



LA MICROZONAZIONE SISMICA DELLE MARCHE

10 Anni di attività
un'esperienza condivisa



Giovedì 1 dicembre 2022
Auditorium Mole Vanvitelliana ANCONA

«MZS di livello III secondo gli ICMS»

CLAUDIA MADIAI

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università degli Studi di Firenze



Livello 3 - Carta di microzonazione sismica con approfondimenti

In base agli ICMS il livello 3 si applica:

- nelle zone stabili suscettibili di **amplificazioni locali**, per **situazioni geologiche e geotecniche complesse**, non risolvibili con l'uso degli abachi, o qualora sia conveniente un'analisi globale di **dettaglio** o per opere di particolare **importanza**
- nelle zone suscettibili di **instabilità** particolarmente **gravose** per **complessità** del fenomeno e/o **diffusione** areale, **non risolvibili con l'uso di metodologie speditive**



Livello 3 - Carta di microzonazione sismica con approfondimenti

Gli studi di Livello 3 danno indicazioni (sul comportamento sismico delle differenti zone del territorio) con elevato livello di affidabilità, in quanto permettono di quantificare:

- l'**amplificazione** delle aree **stabili** in maniera più affidabile rispetto al Liv. 2
- Il **grado di instabilità** delle aree potenzialmente **instabili**

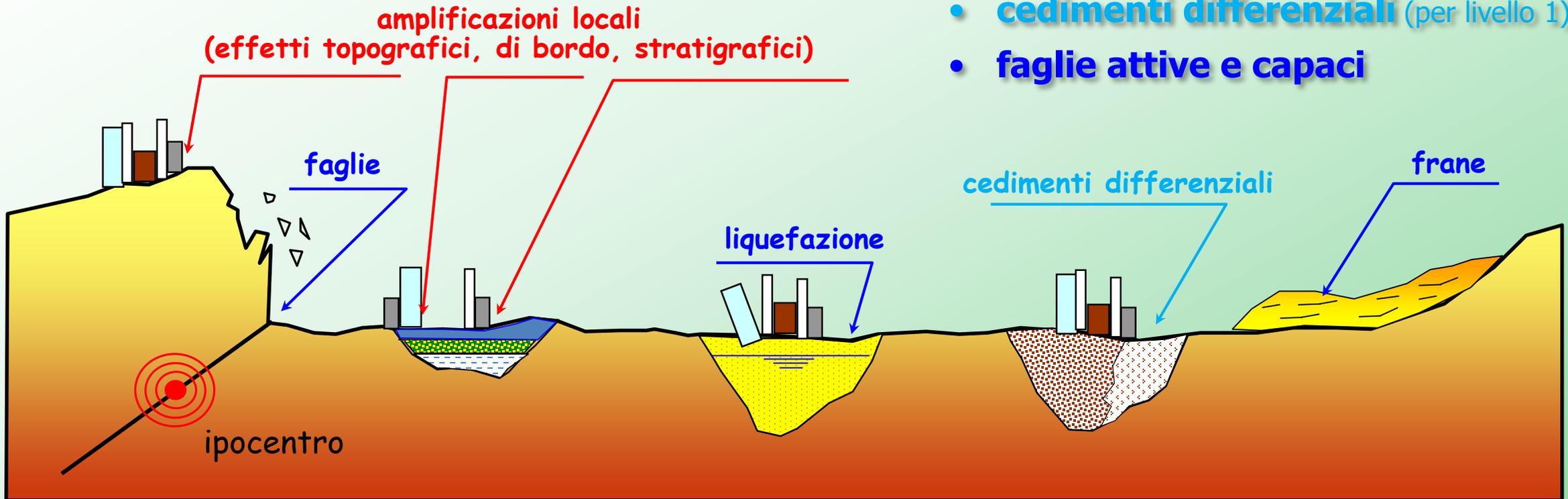
PER ESEGUIRE UNO STUDIO AFFIDABILE DI LIVELLO 3 E' INDISPENSABILE DISPORRE DI UNO **STUDIO AFFIDABILE DI LIVELLO 1** con **CARTA DELLE MOPS** SUFFICIENTEMENTE DETTAGLIATA

Indagini	Campagne di acquisizione dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione del profilo di Vs, sismica a rifrazione, prove geotecniche in sito e di laboratorio, microtremori.
Elaborazioni	Analisi numeriche 1D e 2D per amplificazioni; Analisi dinamiche complete per la stima delle deformazioni permanenti
Prodotti	<i>Carta delle indagini</i> <i>Carta di microzonazione sismica con approfondimenti</i> Relazione illustrativa della Carta di microzonazione sismica con approfondimenti

Fenomeni considerati in ICMS per MS di Livello 3

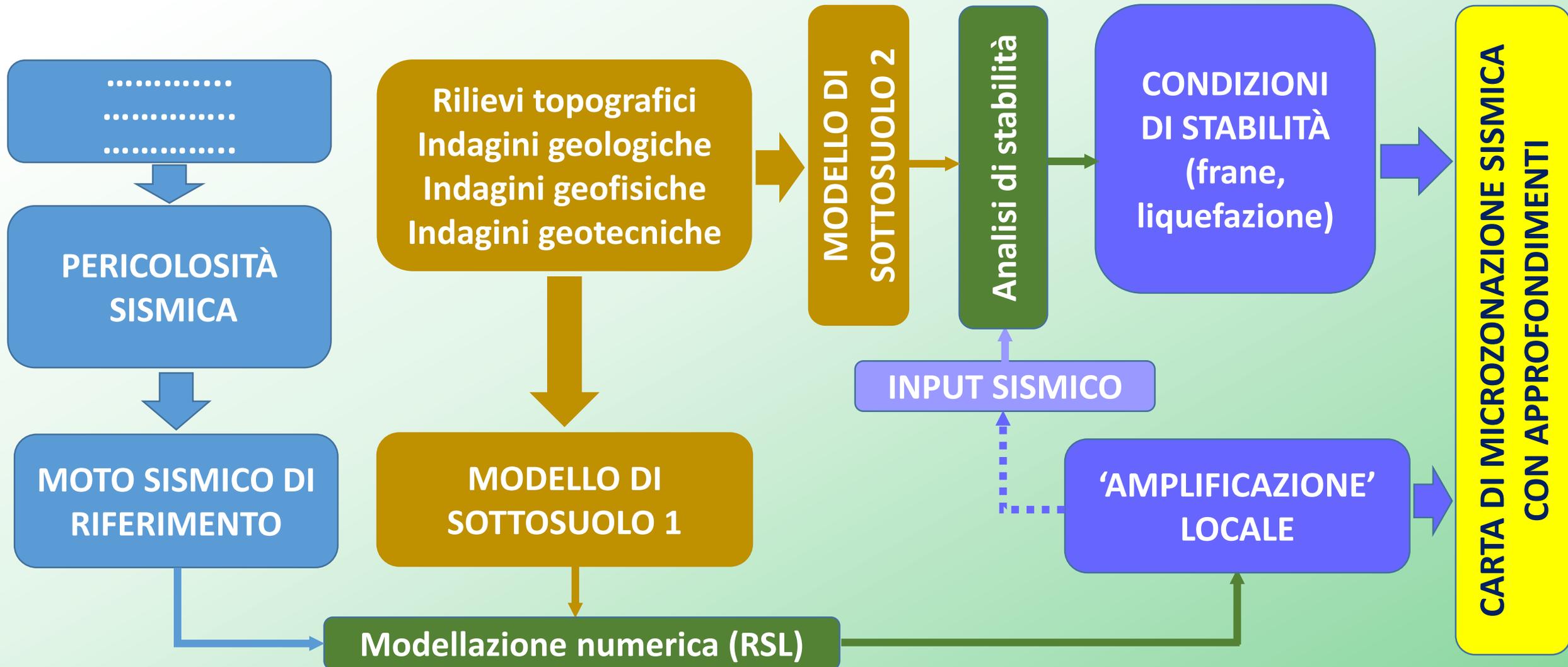
- **amplificazioni locali**

- **instabilità di versante**
- **liquefazione**
- **cedimenti differenziali** (per livello 1)
- **faglie attive e capaci**

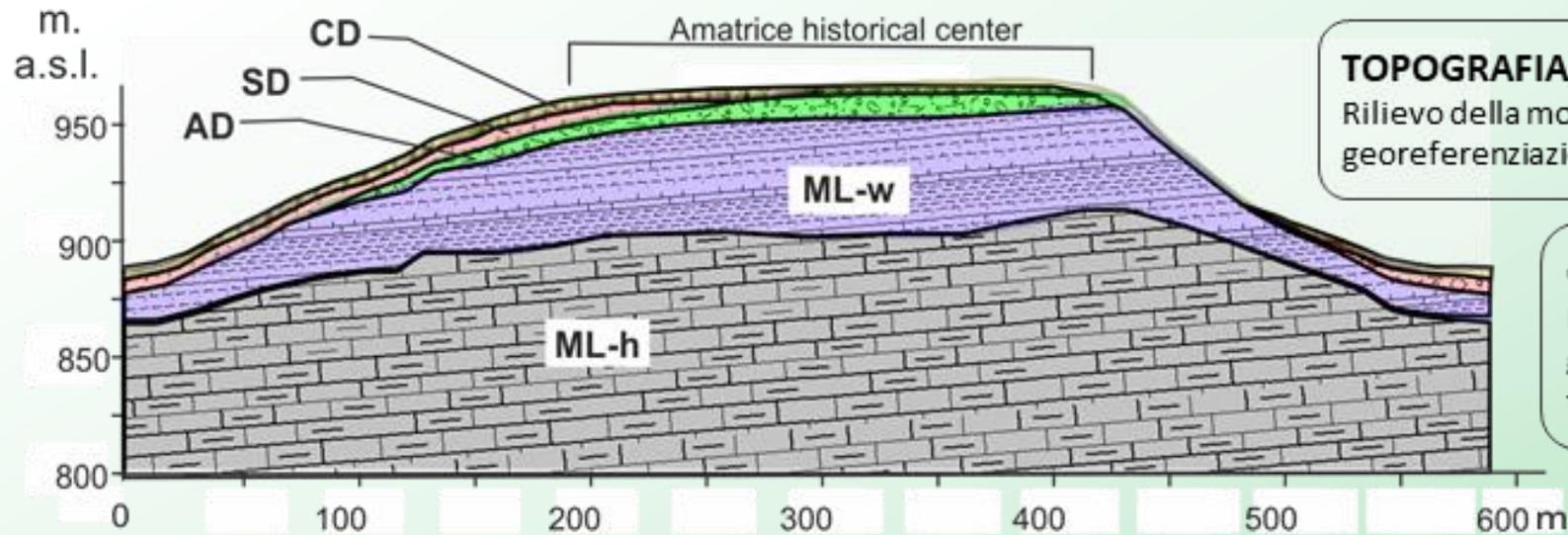


Per lo studio dei fenomeni di instabilità (frane, liquefazione) è necessario valutare preliminarmente le amplificazioni locali

Interdisciplinarietà di uno studio di MS di Livello 3



Interdisciplinarietà nella definizione del modello di sottosuolo



TOPOGRAFIA/GEOMATICA

Rilievo della morfologia superficiale e georeferenziazione delle informazioni

GEOLOGIA APPLICATA

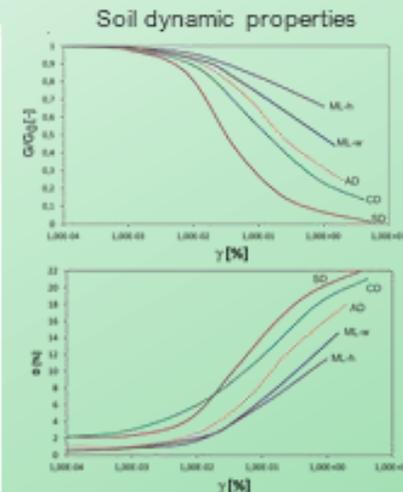
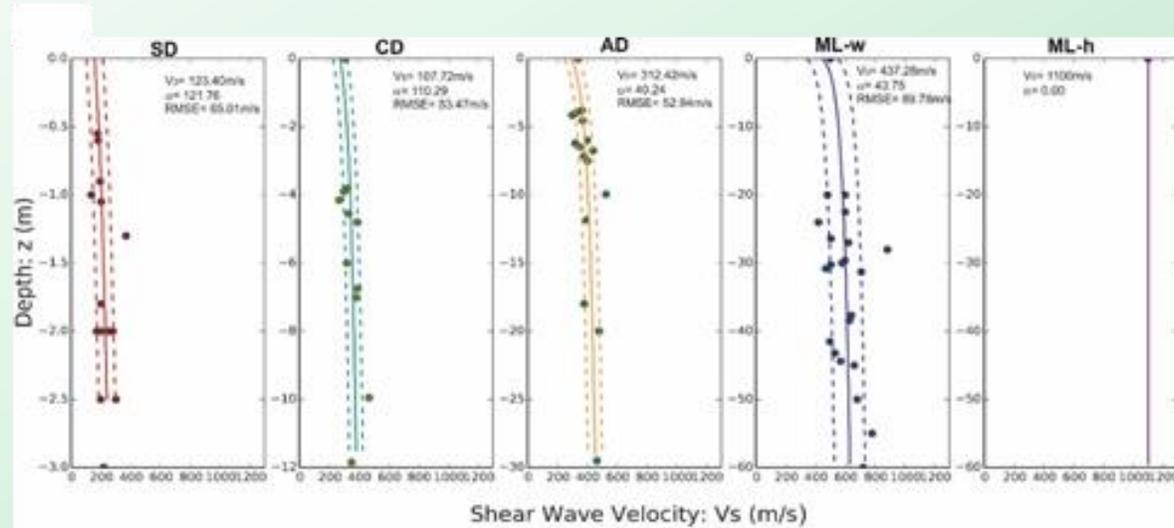
Rilevamenti per la caratterizzazione geologica, geomorfologica, litologico-tecnica, idrogeologica dell'area

GEOFISICA APPLICATA

Prove in sito per l'identificazione del bedrock sismico e la caratterizzazione dinamica di depositi e ammassi rocciosi a bassi livelli deformativi (V_s)

GEOTECNICA/GEOTECNICA SISMICA

Prove in sito e di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica di depositi e ammassi rocciosi

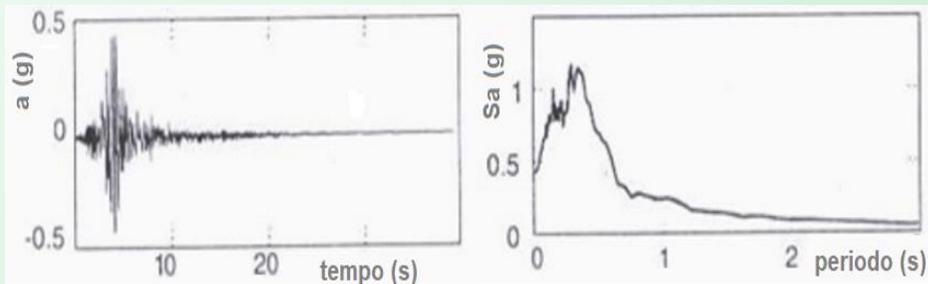


RSL: passi fondamentali di uno studio di III livello

1 - INPUT SISMICO

Si identifica un accelerogramma (o velocigramma) su bedrock affiorante (o sepolto) le cui caratteristiche (forma, ampiezza, durata, contenuto in frequenza) dipendono dalle caratteristiche del meccanismo della **sorgente** sismica, dalla **magnitudo** e dal **percorso sorgente-sito**.

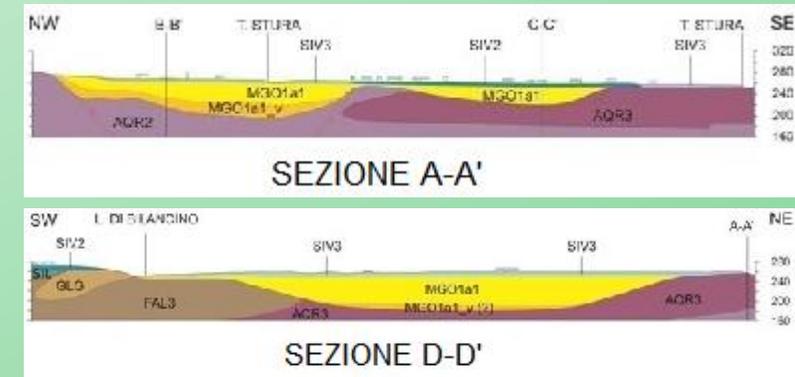
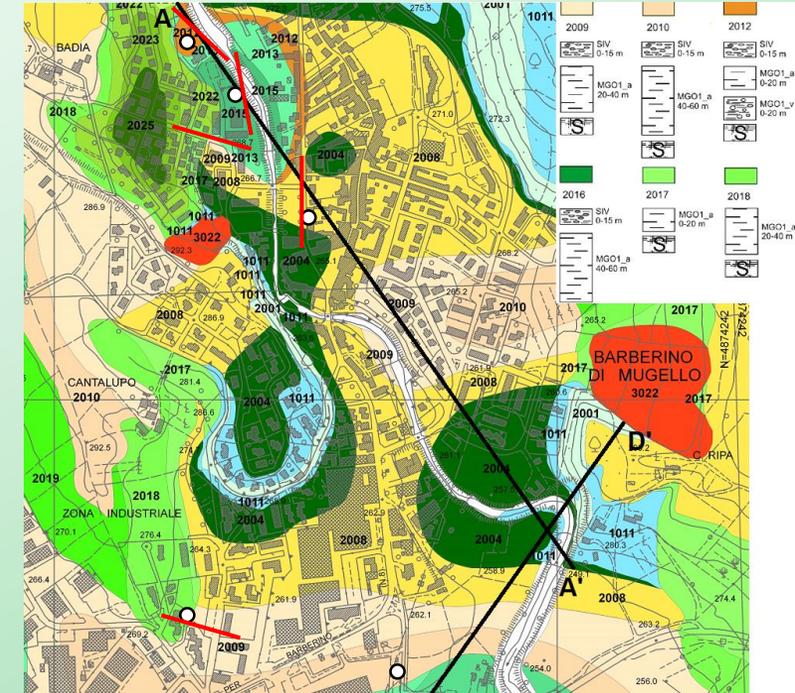
PER LA SCELTA DI UN INPUT SISMICO APPROPRIATO È FONDAMENTALE IL CONTRIBUTO DELLA SISMOLOGIA



2 - MORFOLOGIA E UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE

Sulla base delle conoscenze geologiche dell'area e mediante specifiche indagini (**rilevamento di superficie, sondaggi, indagini geofisiche**) si ricostruiscono la morfologia superficiale e profonda, l'andamento stratigrafico con identificazione delle diverse unità, la profondità e natura del substrato

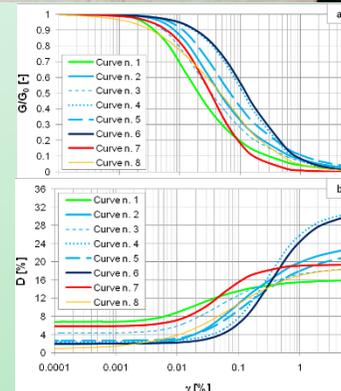
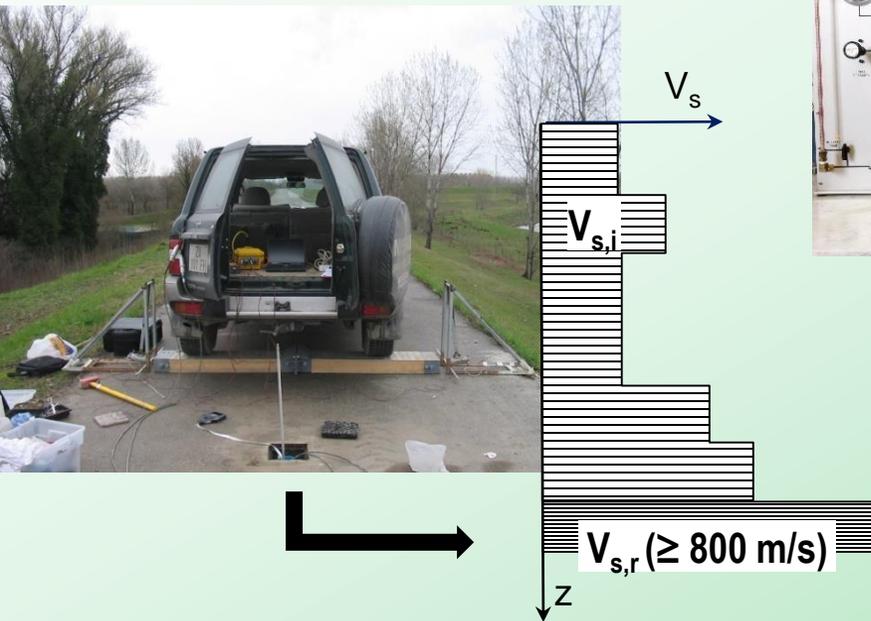
È FONDAMENTALE DISPORRE DI UN'AFFIDABILE CARTA DELLE MOPS



RSL: passi fondamentali di uno studio di III livello

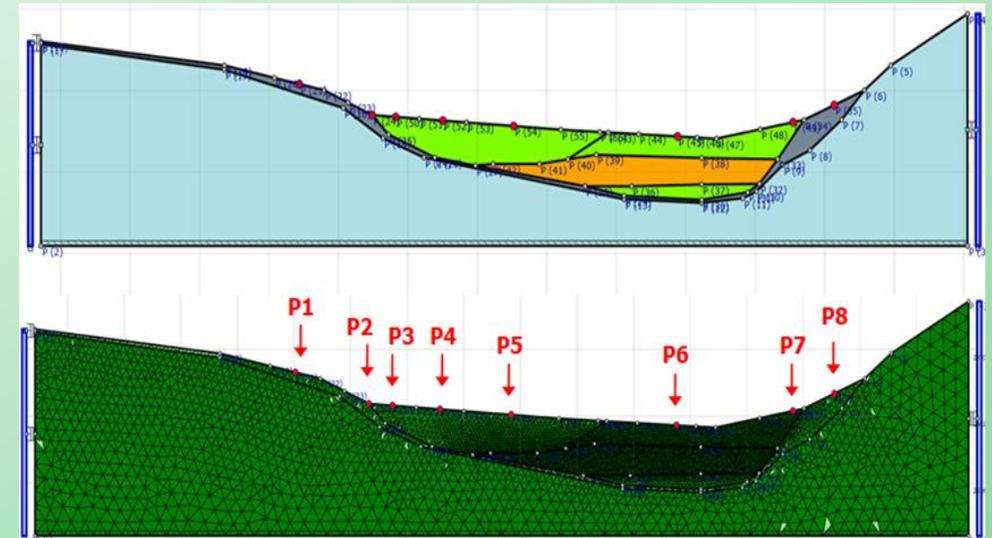
3 – CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE

Mediante prove geofisiche e prove geotecniche in sito e di laboratorio si determinano le proprietà fisiche e i parametri di comportamento delle varie unità in condizioni dinamiche e cicliche



4 – SCELTA DEL CODICE DI CALCOLO E ANALISI

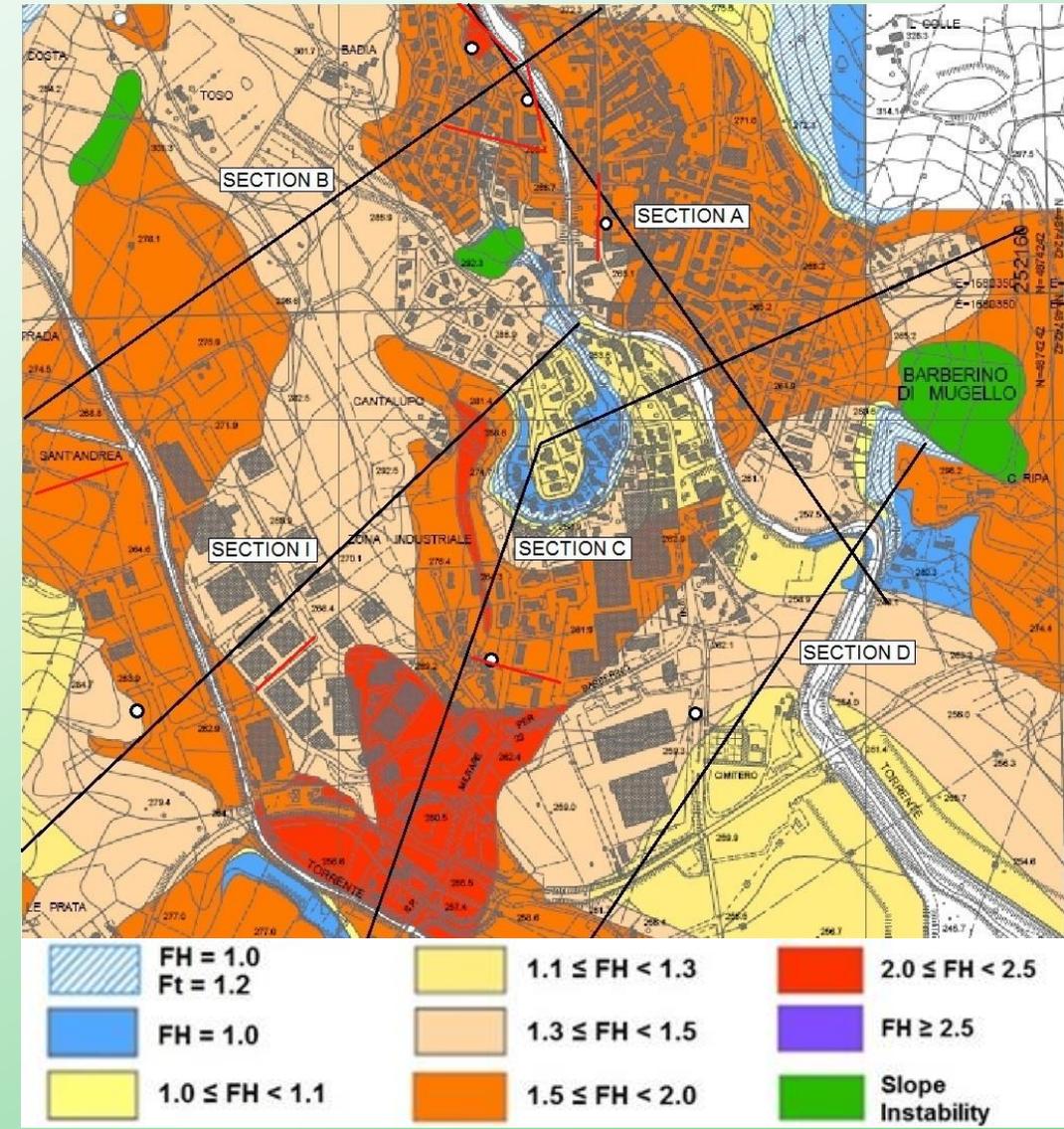
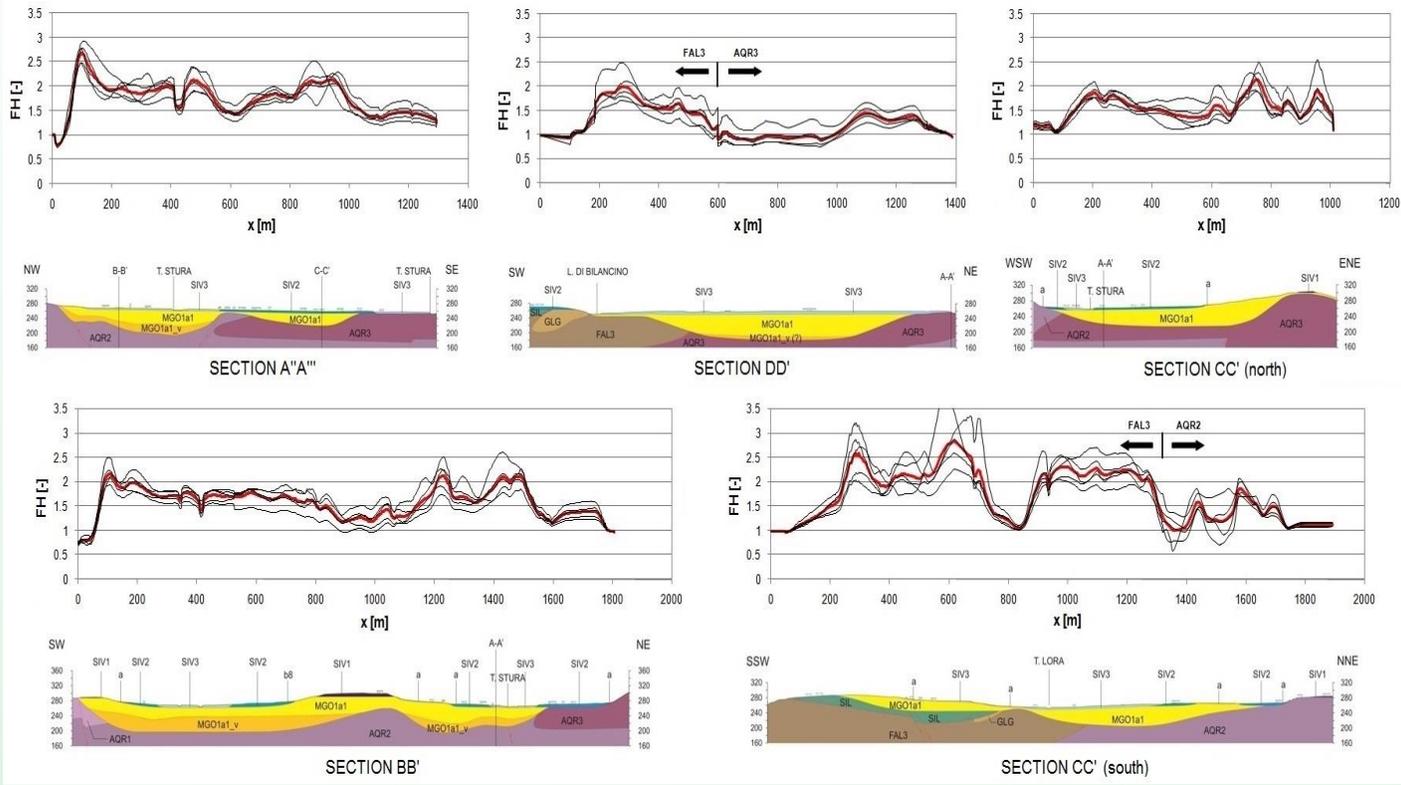
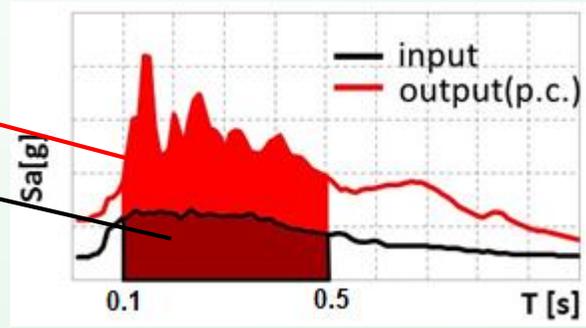
Sono disponibili numerosi codici (1D, 2D, 3D) che implementano differenti leggi costitutive dei terreni e differenti algoritmi di calcolo. La scelta del codice di calcolo deve essere commisurata alla qualità dei dati.



L'IMPIEGO DI CODICI SOFISTICATI CON DATI INADEGUATI PUÒ PORTARE A RISULTATI INAFFIDABILI

RSL nella MS di livello 3: esempio

$$FH = \frac{\int_{0.1}^{0.5} Sa_{out}(5\%, T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} Sa_{inp}(5\%, T) dT}$$



Instabilità di versante nella MS di livello 3

Documento di riferimento per la MS delle aree interessate da instabilità di versante:
 «Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)»

FASI PREVISTE DALLE LG:

- Selezione **preliminare** (si escludono dalle analisi successive le aree dove l'azione sismica attesa è di entità non sufficiente ad innescare il movimento)
- Classificazione nella carta delle MOPS (MS Liv.1) e nella Carta di MS (Liv.2) come **Zone di Attenzione** ($Z_{A_{FR}}$)
- Identificazione di **Zone Suscettibili** di instabilità di versante ($Z_{S_{FR}}$) e **Zone di Rispetto** ($Z_{R_{FR}}$), con metodologie di analisi (Liv.3) diverse per frane in terra e frane di crollo.



PASSI FONDAMENTALI PER LO STUDIO DELLA STABILITÀ DI UN VERSANTE NELLA MS DI LIVELLO 3:

1. raccolta ed analisi preliminare dei **dati** morfologici, geologici, idrogeologici, geofisici e geotecnici **esistenti**
2. programmazione, esecuzione e interpretazione di **indagini integrative** per la definizione di un modello geologico e geotecnico sufficientemente accurato e adeguato al metodo di analisi che si intende applicare
3. costruzione del **modello geologico e geotecnico** e caratterizzazione fisica e meccanica dei diversi materiali
4. applicazione del/i metodo/i di **analisi** prescelto/i per la valutazione delle condizioni di stabilità
5. **sintesi** dei risultati ottenuti nella carta di microzonazione con approfondimenti

Instabilità di versante nella MS di livello 3

PRINCIPALI INDAGINI

- sondaggi, spinti almeno fino alla profondità di una eventuale superficie di scorrimento;
- prove penetrometriche statiche e/o dinamiche;
- installazione di strumenti per il controllo di movimenti e pressioni interstiziali;
- prove di laboratorio su campioni indisturbati per la determinazione della resistenza al taglio in condizioni statiche (ed eventualmente in condizioni dinamiche e cicliche).

PRINCIPALI METODI DI ANALISI

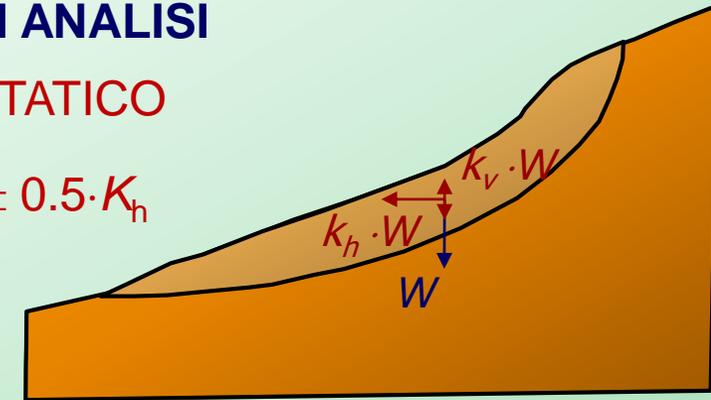
METODO PSEUDOSTATICO

$$K_h = \beta_s \cdot a_{max} / g \quad \text{e} \quad K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

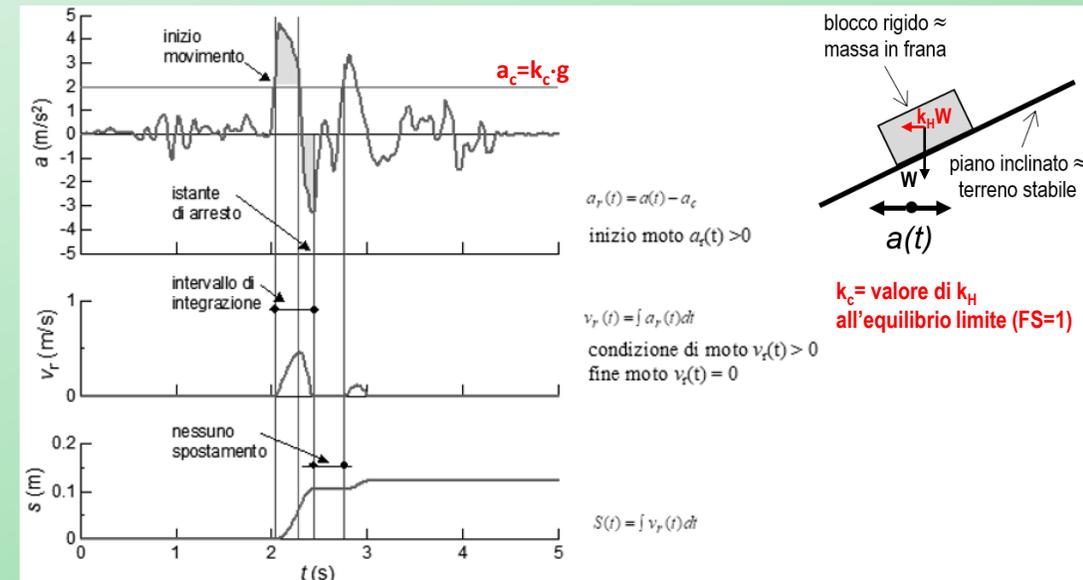
$$\beta_s = f(a_g, \text{cat. sottosuolo})$$

a_{max} da RSL

a_g = PGA su affioramento rigido

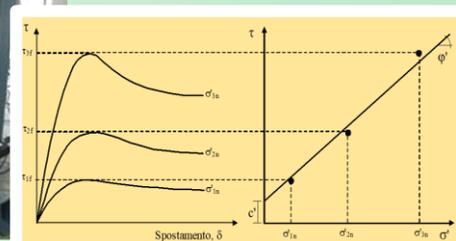


METODO DINAMICO DEGLI SPOSTAMENTI



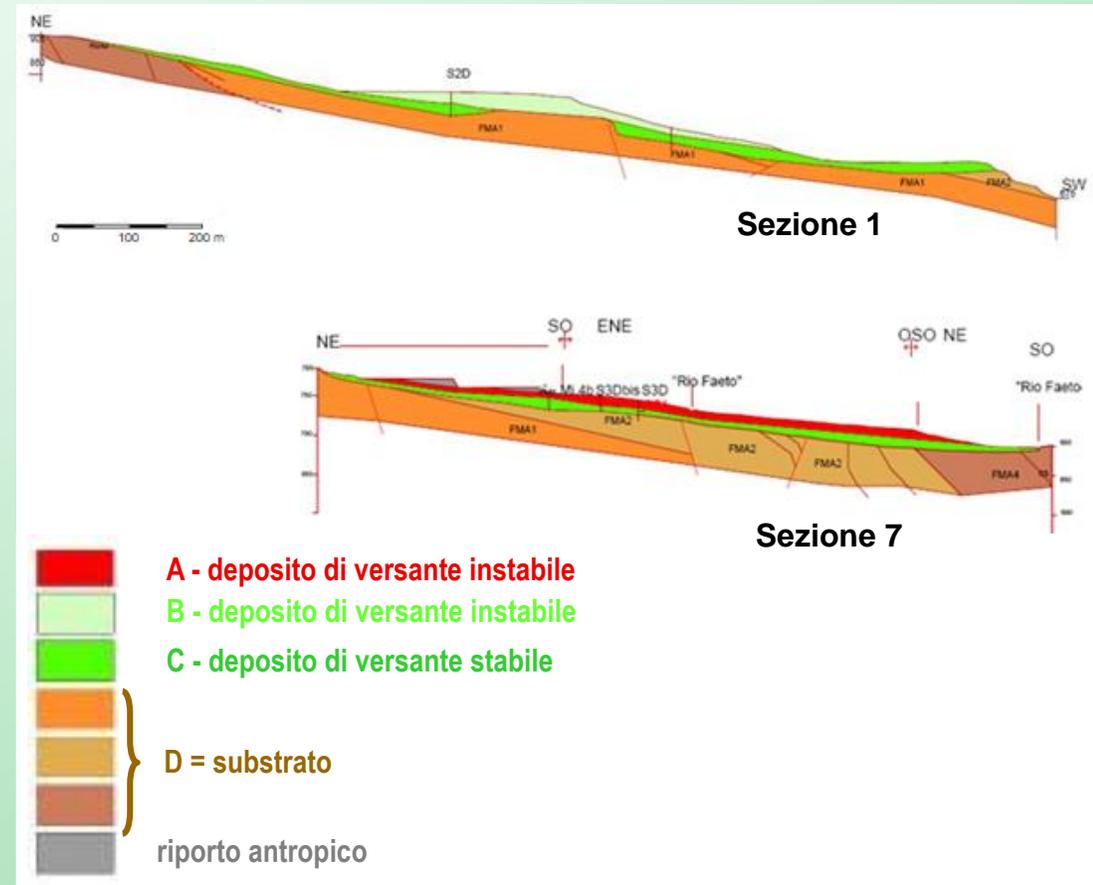
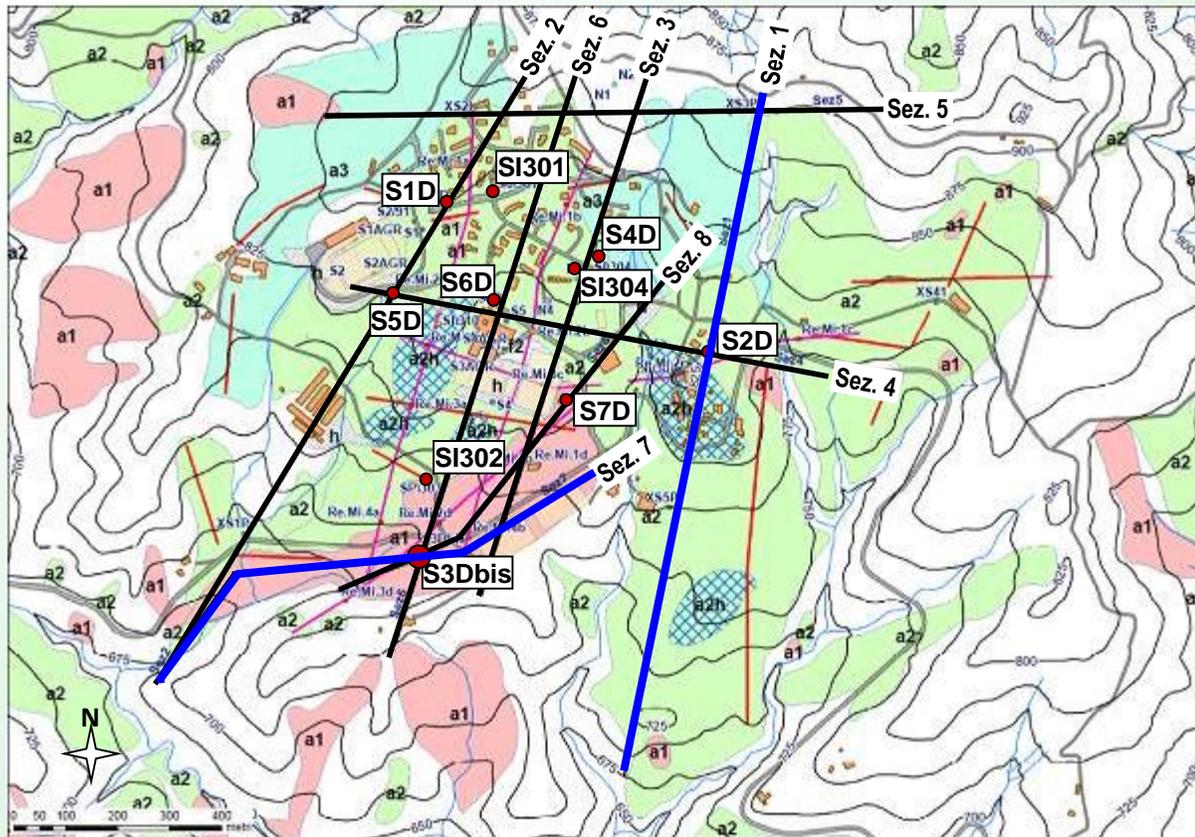
PARAMETRI DA ASSUMERE NELLE ANALISI

- di picco (frane di 1° distacco)
- di post-picco (frane quiescenti)
- residui (movimenti recenti)

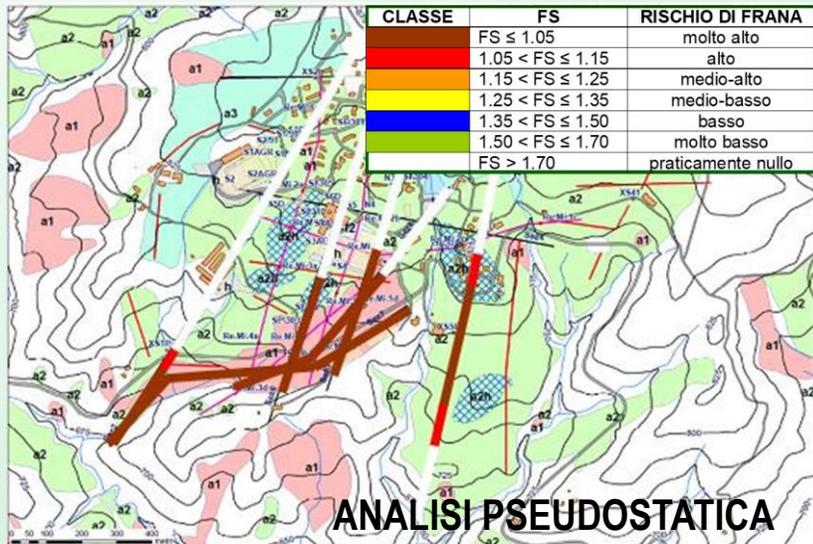
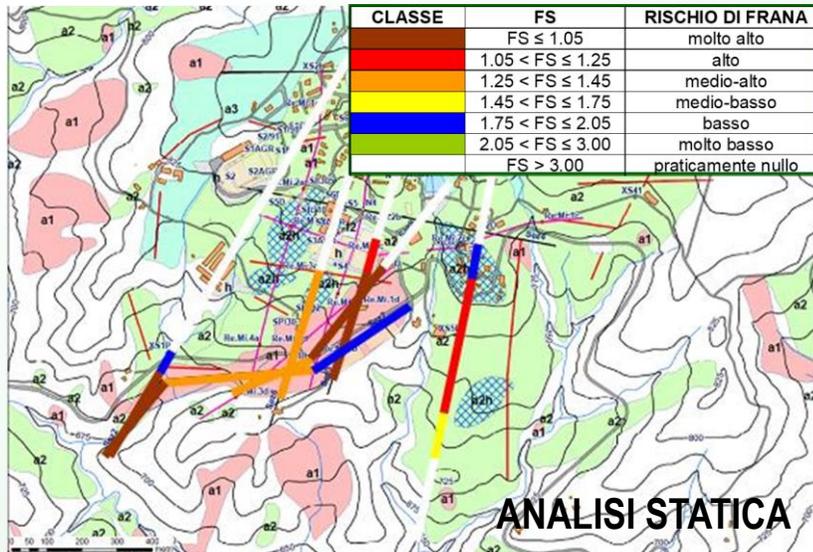


Instabilità di versante nella MS di livello 3: esempio

Spinello - Comune di S. Sofia (FC) - Alto Appennino Romagnolo-Forlivese



Instabilità di versante nella MS di livello 3: esempio

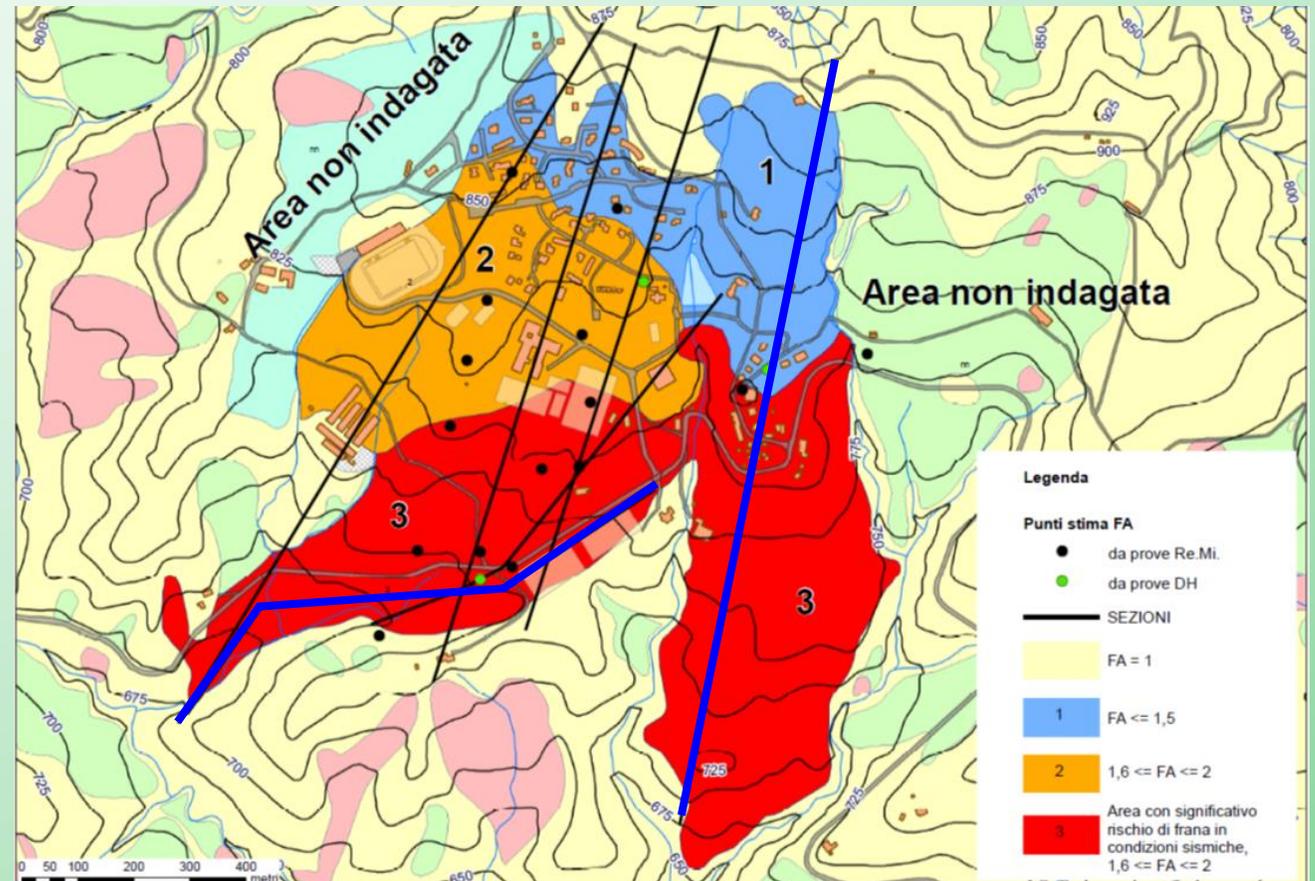


ANALISI DEGLI SPOSTAMENTI

$$K_c = \begin{matrix} 0.0463 & (\text{sez. 1}) \\ 0.0419 & (\text{sez. 7}) \end{matrix}$$

SEZ.	ACCELEROGRAMMA				
	M1	M2	M3	M4	M5
1	4.6	2.9	2.2	4.5	3.1
7	5.4	3.4	2.5	5.5	3.7

spostamenti in cm



Liquefazione nella MS di livello 3

Documento di riferimento per la MS delle aree interessate da fenomeni di liquefazione:
«Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)»

FASI PREVISTE:

- Classificazione nella carta delle MOPS (MS Liv.1) e nella Carta di MS (Liv.2) come **Zone di Attenzione** (ZA_{LQ})
- Identificazione di **Zone Suscettibili** di liquefazione (ZS_{LQ}) e **Zone di Rispetto** per la liquefazione (ZR_{LQ}) (Liv. 3)

METODI DI STIMA DELLA PERICOLOSITÀ DI LIQUEFAZIONE

I metodi più adeguati per la stima quantitativa della liquefazione sono i **metodi semplificati**, basati su un'analisi in termini di sforzo ciclico

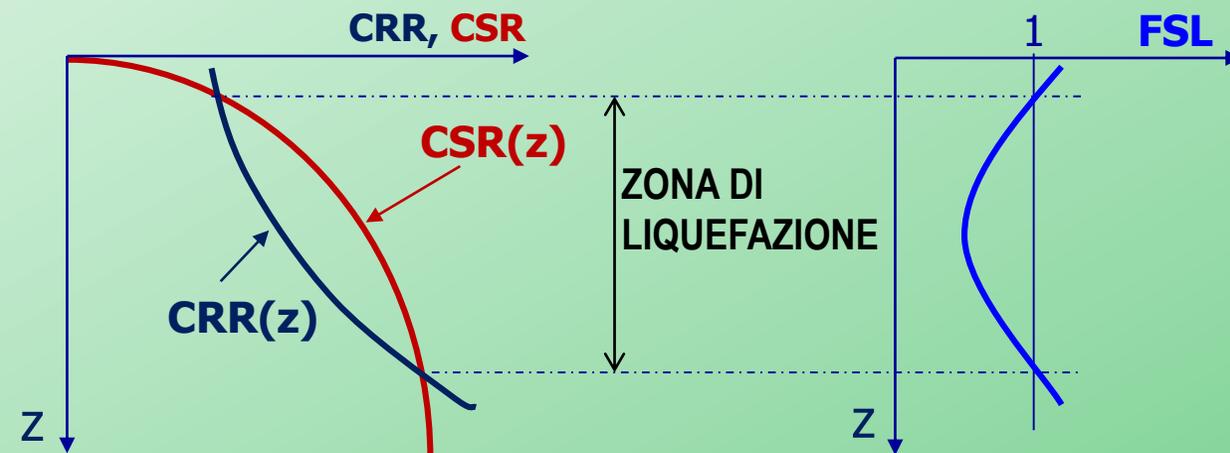
$$FSL(z) = CRR(z)/CSR(z)$$

➤ **$CRR(z)$** : capacità di resistenza

➤ **$CSR(z)$** : domanda di resistenza

$$CRR = f(R)$$

con R = parametro da prova in sito: q_c , N_{SPT} , KD o V_s

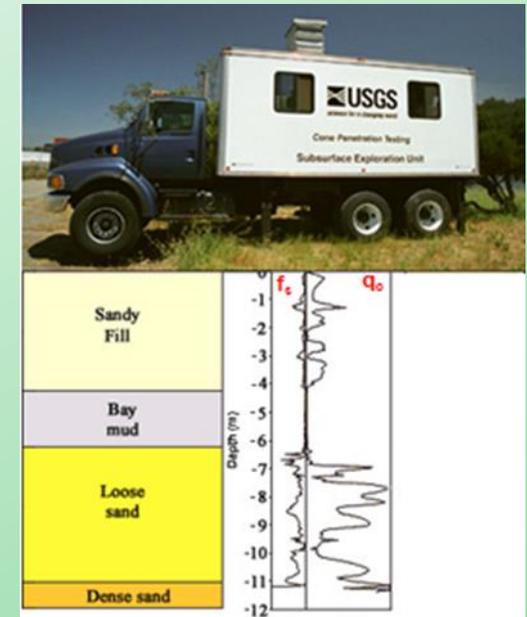


Liquefazione nella MS di livello 3

OSSERVAZIONI:

- I metodi originari si riferiscono a condizioni di **magnitudo M=7.5**, **p.c. orizzontale** e valori della **tensione verticale efficace limitati a 100kPa**. Perciò i valori di CRR vengono corretti con un fattore di scala (**MSF**) e con fattori (K_α e K_σ) che tengono conto di sforzi di taglio iniziali (es. pendii) e di valori elevati delle tensioni efficaci
- Tra i metodi semplificati sono preferibili quelli che utilizzano i risultati di **CPT** (maggiore ripetibilità, continuità dei profili con la profondità, cospicua presenza dei risultati di questo tipo di prova in banche dati).
I risultati che si ottengono con i diversi metodi che utilizzano prove CPT possono differire tra loro significativamente
- I metodi proposti in letteratura sono calibrati su prove **CPT elettriche**; l'impiego di **CPT meccaniche conduce a risultati non cautelativi**. In fase di programmazione di indagini integrative è dunque opportuno prevedere l'esecuzione di prove di tipo elettrico
- Per ciascuna verticale analizzata, la pericolosità di liquefazione è sintetizzata mediante il parametro integrale '**Indice del potenziale di liquefazione**' (LPI, I_L o P_L) che tiene conto del valore di FSL e della profondità

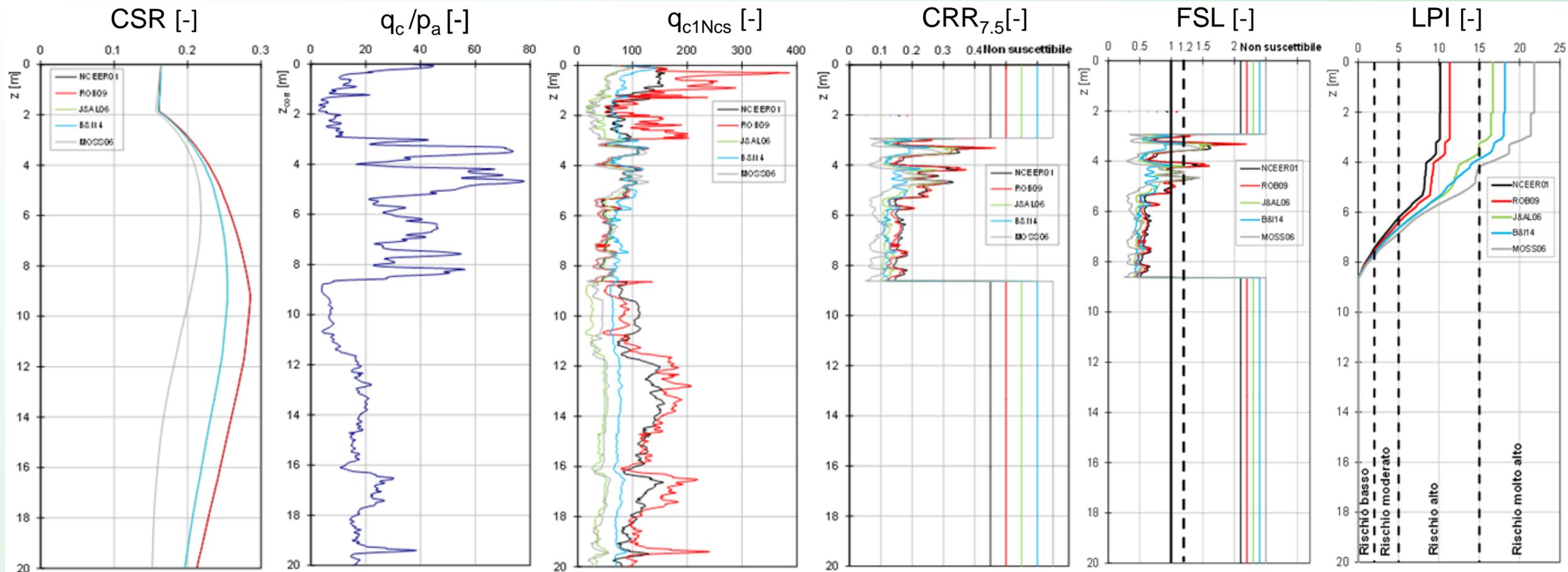
$$CRR = CRR_{7.5; \sigma_v' = 1; \alpha = 0} \cdot MSF \cdot K_\sigma \cdot K_\alpha$$



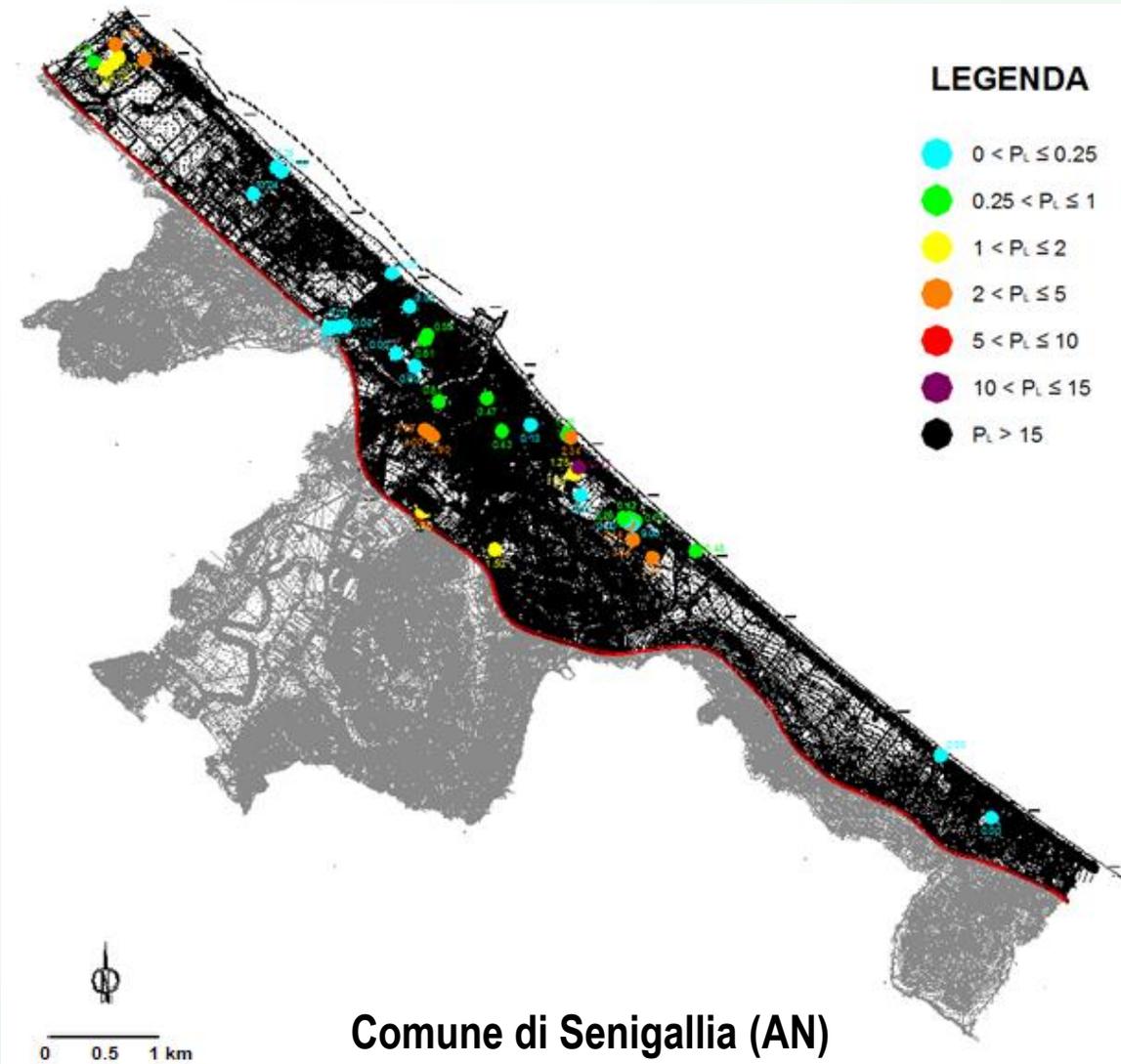
$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

Liquefazione nella MS di livello 3: esempio

SENIGALLIA - DATI RELATIVI ALL'AZIONE SISMICA: $M_w = 6.14$; $a_{max} = 0.26g$ - Prof. falda $z_w = 1.85m$



Liquefazione nella MS di livello 3: esempio



In accordo con quanto indicato nelle Linee Guida:

l'indice del **potenziale di liquefazione medio** della zona (media dei valori di P_L calcolati nelle singole verticali) è il parametro quantitativo di riferimento per l'identificazione sia delle **Zone Suscettibili** di liquefazione (ZS_{LQ}) sia delle **Zone di Rispetto** per la liquefazione (ZR_{LQ})



GRAZIE PER L'ATTENZIONE