



Modello geologico:

- Definizione e importanza
- Interpretazione dei dati e gestione delle incertezze

Seminario di aggiornamento professionale
NTC 2018
MODELLO GEOLOGICO
MS3
ORDINANZA 55/2018

Pietro Paolo Pierantoni

Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Macerata
Commissione Strutture e Geotecnica

Scuola di Scienze e Tecnologie
Sezione Geologia



Modello Geologico & Co.

Interpretazione dei dati e gestione delle incertezze



"THE PROFESSIONALS"

What's 2+2?

"4"

"Between 3 and 5"

"What would you like it to be?"

ENGINEER

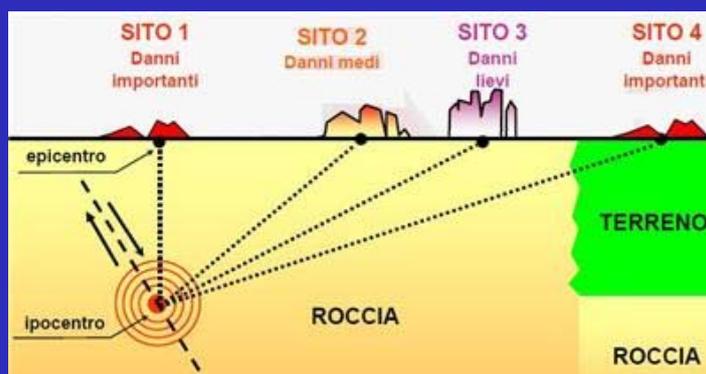
GEOLOGIST

GEOPHYSICIST

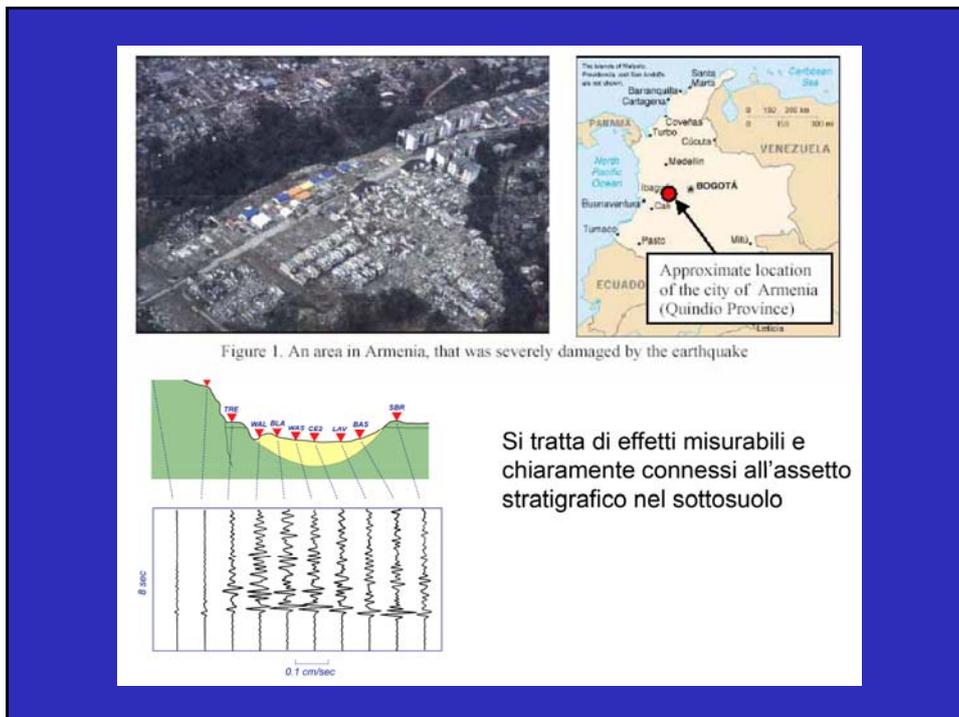
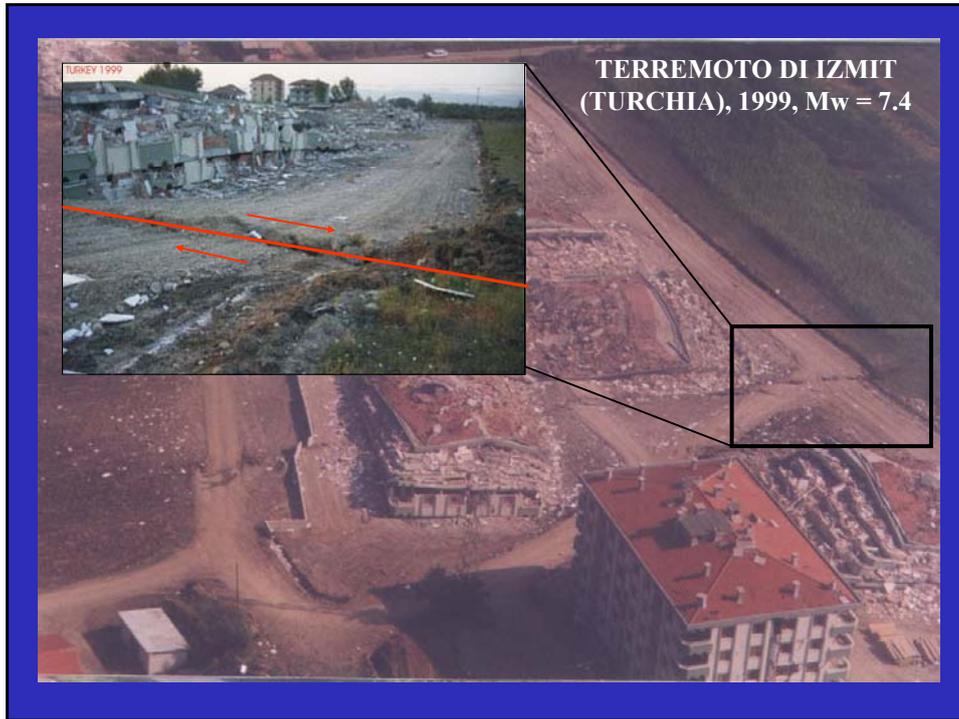
Osservando i danni provocati alle costruzioni e alle infrastrutture dopo un terremoto spesso si rilevano differenze sostanziali in centri abitati anche a piccola distanza tra loro.

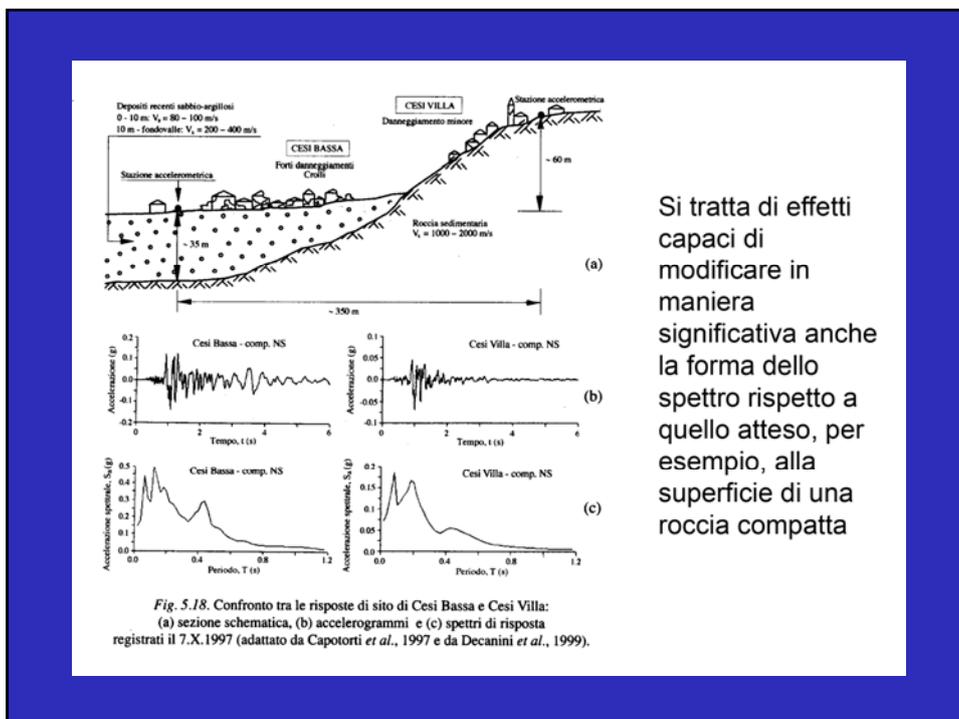
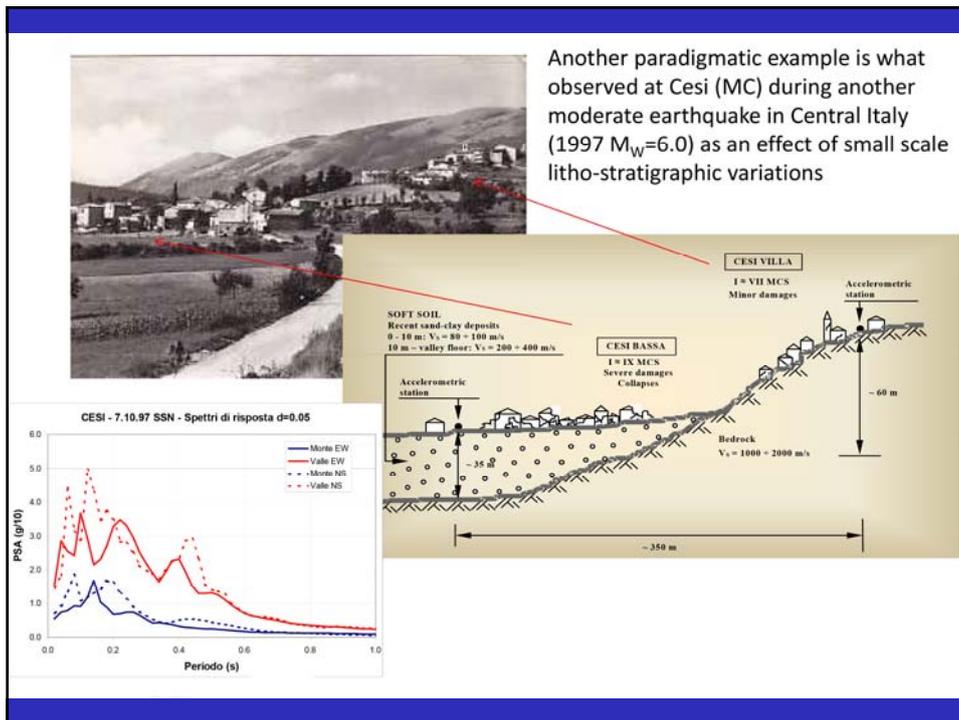
In alcuni casi si osservano crolli e danni notevoli in località che si trovano a grandi distanze dall'epicentro.

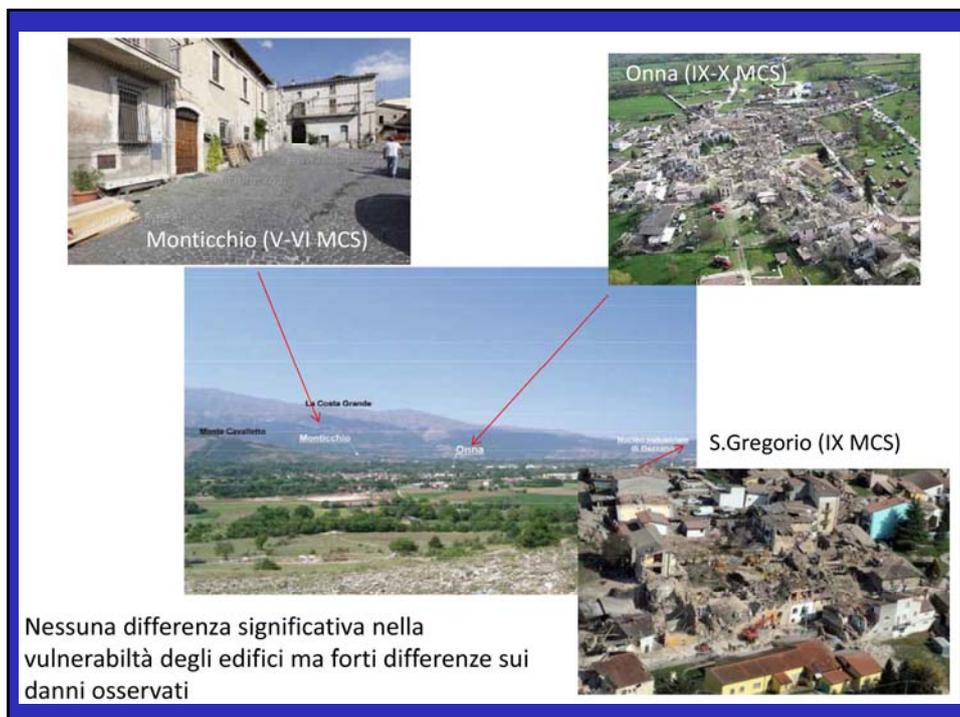
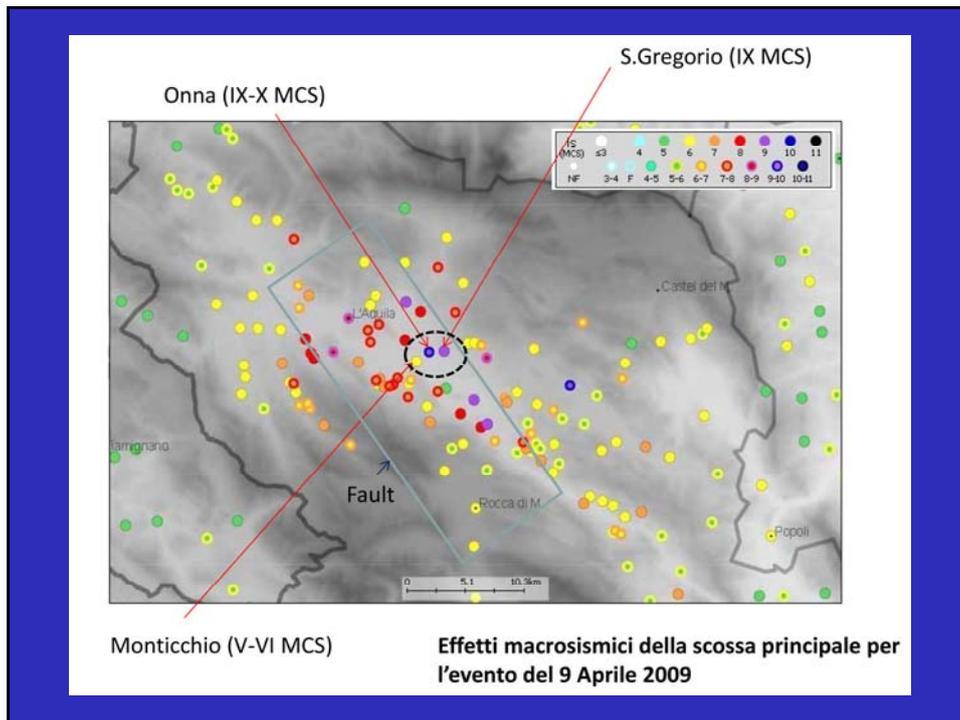
Sicuramente la qualità delle costruzioni può influire sull'entità del danno, ma spesso le cause vanno ricercate in una differente pericolosità sismica locale, determinata anche dal diverso modo in cui si propaga il terremoto o dall'instabilità del suolo.

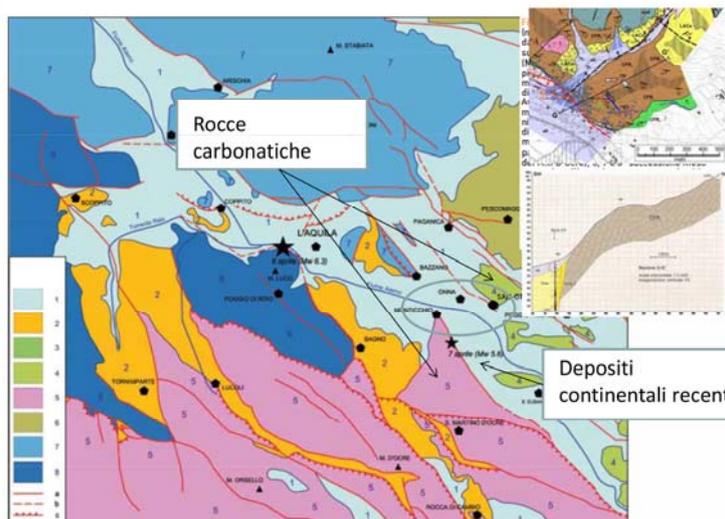


L'esperienza mostra che a parità di caratteristiche dell'edificato il livello di danno può variare alla scala di centinaia o di poche decine di metri in funzione delle caratteristiche del sottosuolo







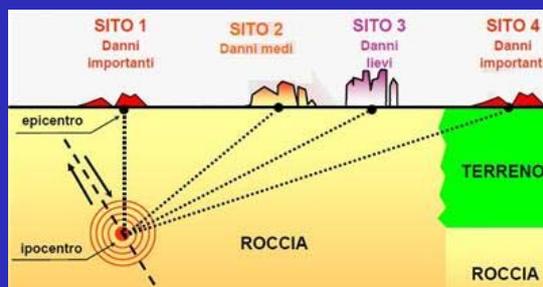


Variazioni laterali a piccola scala sono largamente controllate dalla geologia superficiale

Pericolosità sismica locale e Risposta sismica locale

Per risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche che il moto sismico subisce nell'immediato sottosuolo a causa delle condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali e che genera amplificazioni dello scuotimento sismico.

Il moto sismico generato da un terremoto alla superficie di un sito dipende da un insieme di fenomeni fisici che possono essere raggruppati in tre categorie: meccanismo di sorgente, propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e effetti di sito.



Pericolosità sismica locale e Risposta sismica locale

I primi due gruppi di fenomeni definiscono il moto sismico di ingresso al sito che può poi subire, nelle decine/centinaia di metri più superficiali, importanti modifiche a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali del sito in esame. Queste ultime indicano l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi superficiali e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

L'insieme delle modifiche che il moto sismico di ingresso al sito subisce, in termini di ampiezza, contenuto in frequenza e durata, per effetto delle condizioni locali, è indicato globalmente con il termine di effetti di sito o risposta sismica locale.

Pericolosità sismica locale e Risposta sismica locale

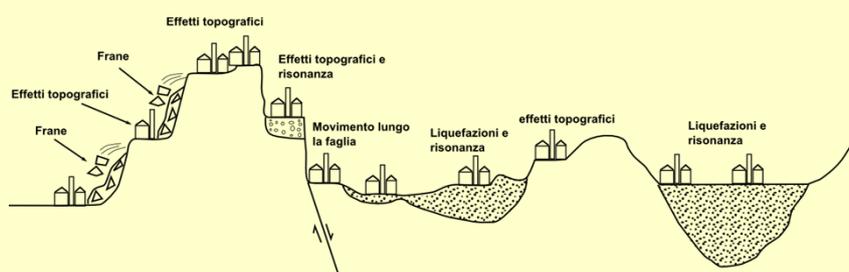
La risposta sismica locale è il risultato di molteplici fenomeni fisici (riflessioni multiple, diffrazione, focalizzazione, risonanza etc.) che le onde subiscono in corrispondenza delle eterogeneità e discontinuità degli strati più superficiali e in corrispondenza delle irregolarità topografiche.

A seconda dei principali fenomeni fisici responsabili si possono distinguere:

- 1) effetti stratigrafici, che hanno luogo in corrispondenza di depositi soffici poggianti su un basamento rigido in condizioni essenzialmente di strati piani e paralleli (1D);
- 2) effetti di valle o di bordo che hanno luogo allorché la morfologia del contatto tra basamento e terreni soffici di copertura assume andamenti complessi caratterizzati da geometrie marcatamente 2D/3D;
- 3) effetti topografici che hanno luogo in prossimità delle strutture morfologiche superficiali, es. alla cresta di un rilievo roccioso dove il moto sismico è generalmente amplificato rispetto alla base dello stesso.

Pericolosità sismica locale e Risposta sismica locale

Con il termine *effetti locali di instabilità* si indicano invece gli *effetti di sito* che comportano deformazioni permanenti importanti ovvero un comportamento sismico instabile (*frane*, *densificazione* o *liquefazione* di depositi sabbiosi, *collapsi di cavità*, *fagliazione superficiale*).



Assetto geologico e geomorfologico di un territorio e degli insediamenti e le situazioni critiche più comuni per le amplificazioni locali del moto sismico

STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA

Dopo il terremoto in Abruzzo del 6 aprile 2009 è stato avviato il "Piano nazionale per la prevenzione sismica" art.11 del Decreto legge n. 39/2009 "legge Abruzzo" convertito con la legge n. 77/2009

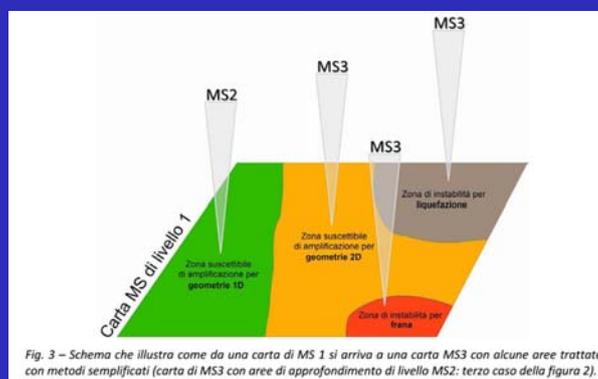
Le risorse sono ripartite tra le Regioni sulla base dell'indice medio di rischio dei territori

Tra gli interventi ci sono gli studi di microzonazione sismica, cioè la

definizione di aree soggette ad amplificazioni dello scuotimento sismico o deformazioni permanenti del suolo in caso di terremoto.

MS1 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Microzone: aree definite su base geologica e geomorfologica (caratterizzate anche sulla base di alcuni dati geognostici e geofisici):
cioè aree in cui è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).



LA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

Si definiscono 3 tipi di Zone

1) Zone stabili o dove non sono attesi effetti locali



LA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

2) Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, legate a caratteristiche geologiche e morfologiche

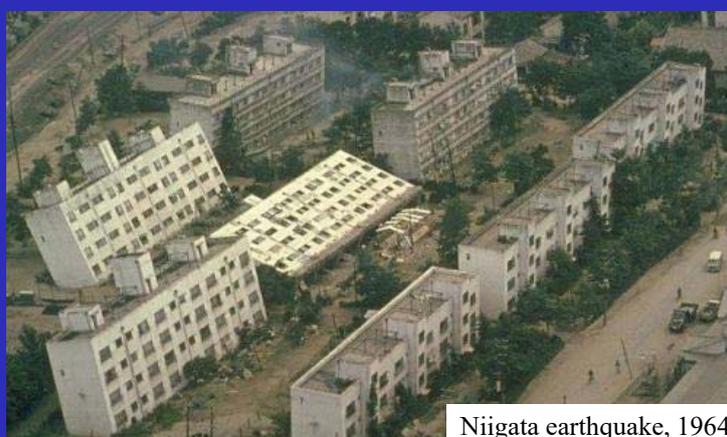


LA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

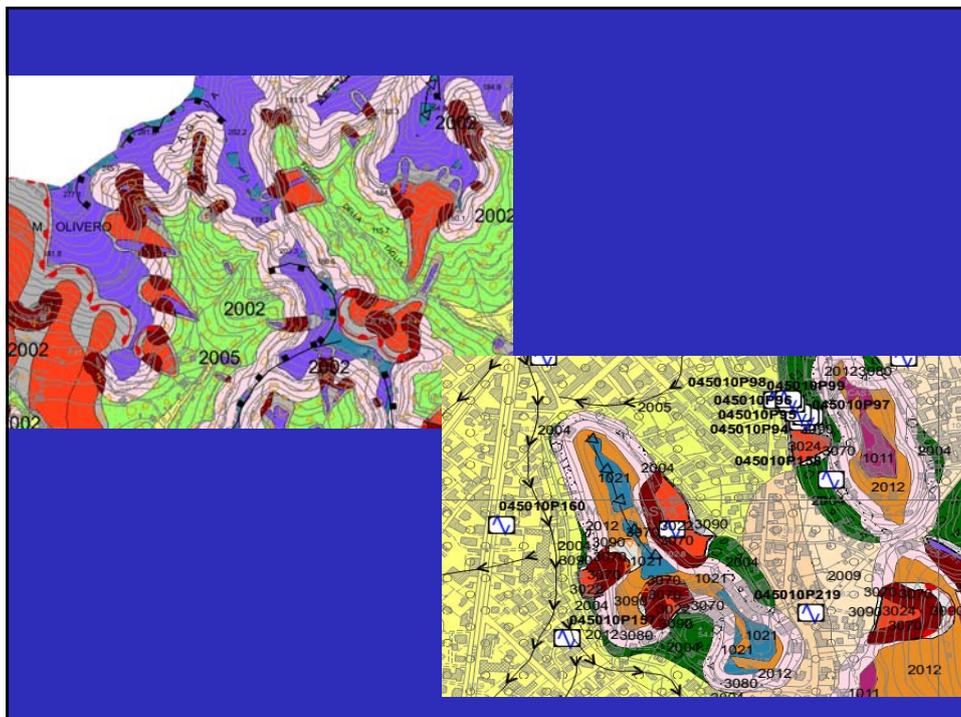
3) Zone suscettibili di instabilità, legate alla presenza di fenomeni di instabilità già in atto (es. frane),



3) Zone suscettibili di instabilità, legate alla presenza di condizioni fortemente predisponenti l'instabilità (es. cedimenti differenziali, liquefazioni)



3) Zone suscettibili di instabilità, legate alla presenza di faglie capaci di rotture superficiali



MS1 - MOPS

caratterizzate su base prevalentemente
geologico-geomorfologico e geologico-tecnico



MS3 - MOPS

caratterizzate da un numero adeguato di HVSR e almeno un profilo di V_s , possibilmente esteso fino al substrato di riferimento.

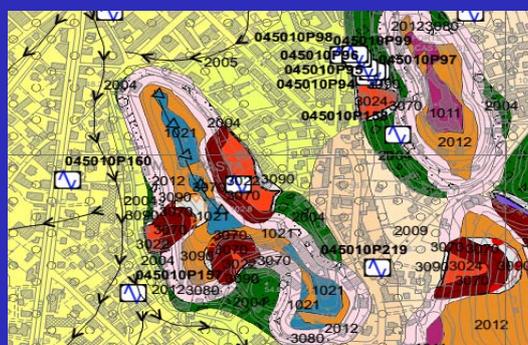


almeno una sezione geologico-tecnica (Modello Geologico) con
almeno n. 1 sondaggio a carotaggio continuo (per una lunghezza
complessiva di almeno 35 metri),
con prelievo di campioni indisturbati, esecuzione di prove in sito
(almeno prove SPT, quando possibile)
e attrezzato per prova Down-Hole (DH)

OGNI

MOPS IN MS3 SARA' QUINDI CARATTERIZZATA ANCHE DA

*Valutazione della risposta sismica locale
in termini di Fattori di Amplificazione sintetici relativi a tre
intervalli di periodi (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s)
e uno spettro di risposta elastica*



DA MS1 A MS3

1. Raccolta ed elaborazione dei dati pregressi:

Revisione critica della Carta delle MOPS (MS1)

S vs TC

- a) definizione di Substrato (geologico e sismico)
- b) definizione di Terreni di Copertura

Conoscenza dell'assetto tettonico-strutturale dell'area, assetti giacitureali, caratteristiche geometriche e cinematiche dei contatti tettonici e all'andamento in superficie delle faglie.

Assetto geomorfologico e la storia evolutiva delle forme del paesaggio, azione degli agenti morfogenetici.

Definire le differenze tra Substrato e Terreni di Copertura (TC) per pianificare, realizzare ed interpretare opportunamente le indagini di tipo geotecnico/geomeccanico e geofisico che accompagneranno le attività di MS.

Terreni di Copertura (TC)

Sedimenti ("coperture") di età quaternaria la cui evoluzione è legata agli agenti morfogenetici responsabili del modellamento del paesaggio attuale.

Possono quindi essere associati a processi legati alle acque correnti superficiali, alla gravità, al carsismo, alla degradazione meteorica ecc..

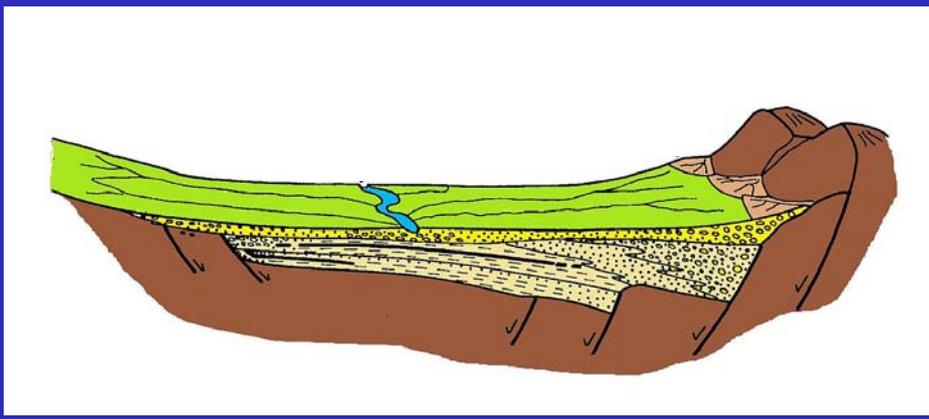
Si tratta generalmente di depositi il cui spessore può essere fortemente variabile in funzione della presenza di morfologie sepolte o della locale storia tettonica.

In generale comunque si tratta di depositi con forte variazione verticale e laterale delle caratteristiche sedimentologiche e geometriche che poggiano in netta discordanza sui terreni appartenenti al Substrato.



Substrato Geologico (SG)

Costituisce la base su cui poggiano in discordanza o discontinuità stratigrafica rocce e corpi sedimentari meno compatti o alterati o sedimenti sciolti, chiamati con il termine generale di Terreni di Copertura (TC). Questi ultimi sono caratterizzati anche da importanti variazioni, verticali e laterali, di spessore, litologia e composizione tali da far ipotizzare la presenza di importanti contrasti di impedenza.



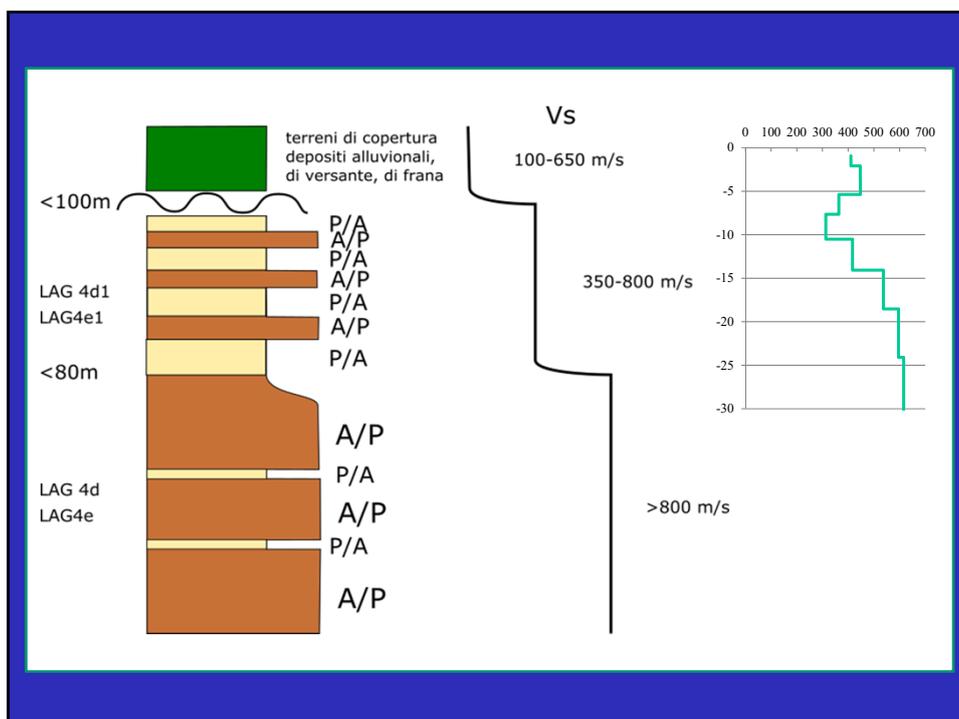
SG

non corrisponde necessariamente al Substrato di Riferimento del quale viene richiesta l'individuazione per gli studi di MS 3.

- *litologia;*
- *età assoluta o relativa e, dove è possibile, correlazione con formazioni o altre unità cronostatigrafiche già descritte in letteratura;*
- *caratteristiche fisiche: colore, tessitura, tipo di stratificazione, resistenza (stimata a partire da indagini speditive quali la sclerometria), variabilità laterali e verticali;*
- *distribuzione, grado ed estensione delle zone intensamente fratturate;*
- *presenza di eventuali discordanze*
- *assetto giaciturale, con particolare attenzione al rapporto stratificazione/versante;*
- *spessore degli strati;*
- *individuazione e stima dello spessore delle unità pelitico-marnose, con particolare attenzione agli ammassi caotici che possono anche contenere olistoliti di altri litotipi;*
- *nelle alternanze di litotipi, rapporto tra peliti/marne e altri litotipi, con particolare attenzione ai casi in cui le peliti/marne siano prevalenti;*
- *nel caso di rocce granulari, definizione del grado di cementazione e, per breccie e conglomerati, rapporto clasti-matrice;*
- *grado di alterazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso, con particolare riguardo alle rocce di faglia e fasce cataclastiche.*

Substrato Sismico (SS)

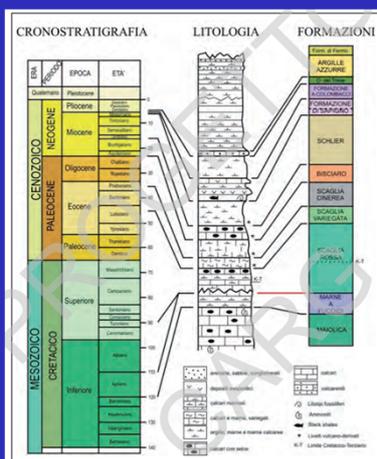
è costituito da una successione litostratigrafica che non induce effetti locali di amplificazione o modificazioni in frequenza del moto sismico assunto come riferimento; si presuppone quindi che all'interno di SS non esistano forti contrasti di impedenza sismica o che questi siano trascurabili rispetto a quelli che caratterizzano TC; i materiali che lo compongono dovrebbero quindi essere rigidi ed avere proprietà meccaniche di tipo lineare (corpo visco-elastico).



A partire da CGT e MOPS MS1 ipotizzare SG-SS



Modello Geologico, pianificazione indagini e ubicazione sezione/i



Substrato geologico		
LP	LP	Lapideo
GR	GR	Granulare cementato
CO	CO	Coesivo sovraconsolidato
AL	AL	Alternanza di litotipi
LPS	LPS	Lapideo, stratificato
GRS	GRS	Granulare cementato, stratificato
COS	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
ALS	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
SFLP	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
SFGR	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
SFCO	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
SFAL	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
SFLPS	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
SFGRS	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
SFCOS	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
SFALS	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

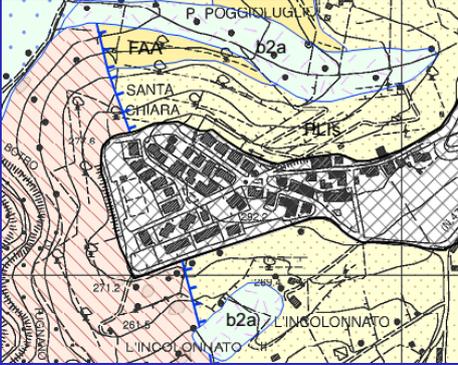
Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, limi misciaci o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche

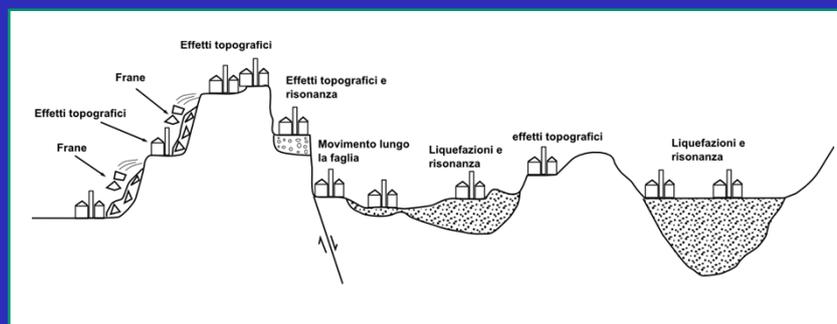
Ambiente vulcanico	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/tonni	lc
Coni spandimenti	lg
Lahar (colate di fango)	lh
Ambiente di versante	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di selezione	cz
Eluvi/coltivi	ec
Ambiente fluvio - lacustre	
Argine/barricani	es
Piana deltizia	df
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Varre	va
Lacustre	lc
Paludine	pa
Piana inondabile	pi
Ambiente carsico	
Riamamento di dolina/karren/vaschette/tonhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Conche calcaree	cc
Ambiente glaciale	
Morrena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	ll
Tali	tl
Ambiente eolico	
Duna solida	ds
Lesse	ls
Ambiente costiero	
Scheggia	so
Duna costiera	dc
Condona litoranea	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/stagno/stagno/tego costiero	st
Altro ambiente	
	zz

Stato	Prove manuali	Descrizione aggiuntiva in legenda	Stato
Stato di addensamento	Non è sufficiente la pala per scavarlo	Addensato	11
	Può essere scavato con la pala con molta difficoltà	Moderatamente addensato	12
	Può essere scavato con la pala con difficoltà	Poco addensato	13
	Può essere scavato con la pala	Sciolto	14
Stato di consistenza	Può essere scalfito con difficoltà con l'unghia del pollice	Coesivo estremamente consistente	21
	Può essere scalfito con l'unghia del pollice. Non può essere modellato con le dita	Coesivo molto consistente	22
	Non può essere modellato con le dita	Coesivo consistente	23
	Può essere modellato solo con forte pressione delle dita	Coesivo moderatamente consistente	24
	Può essere facilmente modellato con le dita	Coesivo poco consistente	25
	Cede acqua se compresso con le dita	Coesivo privo di consistenza	26
Substrato geologico fratturato o alterato			31

**Per realizzare la CGT e la Carta delle MOPS in scala 1:5000
 è l'ultima occasione per le GEOMETRIE**
 Devono essere definite attraverso l'analisi delle indagini pregresse
 o attraverso rilievi di campagna ex-novo

**Fondamentali per la definizione del Modello Geologico, la pianificazione
 delle indagini e l'ubicazione della Sezione**
 Le indagini possono servire di supporto alla loro definizione



IL MODELLO GEOLOGICO corrisponde alla ricostruzione effettuata lungo la sezione e la sezione può essere realizzata solo in funzione delle geometrie riportate sulla CGT e, di conseguenza, sulla MOPS.

NELLA MS3 la rappresentazione delle geometrie 2D rappresenta il massimo grado di precisione o approssimazione possibile.

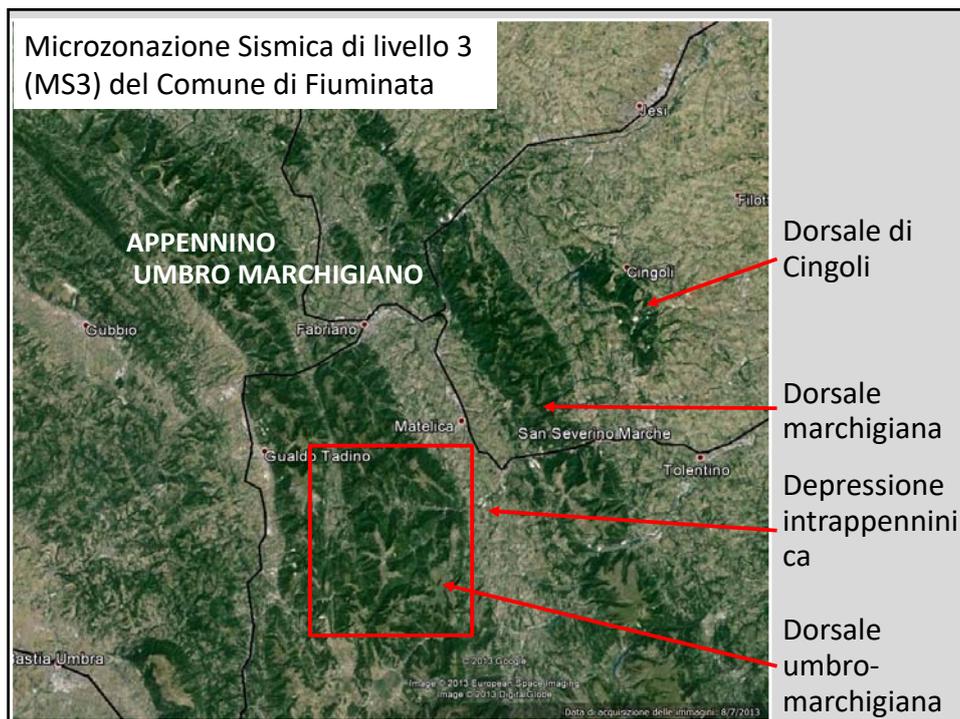
Per questo si raccomanda di ricorrere a tutte le indagini supplementari possibili, dirette, indirette e soprattutto rilievi di campagna ex-novo.

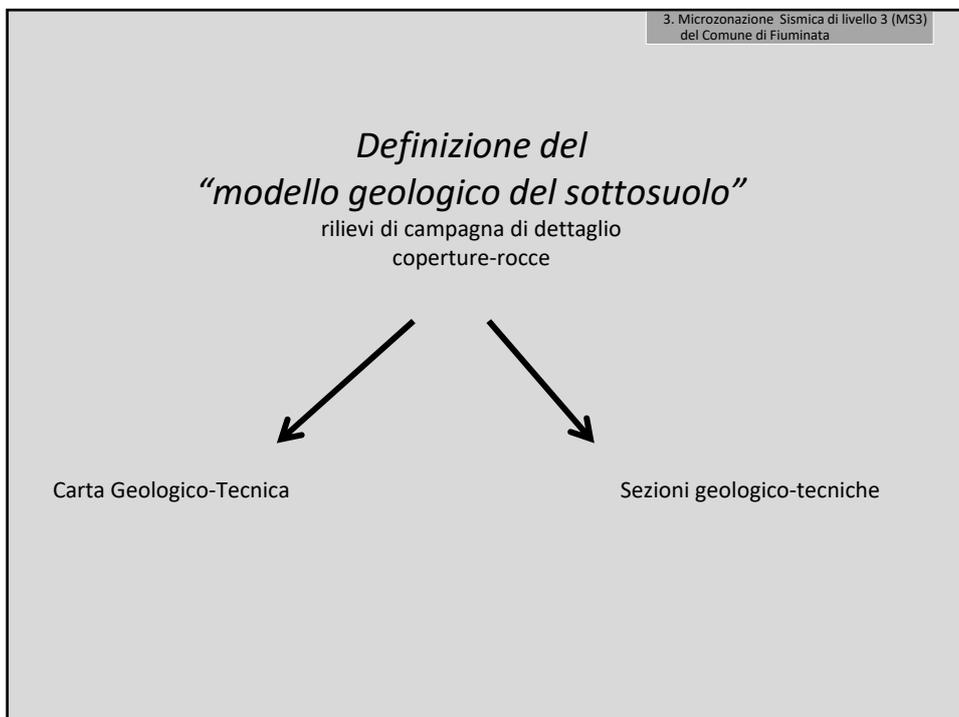
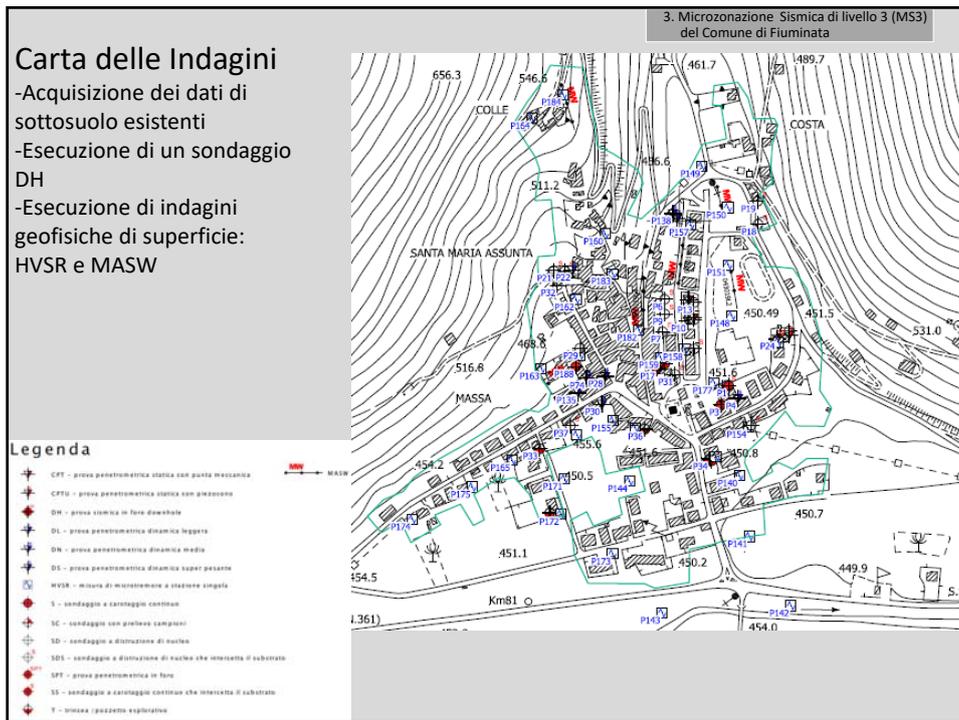
Le Modellazioni effettuate sulle sezioni non modificheranno né metteranno in discussione le geometrie, anzi, semmai ne subiranno le conseguenze...

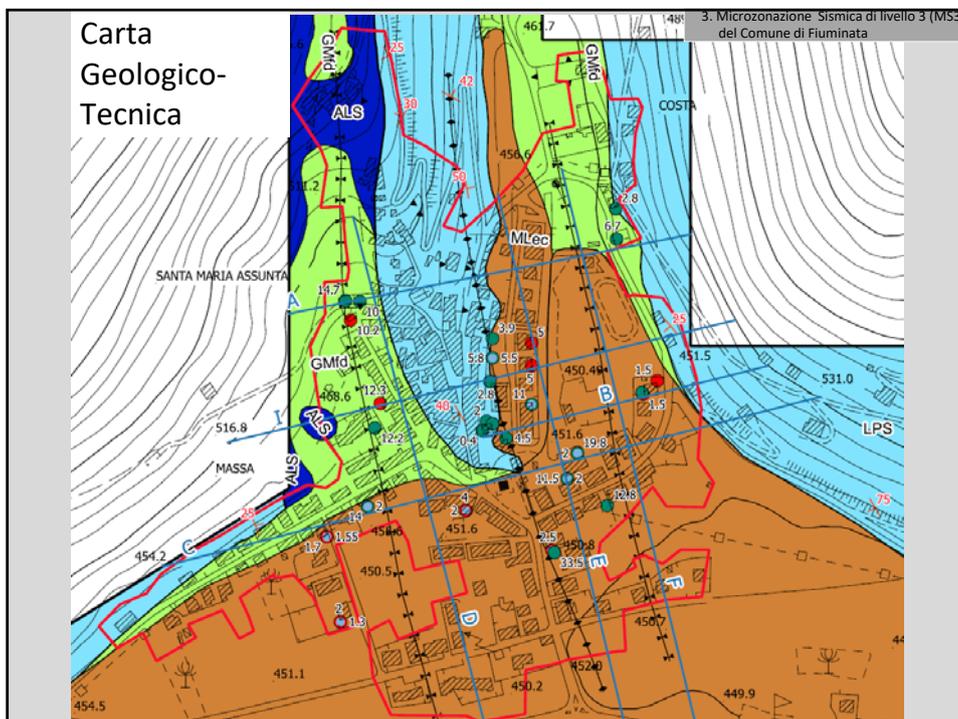
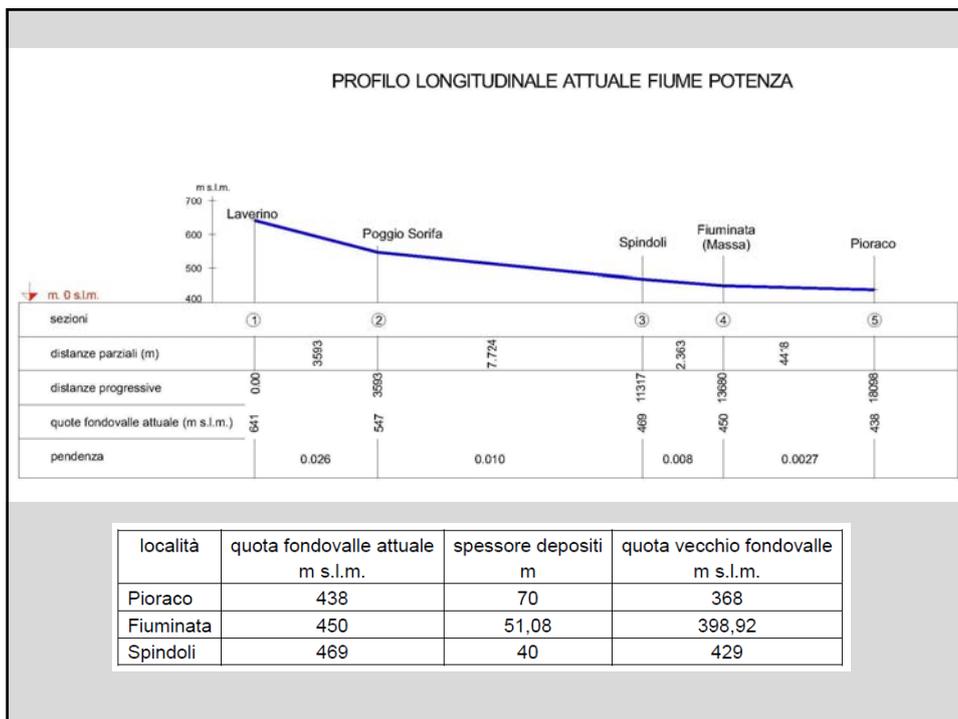
Ogni MOPS Misure HVSR (quante?) e MASW (quante?)

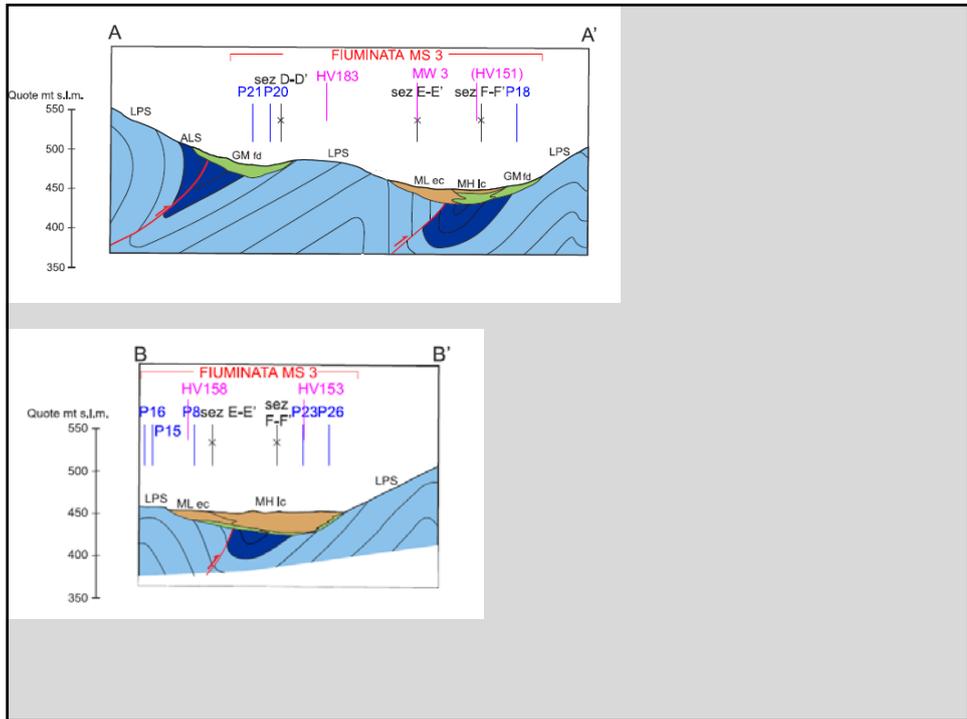
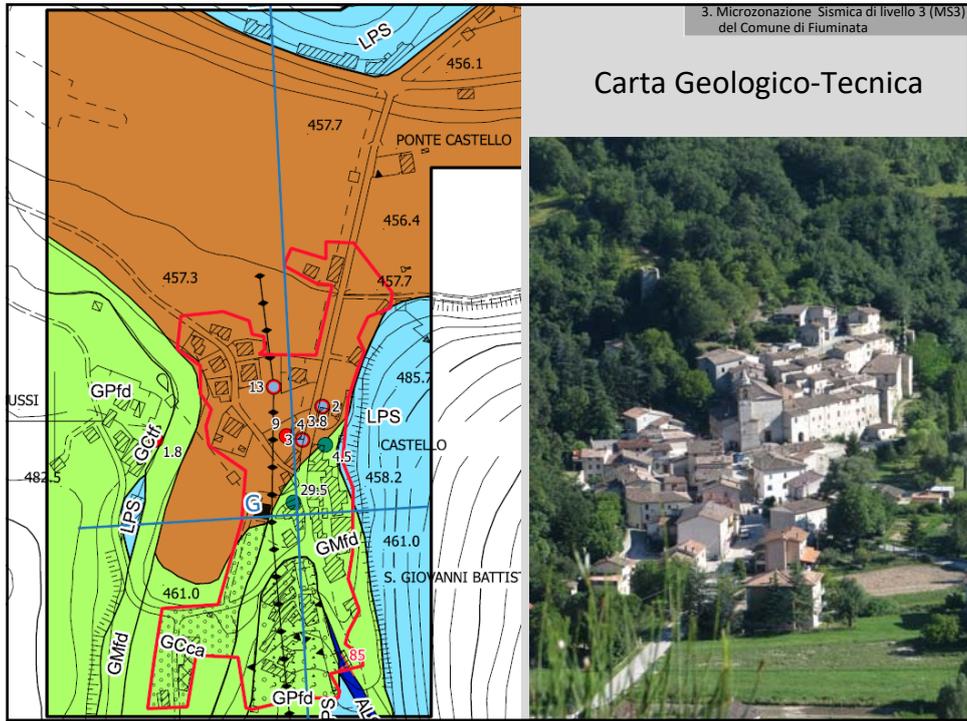
Da tenere in considerazione:

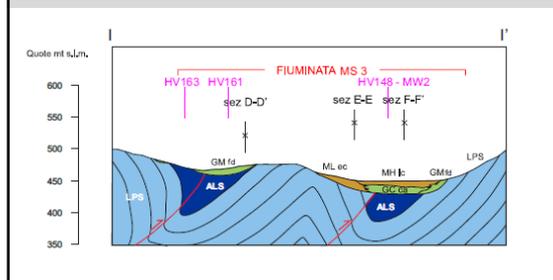
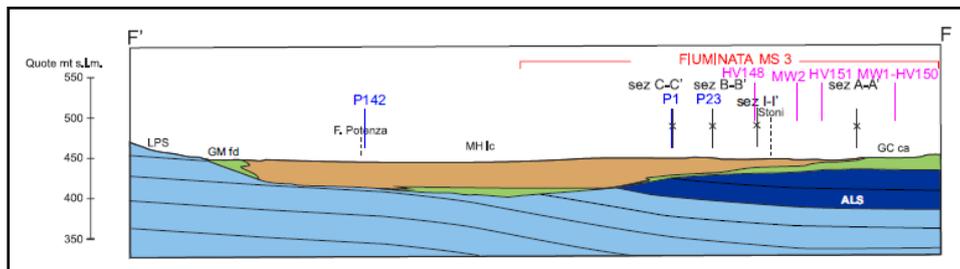
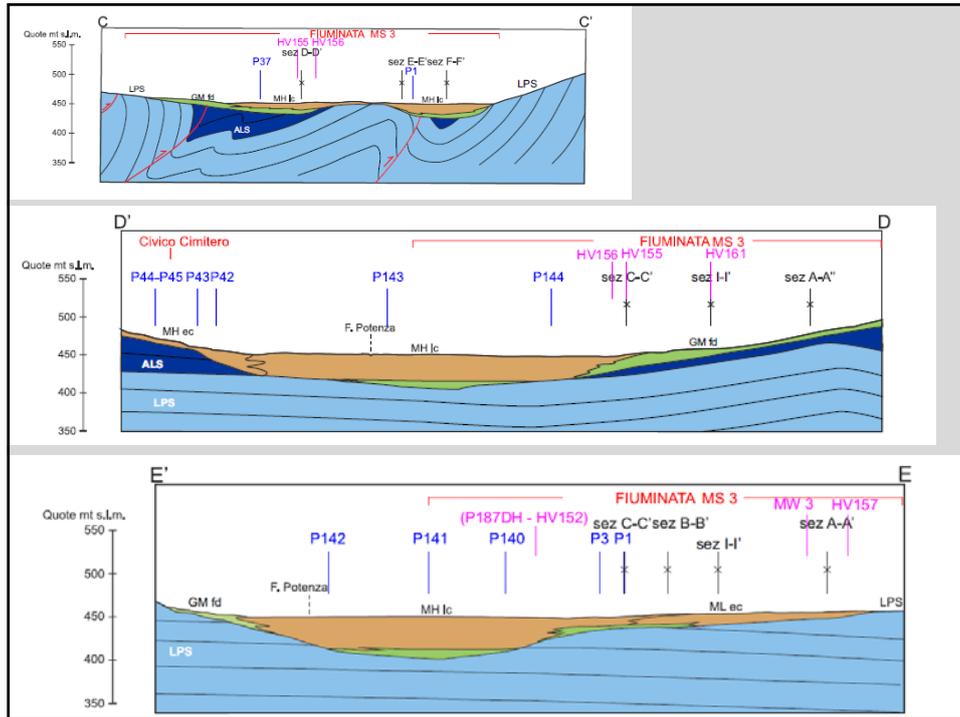
Estensione sul territorio
 Estensione in corrispondenza dei centri abitati
 Rappresentatività del Modello Geologico
 Ubicazione della Sezione e DH



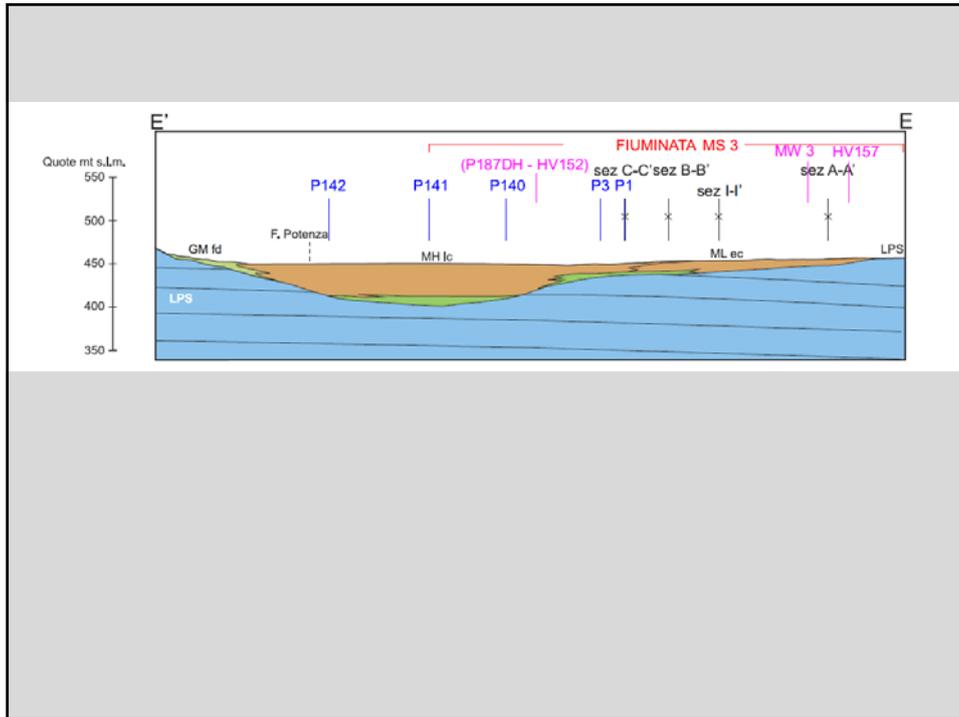


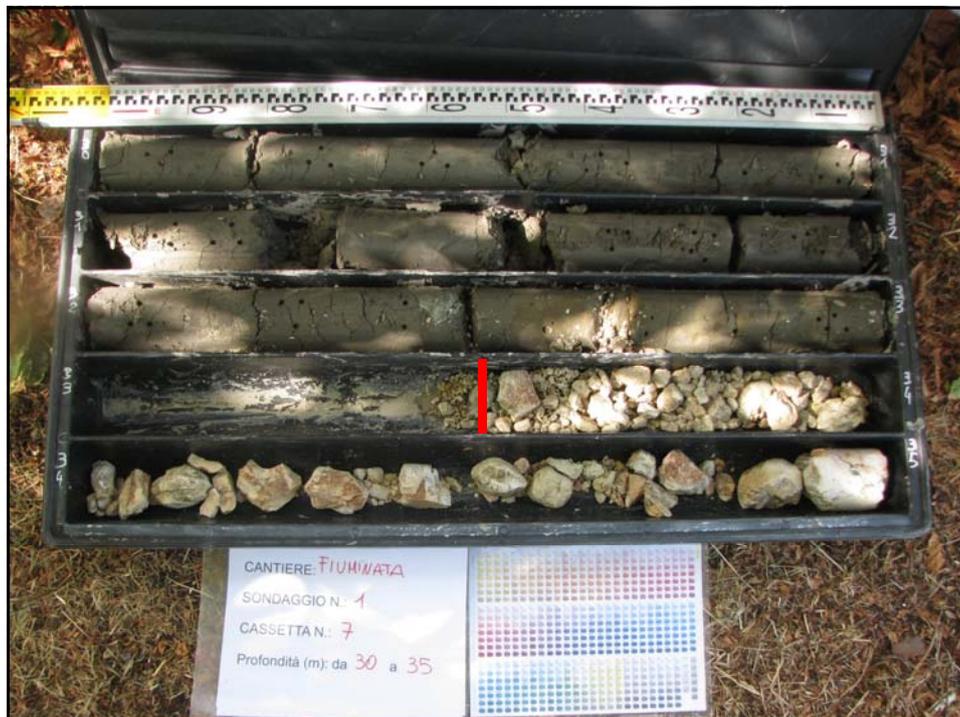
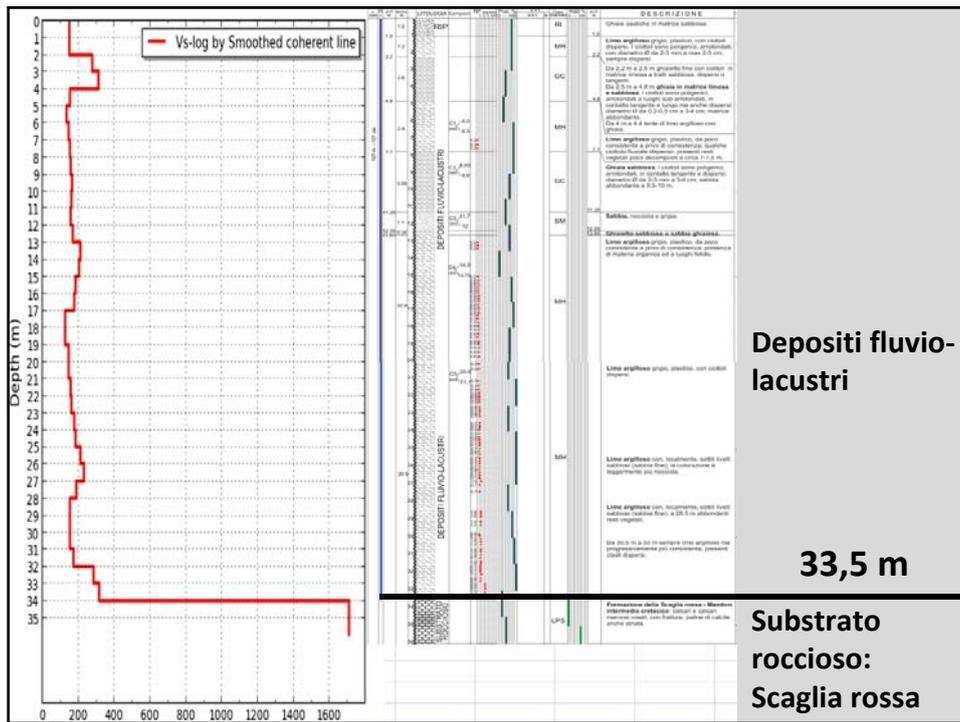


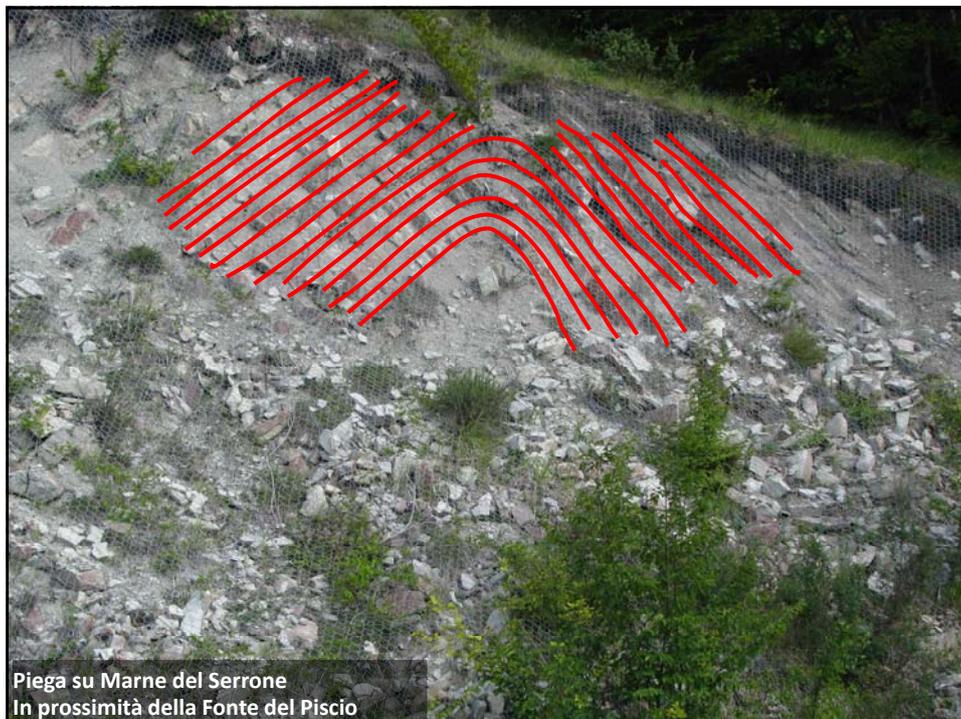


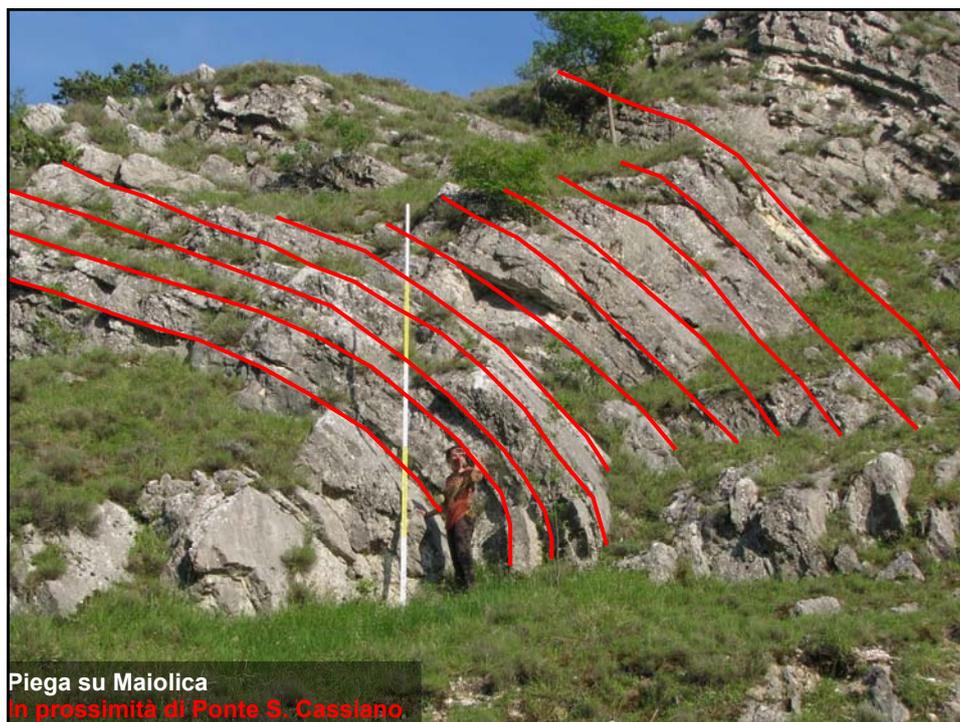


località	quota fondovalle attuale m s.l.m.	spessore depositi m
Fiuminata	450	45-50
Spindoli	469	35-40





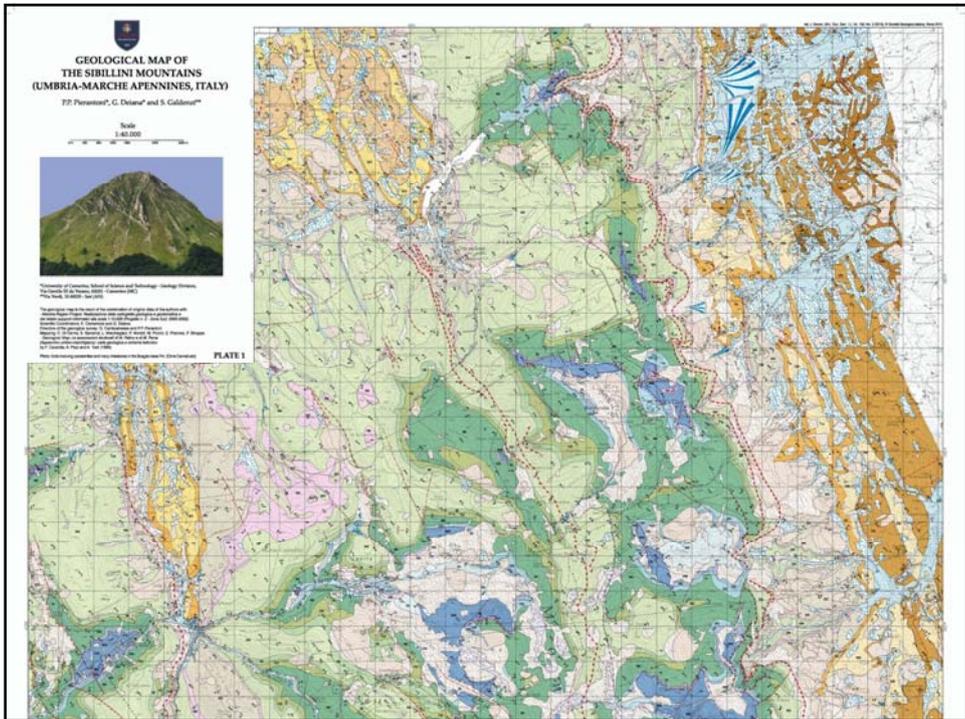




Piega su Maiolica
In prossimità di Ponte S. Cassiano



Piega su Scaglia rossa
Ex Fonderia



Modello Geologico & Co.

Definizione (NTC2018)

6.2.1. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche."

6.2.2. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista.

Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici."

Modello Geologico & Co.

Definizione: La rappresentazione spaziale della distribuzione, della geometria e della struttura delle condizioni di sottosuolo; quindi un "modello geologico" andrà progressivamente raffinandosi in funzione di analisi specifiche (sondaggi, prove in situ, prove geofisiche, prove in foro) in un modello geologico-tecnico e sismico.

- Il modello geologico costituisce la base per definire un insieme di ipotesi (per esempio riguardo le profondità ed entità dei contrasti di impedenza sismica e le unità potenzialmente rappresentative del substrato di riferimento) che orienteranno le campagne di indagine successive.
- Il modello geologico fornisce vincoli importanti alle procedure di inversione numerica che porteranno alla determinazione dei profili di Vs e permette di valutare la rappresentatività dei dati dei sondaggi e delle prove in foro oltre che dei risultati delle prove di laboratorio condotte sui campioni raccolti in profondità.

Modello Geologico & Co.

Importanza: è importante definire il Modello Geologico del sottosuolo perché esso fa da riferimento a tutte le elaborazioni successive, definendo i vincoli essenziali alla caratterizzazione in prospettiva sismica e geotecnica.

Modello Geologico & Co.

Interpretazione dei dati e gestione delle incertezze

- Rilievo geologico di dettaglio (con confronto cartografia CARG 10000 e cartografia ufficiale). La cartografia geologica ufficiale fornisce una base conoscitiva uniformata delle caratteristiche fisiche del territorio marchigiano e un importante strumento di ausilio alla pianificazione territoriale a media scala, a partire da cui debbono essere effettuati gli approfondimenti e le indagini di dettaglio mirate alla tematica d'interesse.
- Esecuzione di un Piano di indagini in situ mirate a ridurre l'incertezza necessariamente insita nella definizione tridimensionale di un modello geologico; con lo scopo di:
- Individuare e caratterizzare la successione stratigrafica locale ed il modello geologico del sito (sondaggi, prove in situ e di laboratorio).
- Definizione dei parametri geotecnici delle unità individuate.
- Individuare e caratterizzare i fenomeni di risonanza sismica potenzialmente rappresentativi di fenomeni di amplificazione del moto sismico (misure HVSR).
- Ricostruire il profilo di velocità delle onde S dei terreni sottostanti l'opera, cioè definire i valori di V_s da attribuire ai diversi corpi geologici presenti (geofisica).

Modello Geologico & Co.

Interpretazione dei dati e gestione delle incertezze

I fondamenti teorici su cui si basano i metodi geofisici si riferiscono ad un semispazio stratificato, con strati paralleli ed orizzontali; la presenza di strati con inclinazioni eccessive (superiori a circa 15°) richiede sicuramente un'attenzione particolare nell'acquisizione e analisi dei dati, generando un maggior grado di incertezza nei risultati finali.

Un'importante considerazione riguarda il concetto di non univocità dell'interpretazione dei dati, che affligge in diverso grado tutte le tecniche geofisiche; difatti, il risultato dell'elaborazione di un dato acquisito può portare alla definizione di differenti modelli tutti in accordo con il dato di partenza; a tal proposito, onde limitare quanto possibile tale caratteristica dei metodi geofisici, è sempre raccomandabile effettuare analisi congiunte che utilizzino differenti approcci.

La disponibilità di conoscenze geologiche e stratigrafiche del sito in esame provenienti da altre indagini (sondaggi, penetrometrie, ecc.), è fondamentale per diminuire quanto più possibile il grado di incertezza insito nelle metodologie stesse.

GRAZIE