

OCDPC 52/2013 – Decreto n. 98/DPS del 22/11/2013 - Effettuazione delle indagini di microzonazione sismica (MZS) e analisi delle condizioni limite per l'emergenza.

Corso di formazione con partecipazione obbligatoria sulle specifiche tecniche di MS per i professionisti incaricati e loro collaboratori.

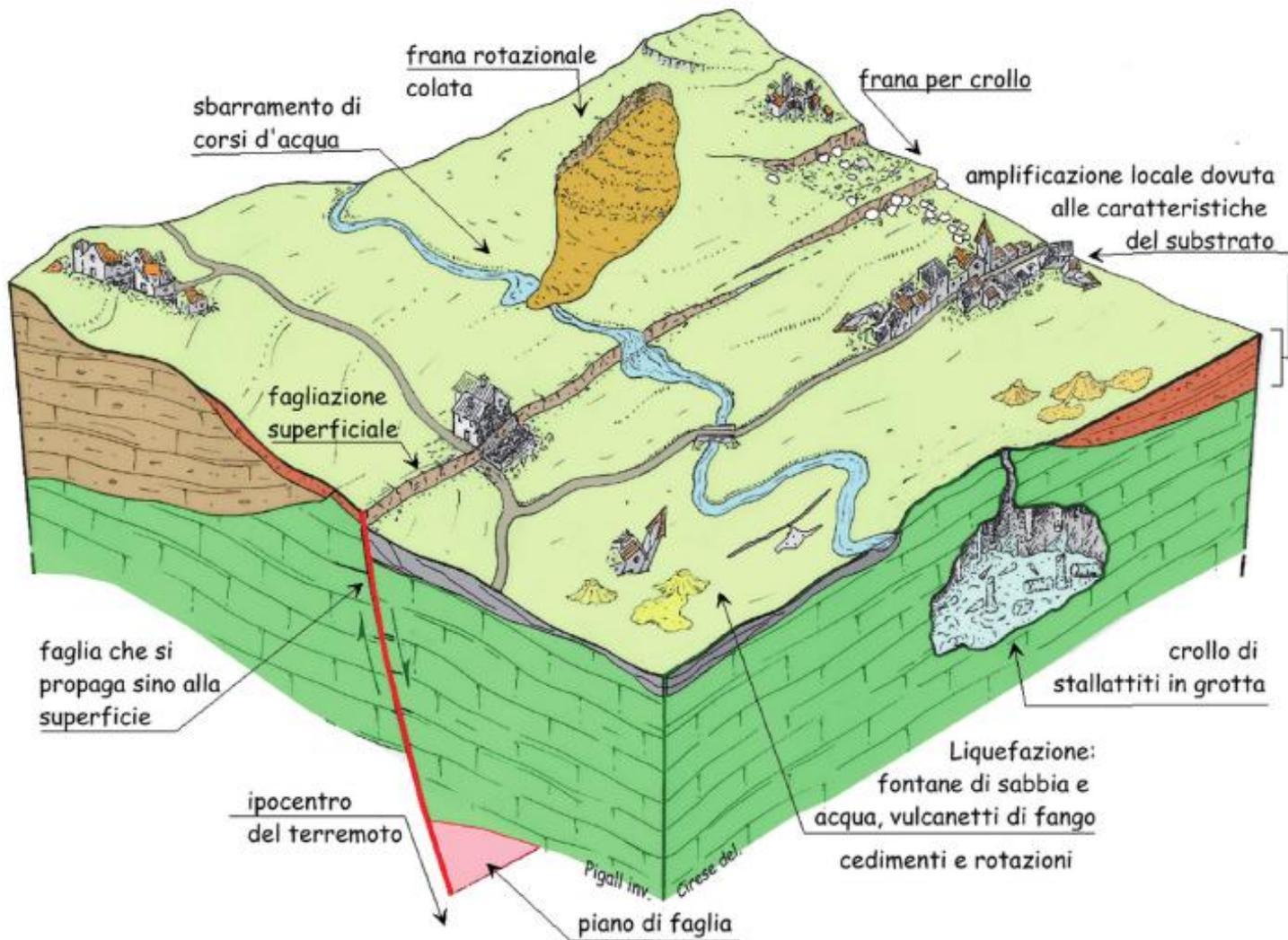
**venerdì 4 aprile 2014 – Centro Stella Maris – via Colle Ameno 5
Torrette di Ancona**

Prof. Piero FARABOLLINI
Scuola di Scienze e Tecnologie -
Università di Camerino



Quando avviene un terremoto si producono *deformazioni cosismiche*, ossia deformazioni istantanee e permanenti della superficie terrestre che si diffondono su un' area ampia alcuni km² attorno alla *faglia sismogenetica* (legati agli effetti di sito).

La loro entità e tipologia dipendono dalle dimensioni e dalla geometria del piano di rottura, dalla *cinematica*, ossia dal tipo di movimento relativo dei due lembi della faglia, e dall'energia dell'evento sismico (*magnitudo*). Il movimento cosismico lungo la faglia genera sollevamenti, subsidenze e spostamenti orizzontali.



Microzonazione Sismica

Lo studio di Microzonazione Sismica è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, che ha costi differenti in funzione del livello di approfondimento che si vuole raggiungere:

- il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee;
- il livello 2 introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce una vera carta di MS;
- il livello 3 restituisce una carta di MS con approfondimenti su tematiche o aree particolari.



Microzonazione Sismica di I livello

Le analisi vengono fatte utilizzando dati già esistenti e di facile reperibilità, ed hanno lo scopo di individuare cautelativamente le aree che sono potenzialmente soggette ai diversi effetti di sito, quali ad esempio effetti di amplificazione locale, liquefazione ed instabilità dei pendii.

Poichè questo livello di analisi deve permettere di inquadrare le problematiche della zona di studio in prospettiva sismica, l'area investigata non deve essere strettamente limitata alla zona per cui è richiesto lo studio di microzonazione, bensì le indagini devono essere estese al di fuori di questa in modo da permettere la caratterizzazione geologica e litostratigrafica del sito di interesse.

I risultati ottenuti hanno carattere qualitativo e vengono periodicamente aggiornati e verificati in considerazione delle nuove conoscenze derivanti da nuove analisi o da analisi più approfondite.

Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (o MOPS o carte di livello1)

Carta che individua le zone dove, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e geomorfologiche, è possibile prevedere un comportamento omogeneo in caso di terremoto.

Nella carta, le microzone sono distinte in:

- a) **zone stabili**, in cui non si ipotizzano effetti locali significativi il moto sismico non viene modificato;
- b) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, in cui sono attese amplificazioni del moto sismico;
- c) **zone suscettibili di instabilità**, in cui gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (i principali tipi di instabilità sono: - instabilità di versante; - liquefazioni; - faglie attive e capaci; - cedimenti differenziali).

La scala finale di rappresentazione non dovrà essere inferiore a 1:10.000 - 1:5.000.

Per la realizzazione della carta delle MOPS si deve passare attraverso l'acquisizione di dati (essenzialmente di tipo bibliografico) e la redazione di:

Carta delle indagini;

Carta geolitologica;

Sezioni geolitologiche;

Carta Geomorfologica;

2.2 Procedura per la stesura della Carta delle indagini

La Carta delle indagini è un elaborato che viene predisposto per ciascuno dei tre livelli degli studi di MS (capitolo 1.6):

- per il livello 1 devono essere rappresentate le indagini preesistenti;
- per i livelli 2 e 3 devono essere rappresentate, oltre alle indagini preesistenti, anche le prove realizzate *ex-novo*.

Per tutti i livelli devono essere evidenziate le aree dove si ritiene importante o indispensabile che vengano effettuate ulteriori indagini.

2.2.1 FINALITÀ

Nella Carta delle indagini devono essere rappresentati la localizzazione e il tipo delle indagini.

Dalla distribuzione delle indagini per l'area di studio è possibile:

- individuare le aree con minore numero di indagini e pianificare le ulteriori indagini da effettuare;
- valutare preliminarmente la qualità dello studio: maggiore sarà il numero di indagini e di dati, più affidabili saranno l'interpretazione e i risultati.

2.2.2 SCALA DI RAPPRESENTAZIONE

La scala di rappresentazione, coerentemente a quanto previsto per gli studi di MS sarà 1:10.000 o superiore.

La raccolta delle indagini disponibili dovrà essere effettuata per un'area più estesa di quella oggetto dello studio, allo scopo di comprendere e documentare nella loro completezza il modello geologico preliminare e i fenomeni naturali che possono interessare l'area e avere implicazioni nella MS.

2.2.3 RAPPRESENTAZIONE DELLE INDAGINI

Le indagini dovranno essere rappresentate, in forma simbolica per tipologia.

Considerata l'importanza dello spessore delle coperture, delle coltri di alterazione e della profondità del bedrock per la valutazione della risposta sismica locale, nella Carta dovranno essere chiaramente evidenziate le prove che hanno raggiunto il substrato.

Le informazioni relative alle prove in sito e ai punti di prelievo dei campioni, sia preesistenti che di nuova realizzazione, dovranno essere organizzate in una banca dati e georeferenziate su base cartografica CTR, tramite GIS.

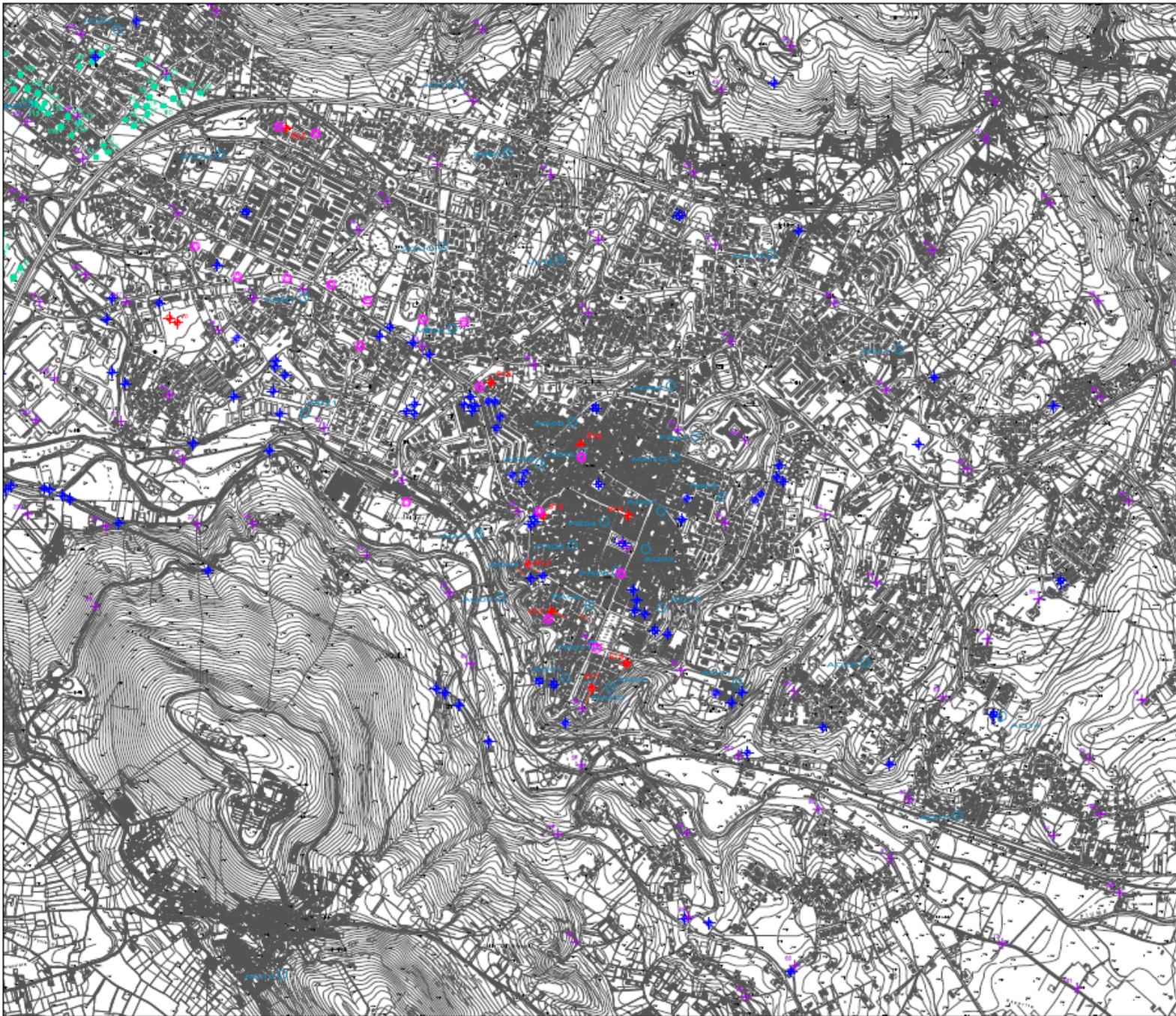
Rimandando alla predisposizione di specifiche tecniche per la predisposizione della banca dati georeferenziate delle indagini, si riporta a livello indicativo un elenco, non esaustivo, delle tipologie di indagini a cui far riferimento per una preliminare classificazione:

INDAGINI GEOTECNICHE

S	Sondaggio a carotaggio continuo
S_d	Sondaggio a distruzione di nucleo
S_c	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
S_p	Sondaggio con piezometro
S_i	Sondaggio con inclinometro
SPT	Prova penetrometrica in foro (SPT)
CPT	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (Cone Penetration Test)
CPTe	Prova penetrometrica statica con punta elettrica
CPTU	Prova penetrometrica statica con piezocono
DP	Prova penetrometrica dinamica pesante
DL	Prova penetrometrica dinamica leggera
DMT	Prova dilatometrica
PP	Prova pressiometrica
VT	Prova scissometrica o Vane Test
PLT	Prova di carico con piastra
SDMT	Dilatometro sismico
P_a	Pozzo per acqua
P_i	Pozzo per idrocarburi
T	Trincea o pozzetto esplorativo
T_v	Trivellazione

INDAGINI GEOFISICHE

S_r	Profilo sismico a rifrazione
S_r	Profilo sismico a riflessione
3D	Indagine sismica 3D o tomografia sismica
DH	Prova sismica in foro tipo Down-Hole
CH	Prova sismica in foro tipo Cross-Hole
UH	Prova sismica in foro tipo Up-Hole
ReMi	Prova REfraction Microtremors
SCPT	Prova penetrometrica con Cono Sismico (Seismic Cone Penetration Test)
R	Misura di rumore
SASW	Spectral Analysis of Surface Waves
MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves
SEV	Sondaggio Elettrico Verticale
SEO	Sondaggio Elettrico Orizzontale
PR	Profilo di Resistività



CARTA DELLE INDAGNI
(Scala 1:5000)

Legend:

- Red star: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Red cross: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Blue star: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Blue cross: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Green star: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Green cross: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Purple star: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Purple cross: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Blue circle: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)
- Blue square: Indagini geotecniche in corso (Indagini geotecniche in corso)

**Carta
delle
indagini**

2.3 Procedura per la stesura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (da qui in poi Carta) del livello 1 costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. Tale Carta è redatta preferibilmente alla scala 1:5.000 – 1:10.000.

Questa sezione descrive i seguenti argomenti:

- delimitazione delle aree oggetto di studio;
- scelta dei dati di base;
- legenda e campo carta;
- individuazione delle sezioni geolitologiche significative.

2.3.1 DELIMITAZIONE DELLE AREE OGGETTO DI STUDIO

Le aree da cartografare sono individuate nell'ambito di confronti tra il soggetto realizzatore degli studi di MS e il soggetto proponente (generalmente rappresentato dai responsabili della pianificazione territoriale e della pianificazione per l'emergenza). La delimitazione concordata è comunque da considerare un'indicazione di massima ed in fase di stesura della Carta sono ammesse variazioni in relazione a problematiche geologiche e geotecniche individuate; in particolare, l'area di studio sarà estesa fino a comprendere la zona d'influenza dei fenomeni geologici che possono interessare l'area da microzonare.

2.3.2 SCELTA DEI DATI DI BASE

I dati di base utilizzabili, oltre alla cartografia di base disponibile, sono:

- a. carte geologiche e geomorfologiche alla scala 1:5.000 – 1:10.000;
- b. carta litotecnica alla scala 1:5.000 – 1:10.000;
- c. logs litostratigrafici dedotti da dati di sondaggio;
- d. sezioni geolitologiche costruite con dati dedotti da a., b. e c.;
- e. carte di dissesto idrogeologico (es. Progetto IFFI, piani provinciali di dissesto idrogeologico, piani delle Autorità di bacino);
- f. carta delle indagini.

La Carta è realizzata per ottenere un adeguato dettaglio, utile per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- caratterizzazione del substrato geologico;
- caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico;
- definizione di forme geomorfologiche di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.

Questi obiettivi sono perseguibili con la distinzione nel campo carta di tre tipologie di zone e con simboli indicanti forme di superficie e forme sepolte (Figura 2.3-1).

a. zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento.

Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°)⁴⁰.

Il soggetto realizzatore dovrà, in base alla letteratura, alle proprie conoscenze pregresse del territorio e in base ai dati raccolti, identificare le zone che più probabilmente sono caratterizzate da $V_s \geq 800$ m/s.

Si richiedono nella descrizione della zona alcune informazioni sul substrato:

- tipologia: lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi, ad esempio depositi flyschoidi (differenza evidenziata con retini);
- stratificazione: sì/no (differenza evidenziata con indici S e NS);
- grado di fratturazione; differenza in base a parametro J_v (si noti che zone con $J_v > 10-15$ potrebbero non essere classificate come zone stabili, ma come zone stabili suscettibili di amplificazioni locali);
- profondità nelle zone dove non affiora (con isobate);
- posizione dei sondaggi che lo intercettano.

Le zone stabili saranno differenziate in base alla tipologia, alla stratificazione e al grado di fratturazione.

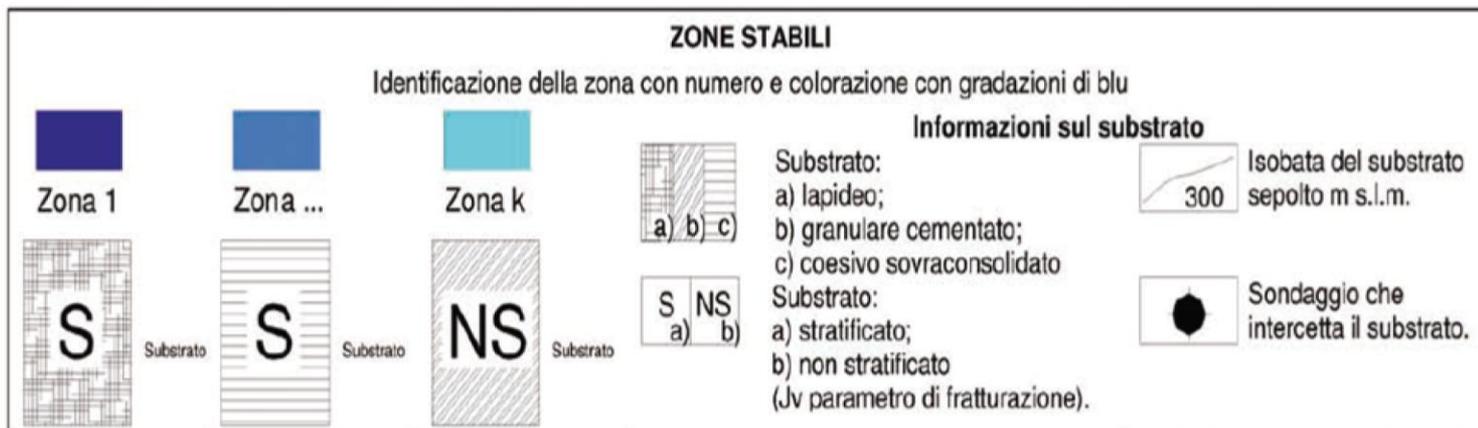
Le zone di questa categoria saranno caratterizzate da colori con gradazioni di blu e da un codice progressivo, identificativo per le singole aree, da 1 a k .

Saranno segnalate (con retino apposito di colore rosso su sfondo bianco e non avranno codice identificativo) fasce ad elevatissima fratturazione (es. fasce milonitiche in corrispondenza di lineamenti tettonici).

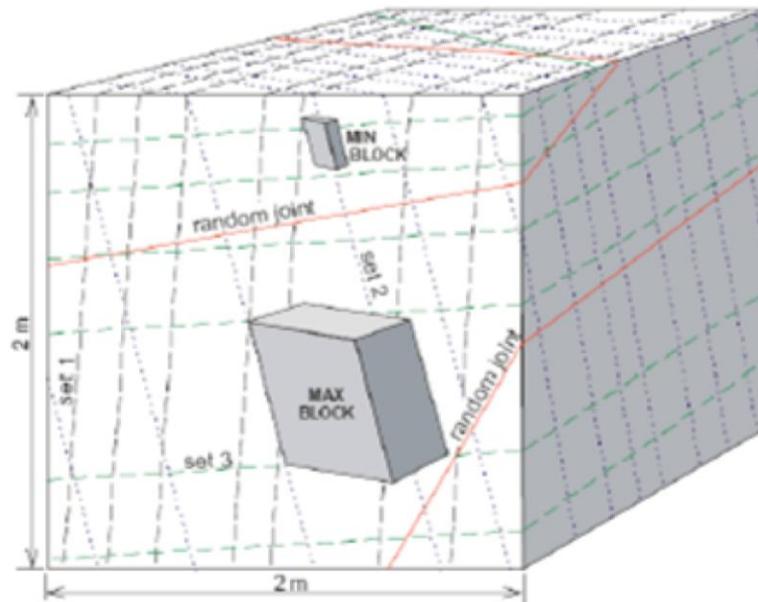
Substrato

- 1) Lapideo
 - 2) Granulare cementato
 - 3) Coesivo sovraconsolidato
 - 4) Alternanze (ad es. flysch)
- Tipo: a) stratificato; b) massivo
 - Grado di fratturazione (in base al valore di J_v :
a) < 10 moderatamente fratturato; b) 10-20 fratturato; 20-30 molto fratturato; > 30 frantumato

2.3.3 LEGENDA E CAMPO CARTA



J_v (volumetric joint count: Palmstrom, 2005)

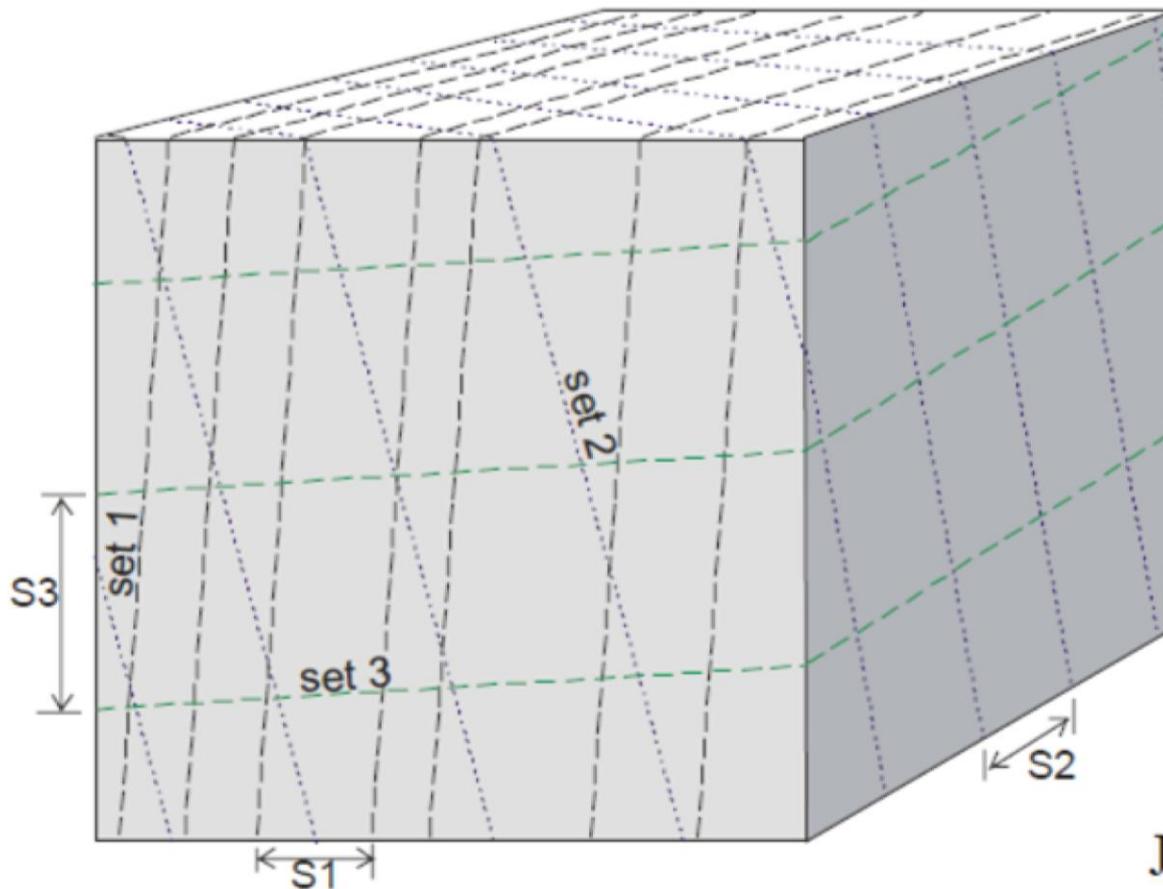


$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + \dots + 1/S_n + N_r/(5\sqrt{A})$$

S_n = spaziatura media di ogni famiglia di discontinuità

N_r = numero di giunti random; A = area in m^2

Volumetric joint count (J_v)



$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_3 \\ + \text{random joints } n/5$$

Example:

$$S_1 = 0.1\text{m}$$

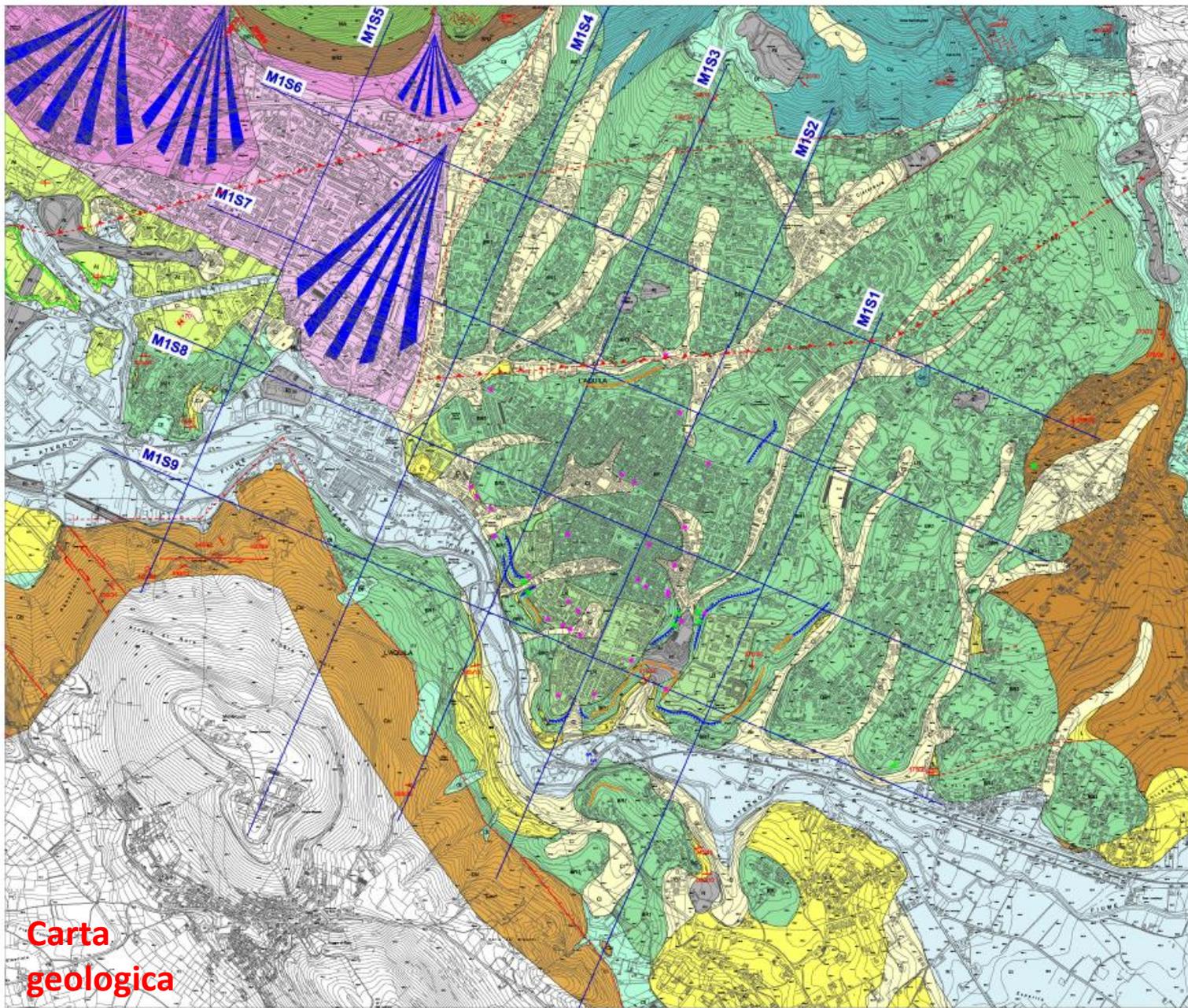
$$S_2 = 0.5\text{m}$$

$$S_3 = 2\text{m}$$

$$J_v = 10 + 2 + 0.5 = 12.5$$

Terreni di copertura (per Vs crescenti)	Vs (m/s)	v	g (kN/m³)	Go (MPa)	x
Colluvioni	300	0.35	17.7	162	0.03
Detrito	400	0.35	19.6	320	0.01
Fluvio lacustre limoso argilloso e Alluvioni limoso argillose	400	0.4	19.6	320	0.04
Fluvio lacustre sabbioso ghiaioso e Alluvioni sabbioso ghiaiose 1 - 2	400-700	0.35	19.6	320-980	0.01
Travertino 1 - 2	550-1000	0.3	19.6	605-2000	0.02
Formazioni del substrato (bedrock)	Vs (m/s)	v	g (kN/m³)	Go (MPa)	x
Marnoso arenacea	1000	0.3	20.6	2100	0.005
Schlier	1000	0.3	21.6	2200	0.005
Bisciario	1200	0.25	22.6	3312	0.005
Scaglia cinerea (media)	1000	0.3	21.6	2200	0.005
Scaglia variegata	1200	0.25	22.6	3312	0.005
Scaglia rossa	1500	0.25	23.5	5400	0.005
Marne a fucoidi	1200	0.25	22.6	3312	0.005
Maiolica	1500	0.25	23.5	5400	0.005
Calcere Massiccio	2000	0.25	24.5	10000	0.005

Vs = velocità delle onde di taglio; **v** = coefficiente di Poisson; **g** = peso di volume
Go = modulo di taglio iniziale; **x** = coefficiente di smorzamento iniziale



Dipartimento di Ingegneria Strutturale, della Terra e del Territorio
 Università degli Studi del Napoli
 Professore Carlo Marone
 Progetto Microzonazione Sismica - Caserta
 Maggio - Dicembre 2009
 Monitore n. 2, luglio 2010 - S. 010

CARTA GEOLOGICA
 Scala 1:8.000

UNITÀ QUATERNARIE
 M1S10: Depositi e successioni di sedimenti recenti (alluvioni, depositi di fan, etc.)
 M1S11: Depositi di origine fluviale (fiumi, torrenti, canali, etc.)
 M1S12: Depositi di origine lacustre (laghi, stagni, etc.)
 M1S13: Depositi di origine marina (spiagge, dune, etc.)
 M1S14: Depositi di origine eolica (dune, etc.)
 M1S15: Depositi di origine glaciale (morene, etc.)
 M1S16: Depositi di origine vulcanica (tuffi, etc.)
 M1S17: Depositi di origine antropica (rifiuti, etc.)
 M1S18: Depositi di origine mista (alluvioni, etc.)
 M1S19: Depositi di origine mista (alluvioni, etc.)

UNITÀ CARBONATICHE E TERRESTRIE MESSO-CENOZOICHE
 M1S20: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S21: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S22: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S23: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S24: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S25: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S26: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S27: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S28: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S29: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S30: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S31: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S32: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S33: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S34: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S35: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S36: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S37: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S38: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S39: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S40: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S41: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S42: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S43: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S44: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S45: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S46: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S47: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S48: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S49: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S50: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S51: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S52: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S53: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S54: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S55: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S56: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S57: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S58: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S59: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S60: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S61: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S62: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S63: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S64: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S65: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S66: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S67: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S68: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S69: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S70: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S71: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S72: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S73: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S74: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S75: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S76: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S77: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S78: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S79: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S80: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S81: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S82: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S83: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S84: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S85: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S86: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S87: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S88: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S89: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S90: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S91: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S92: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S93: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S94: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S95: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S96: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S97: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S98: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)
 M1S99: Terrestri (sabbie, argille, etc.)
 M1S100: Carbonati (calcari, calcinacci, etc.)

LEGENDA
 Simboli per: Strade, Fiumi, Torrenti, Canali, Laghi, Stagni, Spiagge, Dune, etc.

**Carta
 geologica**

b. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale.

Sono le zone dove sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato, o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s < 800$ m/s). Gli spessori di questi terreni devono essere superiori ai 5 m.

Coperture

- 1) Riporti (tipo di matrice)
- 2) Ghiaia (addensamento/cementazione)
- 3) Ghiaia-sabbia (addensamento/cementazione)
- 4) Sabbia (addensamento/cementazione)
- 5) Sabbia-limo (addensamento/consistenza)
- 6) Limo (consistenza)
- 7) Limo-argilla (consistenza)
- 8) Argilla (consistenza)
- 9) Depositi alluvionali
- 10) Detriti di versante
- 11) Substrato alterato o fratturato
- 12) Substrato con $V_s < 800$ m/s
- 13) Altro

1. riporto antropico, con l'indicazione della matrice e dello spessore indicativo;
2. ghiaia, con l'indicazione dello stato di addensamento o la D_r e degli spessori minimi e massimi supposti;
3. ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa, con l'indicazione dello stato di addensamento o la D_r e degli spessori minimi e massimi supposti;
4. sabbia, con l'indicazione dello stato di addensamento o la D_r e degli spessori minimi e massimi supposti;
5. sabbia/limosa-limo/sabbioso, con l'indicazione dello stato di addensamento o la D_r e degli spessori minimi e massimi supposti;
6. limo, con l'indicazione della consistenza e degli spessori minimi e massimi supposti;
7. limo/argilloso-argilla/limosa, con l'indicazione della consistenza e degli spessori minimi e massimi supposti;
8. argilla, con l'indicazione della consistenza e degli spessori minimi e massimi supposti;
9. deposito alluvionale a granulometria mista o indistinta con l'indicazione degli spessori minimi e massimi supposti;
10. detrito di versante (su pendio con acclività $< 15^\circ$) a granulometria mista o indistinta e degli spessori minimi e massimi supposti;
11. coltre di substrato alterato o intensamente fratturato con l'indicazione degli spessori minimi e massimi supposti;
12. substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/s;
13. altri terreni, con l'indicazione del tipo e degli spessori minimi e massimi supposti.

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono riportate nel campo carta e ognuna ha una corrispondenza univoca con una successione litologica riportata in legenda.

Accanto a ogni litologia è riportato lo spessore medio più rappresentativo del litotipo (tenendo naturalmente conto anche degli spessori minimi e massimi indicati nella legenda). Nelle zone in cui il dato è disponibile si riporta la profondità del substrato geologico. Le successioni litologiche, per quanto è possibile, sono riportate in scala.

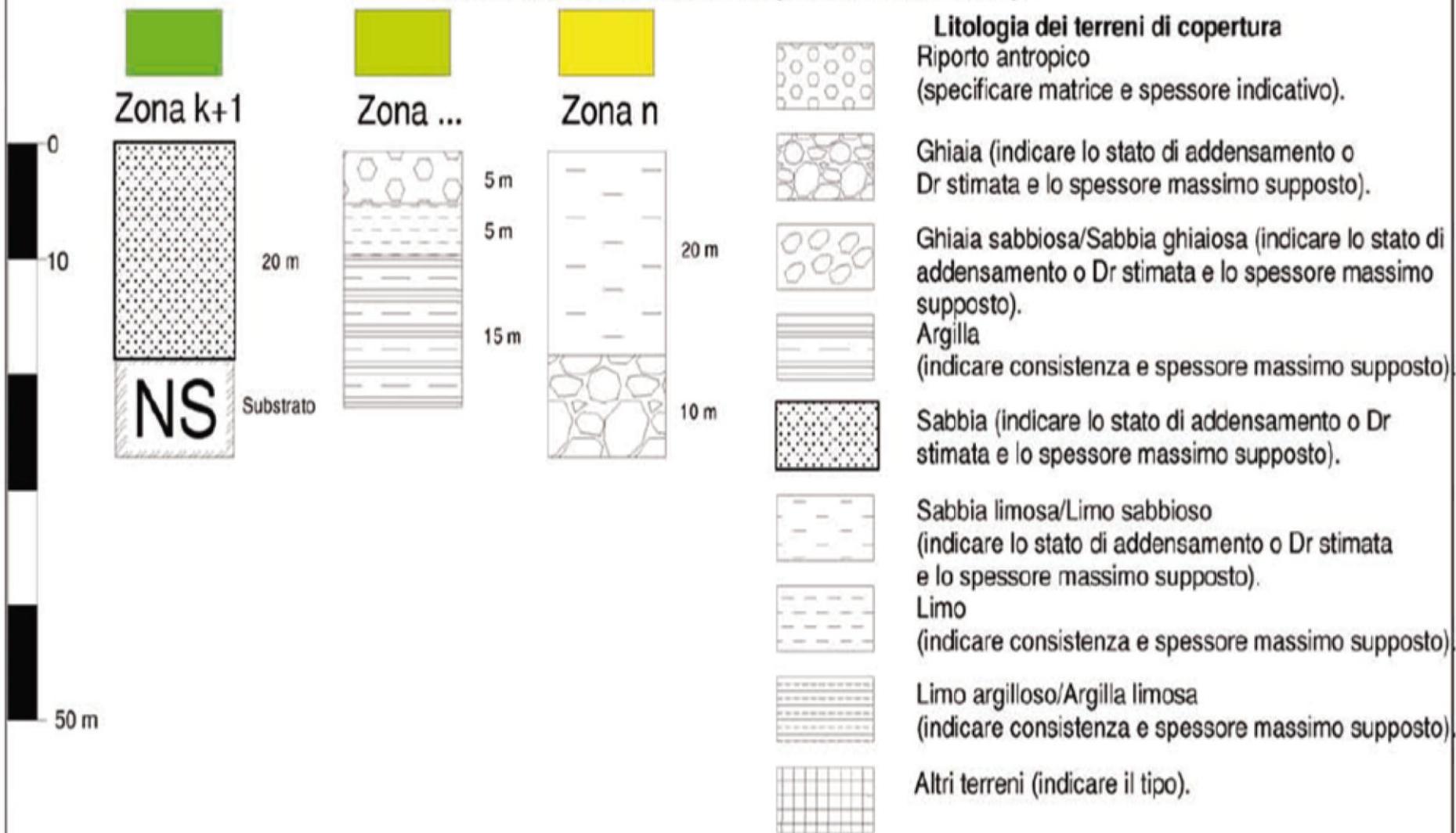
Le microzone di questa categoria sono caratterizzate da colori con gradazione dal verde al giallo.

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali saranno contrassegnate da un codice progressivo da $k+1$ a n .

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Identificazione della zona con numero e colorazione con gradazioni dal verde al giallo.

Indicare a fianco delle colonne lo spessore medio dei litotipi



Depositi dovuti alla gravità

Corpi di frana (tipologia/movimento e attività)

Detriti di versante
Falde detritiche
Depositi di cono detritico
Depositi eluvio-colluviali

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi dovuti alle acque correnti superficiali

Depositi alluvionali
Depositi di conoide alluvionale

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi carsici

Travertini
Calcareous tufa
Riempimenti di doline e condotti carsici

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi marini

Depositi di spiaggia
Cordoni litoranei
Deposito di stagno o laguna

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi glaciali

Depositi morenici

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi crionivali

Depositi di cono di valanga
Rock glaciers
Colate di blocchi
Nivomorene
Campi di pietre

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi eolici

Depositi di cordone dunare

(*Tessitura, selezione, addensamento, consistenza, cementazione, attività*)

Depositi antropici

Discarica
Terrapieno
Rilevato
Argine





Sabbie fini, poco selezionate con rari ciottoli ghiaiosi allungati, subarrotondati, sciolti, laminati, asciutti, HCl forte

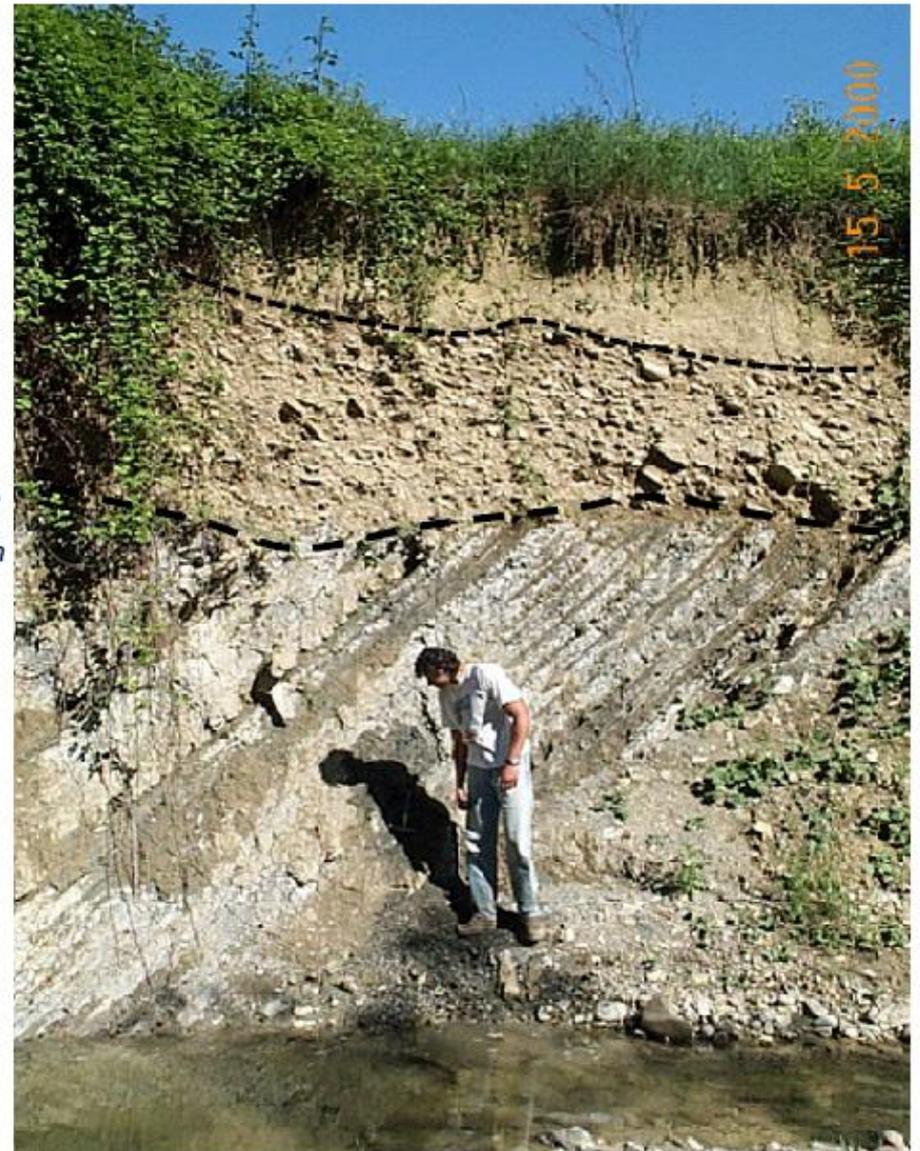
Ghiaia sabbiosa, da subarrotondata ad arrotondata, da sferoidale a discoidale, poco selezionata, poco addensato, debolmente cementato, stratificate e laminari, con lenti decimetriche di sabbie medio-grossolane, debolmente umido.

Discordanza planare ondulata, suborizzontale

Substrato stratificato con alternanza di litotipi (marne/arenarie)

- a. tipo di terreno (granulometria);
- b. consistenza;
- c. colore;
- d. struttura;
- e. contenuto d'acqua;
- f. odore;
- g. reazioni all'HCl.

- h. Superfici di discordanza



Definizione		Diametro dei grani (mm)	Criteri di identificazione
Blocchi		>200	Visibili a occhio nudo
Ciottoli		$200+60$	
Ghiaia	grossa	$60+20$	
	media	$20+6$	
	fine	$6+2$	
Sabbia	grossa	$2+0,6$	
	media	$0,6+0,2$	
	fine	$0,2+0,06$	
Limo		$0,06+0,002$	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo – poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto, si disgrega velocemente in acqua, si essicca velocemente, possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita
Argilla		$< 0,002$	I frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita, si disgrega in acqua lentamente, plastica non dilatante, appiccica alle dita, si ritira durante l'essiccazione.
Terreno organico o vegetale			Contiene una percentuale rilevante di sostanze organiche vegetali.
Torba			Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità.

	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,85
alta sfericità						
bassa sfericità						
	molto angoloso	angoloso	sub-angoloso	sub-arrotondato	arrotondato	molto arrotondato

Definizione	Arrotondamento	Descrizione
angolare	0+0,15	nessun smussamento. Le particelle presentano spigoli vivi, facce relativamente piane.
subangolari	0,15+0,25	mantiene forma originale con evidenze di smussamento. Le particelle presentano spigoli arrotondati, facce relativamente piane.
subarrotondate	0,25+0,40	smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto. Le particelle presentano facce pressoché piane, con spigoli ben arrotondati.
arrotondate	0,40+0,60	rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta. Le particelle presentano facce incurvate e assenza di spigoli.
ben arrotondate	0,60+1	superficie interamente compresa da curve ben arrotondate. Le particelle presentano facce tondeggianti.

Tabella 3.4-14 – Consistenza terreni coesivi.

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (kg/cm²)	Prove manuali
Privo di consistenza	< 0,25	Espelle acqua quando strizzato fra le dita
Poco consistente	0,25+0,5	Si modella fra le dita con poco sforzo; si scava facilmente
Moderatamente consistente	0,5+1,0	Si modella fra le dita solo con forte pressione. Offre una certa resistenza allo scavo.
Consistente	1,0+2,5	Non si modella fra le dita. È difficile da scavare.
Molto consistente	2,5+5,0	Può essere scalfito con l'unghia del pollice. Si scava con molta difficoltà.
Estremamente consistente	> 5,0	Può essere scalfito con difficoltà con l'unghia del pollice.

Tabella 3.4-15 – Consistenza terreni granulari.

N_{SPT}	Valutazione dello stato	Prove manuali di addensamento
0+4	Sciolto	Può essere scavato con la pala.
4+10	Poco addensato	Può essere scavato con la pala con difficoltà.
10+30	Moderatamente addensato	Può essere scavato con la pala con molta difficoltà.
30+50	Addensato	Non è sufficiente la pala per scavarlo.
> 50	Molto Addensato	Non è sufficiente la pala per scavarlo.

Tabella 3.4-16 – Cementazione terreni granulari.

Definizione	Criteri di identificazione
Debole	Si sbriciola o si rompe con una piccola pressione delle dita.
Moderata	Si sbriciola o si rompe con una considerevole pressione delle dita.
Forte	Non si sbriciola o si rompe con la pressione delle dita.

Tabella 3.4-18 – Reazione all'acido cloridrico.

Definizione	Criteri di identificazione
Reazione nulla	Nessuna reazione visibile
Reazione debole	Reazione tranquilla, con bolle che si formano lentamente
Reazione forte	Reazione violenta, con bolle che si formano immediatamente

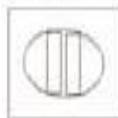
ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

Instabilità di versante (FR)

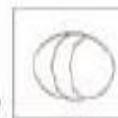


a) b) c)

a) attiva;
b) quiescente;
c) inattiva.



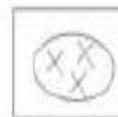
Corpo di frana
per crollo o ribaltamento.



Corpo di frana
per colata.



Corpo di frana
per scorrimento.



Corpo di frana
complessa.

Liquefazione (LI)



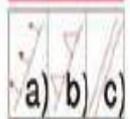
Area con terreni sabbiosi, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi e con superficie della falda freatica e delle eventuali falde in pressione <20 m.

Cedimenti differenziali (CD)



Area di contatto stratigrafico o tettonico di litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

Faglie attive e capaci (FA)



a) b) c)

Faglia: a) diretta; b) inversa; c) trascorrente;
linea continua tratto accertato; linea a tratteggio tratto inferito.



Area interessata da deformazioni legate alla faglia attiva e capace

Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità



FA/FR

Area di sovrapposizione di due zone suscettibili di instabilità
(le sigle si riferiscono agli elementi di instabilità).

c. zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono naturalmente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

Le zone identificano quattro categorie di effetti deformativi:

- instabilità di versante (codice progressivo, identificativo per le singole aree, da FR_1 a FR_n).

Distinte per tipo di frana:

- per crollo o ribaltamento
- per scorrimento
- per colata
- frana complessa

e distinte per attività:

- attiva
- quiescente
- inattiva

- liquefazione (LI_1 - LI_n).

Area con terreni sabbiosi, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi e con superficie della falda freatica e delle eventuali falde in pressione < 15 m.

- faglia attiva e capace (FA_1 - FA_n) (indicare l'area interessata dalle deformazioni legate alla faglia).

Distinte per tipo di faglia:

- diretta
- inversa
- trascorrente

e distinte per:

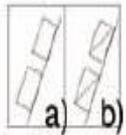
- tratto accertato
- tratto inferito

- cedimenti differenziali (CD_1 - CD_n).

Area di contatto stratigrafico o tettonico di litotipo con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

La sovrapposizione di due zone suscettibili di instabilità deve essere segnalata con la presenza di entrambi i codici.

FORME DI SUPERFICIE



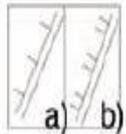
Orlo di scarpata morfologica.
a) 10-20 m; b) > 20 m.



Conoide alluvionale.



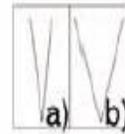
Scarpata (indicare altezza e pendenza se disponibili).



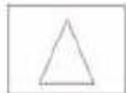
Orlo di terrazzo fluviale
a) 10-20 m; b) > 20 m.



Falda detritica.



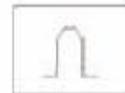
Valle: a) stretta ($C > 0.25$); b) larga ($C < 0.25$)
(coefficiente di forma $C = H/L/2$).



Picco isolato.



Cresta.



Area con cavità sepolta.

d. forme di superficie

- orlo di scarpata morfologica
 - 10 - 20m
 - > 20m
- orlo di terrazzo fluviale
 - 10 - 20m
 - > 20m
- picco isolato
- cresta
- conoide alluvionale
- falda detritica

e. forme/elementi sepolti

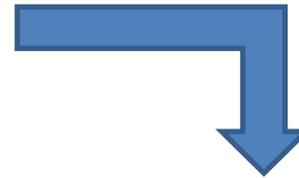
- scarpata
 - indicare altezza e pendenza
- valle
 - valle stretta $C > 0.25$
 - valle larga $C < 0.25$

C coefficiente di forma ($C = h/l$)
dove *h* è lo spessore della coltre alluvionale, *l* la sua semiampiezza
- area con cavità sepolta.

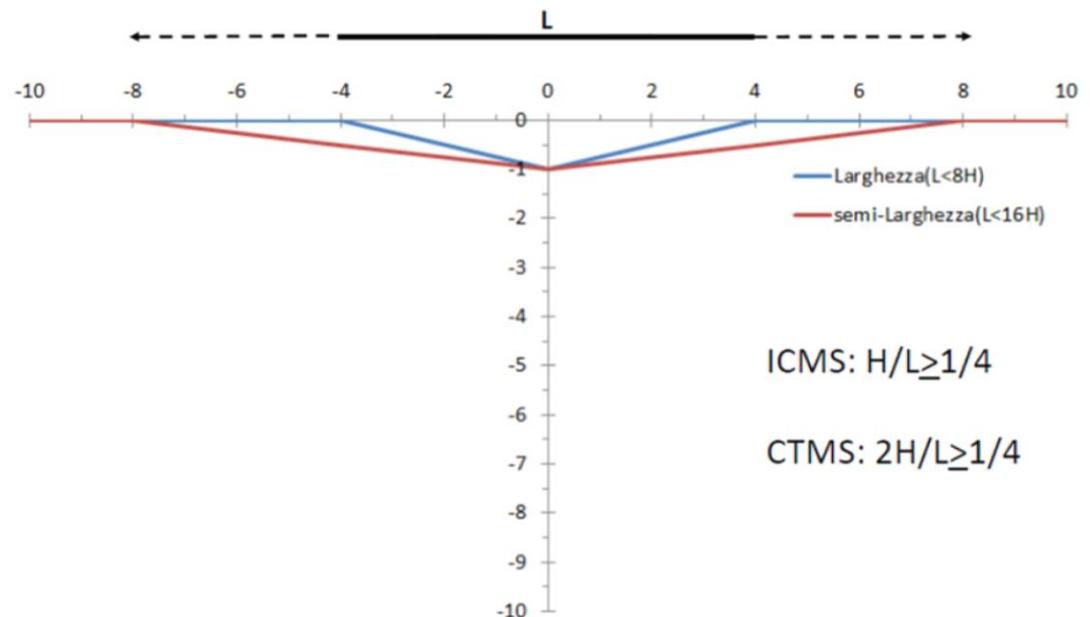
Legenda Geomorfologica

Elementi **lineari**

- Orli di scarpata: a) 10-20 m; b) > 20 m
- Orlo di terrazzo fluviale: a) 10-20 m; b) > 20 m
- Cresta
- Scarpata sepolta
- Valle sepolta: a) stretta $L \leq 8-16H$; b) larga $L > 8-16H$
- Altre forme (carsiche, glaciali, ecc.)



Limite per valle stretta: $2H/L \geq 1/4$



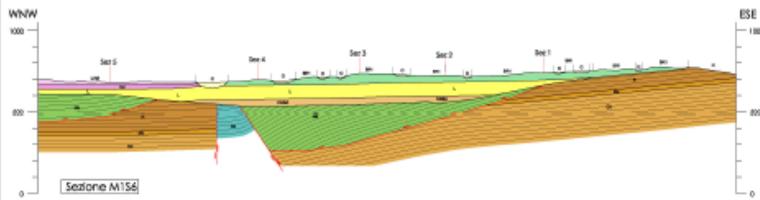
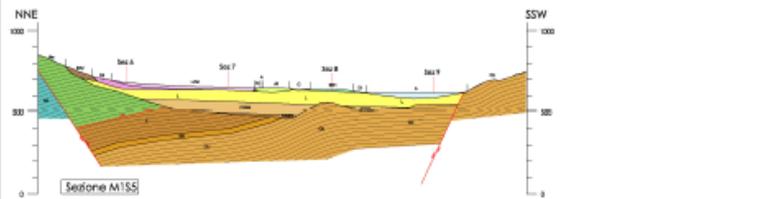
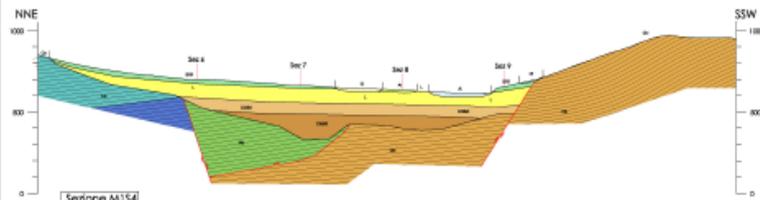
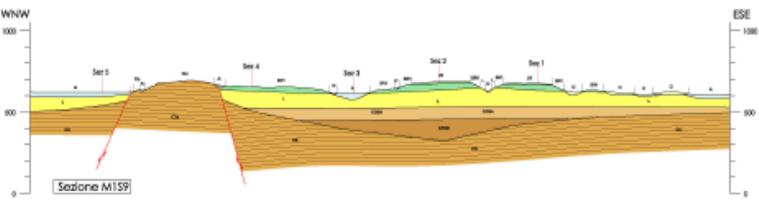
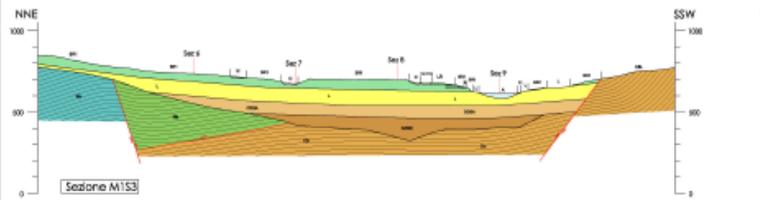
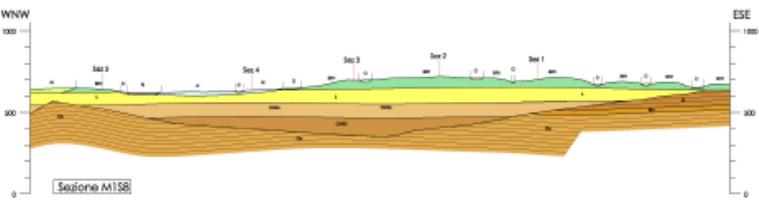
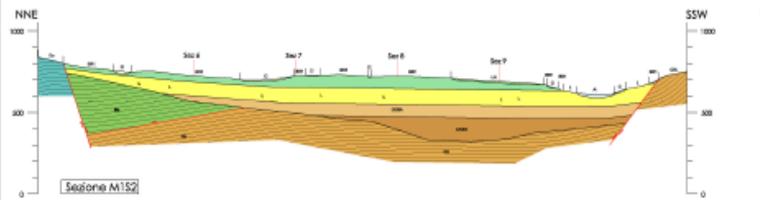
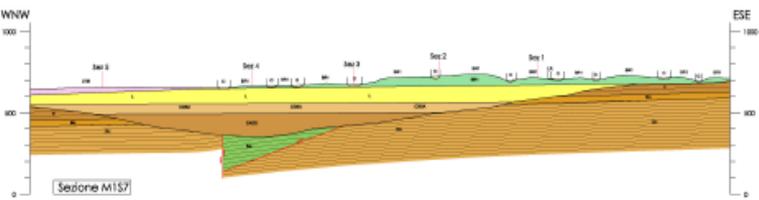
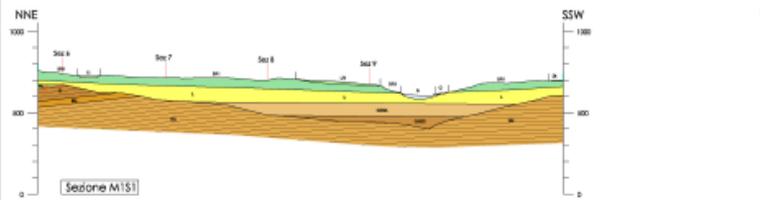
2.3.4 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI GEOLITOLOGICHE SIGNIFICATIVE

In relazione alle caratteristiche geologiche e strutturali, alla morfologia ai rapporti tra depositi di copertura e substrato e alla distribuzione delle aree in studio sono ricostruite sezioni geologico-tecniche utili a prime considerazioni sulla pericolosità sismica locale.

In particolare, sono evidenziate le situazioni (potenziale causa di amplificazione sismica) alle quali è necessario porre attenzione per l'individuazione di sezioni 1D e 2D da sottoporre a modellazione numerica.

In relazione agli effetti dovuti ad una sollecitazione sismica, gli aspetti geologici e geomorfologici principali da considerare nel tracciare le sezioni sono così sintetizzabili:

- a. amplificazione per effetti topografici e morfologici. Sono discontinuità morfologiche che possono comportare l'amplificazione del moto del suolo connessa con la focalizzazione delle onde sismiche, quali:
 - pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello superiore a circa 30 m;
 - bordi di terrazzo o zone di ciglio ($H > 10$ m);
 - creste rocciose sottili (larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $> 30^\circ$).
- b. amplificazione per effetti litologici. L'amplificazione è legata in primo luogo a differenze in termini di rigidità sismica tra substrato e copertura e secondariamente alla conformazione geometrica con conseguenti fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche: valli fluviali, conoidi, falde di detrito, ammassi rocciosi molto fratturati.
- c. amplificazione per morfologie sepolte. In questo caso il fenomeno di amplificazione è generato a causa di un substrato roccioso con morfologia sepolta molto accidentata (es. presenza di paleoalvei). Ciò può produrre anche fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.




 Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno
 Laboratorio degli Studi del Paesaggio
 Protezione Civile Nazionale

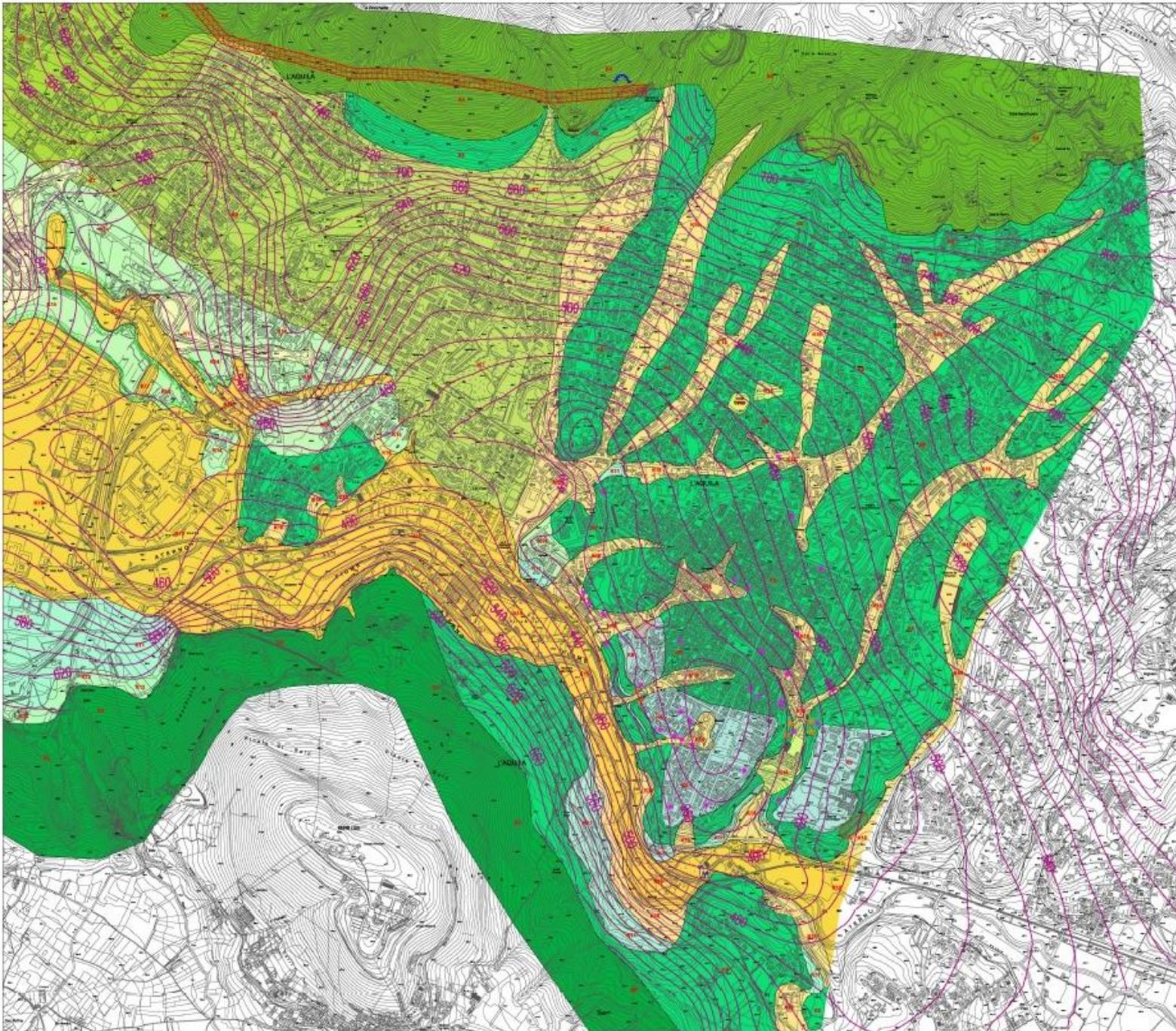
SEZIONE GEOLOGICA
 M1S1 - M1S9
 Progetto: M1S1 - M1S9
 Progetto: M1S1 - M1S9
 Progetto: M1S1 - M1S9

UNIVERSITÀ PALEOMONTE
 Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno
 Laboratorio degli Studi del Paesaggio
 Protezione Civile Nazionale

0	ACQUA
1	OPERTI ALIARI EGGIACI
2	OPERTI DI CALCA
3	OPERTI ALIARI DEL PIANE STIMATI DEL TONNARE MIO
4	LAVINIA ALIARI
5	OPERTI DI CORDON DE, MARI POTTI
6	OPERTI ALIARI / MARIOTTI DEL PIANE STIMATI
7	MARTE DI MARIOTTI
8	LAVINIA DEL COLLEGGIACI
9	MARIOTTI ALIARI
10	OPERTI ALIARI MARIOTTI
11	OPERTI ALIARI MARIOTTI
12	OPERTI ALIARI MARIOTTI
13	OPERTI ALIARI MARIOTTI
14	OPERTI ALIARI MARIOTTI
15	OPERTI ALIARI MARIOTTI
16	OPERTI ALIARI MARIOTTI
17	OPERTI ALIARI MARIOTTI
18	OPERTI ALIARI MARIOTTI
19	OPERTI ALIARI MARIOTTI
20	OPERTI ALIARI MARIOTTI
21	OPERTI ALIARI MARIOTTI
22	OPERTI ALIARI MARIOTTI
23	OPERTI ALIARI MARIOTTI
24	OPERTI ALIARI MARIOTTI
25	OPERTI ALIARI MARIOTTI
26	OPERTI ALIARI MARIOTTI
27	OPERTI ALIARI MARIOTTI
28	OPERTI ALIARI MARIOTTI
29	OPERTI ALIARI MARIOTTI
30	OPERTI ALIARI MARIOTTI

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 m
 SCALA 1:10.000

Profili geologici



ZONE SISMICHE

ZONE SISMICHE (SICURTÀ) DI AMPLIFICAZIONE LOCALI

ZONE SISMICHE (SICURTÀ) DI INSTABILITÀ

**Carta della
 MS di I
 livello**

1.6.2.6 DATI PER VALUTAZIONI DI INSTABILITÀ DI VERSANTE

Per le valutazioni di instabilità di versante sono indispensabili dati su:

- scuotimento in superficie (in genere, in termini di accelerazione massima del suolo, a_g);
- profilo topografico e geometria del versante, inteso come associazione fra topografia e forme geomorfologiche;
- litostratigrafia;
- caratterizzazione geotecnica;
- modello di frana (materiale coinvolto, geometria e profondità della superficie di rottura, cinematicismo);
- condizioni idrogeologiche;
- caratteristiche di resistenza a taglio.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Scuotimento in superficie	Analisi di pericolosità di base e locale e/o dati strumentali
Carta delle pendenze	Rilevamento topografico, modello digitale del terreno, cartografia topografica di dettaglio
Litostratigrafia	Rilevamento geologico, sondaggi
Caratterizzazione geotecnica	Prove standard di laboratorio, correlazioni con SPT e CPT
Modello di frana	Fotointerpretazione, rilevamento geologico e geomorfologica, indagini geotecniche e geofisiche in sito (sondaggi, profili sismici a rifrazione, ...)
Falda acquifera	Sondaggi, indagini piezometriche
Resistenza dei terreni rispetto alla stabilità	Prove standard di laboratorio, correlazioni con prove in sito (SPT e CPT), prove triassiali cicliche, prove di taglio semplice ciclico.

Per quanto riguarda le frane, oltre allo stato di attività, deve essere considerata anche la tipologia di movimento. Le frane complesse saranno cartografate distinguendo, dove possibile, le aree a diverso meccanismo di movimento, altrimenti l'intero fenomeno sarà rappresentato dalla tipologia di movimento prevalente.

Dovranno essere individuati e delimitati i fenomeni franosi indicando il loro stato di attività come di seguito specificato:

- attivi legati a processi in atto o ricorrenti a ciclo breve;
- quiescenti, con possibilità di riattivazione nell'attuale sistema morfoclimatico;
- inattivi, cioè riferibili a condizioni climatiche diverse dalle attuali, oppure a condizioni morfologiche non più attivabili; ove possibile, si dovrà indicare (mediante opportuna sigla), se le attuali condizioni di stabilità siano state raggiunte a seguito di interventi di bonifica o risultino naturalmente stabilizzate.

Lo stato di attività dovrà essere determinato, oltre che mediante le evidenze morfologiche, sulla base di studi storico-archivistici e sulla testimonianza delle popolazioni locali.

- la presenza di frane, anche se inattive nelle condizioni morfoclimatiche correnti;
- la presenza di formazioni geologiche, nell'area studiata, notoriamente affette da franosità;
- la presenza di elementi morfologici suscettibili, quali versanti acclivi, orli e bordi di scarpate, zone in forte stato di erosione, come pure la presenza di terreni sciolti o a elevato grado di fatturazione su pendii prossimi all'angolo di natural declivio.

In particolare andranno evidenziate le forme del rilievo che mostrano segni di movimenti di massa o di denudamento dei versanti, come pure tutte le emergenze idriche utili a definire lo schema della circolazione idrica sotterranea e lo stato e la natura dei processi di degradazione e alterazione delle coltri superficiali.

Attivi	Quiescenti	Inattivi
Scarpate, terrazzi e crepacci con bordi netti	Scarpate, terrazzi e crepacci con bordi arrotondati	Scarpate, terrazzi e crepacci difficilmente distinguibili
Depressioni o trincee privi di riempimenti secondari	Depressioni o trincee con riempimento secondario	Depressioni riempite
Movimenti di massa secondari sulle scarpate, scarpate acclivi e non vegetate	Nessun movimento di massa secondario sulle scarpate	Scarpate poco acclivi e vegetate
Superfici di frattura fresche sui blocchi	Superfici di frattura degradate sui blocchi	Superfici di rottura difficilmente distinguibili
Sistema di drenaggio sconvolto, deviazioni.	Stabilizzazione del reticolo di drenaggio	Sistema di drenaggio integro
Creste di pressione al contatto con i margini di scorrimento	Rigonfiamenti e ondulazioni ai margini	Superficie topografica integra
Assenza di sviluppo di suolo sulla parte esposta della superficie di rottura	Sviluppo di suolo sulla parte esposta della superficie di rottura	Superficie di rottura non più identificabile
Presenza di vegetazione a crescita rapida		Presenza di vegetazione a crescita lenta
Differenza netta di vegetazione tra le zone interne ed esterne della frana	Differenze di ricrescita della vegetazione tra la zona interna e quella esterna	Nessuna differenza di vegetazione tra le zone interne ed esterne della frana
Alberi inclinati senza ricrescita verticale	Alberi inclinati con ricrescita verticale nelle porzioni successive alla parte inclinata	Alberi a ricrescita verticale
Rigonfiamenti e rotture superficiali non livellati dai lavori agricoli stagionali	Presenza di ondulazioni smussate ma ancora osservabili	Superficie del corpo di frana rimodellato dai lavori agricoli stagionali

Il Progetto IFFI prevede i seguenti caratteri distintivi (Progetto IFFI – Allegato Tecnico Convenzione 2004-2005):

stato attivo: quando si vedono nel dettaglio, con chiarezza, elementi singoli o associati quali, fessurazioni aperte, marcati rigonfiamenti e ondulazioni del terreno, denudamenti nella copertura vegetale, presenza di impregnazioni e ristagni di acqua, evidenti lesioni a manufatti e viabilità, significative sconnessioni nella copertura boschiva, ecc. Quando determinate evidenze morfologiche, pur se singolarmente non identificabili con chiarezza, costituiscono nel loro insieme, una marcata, fresca, recente anomalia (intesa in senso gravitativo) nel contesto della normale evoluzione morfologica del versante.

stato quiescente: quando i suddetti indicatori cinematici non sono più marcatamente visibili, ma la morfologia del versante lascia intravedere o intuire cicatrici e testimonianze di questa passata attività.

stato stabilizzato: quando la frana è visibile, generalmente ad uno stadio piuttosto evoluto, nelle sue forme principali (zona di distacco, zona di accumulo, limiti perimetrali e principali morfostrutture interne). Spesso è anche oggetto di significative forme di antropizzazione.

stato relitto: quando la forma raggiunta, generalmente ad uno stadio evoluto o esaurito, viene rimodellata da altri agenti, per cui diviene anche difficile riconoscere e rappresentare i limiti del vecchio corpo di frana.

Legenda Geomorfologica

Elementi **areali**

- Perimetrazione frane: a) attive; b) quiescenti; c) inattive; d) non definite
- Sovrapposizione retino per tipologia cinematica:
a) crollo/ribaltamento; b) scorrimento (planare o non); c) colata; d) complessa; e) non definita
- Conoidi e falde detritiche (retino sopra litologia)
- Cavità (retino sopra litologia)
- Altre forme (carsiche, glaciali, ecc.)

Frane sismoindotte censite in Italia negli ultimi 40 anni



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Mapa di pericolosità sismica d'area

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2008)
 espressa in termini di accelerazione
 con probabilità di eccedenza del 10%
 riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 1)

Sequenza umbro-marchigiana 1997 (M = 5.5 - 5.8)

90 frane e 20 casi di rottura di versante di cui:

- 58 % crolli;
- 33 % scorrimenti;
- 9 % colate, ribaltamenti e fenomeni non chiaramente identificabili.

Friuli 1976 (M = 6.1 - 6.4)

1000 casi censiti di cui

- 90 % crolli;
- 10 % valanghe di detriti, crolli di terreni sciolti;
- rari casi di scorrimento di roccia e di coltre.

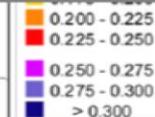
Irpinia 1980 (M = 6.9)

- numerosi crolli di roccia;
- fenomeni di notevoli dimensioni di colate, scorrimenti e frane complesse in pendii coesivi.

Sicilia orientale 1990 (M = 5.8)

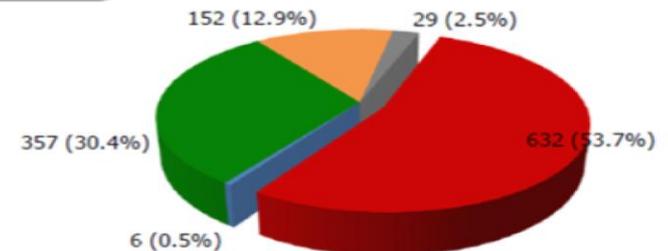
Pochi crolli di roccia e alcuni scorrimenti di detriti, un evento tipo frana rototraslativa (frana di Monte Po, Catania).

< 0.025 g



Effetti sull'ambiente fisico

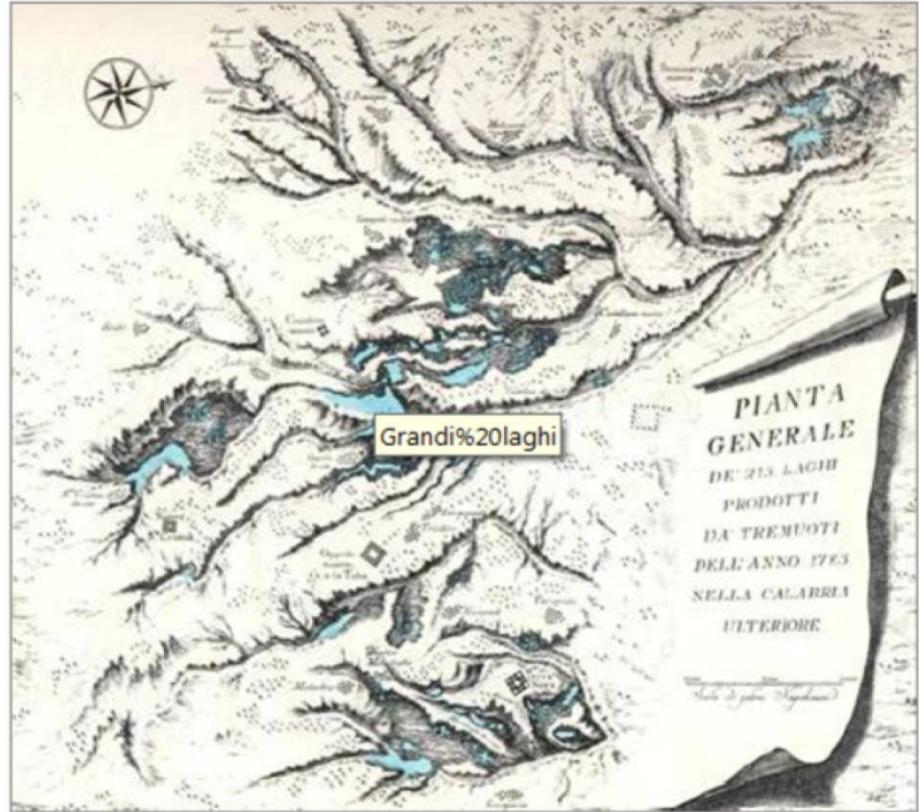
- Frane
- Liquefazione
- Fratture del suolo
- Fagliazione
- Variazioni topografiche



(Puglia et al. 2004)

L'individuazione delle aree potenzialmente interessate da fenomeni di superficie ([frane](#) sismoindotte, fenomeni di liquefazione, ecc.) può essere fatta mediante il rilevamento diretto sul terreno, tramite la prospezione geologica, di alcuni elementi indiziari caratteristici della presenza di frane, nonché, da documentazioni storiche e testimonianze riguardanti gli avvenimenti accaduti in passato nella zona.

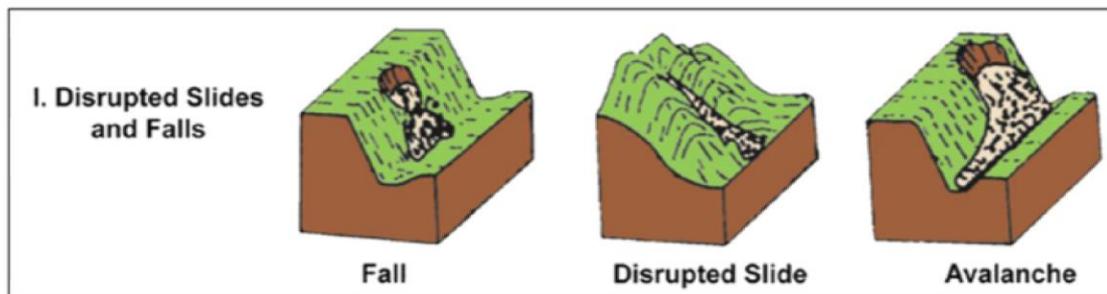
Sconvolgimenti dell'ambiente osservati



Da Sarconi M. (1784) e Vivenzio (1788)

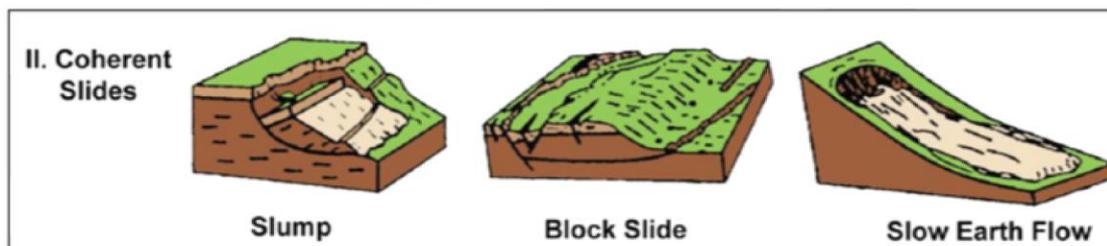
Classificazione cinematica secondo Keefer & Wilson (1989)

- I. crolli e ribaltamenti** (con disgregazione della massa in frana):
- in pendii acclivi, movimento veloce, in genere superficiale



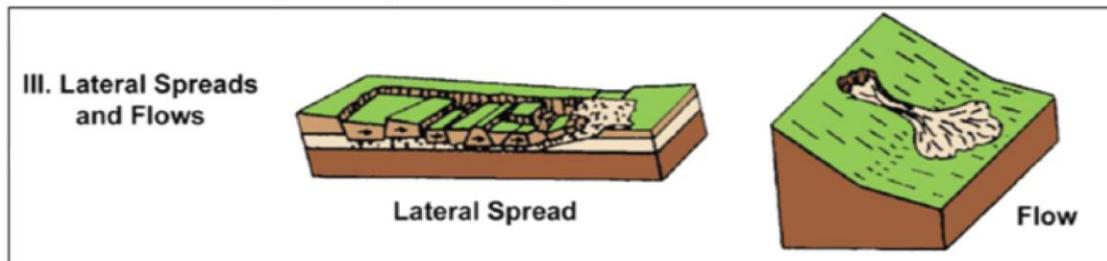
→ Effetti inerziali

- II. scorrimenti** (senza disgregazione della massa in frana):
- sia in roccia che in terreni sciolti;
- anche colate lente (in pendii da moderatamente acclivi ad acclivi)



→ Effetti inerziali
+
Riduzione della
resistenza

- III. espansioni laterali e colate rapide** (frane 'fluide'):
- movimenti rapidi in pendii da poco a moderatamente acclivi



→ Liquefazione

1.6.2.7 DATI PER VALUTAZIONI DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Per le valutazioni della suscettibilità alla liquefazione sono indispensabili dati su:

- scuotimento in superficie (in genere, in termini di accelerazione massima del suolo, PGA);
- magnitudo degli eventi attesi;
- litostratigrafia;
- granulometria;
- profondità della falda;
- resistenza dei terreni sotto carico ciclico.

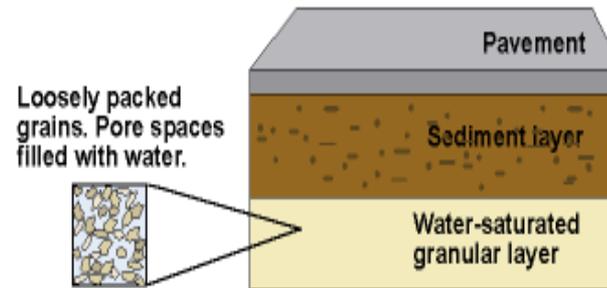
I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Scuotimento in superficie	Analisi di pericolosità di base e locale e/o dati strumentali
Magnitudo	Catalogo dei terremoti
Litostratigrafia	Sondaggi
Caratterizzazione granulometria e geotecnica	Prove standard di laboratorio, correlazioni con in sito (SPT e CPT), prove triassiali cicliche, prove di taglio semplice ciclico.
Idrogeologia	Indagini piezometriche
Resistenza dei terreni rispetto alla liquefazione	Prove standard di laboratorio, correlazioni con prove in sito (SPT e CPT), prove triassiali cicliche, prove di taglio semplice ciclico.

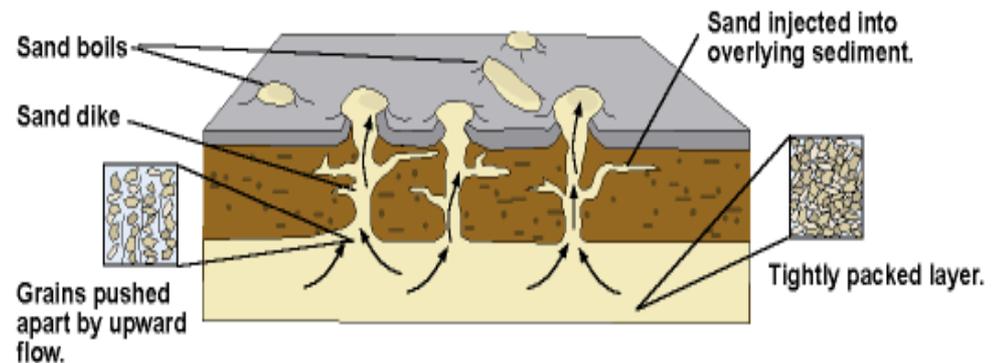
LIQUEFAZIONE

La **liquefazione delle sabbie** è il comportamento dei suoli sabbiosi che, a causa di un aumento della [pressione interstiziale](#), passano improvvisamente da uno stato solido a uno fluido, o con la consistenza di un liquido pesante. La liquefazione avviene più frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un [evento sismico](#), possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la [resistenza al taglio](#) del terreno secondo il principio delle [pressioni efficaci](#) di [Terzaghi](#), e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Before the earthquake



During the earthquake



EARTHQUAKE-INDUCED LIQUEFACTION

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- 1- dal grado di addensamento;
- 2- dalla granulometria e forma dei granuli;
- 3- dalle condizioni di drenaggio;
- 4- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- 5- dall'età del deposito;
- 6- dalla profondità della linea di falda (prossima alla superficie).

Dall'osservazione di zone colpite da liquefazione, si è notato che questa avviene nelle seguenti circostanze:

a- terremoti di magnitudo uguale o superiore a 5.5, con accelerazioni superiori o uguali a 0,2 g;

b- al di sopra dei 15 metri di profondità; oltre questa profondità non sono state osservate liquefazioni;

c- la profondità della falda era posizionata in prossimità della superficie (inferiore ai 3 m).



In letteratura sono stati suggeriti da vari autori, diversi metodi (tabellari, semplificati ecc...), per la valutazione del potenziale di liquefazione di depositi sabbiosi saturi. **Affinché in un sito possano avvenire fenomeni di liquefazione, è necessario che la scossa sismica raggiunga una certa intensità.**

Da osservazioni effettuate su un certo numero di terremoti avvenuti, Kuribayashi & Tatsuoka (1975), hanno potuto verificare che esiste una relazione fra la magnitudo e il logaritmo della distanza all'interno della quale si possono innescare fenomeni significativi di liquefazione, da cui:

$$\text{Log}_{10} R = 0,8 M - 4,5$$

dove:

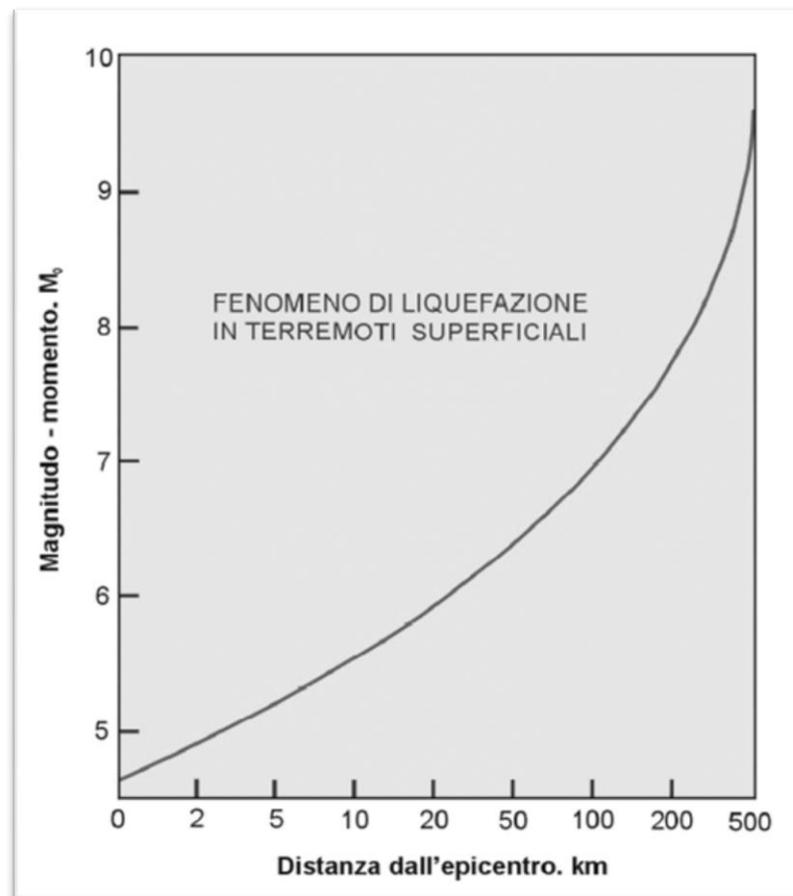
R = distanza dall'epicentro del terremoto (km);

M = Magnitudo

Poiché la precedente relazione risulta valida per terremoti con $M \geq 6$, alcuni autori (Berardi et al., 1988), analizzando alcuni terremoti italiani in cui si erano verificati fenomeni di liquefazione, hanno modificato la relazione in:

$$\text{Log}_{10} R = 0,77 M - 3,6$$

Da qui l'importanza di definire la distanza epicentrale dal sito investigato.





Eventi del passato

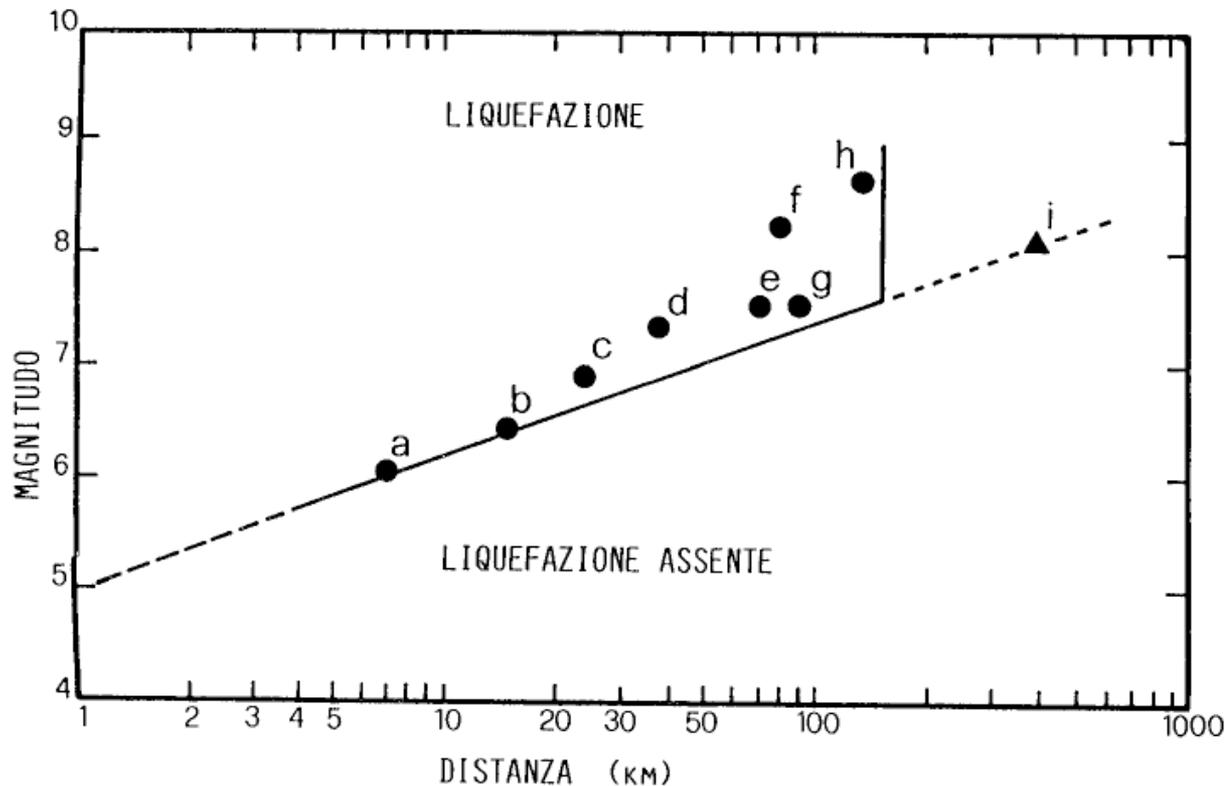


FIG. 14 — Relazione basata su dati storici tra Magnitudo e distanza massima a cui è stata osservata liquefazione. *a)* Terremoto di Westmoreland, Calif. (1981); *b)* Imperial Valley, Calif. (1979); *c)* Fallon-Stillwater, Nevada (1954); *d)* Borah Peak, Idaho (1983); *e)* Niigata, Giappone (1964); *f)* San Francisco, Calif. (1906); *g)* Guatemala (1976); *h)* Alaska (1964); *i)* Città del Messico (1985). Le deformazioni a Città del Messico, distante circa 400 km dall'epicentro dell'evento del settembre 1985 ($M = 8.1$), hanno presentato caratteristiche dubitativamente assimilabili a fenomeni di liquefazione/costipazione. Ri-disegnato, modificato, da TINSLEY *et al.* (1985).

1.6.2.8 DATI PER VALUTAZIONI DELLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI

Per le valutazioni della faglie attive e capaci sono indispensabili dati su:

- traccia della faglia in superficie;
- litostratigrafia generale e di dettaglio;
- entità delle dislocazioni;
- geometria del piano di faglia in profondità;
- datazioni dei movimenti della faglia.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Traccia in superficie	Rilevamenti in situ, interpretazione foto aeree
Litostratigrafia	Sondaggi, analisi geotecniche, analisi paleosismologiche
Dislocazioni e rotture per faglia	Analisi paleosismologiche
Andamento faglie in profondità	Analisi paleosismologiche, indagini geofisiche
Datazioni dei movimenti	Radiometria

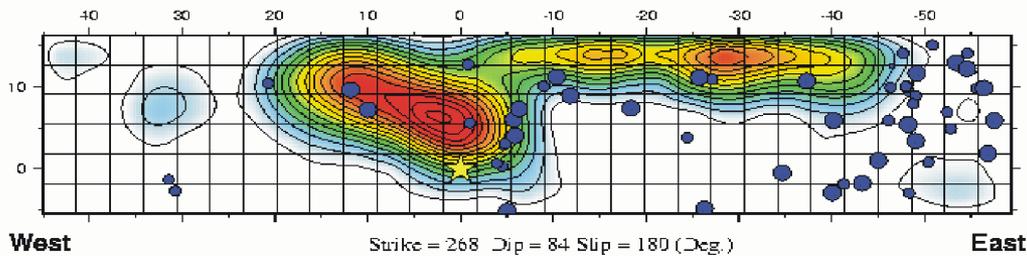
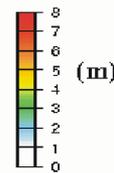
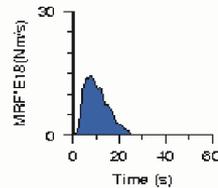
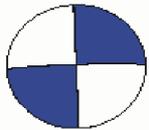
FAGLIA CAPACE

Se una faglia ha prodotto DISLOCAZIONI “**RECENTI**”, generalmente viene considerata attiva.
Una faglia capace è in grado di generare deformazione in superficie.

DISLOCAZIONI STRUMENTALI...

Kocaeli Earthquake-TURKEY

Hypocenter: 40.70N 29.91E 16km



DISLOCAZIONI GEOLOGICHE...



2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake

....Faglia quaternaria, pleistocenica, olocenica, storica.

....in termini di SHA....

STRUTTURE SUPERFICIALI

FAGLIA CAPACE

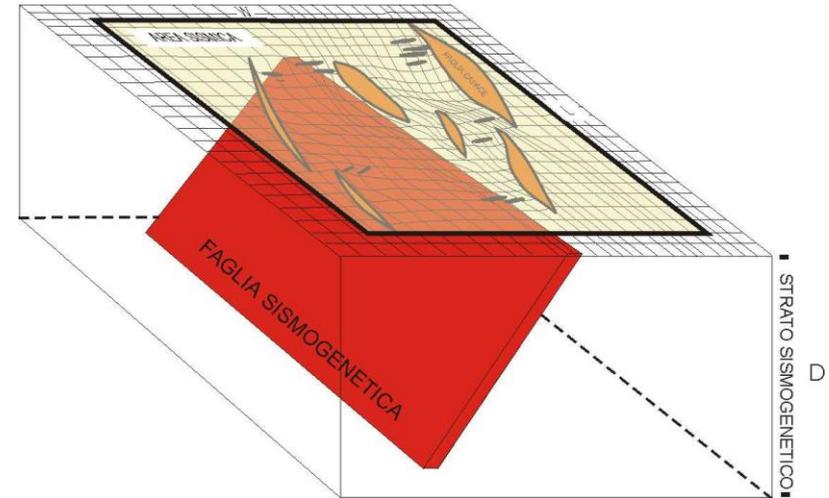
che ha generato fagliazione superficiale durante un evento sismico negli ultimi 20 ka (IAEA)

FAGLIA CAPACE POTENZIALE

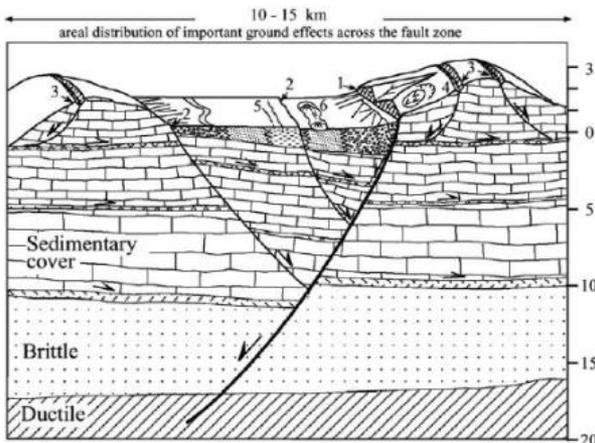
che ha generato fagliazione superficiale precedentemente ai 20 ka.

STRUTTURE PROFONDE

FAGLIA SISMOGENETICA



Tondi, E., 2000. Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines. *Journal of Geodynamics*, 29, 517-534.

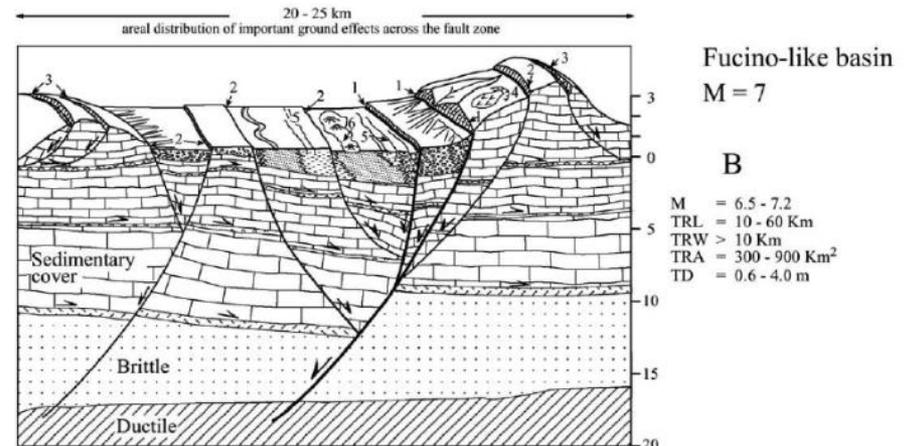


Colfiorito-like basin

M = 6

A

M = 6 ± 0.5
TRL = 6 - 12 Km
TRW = 5 - 10 Km
TRA = 35 - 350 Km²
TD = 0.02 - 0.6 m



Fucino-like basin

M = 7

B

M = 6.5 - 7.2
TRL = 10 - 60 Km
TRW > 10 Km
TRA = 300 - 900 Km²
TD = 0.6 - 4.0 m

Berlusconi et al., 2011 - Lessons learned from Environmental Effects in Italy: the April 6th, 2009 L'Aquila, M 6.3, earthquake in Central Italy, and Seismic Hazard in the Po Plain. *Int. Report, Univ. Insubria*.



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy

<http://diss.rm.ingv.it/diss>

read me
first

operating
manual

related
software

samples credits disclaimer

© INGV



Quali sono i contenuti del database DISS?

Due principali categorie di sorgenti sismogenetiche:

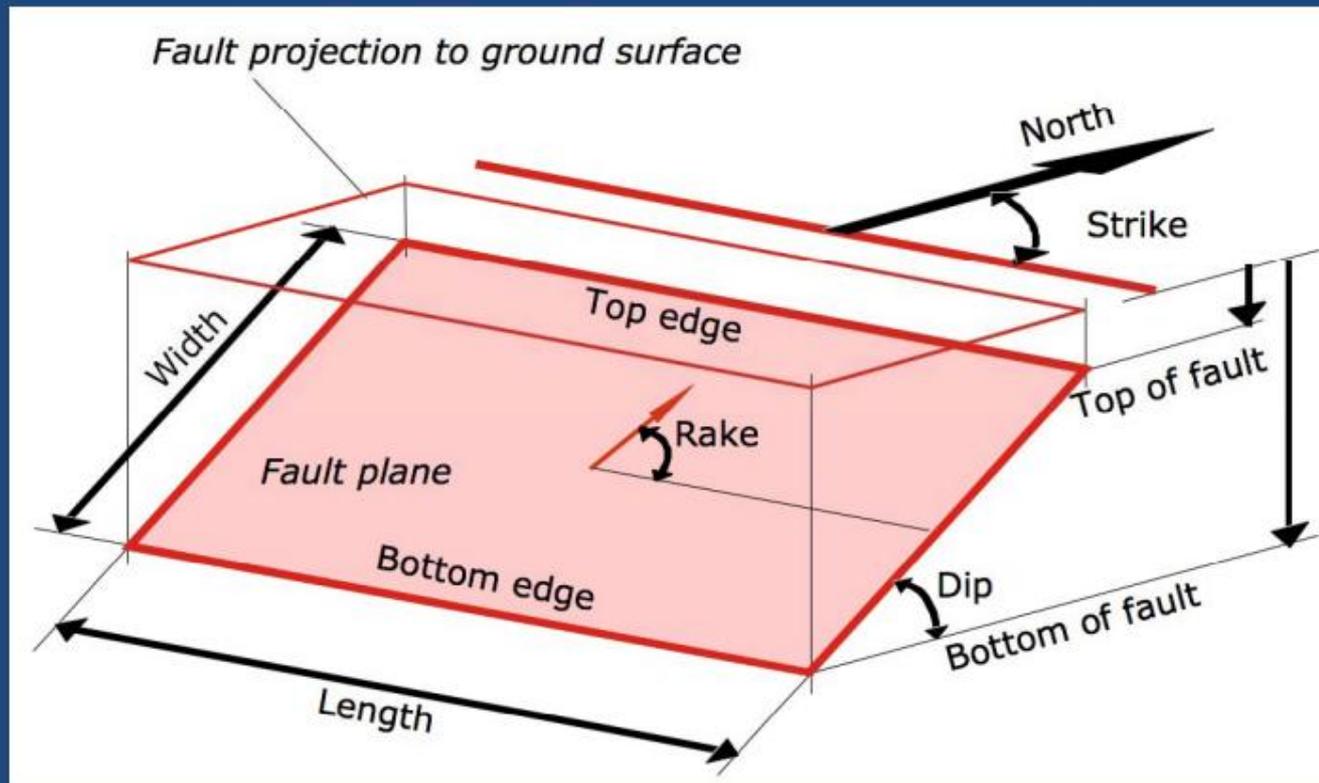
- Sorgenti Individuali
- Sorgenti Composite

Ogni sorgente è associata a:

- ✓ *un elemento geografico*
- ✓ *un set di attributi alfanumerici*
- ✓ *un testo di commenti*
- ✓ *immagini originali o tratte da lavori pubblicati*
- ✓ *una lista di riferimenti bibliografici*

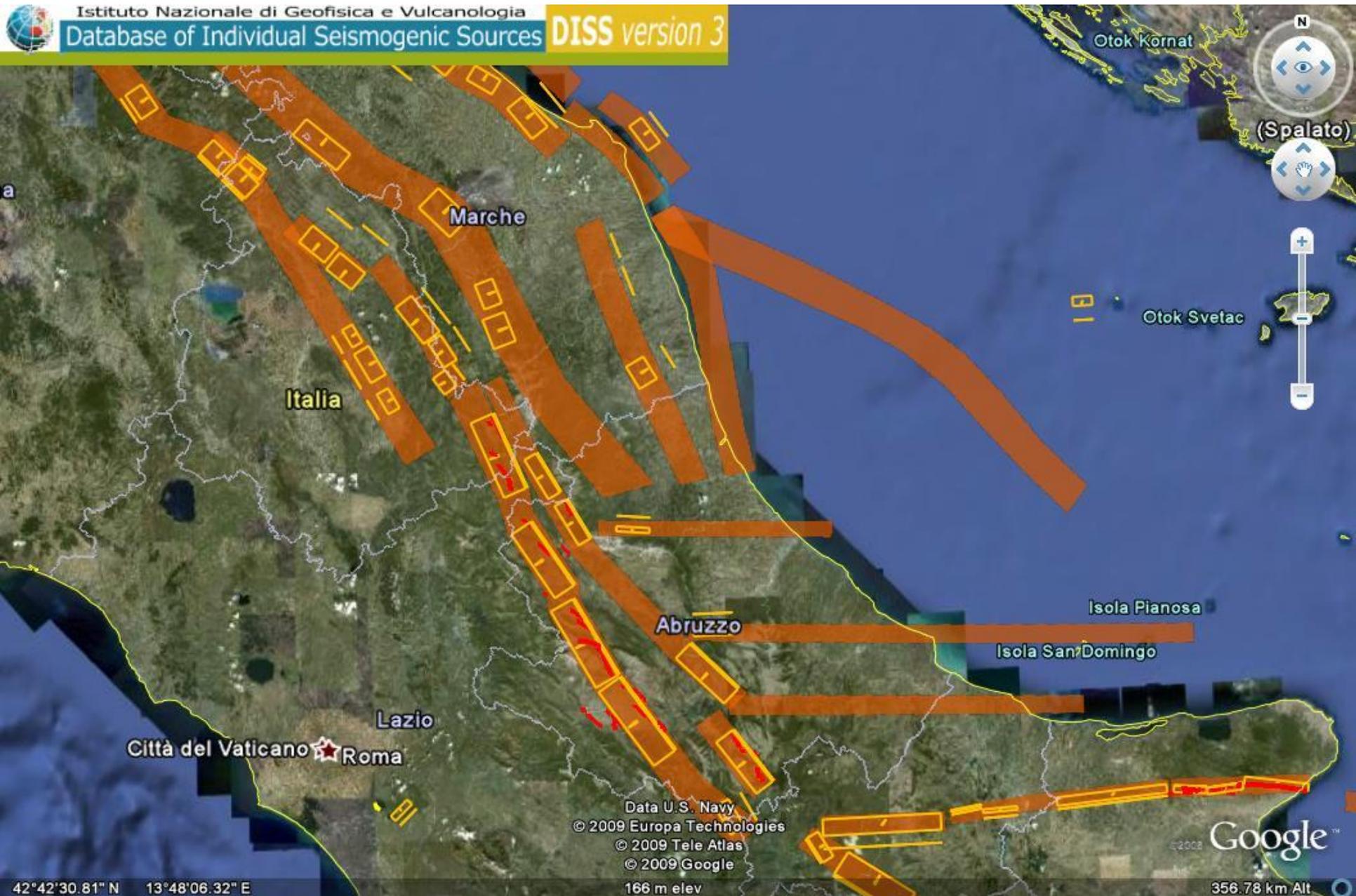


SORGENTE SISMOGENETICA INDIVIDUALE



- ✓ Basata su osservazioni geologiche, geomorfologiche e geofisiche e su vincoli storici
- ✓ Implica comportamento caratteristico dei terremoti

PORZIONE DI FAGLIA CHE SI MUOVE DURANTE TERREMOTO



ITHACA è un database creato per la raccolta e la consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le **strutture tettoniche attive** in Italia: il progetto si occupa in modo particolare delle **faglie capaci**, definite come **faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie**.

Il database delle faglie capaci è uno strumento fondamentale per:

- a) analisi di pericolosità ambientale e sismica,
- b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio,
- c) pianificazione territoriale,
- d) gestione delle emergenze di Protezione Civile
- e) di supporto alla ricerca scientifica nell'ambito dell'analisi dei processi geodinamici.

The image shows a screenshot of the ITHACA database interface. At the top, it reads "ITHACA (Italy HAZard from CAPable faults)." and "Consult the database online". Below this, there are two main sections: "Select faults by location" and "Select faults by region". The "Select faults by location" section includes the text "(consult database using Geographic Information System)". The "Select faults by region" section features a dropdown menu with "Sicilia" selected and a "GO" button. At the bottom, there are two maps of Italy: the left one is a topographic map showing terrain, and the right one is a map with orange-shaded regions and black lines representing fault lines. In the bottom left corner, there is a logo with the Greek letters "ΙΘΑΚΑ". At the bottom center, there is a URL: <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>

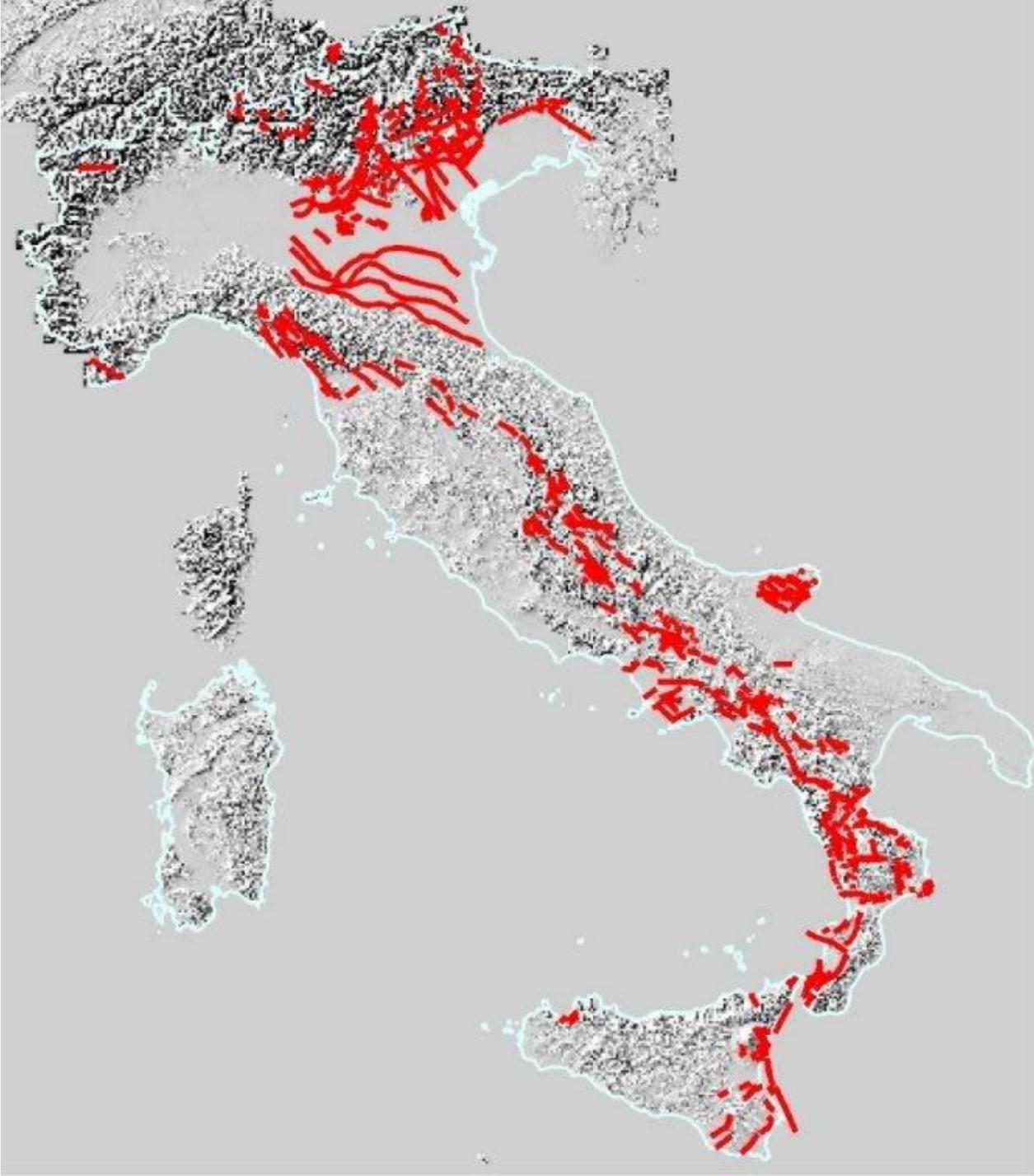


Figura 14.2: Maschera Faults del database ITHACA 2004

Microsoft Access

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Record Strumenti Pagina ?

ITHACA2004 - Database

FAULTS

MACROZONE	3	GEOMETRY	
REGION CODE	Emi002	LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE 1:)	250000
REGION NAME	Emilia Romagna	FAULT DEPTH (Km)	
SYSTEM NAME	Reggio Emilia-Modena	KINEMATICS	REVERSE
FAULT CODE	90513	GEOMORPHIC EXPRESSION	
FAULT NAME	Modena	MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
check	INSUBRIA Sabry ok	LITHO CUT	MA
SYNOPSIS		APPLIED TECHNIQUES	GP, IS
RANK	PRIMARY	EVIDENCE FOR CAPABILITY	QC
GEOLOGIC SETTING	PRIMARY	LAST ACTIVITY	Q1
	SUBORDINATE	ACTIVITY RELIABILITY	C
SEGMENTATION	yes	RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
AVERAGE STRIKE	100	SLIP RATE (mm/yr)	0
DIP	30	MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH (km)	17
LENGTH (Km)	17	MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
		KNOWN SEISMIC EVENTS	

primary/subordinate a bandiera

NUM

Fonte: APAT

From: Martelli et alii, 2012. *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, Vol. 131, No. 3, pp. 423-439.

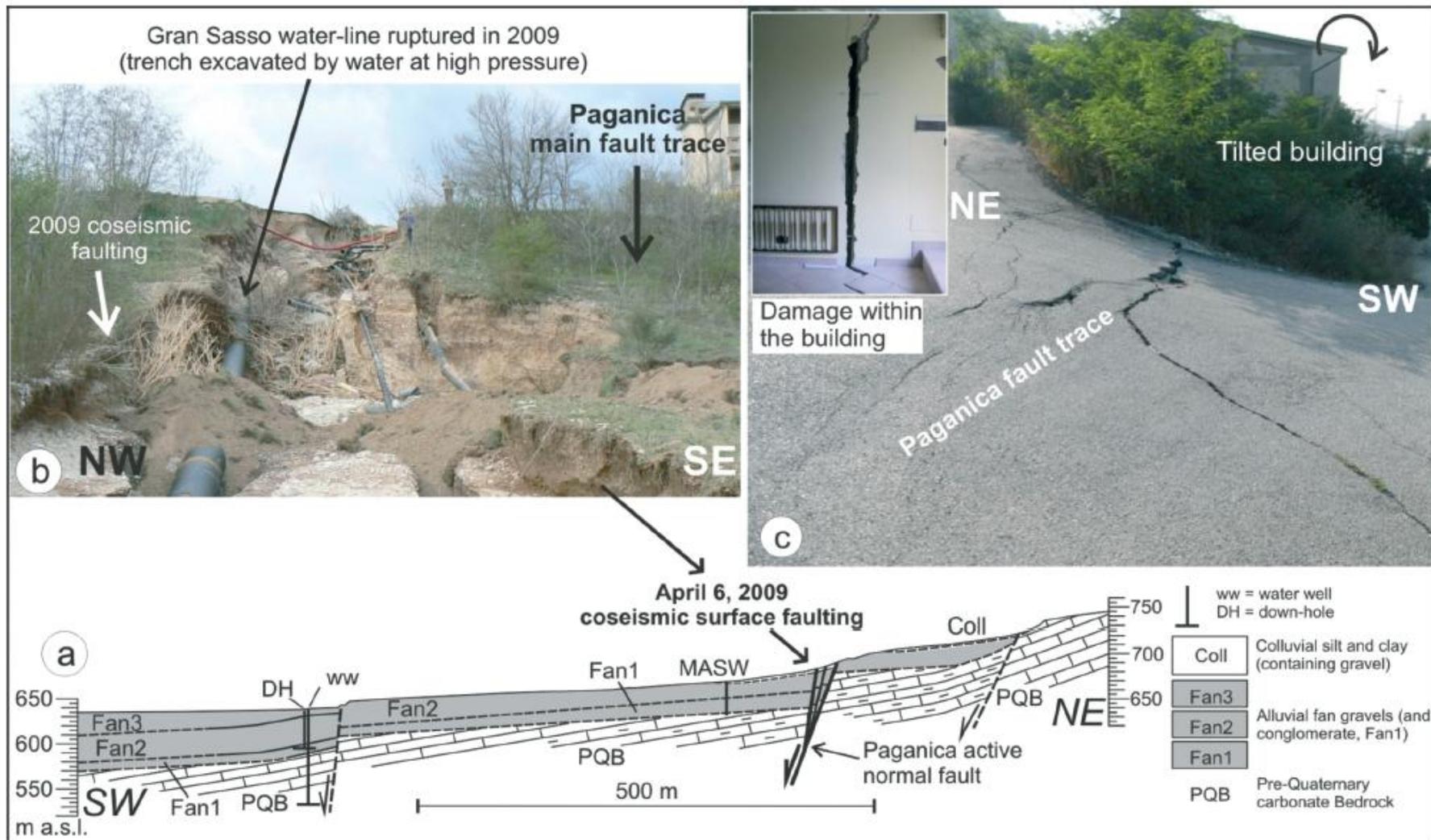


Fig. 11 - Geologic section, constrained by surface geology, well data and shallow geophysics, across the Paganica normal fault reactivated by the April 6 main shock (a) and examples of damage produced by coseismic surface faulting and fracturing (b, c) (location in fig. 1).

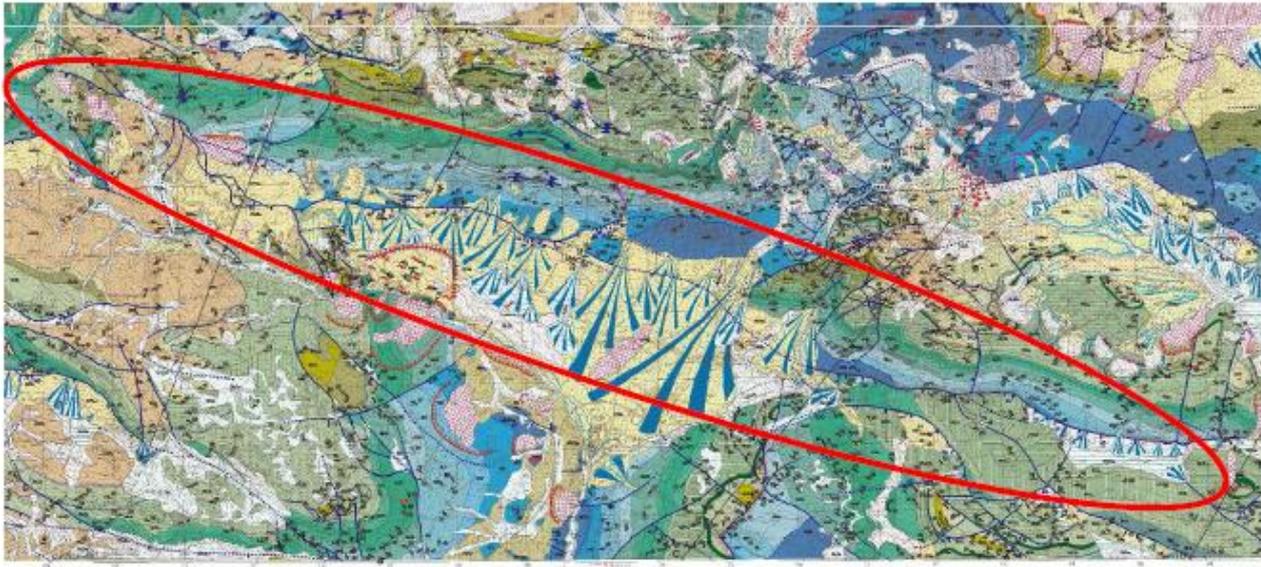
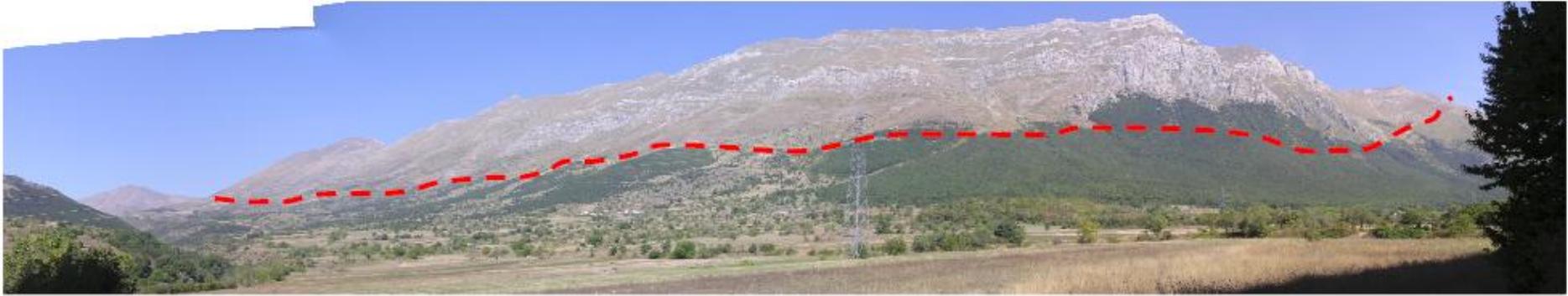
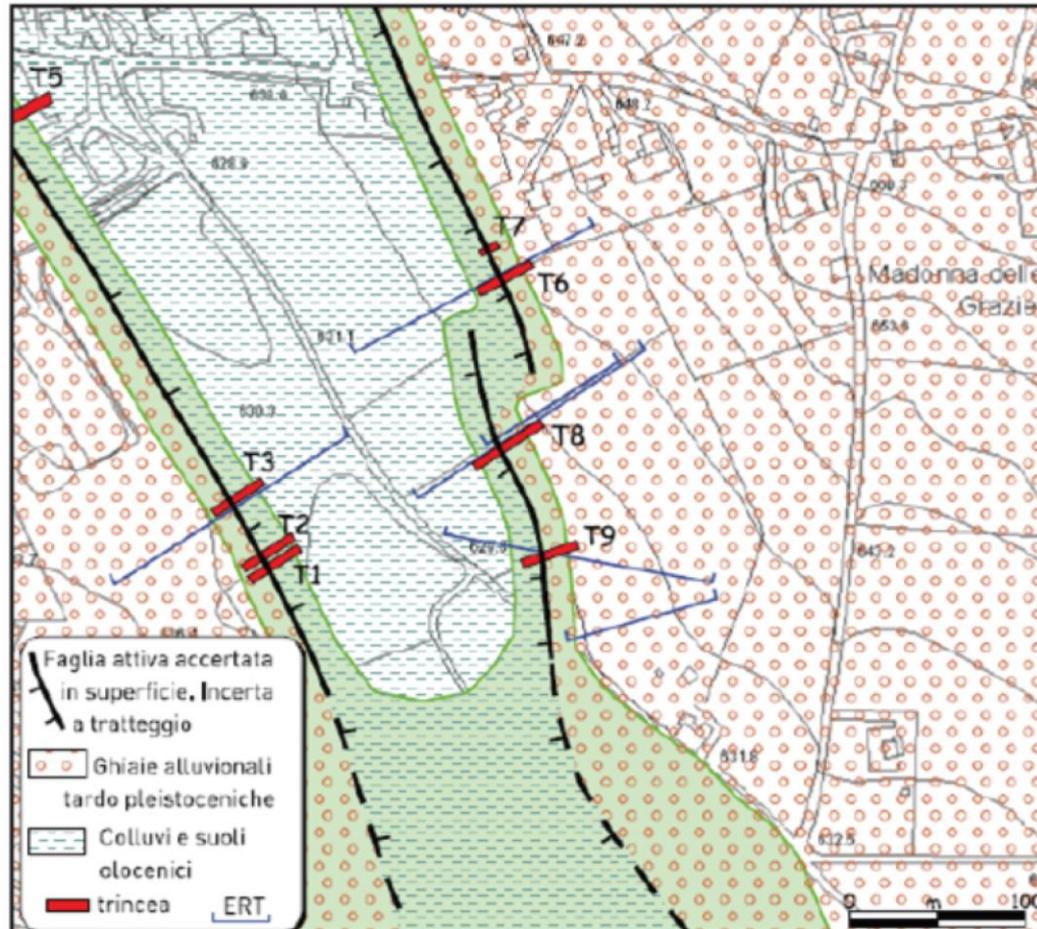


Fig. 159

SCALA 1:50000

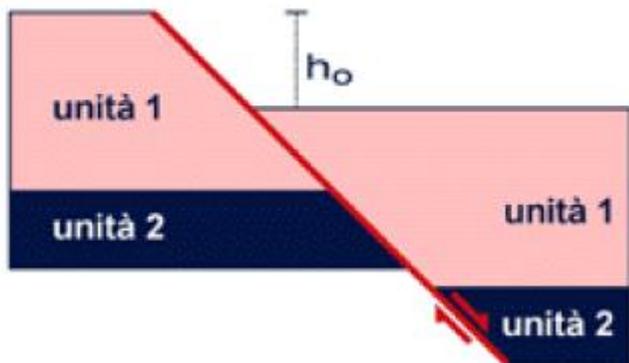


Faglia attiva: fascia di 15m nei tratti accertati e 75 in quelli inferiti

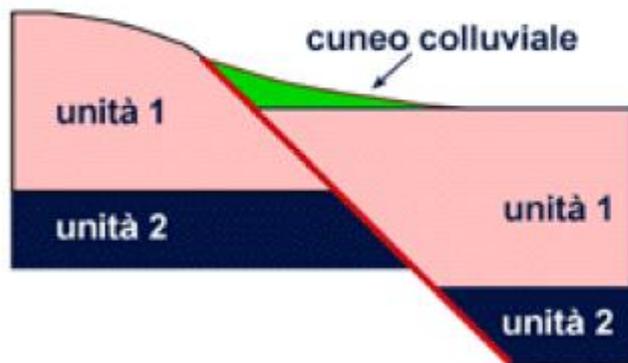


a

Terremoto 1

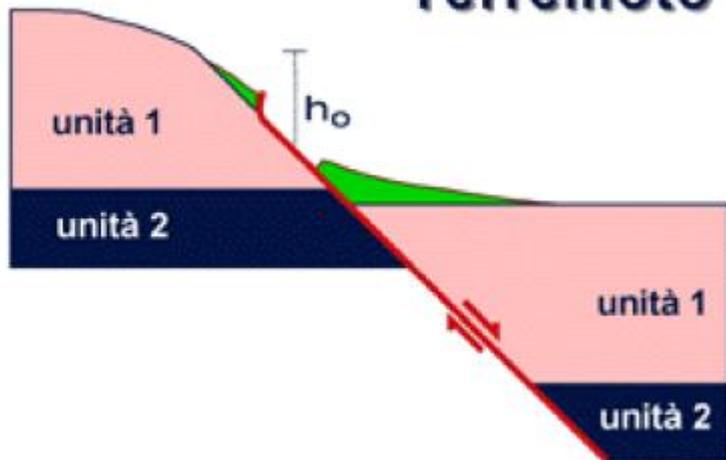


b

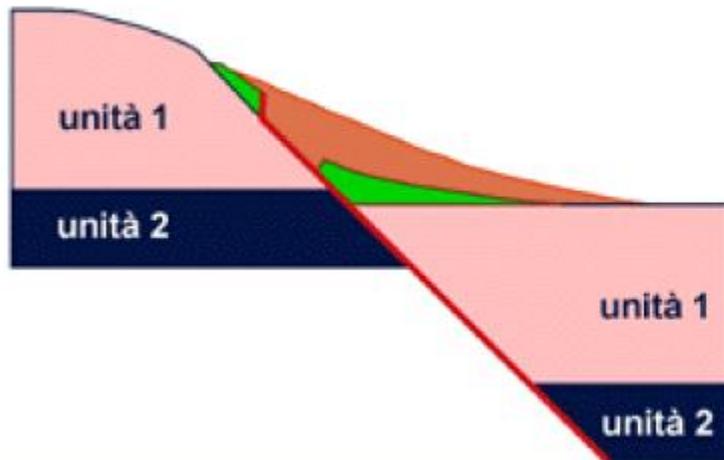


c

Terremoto 2



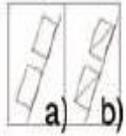
d



MORFOLOGIE SEPOLTE



FORME DI SUPERFICIE



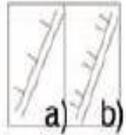
Orlo di scarpata morfologica.
a) 10-20 m; b) > 20 m.



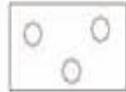
Conoide alluvionale.



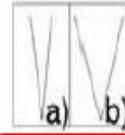
Scarpata (indicare altezza e pendenza se disponibili).



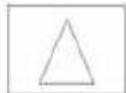
Orlo di terrazzo fluviale
a) 10-20 m; b) > 20 m.



Falda detritica.



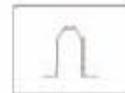
Valle: a) stretta ($C > 0.25$); b) larga ($C < 0.25$)
(coefficiente di forma $C = H/L/2$).



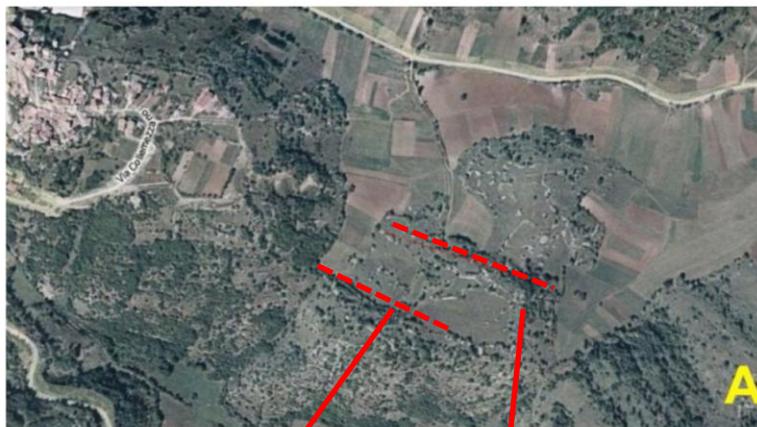
Picco isolato.



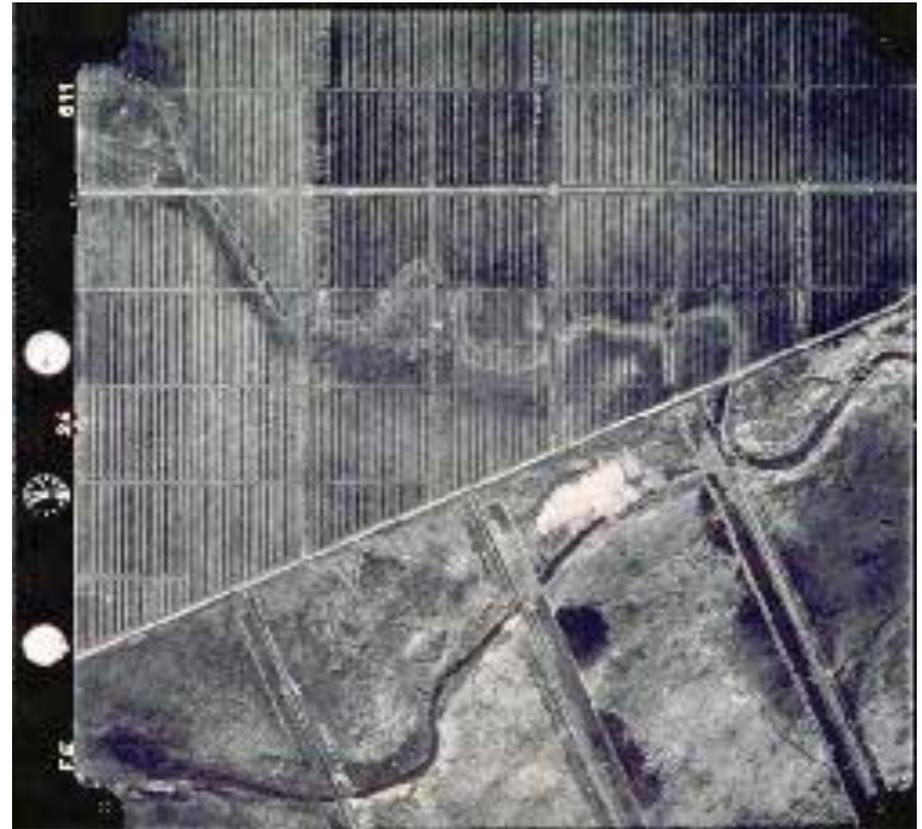
Cresta.



Area con cavità sepolta.



Paleoalvei sepolti



1.6.2.5 DATI PER VALUTAZIONI DELLE AMPLIFICAZIONI

Per le valutazioni delle amplificazioni in superficie sono indispensabili dati su:

- pericolosità sismica di base per definire l'input sismico di riferimento;
- morfologia superficiale del sito;
- litostratigrafia del sito con particolare attenzione alla profondità del bedrock sismico (quando individuabile);
- morfologia del bedrock sismico;
- caratterizzazione geotecnica dei terreni e caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi fratturati;
- profilo della velocità delle onde S (V_s);
- periodo fondamentale di vibrazione;
- caratterizzazione dei terreni in condizioni dinamiche.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Input sismico di riferimento	Analisi di pericolosità di base e/o dati strumentali
Morfologia del sito	Modello digitale del terreno, cartografia topografica di dettaglio
Litostratigrafia	Rilevamento geologico, sondaggi
Profondità bedrock sismico e morfologia sepolta	Sondaggi, sezioni geologiche 2D, indagini geofisiche
Falda acquifera	Sondaggi, indagini geoelettriche
Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica	Analisi geomeccaniche, prove in sito, prove di laboratorio, correlazioni con SPT e CPT
Profilo V_s	Down-Hole, Cross-Hole, sismica a rifrazione, SASW, MASW, array sismici, correlazioni con proprietà geotecniche
Periodo fondamentale	Misure di microtremori
Caratterizzazione proprietà dinamiche dei terreni	Colonna risonante, taglio torsionale ciclico, taglio semplice ciclico con doppio provino

1.6.2.9 DATI PER VALUTAZIONI DI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Per le valutazioni di cedimenti differenziali sono indispensabili dati su:

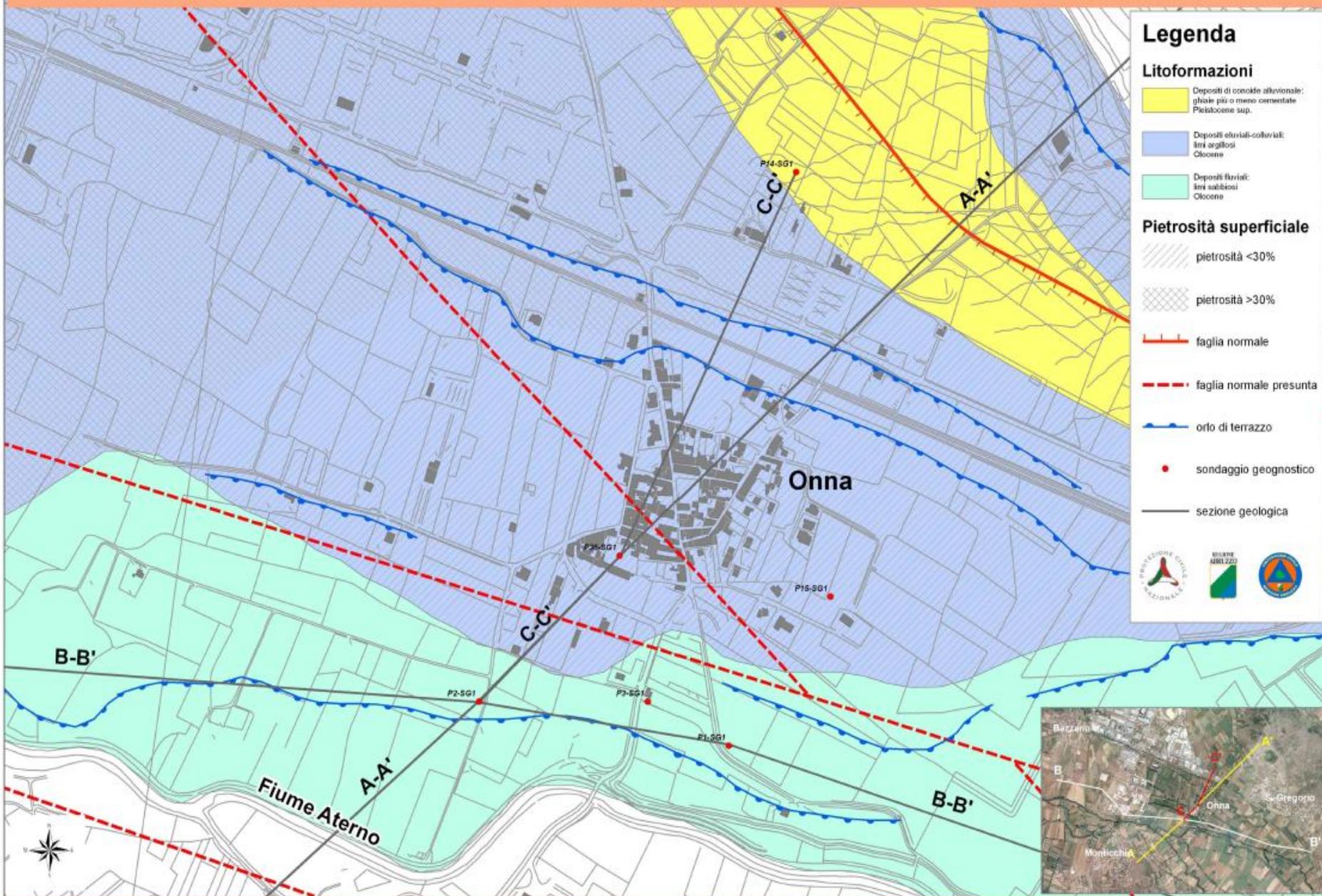
- traccia del contatto stratigrafico o tettonico dei terreni a diversa competenza;
- litostratigrafia di dettaglio dei due terreni;
- geometria del piano di contatto in profondità.

I metodi di indagine raccomandati sono i seguenti:

DATI DI BASE	METODI DI INDAGINE RACCOMANDATI
Traccia in superficie	Rilevamenti in sito, interpretazione foto aeree
Litostratigrafia	Sondaggi, prove geotecniche
Geometria del contatto	Indagini geotecniche, geofisiche e sismica a rifrazione

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

ONNA (L'Aquila)



Legenda

Litoformazioni

- Depositi di conchiglie aluvionali: ghiaie più o meno cementate Pleistocene sup.
- Depositi eoliali-colluviali: limi argillosi Olocene
- Depositi fluviali: limi sabbiosi Olocene

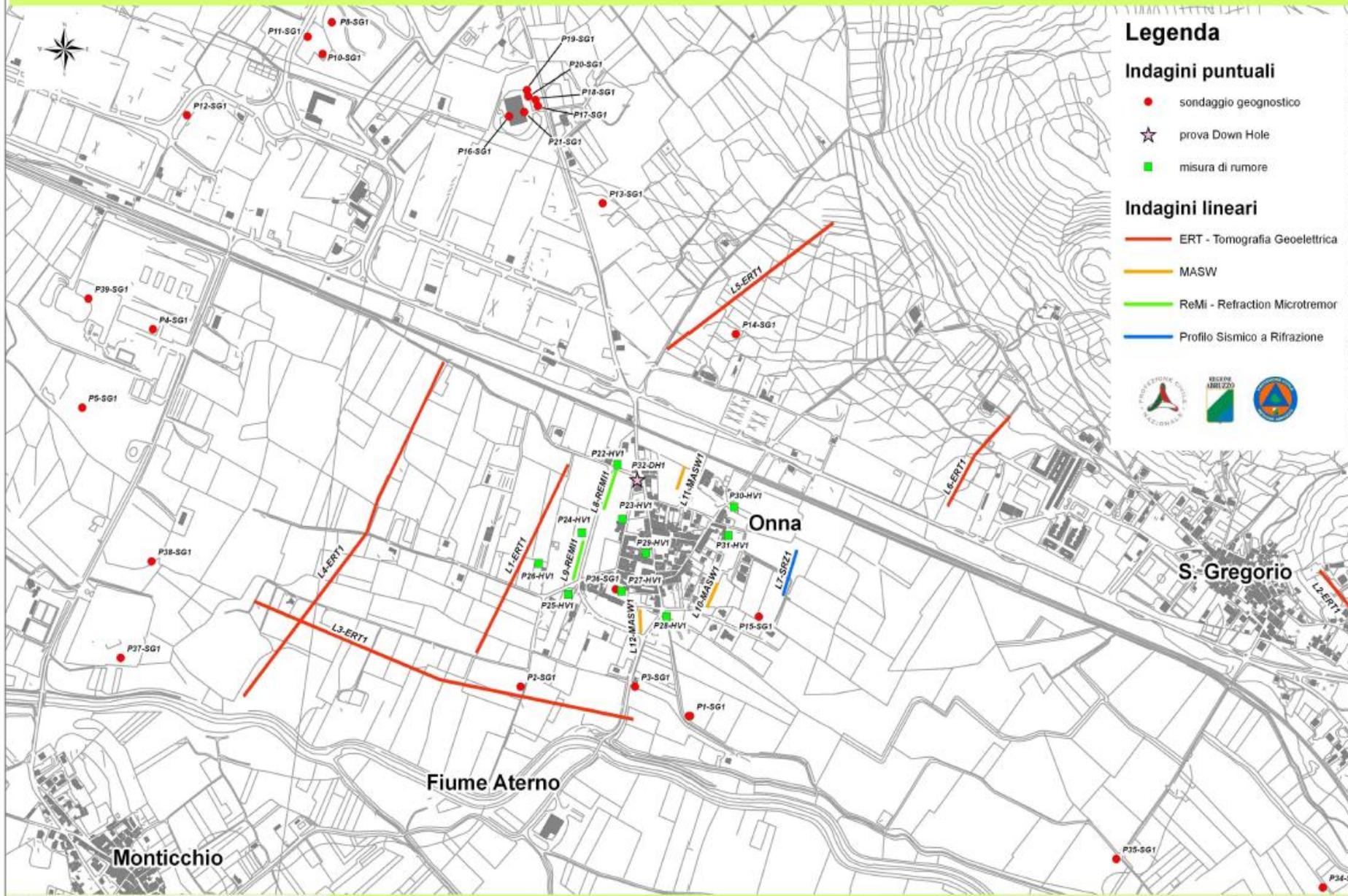
Pietrosità superficiale

- petrosità <30%
- petrosità >30%

Strutture geologiche

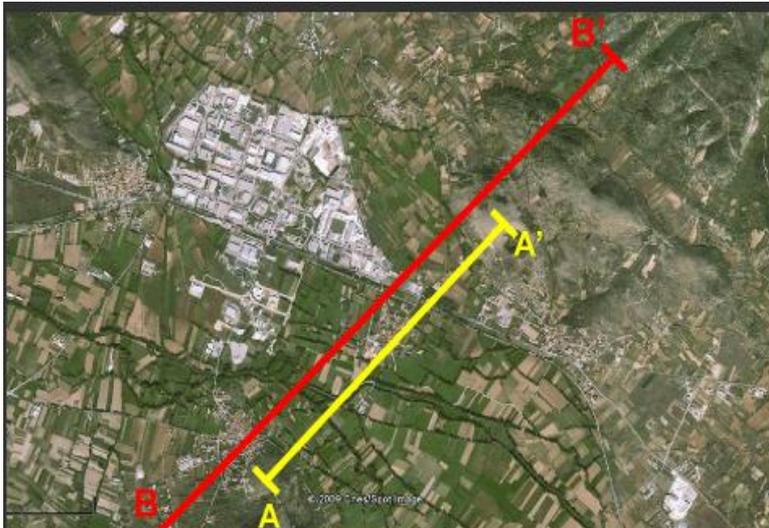
- faglia normale
- faglia normale presunta
- orlo di terrazzo
- sondaggio geognostico
- sezione geologica



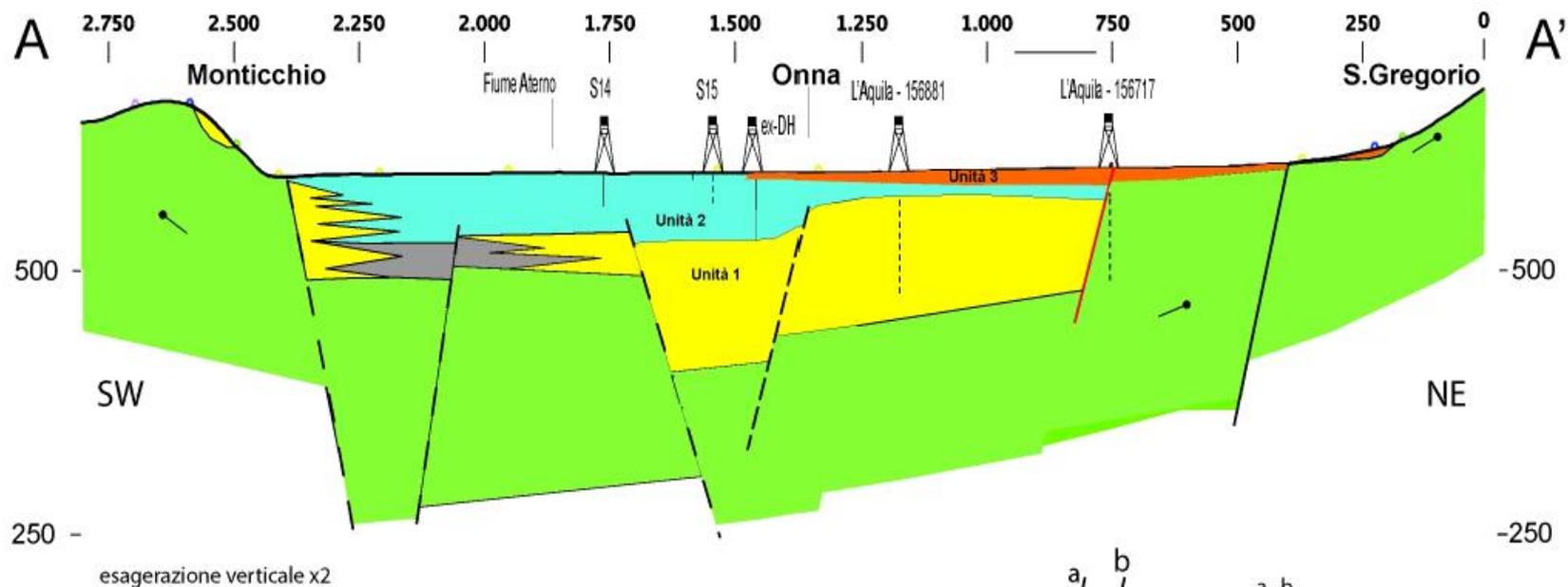
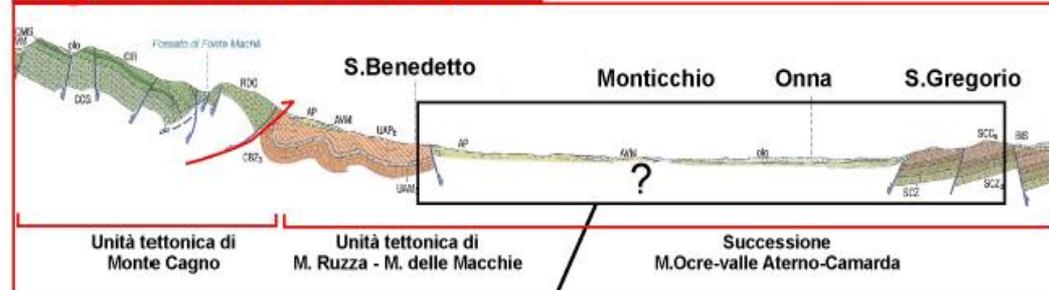


- ### Legenda
- Indagini puntuali**
- sondaggio geognostico
 - ★ prova Down Hole
 - misura di rumore
- Indagini lineari**
- ERT - Tomografia Geoelettrica
 - MASW
 - ReMi - Refraction Microtremor
 - Profilo Sismico a Rifrazione





Sezione B-B' Foglio Car.G 359 "L'Aquila"



substrato
(carbonati/flysch)

limi e limi
sabbiosi

conglomerati
e ghiaie

alt. ghiaie, sabbie
e limi antichi

limi e limi
sabbiosi

a b
/ /
6
faglia certa,
presunta

a b
↑ ↑
7
sondaggio o
pozzo per acqua

8
inclinazione media
stratificazione

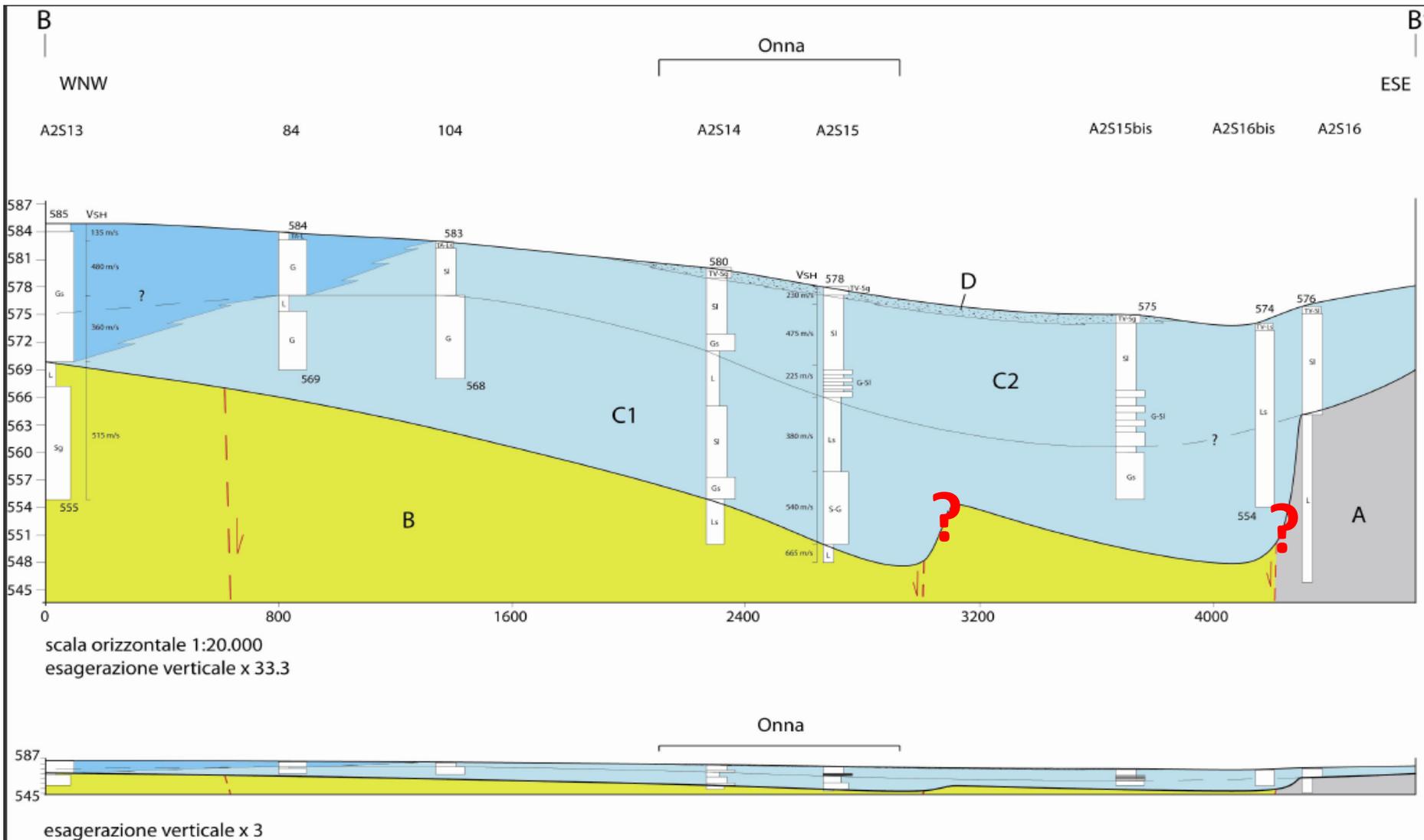


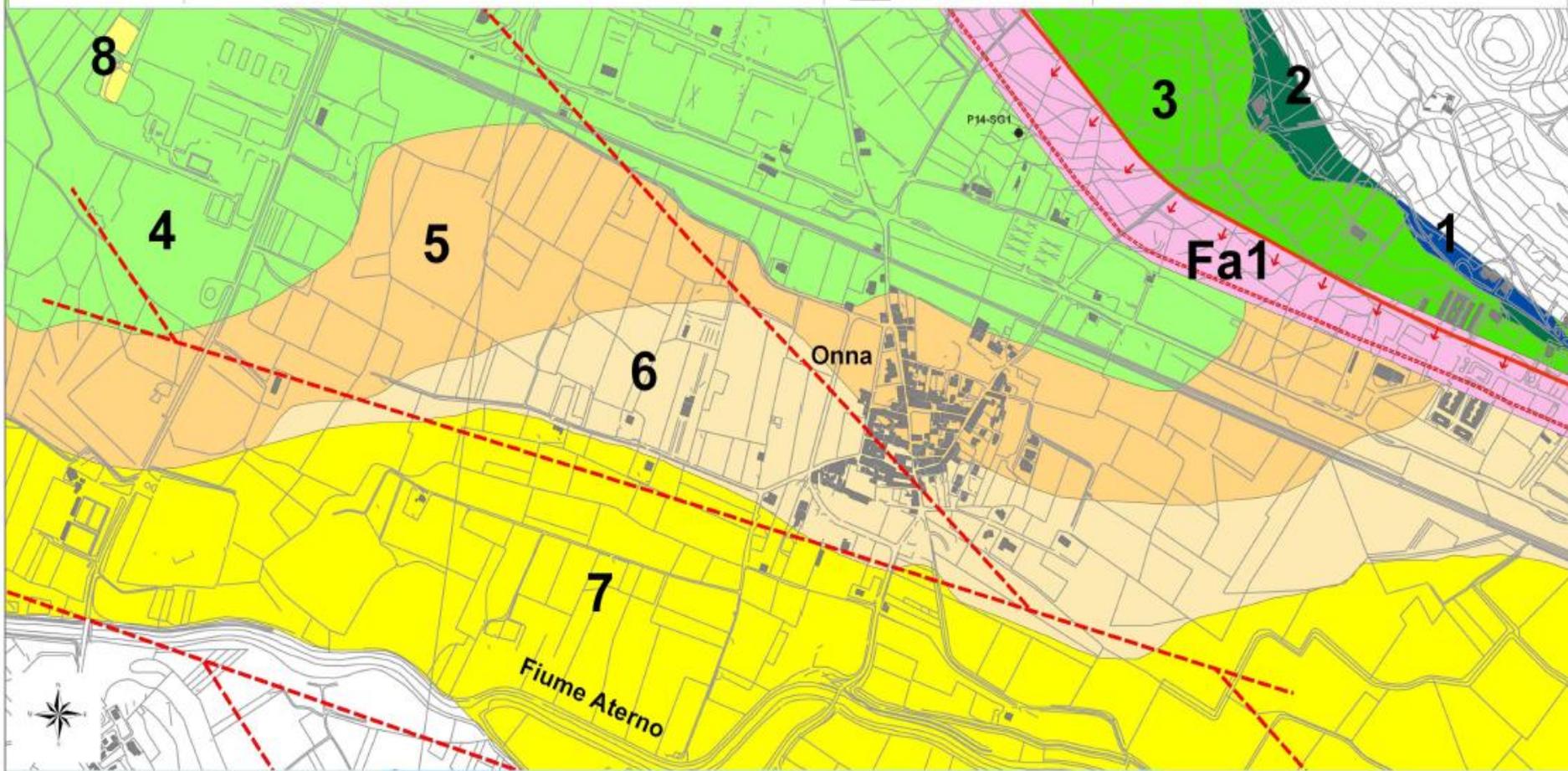
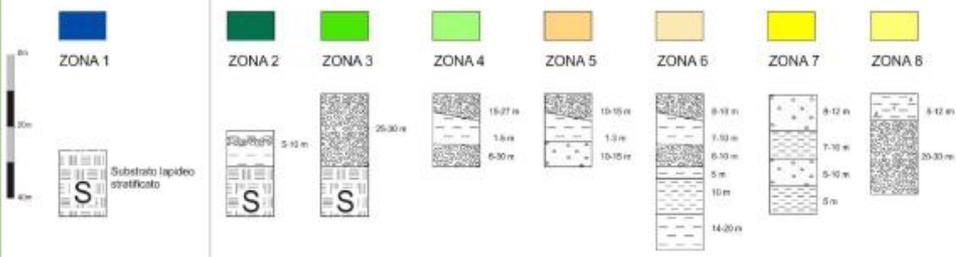
Fig. B-B': Sezione longitudinale (orientazione NNW-SSE) delle coperture alluvionali che costituiscono i depositi di riempimento del fondovalle del Fiume Aterno. In mancanza di informazioni circa l'attribuzione stratigrafica delle successioni alluvionali, in via preliminare viene proposta una stratigrafia relativa dei depositi, progressivamente più recenti dall'unità A alla D (per la descrizione vedi il testo).
 Legenda. G: ghiaie; Gs: ghiaie sabbiose; Sg: sabbie ghiaiose; Sl: sabbie limose; Ls: limi sabbiosi; L: limi; TV: terreno vegetale; TA: terreno agrario. Le alternanze sono indicate con un trattino. Nella stessa figura sono riportate le VSH relative alle prove DH associate ai sondaggi A2S13 e A2S15. Per l'ubicazione dei sondaggi, vedi la carta geologica allegata.

ZONE STABILI

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

LITOLOGIE DEI TERRENI DI COPERTURA

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA' faglie attive e capaci





GRAZIE

PER

L'ATTENZIONE