dal ricevitore. L'accuratezza delle misure va da 0.5 m a 5 m per il DGPS e da 20 cm a 1 m per l'RTK (raggiungendo addirittura una precisione di 1- 5 cm nel caso di soluzioni RTK FIXED).

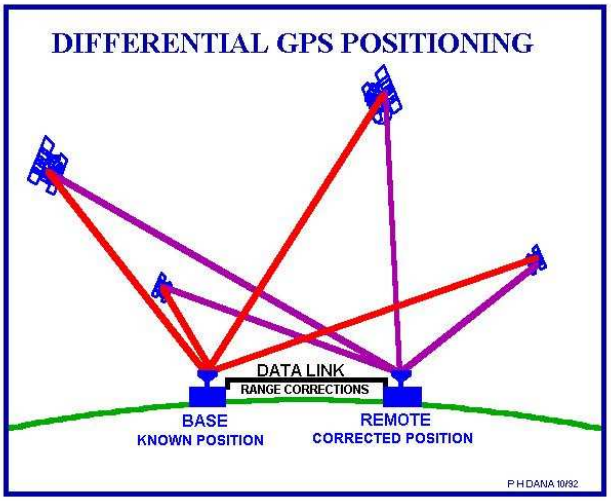

Figura 22 - Posizionamento satellitare differenziale (DGPS).

Una *rete di stazioni permanenti* generalmente è un insieme di stazioni che spediscono le correzioni differenziali (di codice, DGPS, o di fase, RTK) ad un centro elaborazione dati (*data center*) con il quale sono continuamente connesse. Il centro archivia i dati provenienti dalle varie stazioni creando un database di correzioni regionali in continua evoluzione. Il data center utilizzerà i dati provenienti da tutte le stazioni della rete per elaborare i modelli di correzione degli errori più adatti alle caratteristiche specifiche della rete stessa. Le correzioni differenziali così calcolate verranno inviate ad ogni singola stazione della rete. In Figura 23 è rappresentata la copertura di una rete costituita da un insieme di stazioni singole. La precisione delle misure è influenzata dalla distanza dalla stazione di riferimento e dall'attività ionosferica e troposferica nella zona. Le aree gialle e verdi, dove precisione e tolleranza sono accettabili, sono piccole e separate le une dalle altre senza consentire, così, una copertura omogenea della rete.

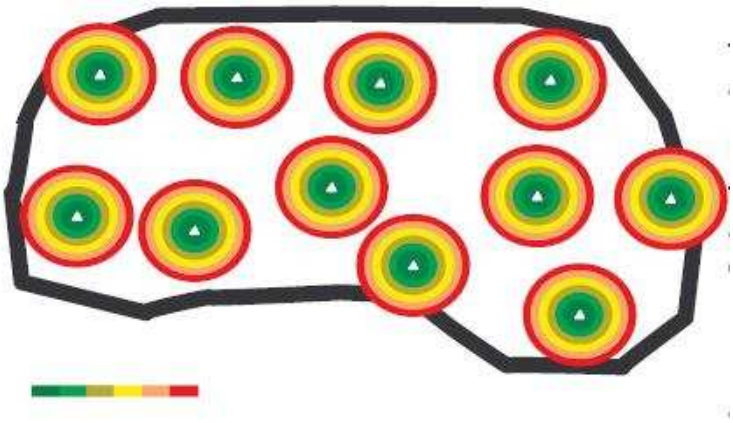

Figura 23 - Copertura di una rete costituita da più stazioni singole.

Nella Figura 24, invece, è rappresentata la copertura fornita da un insieme di stazioni che costituiscono una rete strutturata di stazioni permanenti. La precisione è omogena in tutta l'area della rete e le correzioni differenziali non sono influenzate dalle caratteristiche di un'unica stazione.

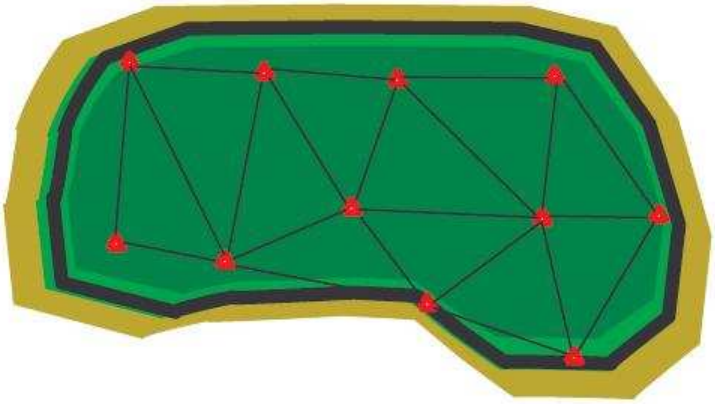

Figura 24 - Insieme di stazioni permanenti che costituiscono una rete.

Lo stato dell'arte tra i *data format* delle correzioni differenziali è rappresentato dallo *standard RTCM,* sviluppato dalla Radio Technical Commission for Marittime Service in più versioni successive. La prima versione, sviluppata nel 1983, permette di conseguire un'accuratezza di circa 5 m ed è limitata a correzioni DGPS, la versione 2.0 (1990) e stata sviluppata per risolvere alcune problematiche di carattere implementativo evidenziate dalla versione precedente, la versione 2.1 (1994) è stata estesa alle correzioni RTK per garantire una precisione dell'ordine di qualche decina di centimetri, la versione 2.2 comprende anche le correzioni relative ai satelliti GLONASS (1998), la versione 2.3 (2001) attualmente tra le più diffuse, integra i segnali GPS con i

segnali radio del sistema LORAN C, per ottenere correzioni ancora più precise, mentre l'ultima versione, RTCM 3.0 (2004), ideata proprio per la diffusione di correzioni relative a reti RTK, è più efficiente delle precedenti e permette di occupare una banda di segnale più ristretta. Le correzioni RTCM si differenziano da altre tipologie di dati GPS, come per esempio i dati RINEX (Receiver Independent EXchange format) utili ai fini di un processo di post-elaborazione, in quanto forniscono le correzioni differenziali di codice e fase, la posizione del ricevitore (*rover*), lo stato di salute di ogni satellite e altre informazioni in tempo reale, ovvero sono in continuo aggiornamento e pertanto risultano molto adatte ad applicazioni che richiedano un elevato grado di precisione.
Il protocollo dedicato alla trasmissione di dati GNSS via Internet in tempo reale, e in particolare delle correzioni differenziali, è il protocollo Ntrip (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). L'Ntrip è un protocollo di livello applicativo, generico, basato su protocollo HTTP/1.1 che supporta il flusso di distribuzione continuo (*streaming*) di dati GNSS via Internet tramite protocollo TCP/IP (è possibile anche usare il protocollo UDP anche se è meno diffuso). L'Ntrip è stato ideato per disseminare correzioni differenziali o altri generi di dati GNSS via Internet ad utenti stazionari o in movimento, permettendo connessioni simultanee di PC, computer portatili, PDA o ricevitori a un *broadcasting host*.
Tale protocollo è stato sviluppato dal BKG nell'ambito di un progetto promosso dall'EUREF, ovvero la commissione responsabile dei sistemi di riferimento europei, ed è già stato testato in varie configurazioni anche se è ancora in fase di sviluppo. L'Ntrip permette accessi *wireless* ad Internet anche tramite reti IP supportate da dispositivi mobili, come GSM, GPRS, EDGE o UMTS.
Il protocollo Ntrip è costituito da quattro componenti *software* (Figura 25): l'Ntrip Source che genera un flusso di dati in una locazione specifica, l'Ntrip Server che trasferisce tale flusso di dati all'Ntrip Caster (ovvero il server HTTP) che permette l'effettiva distribuzione via Internet delle correzioni RTCM/RTK e l'Ntrip Client che può accedere al flusso di dati dell'Ntrip Source prescelta distribuito dall'Ntrip Caster. L'Università di Padova agisce da Ntrip Caster e attualmente distribuisce in Internet le correzioni differenziali di una serie di stazioni di riferimento controllate direttamente dall'Università stessa o appartenenti ad enti esterni che si appoggiano all'università per assistenza tecnica, monitoraggio, controllo delle correzioni differenziali e distribuzione delle stesse in tempo reale.

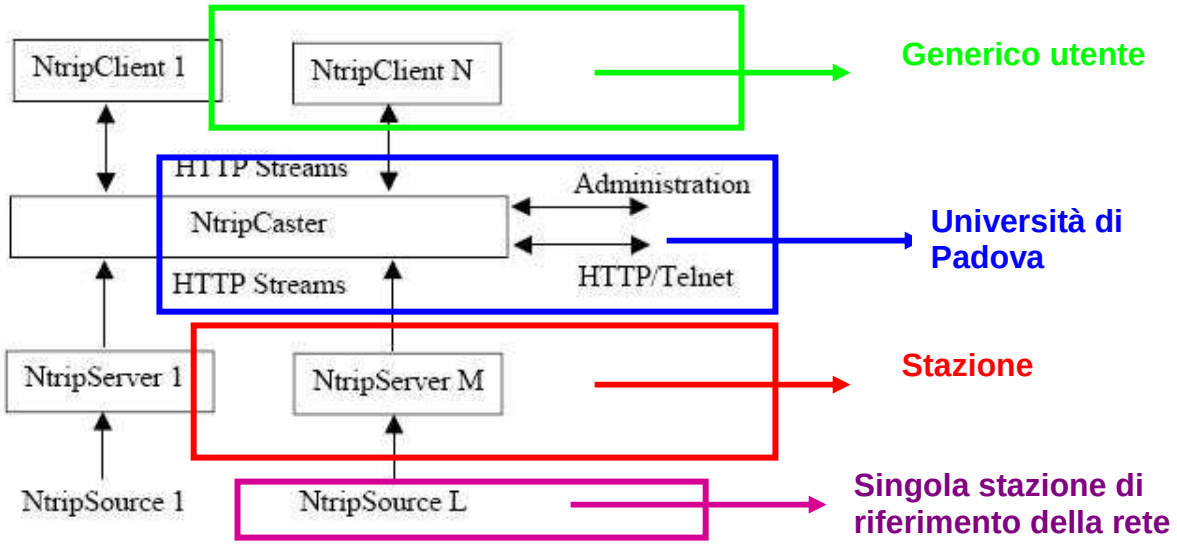

Figura 25 - Componenti *software* del protocollo Ntrip.

2.2.5 Affidabilità delle correzioni differenziali trasmesse ed esempi di applicazioni delle stesse

Diversi e molteplici sono i possibili utilizzi dei dati provenienti da una rete strutturata ed affidabile di stazioni permanenti. In questa sezione verranno illustrate alcune possibili applicazioni dei dati e una serie di test effettuati per verificarne l'effettiva affidabilità.

2.2.5.1 Test per verificare l'affidabilità delle correzioni differenziali trasmesse

Sono state effettuate diverse campagne di test in giorni diversi e utilizzando strumenti differenti per verificare l'effettiva affidabilità delle correzioni differenziali distribuite dall'Università di Padova. Uno stesso ricevitore (*rover*) posto sempre nella medesima posizione ha acquisito una serie di circa 200 punti in modalità assoluta (*single point positioning*), in modalità DGPS (correzione di codice) e in modalità RTK (correzioni di codice e fase).
In Figura 26 è mostrata la proiezione nel piano est-nord dei punti acquisiti in modalità GPS, DGPS e RTK rispettivamente. Tali risultati sono relativi ad una campagna d'acquisizione effettuata in data 25/06/2007 utilizzando il ricevitore Trimble R6 con antenna integrata capace di collegarsi via *bluetooth* al *controller* Trimble TSC2 e connettersi tramite lo stesso ad Internet.

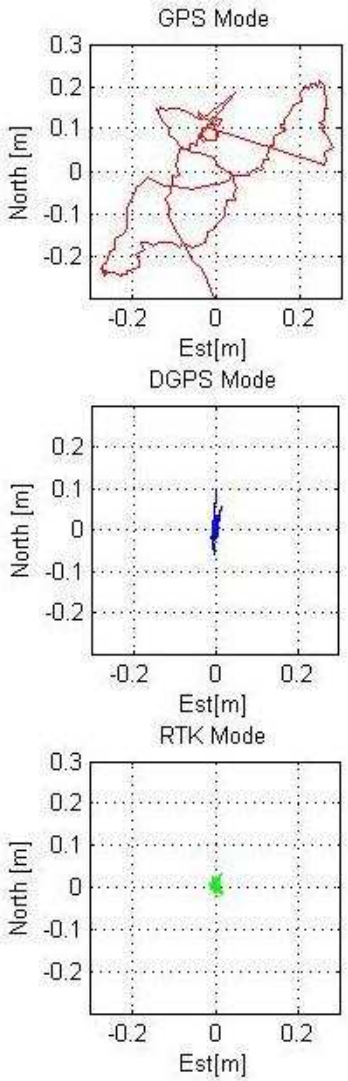

Figura 26 - Nuvola di punti relativa ad acquisizioni in modalità GPS, DGPS e RTK rispettivamente.

Il sito scelto per il rilevamento è il tetto della sede del CISAS (Via Venezia 15, Padova) e la stazione di riferimento per le correzioni differenziali è quella di Padova (PADO) posta sul tetto dello stesso edificio.
Nella Figura 27 viene riproposto lo stesso diagramma della figura Figura 26 dove, però, vengono riportati solo i grafici relativi ai rilevamenti in modalità DGPS e RTK.

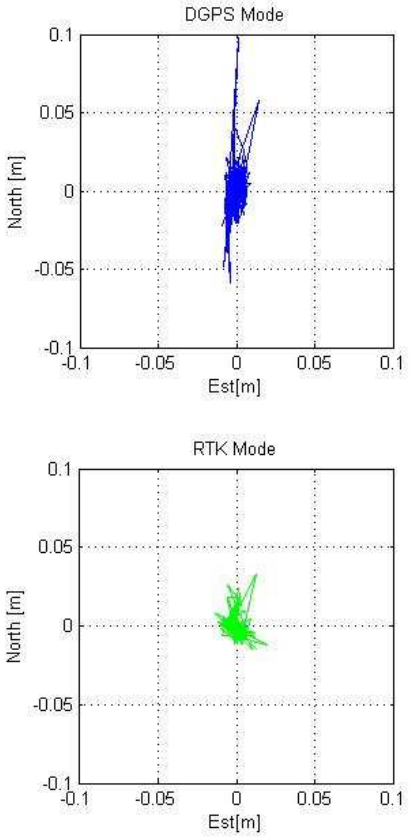

Figura 27 - Nuvola di punti relativa ad acquisizioni in modalità DGPS e RTK rispettivamente.

Come si può osservare analizzando la Figura 26 e la Figura 27 e i risultati della Tabella 3 che riporta l'intervallo di variazione nella direzione est e nord per ciascuna delle tre modalità di rilevamento, si può concludere che le misure effettuate utilizzando le correzioni differenziali sono decisamente più precise di quelli ottenuti in modalità "*single point positioning*" e che, come ci si poteva aspettare, il rilevamento in modalità RTK risulta ancora più accurato di quello in modalità DGPS.

RILEVAMENTO	INTERVALLO DI VARIAZIONE NELLA DIREZIONE EST [cm]	INTERVALLO DI VARIAZIONE NELLA DIREZIONE NORD [cm]
GPS	55.686	53.905
DGPS	2.363	15.704
RTK	3.285	4.806

Tabella 3 - Intervallo di variazione nella direzione est e nord per le tre diverse modalità di rilevamento.

2.2.6 Gli *standard* EUREF

EUREF si colloca come interfaccia tra la comunità scientifica e quella applicativa. In tale contesto, recepisce i risultati della ricerca scientifica e li organizza in un ambiente razionale e sistematico, che può essere direttamente fruibile dall'utenza non scientifica.
Gli *standard* EUREF riguardano:

- la monumentazione e la tipologia della strumentazione GPS
- le comunicazioni
- il modello delle osservazioni GPS da utilizzare nella riduzione dei dati

Nel seguito è presentata una sintesi a carattere indicativo (per maggiori dettagli sulle linee guida si rimanda al sito www.epncb.oma.be).
Si precisa inoltre che gli *standard* EUREF recepiscono gli *standard* dell'IGS.

Per la tipologia della strumentazione si è già precisato che l'antenna deve essere a doppia frequenza del tipo Choke Ring, o comunque dotata di calibrazione assoluta in camera anecoica. L'IGS mantiene una tabella di tali antenne certificate e pubblica i coefficienti di calibrazione. Alcune stazioni richiedono una calibrazione esplicita per le loro antenne, e questo risulta in un *set* di coefficienti di calibrazione specifici per quella antenna con uno specifico numero di serie. Il ricevitore è proposto anche con la costellazione GLONASS, in quanto si ritiene questo sistema ormai maturo per integrare il GPS, che comunque rimane il sistema principale. Il sistema Galileo non è ancora pienamente sviluppato e pertanto è ritenuto prematuro prevedere il suo utilizzo esplicito.

Lo *standard* di monumentazione prevede un basamento su roccia o pilastri portanti in cemento, assenza di superfici riflettenti, specie se metalliche, e di trasmettitori in banda o comunque con frequenze le cui armoniche possano ricadere nella banda L del GPS. Si richiede infine un orizzonte circolare sgombro da ostruzioni della linea di vista ai satelliti, con maggiore tolleranza sulla parte Nord che per motivi di geometria orbitale non è interessata dai passaggi dei satelliti.

La ricerca ha comunque dimostrato che il concetto di monumentazione stabile diventa aleatorio quando si lavora a precisioni millimetriche. Deformazioni termiche nel supporto dell'antenna, cicli stagionali dell'acqua nel sottosuolo, assestamenti delle fondazioni, subsidenze locali determinano variazioni periodiche o secolari che sono nettamente visibili nei dati. Lo studio delle instabilità locali è pertanto di grande importanza per definire un profilo di "rumore" di ciascuna stazione, "rumore" che avrà una componente a rumore bianco e una o più componenti spettrali dipendenti dalla frequenza, in genere secondo una legge di potenza, più una componente ciclica con periodo tipicamente di un anno. Non sono considerate componenti a frequenza più elevata, quali ad esempio il *multipath* con periodo di circa 5 – 10 minuti, in quanto si mediano nell'arco dell'analisi giornaliera o settimanale.

Gran parte delle stazioni GPS EUREF inviano i files dati a cadenza oraria, e in prospettiva a 15 minuti, in supporto alle applicazioni meteorologiche. Vi è inoltre lo *streaming* dei dati in tempo reale per le applicazioni RTCM/RTK. Si riconosce pertanto la validità delle specifiche sulle comunicazioni, che richiedono un collegamento internet veloce ed affidabile. Questo anche per consentire il monitoraggio del ricevitore in modalità remota, reso possibile da una scheda LAN montata all'interno di tutti i ricevitori per stazioni permanenti.

Le specifiche scientificamente più importanti attengono gli *standard* di elaborazione. Si prevede che i valori delle orbite, del moto del polo e A1-UT1, del *datum* (dimensioni della terra, costante di gravitazione, velocità angolare media della terra, coefficienti del campo gravitazionale terrestre) siano vincolati a valori convenzionali fissati dallo IERS (International Earth Rotation Service). Analogamente, per le deformazioni mareali della crosta e il carico oceanico, gli effetti sulle coordinate delle stazioni sono modellati, non stimati. Normalmente la riduzione dei dati di fase è fatta a livello di doppie differenze, dopo aver stimato le ambiguità intere, nell'arco di una giornata. Le equazioni giornaliere sono poi combinate in una soluzione settimanale. I ritardi troposferici sono infine calcolati rispetto alle coordinate medie settimanali.

Questo tipo di standardizzazione consente e garantisce un tasso elevato di compatibilità tra i prodotti dei vari centri di analisi. Il confronto delle soluzioni effettuato su base giornaliera evidenzia degli scarti tra diversi centri di analisi normalmente non superiore al millimetro.

2.3 La gestione della rete

Attualmente l'Università di Padova ha scelto di testare i vari approcci di rete utilizzando il *software Euronav* proposto dall'azienda tedesca Euronik. Tale *software* permette di realizzare una rete di stazioni permanenti utilizzando soltanto informazioni di codice (rete DGPS). L'Euronav, a differenza dei *software* proposti dalle altre aziende leader nel settore, può essere modificato direttamente dall'utente a seconda delle proprie esigenze, andando a variare i files di configurazione del sistema e ad implementare i modelli e le soluzioni più adatte alla rete specifica. Tale sistema si candida così come strumento estremamente versatile e, come scelta ideale per una realtà come quella universitaria che, oltre alla fornitura di un servizio si propone l'analisi dello stesso al fine di elaborare modelli e soluzioni sempre più efficienti e precisi. Si è deciso, quindi, di procedere innanzitutto ad una prima analisi delle caratteristiche della rete e delle soluzioni ed algoritmi più adatti alle sue caratteristiche tramite l'Euronav, rimandando ad una seconda fase successiva l'analisi e l'implementazione di una rete RTK con l'ausilio di altri *software*. La rete, inoltre, nella sua forma originale era caratterizzata da un numero esiguo di stazioni situate in luoghi parecchio distanti tra loro, così si è deciso di implementare una rete DGPS, meno vincolata da limitazioni geometriche rispetto ad una rete RTK,.

2.3.1 *Software* Euronav

L'Euronav accetta come *input* le correzioni differenziali trasmesse in tempo reale dall'Ntrip Caster dell'Università di Padova (si veda la Figura 28 dove sono evidenziate le stazioni elaborate l'11 luglio 2007 e il numero di satelliti in vista per ogni stazione) ed, elaborando i dati di codice contenuti nei messaggi dello *standard* RTCM permette di visualizzare graficamente alcune informazioni significative.
L'utente, selezionando da *browser* l'indirizzo IP (147.162.229.63) della macchina dove è installato il programma, è in grado di visualizzare l'interfaccia grafica dell'Euronet. La pagina iniziale è caratterizzata da un menù che permette di scegliere la settimana GPS, il giorno del mese, la stazione tra quelle attualmente processate dal programma e il tipo di informazione che si desidera visualizzare (Figura 29).

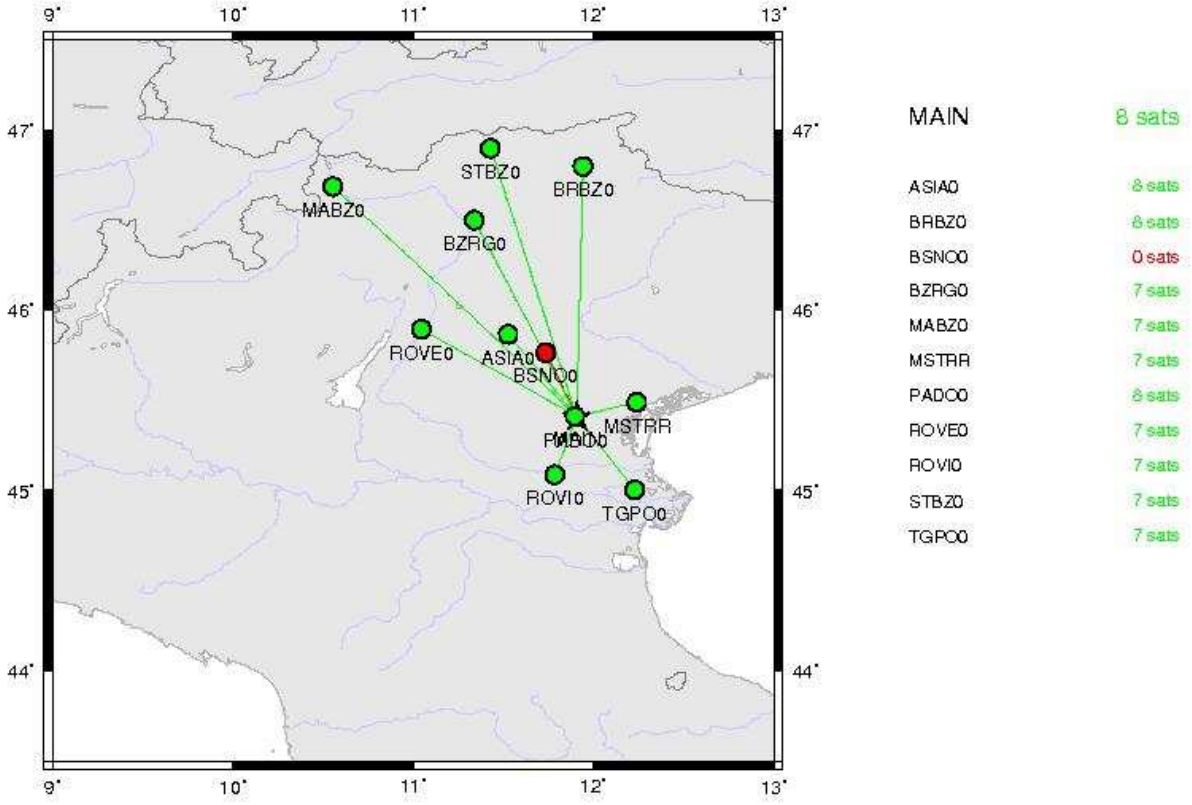

Figura 28 - Stazioni processate attualmente dall'Euronav.

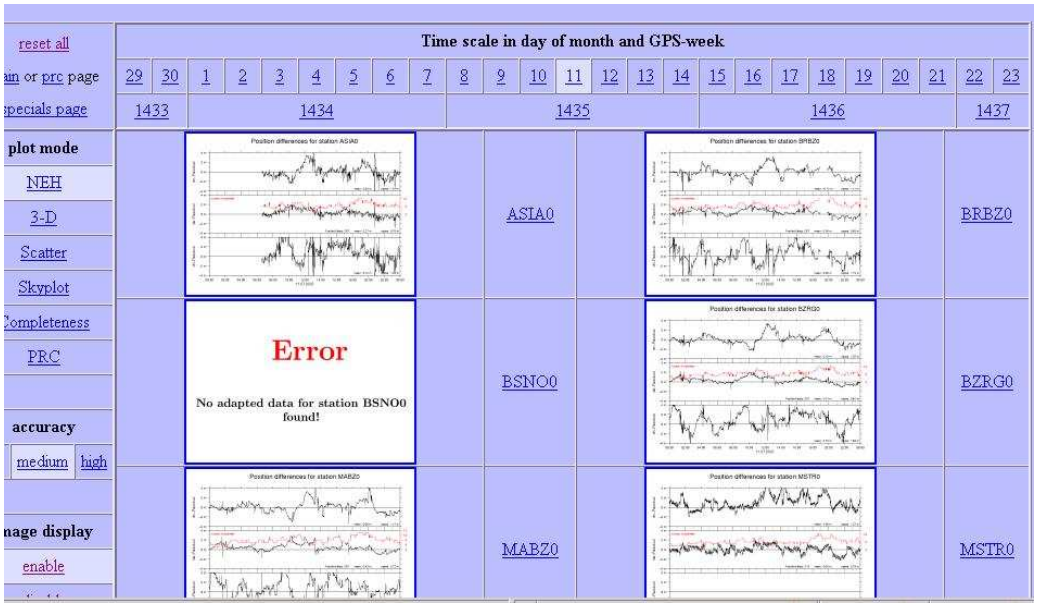

Figura 29 - Interfaccia grafica dell'Euronav: pagina iniziale.

Per ogni stazione è possibile visualizzare lo *skyplot* (Figura 30), i residui delle coordinate nelle direzioni nord, est e up di una o più stazioni messe a confronto (Figura 30) e il relativo *scatter* (Figura 32).
Inoltre è possibile visualizzare graficamente le correzioni di codice relative ad ogni stazione distribuite dall'Ntrip Caster (Figura 33).

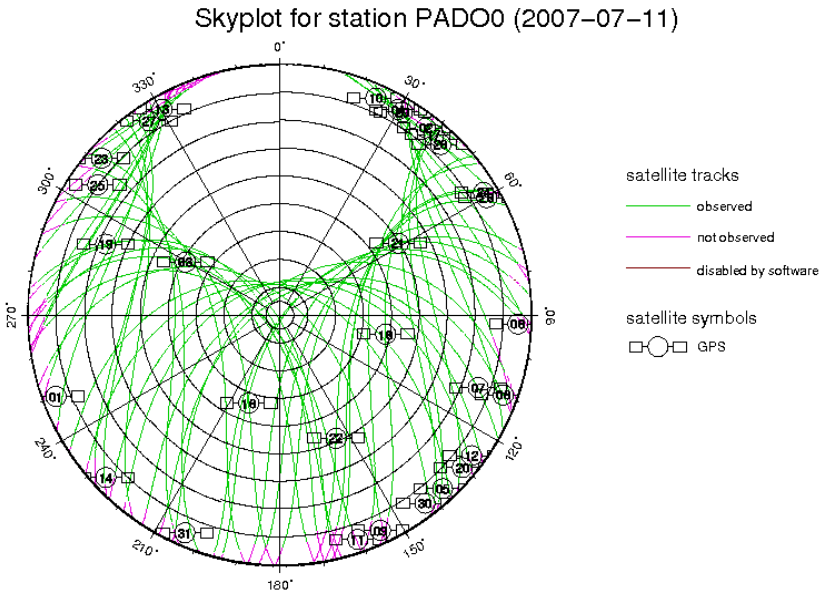

Figura 30 - Skyplot relativo alla stazione permanente di Padova.

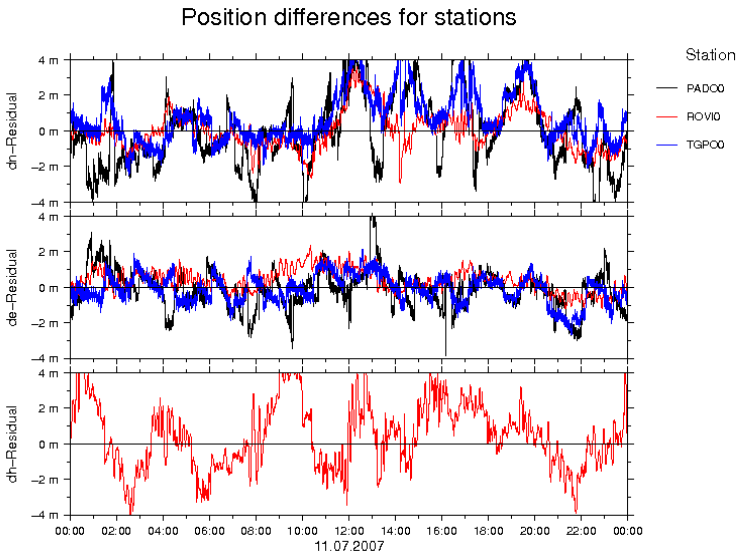

Figura 31 - Confronto tra i residui nelle posizioni delle stazioni di Padova, Rovigo e Taglio di Po.

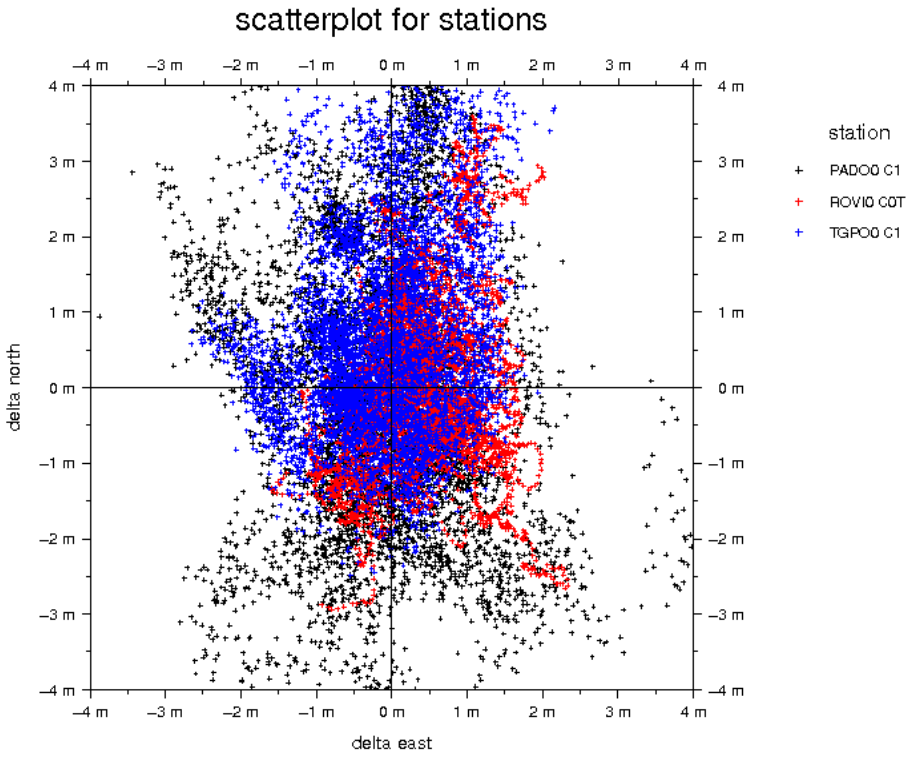

Figura 32 - *Scatter* delle coordinate delle stazioni di Padova, Rovigo e Taglio di Po.

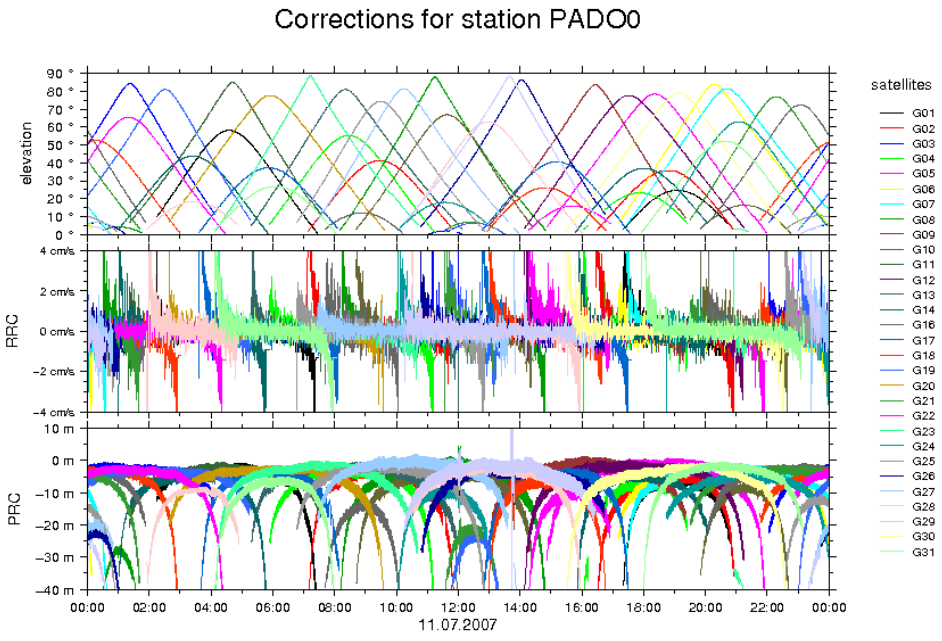

Figura 33 - Correzioni di codice trasmesse dal Caster dell'Università relativamente alla stazione di Padova.

Il *software*, inoltre, permette di definire una rete di stazioni permanenti, elaborando i dati delle quali può essere creata una stazione virtuale (VRS) della quale verranno trasmessi i coefficienti FKP via Ntrip o una griglia di stazioni le cui correzioni saranno trasmesse sempre via Ntrip (Figura 34). Può essere definita, inoltre, una stazione virtuale di riferimento per tale rete, che agisca da *Master Station* ovvero da centro della rete stessa (MAIN) della quale possono essere visualizzate graficamente le correzioni create dall'Euronav in corrispondenza della sua posizione definita dal gestore del sistema (Figura 35).

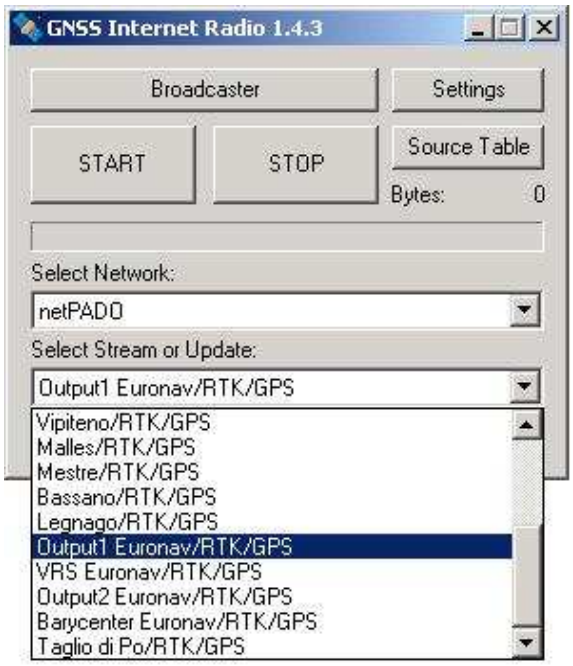

Figura 34 - *Output* dell'Euronav trasmesso via Ntrip.

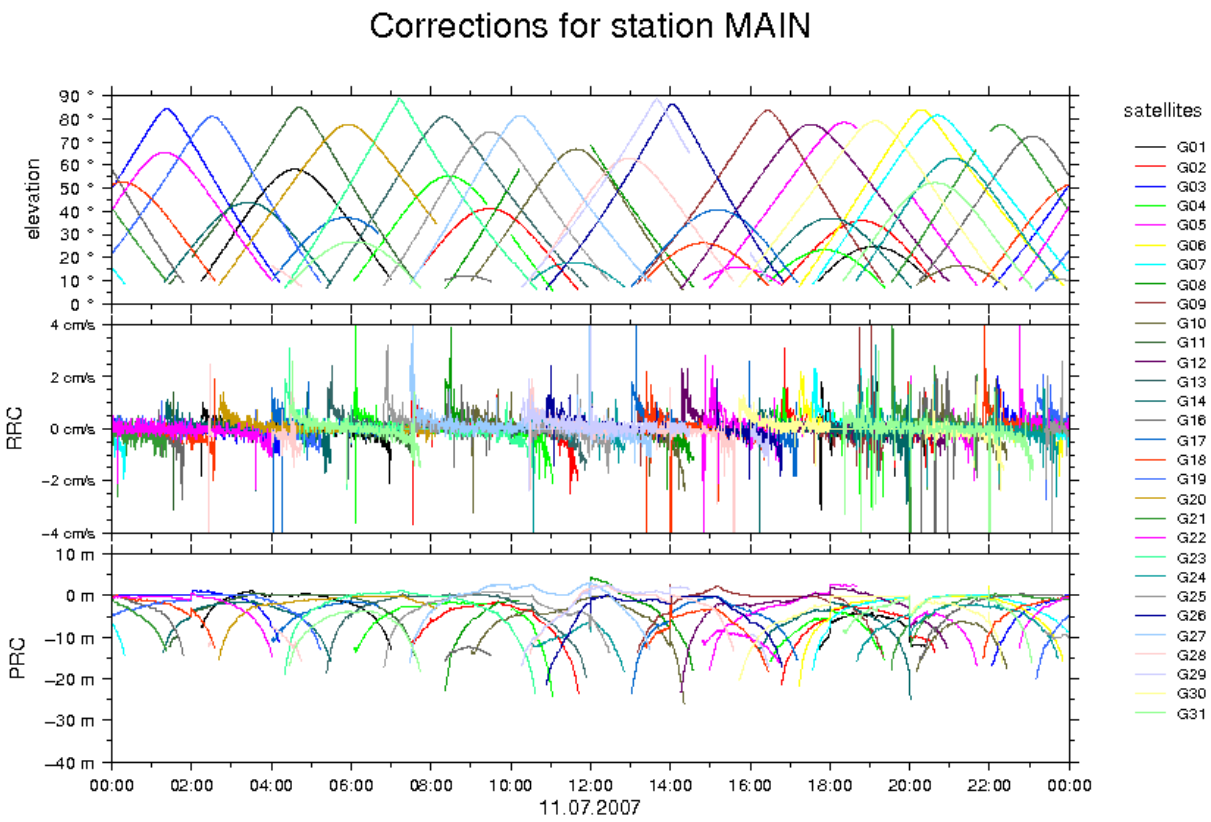

Figura 35 - Correzioni differenziali create in corrispondenza della stazione centrale (virtuale) della rete.

É possibile, inoltre, visualizzare anche delle informazioni aggiuntive, utili per il monitoraggio e la gestione della rete, che permettono una visione d'insieme più completa della rete stessa, quali per esempio il diagramma (Figura 36) che mostra la completezza delle stazioni nell'arco della giornata (ovvero quali erano completamente operative e quali no e in tal caso per che periodo e in che percentuale) o le tracce dei satelliti in vista (Figura 37).

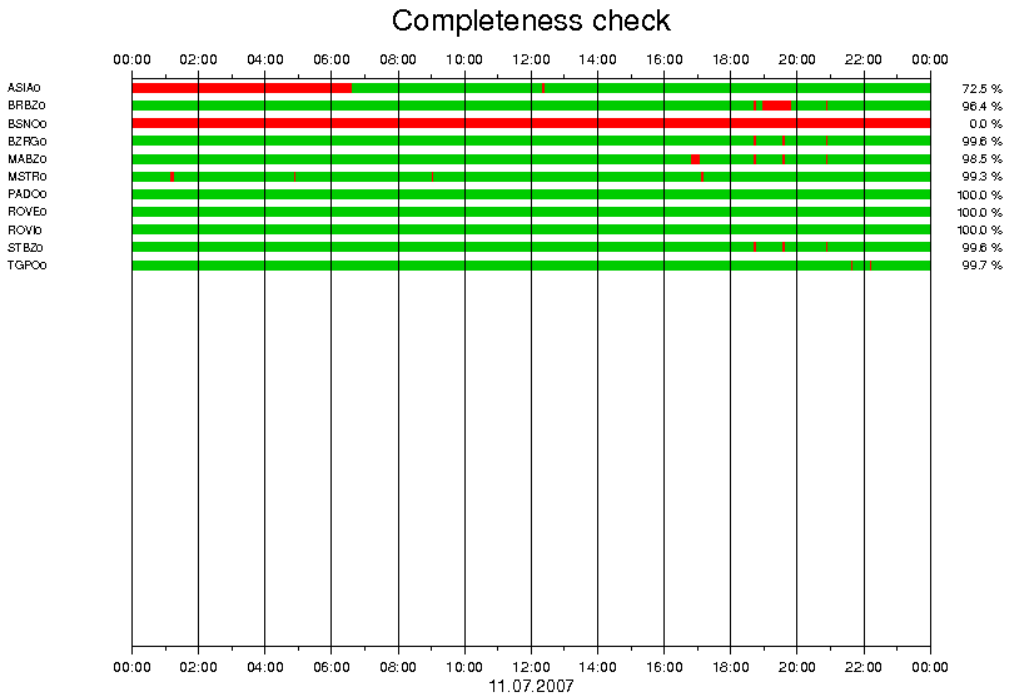

Figura 36 - Funzionamento delle stazioni di riferimento nell'arco della giornata.

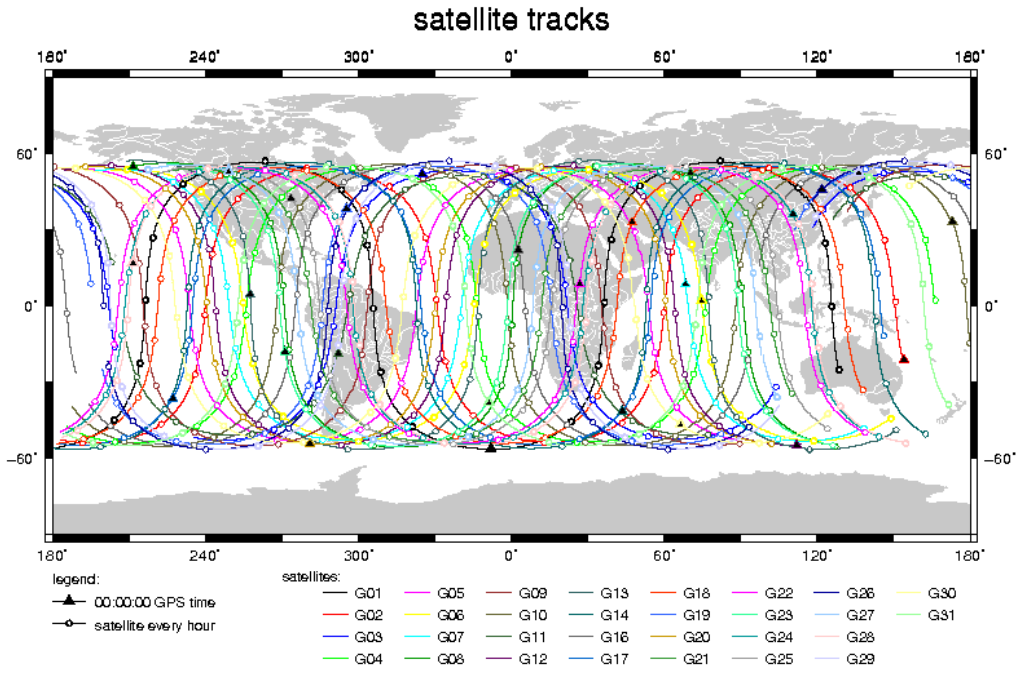

Figura 37 - Tracce dei satelliti.

2.3.2 Le funzioni gestionali e scientifiche dell'Università

Si registrano diverse iniziative private di reti locali o regionali, anche con finalità commerciali, e si ritiene che la materia della definizione e mantenimento del *datum* di riferimento, e della generazione di informazioni con validità anche di tipo giuridico/economico (definizione di confini, calcolo di aree) debba essere condivisa tra i diversi attori del settore per garantire quella fondamentale obbiettività e scientificità

L'Università, nella sua duplice funzione educativa e di ricerca, si propone quindi come naturale candidato per assolvere, per conto degli Organi di Governo Regionale, quei compiti tecnico-scientifici per i quali ha competenza, anche in conseguenza di un'attività di ricerca pluriennale e strutturata che è stata svolta nel corso degli anni anche in previsione di assolvere tale ruolo.

Molto importante è il ruolo formativo, sia in una prospettiva di ricerca, sia nella prospettiva di creare iniziative di tipo *spinoff*, che trasferiscano in ambito privato quelle competenze scientifiche e gestionali che per il momento sono ancora di competenza universitaria.

2.3.3 Il portale regionale e il ruolo della Regione

Il portale web regionale è progettato per essere un luogo dove l'utente possa raccogliere informazioni sulla Rete Veneta di Stazioni Permanenti e anche l'interfaccia mediante la quale l'utente possa accedere ai servizi e ai prodotti della Rete stessa. Per questo motivo il sito web è stato progettato a due livelli:

1) Una prima sezione teorico/divulgativa che documenta la ricerca e l'attività scientifica legata alle stazioni permanenti che l'Università di Padova svolge su argomenti come lo studio dei sistemi di riferimento, dell'elaborazione in tempo reale (*real time*) e *post-processing* di dati GPS, dello studio della propagazione del segnale GPS lungo l'atmosfera (problematiche relative ai ritardi troposferici e ionosferici), calcolo di parametri legati alla qualità del segnale come il SISE (Signal In Space Error) e legato ad altre fonti di errore quali la sincronizzazione del *clock* tra il satellite e il ricevitore.

2) una seconda sezione orientata ad essere un "contenitore" delle informazioni processate dall'Università:
   - File RINEX di osservazione giornalieri campionati a 30 sec
   - Coordinate ETRS89 e ITRF00 calcolate giornalmente per ogni stazione
   - ZTD (Zenith Tropospheric Delay) ritardo troposferico allo zenith per ogni stazione
   - Parametri ionosferici regionali sotto forma di coefficienti per il calcolo del ritardo ionosferico

Il sito è accessibile via web tramite il portale della Regione Veneto (Figura 38)

Figura 38 - Sito web .

Il sito web per la parte grafica è stato realizzato mediante fogli di stile CSS.
Il codice del sito è stato realizzato con linguaggio PHP (in associazione con database MySQL) un tipo di linguaggio orientato al web e al trattamento di una certa quantità di informazioni aggiornabili automaticamente e subito disponibili online. I dati riguardanti le singole stazioni infatti (coordinate, ritardi troposferici, data ultima elaborazione, ecc…) sono memorizzati in database MySQL e aggiornati giornalmente da alcune procedure automatiche.
Lo schema delle procedure automatiche è illustrato nel paragrafo 2.3.3.2.

2.3.3.1 L'interfaccia web per il download dei file RINEX

Per scaricare sul proprio pc i dati RINEX di osservazione giornalieri campionati a 30 secondi si accede alla pagina web che contiene l'elenco delle stazioni venete disponibili e una mappa Google Maps che visualizza la posizione
Ogni pagina dedicata a una stazione contiene delle mappe cliccabili Google Maps e i dati tecnici relativi alle installazioni, comprese le foto delle stesse (come si vede nella Figura 39).

Figura 39 - Informazioni relative alla stazione di Padova

Sono pubblicate giornalmente le coordinate ETRS89 e ITRF00 e per scopi di monitoraggio della stabilità della Rete sono pubblicati dei plot relativi ai residui giornalieri delle varie stazioni.
Nella sezione successiva ci sono le procedure per il *download* dei dati RINEX.
L'utente può ricercare il file RINEX desiderato attraverso la ricerca in un calendario apposito, che riporta il giorno del mese e il giorno dell'anno (Figura 40). Attraverso la navigazione in questo calendario si possono scorrere i mesi per verificare la continuità dei dati RINEX relativi alla stazione prescelta.

Figura 40 - Sezione relativa al download dei dati RINEX.

2.3.3.2 Lo schema di funzionamento delle procedure giornaliere

Lo schema in Figura 41 illustra in sintesi le procedure giornaliere che vengono svolte sui calcolatori dell'Università di Padova. La prima parte dell'elaborazione mediante *software* Bernese con orbite rapide viene svolta presso il dipartimento di Geoscienze. I risultati dell'elaborazione vengono poi trasmessi via ftp automaticamente al calcolatore presente presso il CISAS che svolge al tempo stesso la funzione di web server. Su questo calcolatore vengono applicate le procedure necessarie per "formattare" i dati dagli *output* del Bernese in formato testo e predisponendoli per l'inserimento nei database MySQL del server locale. Tutti questi *script* utilizzano il linguaggio Perl, per la ragione che questo tipo di linguaggio è il più adatto a trattare i testi e a svolgere operazioni di pattern recognition.

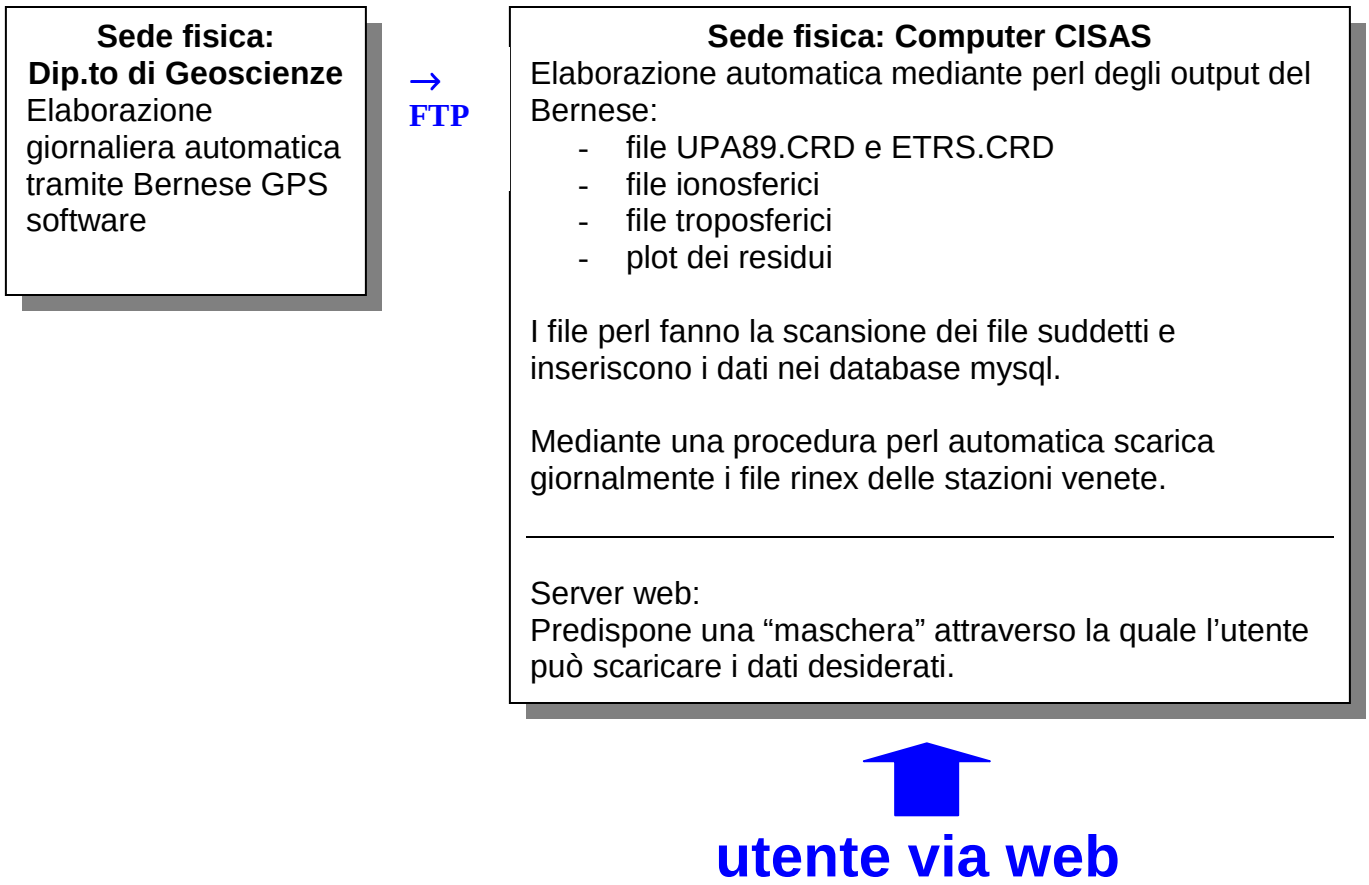

Figura 41 - Schema di funzionamento delle procedure giornaliere.

2.3.3.2 Verto3

Il *software* Verto3, prodotto dall'IGM, evoluzione di Verto1 e Verto2, consente, come gli altri, la conversione di coordinate fra i Sistemi Geodetici di Riferimento più comunemente utilizzati oggi in Italia (ROMA40, ED50 e $WGS84_{ETRS89}$) in tutte le possibili combinazioni. Oltre alle coordinate geografiche, il programma consente di trattare anche coordinate piane appartenenti ai Sistemi Cartografici normalmente associati ai Sistemi Geodetici suddetti: Gauss-Boaga per ROMA40, UTM per ED50 e WGS84.
Questa funzionalità consente la trasformazione fra Sistemi di Riferimento della posizione di punti espressi sia in coordinate geografiche che in coordinate piane. Il passaggio da geografiche a piane è possibile sia all'interno dello stesso sistema che fra Sistemi Geodetici diversi.
Per i passaggi fra Sistemi sono necessari i file dei grigliati (estensione gr1, ora evoluti in .gr2). La procedura prevede la selezione del file con il quale si vuole operare, scegliendolo nella "***list box***" presente nella parte superiore della cornice "***Zona di lavoro***", nella parte centrale della stessa cornice è mostrata la zona nella quale il file selezionato consente di operare. I limiti approssimativi di tale zona sono espressi in coordinate geografiche, con le longitudini riferite sia a Greenwich che a Roma, o in coordinate piane, secondo il tipo di coordinate selezionato in *input*. Nella parte bassa della cornice sono mostrate le epoche di riferimento delle griglie che il file selezionato consente di utilizzare.
Le trasformazioni all'interno dello stesso Sistema di Riferimento sono invece possibili su tutto il territorio nazionale senza l'ausilio dei file *.gr1 contenenti le porzioni di grigliato.
E' possibile operare nella zona compresa fra i paralleli 34° e 49° latitudine Nord, e fra i meridiani 5° e 20° longitudine Ovest da Greenwich.

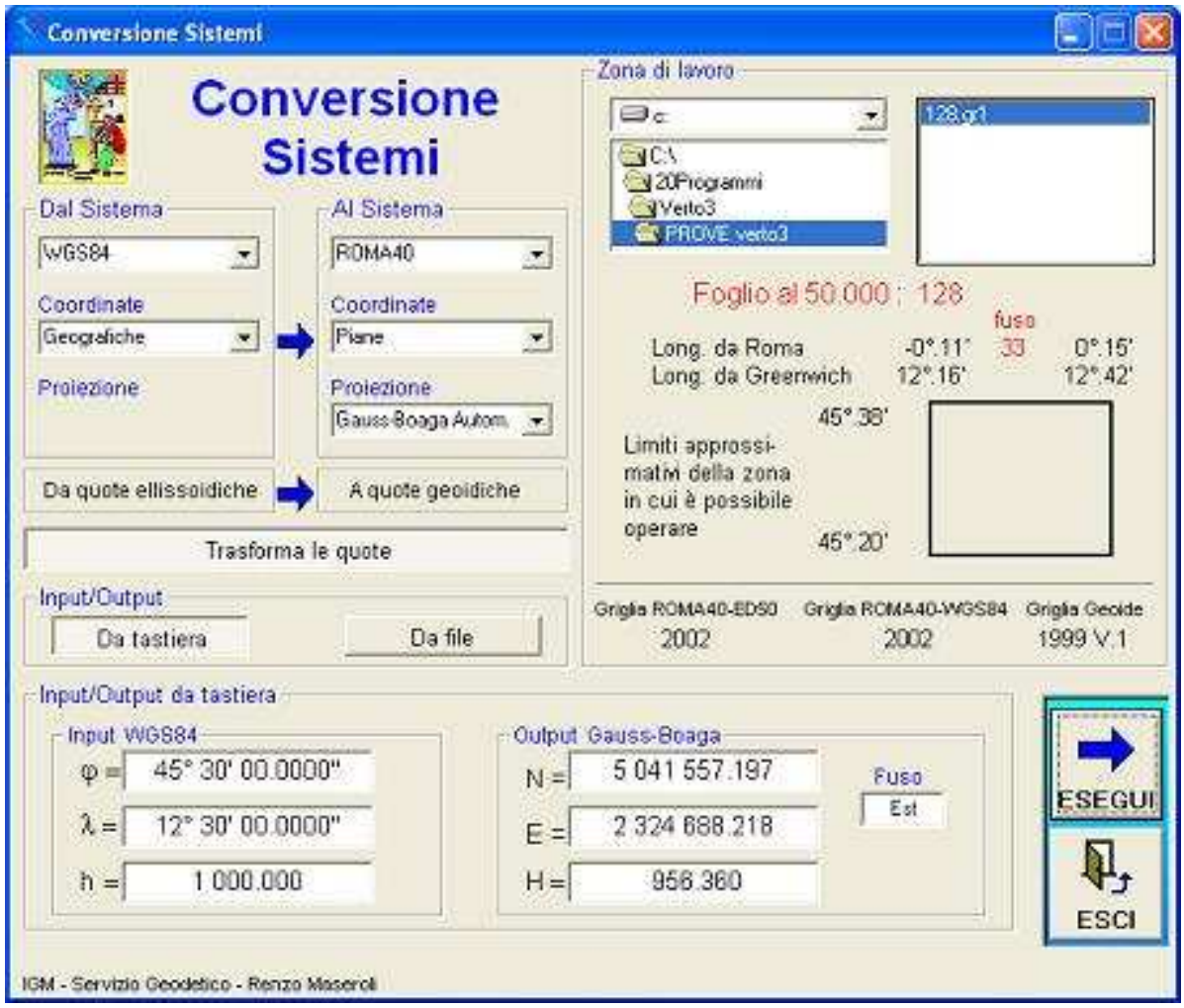

Figura 42 - Verto3.

L'utilizzo del programma Verto3 per scopi scientifici è molteplice, quali la trasformazione delle coordinate GPS in ROMA40 Gauss Boaga ed il confronto delle quote GPS con le quote ortometriche proprie della livellazione, tramite l'altezza del geoide.
La relazione scientifica tra queste grandezze è infatti data dalla formula:

$$H_{GPS} - H_{livel\ l} = N_{geoide}$$

E' in corso di sviluppo uno studio riguardante proprio l'accuratezza con la quale si può misurare l'altezza del Geoide.
La Tabella 4 riporta i risultati preliminari.

#	STAZIONE	QUOTA ELLISSOIDICA H (M)	QUOTA ORTOMETRICA H = H-N(VERTO3) (M)	GEOIDE VERTO 3 N(VERTO) 3(M)	L1 QUOTA ORTOMETRICA MISURATA CON LIVELLAZIONE GEOMETRICA (M)	DIFFERENZA	CSO IGM 2005
1	asia	1093,6742	1044,644	49,03			
2	fdos	1889,3207	1838,206	51,115			
3	pado	64,708	20,567	44,141			
4	rove	261,686	212,474	49,212			
5	rovi	62,7843	19,869	42,915			
6	vear	46,77	3,358	43,412			
7	cava	48,343	4,944	43,399			
8	bsno	190,498	143,781	46,717			
9	volt	54,436	10,411	44,025			
10	tgpo	49,358	7,273	42,085			
11	afal	2284,087	2232,965	51,122			
12	ampe	616,57	567,892	48,678			
13	brbz	903,75	852,971	50,779			
14	sfel	52,233	9,236	42,997			
15	v001	45,8857	2,234	43,6517			
16	v002	46,0683	3,501	42,5853			
17	v003	44,7349	2,359		2,4271		0174#_D01_022#
18	v004	46,274	3,983	42,291			
19	v005	42,8469	0,708	42,1389			
20	v006	46,4487	4,5910	41.8577	4,6373	0,0463	0174#_D02_034#
21	v007	42,999	1,4400	41,5590	1,3041	-0,1359	0019#_###_042P
22	v009	52,3926	10,3390	42,0536	10,3279	0,0111	0174#_D01_017#
23	v010	46,6675	4.0840	42,5835	4,1278	0,0438	0019#_###_090P
24	v011	42,6104	0,116	42,4944			
25	v013	43,8821	1,4670	42,4151	1,4473	-0,0197	0019#_###_079P
26	v015	45,379	2,9760	42,4030	2.9737	-0.0023	0019#_###_067P
27	v016	48,0619	5,942	42,1199			
28	v017	47,4497	5,6150	41,8347	5,4909	-0,1241	0019#_###_050P
29	v018	49,1327	7,371	41,7617			
30	v019	41,2038	-0,5420	41,7458	-0,5683	-0,0263	0174#_D01_021#
31	v020	45,658	4,313	41,345			
32	v021	41,9719	0,957	41,0149			
33	v022	44,7252	3,303	41,4222			
34	v023	45,726	4,43	41,296			
35	v024	45,7348	4	41,6268			
36	v025	40,2676	-1,476	41,7436			
37	v114	50,0833	7,756	42,3273			
38	v214	50,1321	7,805	42,3271			
39	v905	46,7582	3,179	43,5792			

Tabella 4 - Risultati preliminari.

La Tabella 4 descrive i dati di alcune stazioni permanenti GPS, in Veneto e zone limitrofe. Le quote misurate con il GPS sono riferite all'ellissoide (prima colonna), mentre le ortometriche sono le quote ellissoidiche corrette per il geoide contenuto in VERTO3 (grigliati .gr2). Di queste quote si dispone di alcune misure di livellazione (terza colonna). Le discrepanze ottenute usando questi dati preliminari sono dell'ordine del decimetro per alcuni vertici ed in altri casi sono più alte, e presentano anche alcuni picchi da verificare.
Il problema della definizione del modello del geoide, in Veneto e in Italia, risulta ancora un problema aperto, oggetto di numerosi ed importanti studi sia del mondo accademico sia della comunità scientifica, e la figura 44 illustra il contesto europeo ove si evidenzia in Italia la presenza di un'"anomalia" con molte discrepanze di diversi decimetri rispetto al modello: questi casi dovranno essere accuratamente studiati, e potranno essere supportati con l'apporto dei risultati delle applicazioni delle reti di stazioni permanenti GPS.

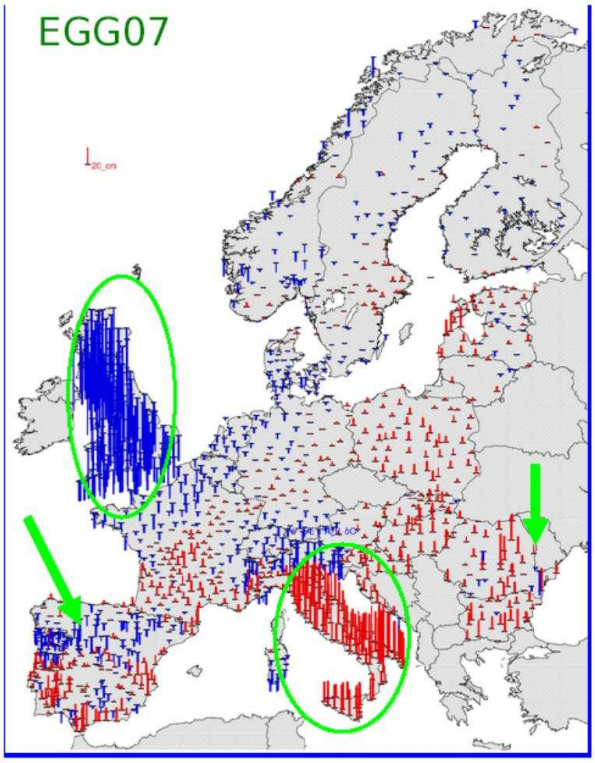

Figura 43 - Confronto tra i dati dell'European Leveling Network e le predizioni del geoide europeo EGG 2007 dell'Università di Hannover. Si nota che l'Italia ha delle discrepanze di parecchi decimetri rispetto al modello. Il problema riguarda il modello del geoide gravimetrico non sufficientemente vincolato nell'area mediterranea.

Indice delle figure:

Figura 1 - Distribuzione delle stazioni permanenti GPS che partecipano alla rete europea EUREF. In Veneto sono presenti due stazioni, a Padova e Venezia. 13
Figura 2 - Sottorete di stazioni permanenti GPS elaborate settimanalmente dal Centro di analisi EUREF presso l'Università di Padova. Nell'inserto in alto a sinistra sono mostrati i 16 Centri Locali di Analisi (LAC) attivi nell'EUREF. In Italia essi sono Matera e Padova. 14
Figura 3 - Distribuzione delle stazioni GPS che hanno partecipato al progetto CERGOP 2 finanziato dall'Unione Europea nel 5° Programma Quadro, per la definizione di una rete geodetica comune in Centro Europa. In Veneto sono state coinvolte le stazioni GPS di Padova, Rovigo e Asiago, gestite dall'Università di Padova. 15
Figura 4 - In alto: velocità di stazioni permanenti GPS in Nord Italia, Austria e Svizzera, calcolate rispetto al Continente Eurasiatico. Il movimento verso nord tende a decrescere con l'aumentare della latitudine, e questo è indicativo di una spinta Sud-Nord che si scarica in particolare nelle Alpi orientali, che infatti sono particolarmente sismiche. In basso: direzioni principali di deformazione calcolate dai dati GPS: la compressione è in rosso e la distensione è in blu. Sono inoltre riportate le sfere focali dei terremoti di Magnitudo (Richter) > 5.5 dal 1976 a oggi, e, in giallo, i contorni delle aree sismogenetiche identificate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sulla base di dati geologici. 17
Figura 5 - A sinistra un esempio della entità del disturbo, espresso in metri, prodotto alla ionosfera nella propagazione di un segnale di navigazione da un satellite all'utente. A destra la planimetria delle rete regionale di stazioni GPS messe a disposizione dal Politecnico di Budapest (Ungheria) per effettuare il calcolo del disturbo. L'informazione sul ritardo ionosferico è uno dei fattori più importanti per il funzionamento di reti in tempo reale e per consentire all'utente di posizionarsi con precisione submetrica. 18
Figura 6 - Sensore di assetto per applicazioni in alta dinamica. Vengono utilizzati tre ricevitori e due linee di base: la più corta per una prima stima dell'angolo, la più lunga per la stima finale. Immagine grande: idealizzazione artistica, come da progetto risultato tra i primi dieci dello StartCup 2004 (Dalla Torre A., Caporali G. e Redi A.). Foto piccola: prototipo in navigazione sul motoscafo Litus del CNR nel Canal Grande - Venezia. 20
Figura 7 - Sensore di puntamento di antenne mobili per TLC, montato piggyback su un'antenna ANTECH SpA di Catania per la Protezione Civile, in posizione di lavoro (in alto) e inattiva (in basso). Mediante una speciale procedura si collega con il sito del NORAD per lo scarico degli elementi orbitali del satellite TLC da acquisire, combina le effemeridi con le coordinate del sito e un modello orbitale per determinare gli angoli di puntamento del satellite, attiva la procedura di misura dell'assetto dell'antenna e fornisce ai servosistemi gli incrementi angolari per consentire agli attuatori di puntare l'antenna nella direzione del satellite TLC. 21
Figura 8 - Viadotto di Casalborgone (Torino) equipaggiato con una rete di sensori monofrequenza GPS realizzata in collaborazione con la SEPA Spa di Torino. I sensori sono autonomi quanto ad alimentazione e comunicazioni. L'invio dei dati a una unità centrale di elaborazione consente, in tempo reale, il monitoraggio delle deformazioni, con una frequenza fino a 10 Hz 22
Figura 9 - Rete di stazioni permanenti GPS attive in Veneto. 25

Figura 10 - Attività svolte dall'Università di Padova. 26
Figura 11 - Download tramite l'Ntrip Client delle correzioni RTCM distribuite in tempo reale dal Caster dell'Università di Padova. 27
Figura 12 - Modello tridimensionale del geoide ricavato nel 1991 in occasione della calibrazione del radar altimetro a bordo del satellite ERS 1 dell'Agenzia Spaziale Europea, la cui traccia è rappresentata da una linea retta in mare e che passa sopra la piattaforma Acqua Alta (Lido di Venezia) del CNR ISDGM. Rispetto all'ellissoide WGS84, il geoide in Veneto presenta una inclinazione verso Nord di circa 10 secondi d'arco, correlata con la presenza delle Alpi, e un valore assoluto dell'ordine di 45 metri. 28
Figura 13 - Principali lineamenti tettonici in Veneto sismicamente attivi. Si riconoscono zone compressive (thrusts) e zone di svincolo, quali le Giudicarie e la linea Schio Vicenza, entrambe legate alla penetrazione del cuneo Adriatico nella piattaforma eurasiatica. I movimenti e le deformazioni associati sono misurabili da una rete di stazioni permanenti GPS. Tale misura contribuisce in modo notevole alla definizione del rischio sismico di un'area. 30
Figura 14 - Esempio di variazioni rispetto a un valore medio del ritardo, in centimetri, accumulato da un segnale GPS mentre si propaga nella troposfera sovrastante l'Europa. Tali variazioni sono direttamente legate a cambiamenti nella pressione, temperatura e umidità. 32
Figura 15 - Antenna GPS relativa alla stazione di Padova. 36
Figura 16 - (a) Ricevitore della stazione di Padova. (b) Interfaccia web dalla quale si può monitorare e configurare il ricevitore. 36
Figura 17 - *Software* di gestione delle stazioni permanenti di Asiago e Rovigo. 37
Figura 18 - Rete GPS Lombardia. 40
Figura 19 - Rete trentina. 42
Figura 20 - Rete GPS Friuli Venezia Giulia (FVG) 43
Figura 21: Progetto della Rete GPS Emilia Romagna. 45
Figura 22 - Posizionamento satellitare differenziale (DGPS). 46
Figura 23 - Copertura di una rete costituita da più stazioni singole. 47
Figura 24 - Insieme di stazioni permanenti che costituiscono una rete. 47
Figura 25 - Componenti *software* del protocollo Ntrip. 49
Figura 26 - Nuvola di punti relativa ad acquisizioni in modalità GPS, DGPS e RTK rispettivamente. 50
Figura 27 - Nuvola di punti relativa ad acquisizioni in modalità DGPS e RTK rispettivamente. 51
Figura 28 - Stazioni processate attualmente dall'Euronav. 55
Figura 29 - Interfaccia grafica dell'Euronav: pagina iniziale. 55
Figura 30 - Skyplot relativo alla stazione permanente di Padova. 56
Figura 31 - Confronto tra i residui nelle posizioni delle stazioni di Padova, Rovigo e Taglio di Po. 56
Figura 32 - *Scatter* delle coordinate delle stazioni di Padova, Rovigo e Taglio di Po. 57
Figura 33 - Correzioni di codice trasmesse dal Caster dell'Università relativamente alla stazione di Padova. 57
Figura 34 - *Output* dell'Euronav trasmesso via Ntrip. 58
Figura 35 - Correzioni differenziali create in corrispondenza della stazione centrale (virtuale) della rete. 59

Figura 36 - Funzionamento delle stazioni di riferimento nell'arco della giornata..... 60
Figura 37 - Tracce dei satelliti. 60
Figura 38 - Sito web 62
Figura 39 - Informazioni relative alla stazione di Padova..... 63
Figura 40 - Sezione relativa al download dei dati RINEX..... 63
Figura 41 - Schema di funzionamento delle procedure giornaliere. 64
Figura 42 - Verto3. 66
Figura 43 - Confronto tra i dati dell'European Leveling Network e le predizioni del geoide europeo EGG 2007 dell'Università di Hannover. Si nota che l'Italia ha delle discrepanze di parecchi decimetri rispetto al modello. Il problema riguarda il modello del geoide gravimetrico non sufficientemente vincolato nell'area mediterranea. 68

Indice delle tabelle:

Tabella 1- Stazioni GPS operanti in Veneto..... 24
Tabella 2 - Specifiche ricevitori/antenne GPS per una stazione permanente..... 35
Tabella 3 - Intervallo di variazione nella direzione est e nord per le tre diverse modalità di rilevamento..... 51
Tabella 4 - Risultati preliminari. 67

Indice degli acronimi:

ASI
Agenzia Spaziale Italiana; 12; 24
BKG
Ufficio Federale Tedesco di Cartografia e Geodesia; 12; 18; 46
CERGOP
Central European Research Geodynamics Project; 14; 15; 67
CISAS
Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali; 11
Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali 'G. Colombo'; 1; 32; 35; 48; 62
Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali 'G. Colombo'; 11
DGPS
Differential GPS; 25; 42; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 52; 68; 69

ED50
European Datum 1950; 63
ERS
Earth Resources Satellite; 28; 68
ETRF
European Terrestrial Reference Frame; 40
ETRS89
European Terrestrial Reference System 89; 26; 38; 59; 61
EUREF
European Reference Frame; 11; 12; 13; 14; 30; 31; 32; 38; 40; 46; 50; 66; 67; 69
GALILEA
GALIleo Local Element Augmentation; 18
GIS
Geographic Information System; 26; 33; 39; 44
GLONASS
Global Navigation Satellite System Russo; 23; 43; 46; 50
GNSS
Global Navigation Satellite System; 10; 11; 23; 34; 43; 46
GPS
Global Positioning System; 1; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 22; 23; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 34; 35; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 46; 48; 49; 50; 52; 59; 64; 66; 67; 68; 69
GRS80
Geodetic Reference System 1980; 26
IGM
Istituto Geografico Militare Italiano; 10; 12; 38; 44; 63; 65
IGS
International GPS Service; 11; 12; 30; 34; 50; 67
ISDGM-CNR
Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del CNR; 11
Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del CNR; 11
ITRF
International Terrestrial Reference Frame; 11; 12; 25; 40
LAC
Local Analysis Center dell'EUREF; 12; 14; 67
LORAN
Long Range Navigation; 46
MAC
Master Auxiliary Control; 39; 41; 43; 68; 69
NORAD
North Atlantic Defense; 19; 21; 67
Ntrip
Networked Transport by Internet Protocol; 25; 26; 27; 42; 44; 46; 47; 52; 54; 55; 56; 68; 69
PECO
Paesi ex Comunisti; 11

PMI
Piccole Medie Imprese; 18; 19
RINEX
Receiver Independent Exchange Format; 23; 25; 26; 34; 40; 41; 44; 46; 59; 60; 61; 69
RTCM
Radio Technical Committee on Maritime Communications; 23; 26; 27; 34; 35; 41; 42; 46; 47; 50; 52; 68
RTK
Real Time Kinematic; 25; 26; 34; 42; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 52; 68; 69
SISE
Signal in Space Error; 59
TLC
Telecomunicazioni; 19; 21; 67
TLE
Two Line Elements; 19
UTM
Universal Transversal Mercator Projection; 26; 44; 63
VRS
Virtual Reference Station; 39; 43; 55; 69
WGS84
World Geodetic System 84 (sistema geodetico); 9; 28; 63; 68
ZTD
Zenith Tropospheric Delay; 59