

44th GNGTS National Conference
Udine, 10-13 February 2026



Workshop di Microzonazione Sismica: dalla ricerca scientifica a nuovi standard, pratiche e linee guida

Zone suscettibili di instabilità: criticità e questioni aperte

Alessandro Pagliaroli
INGEO – Università di Chieti Pescara



INGEO



Dipartimento di
Ingegneria e Geologia



CENTROMS

CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI



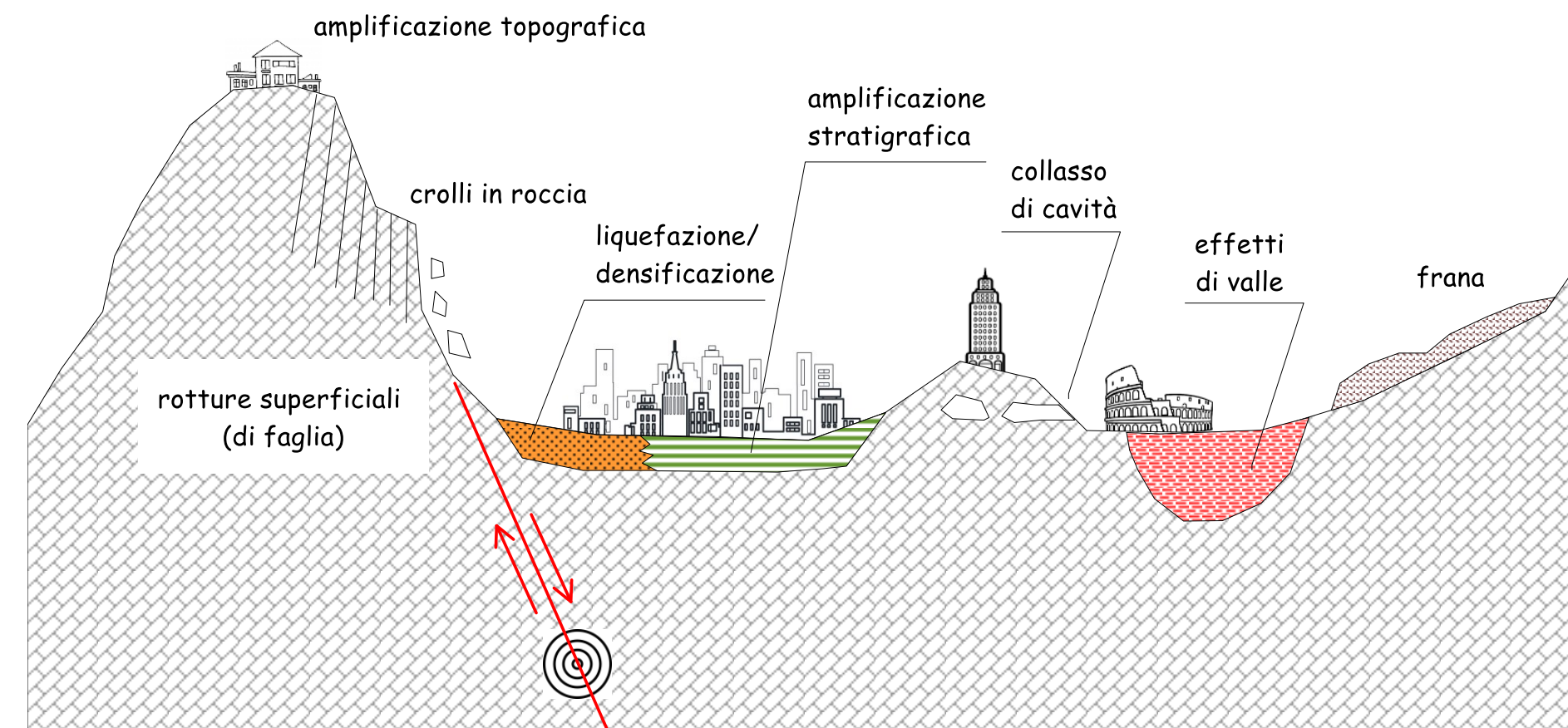
Linee guida disponibili *

- Linee guida per la gestione del territorio interessato da **faglie attive e capaci** (versione 1.0, **2015**)
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da **instabilità di versante cosismiche** (versione 1.0, **2017**)
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da **liquefazioni** (versione 1.0, **2018**)
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da **Cavità Sotterranee** (versione 1.0 beta, **2022**)
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da **Densificazione** indotta dall'Azione Sismica (versione 1.0 beta, **2022**)

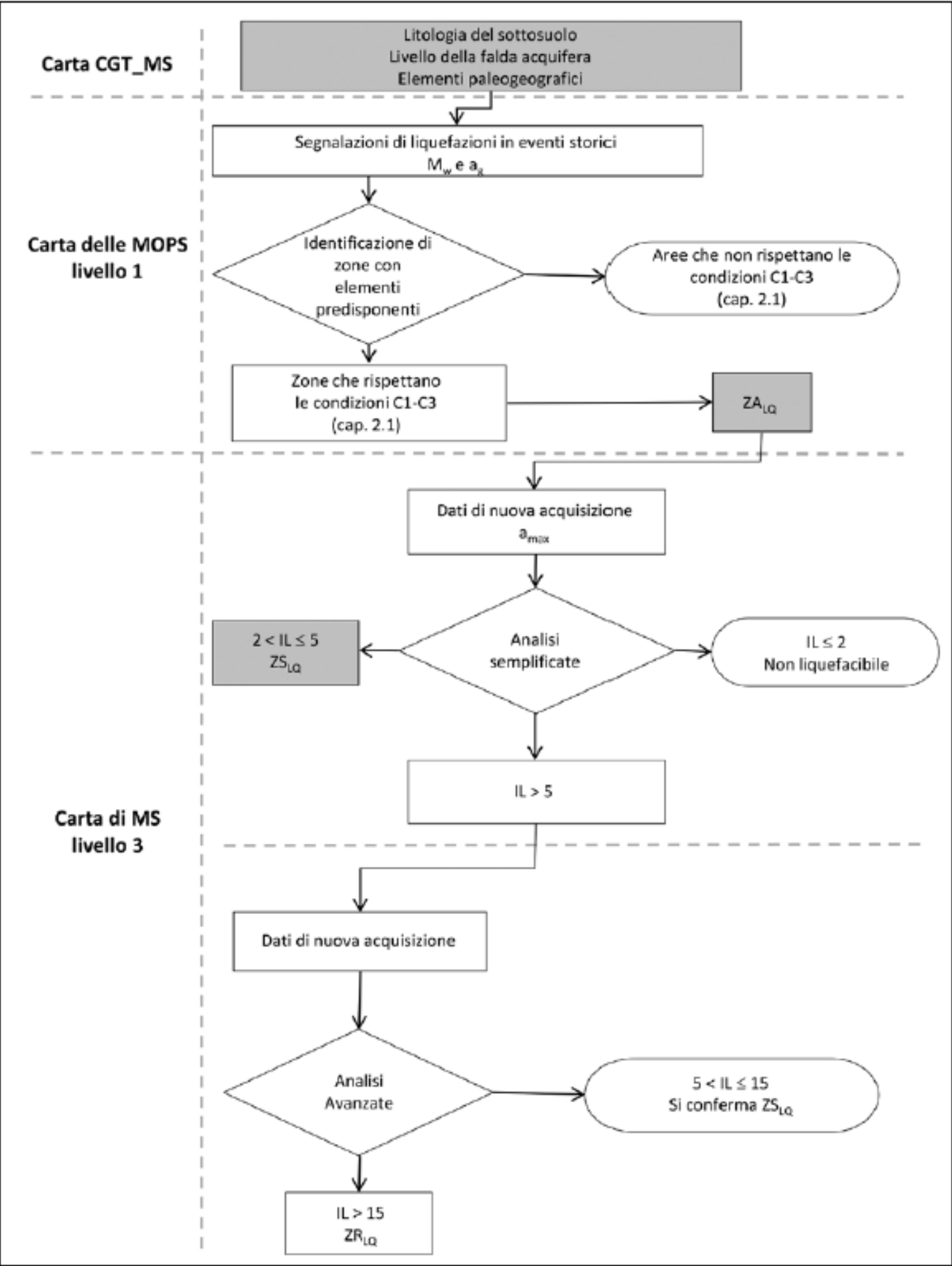


*

<https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/strumenti/linee-guida-ms/>



Es. liquefazione



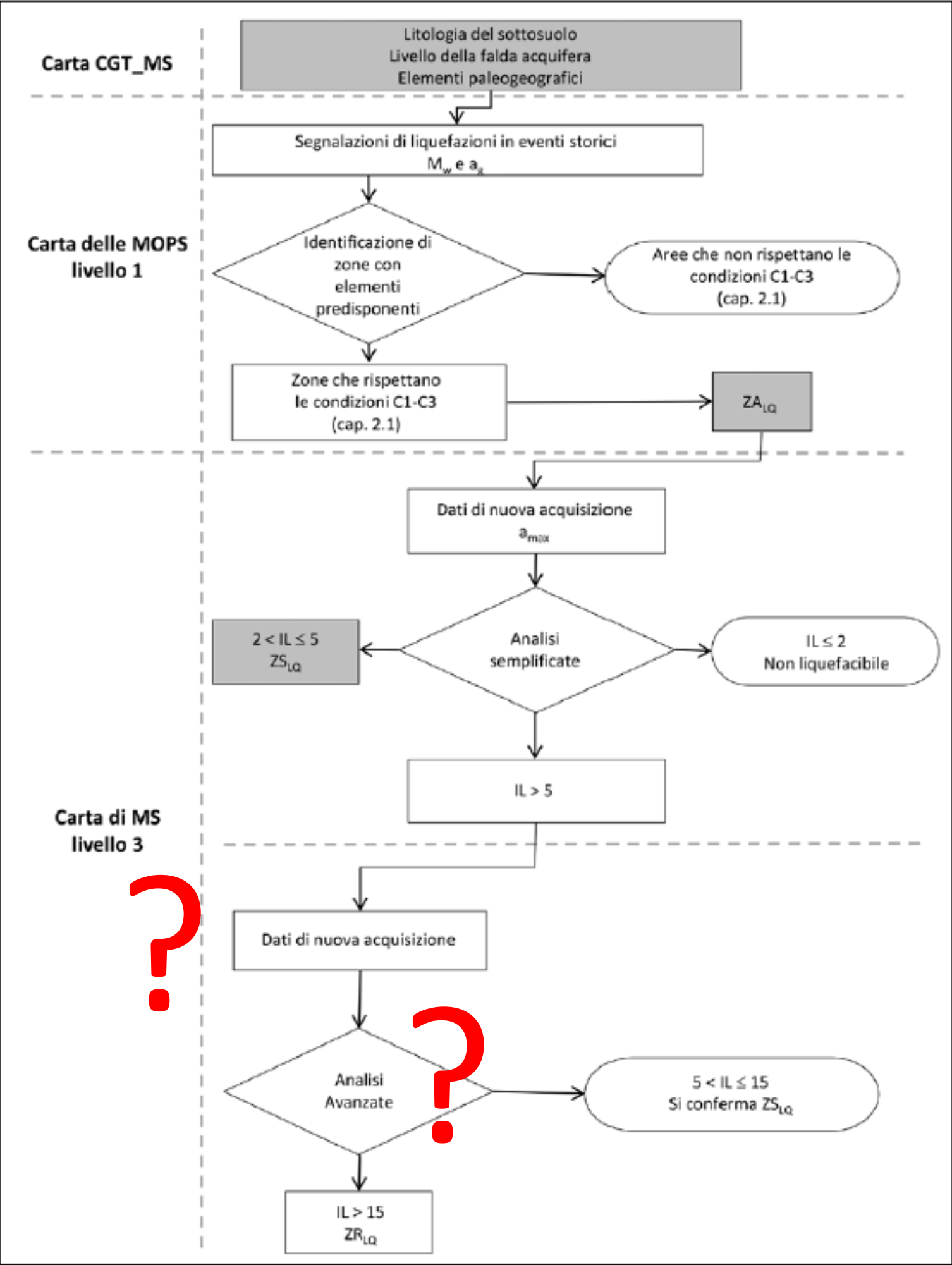
Considerazioni generali

- Con l'eccezione della densificazione, tutti gli eventi sismici recenti (2009, 2012, 2026-2017) hanno evidenziato l'impatto dei fenomeni cosismici sugli scenari di danno e sulla ricostruzione
- L'identificazione delle aree instabili (livello 1) ha generalmente rispettato i criteri previsti da ICMS ed è stata effettuata interamente dai professionisti incaricati (a volte con possibile sovrastima conservativa delle ZA)
- **Criticità nell'approfondimento (livello 3) delle zone instabili (specie definizione ZR)** principalmente a causa di
 - risorse economiche non adeguate per eseguire le indagini richieste dagli approfondimenti
 - elevate competenze richieste per l'applicazione dei metodi semplificati (talvolta) e, soprattutto, dei metodi avanzati (coinvolgimento del mondo della ricerca necessario in molti studi)

Discussione:

- Il livello 3 è troppo pretenzioso nel trattamento delle instabilità?
- **Eliminare i metodi avanzati e di conseguenza le ZR dalla MS ?** Vantaggi di questa proposta:
 - gli approfondimenti con metodi avanzati sono applicati unicamente a scala dell'opera riducendo così anche la confusione generata da parziale sovrapposizione tra MS (studio a carattere areale) e progettazione (studio puntuale)
 - rafforzamento del carattere areale della MS con applicazioni proprie dello strumento di mitigazione (pianificazione, indicazioni su approfondimenti puntuali,...)
 - applicazione dei metodi semplificati (per la definizione di ZS) alla portata dei professionisti incaricati

Liquefazione



Metodo di analisi	Moto sismico di riferimento	Legame costitutivo	Indagini e prove geotecniche	Risultati tipici
Analisi semplificata	Accelerazione massima a_{max} Magnitudo M_w	Semplificato rigido-plastico	Tradizionali in sito e laboratorio Misure di V_s	Coefficiente di sicurezza
Analisi dinamica semplificata	Accelerogramma (-i) $a(t)$	Mezzo monofase lineare equivalente	Tradizionali in sito e laboratorio Misure di V_s	Coefficiente di sicurezza
Analisi dinamica avanzata		Mezzo polifase elasto-plastico	Prove cicliche/dinamiche in laboratorio	Accelerogrammi Tensioni totali Pressioni interstiziali Tensioni efficaci (cedimenti)

Linee guida LIQ:

Sulle verticali delle indagini e analisi presenti all'interno della ZR_{LQ} sarà necessario applicare una delle metodologie di analisi dinamica di suscettibilità alla liquefazione:

- analisi dinamica semplificata in termini di tensioni totali o efficaci;
- **analisi dinamica avanzata.**

Liquefazione: criticità nella scelta della Magnitudo da usare nelle analisi con metodi semplificati

Metodi previsti dalle Linee guida MS (2018)

Magnitudo massima (M_{Wmax}) dal catalogo DBMI15

Approccio deterministico in cui si considera la magnitudo massima registrata nel catalogo DBMI15 (Locati et al., 2022; <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>) riferita all'area di interesse.

Criticità:

Incertezze legate sia alla conversione empirica intensità-magnitudo, sia alla caratterizzazione dell'evento storico

Non viene inoltre esplicitamente considerata la distanza sito-sorgente che, a parità di magnitudo, può produrre sollecitazioni tangenziali molto differenti.

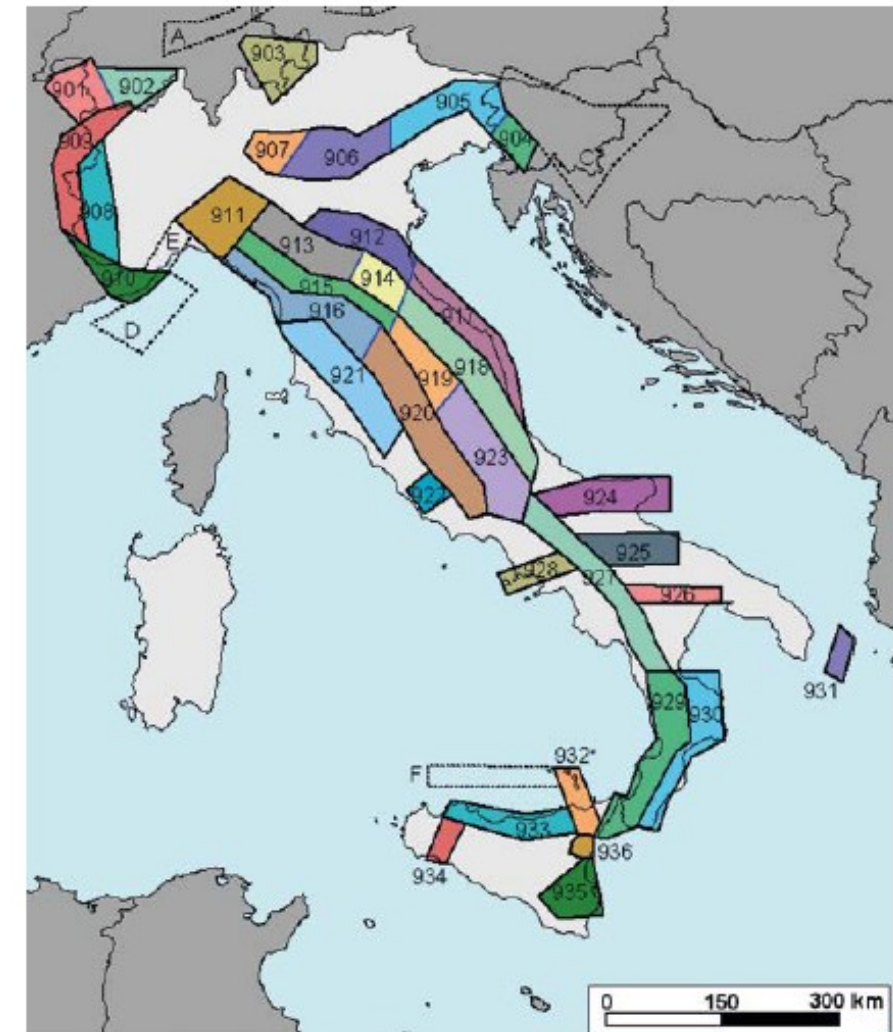
Non sempre nei cataloghi sono riportate le località piccole.

Magnitudo massima (M_{Wmax}) delle zone sismogenetiche e disaggregazione

Il metodo prevede l'utilizzo della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2004)

La forma piu comune di disaggregazione e quella bidimensionale in magnitudo – distanza (M-R), come descritta nelle Linee guida MS (2018), che fornisce i valori medi e modali di M e R per ciascun comune italiano.

Criticità: zonazione non *fault-based* (riduzione di magnitudo e distanza rispetto ai valori fisicamente basati)



Liquefazione: criticità nella scelta della Magnitudo da usare nelle analisi con metodi semplificati

Metodo con codice di calcolo SASHA

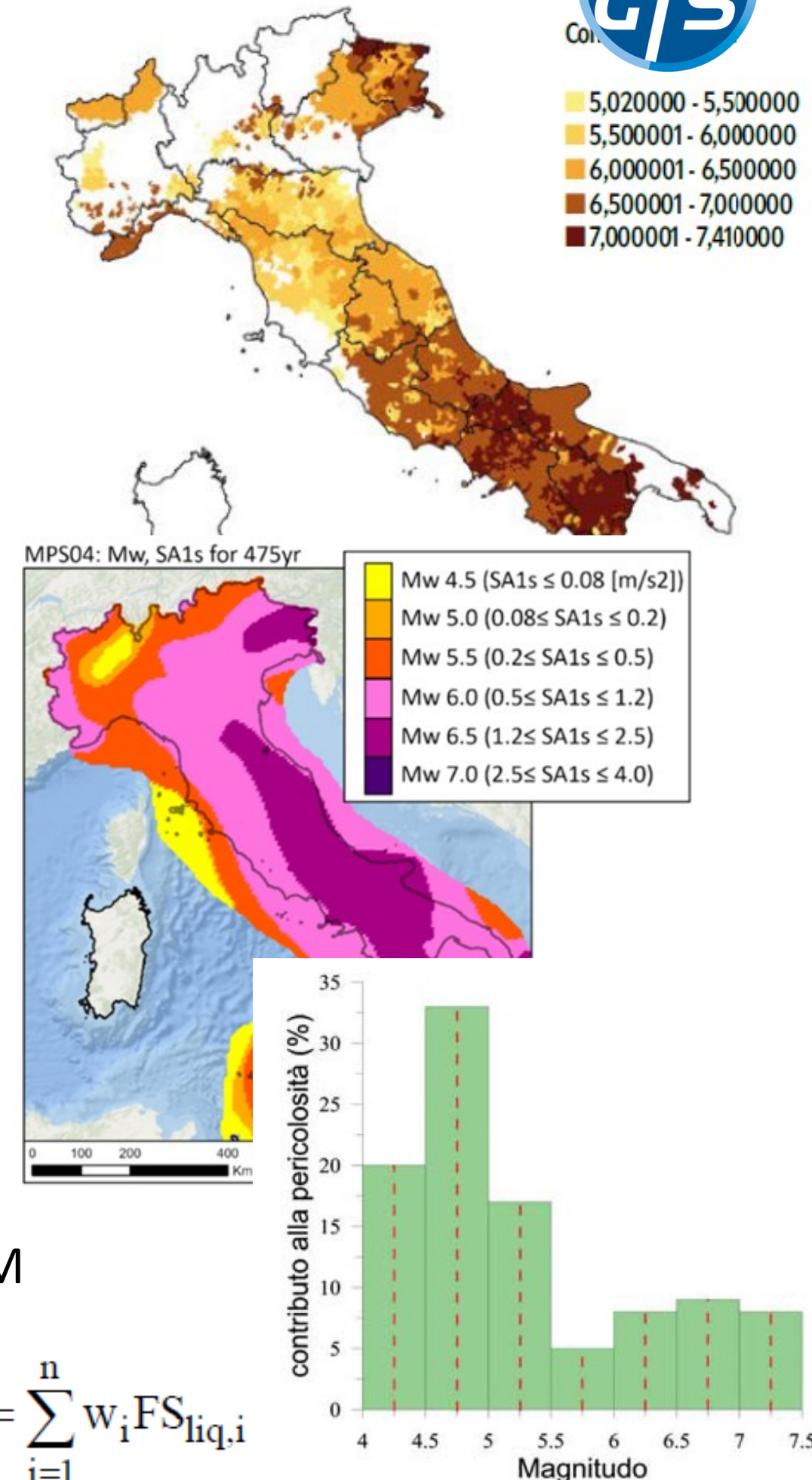
Il metodo, implementato nel codice SASHA (D'Amico & Albarello, 2008) consiste in una “analisi di disaggregazione” volta ad identificare gli eventi sismici del passato più rappresentativi della pericolosità locale.

L'approccio identifica per ciascuna località capoluogo comunale, i valori delle intensità macrosismiche associate ad un dato tempo di ritorno (per la MS il riferimento è 475 anni) e gli eventi storici che hanno maggiormente contribuito a tale pericolosità sismica. Fra questi eventi viene quindi selezionato quell'evento che ha fornito il maggior contributo. Di questo evento sono restituiti magnitudo macrosismica e distanza epicentrale come da catalogo sismico di riferimento.

Criticità: Incertezze legate alla conversione empirica intensità-magnitudo, studio da aggiornare con i nuovi cataloghi

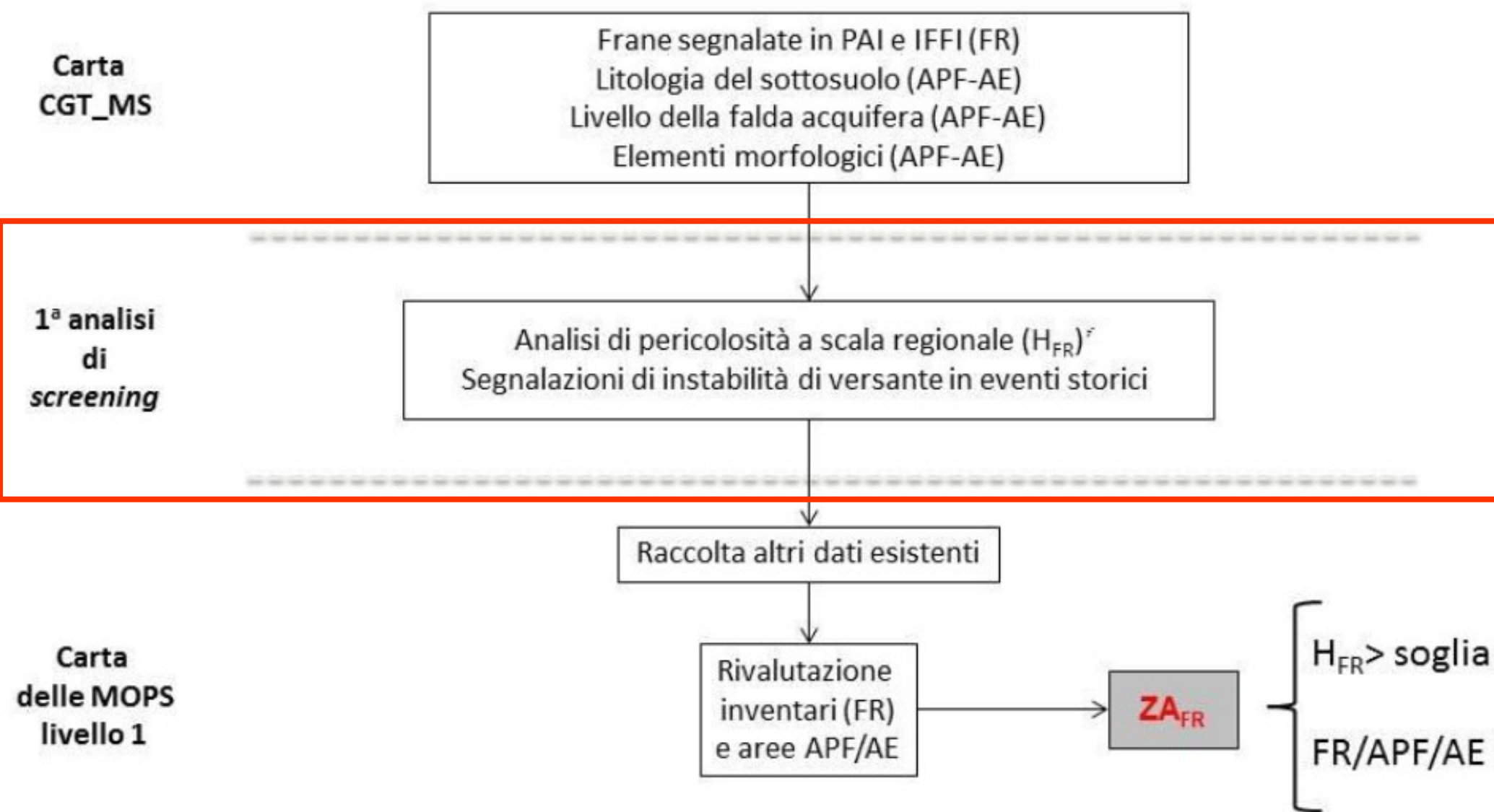
Discussione:

- Magnitudo Convenzionale secondo nuova versione EC8 (prof. Paolucci)
- Finn and Wightman (2007), media pesata dei F_{liq} calcolati dall'istogramma dei valori di M ottenuto dalla disaggregazione



Frane

**CARTA CGT, 1^a ANALISI DI SCREENING,
CARTA DELLE MOPS – LIVELLO 1**



Livello1:

Si parte dalla CGT_MS per individuare:

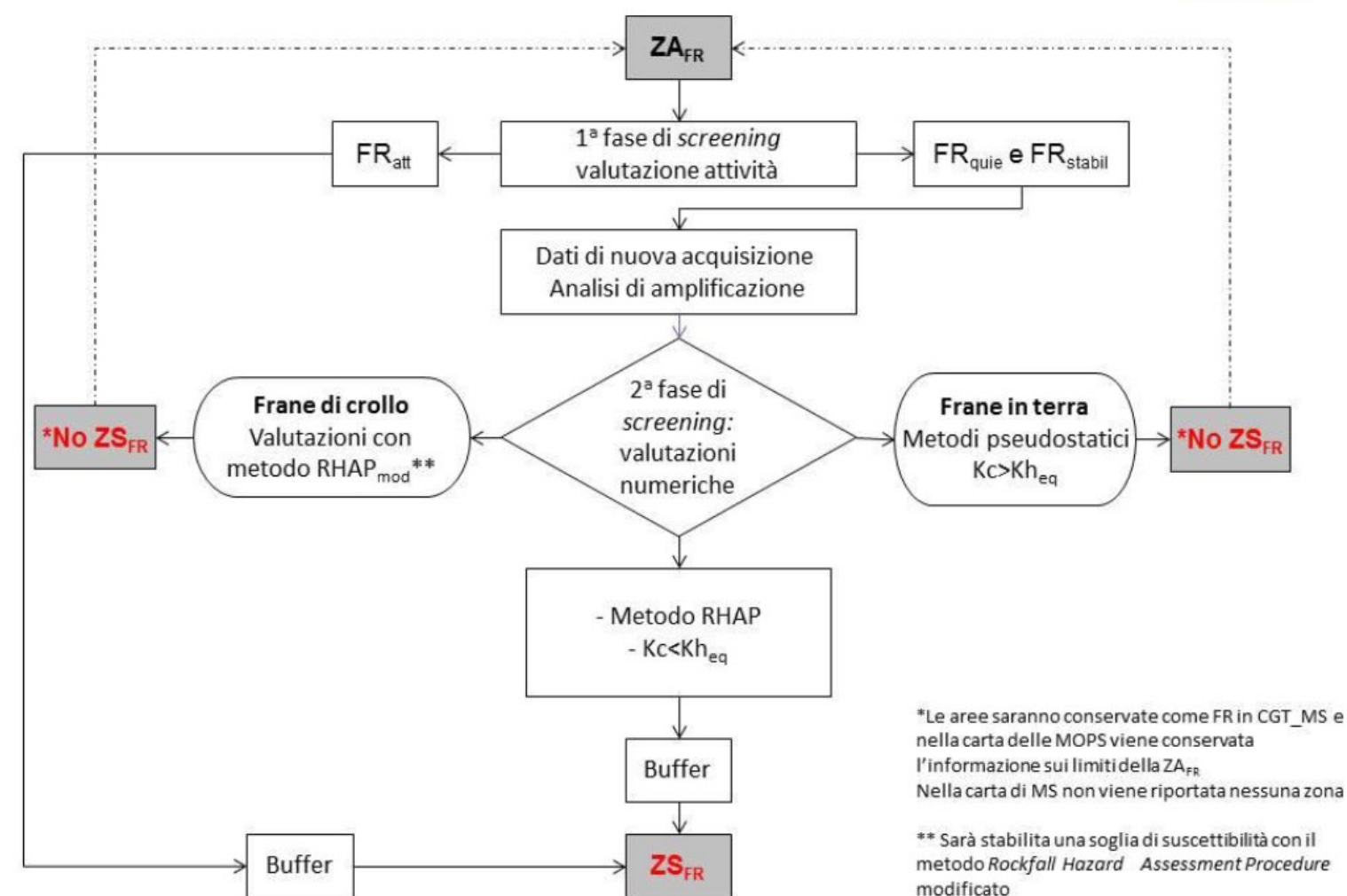
FR: aree in frana da sintesi critica degli inventari (PAI, IFFI, etc.)

APF: aree potenzialmente franose

AE: aree di evoluzione del fenomeno franoso

Con un primo screening escludo quelle aree in cui non è possibile l'attivazione di frane sismoindotte sulla base dei valori dei parametri sismologici (M-D) rispetto a valori di soglia empirici

Segnalazione di instabilità sismo-indotte: es. Catalogo CEDIT che riporta instabilità osservate in occasione di eventi sismici storici



Livello 3:

Si parte dalle ZA

Si valuta stato di attività delle frane:

FR attive: direttamente identificate ZS

FR quiescenti/stabilizzate: si procede, dopo acquisizione di nuovi dati, al secondo screening (metodi pseudostatici per frane in terra e RHAP per frane di crollo) per stabilire la possibile attivazione in caso di terremoto

Alle frane attive e a quelle attivabili dopo screening si assegna un *buffer* (valutazione spostamenti con metodi semplificati o empirici) e quindi sono definite le ZS

Nelle ZS che interessano aree urbanizzate e urbanizzabili, si procede ad acquisire nuovi dati e condurre analisi dinamiche semplificate (metodi degli spostamenti) o avanzate, allo scopo di:

- rivalutare (con nuovi dati) la possibile attivazione in caso di evento sismico
- determinare **l'entità dello spostamento** cumulato del pendio per le frane in terra e la *runout distance* per le frane di crollo (FRR).

Entità spostamento sostituisce buffer → ZR

Contributo di: Francesco Silvestri, Anna d'Onofrio, Gaetano Falcone, Giovanni Forte, Lucia Mele (esperienze: MS Ischia, Campi Flegrei)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

Screening Livello 1

Criticità: relazioni M-D suggerite nelle Linee Guida del Centro MS risultano poco cautelative (Keefer et al 2004)

Discussione: adottare le relazioni magnitudo-distanza di Keefer & co. aggiornate secondo Silvestri et al. (2016) ?

Tipo di Magnitudo (M_s , M_w ...) e distanza (epicentrale, J-B,...) da usare ?

Coppia M-D per il sito ? Da Disaggregazione ? Tr ? Periodo ?

Livello 3 definizione delle ZS (buffer)

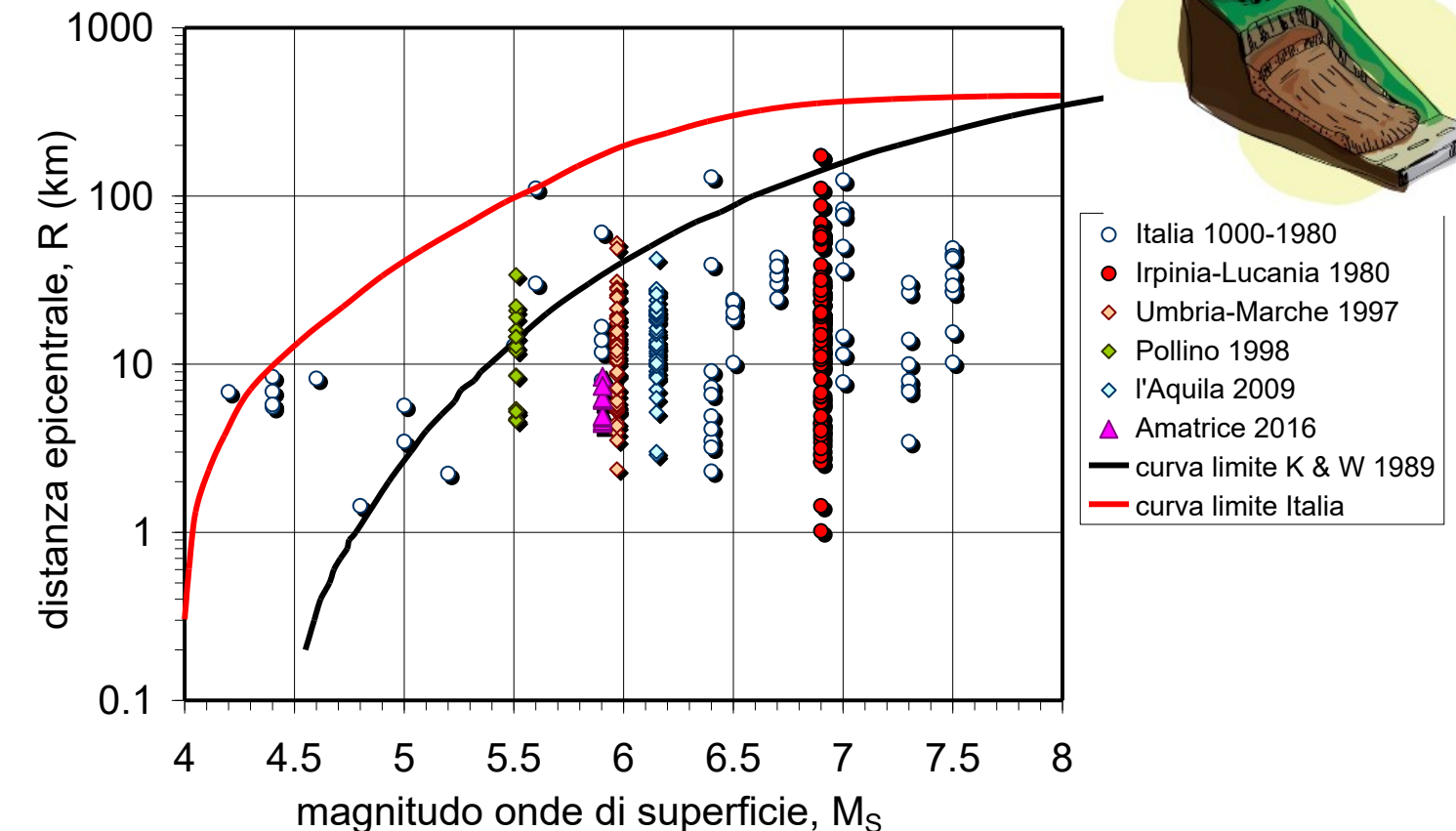
Criticità: predizione degli spostamenti

Discussione: opportuno considerare parametri del moto aggiuntivi (oltre a_{max}) nella scelta della/e relazione/i predittiva/e degli spostamenti

Criticità:

- elevata influenza della falda e delle condizioni di saturazione sull'accelerazione critica
- coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

Molti elementi di discussione → **revisione integrale delle LG ?**



Confronto tra mappe di

$$a_s = S_T S_s a_r$$

e

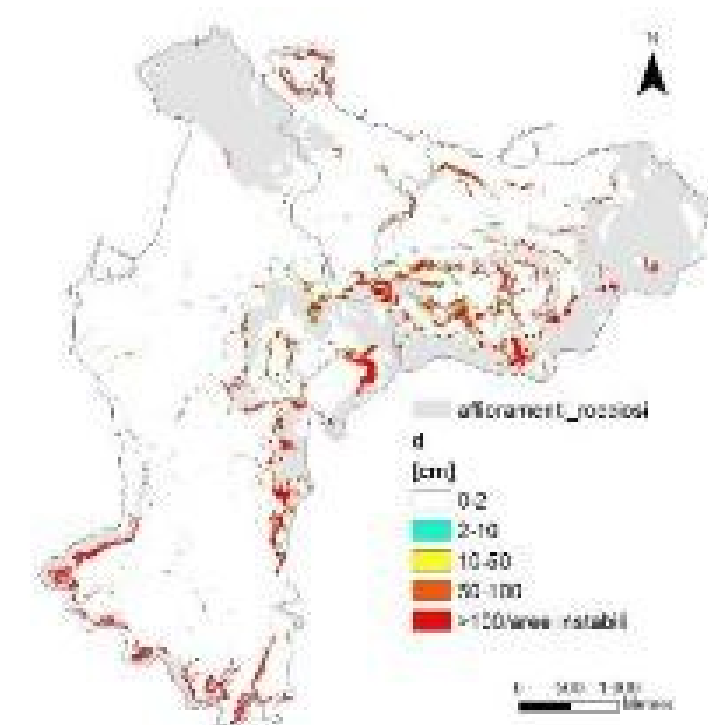
accelerazione critica a_c



spostamenti sismo-indotti

(Gaudio et al., 2020)

$$u = f(a_c/a_s)$$



Cavità

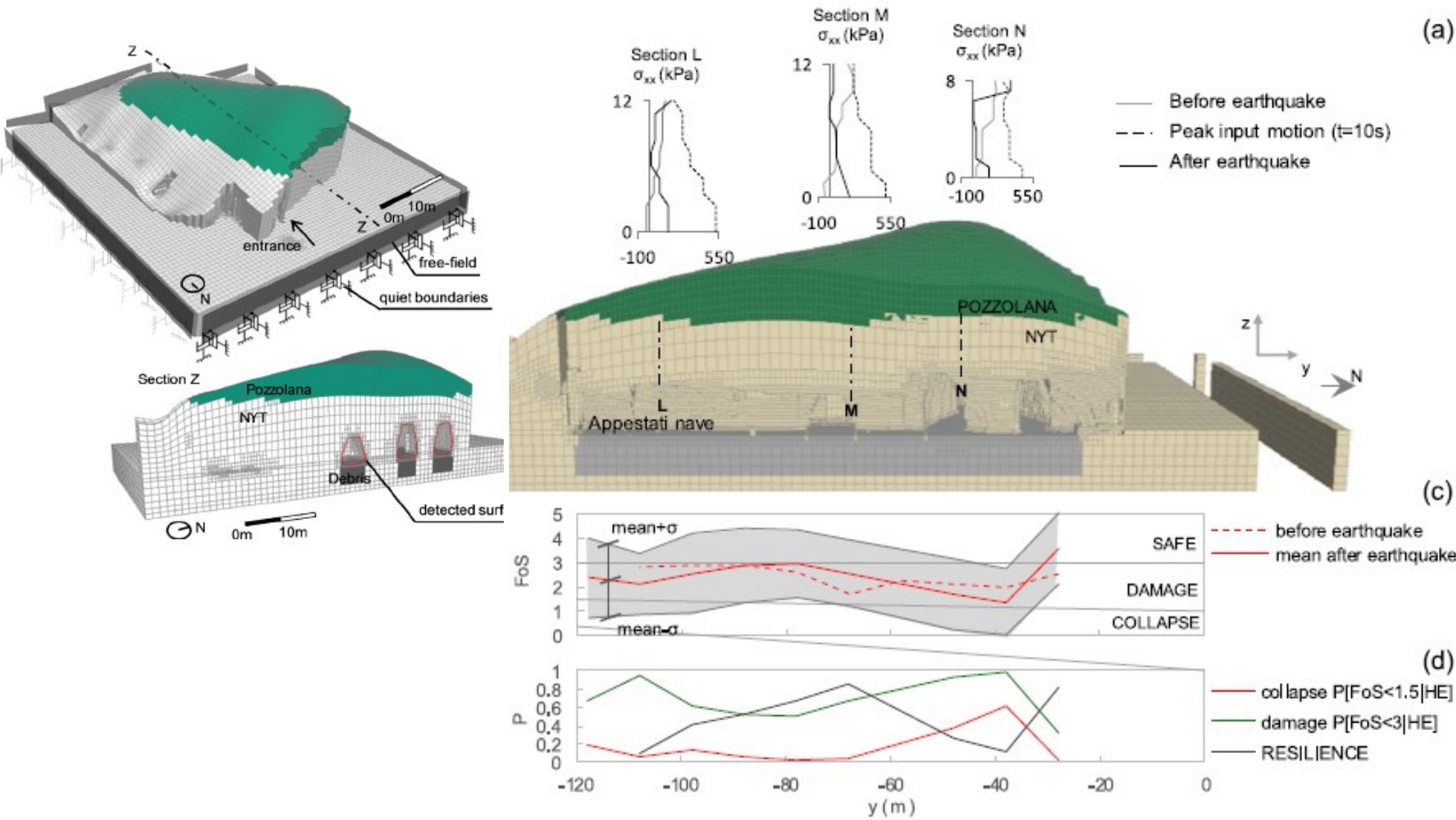
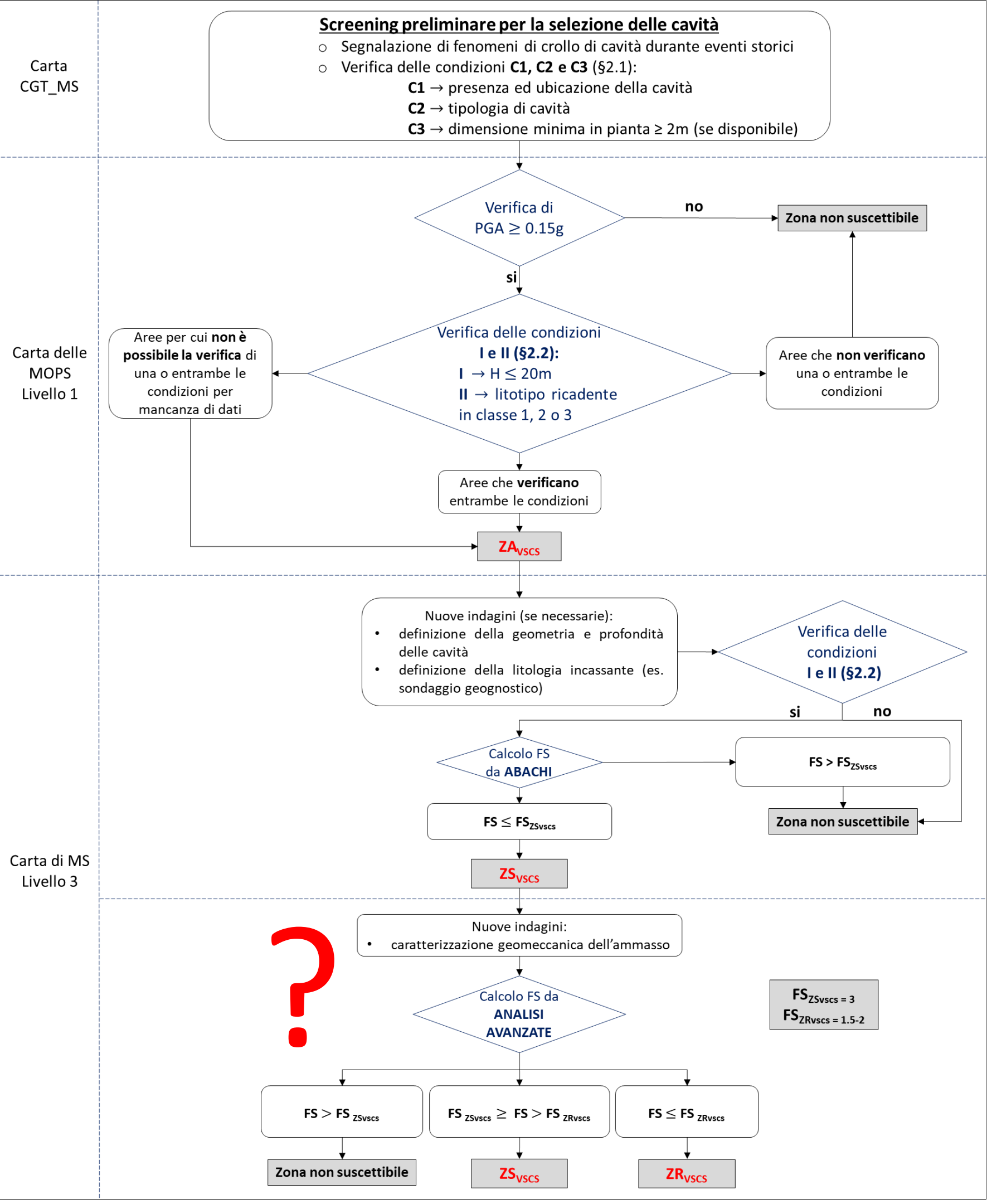


Table 1
Parameters of constitutive models assigned to the soil layers.

Soil layer	Constitutive model	γ kN/m ³	V_s m/s	G_0 MPa	ν /	D_0 %	Peak	
							φ °	c MPa
Pozzolana	Hysteretic Mohr-Coulomb (Perfect Plasticity)	15	290	129	0.30	0.65	33	0.03
NYT	Hysteretic Mohr-Coulomb (Strain Softening Plasticity)	14	650	603	0.17	0.15	29	0.75
Debris	upper lower	13	200 390	53 202	0.37 0.37	2.30 0.15	26	0.04
Bedrock	Elastic	14	800	913	0.17	/	/	/

De Silva e Scotto di Santolo (2018)



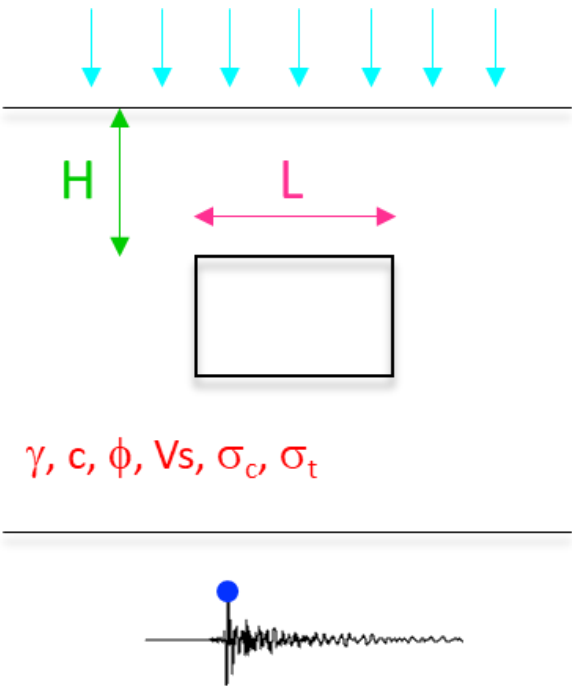
Cavità: criticità nell’applicazione degli abachi

Per l’applicazione degli ABACHI occorre:

- Geometria della cavità (spessore H della copertura e larghezza L della cavità)
 - Classe geotecnica della litologia incassante
 - Carico applicato al piano campagna
 - PGA attesa al sito
- CLASSE 1: resist. a compressione bassa ($6 \leq \sigma_c < 10$ MPa),

CLASSE 2: resist. a compressione molto bassa ($2 \leq \sigma_c < 6$ MPa),

CLASSE 3: resist. a compressione bassissima ($\sigma_c < 2$ MPa)



CLASSE 1 - $0 < q \leq 100$ kN/m²

H (m)	FS (PGA ≤ 0,25g) CLASSE 1 $0 < q \leq 100$ kN/m ²			
	$L \leq 5$	$5 < L \leq 10$	$10 < L \leq 15$	$15 < L \leq 20$
$H \leq 2$	FS > 3	FS < 1,5	-	-
$2 < H \leq 5$	FS > 3	FS > 3	$1,5 \leq FS \leq 3$	FS < 1,5
$5 < H \leq 10$	-	FS > 3	FS > 3	$1,5 \leq FS \leq 3$
$H > 10$	-	-	FS > 3	FS > 3

Criticità 1: difficoltà nella caratterizzazione geometrica (impossibilità di accesso, inefficacia delle indagini da superficie)

Criticità 2: sottostima del reale fattore di sicurezza della cavità dovuta a:

- forme non rettangolari (es. a volta) con minore concentrazione di sforzi
- difficoltà logistiche/economiche nella caratterizzazione dell’ammasso con assunzioni conservative sulla classe della roccia
- presenza di materiali di rivestimento (es. muratura) non considerati negli abachi

Discussione:

- limitare la trattazione delle cavità alla sola definizione delle ZA ? Sviluppare abachi più realistici per la definizione di ZS?

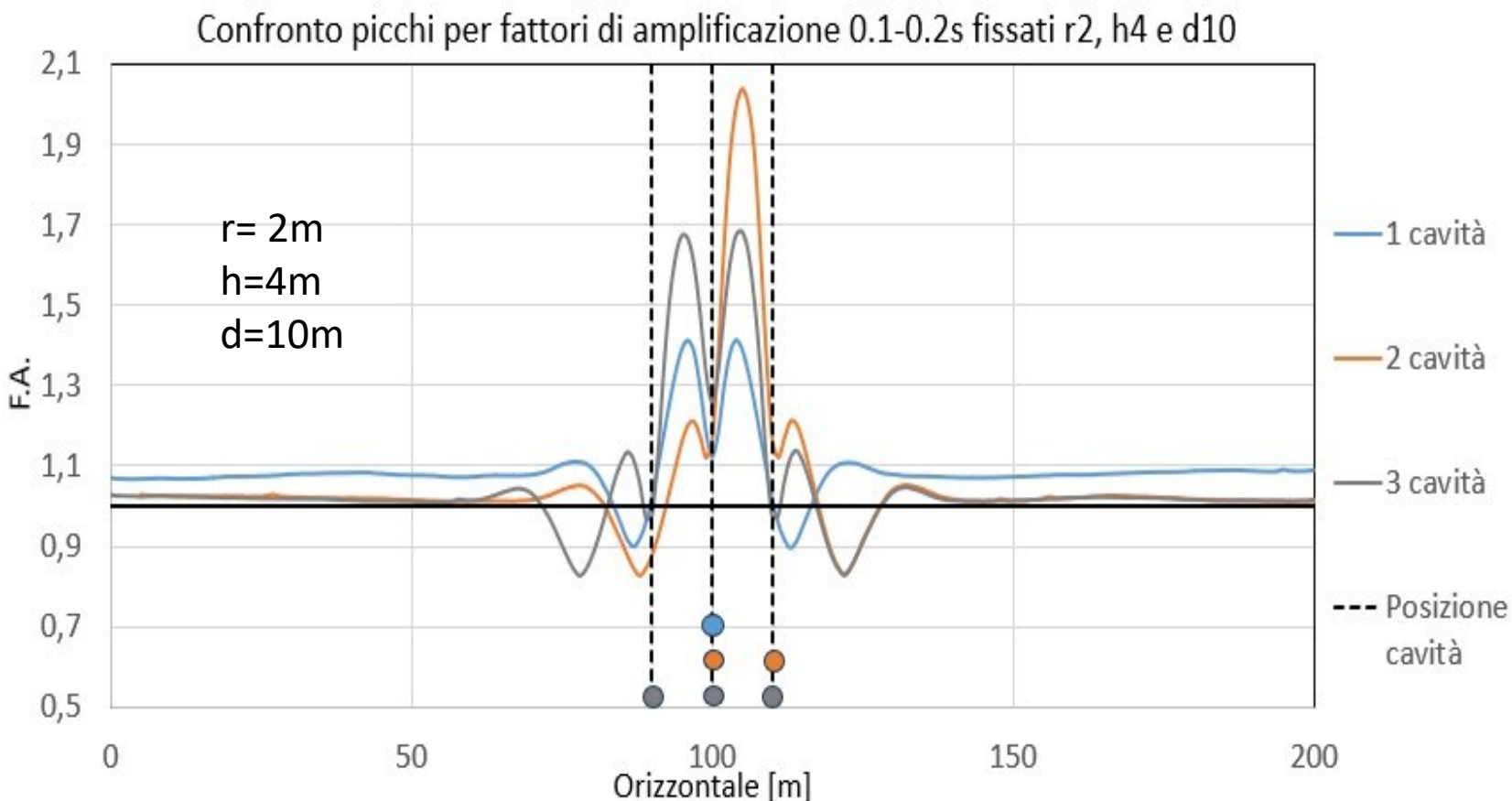
Cavità: amplificazione del moto sismico in presenza di reticoli complessi di cavità (off topic)

Cavità singola:

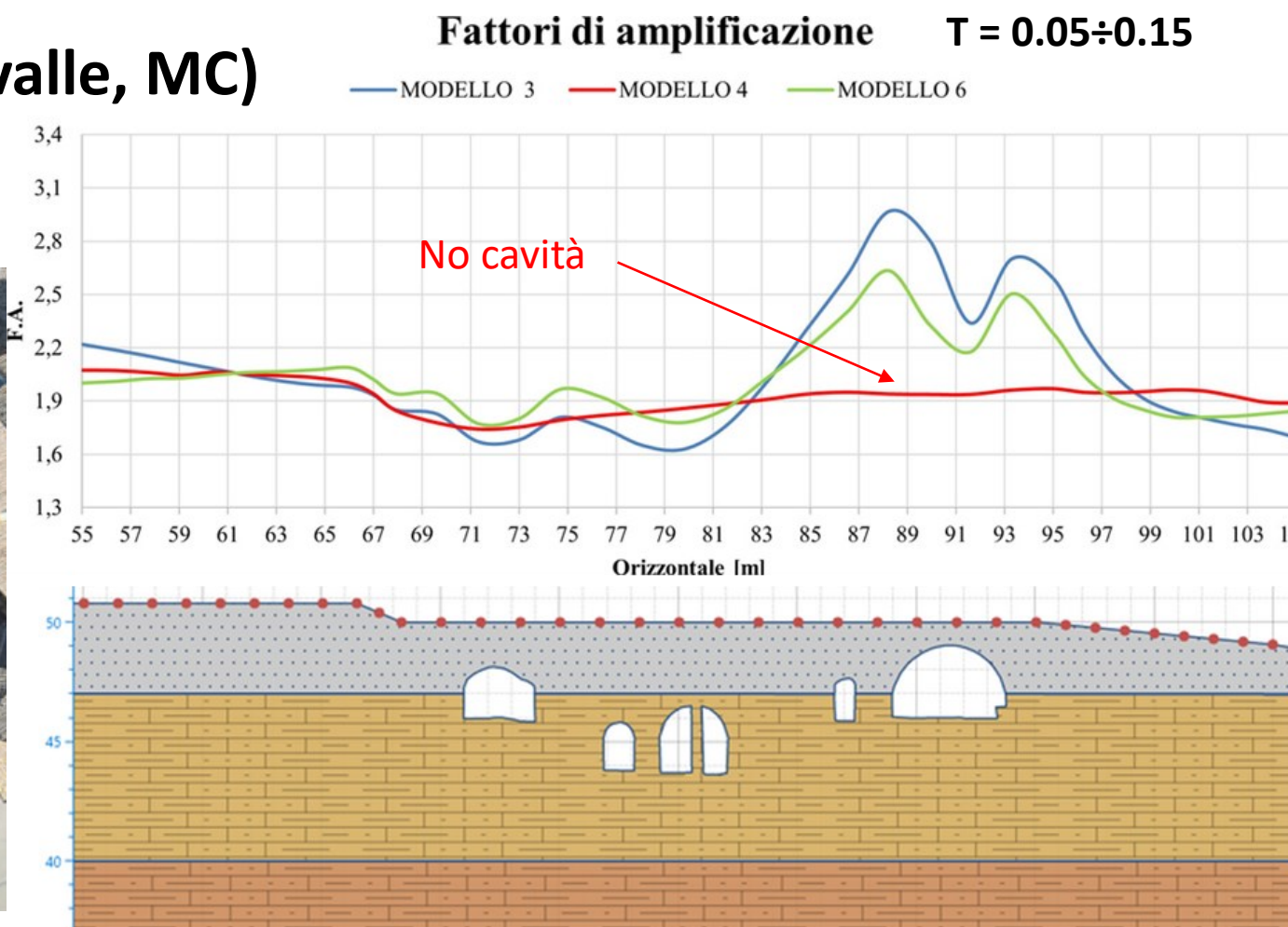
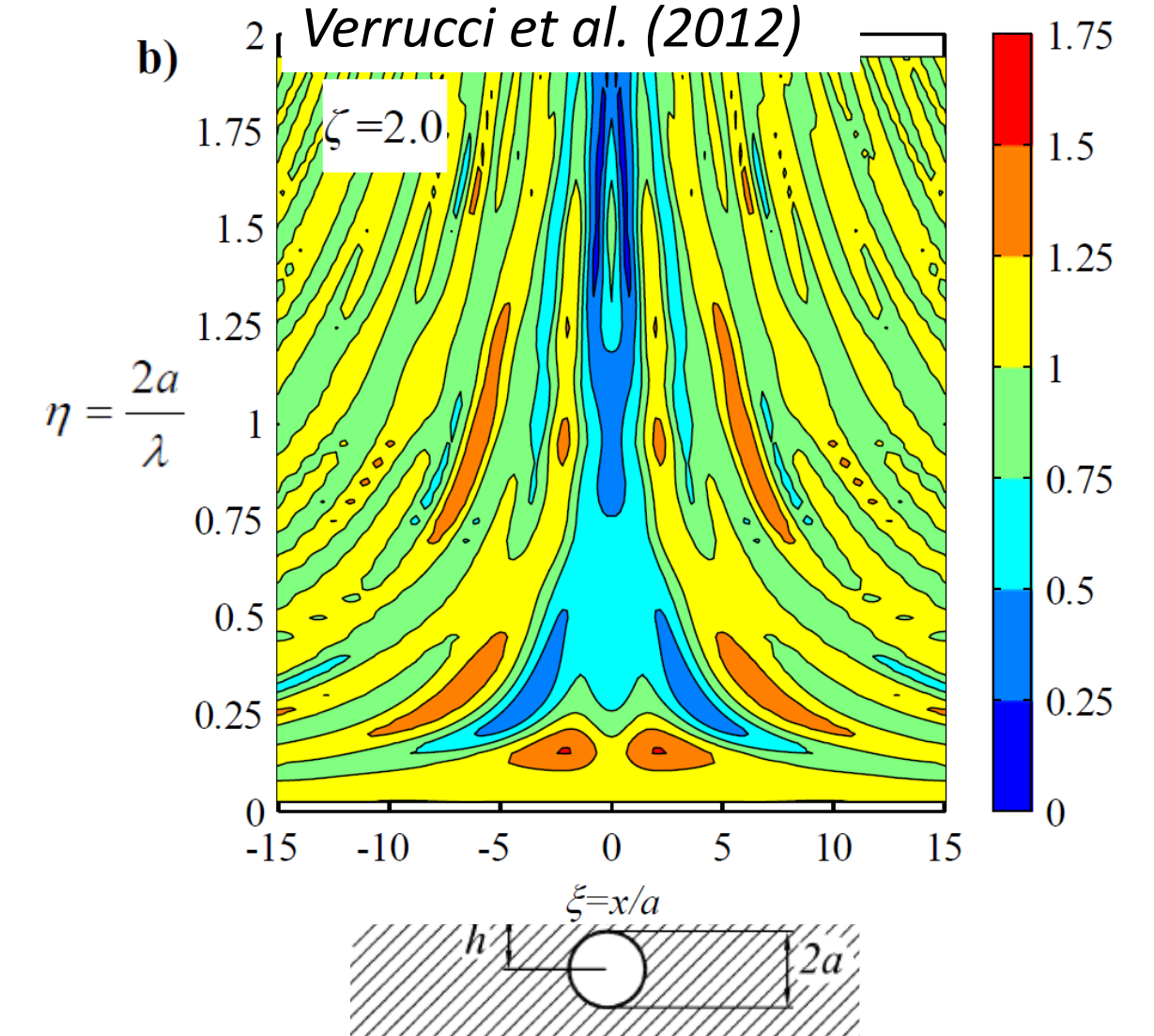
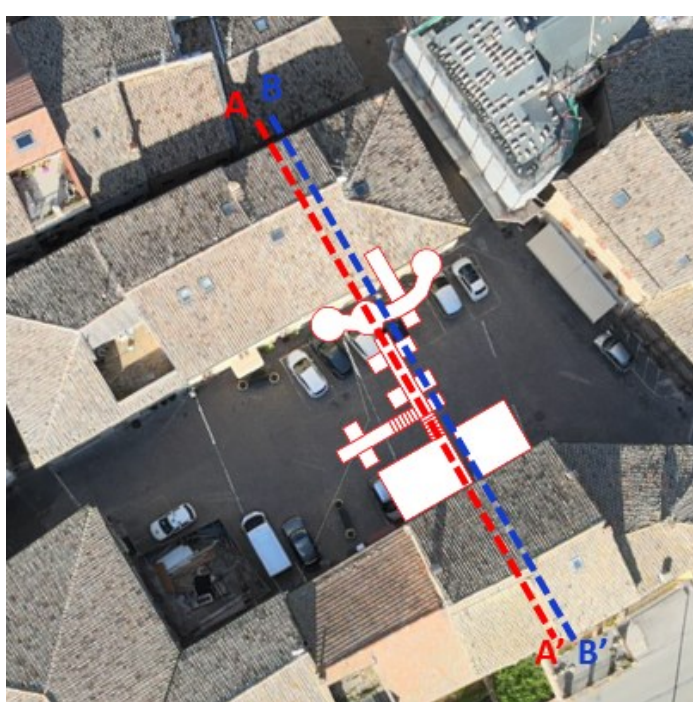
Limitata amplificazione ($A_x > 1.25$) delle armoniche di bassa frequenza relativa ($0.15 < \eta < 0.25$) in corrispondenza delle zone al di sopra dei fianchi della cavità mentre alle frequenze più elevate si ha una generale attenuazione
→ Presenza cavità trascurata nelle analisi di RSL per la MS

Cavità multiple (studio parametrico con cavità circolari):

Le configurazioni con cavità multiple mostrano amplificazioni maggiori rispetto al caso di cavità singola a causa di interferenza costruttiva nello spazio compreso tra le cavità con amplificazione dipendente in maniera complessa da profondità (h) e distanza tra le cavità (d)



Caso di studio (Morrovalle, MC)



Faglie Attive e Capaci: criticità per la gestione del territorio in ZS_{FAC} (CONTRIBUTO DI: PAOLO BONCIO, INGEO-UNICH)

L'obiettivo ideale di un approfondimento di Livello 3 FAC è quello di definire una traccia di FAC certa ed una relativa ZR. Tuttavia, nella realtà degli approfondimenti realizzati ad oggi, **questo obiettivo è difficilmente raggiungibile, anche quando le risorse economiche e di competenze sono adeguate**.

Negli approfondimenti di livello 3 delle Zone FAC, spesso non si è giunti a definire le ZR_{FAC} fermandosi quindi alle **ZS_{FAC}** quando:

- non è stato possibile escludere l'instabilità per motivi geologici e/o logistici e/o per assenza di indagini sistematiche;
- la ZS_{FAC} vuole tenere conto della possibilità di rotture secondarie non meglio quantificabili; ad esempio, ma non solo, in aree di particolare complessità strutturale;
- non è stato possibile definire con certezza la traccia della FAC (tracce di FAC_b) e quindi non è stato possibile definire la ZR_{FAC} .

Faglie Attive e Capaci: criticità nella definizione e calcolo del parametro DISL in ZR e ZS

A seguito degli approfondimenti di Livello 3 per ‘la ridefinizione delle Zone di Attenzione delle Faglie Attive e Capaci emerse dagli studi di microzonazione sismica effettuati nei Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016’:

La Commissione Paritetica INGV, in accordo con la comunità dei ricercatori che ha operato nella definizione delle Zone di Rispetto e Suscettibilità, ha concluso che la quantificazione del rigetto massimo dei singoli segmenti di faglia è nella maggior parte dei casi impossibile da realizzare o, dove possibile, affetto da errori epistemici. Questo rende di fatto inattuabile la quantificazione del parametro **DISL** così come definito nelle “Linee guida” (uguale alla massima dislocazione attesa in superficie).

La problematica è stata discussa nell’ambito del gruppo di lavoro, e di comune accordo si è stabilito di rimodulare quanto richiesto nelle linee guida in merito al tipo di dislocazione da utilizzare e ai metodi di determinazione o di calcolo da utilizzare per la definizione del parametro DISL.

È stata inoltre discussa **la difficoltà di inserire il parametro DISL nelle Zone di Suscettibilità (ZS_{FAC}) e si è deciso di avanzare la proposta di limitare la definizione del parametro DISL alle sole Zone di Rispetto (ZR_{FAC})**.

Sarebbe opportuno che le Linee guida FAC recepissero formalmente la proposta del GdL dell’Accordo PCM-INGV (già avanzata).



Thank you for your attention

Alessandro Pagliaroli

alessandro.pagliaroli@unich.it

th
44th GNGTS National Conference
Udine, 10-13 February 2026

CENTROMS


CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

