



**LINEE GUIDA PER L'ESECUZIONE DI STUDI
DI MICROZONAZIONE SISMICA**

DEFINIZIONI	3
INTRODUZIONE	6
1 - DISPOSIZIONI GENERALI	8
2 - PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	11
2.1 - Metodologia e prescrizioni	11
2.2 - Schede illustrative del primo livello	16
3 – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	36
3.1 - Criteri comuni	36
<u>3.1.1 - Ambiti di applicazione</u>	36
<u>3.1.2 - Generalità</u>	37
<u>3.1.3 - Indagini e dati minimi richiesti</u>	38
<u>3.1.4 - Carta di microzonazione sismica</u>	39
3.2 - Procedure di analisi per la MS di 2° livello	41
<u>3.2.1 - Valutazione degli effetti morfologici</u>	41
3.2.1.1- <i>Zona di scarpata</i>	41
3.2.1.2 - <i>Zona di cresta e/o cucuzzolo</i>	44
<u>3.2.2 - Valutazione degli effetti litologici</u>	50
<u>3.2.3 - Zona di fondovalle</u>	51
<u>3.2.4 - Instabilità di versante</u>	53
3.2.4.1 - <i>Frane in pendii nell'ambito delle terre</i>	53
3.2.4.2 - <i>Frane in roccia</i>	54
<u>3.2.5 - Liquefazione</u>	56
<u>3.2.6 - Densificazione di terreni insaturi</u>	57
<u>3.2.7 - Comportamenti differenziali</u>	59
4 – TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	60
4.1 - Criteri comuni	60
<u>4.1.1 - Ambiti di applicazione</u>	60
<u>4.1.2 - Generalità</u>	60
<u>4.1.3 - Indagini minime richieste</u>	60
4.2 - Procedure di analisi per la MS di 3° livello	61
<u>4.2.1 - Amplificazione morfologica e litologica</u>	61
<u>4.2.2 - Effetti di instabilità</u>	61
4.2.2.1 - <i>Frane in pendii nell'ambito delle terre</i>	61
4.2.2.2 - <i>Frane in roccia</i>	62
<u>4.2.3 - Liquefazione</u>	63
<u>4.2.4 - Densificazione di terreni insaturi</u>	63
APPENDICE 1: Elementi di MS per le infrastrutture a rete .	64
APPENDICE 2: Indicazione, delle tipologie e della consistenza, relativamente alle indagini da effettuare nell'ambito del SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, per i differenti scenari di pericolosità sismica.	66
APPENDICE 3: Indicazione, delle tipologie e della consistenza, relativamente alle indagini da effettuare nell'ambito del TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, per i differenti scenari di pericolosità sismica.	68
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	70

DEFINIZIONI

BEDROCK SISMICO : Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio Vs maggiore od uguale a 800 m/s .

EFFETTI LOCALI (O DI SITO) – Effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano amplificazioni locali e fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc...).

ELEMENTI (O BENI) ESPOSTI – Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. E' identificabile attraverso categorie omogenee e sistemi che possono subire perdite a seguito di evento sismico.

Esempi di categorie e sistemi esposti sono: ambiente, popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc... .

FENOMENI DI INSTABILITA' DEL TERRENO – Modificazioni permanenti del terreno quali fenomeni franosi, fenomeni di liquefazione o densificazione (addensamento), fagliazione superficiale, ecc. dovuti ad un evento sismico.

MICROZONAZIONE SISMICA (MS) – Valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità in caso di terremoto.

PERICOLOSITA' SISMICA – Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti).

La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche, v. anche effetti locali). Lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le amplificazioni locali e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi è la carta di micro zonazione sismica.

PGA DI BASE (Peak Ground Acceleration) – Accelerazione orizzontale massima nel sito di riferimento rigido con morfologia orizzontale.

PGA DI SITO – Accelerazione orizzontale massima nel sito indagato.

RIDUZIONE DEL RISCHIO (O MITIGAZIONE DEL RISCHIO) - Azioni intraprese al fine di ridurre le probabilità, le conseguenze negative, o entrambe, associate al rischio (ISO, Guide 73:2002).

RISCHIO SISMICO - Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.

RISPOSTA SISMICA LOCALE (AMPLIFICAZIONE LOCALE) – Modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

VULNERABILITA' SISMICA – Propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico. La vulnerabilità viene detta primaria se relativa al danno fisico subito dal sistema a seguito del danno fisico. Per ogni sistema, la vulnerabilità può essere espressa in maniera diretta attraverso la definizione della distribuzione del livello di danno o di perdita a seguito di un dato scuotimento o in maniera indiretta attraverso indici di vulnerabilità ai quali correlare danno e scuotimento.

La distribuzione del danno apparente agli elementi strutturali o non strutturali di un edificio al variare dello scuotimento sismico fornisce una misura della vulnerabilità primaria. La distribuzione del costo di riparazione di un edificio in relazione al danno apparente o meccanico è una misura di vulnerabilità secondaria.

(fonte "Gruppo di lavoro MS,2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom" con modifiche) .

SIGLE

CPSL	Carta della pericolosità sismica locale ;
CPT	(Cone Penetration Test) Prova penetrometrica statica ;
CH	Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Cross-Hole ;
DH	Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Dow-Hole ;
Fa	Fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) ;
Fv	Fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudo velocità) ;
MS	Microzonazione Sismica ;
MOPS	Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica ;
PAT	Piano di assetto del Territorio (L.R. 11/2004) ;
PATI	Piano di assetto del territorio intercomunale (L.R. 11/2004) ;
PI	Piano degli interventi (L.R. 11/2004) ;
PSL	Pericolosità Sismica Locale ;
PUA	Piano Urbanistico Attuativo;
RS	Rischio sismico ;
RSL	Risposta Sismica Locale ;
SDMT	Prova dilatometrica con modulo sismico
SPT	(Standard Penetration Test) Prova penetrometrica dinamica .

INTRODUZIONE

La presente nota illustra le linee guida per l'esecuzione di studi di microzonazione sismica da applicarsi nel territorio della Regione del Veneto durante la fase di progettazione degli strumenti urbanistici. Le linee guida costituiscono quindi una direttiva alla quale attenersi per la riduzione del rischio sismico (RS), che può essere così definito:

RS = *Pericolosità sismica* x *Esposizione urbanistica* x *Vulnerabilità dei centri urbani e delle opere.*

Una MS completa dovrebbe quindi considerare anche la vulnerabilità dei centri urbani e delle opere. Non essendo ancora disponibile una procedura speditiva riconosciuta valida per la valutazione della vulnerabilità (le procedure finora attuate sono di dettaglio e quindi onerose sia in termini di costi e soprattutto di tempi) la MS in genere è limitata a valutazioni della pericolosità sismica locale nelle zone di esposizione urbanistica: centri abitati ove si realizza una concentrazione di popolazione, zone destinate ad attività produttive e commerciali, altre previsioni urbanistiche e lungo le reti infrastrutturali.

Lo scopo di questa proposta è quello di fornire dei criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti di amplificazione sismica locale ed instabilità in caso di terremoto in maniera da orientare le scelte, nella fase di progettazione urbanistica, verso aree a minore pericolosità sismica e supportare qualsiasi altro intervento finalizzato alla riduzione del rischio sismico (es.: interventi di riqualificazione urbanistica, messa in sicurezza, ...).

La pericolosità sismica dipende essenzialmente da due elementi:

1. Dalle caratteristiche sismiche dell'area, ossia dalla presenza e/o distanza dalle sorgenti sismiche attive, dall'energia e dal tipo dei terremoti nonché dalla frequenza degli eventi. Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica di base";
2. Dalle caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche del territorio di riferimento; infatti queste caratteristiche possono influenzare notevolmente le caratteristiche dell'evento sismico in superficie e costituire appunto gli elementi predisponenti al verificarsi dei fenomeni di amplificazione o di instabilità del suolo (cedimenti, frane, liquefazione). Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica locale".

Lo studio della "pericolosità di base" e della "pericolosità locale" tendono sostanzialmente al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- o individuare delle aree ove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- o stima quantitativa della risposta sismica locale indotta dai depositi superficiali e della morfologia del territorio: "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);

- suddivisione del territorio comunale in sottozone omogenee a cui attribuire lo stesso valore di pericolosità sismica locale: “Microzonazione Sismica” (MS).

I risultati di questi studi afferiscono al quadro conoscitivo e vengono successivamente applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica; forniscono inoltre indicazioni per l'applicazione, in fase di progettazione, delle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 14/1/2008).

Le presenti linee guida, in relazione alle criticità applicative che si evidenzieranno nella loro fase di attuazione iniziale, saranno periodicamente sottoposte a revisione; gli aggiornamenti permetteranno altresì di recepire eventuali nuovi indirizzi che saranno emanati dalla Protezione Civile Nazionale.

1 - DISPOSIZIONI GENERALI

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

- 1° LIVELLO: si applica in sede di P.A.T. consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta MOPS, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno, ecc;
- 2° LIVELLO: ha come obiettivo la redazione della MS e si applica in sede di P.I. a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente;
- 3° LIVELLO: si applica in sede di P.I.:
 - *per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche per previsioni ricadenti nelle aree classificate (figura 2) come:*
 - ✓ P1a movimenti franosi attivi. Sebbene l'urbanizzazione in queste aree sia vincolata da altre norme è possibile che si renda necessario uno studio di MS in relazioni a situazioni particolari, quali ad esempio, interventi su opere esistenti (strada, edifici, manutenzione del centro abitato in genere, ...),
 - ✓ P1b zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti,
 - ✓ P1c zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana,
 - ✓ P2a zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...,
 - ✓ P2b zona con depositi granulari fini ,
 - ✓ P2c zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici,
 - ✓ P4a zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi che presentino le seguenti caratteristiche $h/l > 0,65 / \sqrt{C_v - 1}$ dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza, C_v il rapporto fra la velocità V_s nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento,
 - ✓ P4b zona di fondovalle stretta ($C > 0,25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico e geotecnico monodimensionale,
 - ✓ P5b zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole.
 - *Aree in cui è prevista la realizzazione di opere con rilevante interesse pubblico.* Per queste parti del territorio ove la pericolosità risulta elevata deve essere attentamente valutata la possibilità di non operare trasformazioni urbanistiche od incremento dei carichi urbanistici.

I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l'inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 14/1/2008).

Nel caso di opere con rilevante interesse pubblico si procederà sempre fino a raggiungere il 3° livello di approfondimento che potranno essere così suddivise: con il 1° e 2° livello di MS nell'ambito del progetto preliminare ed il 3° livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo.

La procedura proposta fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

Di seguito, in fig.1, è riportata la mappa dei valori di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (PGA di base).

Al fine di rendere più agevole la consultazione delle condizioni di applicabilità dei livelli 2° e 3°, è stato redatto uno schema riassuntivo della procedura di MS per i differenti livelli di approfondimento (figura 2). Per ciascuna area suscettibile di amplificazione sismica individuata come tale nella procedura di primo livello nella MOPS, si riporta il livello di approfondimento da raggiungere ed il discriminante (soglia), laddove esista, secondo il quale si passa al successivo livello di approfondimento.

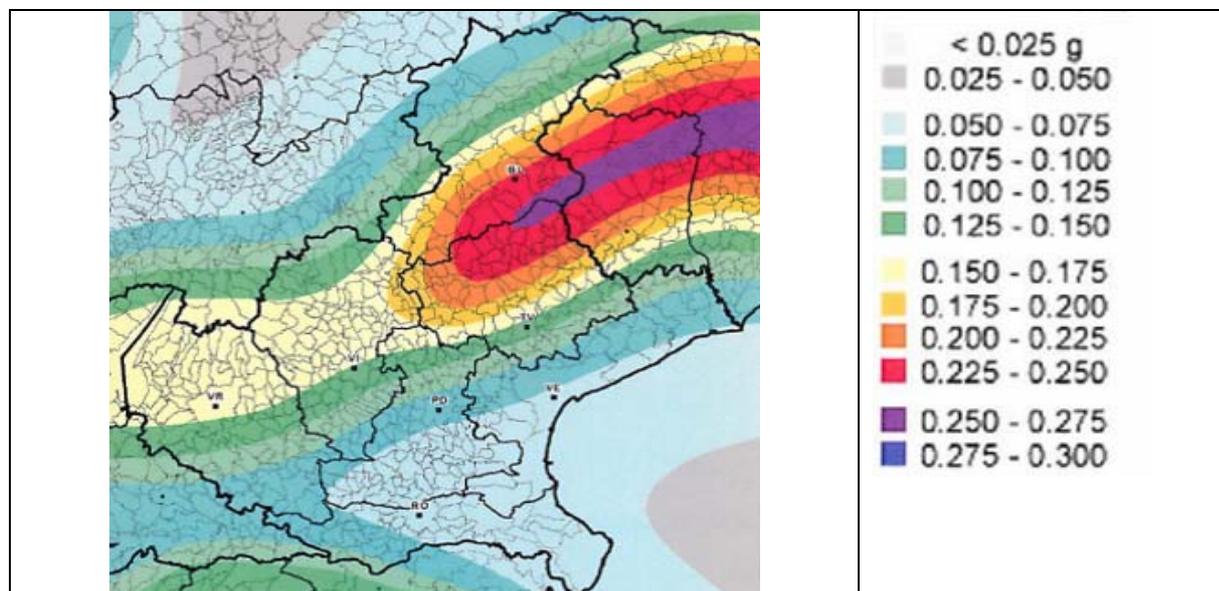


Figura 1 - Mappa di pericolosità sismica della Regione del Veneto (rif. O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n.3519) espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi e pianeggianti ($V_s > 800$ m/s; cat.A, All. 2,3.1).

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA						
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilita'	1° livello	(soglia)	2° livello	3° livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi			cartografia		Analisi stabilita
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti			cartografia		Analisi stabilita
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana			cartografia	Analisi di stabilita	Analisi stabilita
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100		raccolta dati - cartografia	Cedimenti Eventuale verifica	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100		raccolta dati - cartografia	Liquefazione Eventuale verifica	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di ripono o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100		raccolta dati - cartografia	Cedimenti	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpa, bordo di cava, nicchie di cave, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)			H=10 m; a>15°	Effetti topografici	
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata			h=1/3H; a e a2>15°	Effetti topografici	
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi			Vs30<800m/s; C<0,25 Vs30<800m/s; C<0,25	Effetti litologici	Effetti lito-geometrici
P4b	Zona di fondovalle stretta (C<0,25) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale			Vs30<800m/s - C>0,25		Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delitizio-lacustre			Vs30<800m/s	Effetti litologici	
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)			Vs30<800m/s	Effetti litologici	
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale			Vs30<800m/s	Effetti litologici	
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse			cartografia	Comportamenti differenziali	
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavitaa sotterranee o sinkhole			cartografia	Comportamenti differenziali	Comportamenti differenziali

ABITATI* = centri abitati esistenti
PREV.URBAN.* = esistenza di previsioni urbanistiche espansive

Figura 2 - Schema della procedura di Microzonazione sismica con i differenti livelli di approfondimento (1°, 2° e 3° livello) per i differenti scenari di pericolosità sismica locale; la soglia rappresenta l'elemento discriminante per il passaggio al successivo livello di approfondimento. Nel secondo livello vengono riportati gli elementi specifici da analizzare.

2 - PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

2.1 - Metodologia e prescrizioni

Prevede un approccio esclusivamente di tipo qualitativo e costituisce la base propedeutica per gli eventuali successivi livelli di approfondimento.

Nella fase di redazione dei nuovi strumenti urbanistici (P.A.T./P.A.T.I e P.I.) e loro varianti, ed in particolare modo la redazione del Quadro Conoscitivo e della documentazione di progetto riguardante gli aspetti geologici (matrice 5 "Suolo e Sottosuolo"), lo studio di primo livello permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con una buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili. Tale studio si applica all'intero territorio comunale od all'ambito di applicazione dello specifico strumento urbanistico.

Generalmente, salvo quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di primo livello non sono necessarie nuove indagini geognostiche. Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala adeguata rappresentata dalla:

1. carta geologico - tecnica con le relative sezioni, elaborate in riferimento alla cartografia regionale in scala 1:10.000 con la verifica puntuale dei contenuti geolitologici, geomorfologici ed idrogeologici, già previsti nell'ambito delle analisi geologiche dei P.A.T., in chiave sismologica finalizzati alla redazione della successiva carta della pericolosità sismica locale (CPSL).
Dovranno altresì essere allegate delle sezioni litostratigrafiche significative atte ad illustrare le successioni litologiche e le varie problematiche individuate e suscettibili di approfondimenti.
2. carta delle indagini, in cui vengono rappresentate l'ubicazione e il tipo di indagini preesistenti ed eventualmente quella di nuova realizzazione; le indagini dovranno essere distinte per tipo e profondità raggiunta. Al fine di omogeneizzare le informazioni preesistenti le aree caratterizzate dalla presenza di coperture dovranno essere associate ad una delle classi di seguito specificate.

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
5	sabbia/limosa-limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	limo	6a consistente 6b poco consistente
7	limo/argilloso-argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

Tabella 1 - Classi dei terreni di copertura tali da poter identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità.

3. Eventuale carta della pericolosità sismica locale (CPSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo P1, P2, P4 e P5 e gli elementi lineari delle situazioni tipo P3, P5, in grado di determinare gli effetti sismici locali in riferimento alla tabella sotto riportata. Tale carta può essere aggiornata e/o riprodotta se già esistente; nel caso di strumenti urbanistici attuativi, qualora tale carta sia già esistente ed in vigore, questa dovrà sempre essere allegata.

In relazione a particolari criticità locali la tabella 2 potrà essere integrata aggiungendo altre situazioni di pericolosità non menzionate.

Sigla	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
P1 a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	<i>Instabilità per frana</i>
P1 b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
P1 c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
P2 a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	<i>Instabilità per cedimenti e/o liquefazioni</i>
P2 b	Zona con depositi granulari fini saturi	
P2 c	Zona caratterizzate da coltri di terreni di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	

Sigla	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
P3 a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
P3 b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	
P4 a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche e geometriche</i>
P4 b	Zona di fondovalle stretta ($C>0.25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale .	
P4 c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio - lacustre	
P4 d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loess)	
P4 e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
P5 a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Comportamenti differenziali</i>
P5 b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	

Tabella 2 - Elementi della carta di Pericolosità Sismica Locale (primo livello).

La carta della pericolosità sismica locale individua le aree soggette ad instabilità, amplificazione e comportamenti differenziali, in cui si rendono necessari i successivi livelli di approfondimento ed in particolare questi si renderanno indispensabili quando il progetto urbanistico individuerà delle previsioni urbanistiche di tipo espansivo e di incremento del carico urbanistico, nelle seguenti zone:

- si procederà con il 2° livello di approfondimento in aree individuate come P3, P4c, P4d, P4e. Tale indagine permetterà la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione;
- si procederà con il 2° livello di approfondimento in aree individuate come P1c e P2 . Tale livello permetterà di compensare le incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi e procedere eventualmente con il 3° livello ove si verifichino le condizioni di criticità;
- per gli scenari di zona di fondovalle P4a e P4b si procederà come segue:
la distinzione tra P4a e P4b è operata facendo riferimento a quanto suggerito dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” del Gruppo di Lavoro MS, 2008 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, ove:
valle stretta $C > 0.25$

valle larga $C < 0.25$

dove C coefficiente di forma ($C = h / l$, in cui h è lo spessore della coltre alluvionale, l la sua semiampiezza).

Nelle valli ampie si può ipotizzare una stratigrafia piano-parallela e quindi il 2° livello può risultare sufficiente tranne nei casi in cui si verifica la situazione in cui:

$$\frac{h}{l} > \frac{0,65}{\sqrt{C_v - 1}}$$

dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza, C_v il rapporto fra la velocità V_s nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento.

In tali casi è necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (procedure di terzo livello).

Nelle valli strette la stratigrafia del sottosuolo può avere rapidi cambiamenti laterali, soprattutto del tetto del substrato rigido, e quindi si rende necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (quindi procedure di 3° livello);

- si procederà con il 3° livello al fine di ottenere una caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone P1), dei cedimenti e/o liquefazioni (zone P2) e per le zone ove sono presenti delle forme geometriche sepolte particolari P4b, P5b e P4a limitatamente alla soglia sopra definita;
 - per la zona P5a si potrà procedere eventualmente solo con il 2° livello in quanto non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.
4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), in cui vengono definite aree che presentano le stesse caratteristiche strutturali e morfologiche per le quali è da prevedere una risposta sismica omogenea. In particolare tale carta permetterà di definire le zone ove sono da escludersi fenomeni di amplificazione locale di qualsiasi origine e/o natura. Per la redazione di questa carta si utilizzeranno sempre le sigle riferite alla “pericolosità locale” di cui alla tabella 2. Per la redazione di questa carta si dovrà adottare la legenda unificata di figura 3.

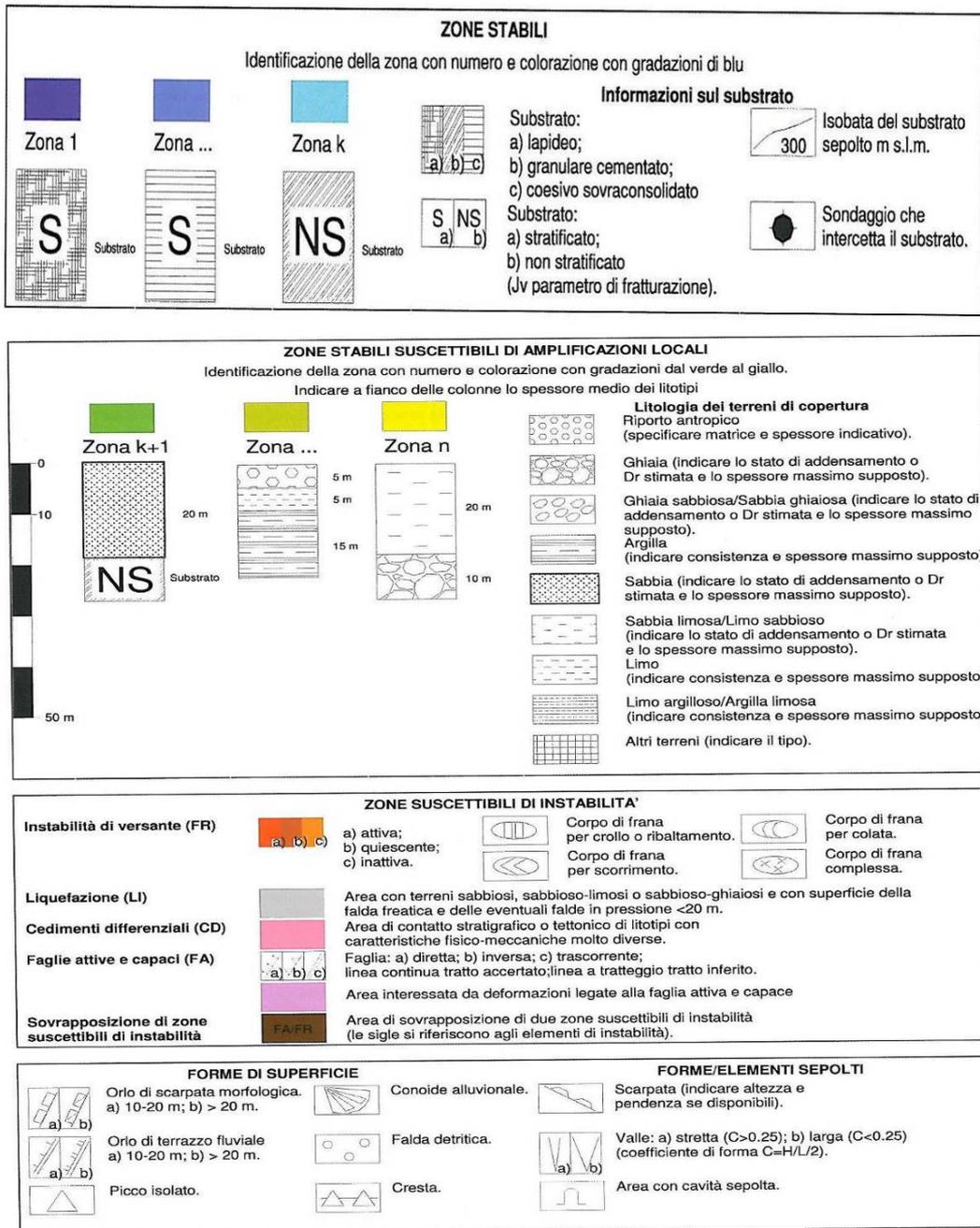


Figura 3 - Legenda tipo per la carta CMOPS (riferimento linee guida della Protezione Civile Nazionale)

Per l'elaborazione del primo livello di approfondimento è preferibile adottare una piattaforma GIS ed utilizzare gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica promulgate dalla "Commissione Tecnica nazionale per la Microzonazione Sismica".

2.2 - Schede illustrative del primo livello

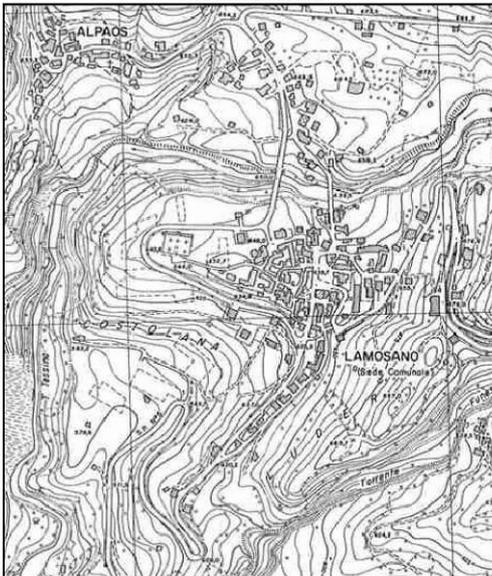
SCENARIO

P1 a	pag. 17
P1 b	pag. 18
P2 a	pag. 19
P2 b	pag. 20
P2 c	pag. 21
P3 a	pag. 22
P3 b	pag. 23
P4 a/b	pag. 24
P4 c	pag. 25
P4 d	pag. 26
P4 e	pag. 27
P5 a	pag. 28
P5 b	pag. 29

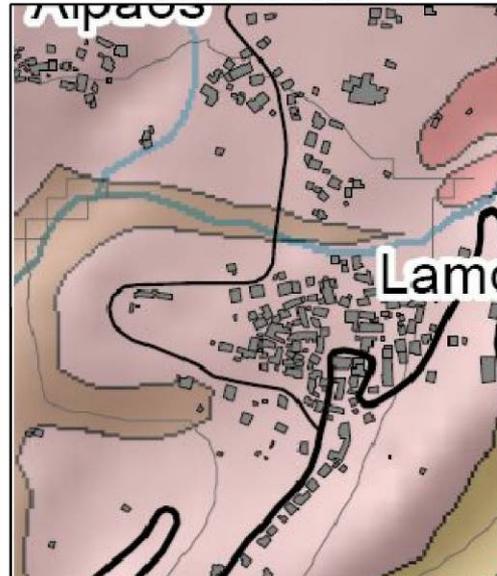
LEGENDA PROPOSTA PER LA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	pag. 30
CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	pag. 31
CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	pag. 32
CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE CON PERIMETRAZIONE DEI CENTRI ABITATI	pag. 33
CARTA MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	pag. 34
CARTA MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	pag. 35

MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
 P1 a: zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

PLANIMETRIA



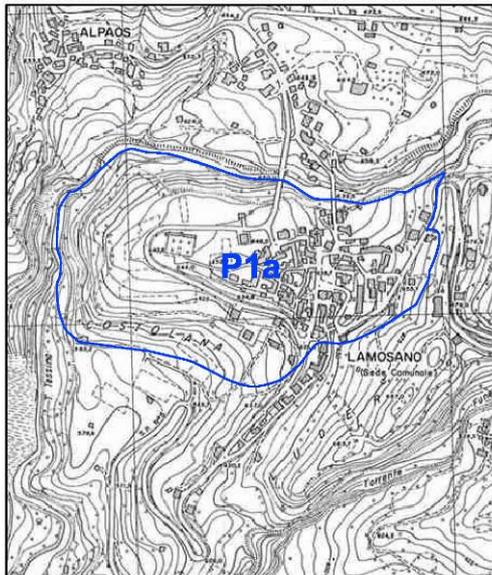
CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

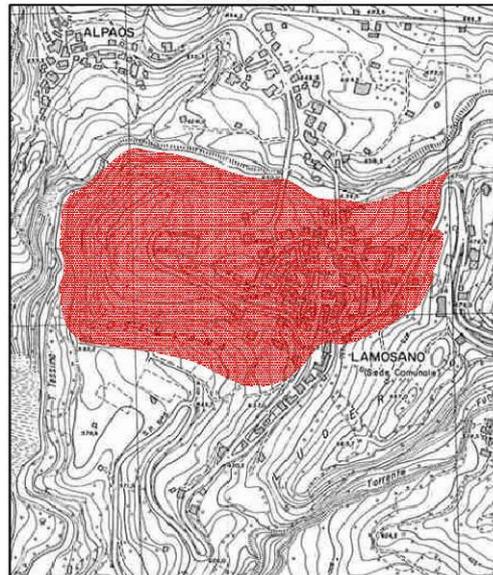
- Depositi di frana di natura prevalentemente argillosa-limoso
- Deposito composto da detriti eterogenei, di granulometria variabile da massi ad argille.
- Marne; Marne sabbiose; marne argillose, marne siltose.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P1 a: zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

CARTA MOPS



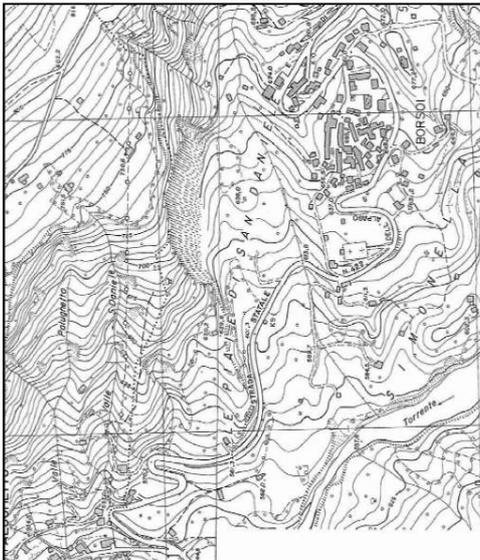
AREA INSTABILE PER AZIONE SISMICA
 FRANA ATTIVA - Corpo di frana per scorrimento

↓
 cartografia

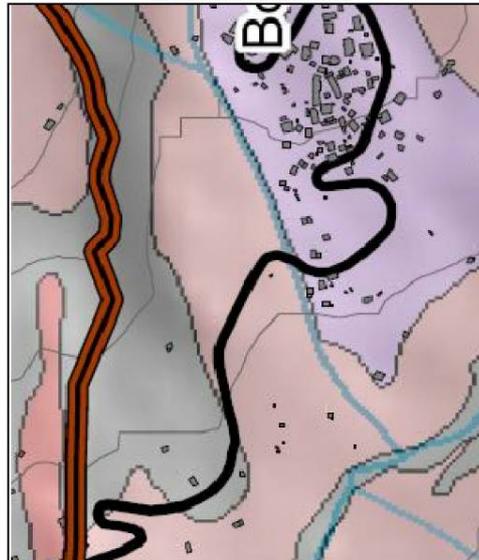
STUDIO DI SECONDO LIVELLO

MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
 P1 b: zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti

PLANIMETRIA



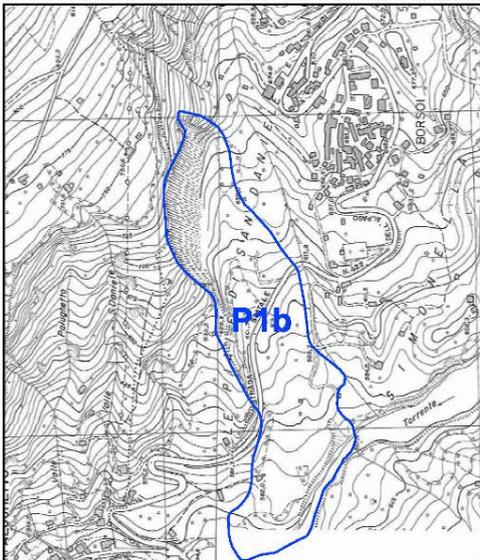
CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

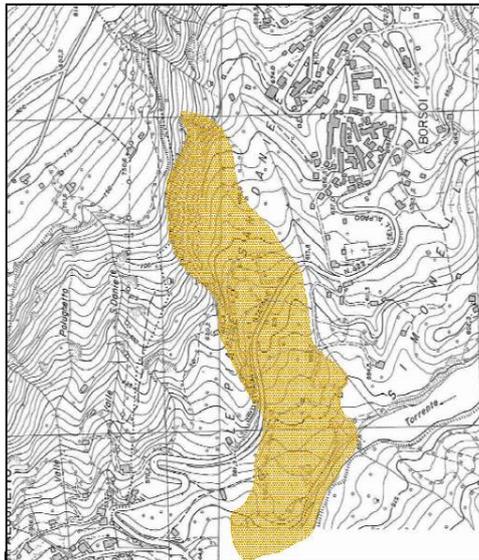
- Depositi di frana di natura prevalentemente argillosa-limoso
- Deposito composto da detriti eterogenei, di granulometria variabile da massi ad argille.
- Deposito composto da elementi detritici di dimensioni variabili, non stratificate, nè classate.
- Marne, marne argillose, marne siltose, con intercalati arenarie, calcareniti, calcari bioclastici.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P1 b: zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti

CARTA DELLE ZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA



AREA INSTABILE PER AZIONE SISMICA
 FRANA QUIESCENTE - Corpo di frana per colata

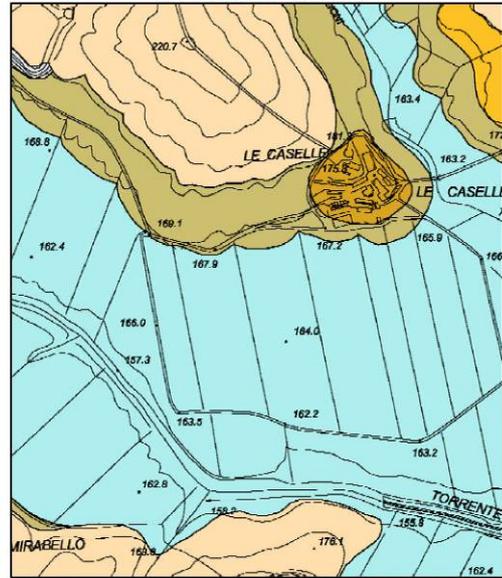
↓
 cartografia
 STUDIO DI SECONDO LIVELLO

MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
 P2 b: zona con depositi granulari fini saturi

PLANIMETRIA



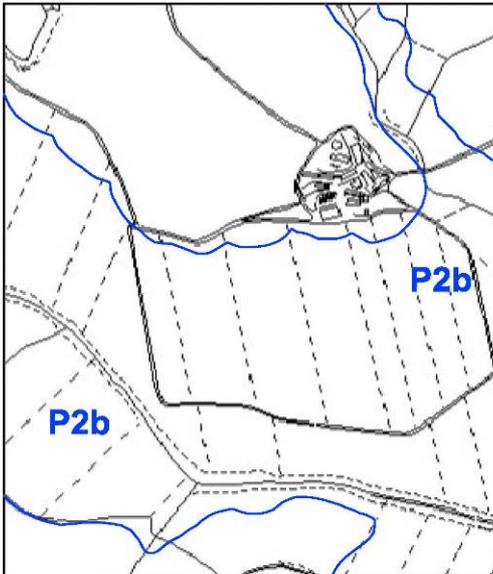
CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

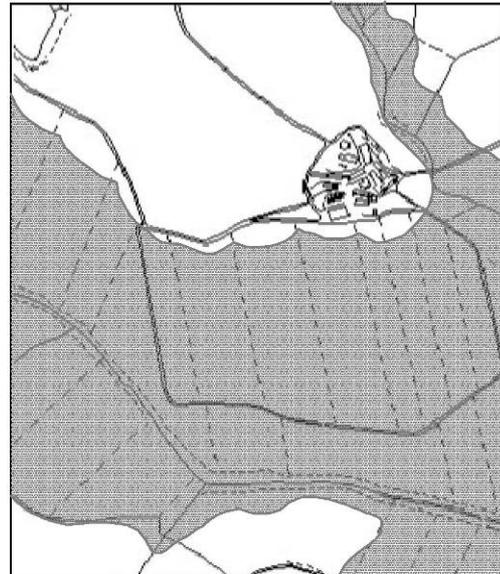
- Depositi alluvionali attuali
- Depositi eluvio-colluviali
- Depositi alluvionali terrazzati
- Argille e argille-siltose

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P2 b: zone con depositi granulari fini saturi

CARTA MOPS



AREA INSTABILE PER AZIONE SISMICA
 LIQUEFAZIONE

↓
 raccolta dati - cartografia
 STUDIO DI SECONDO LIVELLO

MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO

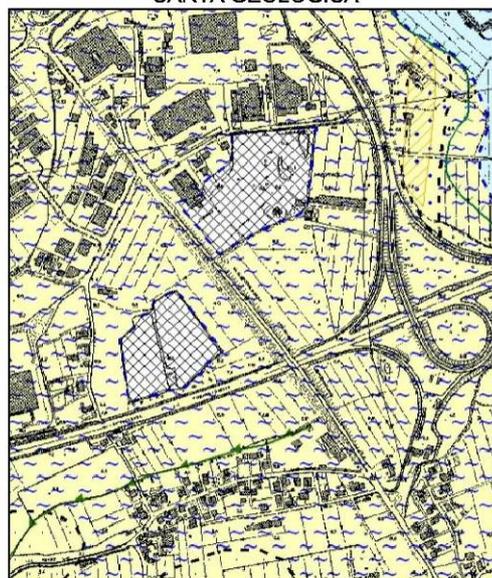
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

P2 c : zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici

PLANIMETRIA



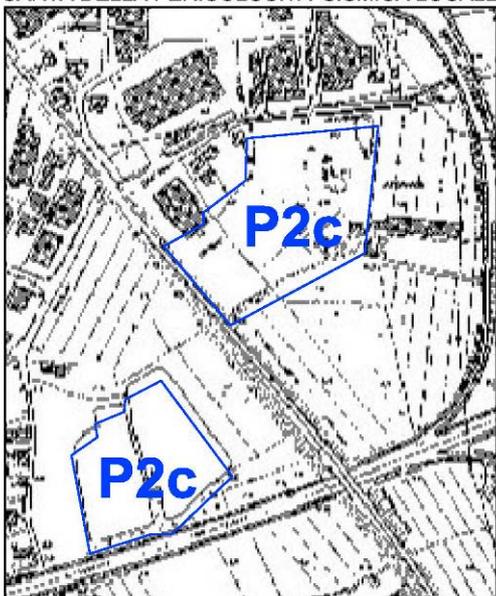
CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

 Depositi di origine antropica

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P2 c : zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici

CARTA MOPS

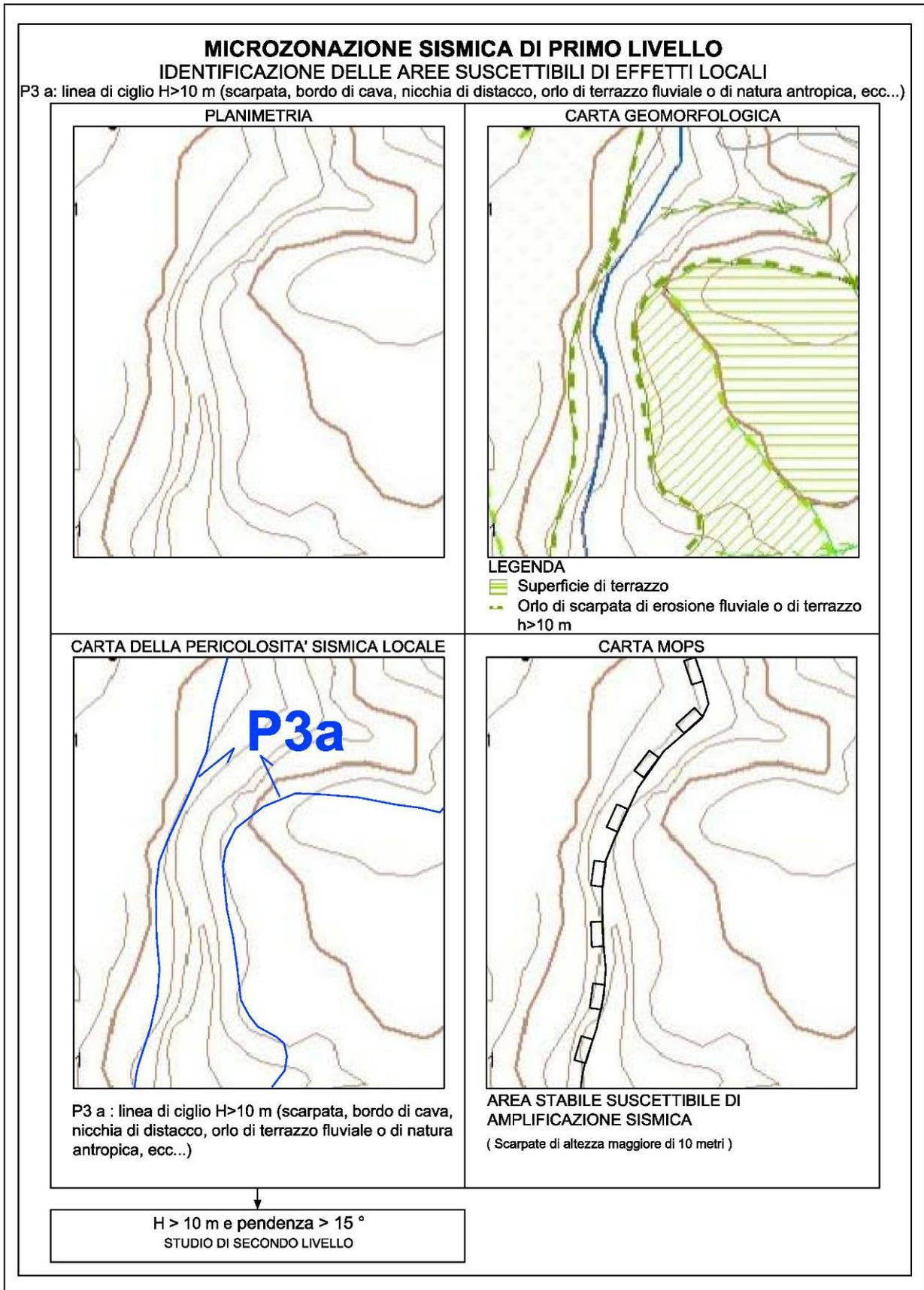


ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

 Zona 1  Zona 2

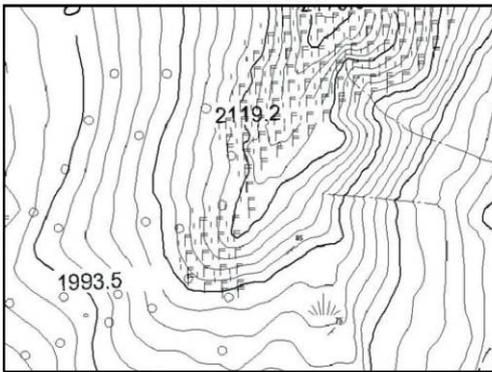
cartografia

STUDIO DI SECONDO LIVELLO

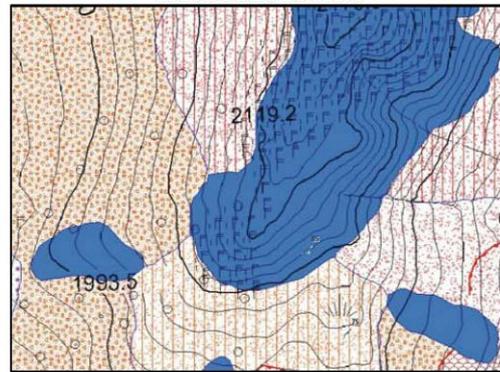


MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
 P3 b: zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo

PLANIMETRIA



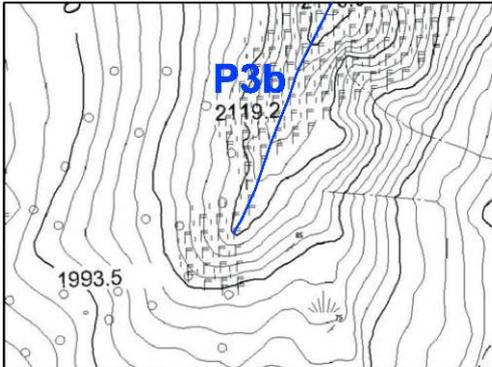
CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

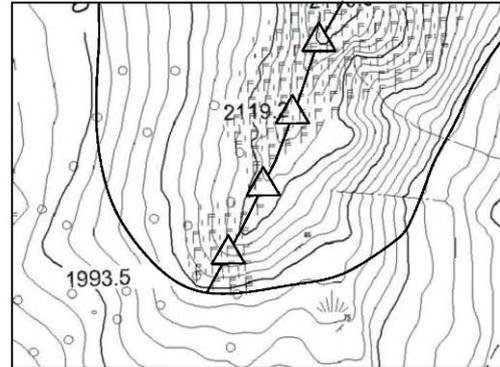
- Formazione di Durrenstein
- Detrito di versante antico
- Detrito di versante attuale
- Detrito di versante a grossi blocchi antico

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P3 b : zona di cresta e/o cocuzzolo

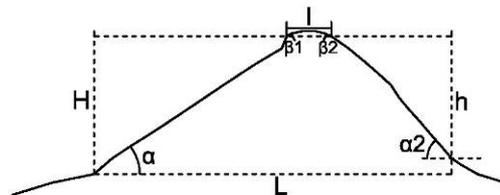
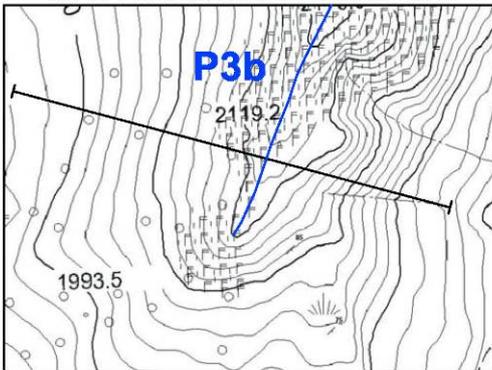
CARTA MOPS



AREA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

(Cresta di altezza maggiore ai 30 metri)

UNA O PIU' SEZIONI CARATTERISTICHE



$h \geq 1/3 H$ e $\alpha - \alpha_2 \geq 15^\circ$
 STUDIO DI SECONDO LIVELLO

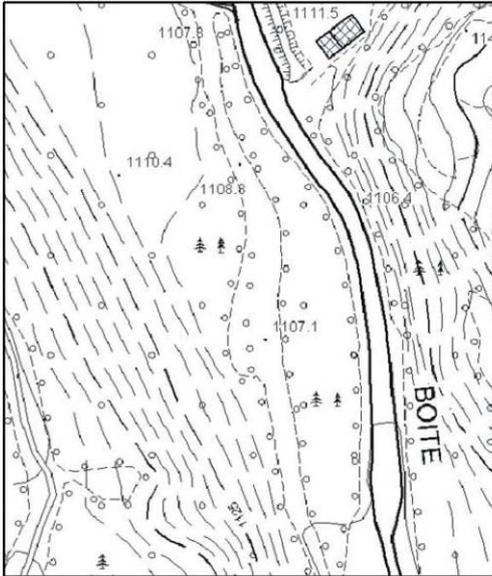
MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO

IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

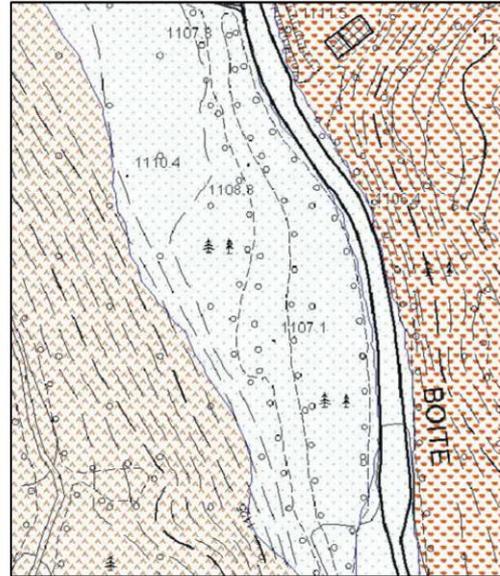
P4 a: zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

P4 b: zona di fondovalle stretta ($C < 0,25$) od in presenza di forme geometriche sepolte

PLANIMETRIA



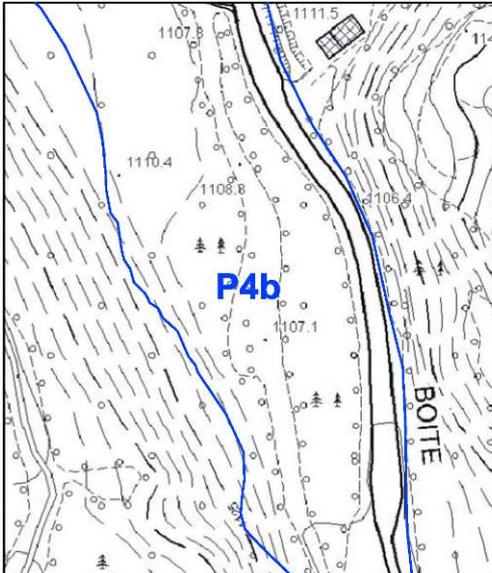
CARTA GEOLOGICA



LEGENDA

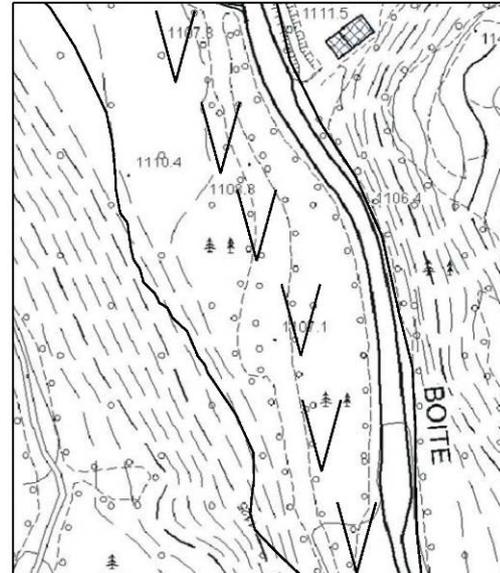
□ Depositi alluvionali

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



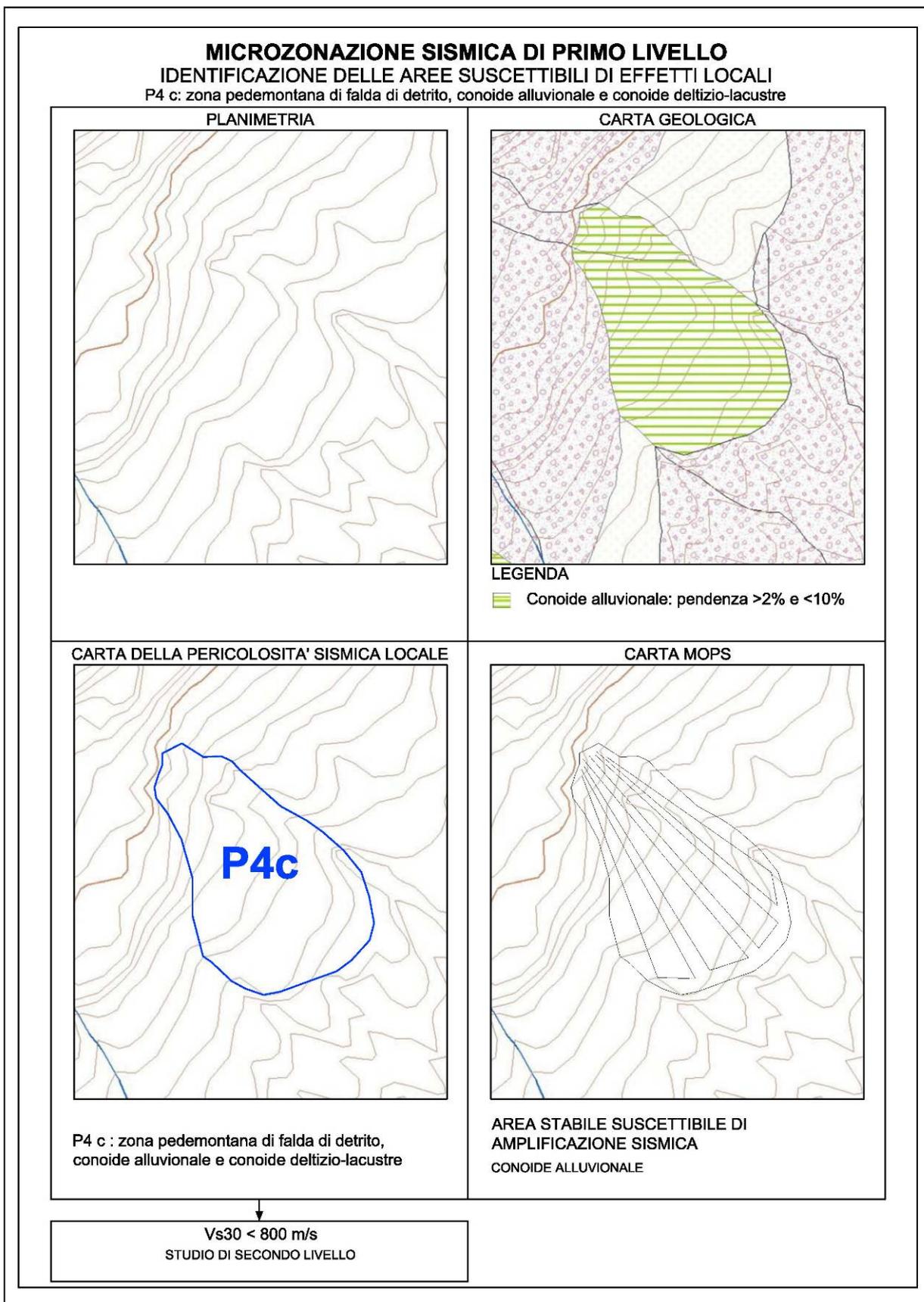
P4 b : zona di fondovalle stretta ($C > 0,25$)

CARTA MOPS



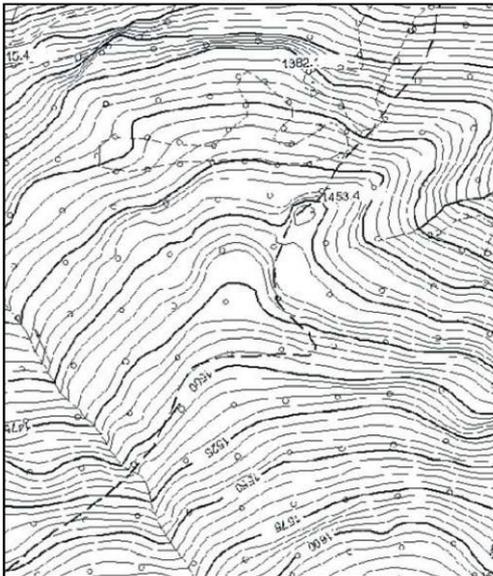
AREA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA VALLE STRETTA

↓
Vs30 < 800 m/s
STUDIO DI SECONDO LIVELLO

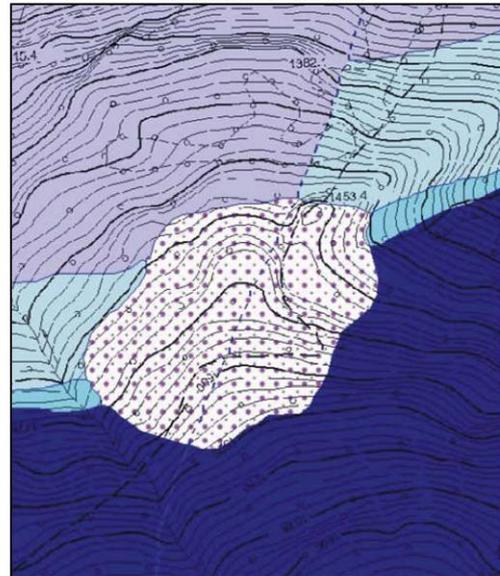


MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
P4 d: zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi

PLANIMETRIA

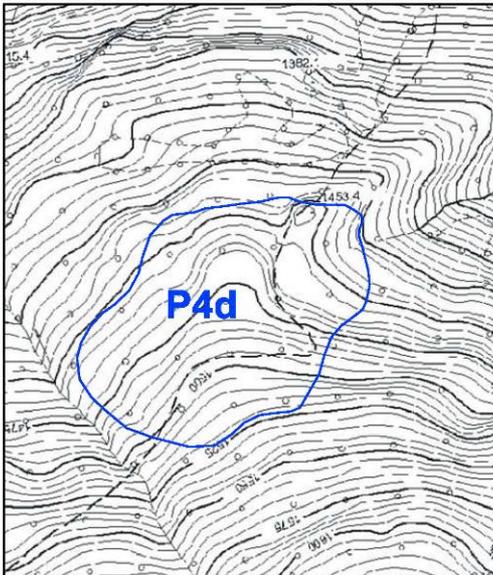


CARTA GEOLOGICA



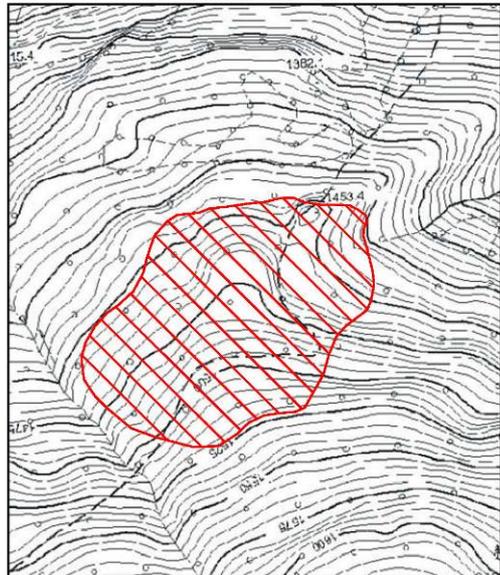
LEGENDA
□ Depositi morenici antichi

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P4 d : zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi

CARTA MOPS

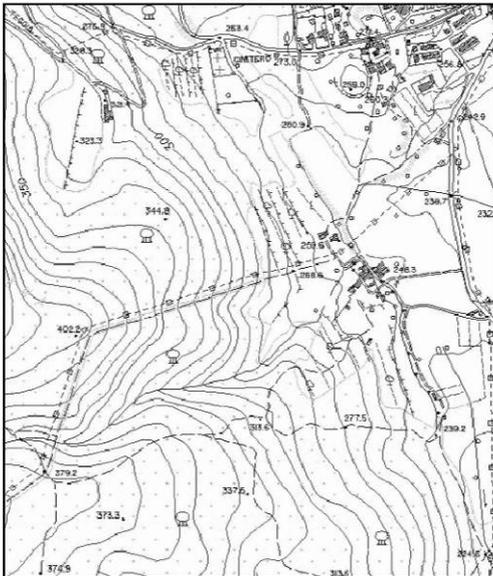


AREA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

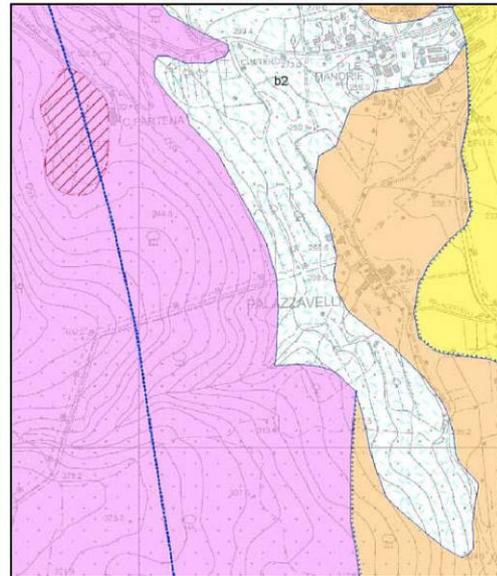
↓
Vs30 < 800 m/s
STUDIO DI SECONDO LIVELLO

MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
 P4 e: zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviali

PLANIMETRIA

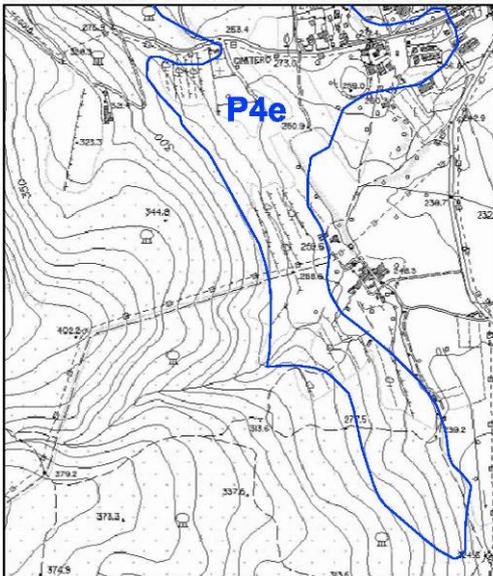


CARTA GEOLOGICA



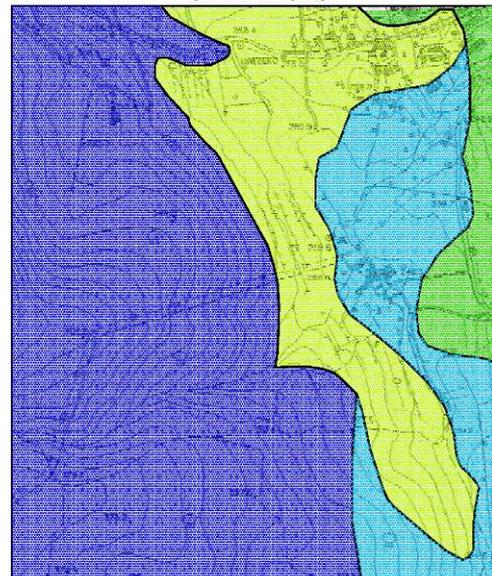
- LEGENDA**
- Depositi eluvio-colluviali
 - Sabbie plioceniche
 - Breccie calcaree
 - Calcare cavernoso
 - Contatti tettonici incerti o sepolti

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P4 e : zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale

CARTA MOPS



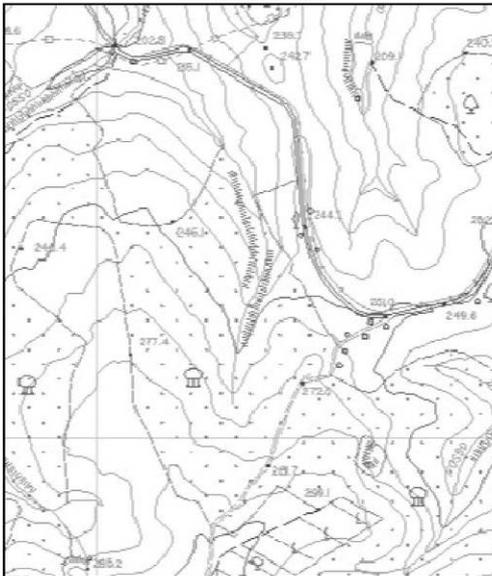
- ZONA STABILE**
- Substrato lapideo
 - Substrato granulare cementato
- ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE LOCALE**
- Zona 1
 - Zona 2

↓
Vs30 < 800 m/s
STUDIO DI SECONDO LIVELLO

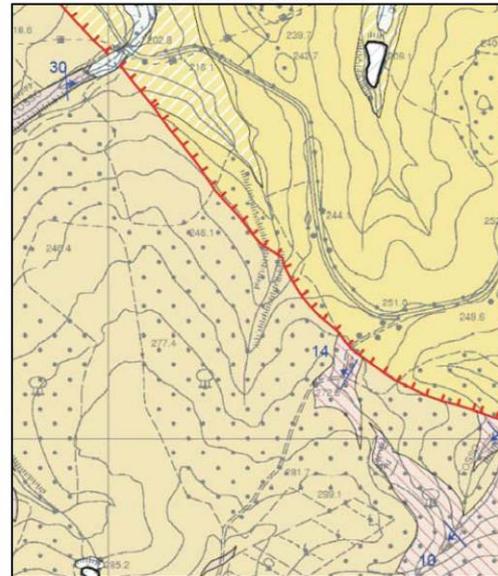
MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

P5 a: linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse

PLANIMETRIA

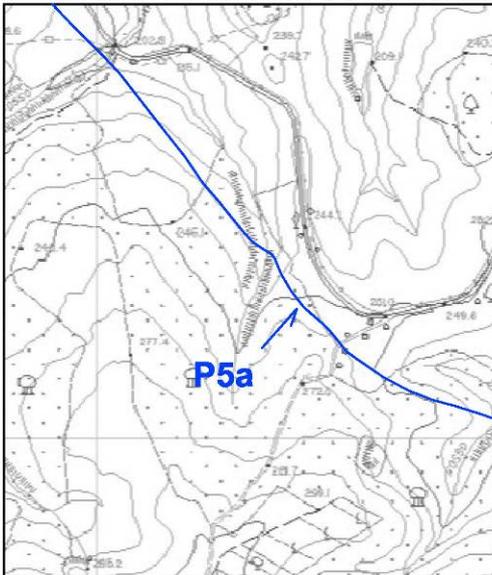


CARTA GEOLOGICA



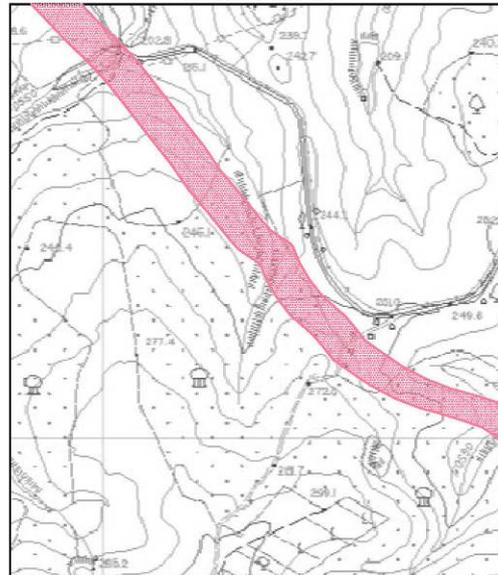
LEGENDA
 ■ Argille
 ■ Brecce
 - - - Contatto tettonico

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P5 a : linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse

CARTA MOPS



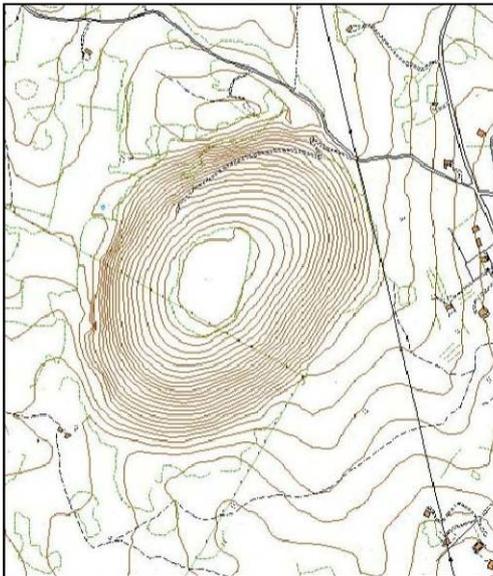
Cedimenti differenziali - Area di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse tra loro

cartografia

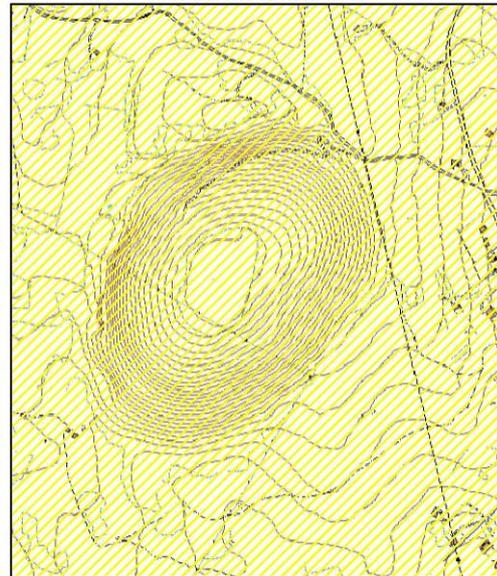
STUDIO DI SECONDO LIVELLO

MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO
IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI
 P5 b: zona dove sono presenti o potenzialmente presenti sinkhole (o cavità sotterranee)

PLANIMETRIA

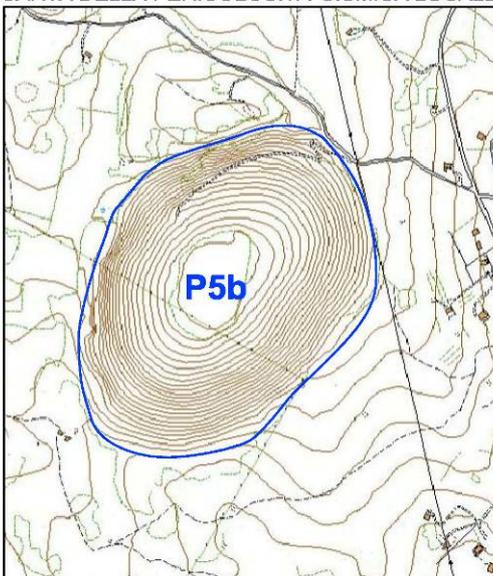


CARTA GEOLOGICA



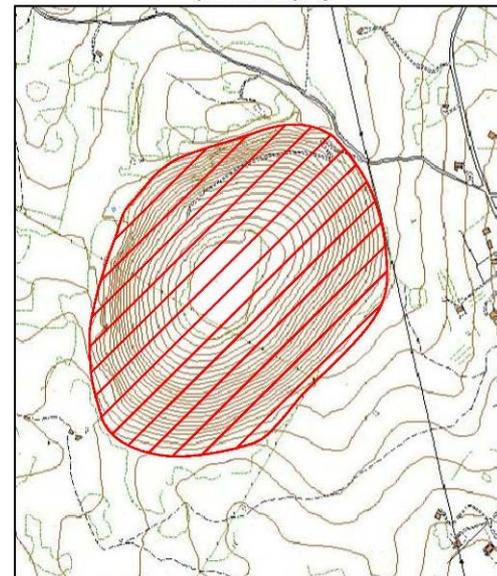
LEGENDA
 Calcarei di colore grigio scuro bituminosi

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



P5 b: zona ove sono presenti o potenzialmente presenti sinkhole o cavità sotterranee

CARTA MOPS



AREA INSTABILE PER AZIONE SISMICA
 PER CEDIMENTO
 collasso di cavità sotterranee

↓
 cartografia
 STUDIO DI SECONDO LIVELLO

LEGENDA PROPOSTA PER LA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

LEGENDA

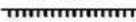
P1 : Zone suscettibili di instabilità

-  **P1a** Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
-  **P1b** Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
-  **P1c** Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana

P2 : Zone suscettibili a liquefazione e cedimenti

-  **P2a** Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...
-  **P2b** Zona con depositi granulari fini saturi
-  **P2c** Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici

P3 : Zone suscettibili ad amplificazioni topografiche

-  **P3a** Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica...)
-  **P3b** Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate

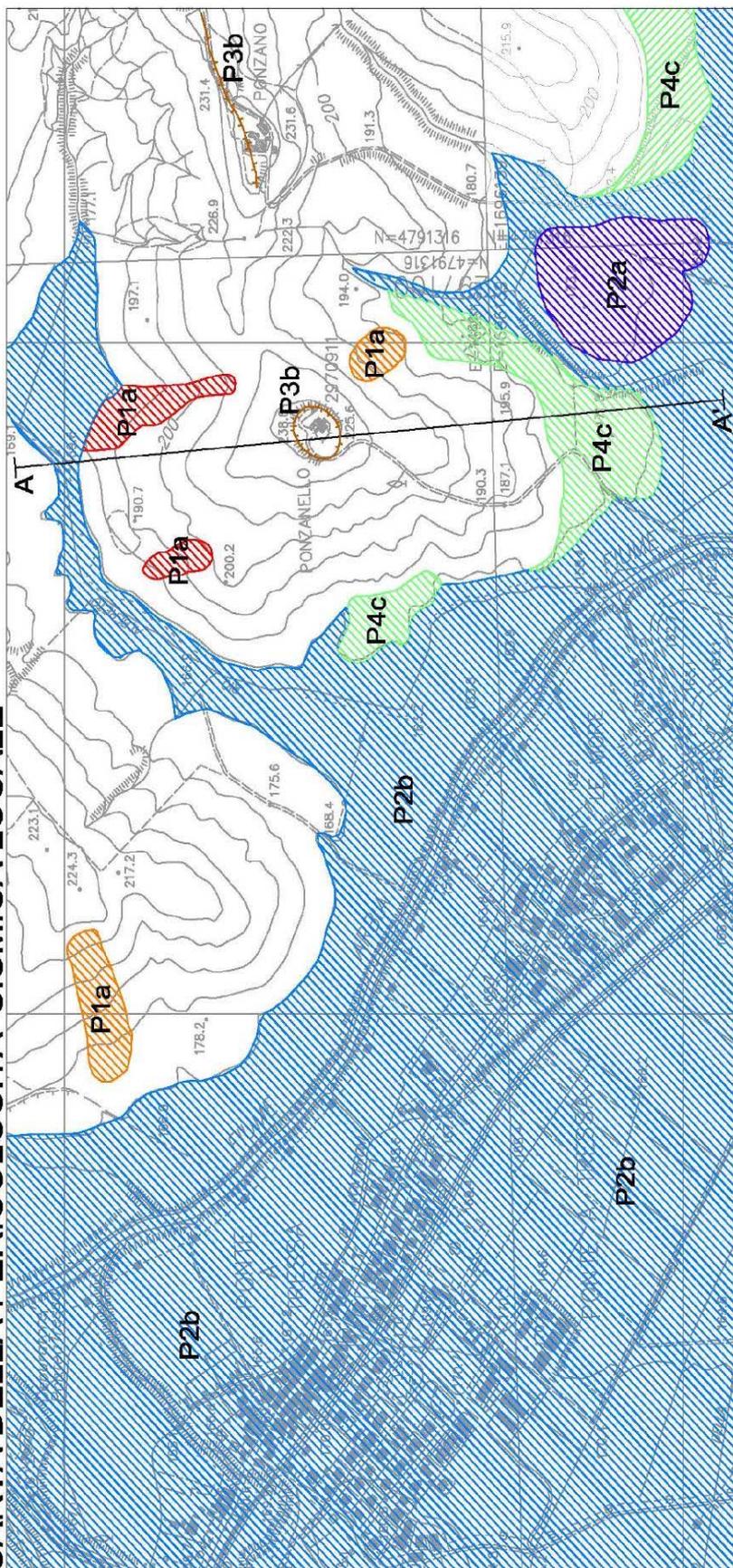
P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geometriche

-  **P4a** Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi
-  **P4b** Zona di fondovalle strette ($C > 0.25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale
-  **P4c** Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre
-  **P4d** Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)
-  **P4e** Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale

P5 : Zone suscettibili a comportamenti differenziali

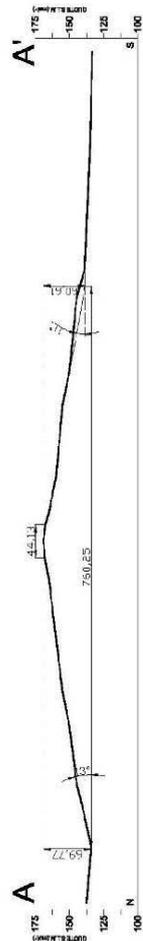
-  **P5a** Zona di contatto tettonico stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse
-  **P5b** Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti sinkhole o cavità sotterranee

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

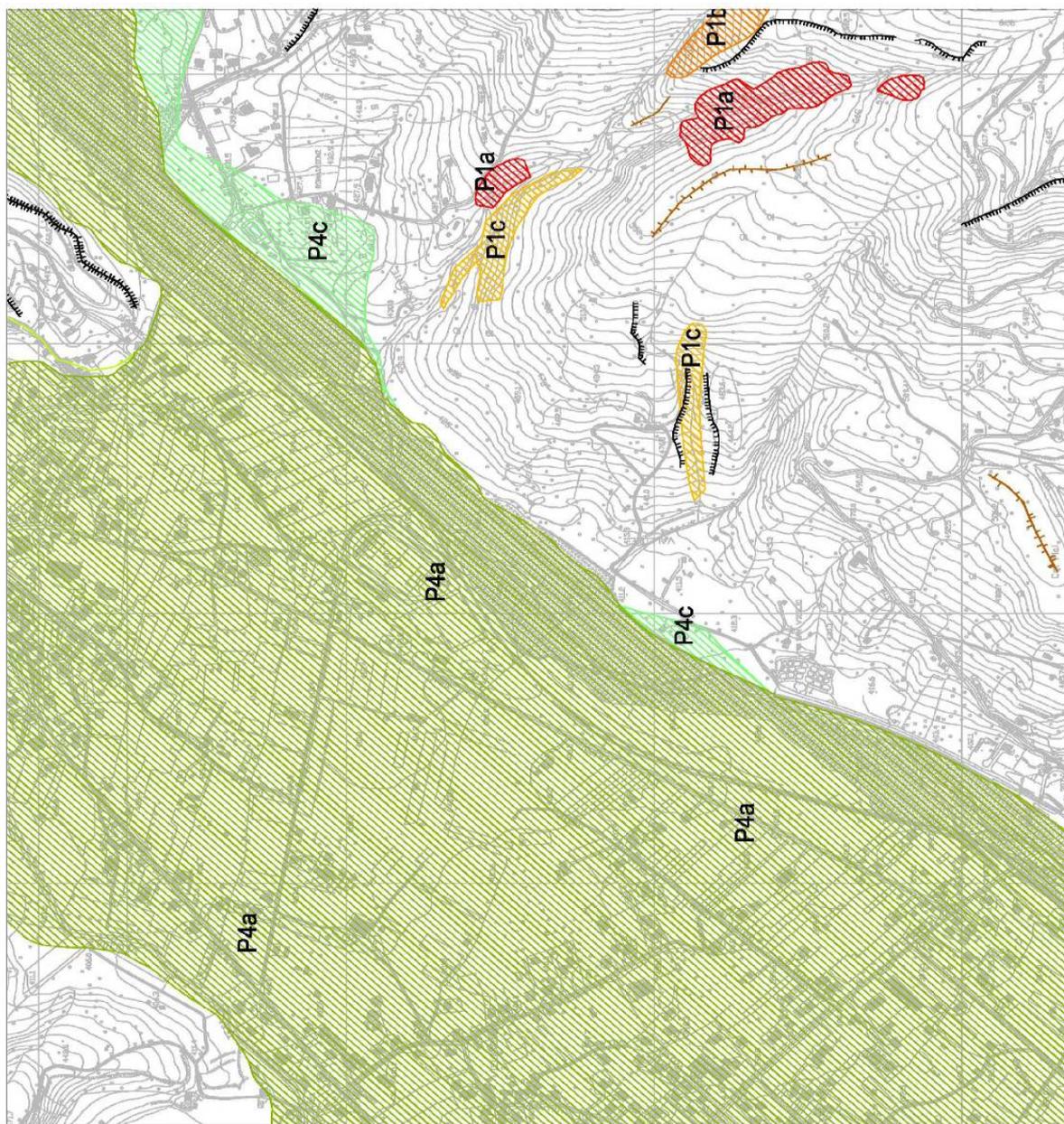


LEGENDA

-  **P1a** Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
-  **P1b** Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
-  **P2a** Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...
-  **P2b** Zona con depositi granulari fini saturi
-  **P3b** Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate
- 



CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



LEGENDA

P1 : Zone suscettibili di instabilità



Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi



Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti



Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana

P3 : Zone suscettibili ad amplificazioni topografiche

P3a Zona di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di
 tmmtm distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica...)



Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo:
 appuntite - arrotondate

P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geomorfiche



Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi
 alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

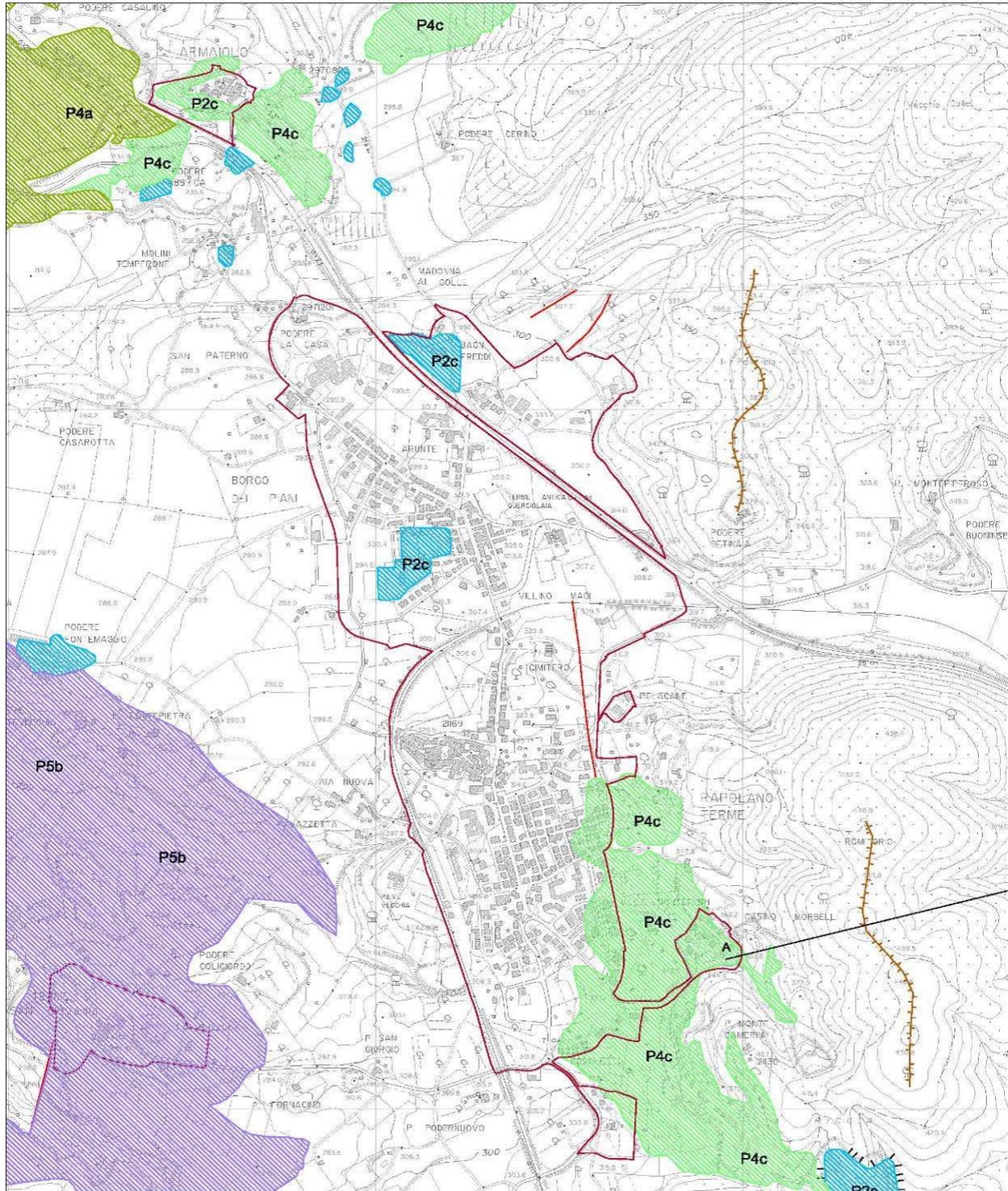


Zona pedemontana di falda di detrito, conolite alluvionale
 e conolite delizio-lacustre



Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o
 coesivi (compresa le coltri loessiche)

Carta della pericolosità sismica locale con perimetrazione dei centri abitati



LEGENDA

P2 : Zone suscettibili a cedimenti

P2c Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici

P3 : Zone suscettibili ad amplificazioni topografiche

P3a Zona di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica...)

P3b Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate

P4 : Zone suscettibili ad amplificazioni litologiche e geometriche

P4a Zona di fondovalle ampie e di pianura con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

P4c Zona detritica

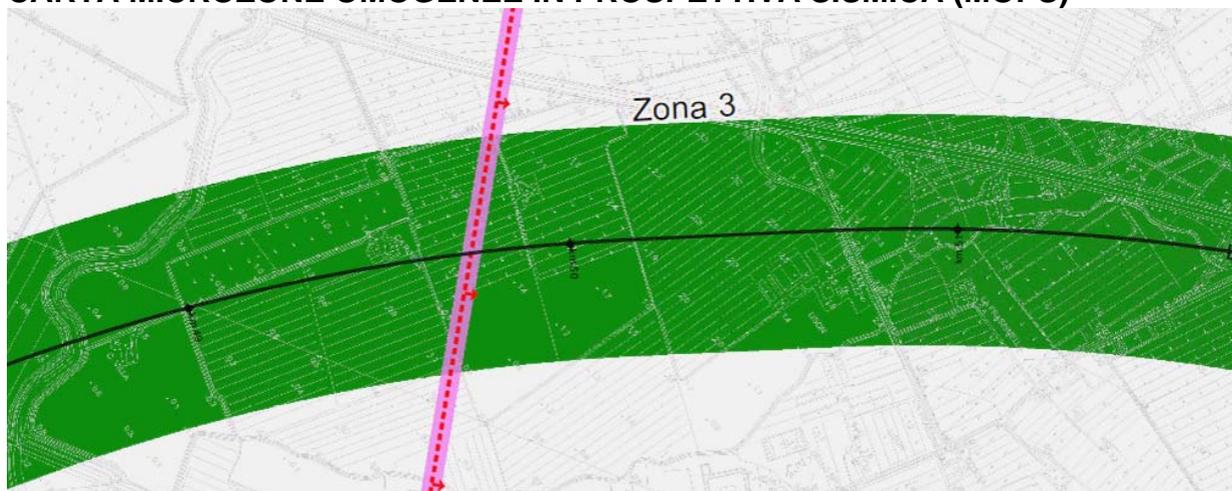
P5 : Zone suscettibili a comportamenti differenziali

P5a Zona di contatto tettonico stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse

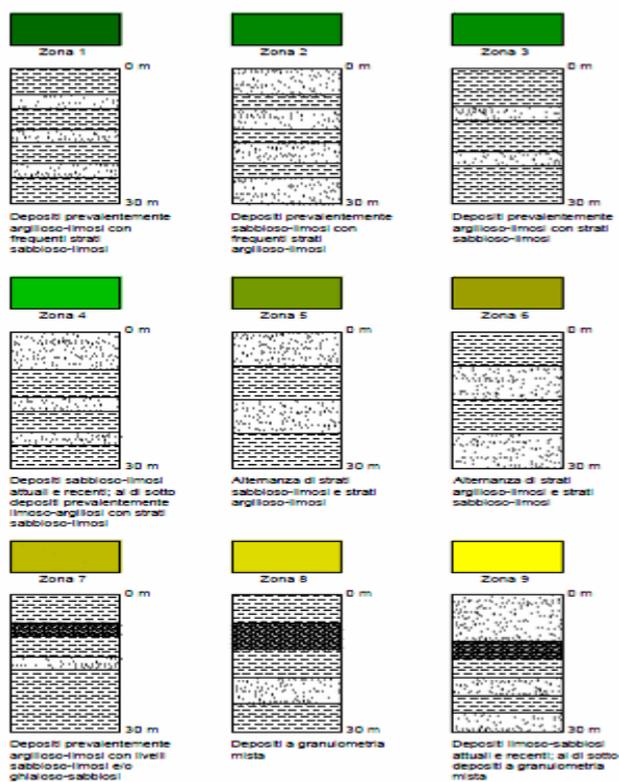
P5b Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti sinkhole o cavità sotterranee

— Perimetro centri abitati

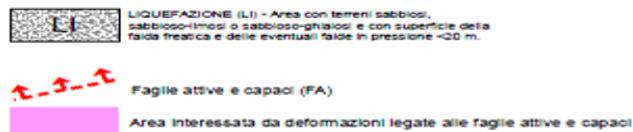
CARTA MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



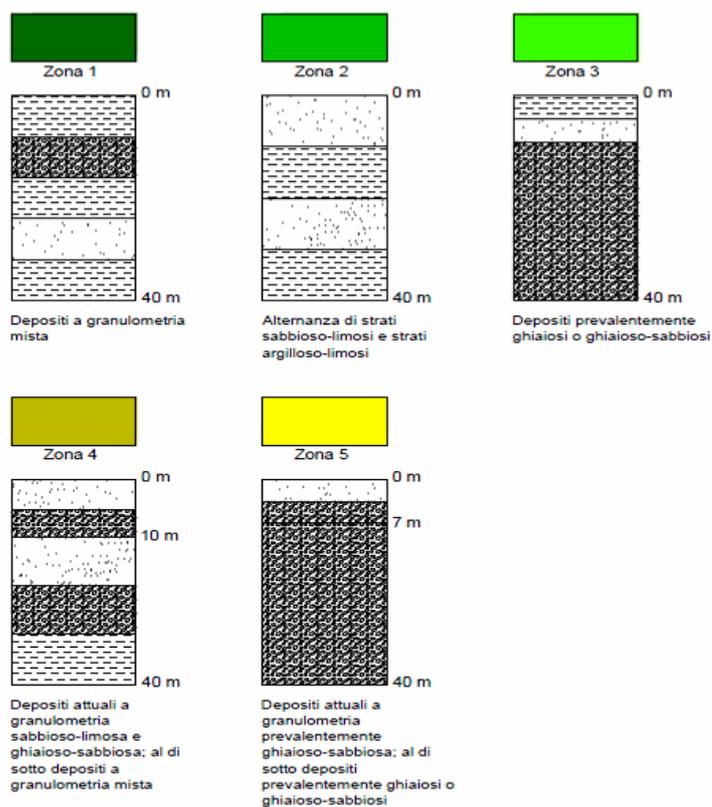
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'



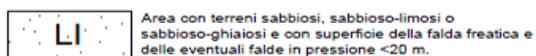
CARTA MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'



3 – SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

3.1 - Criteri comuni

3.1.1 - Ambiti di applicazione

Si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per la quale si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del “centro abitato” così come previsti dalla normativa vigente e lungo le fasce delle nuove reti infrastrutturali.

Si fa riferimento alla tabella della procedura di microzonazione sismica con i differenti livelli di approfondimento e per i differenti scenari di pericolosità sismica locale di cui alla precedente fig. 2. Per le aree individuate con movimenti franosi attivi (P1a) e quiescenti (P1b) si procederà alla loro individuazione cartografica e non saranno soggette a previsioni urbanistiche che ne incrementino il “carico”. Nell'ipotesi che si debba comunque intervenire in dette aree con infrastrutture a rete ed altra attività non diversamente localizzabile, si dovrà comunque procedere con gli approfondimenti di terzo livello. Per le aree potenzialmente franose od esposte al rischio frana (P1c) si procede, nei casi generali previsti dalla presente normativa, con il secondo livello di approfondimento. Nel caso in cui da tale elaborazione si pervenga ad un fattore di sicurezza (F_s) non ritenuto accettabile in relazione alla situazione locale, si dovrà procedere con il 3° livello di approfondimento (vedi par.4.2.2)

Per le zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (P2a) ricadenti all'interno dei centri abitati si procederà alla valutazione della suscettibilità alla densificazione secondo la procedura di secondo livello (par.3.2.6). Per le aree di nuova espansione si dovrà necessariamente raggiungere il terzo livello di approfondimento (par.4.2.4); nel secondo livello di approfondimento potranno eventualmente essere effettuate verifiche della reale suscettibilità dei depositi alla densificazione.

Per le zone con depositi granulari fini saturi (P2b) ricadenti all'interno dei centri abitati si procederà alla valutazione della suscettibilità alla liquefazione secondo la procedura di secondo livello (par.3.2.5). Per le aree di nuova espansione si dovrà necessariamente raggiungere il terzo livello di approfondimento (par.4.2.3); nel secondo livello di approfondimento potranno eventualmente essere effettuate verifiche della reale suscettibilità dei depositi alla liquefazione.

Per zone caratterizzate da coltri di terreno di riporto (P2c) ricadenti all'interno di nuove aree di espansione urbanistica si dovrà procedere con il terzo livello di approfondimento (par.4.2.4).

Per le aree con geometria complessa delle coperture (P4b e P5b) si dovrà procedere direttamente con il terzo livello di approfondimento.

Nelle zone di tipo P4a qualora si sia verificato che $h/l > 0,65 / \sqrt{C_v - 1}$ (situazione in cui si ha un alto valore di contrasto di impedenza sismica tra il basamento ed il terreno di riempimento della valle - le sigle sono illustrate successivamente) si dovrà procedere con il terzo livello di approfondimento.

Per le situazioni P3a, P3b, P4c, P4d, P4e e P5a è sufficiente l'approfondimento di secondo livello.

3.1.2 - Generalità

L'obiettivo del secondo livello di approfondimento è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente. Per il raggiungimento degli obiettivi del 2° livello si possono determinare delle modificazioni delle geometrie delle zone individuate precedentemente nella CPSL.

Il risultato fondamentale del 2° livello è la CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (scala di rappresentazione adeguata, es. 1:5.000), ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

La quantificazione numerica degli effetti sarà così rappresentata :

- per gli scenari P1c e P2 da differenti parametri quantitativi ;
- per gli scenari P3 e P4 dai fattori di amplificazione F_a e F_v .

I valori dei fattori di amplificazione, ottenuti con la procedura semplificata di secondo livello per gli scenari P3 e P4, consistono nei valori di F_a , fattore di amplificazione a basso periodo, e di F_v , fattore di amplificazione a periodo proprio. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione. Il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

La procedura di secondo livello per le aree P1c individuate nella CPSL (zone potenzialmente franose) si differenzia tra frane che coinvolgono terreni coerenti ed incoerenti e frane attivabili su pendii impostati su ammassi fratturati. Per il primo gruppo, relativo alle terre, l'analisi restituisce i massimi spostamenti attesi a seguito di movimenti di versante dovuti al sisma rappresentati per classi di entità di spostamento. Per il secondo gruppo, relativo alle rocce, l'analisi consente la delimitazione delle potenziali aree di alimentazione e accumulo.

L'analisi di secondo livello per le zone potenzialmente liquefacibili (scenari P2b) consente di determinare il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione attraverso metodi semplificati. I risultati dello studio rappresenteranno l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza per ogni verticale indagata e la perimetrazione delle aree secondo i valori dell'indice del potenziale di liquefazione I_L . Nel caso in cui i terreni risultino liquefacibili devono essere valutati gli effetti anche in termini di cedimenti permanenti post sismici.

Per i terreni insaturi suscettibili di densificazione l'analisi di secondo livello consiste nella determinazione dei cedimenti post-sismici, attraverso procedure semplificate.

Nelle aree indagate con il secondo livello di approfondimento dovranno essere effettuate misure del tipo passivo a stazione singola da elaborare mediante tecnica H/V .

Attualmente il ricorso alla tecnica H/V consente di individuare i possibili fenomeni di risonanza sismica e misura delle corrispondenti frequenze di vibrazione mediante misure passive del rumore sismico ambientale. Tali misure concorreranno alla redazione della CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI. In questa carta verranno riportati tutti i punti di misura, con associato il

risultato della prova (valore di frequenza (f) del picco del rapporto H/V o l'indicazione dell'assenza di picco) Il territorio indagato sarà suddiviso in base a classi di frequenza allo scopo di distinguere aree caratterizzate da basse e da alte frequenze di risonanza.

Le criticità individuate in questa fase di MS dovranno essere comunicate al proprietario e/o gestore dell'opera di interesse pubblico o della infrastruttura a rete al fine di attivare eventuali interventi di mitigazione.

3.1.3 - Indagini e dati minimi richiesti

L'operazione preliminare per la predisposizione del secondo livello è costituita dalla programmazione delle indagini da eseguire. Tale analisi dovrà prendere in considerazione le caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche e geotecniche delle diverse zone e integrarle con i dati geologici, geomorfologici, e geotecnici già esistenti. La localizzazione delle indagini per la predisposizione del secondo livello sarà riportata nella CARTA DELLE INDAGINI che andrà ad integrare la carta delle indagini già predisposta nel primo livello. In tale carta verranno segnalate anche le aree dove sono previste nuove indagini per la predisposizione del livello 3° di approfondimento.

Per la valutazione degli effetti di amplificazione topografica e litologica sono necessari dati riguardanti :

- pericolosità sismica di base per definire l'input sismico di riferimento;
- morfologia superficiale del sito ;
- stratigrafia del sito con particolare attenzione alla profondità del bedrock sismico ;
- morfologia del bedrock sismico ;
- profilo di velocità delle onde S ;
- caratterizzazione geotecnica dei terreni e caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi fratturati;
- periodo fondamentale di vibrazione.

Per la valutazione della stabilità dei versanti sono necessari dati riguardanti :

- pericolosità sismica di base per definire l'input sismico di riferimento;
- profilo topografico e geometria del versante ;
- litostratigrafia ;
- Caratterizzazione geotecnica con particolare riferimento alle caratteristiche di resistenza a taglio ;
- Condizioni idrogeologiche .

Per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione sono necessari dati riguardanti :

- magnitudo degli eventi attesi (analisi di disaggregazione della pericolosità sismica);
- stratigrafia ;
- caratterizzazione granulometrica ;
- profondità della falda idrica;
- resistenza dei terreni rispetto alla liquefazione .

Per la valutazione della suscettibilità di terreni insaturi alla densificazione sono necessari dati riguardanti :

- stratigrafia ;
- periodo fondamentale di vibrazione;
- caratterizzazione granulometrica ;
- profondità della falda idrica ;
- caratteristiche di addensamento .

Per la valutazione dei comportamenti differenziali, legati alla presenza di zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse, sono necessari dati riguardanti:

- traccia della discontinuità in superficie (rilevamento in situ, fotointerpretazione);
- stratigrafia di dettaglio ;
- profilo di velocità delle onde S ;
- geometria del piano di faglia o della superficie di contatto in profondità.

Nell'appendice 2 è riportata una tabella che suggerisce le quantità minime relative alle indagini necessarie per le differenti aree suscettibili di amplificazione sismica individuate nella CPSL, ricadenti all'interno di nuove aree di espansione e dei centri abitati.

3.1.4 - Carta di microzonazione sismica

La Carta di microzonazione sismica costituisce il documento fondamentale del secondo livello di approfondimento. Tale carta deve essere redatta ad una scala adeguata di rappresentazione (es.1:5.000).

La carta riporta i risultati delle analisi per la quantificazione numerica degli effetti di amplificazione o di instabilità nelle zone individuate nella CPSL di primo livello.

La carta sarà costruita sulla base dei valori di amplificazione ottenuti per ciascuna zona attraverso l'uso degli abachi (par.3.2.1.1, par.3.2.1.2, par.3.2.2) e sulla base dei valori numerici attribuiti con le metodologie semplificate descritte nei par.3.2.4.1, par.3.2.4.2, par.3.2.4.3, par.3.2.5.

Nella carta e nella relativa legenda esplicativa (figura 4) saranno rappresentate 3 tipologie di zone, queste sono:

- a. **Zone stabili (colore blu)** nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura se non lo scuotimento funzione dell'energia e della distanza dell'evento.
- b. **Zone stabili suscettibili di amplificazione (colore da giallo a rosso)** nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Le zone di questa categoria saranno caratterizzate numericamente dai valori di F_a e F_v dedotti dagli abachi e dalle tabelle.
- c. **Zone suscettibili di instabilità (colore verde)** nelle quali gli effetti sismici attesi sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. Le zone identificano tre categorie di effetti deformativi:

- Instabilità di versante. Le instabilità di versanti in terra saranno contrassegnate dalla sigla FRT e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di massimo spostamento atteso (cm) individuate. Le instabilità di versante in roccia saranno contrassegnate dalla sigla FRR e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di massima distanza di arrivo dei blocchi (m) individuate;
- Liquefazione. Queste aree saranno contraddistinte dalla sigla LI e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di potenziale di liquefazione individuate;
- Densificazione di terreni insaturi. Queste aree saranno contraddistinte dalla sigla DE e da un numero progressivo da 1 a n in base alle classi di cedimento individuate.

Nel caso di sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità e zone stabili suscettibili di amplificazione, il colore di fondo indicherà la zona stabile suscettibile di amplificazione locale, mentre la zona suscettibile di instabilità sarà rappresentata da un tratteggio sovrapposto di colore verde, dalla sigla e dal numero progressivo.

Per l'elaborazione del secondo livello di approfondimento è preferibile adottare una piattaforma GIS ed utilizzare gli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica promulgate dalla "Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica" in vigore.

ZONE STABILI - Identificazione della zona con colore blu			
	FA	FV	Informazioni sulle zone stabili
	1	1	Si ricorda che zone con substrato geologico con $J_s > 10-15$ o con $V_s < 800$ m/s potrebbero non essere classificate come zone stabili
ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI - Identificazione della zona con colore dal giallo al rosso			
	FA	FV	Informazioni sulle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
			
			
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ - Identificazione della zona con colore verde, sigla dell'instabilità e numerazione progressiva da 1 a n			
	Parametri quantitativi		Informazioni sulle zone suscettibili di instabilità
Instabilità di versante (FRT _i , FRR _i)	Terreni(T): max spostamento (cm) Roccia(R): max distanza blocchi (m) Es. FRT ₁ = 20 cm ... Es. FRR _n = 150 m		
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ - Identificazione della zona con colore verde, sigla dell'instabilità e numerazione progressiva da 1 a n			
Liquefazione (LI _i)	Potenziale di liquefazione LI Es. LI ₁ = 7 ... Es. LI _n = 18		
Cedimenti differenziali (CD _i)	{nessuno}		
Faglie attive e capaci (FA _v)	{nessuno}		
Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità a zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	Il colore di fondo indica la zona stabile suscettibile di amplificazione locale (da giallo a rosso), mentre la zona suscettibile di instabilità è indicata da un tratteggio sovrapposto verde obliquo, da sinistra a destra e dal basso verso l'alto, dalla sigla e dal numero progressivo.		

Figura 4 - Legenda della carta di microzonazione sismica (fonte "Gruppo di lavoro MS,2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom").

3.2 - Procedure di analisi per la MS di 2° livello

3.2.1 - Valutazione degli effetti morfologici

3.2.1.1- Zona di scarpata

Lo scenario zona di scarpata (P3a) identifica le aree caratterizzate dalla presenza di scarpate tipo bordi di cava, nicchie di distacco, terrazzi fluviali e scarpate antropiche.

In particolare, sono da considerarsi le scarpate caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 m, inclinazione del fronte principale (α) maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza H o comunque non inferiore ai 15-20 metri.

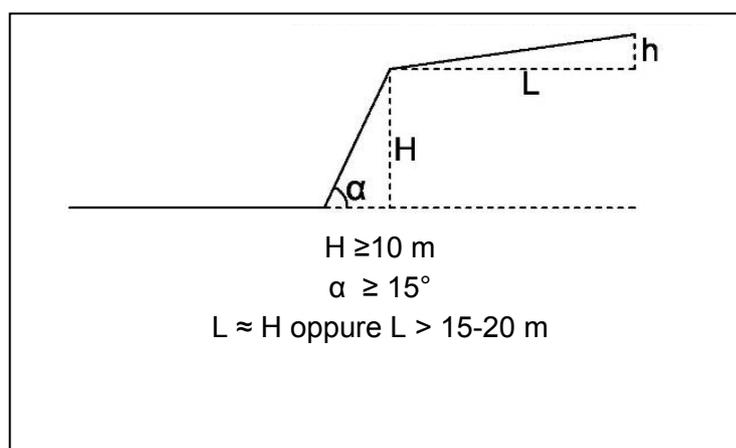


Figura 5 - Criteri di riconoscimento delle scarpate suscettibili di amplificazioni morfologiche .

L'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore L è identificato dalla distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

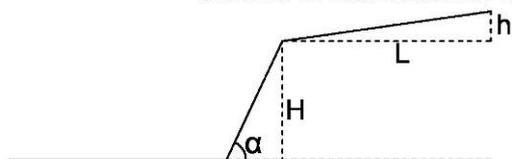
L'abaco delle scarpate fornisce per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) il valore di F_a per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e il valore della relativa area di influenza (A_i). Il valore di F_a determinato è assegnato al ciglio del fronte superiore, mentre all'interno della relativa area di influenza, il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario. Lungo la scarpata principale è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario alla base del fronte stesso.

Nei casi di scarpate in roccia il valore del fattore di amplificazione è sufficientemente rappresentato dal valore di F_a per effetti morfologici.

ABACO SCARPATA

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI MORFOLOGICI

CRITERI DI RICONOSCIMENTO



$$H \geq 10 \text{ m}$$

$$\alpha > 15^\circ$$

$$L \approx H \text{ oppure } L > 15\text{-}20 \text{ m}$$

Fattore di amplificazione per effetto morfologico			
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Fa 0.1-0.5	Area di influenza
10 m < H < 20 m	15° < α < 90°	1.1	Ai = H
20 m < H < 40 m	15° < α < 90°	1.2	Ai = 3/4 H
H > 40 m	15° < α < 20°	1.1	Ai = 2/3 H
	20° < α < 40°	1.2	
	40° < α < 60°	1.3	
	60° < α < 70°	1.2	
	α > 70°	1.1	

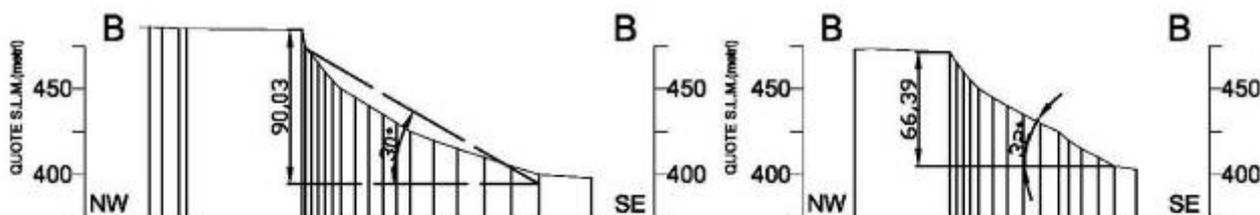
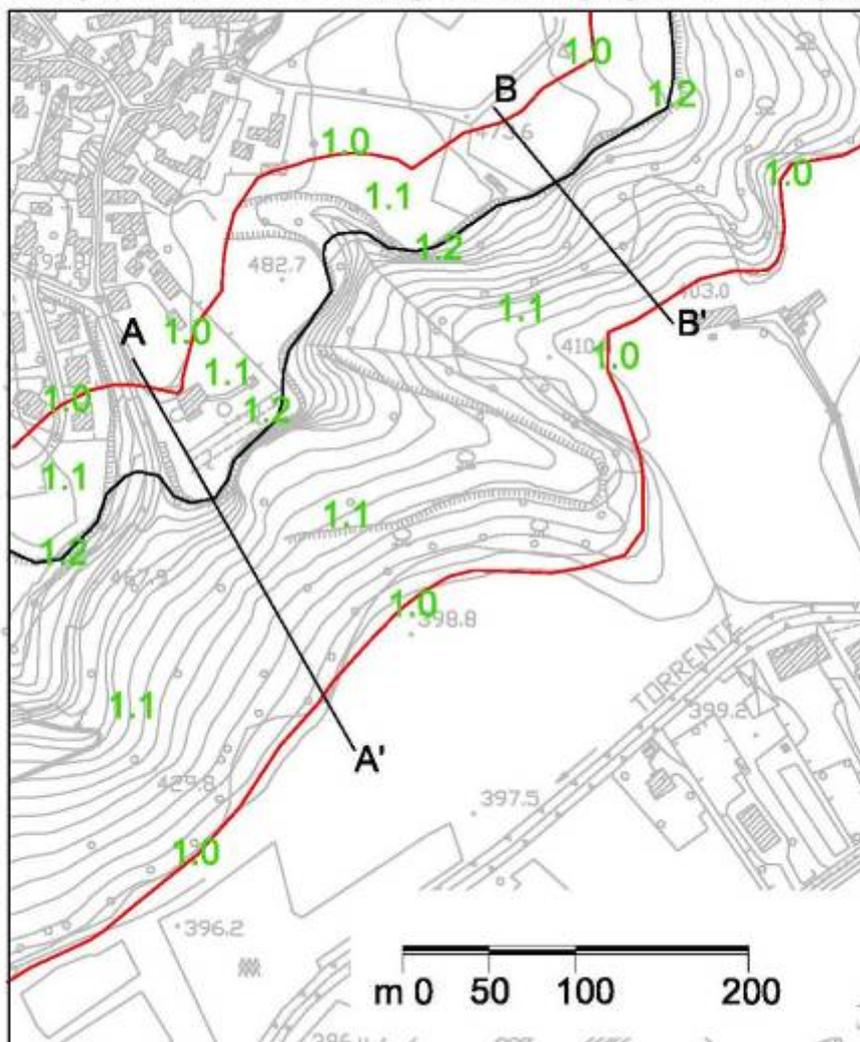
Il valore di Fa determinato andrà assegnato al ciglio superiore della scarpata.

Sul fronte superiore il valore va scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.
Lungo la scarpata principale va scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario
alla base del fronte stesso.

SULLA BASE DEL VALORE DEL VS30 SI DISTINGUERANNO

SCARPATE IN ROCCIA	SCARPATE IN TERRE
Valutazione degli effetti morfologici	Valutazione degli effetti morfologici + Valutazione degli effetti litologici Fa = Fa morfologico * Fa litologico

Esempio di valutazione degli effetti topografici - scarpata



DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

$\alpha = 32^\circ$
 Classe di inclinazione = $20^\circ < \alpha < 40^\circ$
 $H = 90\text{m}$
 Classe altimetrica: $H > 40\text{m}$

$\alpha = 32^\circ$
 Classe di inclinazione = $20^\circ < \alpha < 40^\circ$
 $H = 66\text{m}$
 Classe altimetrica: $H > 40\text{m}$

DETERMINAZIONE DI FA (0.1-0.5S) ATTRAVERSO L'ABACO SCARPATA

$F_a (0.1-0.5s) = 1.2$

Area di influenza = $\frac{2}{3} H = 60\text{ m}$

$F_a (0.1-0.5s) = 1.2$

Area di influenza = $\frac{2}{3} H = 44\text{ m}$

Nei casi di scarpate in terre od in presenza sul fronte superiore di una coltre detritica suscettibile di amplificazione (copertura di almeno 3 metri di spessore) dovrà essere valutato anche il fattore di amplificazione per effetti litologici, secondo le procedure descritte nel paragrafo 3.2.2. La situazione sarà rappresentata dal valore di F_a dato dal prodotto di F_a per effetti litologici e F_a per effetti topografici.

E' opportuno, infine, ricordare che nei casi in cui la scarpata principale presenta alte inclinazioni (scarpate in terra con inclinazioni maggiori di 25° ; scarpate in roccia con inclinazioni maggiori di 45°) sarà opportuno procedere anche con la valutazione degli effetti di instabilità secondo la procedura di secondo livello.

3.2.1.2 - Zona di cresta e/o cucuzzolo

Lo scenario P3b di cresta e/o cocuzzolo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche.

Sono da considerare creste quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore od uguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) ed inclinazione dei versanti maggiore o uguale a 15° .

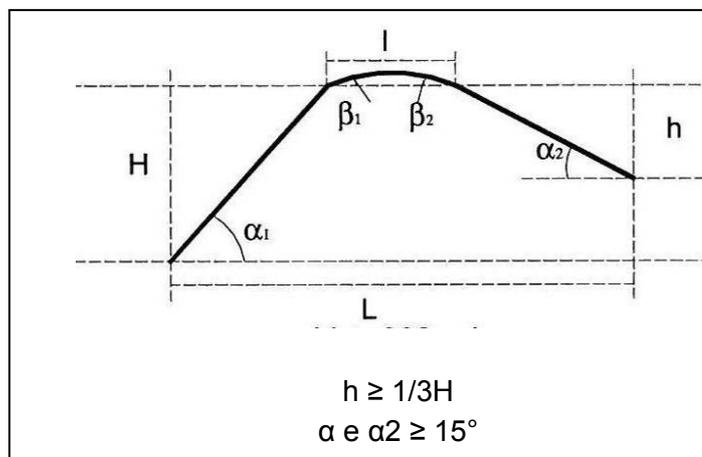


Figura 6 - Criteri di riconoscimento delle creste e/o cocuzzoli suscettibili di amplificazioni morfologiche.

In base alle caratteristiche della cresta, così come riportato nell'abaco relativo, si distinguono:

- CRESTE APPUNTITE: rilievi caratterizzati da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base ($l < 1/3 L$).
- CRESTE ARROTONDATE: rilievi caratterizzati da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno $1/3$ della larghezza alla base ($l \geq 1/3 L$); la

zona di cresta è pianeggiante o sub pianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (β_1 e $\beta_2 < 10^\circ$).

Si riporta, inoltre, la tabella con i valori limite di l (larghezza in cresta), in rapporto all'altezza H dei versanti, oltre i quali non siamo più in presenza di una morfologia tipo cresta ma di due singole scarpate per le quali si procederà con la procedura del par.3.2.1.1.

Altezza H	Valori di l
H fino a 20 m	1,5 H
H tra 20 e 40 m	1,2 H
H oltre 40 m	1,0 H

Tabella 3 - Valori limite della larghezza in cresta (l) per il riconoscimento delle morfologie tipo cresta.

L'abaco relativo alle creste permette la valutazione del fattore di amplificazione topografica nell'intervallo di periodo 0,1 - 0,5 s nelle situazioni di cresta appuntita e di cresta arrotondata. I parametri necessari alla definizione del tipo di cresta ed alla determinazione del valore di F_a sono:

- larghezza alla base del rilievo L ;
- larghezza in cresta del rilievo l ;
- dislivello altimetrico massimo H ;
- coefficiente H / L .

In base al valore del coefficiente H/L , solo per le creste appuntite, ed alla larghezza alla base del rilievo L , si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a .

Il valore di F_a topografico determinato andrà assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta, mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.

In presenza di coltre detritica alla sommità del rilievo occorre stimare anche il fattore di amplificazione stratigrafico. Il valore di F_a sarà il prodotto di F_a litologico per F_a topografico. Per la determinazione di F_a litologico si procederà come descritto nel successivo paragrafo 3.2.2. .

EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA

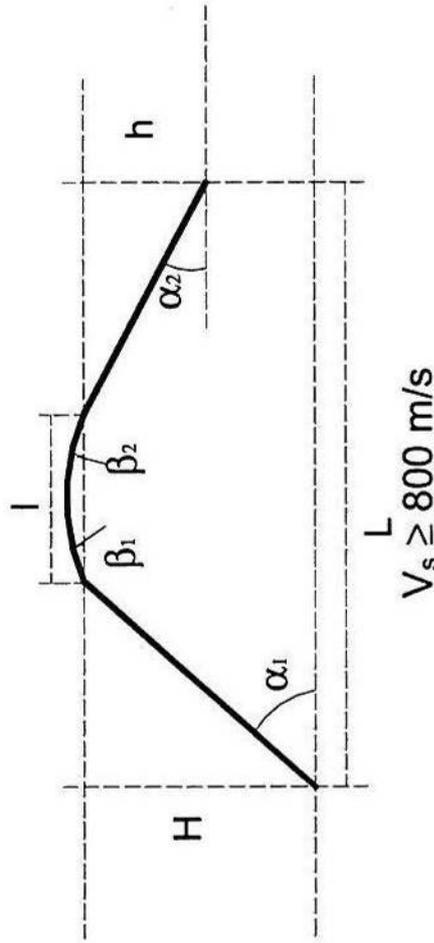
$\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA

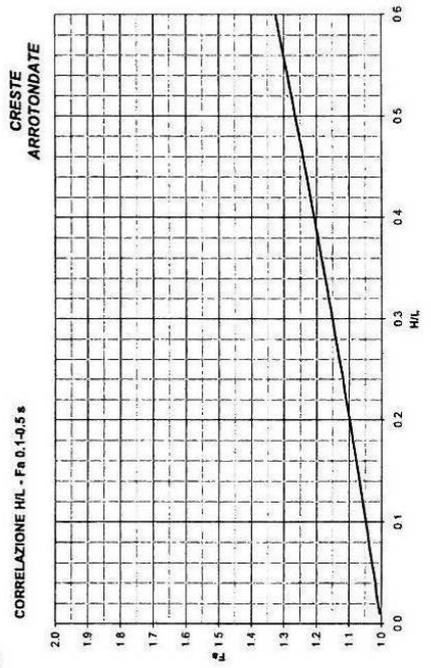
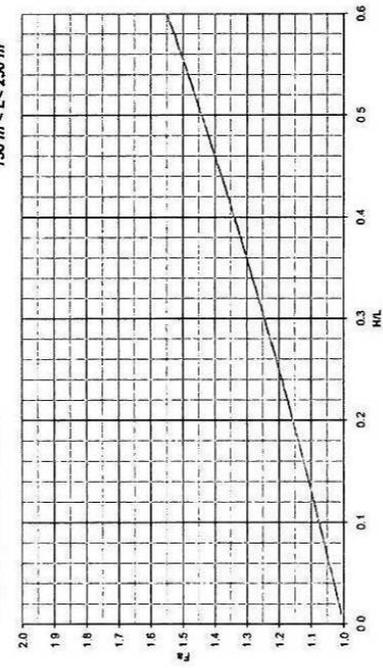
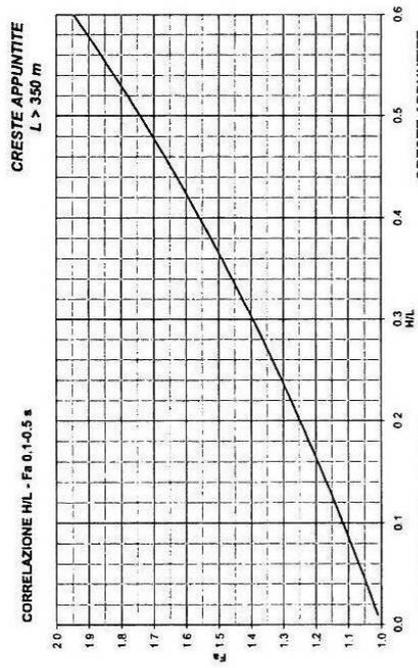
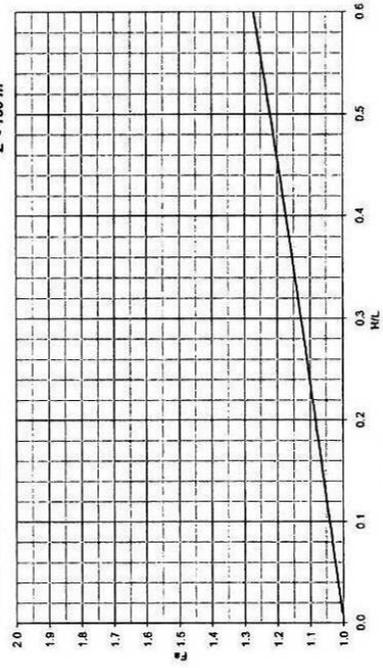
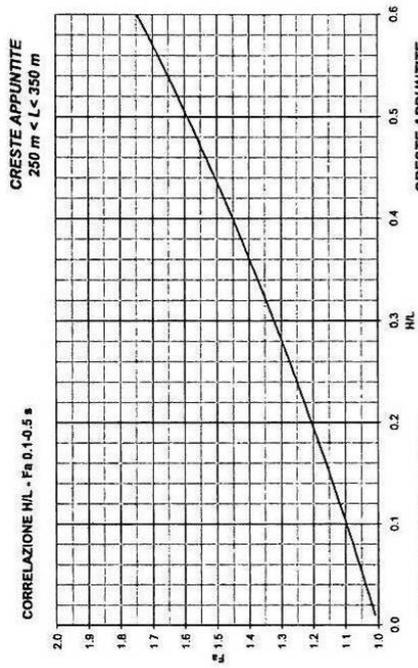
$\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA

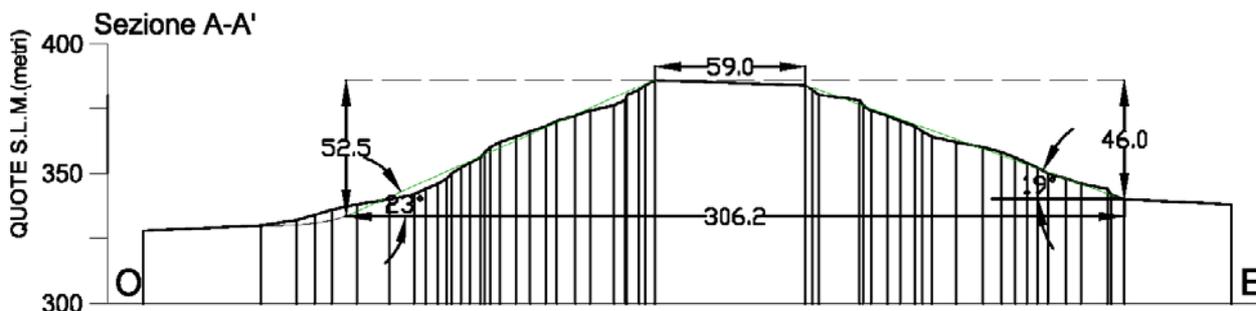
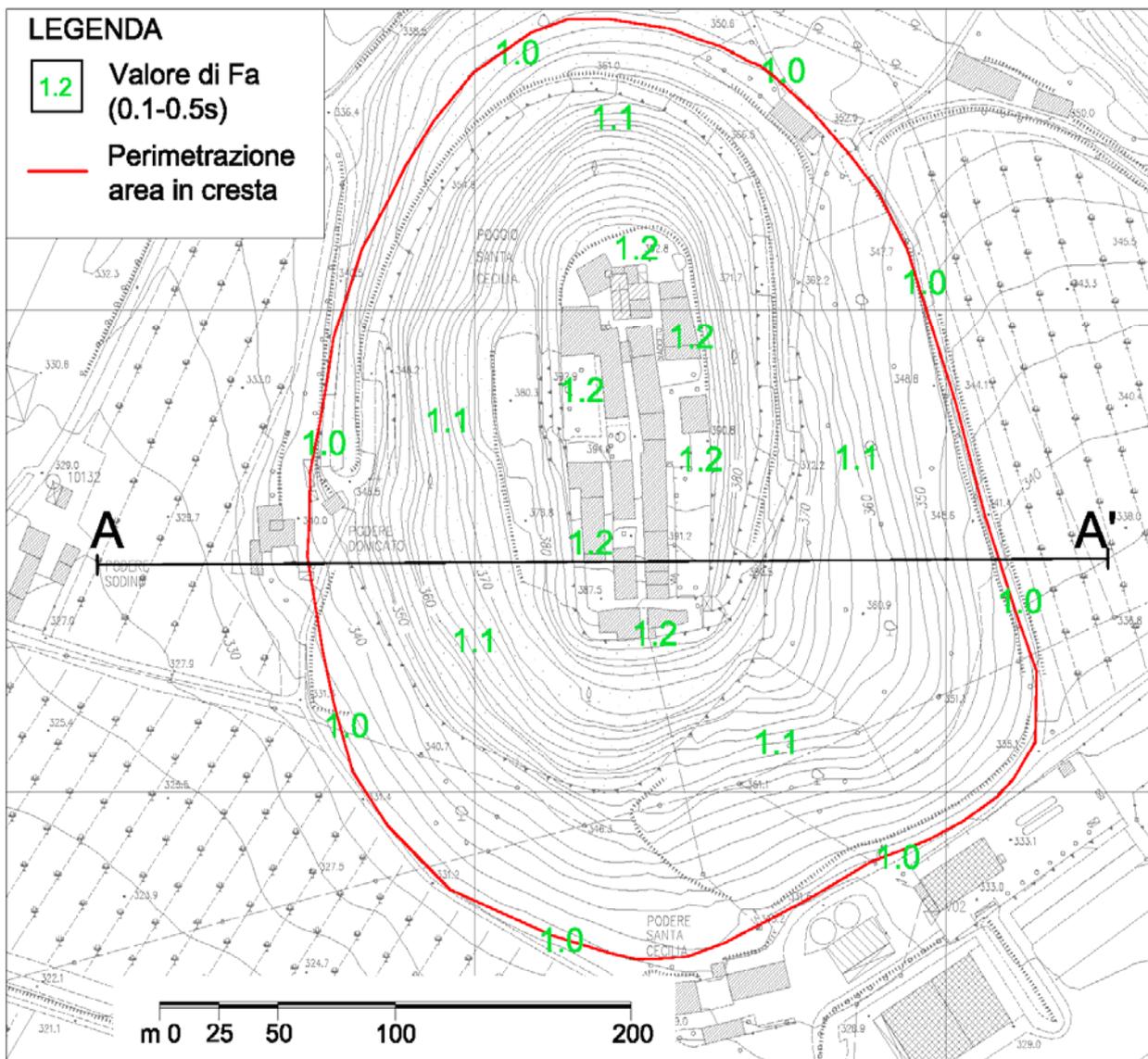
$l < 1/3 L$



	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			



Esempio di Valutazione degli effetti topografici - cresta



Determinazione delle caratteristiche geometriche

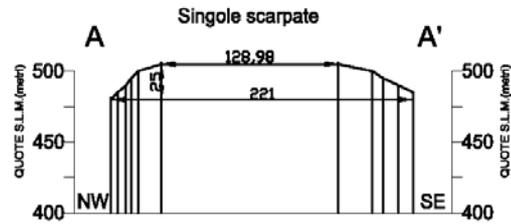
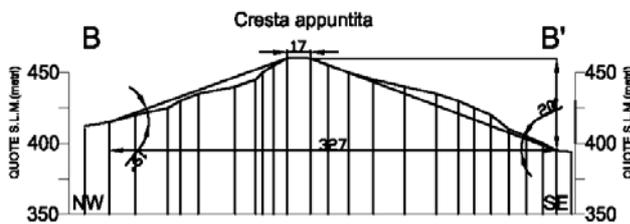
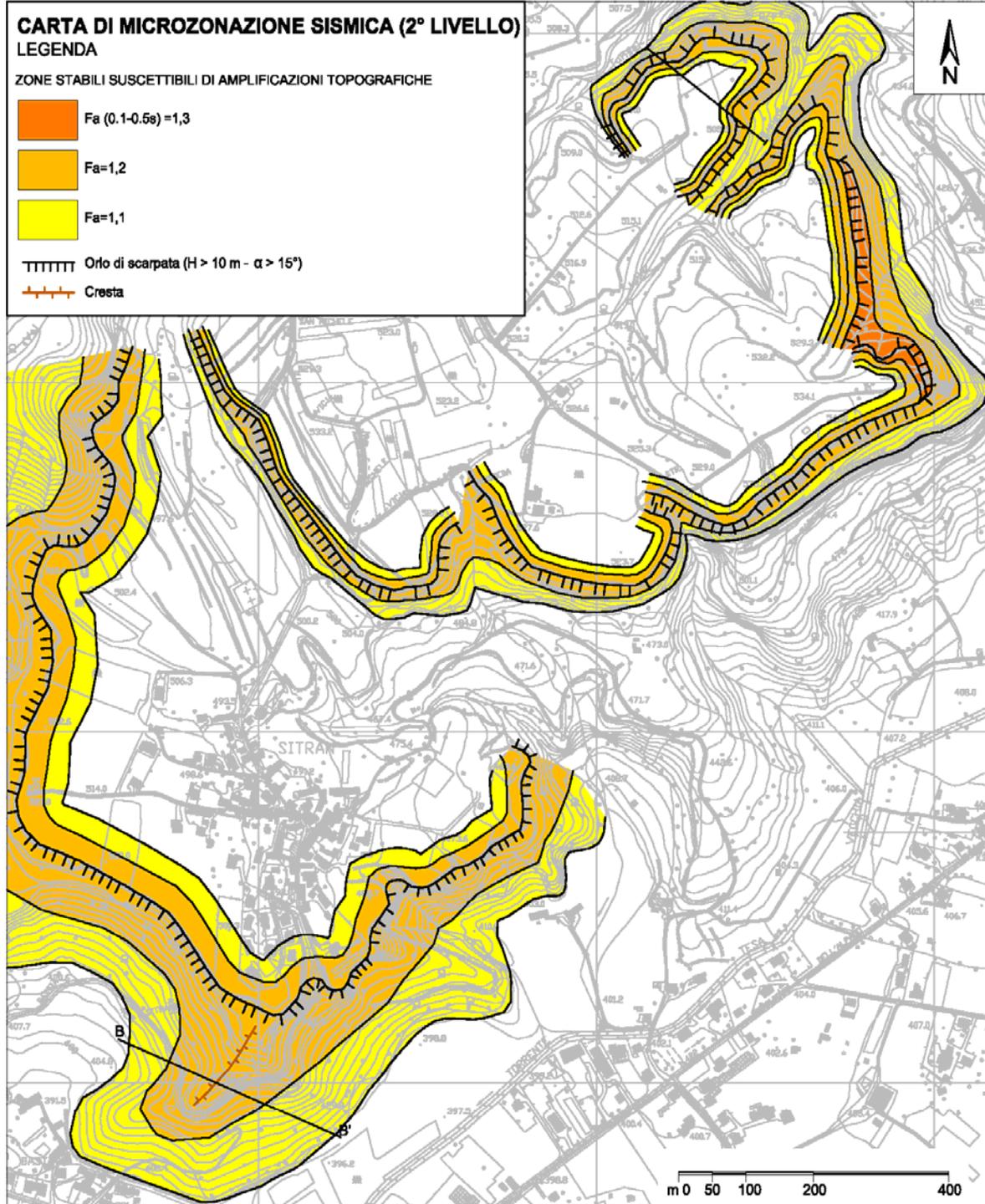
$l < 1/3 L$: cresta appuntita

$H/L = 0,16$ $L = 306$ m

Determinazione di Fa (0.1-0.5s) attraverso l'ABACO CRESTA

$Fa = 1,16 = 1,2$

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA (MS 2° LIVELLO)



$L = 327\text{ m}$
 $H/L = 0,19$
 $F_a(0,1-0,5s) = 1,2$

3.2.2 - Valutazione degli effetti litologici

Al fine di individuare le aree potenzialmente suscettibili di amplificazione locale dovrà essere verificato con opportune indagini l'appartenenza dei terreni di copertura dell'area ad una delle classi di seguito riportate.

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

Tabella 4 – classi dei terreni di copertura.

Si ricorda che dall'elenco di tabella 4 sono esclusi i terreni cementati e quelli dotati di un alto grado di sovraconsolidazione ed inoltre che lo spessore minimo delle coperture da considerare è superiore a 3 metri.

Una volta individuate le aree caratterizzate dalla presenza di terreni di copertura suscettibili di amplificazione locale, si procederà alla determinazione dei fattori di amplificazione F_a e F_v attraverso le tabelle predisposte dalla Protezione Civile Nazionale e contenute negli "indirizzi e criteri per la MICROZONAZIONE SISMICA", ove .

F_a rappresenta il fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);

F_v rappresenta il fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

L'adozione e l'utilizzo di tali tabelle è da considerarsi temporaneo e cesserà quando la Regione del Veneto si sarà dotata di specifici abachi riferiti al proprio territorio regionale. Nell'utilizzo degli abachi si consiglia di valutare, nell'intorno di applicazione, l'incremento lineare dei valori numerici, ed operare, eventualmente, un arrotondamento al primo decimale.

I dati di ingresso per la scelta della tabella sono rappresentati dai seguenti elementi:

- la litologia prevalente nei terreni di copertura;
- la profondità del basamento sismico, ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s (H);
- l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e la velocità media V_{SH} delle onde S nei terreni di copertura fino al basamento sismico. Questa sarà data definita dalla seguente relazione :

$$V_{SH} \cong \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{SI}}}$$

dove:

H è lo spessore totale (in metri) dei terreni di copertura fino al basamento sismico;

h_i è lo spessore (in metri) dell'i-mo degli n strati che costituiscono la copertura;

V_{SI} è la velocità (in m/s) dell'i-mo strato.

Le tabelle sono riferite a tre livelli di sismicità: 0,06g, 0,18g e 0,26g; sono ordinate per litotipo (argille, sabbie e ghiaie) ed all'interno di ciascun litotipo, per tipo di profilo di velocità assunto (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di V_{SH} , e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima). La scelta del tipo di profilo va operata sulla base delle conoscenze specifiche ottenute: in generale quando lo spessore di sottosuolo diventa considerevole (diverse decine di metri), è poco probabile che il profilo di velocità si mantenga costante, ed è quindi preferibile orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza intermedia. Si ricorda comunque che il profilo con pendenza massima fornisce generalmente risultati più cautelativi e può essere applicato quando sono effettivamente ipotizzabili gradienti molto accentuati con la profondità. I dati relativi a spessori H elevati (da 50 a 150 metri) sono stati inseriti per consentire il riferimento a situazioni in cui è prevedibile che le caratteristiche meccaniche di resistenza dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità, in assenza di evidenti contrasti di impedenza.

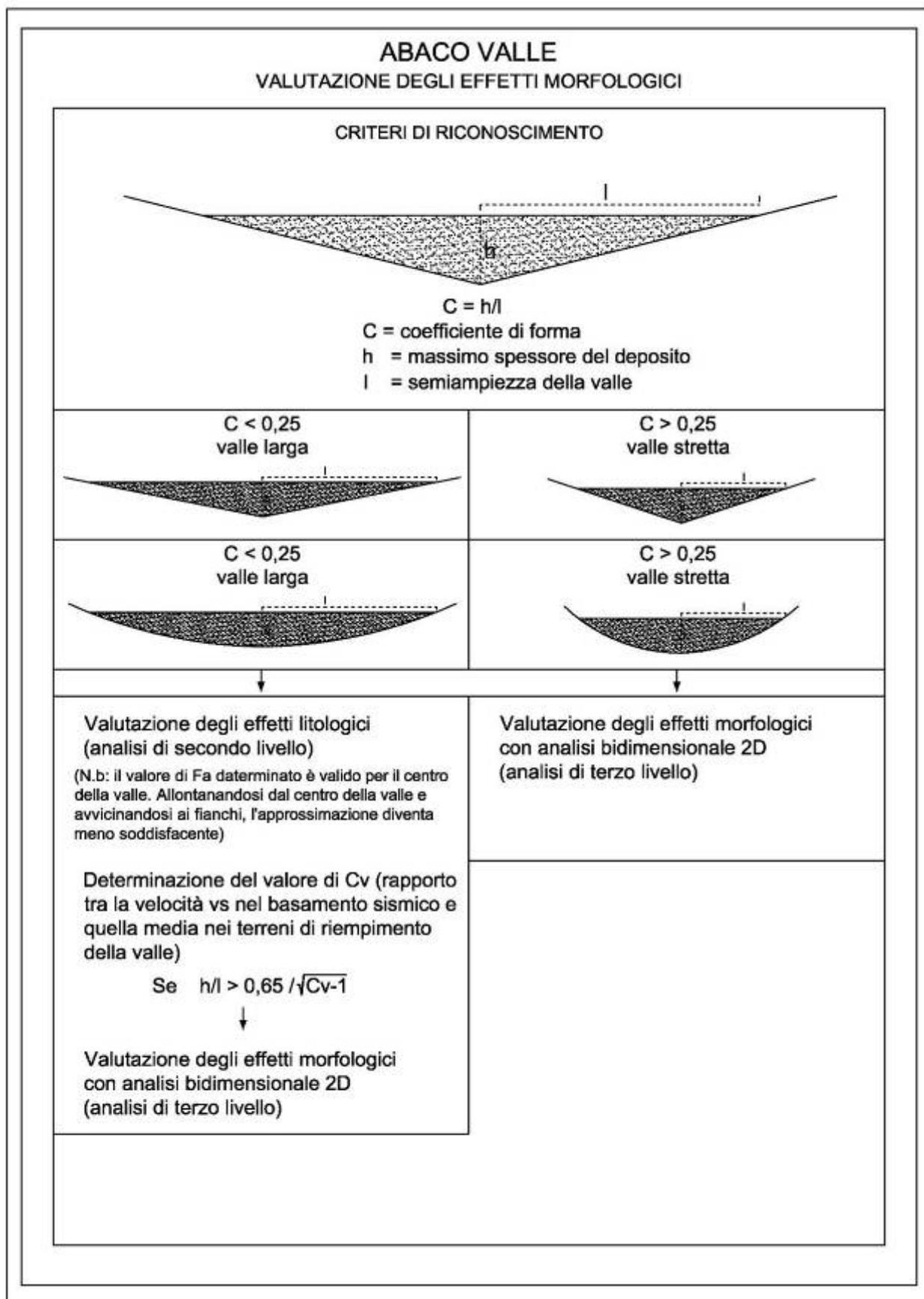
3.2.3 - Zona di fondovalle

La distinzione tra P4a e P4b (valli larghe e valle strette) è operata in riferimento agli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle regioni e Province Autonome, 2008, in funzione del coefficiente di forma C ($C = h / l$) in cui h è lo spessore della coltre alluvionale ed l la sua semiampiezza:

- *valle stretta* $C > 0.25$

- *valle larga* $C < 0.25$

Nelle valli ampie si può ipotizzare una stratigrafia piano-parallela e quindi la valutazione degli effetti litologici con la procedura semplificata nel secondo livello di approfondimento, riportata nel paragrafo 3.2.2, può risultare sufficiente.



E' necessario comunque tenere in considerazione che il valore di Fa determinato con la procedura semplificata è valido per il centro della valle; allontanandosi dal centro della valle e avvicinandosi ai fianchi l'approssimazione diventa meno soddisfacente.

Si dovrà inoltre verificare se:

$$\frac{h}{l} > \frac{0,65}{\sqrt{Cv - 1}}$$

dove :

h è lo spessore della coltre di copertura ;

l la sua semiampiezza ;

Cv rappresenta il rapporto tra la velocità Vs del substrato e la velocità Vs dei terreni di copertura.

In tali casi è necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (procedure di terzo livello).

Nelle valli strette la stratigrafia del sottosuolo può avere rapidi cambiamenti laterali, soprattutto del tetto del substrato rigido, e quindi può essere si rende necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (quindi procedure di 3° livello).

3.2.4 - Instabilità di versante

La valutazione degli effetti di instabilità di versante di secondo livello dovrà essere effettuata nelle aree P1c (aree potenzialmente in frana) che interessano aree di trasformazione urbanistica e/o abitati esistenti. Per le aree P1a (frane attive) e P1b (frane quiescenti) che interessano abitati esistenti e/o infrastrutture a rete si procederà con il terzo livello di approfondimento.

3.2.4.1 - Frane in pendii nell'ambito delle terre

La procedura di secondo livello per le aree potenzialmente in frana perviene, attraverso metodi semplificati, alla valutazione dei massimi spostamenti attesi dovuti al sisma, con l'intento di stabilire una gerarchia di pericolosità tra le aree potenzialmente in frana. La valutazione può essere effettuata utilizzando metodi dinamici semplificati, che consistono in una valutazione semplificata eseguita con il metodo di Newmark, sulla base dell'inclinazione del pendio e un range stimato di caratteristiche meccaniche e di posizione della falda. Il metodo restituisce delle correlazioni a validità areale, costruite da vari autori, tra la grandezza D, espressa in unità di lunghezza, ed il rapporto di accelerazione critica K_c / K_m , dove $K_c = a_c / g$ (a_c = accelerazione critica, g = accelerazione di gravità) e $K_m = a_{max} / g$.

In letteratura esistono numerose correlazioni empiriche semplificate (Simonelli e Fortunato 1996, Cavalera e Brancucci 1995, Romeo 2000).

Si precisa che i risultati ottenuti con tali metodi hanno solo valore comparativo e non possono essere esportati alla scala di manufatto. I valori ottenuti degli spostamenti massimi attesi di un

pendio devono considerarsi esclusivamente come indicatori del livello di danno che la zona può subire in occorrenza di un evento sismico di determinata entità e non come reali spostamenti. Si raccomanda pertanto, ai fini progettuali, di passare al terzo livello di approfondimento.

3.2.4.2 - Frane in roccia

Per le frane sismoindotte che coinvolgono ammassi rocciosi fratturati la procedura di secondo livello perviene a stime relative alla delimitazione dell'area di accumulo di frana connessa con le massime distanze percorse dai blocchi di roccia soggetti a crollo. Tale delimitazione areale deriva da relazioni empiriche basate sui seguenti elementi:

1. *classificazione di ammasso roccioso in relazione a suscettibilità di frana sismo indotta per crollo;*
2. *parametri quali angolo d'ombra minimo ovvero angolo di attrito equivalente.*

La classificazione, in relazione alla suscettibilità di frana sismoindotta per crollo, fa riferimento all'approccio di Harp e Noble (1993), relativo ad aree interessate da fenomeni di crollo/ribaltamento indotti da un terremoto $M = 6,0$.

Dal valore di qualità dell'ammasso roccioso Q , valutato in sito attraverso la classificazione di Barton modificata (1998), è possibile determinare indicativamente il numero di crolli/ribaltamenti attesi attraverso la relazione:

$$\ln M = 1,81 - 0,49 Q$$

dove M rappresenta il numero medio di eventi di crollo/ribaltamento.

Dall'applicazione della relazione proposta a casi reali ne deriva la discretizzazione in classi di suscettibilità crescente in funzione di Q dell'ammasso roccioso considerato:

categoria A	$Q = 0,10 - 1,41$	molto suscettibile
categoria B	$Q = 1,42 - 2,83$	suscettibile
categoria C	$Q = 2,84 - 3,87$	moderatamente stabile
categoria D	$Q > 3,87$	stabile

La valutazione semi-quantitativa delle traiettorie attese per i blocchi soggetti a crollo è basata sulla stima dei massimi avanzamenti potenziali, in modo da ottenere una zonazione del territorio per diversi livelli di pericolosità.

La valutazione può essere effettuata con il "metodo del cono d'ombra" o con il "metodo dell'angolo di attrito equivalente". Il primo metodo consiste nell'individuazione del punto di massimo arrivo, utilizzando valori limite di angoli zenitali (es. 28° Lied), intesi quali angoli, rispetto all'orizzontale, formati dalla congiungente il punto di massimo avanzamento e l'apice del cono detritico. L'angolo

di attrito equivalente o angolo di inclinazione del versante, è calcolato partendo dal punto più alto della zona di distacco, congiungendolo con il masso che ha raggiunto la massima distanza di espansione (Onofri e Candian, 1979). L'indagine statistica effettuata dai citati autori su 98 frane a seguito del terremoto del Friuli ha permesso di individuare in $27,15^\circ$ il limite inferiore per un livello di confidenza di $P = 0,99$.

La scelta tra i due metodi può essere effettuata in modo teorico utilizzando la relazione in figura che può essere così sintetizzata:

- se $Z_1 / Z_2 < 0.8825$ si utilizza l'angolo d'ombra minimo;
- se Z_1 / Z_2 è maggiore di 0.8825 si utilizza l'angolo di attrito equivalente.

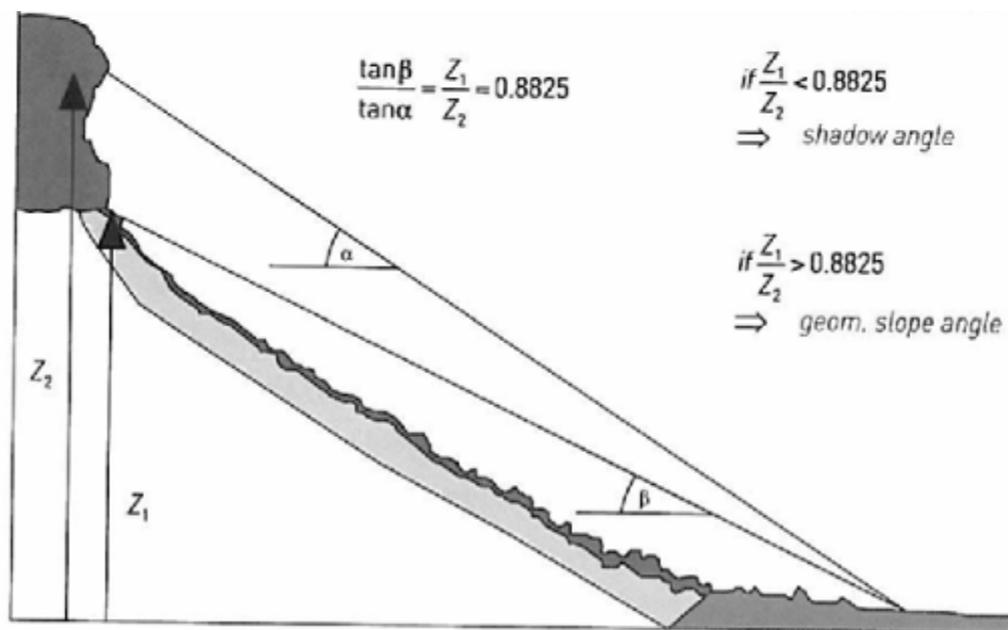


Figura 7 - Parametri del terreno per l'applicazione del metodo del "cono d'ombra" (shadow angle) o dell'angolo di attrito equivalente" (geom. slope angle).

Oltre ai metodi sopra descritti esistono numerose altre relazioni per il calcolo dei massimi avanzamenti potenziali (Scheidegger 1973, Davies 1982, Tianchi 1983). In ogni caso dovrà essere utilizzata il metodo empirico più adatto alle volumetrie ipotizzate e alle caratteristiche litologiche del sito.

La validazione dei risultati conseguiti mediante le analisi sopra descritte deriverà da un confronto con le evidenze di carattere prevalentemente geomorfologico relative alla presenza di depositi detritici di versante che attestino, inoltre, lo stato di attività dei fenomeni di frana eventualmente riconosciuti.

3.2.5 - Liquefazione

Il pericolo di liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (susceptibilità dei terreni).

La susceptibilità del terreno deve essere valutata sulla base di prove in sito (SPT e/o CPT e/o prove geofisiche in foro) investigando un numero di verticali adeguato all'estensione dell'area di indagine. Dovrà essere determinata con appropriate rilevazioni anche l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà essere considerata la condizione meno cautelativa.

Nelle verticali esplorate la stima del potenziale di liquefazione necessita del valore di a_{max} alla superficie del deposito ottenuto mediante analisi della risposta sismica locale. L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE PUÒ ESSERE OMESSA, NELLA FASE DI 2° LIVELLO, UTILIZZANDO LA PGA DI SITO OTTENUTA CON LA PROCEDURA DI SECONDO LIVELLO PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LITOLOGICI.

I risultati dello studio devono essere presentati riportando l'andamento con la profondità del Fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione in ciascuna delle verticali indagate. Per ogni verticale dovrà essere riportato l'indice del potenziale di liquefazione I_L di seguito definito:

Potenziale di liquefazione	Pericolo di liquefazione
$0 < I_L < 2$	Basso
$2 < I_L < 5$	Moderato
$5 < I_L < 15$	Alto
$I_L > 15$	Molto alto

Tabella 5 – Classi di rischio (da Sonmez, 2003) .

CASI NEI QUALI E' POSSIBILE ESCLUDERE IL VERIFICARSI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g ;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa ;

5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e $U_c > 3,5$.

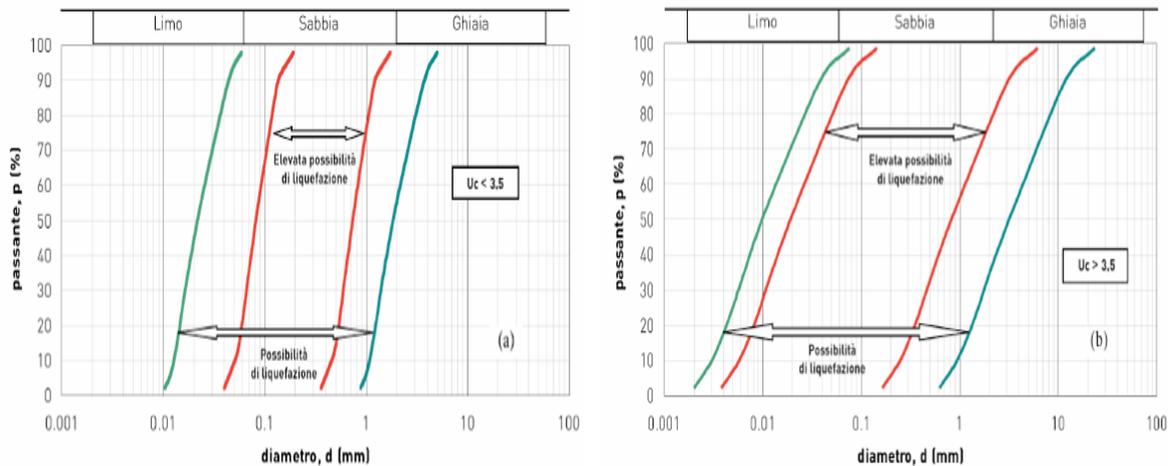


Figura 8 - Fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione .

METODI PER LA STIMA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Quando nessuna delle condizioni sopra elencate risulta soddisfatta è necessario procedere con la valutazione del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione attraverso metodi semplificati, a partire da prove geotecniche di tipo corrente e relazioni note in letteratura. Dovrà, inoltre essere valutato l'Indice del potenziale di liquefazione e stimato il cedimento permanente post sismico.

3.2.6 - Densificazione di terreni insaturi

La compressione volumetrica dei terreni granulari non saturi in condizioni sismiche deve essere valutata sulla base di prove in sito e in laboratorio, esplorando un numero di verticali adeguato all'estensione dell'area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito.

Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

L'entità dei cedimenti per densificazione deve essere valutata in ognuna delle verticali esplorate, tenendo conto dell'amplificazione locale della risposta sismica.

Al fine di stimare il profilo dell' a_{max} con la profondità z dovranno essere effettuate prove dinamiche in sito per la misura di V_s (del tipo DH o CH o SCPT o SDMT) e in laboratorio per la determinazione della curva di variazione del modulo di taglio G e del rapporto di smorzamento D con la deformazione di taglio γ .

L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE PUÒ ESSERE OMESSA, NELLA FASE DI 2° LIVELLO, UTILIZZANDO LA PGA DI SITO OTTENUTA CON LA PROCEDURA DI SECONDO LIVELLO PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LITOLGICI.

In tal caso i valori dell'accelerazione massima alle diverse quote possono essere ottenuti con l'espressione:

$$a_{\max}(z) = a_{\max} * rd \quad \text{con } rd = 1 - 0.015z$$

Per il calcolo dei cedimenti devono essere utilizzati metodi che tengano conto delle azioni indotte dal terremoto (in termini di accelerazione o di deformazioni tangenziali) e delle caratteristiche di addensamento del terreno (numero dei colpi N_{SPT} , Dr).

In prima approssimazione per la valutazione del cedimento ΔH in un generico strato di altezza H può essere utilizzata la tabella, che fornisce i valori del rapporto di compressione volumetrica

$\xi_v = \frac{\Delta H}{H}$ in funzione dell'accelerazione a_{\max} e del numero dei colpi corretto

$$(N_1)_{60} = N_{\text{SPT}} C_N \quad \text{con } C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

Essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_v la pressione efficace verticale.

a_{\max} (g)	ξ_v	ξ_v	ξ_v
	$(N_1)_{60} = 10$	$(N_1)_{60} = 20$	$(N_1)_{60} = 40$
0.05	0.02	0.010	-
0.10	0.03	0.015	-
0.15	0.05	0.020	-
0.20	0.07	0.030	0.005
0.25	0.12	0.040	0.007
0.30	0.15	0.050	0.010
0.35	0.18	0.060	0.015
0.40	0.23	0.075	0.020

Tabella 6 - Valori del rapporto di compressione volumetrica ξ_v in funzione dell'accelerazione a_{\max} e del numero di colpi corretto.

I risultati devono essere riportati in una carta dove, oltre alla perimetrazione dell'area indagata, devono essere indicati la localizzazione delle verticali esplorate e per ogni verticale il valore del cedimento totale cumulato.

Nel caso che, al di sotto della falda idrica, vi siano terreni liquefacibili o suscettibili di significativi incrementi delle pressioni interstiziali durante l'evento sismico di riferimento, nella carta in

corrispondenza di ogni verticale dovrà essere riportato il valore del cedimento totale relativo agli strati non saturi e agli strati sotto falda.

3.2.7 - Comportamenti differenziali

Nell'analisi di secondo livello dovranno essere valutate le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (P5a) che possono produrre effetti differenziali, sia di amplificazione che di cedimento.

In tali casi dovrà pertanto, essere ricostruito il modello geologico ed eventualmente geotecnico del sottosuolo al fine di valutare, in un intorno significativo alla zona di contatto, i differenti effetti di amplificazione sismica e/o differenti effetti di cedimento.

4 – TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

4.1 - Criteri comuni

4.1.1 - Ambiti di applicazione

Il terzo livello si applica per le scelte di pianificazione urbanistica agli scenari qualitativi suscettibili di instabilità per frana (P1c), instabilità per cedimenti e/o liquefazioni (P2), per le aree con geometria complessa delle coperture (P4b e P5b) e nelle situazioni P4a nei casi in cui con l'analisi di 2° livello si sia verificato che $h/l > 0,65 / \sqrt{C_v - 1}$ (situazione che si verifica nei casi in cui si ha un alto valore di contrasto di impedenza sismica tra il basamento ed il terreno di riempimento della valle - le sigle sono illustrate nel precedente paragrafo).

Per le aree individuate con movimenti franosi attivi (P1a) e quiescenti (P1b) si procederà alla loro individuazione cartografica e non saranno soggette a previsioni urbanistiche che ne incrementino il "carico". Nell'ipotesi che si debba comunque intervenire in dette aree con infrastrutture a rete ed altra attività non diversamente localizzabile, si dovrà comunque procedere con gli approfondimenti di terzo livello.

4.1.2 - Generalità

I risultati di questo livello di approfondimento saranno rappresentate nella CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA CON APPROFONDIMENTI. I risultati di questo livello potranno, limitatamente alle aree studiate con approfondimenti, modificare la carta di microzonazione sismica di secondo livello. Nella relazione illustrativa dovranno essere descritti in dettaglio i procedimenti, i codici di calcolo, i risultati delle prove sperimentali in sito e di laboratorio.

I risultati delle analisi di 3° livello potranno essere utilizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità. Nelle aree indagate con il terzo livello di approfondimento dovranno essere effettuate, qualora non eseguite nell'ambito del precedente livello 2, misure passive a stazione singola da elaborare con tecnica H / V . Tali misure, unitamente alle misure precedentemente effettuate nel secondo livello di approfondimento, concorreranno alla redazione della CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI. In questa carta verranno riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di f del picco del grafico H/V o l'indicazione dell'assenza di picco). Il territorio indagato sarà suddiviso in base a classi di frequenza allo scopo di distinguere aree caratterizzate da basse e da alte frequenze di risonanza.

4.1.3 - Indagini minime richieste

Sulla base di quanto definito nel livello 1 e nel livello 2, sarà predisposto un programma delle prove da effettuare nelle aree precedentemente individuate e ricadenti in aree di nuova espansione urbanistica e/o di incrementi dei carichi. La localizzazione delle indagini sarà riportata nella CARTA DELLE INDAGINI. La procedura di terzo livello richiede indagini e prove di laboratorio integrative rispetto al secondo livello di approfondimento. In particolare le procedure di terzo livello

richiedono la conoscenza delle curve di degrado dei materiali, ricavabili da prove dinamiche di laboratorio tipo prova in colonna risonante o prova di taglio torsionale ciclico.

Nell'appendice 3 sono riportate le quantità minime indicative delle indagini per le differenti aree suscettibili di amplificazione sismica o instabilità nel livello terzo di approfondimento.

4.2 - Procedure di analisi per la MS di 3° livello

4.2.1 - Amplificazione morfologica e litologica

L'analisi prevede un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali o numeriche.

LA METODOLOGIA STRUMENTALE richiede l'acquisizione dei dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto. Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione della complessità geologica dell'area di studio, del metodo di elaborazione scelto e del tipo di risultato a cui si vuole pervenire.

LA METODOLOGIA NUMERICA consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati.

Il comportamento non lineare del terreno è rappresentato attraverso le curve di decadimento del materiale: andamento del modulo di taglio e dello smorzamento con la deformazione.

Il moto di input può essere un accelerogramma, oppure uno spettro di risposta, uno spettro di Fourier o uno spettro di densità di potenza. Al momento, per la definizione del moto di input, si dovrà far riferimento a quanto indicato al par.3.2 e par.7 del DM 14.01.2008.

4.2.2 - Effetti di instabilità

4.2.2.1 - Frane in pendii nell'ambito delle terre

Il terzo livello prevede l'analisi del versante in condizioni statiche, pseudo-statiche o dinamiche finalizzate a definire la stabilità in condizioni sismiche dei singoli movimenti franosi.

Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni sono distinte in relazione alla tipologia dei dissesti, in particolare per i movimenti franosi che coinvolgono pendii nell'ambito delle terre, possono così essere schematizzate:

- Redazione di sezioni geologiche e geomorfologiche che caratterizzino il corpo franoso, le sue geometrie, gli andamenti delle superfici di scivolamento, dei livelli di falda idrica, finalizzati alla ricostruzione di un modello geotecnico interpretativo del movimento franoso;
- individuazione delle caratteristiche fisico-meccaniche necessarie all'analisi di stabilità ;

- individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- analisi di stabilità numeriche. Diversi sono i modelli numerici che possono essere utilizzati per il calcolo della stabilità; tali codici forniscono la risposta in termini di valori del fattore di sicurezza (F_s) in condizioni statiche (pre-sismiche). Successivamente tali verifiche dovranno essere eseguite in condizioni sismiche introducendo il coefficiente di accelerazione orizzontale critica (K_c). Nei casi in cui il $F_s < 1$ vengono determinati gli spostamenti attesi in condizioni dinamiche (post-sismiche).

In relazione a tutti i sopra citati elementi, si procederà alla suddivisione dell'area per il Fattore di Amplificazione (F_a) in funzione del rischio frana e della successione stratigrafica.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniranno i livelli di pericolosità dell'area in esame.

In particolare i valori del fattore di sicurezza forniscono indicazioni sulla stabilità dell'area considerando un ben preciso stato del sito di analisi non tenendo in conto la contemporanea variazione di alcuni parametri quali contenuto d'acqua e carichi agenti (pioggia, terremoto, azioni antropiche, ecc.); il coefficiente di accelerazione orizzontale critica fornisce invece la soglia di accelerazione al suolo superata la quale l'area stabile diviene instabile in occasione di un terremoto; infine lo spostamento atteso fornisce indicazioni sull'area di influenza del movimento franoso e una misura di quanto l'accadimento di un evento sismico può modificare la situazione esistente.

4.2.2.2 - Frane in roccia

Per quanto riguarda i movimenti tipo crolli e ribaltamenti le analisi che possono essere effettuate sono di tipo statico e pseudo-statico.

Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni possono così essere sinteticamente schematizzate:

- inquadramento geologico di un intorno significativo in scala adeguata e esecuzione di sezioni geologiche e topografiche alla stessa scala adeguata;
- individuazione dei parametri dell'input sismico (quali valore del picco di accelerazione, valore del picco di velocità);
- rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi sorgenti dei distacchi (determinazione delle principali famiglie di discontinuità, prove in sito sugli affioramenti quali Martello di Smith tipo L, Pettine di Barton, spessimetro per apertura giunti ecc., prelievo di campioni per esecuzione di Point Load Test e di prove di scivolamento Tilt Test);

- identificazione dei principali cinematismi di rottura degli ammassi rocciosi su sezione tipo e, per situazioni particolarmente significative, analisi di stabilità in condizioni statiche e pseudo statiche di singoli blocchi;
- descrizione e rilievo della pista di discesa e della zona di arrivo, rilievo geologico e, ove possibile, statica dei massi al piede (dimensioni e distribuzione);
- costruzione del modello numerico della/e pista/e di discesa e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche arrivi.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniscono livelli di pericolosità dell'area in esame, in particolare, vengono individuate le possibili piste di discesa, le relative aree di influenza e la statistica degli arrivi.

4.2.3 - Liquefazione

Nell'analisi di terzo livello, gli eventuali fenomeni di liquefazione dovranno essere studiati in maniera dettagliata, introducendo un numero di verticali di indagine adeguato all'area di intervento ed all'estensione dell'opera. Per la determinazione del potenziale di liquefazione e dei cedimenti permanenti post-sismici si rimanda alla metodologia già illustrata nel par.3.2.5. Si ricorda inoltre che nel terzo livello di approfondimento l' a_{max} alla superficie del deposito deve essere valutata attraverso analisi della risposta sismica locale.

4.2.4 - Densificazione di terreni insaturi

Nell'analisi di terzo livello, i fenomeni di densificazione dei terreni insaturi dovranno essere studiati in maniera dettagliata indagando un numero di verticali adeguato all'area di indagine ed all'estensione dell'opera. Per la determinazione dei cedimenti si rimanda alla metodologia riportata nel par.3.2.6. Si ricorda che nel terzo livello di approfondimento il profilo di a_{max} con la profondità deve essere valutata attraverso analisi della risposta sismica locale.

APPENDICE 1: Elementi di MS per le infrastrutture a rete .

La microzonazione sismica per le infrastrutture a rete, riconosciute di interesse pubblico, deve raggiungere necessariamente il terzo livello di approfondimento. Nello specifico la presente disposizione si applica a tutte le infrastrutture di interesse strategico di competenza statale (vedasi elenchi Decreto PCM n° 3685 del 21 Ottobre 2003), regionali e comunali aventi le seguenti caratteristiche:

- sviluppo lineare superiore ad 1 km ;
- che non siano utilizzate in via prevalente e/o esclusiva da singoli soggetti .

	INFRASTRUTTURE ESISTENTI	NUOVE INFRASTRUTTURE Previste negli strumenti urbanistici	NUOVE INFRASTRUTTURE Non previste negli strumenti urbanistici
1° livello	Si evidenziano sul tracciato esistente gli scenari di pericolosità locale e si segnalano alla Protezione Civile.	Si procede con questo livello di approfondimento per una fascia di circa 500 metri, se fuori dal perimetro del centro abitato, nell'ambito della MS comunale.	Si procede con questo livello di approfondimento nell'ambito del progetto preliminare, a cura del proponente l'opera e recependo le indicazioni della MS comunale se esistente.
2° livello	Se l'infrastruttura ricade in aree P2, P3 e P4 si cercherà di favorire che alcune delle indagini, previste in generale, ricadano in tali aree.	Si prevedono le indagini anche per questa fascia se ricadenti in P2, P3 e P4.	Si procede con questo livello di approfondimento nell'ambito del progetto preliminare, procedendo con le indagini nelle aree P2, P3 e P4 a cura del proponente l'opera.
3° livello	Nel caso in cui sia previsto un intervento di rifacimento dell'opera si dovrà procedere in conformità con quanto previsto dalle NTC 2008 a cura e spese del proprietario della rete.	Si procede con questo livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo, in conformità con quanto previsto dalle NTC 2008 a cura del proponente l'opera.	Si procede con questo livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo, in conformità con quanto previsto dalle NTC 2008 a cura del proponente l'opera.

Per quanto attiene la consistenza delle indagini da prevedere per le nuove infrastrutture a rete di cui sopra, per gli interventi ricadenti nelle aree P2, P3 e P4 (vedi schema di figura 2) per le aree di pianura o fondovalle, la tabella sottoriportata non costituisce elemento prescrittivo ma le quantità e la tipologia delle prove stesse saranno definite dal professionista incaricato. I procedimenti proposti costituiscono riferimento tecnico-operativo non prescrittivo e possono essere motivatamente sostituiti da altri procedimenti di analoghe o migliori prestazioni.

Lunghezza infrastruttura a rete	PGA di base		
	< 0,100	tra 0,100 e 0,150	> 0,150
1 - 10 km	misura sismica passiva (H/V) ogni km sondaggio almeno ogni cinque km	misura sismica passiva (H/V) ogni km registrazione Vs con tecnica attiva ogni km penetrometria ogni km sondaggio ogni tre km	misura sismica passiva (H/V) ogni mezzo km registrazione Vs con tecnica attiva ogni km penetrometria ogni km sondaggio ogni due km
10 - 30 km	misura sismica passiva (H/V) ogni due km sondaggio almeno ogni cinque km	misura sismica passiva (H/V) ogni due km registrazione Vs con tecnica attiva ogni due km penetrometria ogni due km sondaggio ogni tre km	misura sismica passiva (H/V) ogni km registrazione Vs con tecnica attiva ogni due km penetrometria ogni km sondaggio ogni due km
30 - 50 km	misura sismica passiva (H/V) ogni due km sondaggio almeno ogni cinque km	misura sismica passiva (H/V) ogni due km registrazione Vs con tecnica attiva ogni due km penetrometria ogni due km sondaggio ogni tre km	misura sismica passiva (H/V) ogni due km registrazione Vs con tecnica attiva ogni due km penetrometria ogni due km sondaggio ogni due km
> 50 km	misura sismica passiva (H/V) ogni tre km sondaggio almeno ogni cinque km	misura sismica passiva (H/V) ogni tre km registrazione Vs con tecnica attiva ogni tre km penetrometria ogni km sondaggio ogni tre km	misura sismica passiva (H/V) ogni tre km registrazione Vs con tecnica attiva ogni tre km penetrometria ogni due km sondaggio ogni due km

APPENDICE 2: Indicazione, delle tipologie e della consistenza, relativamente alle indagini da effettuare nell'ambito del SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, per i differenti scenari di pericolosità sismica.

La tabella sottoriportata non costituisce comunque elemento prescrittivi, ma le quantità e la tipologia delle prove stesse saranno definite dal professionista incaricato. I procedimenti proposti costituiscono riferimento tecnico-operativo non prescrittivo e possono essere motivatamente sostituiti da altri procedimenti di analoghe o migliori prestazioni.

	Are di espansione (comprese le aree di espansione all'interno dei centri abitati)	Centri abitati
P1c	<p><i>ROCCE</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • rilievo geomeccanico <p><i>TERRE</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico • penetrometria • prove di taglio diretto 	<p><i>ROCCE</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • rilievo geomeccanico <p><i>TERRE</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • penetrometrie • misura sismica passiva (tecnica H/V)
P2a	<p>(Eventuale verifica)</p> <ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico ogni ha • carotaggio sismico DH onde S • penetrometrie, almeno 3 ogni ha • misura sismica passiva (tecnica H/V) 	<ul style="list-style-type: none"> • penetrometrie • determinazione Vs con metodologia passiva o attiva almeno ogni cinque ha • misura sismica passiva (tecnica H/V) almeno ogni cinque ha
P2b	<p>(Eventuale verifica)</p> <ul style="list-style-type: none"> • penetrometrie • misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni ha 	<ul style="list-style-type: none"> • penetrometrie • determinazione Vs con metodologia passiva o attiva almeno ogni cinque ha • misura sismica passiva (tecnica H/V) almeno ogni ha
P2c		<ul style="list-style-type: none"> • determinazione Vs con metodologia passiva o attiva almeno ogni due ha • misura sismica passiva (tecnica H/V)
P3a	<ul style="list-style-type: none"> • determinazione Vs con metodologia attiva ogni cento metri di lunghezza del ciglio 	<ul style="list-style-type: none"> • determinazione Vs con metodologia passiva o attiva ogni duecentocinquanta metri di lunghezza del ciglio

	Aree di espansione (comprese le aree di espansione all'interno dei centri abitati)	Centri abitati
P3b	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia attiva misura sismica passiva (tecnica H/V) 	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia passiva o attiva misura sismica passiva (tecnica H/V)
P4a	<ul style="list-style-type: none"> sondaggio geognostico ogni ha carotaggio sismico DH onde S ogni ha determinazione Vs con metodologia attiva ogni due ha misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni due ha 	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia passiva o attiva almeno ogni dieci ha mis. sismica passiva (tecnica H/V) almeno ogni dieci ha
P4c	<ul style="list-style-type: none"> sondaggio geognostico ogni due ha carotaggio sismico DH onde S ogni quattro ha determinazione Vs con metodologia attiva ogni ha misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni due ha 	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia passiva o attiva ogni cinque ha misura sismica passiva (tecnica H/V) almeno ogni dieci ha
P4d	<ul style="list-style-type: none"> sondaggio geognostico ogni due ha carotaggio sismico DH onde S ogni quattro ha determinazione Vs metodologia attiva ogni ha misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni due ha 	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia passiva o attiva ogni cinque ha misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni dieci ha
P4e	<ul style="list-style-type: none"> sondaggio geognostico ogni due ha carotaggio sismico DH onde S ogni quattro ha misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni quattro ha 	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia passiva o attiva ogni cinque ha misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni cinque ha
P5a	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia attiva ogni duecento metri per ognuno dei due litotipi misura sismica passiva (tecnica H/V) ogni duecento metri di lunghezza per ognuno dei due litotipi 	<ul style="list-style-type: none"> determinazione Vs con metodologia passiva o attiva ogni cinquecento metri per ognuno dei due litotipi misura sismica passiva (tecnica H/V) per ognuno dei due litotipi

APPENDICE 3: Indicazione, delle tipologie e della consistenza, relativamente alle indagini da effettuare nell'ambito del TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, per i differenti scenari di pericolosità sismica.

La tabella sottoriportata non costituisce comunque elemento prescrittivi, ma le quantità e la tipologia delle prove stesse saranno definite dal professionista incaricato. I procedimenti proposti costituiscono riferimento tecnico-operativo non prescrittivo e possono essere motivatamente sostituiti da altri procedimenti di analoghe o migliori prestazioni.

	Aree di espansione	Incrementi urbanistici
P1c	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico ogni ha • prova dinamica di laboratorio, almeno due per ogni sondaggio • carotaggio sismico DH onde S ogni ha 	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico • prova dinamica di laboratorio, almeno due per ogni sondaggio • carotaggio sismico DH onde S
P2a	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio ogni ettaro con prove SPT e CPT ogni due metri • carotaggio sismico DH onde S ogni ha • prova dinamica di laboratorio per sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V) 	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio con SPT e CPT ogni due metri • carotaggio sismico DH onde S • prova dinamica di laboratorio per sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V)
P2b	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio ogni ettaro con prove SPT e CPT ogni due metri • penetrometrie, almeno due per ha • carotaggio sismico DH onde S ogni ha • prova dinamica di laboratorio, almeno due per ogni sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V) 	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio con SPT e CPT ogni due metri • carotaggio sismico DH onde S • prova dinamica di laboratorio per sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V)
P2c	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio ogni ettaro con prove SPT e CPT ogni due metri • carotaggio sismico DH onde S ogni ha • prova dinamica di laboratorio per sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V) 	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio con SPT e CPT ogni due metri • prova dinamica di laboratorio per sondaggio

	Aree di espansione	Incrementi urbanistici
P4a	<p><i>(integrazione della precedente fase)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico ogni tre ha • prova dinamica di laboratorio, almeno due per ogni sondaggio 	<p><i>(integrazione della precedente fase)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico • prova dinamica di laboratorio, almeno due per ogni sondaggio
P4b	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio ogni mezzo ettaro con prove SPT e CPT ogni due metri • carotaggio sismico DH onde S ogni ha • prova dinamica di laboratorio per sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V) 	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio con SPT e CPT ogni due metri • carotaggio sismico DH onde S • prova dinamica di laboratorio per sondaggio • misura sismica passiva (tecnica H/V)
P4e	<p><i>(integrazione della precedente fase)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sondaggio ogni tre ha • prova dinamica di laboratorio per sondaggio 	<ul style="list-style-type: none"> • sondaggio geognostico • prova dinamica di laboratorio per sondaggio
P5b	<ul style="list-style-type: none"> • determinazione Vs con metodologia attiva ogni ha 	<ul style="list-style-type: none"> • determinazione Vs con metodologia passiva o attiva almeno ogni tre ha

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

“Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” del Gruppo di Lavoro MS, 2008 Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma,

Cavalera L. e Brancucci A. (1995) - Comportamento dei pendii rinforzati in zona sismica. Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica, Siena.

Davies T. R. H. (1982) – Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidization. *Rock Mechanics*, 15, 9 - 24.

Harp E.L e Noble M.A. (1993) – An Engineering rock classification to evaluate seismic rock-fall susceptibility and its application to the Wasatch Front. *Bull. Ass. Engng Geologists*, vol. 30, 293-319.

Onofri R. e Candian C. (1979) - Indagine sui limiti di massima invasione dei blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Considerazioni sulle opere di difesa. *Reg. Aut. Friuli Venezia Giulia, Cluet, Trieste*, 1-42.

Romeo R. W. (2000) - Seismically induced landslide displacement: a predictive model. *Engineering geology*, 58, 337 - 351.

Scheidegger A. E. (1973) – On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics*, 5, 231 – 326.

Simonelli A.L. e Fortunato E. (1996) – Effects of earth slope characteristics on displacement based seismic design. *Proceed. XI World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico.

Sonmez H (2003) Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ Geology* 44(7):862–871

Tianchi L. (1983), “A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall”, *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 27, 473-482.