

*Microzonazione sismica:
un approccio integrato tra geologia e geofisica
Dalla ricerca storica ai cataloghi, dalle faglie capaci al database delle
sorgenti sismogeniche, dall'analisi sul terreno agli studi geofisici*

*Fondazione Museo Civico Rovereto Rovereto
Sala conferenze "Fortunato Zeni"*

Applicazioni urbanistiche e progettuali della microzonazione sismica

Giuseppe Naso
Dipartimento della protezione civile
Servizio Rischio Sismico



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

La microzonazione sismica

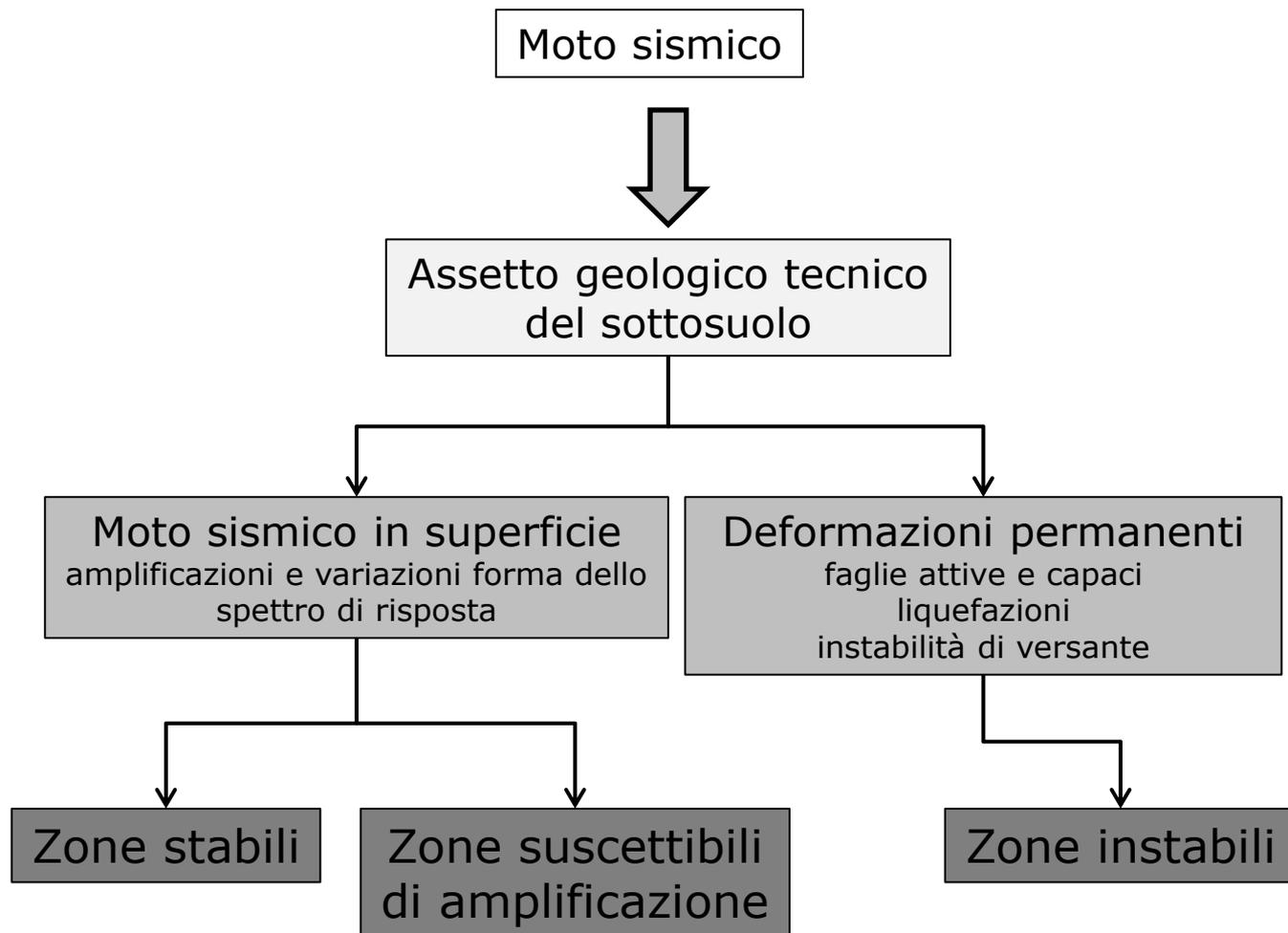
- Il fenomeno fisico

Forzante

Contesto fisico

Effetti sul territorio

Microzonazione sismica

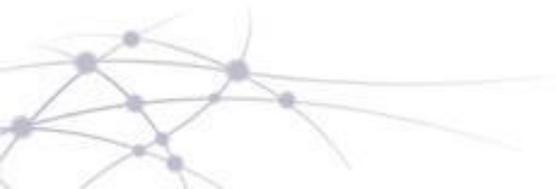


La microzonazione sismica

- Le microzone

I risultati degli studi di Microzonazione Sismica (MS) sono sintetizzati e rappresentati su carte tematiche del territorio, carte di MS, distinguendo le microzone in:

- **zone stabili**, nelle quali il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida (una roccia lapidea e non pervasa da fratture e non interessata da significativi fenomeni di alterazione) e pianeggiante;
- **zone stabili con amplificazioni**, nelle quali il moto sismico viene modificato, rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche geologiche/geofisiche/geotecniche e morfologiche del territorio.
- **zone instabili**, in cui si possono attivare (innescati dal sisma) fenomeni di deformazione permanente del territorio come le frane, la liquefazione del terreno, la fagliazione superficiale e i cedimenti differenziali del terreno.



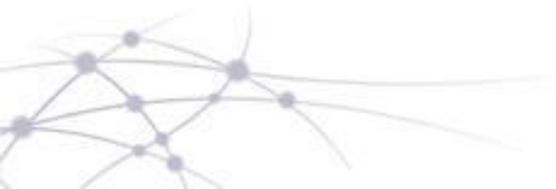
La microzonazione sismica

- Le applicazioni

Pianificazione territoriale

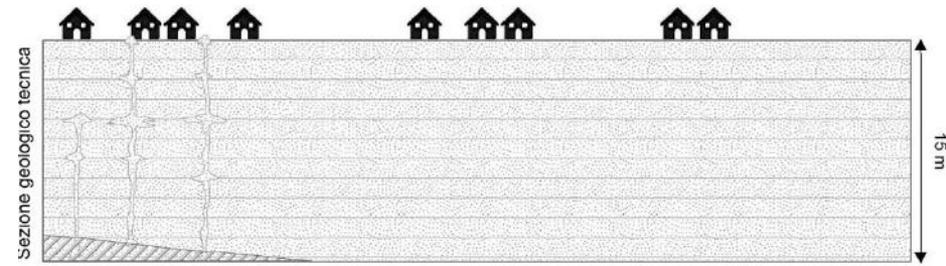
Progettazione di opere

Pianificazione dell'emergenza sismica



La microzonazione sismica

- Complessità del territorio
- Dal punto di vista della pericolosità sismica locale un'area è definibile come "**complessa**" quando, in superficie e nel sottosuolo, sono presenti elementi geologici e geomorfologici, non descrivibili con modellazioni 1D, che possono indurre modificazioni del moto sismico (amplificazioni) e deformazioni permanenti durante un evento sismico



Legenda



Substrato:
lapideo



Copertura sedimentaria:
alternanza sabbioso-argillosa



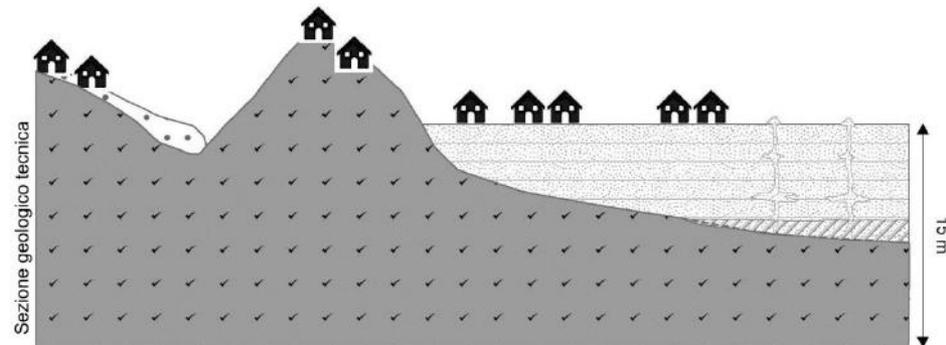
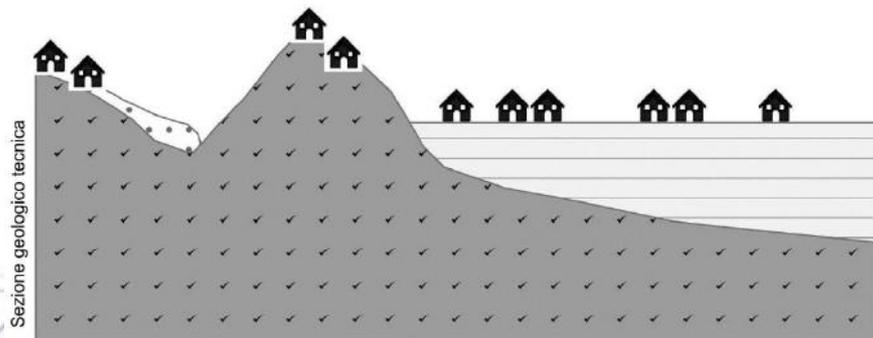
Copertura sedimentaria:
terreni coesivi

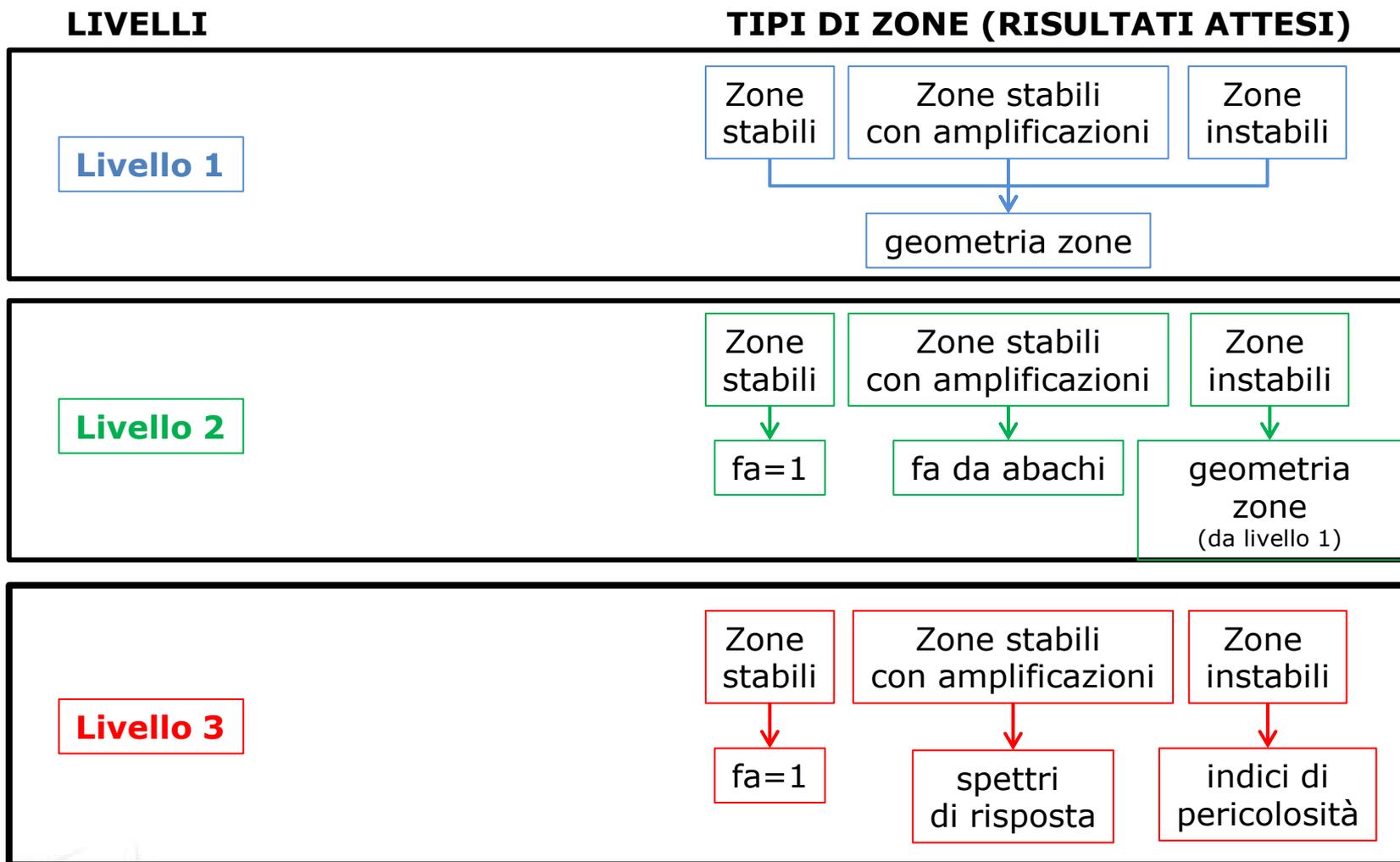


Frana



Falda





- I tre livelli di studio **non sono strettamente sequenziali** (dal livello 1 al livello 3, passando obbligatoriamente per il livello 2), ma, in funzione della complessità geologico tecnica del territorio, si passa dal livello 1 (obbligatorio) al livello 2 e/o al livello 3

La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

Le zone stabili con amplificazione sono caratterizzate quantitativamente nei livelli di approfondimento 2 e 3.

Questi livelli consentono di associare alle zone, definite nella Carta di livello 1:

- valori dei **fattori di amplificazione, FA** (livello 2 con procedure semplificate: *abachi* e livello 3 con un rapporto tra spettri di risposta)
- **spettri di risposta** sismica in superficie (limitatamente al livello 3).



La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

Abachi:

metodologia che, sulla base di dati litostratigrafici (spessore delle coperture, depositi di riempimento della valle o bacino, profondità e tipo di substrato), geotecnici e geofisici (velocità di propagazione delle onde S nell'intervallo di copertura considerato e del substrato, periodo fondamentale dei terreni di copertura) acquisiti con indagini di tipo corrente, permettono la stima dell'amplificazione in superficie con FA. I risultati ottenuti con l'applicazione degli abachi non danno nessuna indicazione sulla forma degli spettri elastici di risposta in superficie.



La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

Ai fini dell'utilizzazione di risultati sull'amplificazione conviene definire **periodi di interesse** in funzione del numero di piani in elevazione degli edifici da progettare o da verificare (e in prima approssimazione, con caratteristiche strutturali omogenee).

N piani	Htot[m]	T1ca[s]	T1mur[s]
1	3,3	0,18	0,12
2	6,6	0,31	0,21
3	9,9	0,42	0,28
4	13,2	0,52	0,35
5	16,5	0,61	0,41
6	19,8	0,70	0,47
7	23,1	0,79	0,53
8	26,4	0,87	0,58
9	29,7	0,95	0,64
10	33	1,03	0,69

I periodi in tabella possono essere raggruppati in **tre classi di intervalli**:

0.1-0.5 s

0.4-0.8 s

0.7-1.1 s

La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

I **fattori di amplificazione (FA)** sono espressi come il rapporto, per un determinato intervallo di periodi T , tra il moto alla superficie del sito d'interesse e il moto alla superficie di un sito di riferimento, calcolato secondo la seguente relazione:

$$FA = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Sa \, dT}{\int_{T_1}^{T_2} Sb \, dT}$$

Dove:

- Sa è lo spettro di risposta elastico (in accelerazione) della componente orizzontale del moto sulla superficie libera al di sopra della copertura
- Sb è lo spettro di risposta elastico (in accelerazione) al sito di riferimento
- T_1 e T_2 rappresentano gli estremi dell'intervallo di periodi considerati (0.1-0.5; 0.4-0.8; 0.7-1.1)

Per le zone stabili il FA è uguale a 1.0.

La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

- L'analisi dei soli **FA** non consente di valutare in maniera completa la pericolosità sismica (pericolosità di base e pericolosità locale) e non permette eventuali **confronti** tra aree comunali diverse
- le analisi dello scuotimento in superficie sono in generale svolte per **input sismici** congrui con una pericolosità calcolata per tempi di ritorno di 475 anni (più raramente le analisi si sviluppano per tempi di ritorno di 50 e 101 anni)
- all'interno di ogni singolo comune è frequente la presenza di aree caratterizzate da **numerose classi di FA**
- i FA sono calcolati in modo diverso nelle diverse realtà regionali ovvero utilizzando sia **spettri in accelerazione, che in velocità**
- gli intervalli di periodi sui quali si calcolano i FA sono generalmente solo tra **0.1-0.5 s**
- per alcune aree, della stessa carta di MS, i FA sono calcolati con l'utilizzo di **abachi** (sottosuolo non complesso, livello 2), in altre con metodi avanzati (sottosuolo complesso, livello 3) e le incertezze sui risultati sono maggiori quando, per il calcolo dei FA, si utilizzano gli abachi

Param.	Descrizione
FA	Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS (2008)
FV	Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS (2008)
Ft	Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS (2008)
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FA0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FA0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA

La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

Si vuole allora costruire un parametro sismico che, a partire dai valori di **FA** calcolati negli studi di MS e la **pericolosità sismica di base** del territorio indagato, consenta di stimare il livello di pericolosità sismica delle diverse parti del territorio, permettendo anche un confronto con analoghe stime ottenute in altre aree

In particolare tale parametro sismico dovrà:

- "contenere" i FA delle carte di MS;
- permettere di stabilire una graduatoria assoluta di pericolosità sismica.

Questo parametro di pericolosità sismica è stato denominato



H_{MS}

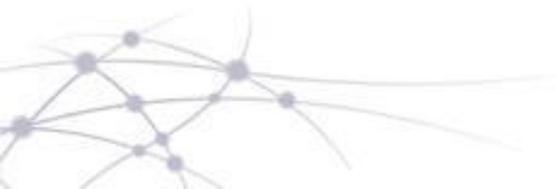


La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}

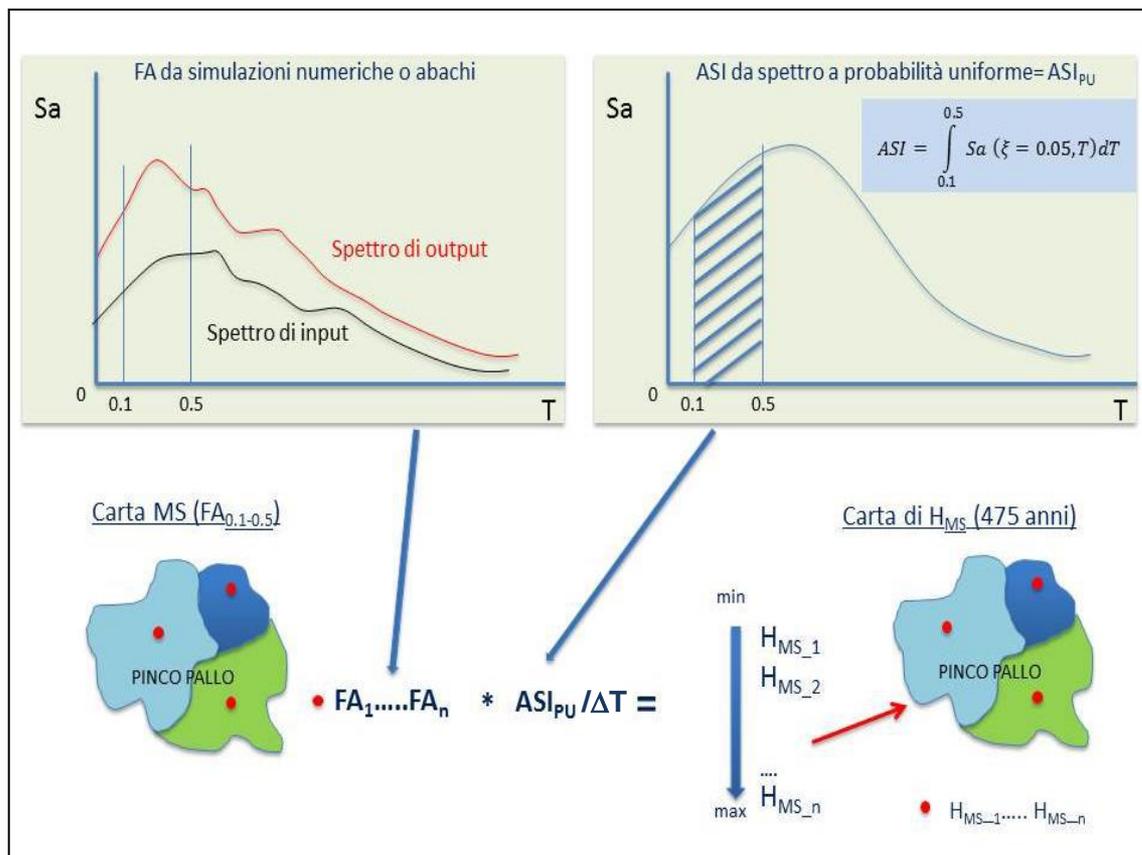
La procedura "standard" per ciascuna zona omogena prevede i seguenti passi:

- 1) calcolo dei **FA** in pseudoaccelerazione, in uno o più intervalli di periodi previsti, compatibili con l'edificato dell'area considerata. Gli input sismici, utilizzati nelle simulazioni numeriche o nella costruzione degli abachi litostratigrafici, dovranno essere spettrocompatibili con lo spettro di pericolosità di base, con un tempo di ritorno di 50, 100 e 475 anni, negli intervalli di periodi scelti.
- 2) calcolo dell'integrale, negli intervalli di periodi scelti, dello **spettro probabilistico di pericolosità di base** (roccia rigida e morfologicamente piatta) a probabilità uniforme (PU) in pseudoaccelerazione, con un tempo di ritorno di 50, 100 e 475 anni; l'integrale dello spettro in accelerazione è l'Acceleration Spectrum Intensity (ASI in Von Thun *et alii*, 1988), quindi si farà riferimento a questo integrale come ASI_{PU} , che viene calcolato nel baricentro del centro abitato.
- 3) calcolo di **$H_{MS} = ASI_{PU} * FA / \Delta T$** . H_{MS} ha le dimensioni di una accelerazione, in quanto rapporto tra il prodotto di un integrale di uno spettro in pseudoaccelerazione (ASI_{PU}) per una quantità adimensionale (FA) e un intervallo di periodo (ΔT).



La microzonazione sismica

- L'amplificazione e il parametro H_{MS}



La microzonazione sismica

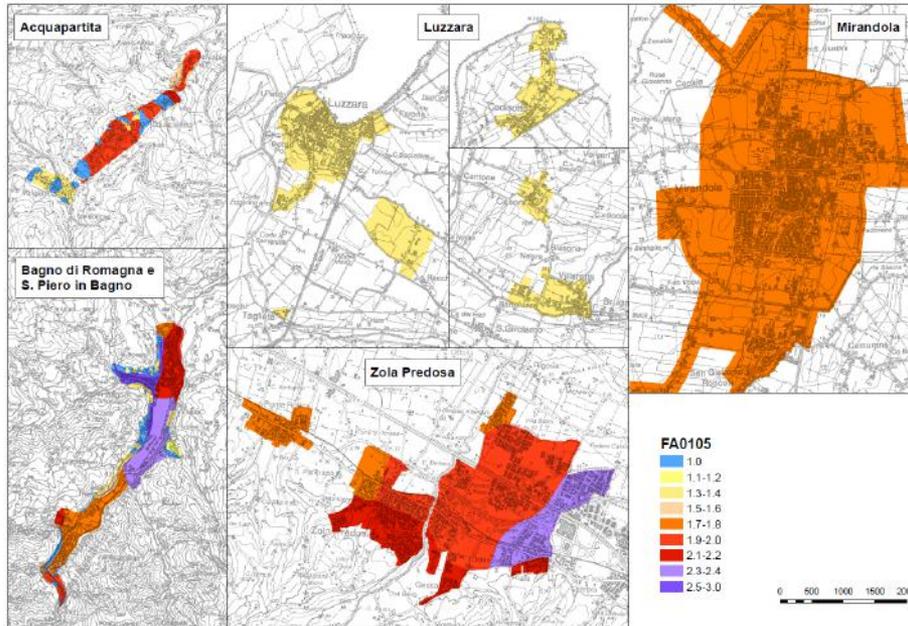
- L'amplificazione e il parametro H_{MS}
- Il parametro H_{MS} è rappresentativo della pericolosità sismica di una data porzione del territorio, tenendo conto dei risultati degli studi di MS.
- A partire dai valori di H_{MS} risulta possibile confrontare il livello di pericolosità di aree diverse del territorio nazionale.
- Per omogeneità con le procedure già adottate in alcune normative regionali, i valori di H_{MS} sono raggruppati in quattro classi, che in definitiva sono **4 classi di pericolosità sismica**.
- Si definiscono soglie di definizione delle classi per i valori di H_{MS} . Queste soglie distinguono pericolosità, "**Bassa**", "**Media**", "**Alta**", "**Molto alta**".

Pericolosità sismica	Bassa	Media	Alta	Molto Alta
$H_{MS} = ASI_{PU} * FA / \Delta T$ (cm/s^2)	≤ 175	$175 < H_{MS} \leq 325$	$325 < H_{MS} \leq 1235$	> 1235

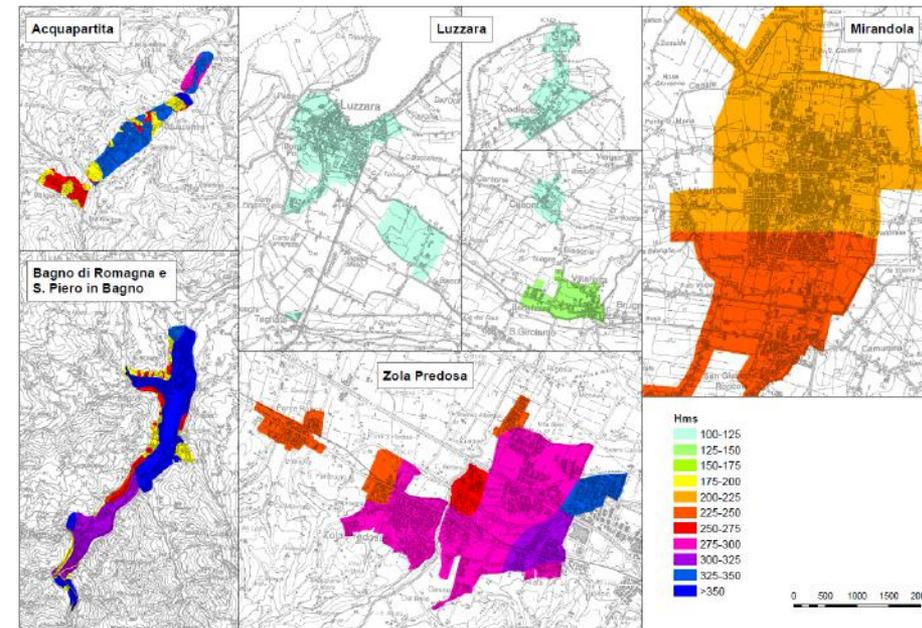
I valori di soglia delle classi della tabella 1 sono stati definiti empiricamente, attraverso valutazioni di studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 e valutazioni del danno potenziale associato ai quattro livelli di pericolosità

La microzonazione sismica

- Il parametro H_{MS} e le applicazioni urbanistiche

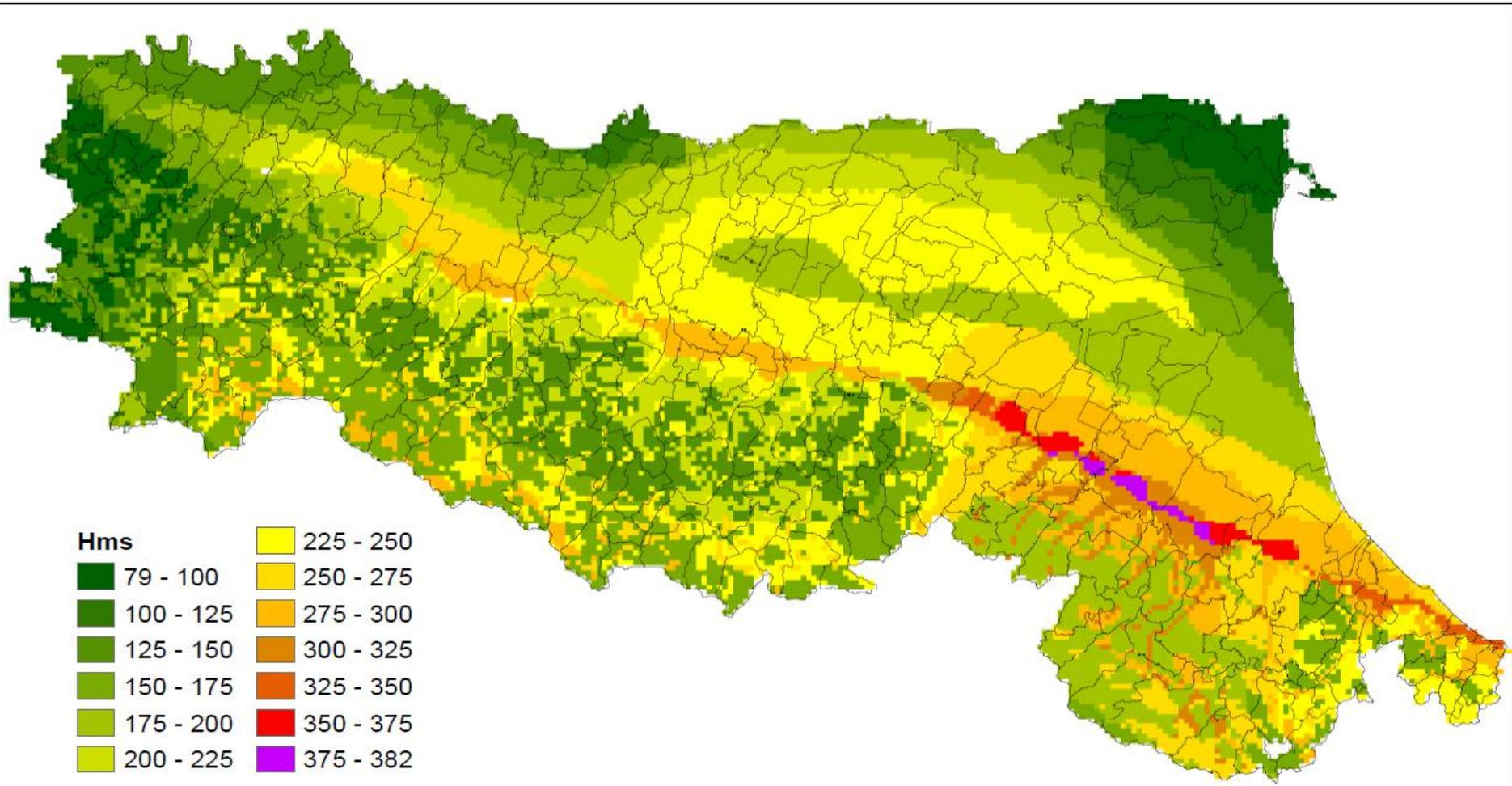


Nonostante una pericolosità di base di valore medio, i FA elevati ($1,7 < FA_{0105} < 2,4$) determinano nella zona del margine (Zola Predosa) e nell'area di alto strutturale sepulto (Mirandola) alti valori di pericolosità assoluta ($H_{MS} > 225$), maggiori di quelli di alcune zone di Bagno di Romagna a più alta pericolosità di base.



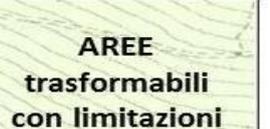
La microzonazione sismica

- Il parametro H_{MS} e le applicazioni urbanistiche



La microzonazione sismica

- Il parametro H_{MS} e le applicazioni urbanistiche

Categorie urbanistiche Pericolosità	 AREE EDIFICATE	 AREE DA EDIFICARE	 AREE trasformabili con limitazioni
Bassa			
Media			
Alta			
Molto alta			



La microzonazione sismica

- Il parametro H_{MS} e le applicazioni urbanistiche

Pianificazione interventi

Pericolosità \ Categorie urbanistiche	AREE EDIFICATE	AREE DA EDIFICARE	AREE trasformabili con limitazioni
Bassa			
Media	Graduatoria priorità di intervento per livelli di pericolosità	Norme e regolamenti regionali per livelli di pericolosità	Norme e regolamenti regionali per livelli di pericolosità
Alta			
Molto alta			

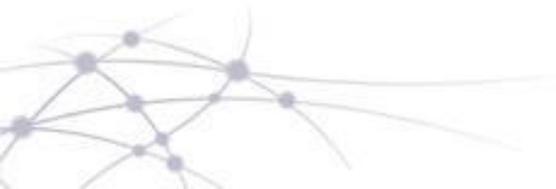
Monitoraggio e controllo

Pericolosità \ Categorie urbanistiche	AREE EDIFICATE	AREE DA EDIFICARE	AREE trasformabili con limitazioni
Bassa	Verifica edificio/progetto a sorteggio (*40%)		
Media	Verifica edificio/progetto obbligatoria		
Alta			
Molto alta			

* Il valore è indicativo. Le Regioni possono variarlo secondo le proprie norme e regolamenti

La microzonazione sismica

- Utilizzo dei risultati di MS per la progettazione di opere: da H_{MS} agli spettri di risposta
- Con riferimento a quanto indicato negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Gruppo di lavoro MS, 2008), gli studi di MS di livello 3 possono fornire utili **indicazioni per la progettazione** delle nuove costruzioni e degli interventi sulle costruzioni esistenti.
- I risultati degli studi di MS di livello 3, infatti, possono essere di supporto e di indirizzo agli studi di risposta sismica locale, per valutazioni, sotto l'esclusiva responsabilità del progettista:
 - ✓ sulla **possibilità o meno di utilizzare l'approccio semplificato**
 - ✓ su eventuali amplificazioni che coinvolgano **volumi di sottosuolo più estesi rispetto al volume significativo interessato dalle fondazioni** (es. aree di versante, substrato sismico articolato, valle stretta, ecc.).



La microzonazione sismica

- Utilizzo dei risultati di MS per la progettazione di opere: da H_{MS} agli spettri di risposta
- Nelle microzone a "Bassa" e "Media" pericolosità, definite con H_{MS} , si potrà applicare **l'approccio semplificato della normativa** (categorie di sottosuolo e spettri semplificati).
- Nelle microzone ad "Alta" e "Molto alta" pericolosità, per definire lo spettro di progetto saranno necessari ulteriori approfondimenti numerici.
- In tal caso, si dovrà **confrontare lo spettro di risposta ottenuto dallo studio di MS livello 3 (regolarizzato) con quello dell'approccio semplificato della normativa sismica**, per la categoria di sottosuolo propria della microzona (già individuata con gli studi di MS).

Categorie urbanistiche Pericolosità H_{MS}	AREE EDIFICATE	AREE DA EDIFICARE	AREE trasformabili con limitazioni
	Bassa	Approccio semplificato di NTC08	
Media			
Alta	Specifiche analisi di NTC08 o spettri da studi MS <i>Fortemente sconsigliato approccio semplificato di NTC08</i>		
Molto alta			

La microzonazione sismica

- Utilizzo dei risultati di MS per la progettazione di opere: da H_{MS} agli spettri di risposta

Pericolosità alta – molto alta

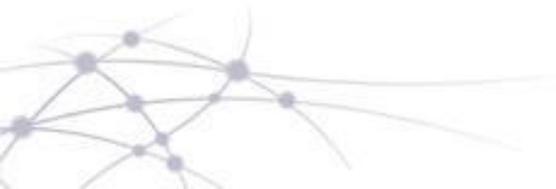
Per il periodo di interesse dell'opera, dovranno essere valutate le seguenti **due condizioni di differenze in eccesso**:

- almeno uno tra i valori minimo e massimo dello spettro di MS di livello 3 è superiore del 20% rispetto ai valori minimo e massimo, rispettivamente, dello spettro semplificato di norma;
- l'integrale dello spettro di MS di livello 3 è superiore del 20% rispetto allo spettro semplificato di norma.



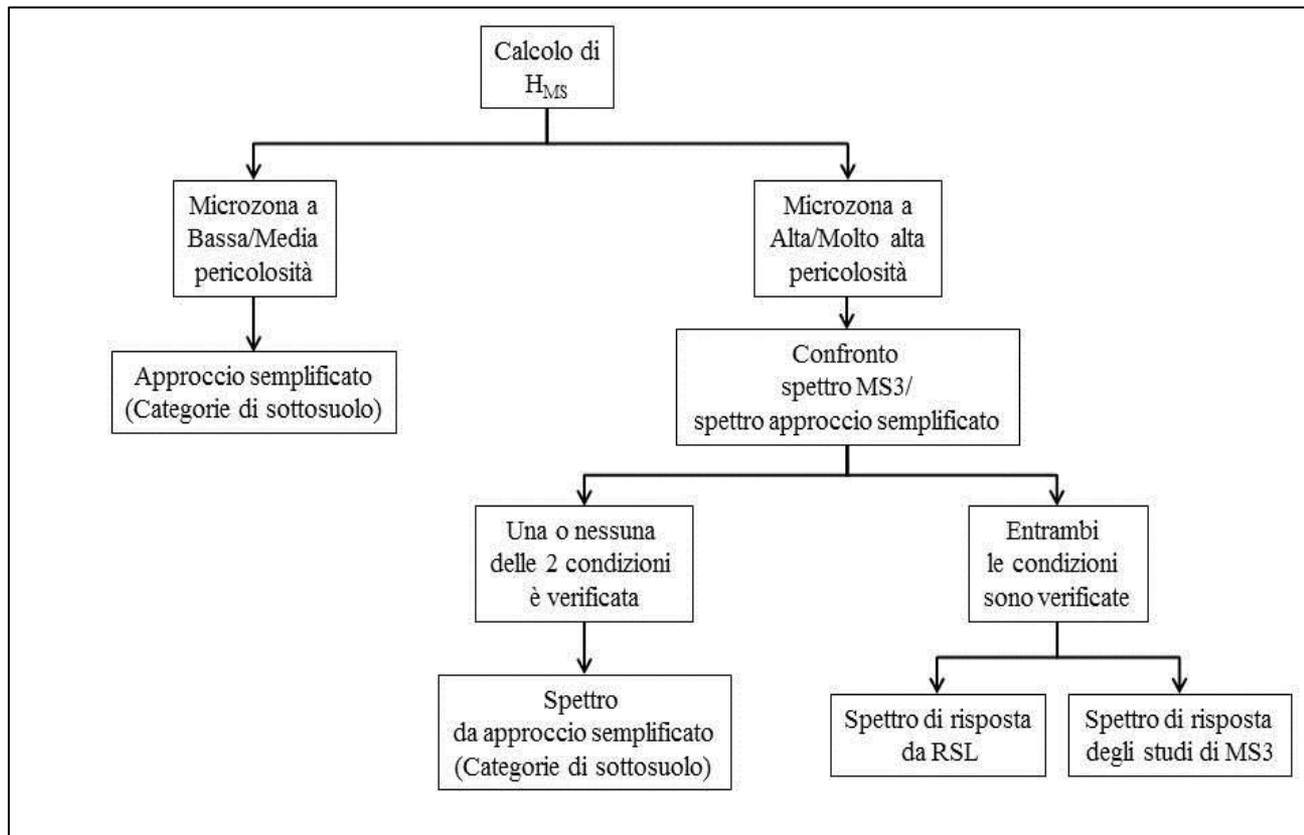
La microzonazione sismica

- Utilizzo dei risultati di MS per la progettazione di opere: da H_{MS} agli spettri di risposta
- Se **entrambe le condizioni sono verificate**, lo spettro di MS di livello 3 si discosta significativamente in eccesso da quello previsto dall'approccio semplificato della norma. Gli esiti degli studi di MS daranno quindi indicazioni affinché, in fase di progettazione degli interventi, si proceda con **un'analisi di risposta sismica locale**. Nel caso che il progettista dell'opera lo ritenga affidabile, significativo e rappresentativo dell'assetto del sito, potrà utilizzare lo **spettro di risposta calcolato negli studi di MS**.
- Se **almeno una delle condizioni non è verificata**, lo spettro di MS di livello 3 non si discosta significativamente in eccesso da quello previsto dall'approccio semplificato della norma e quindi è possibile utilizzarlo.



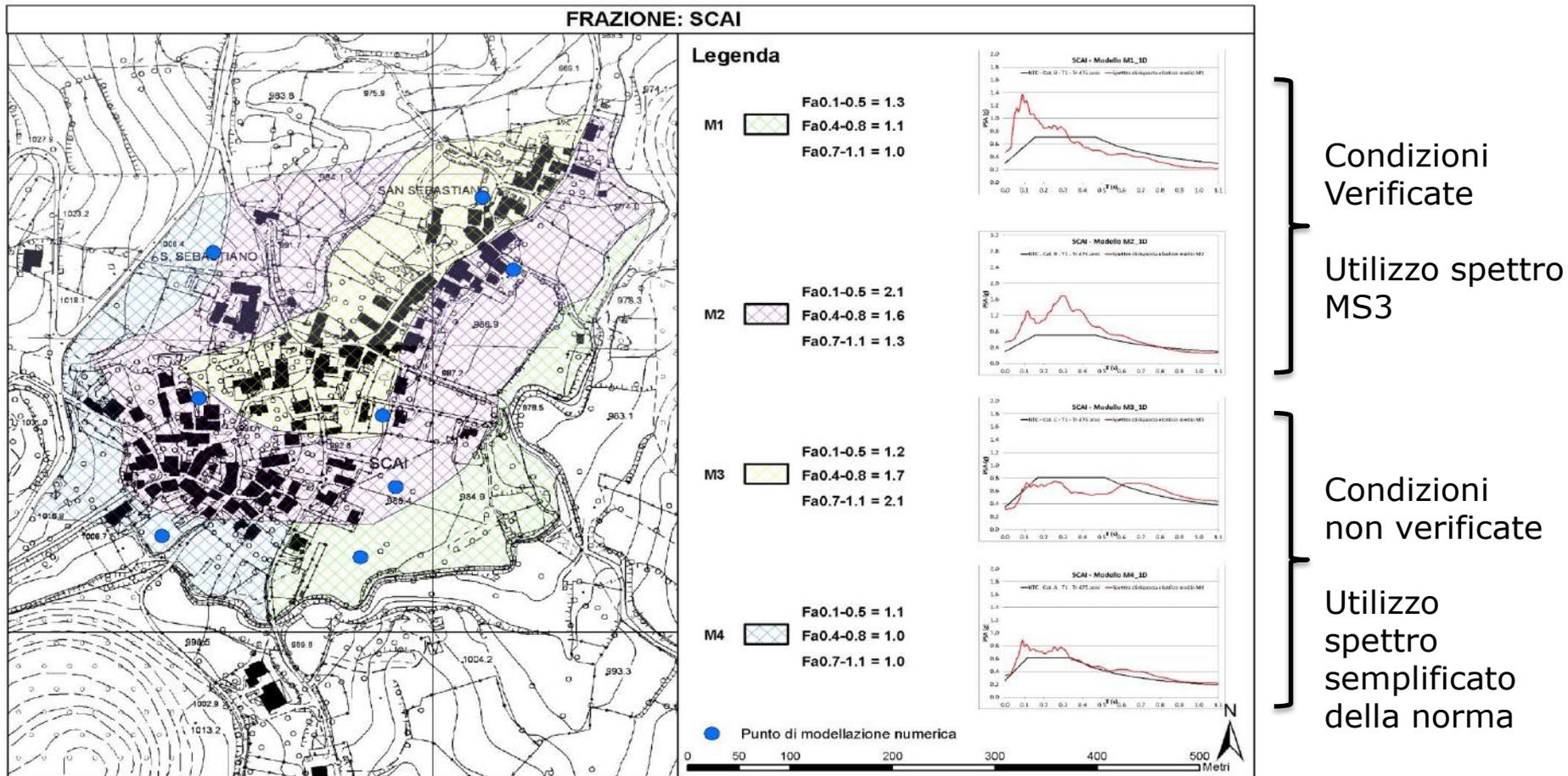
La microzonazione sismica

- Utilizzo dei risultati di MS per la progettazione di opere: da H_{MS} agli spettri di risposta



La microzonazione sismica

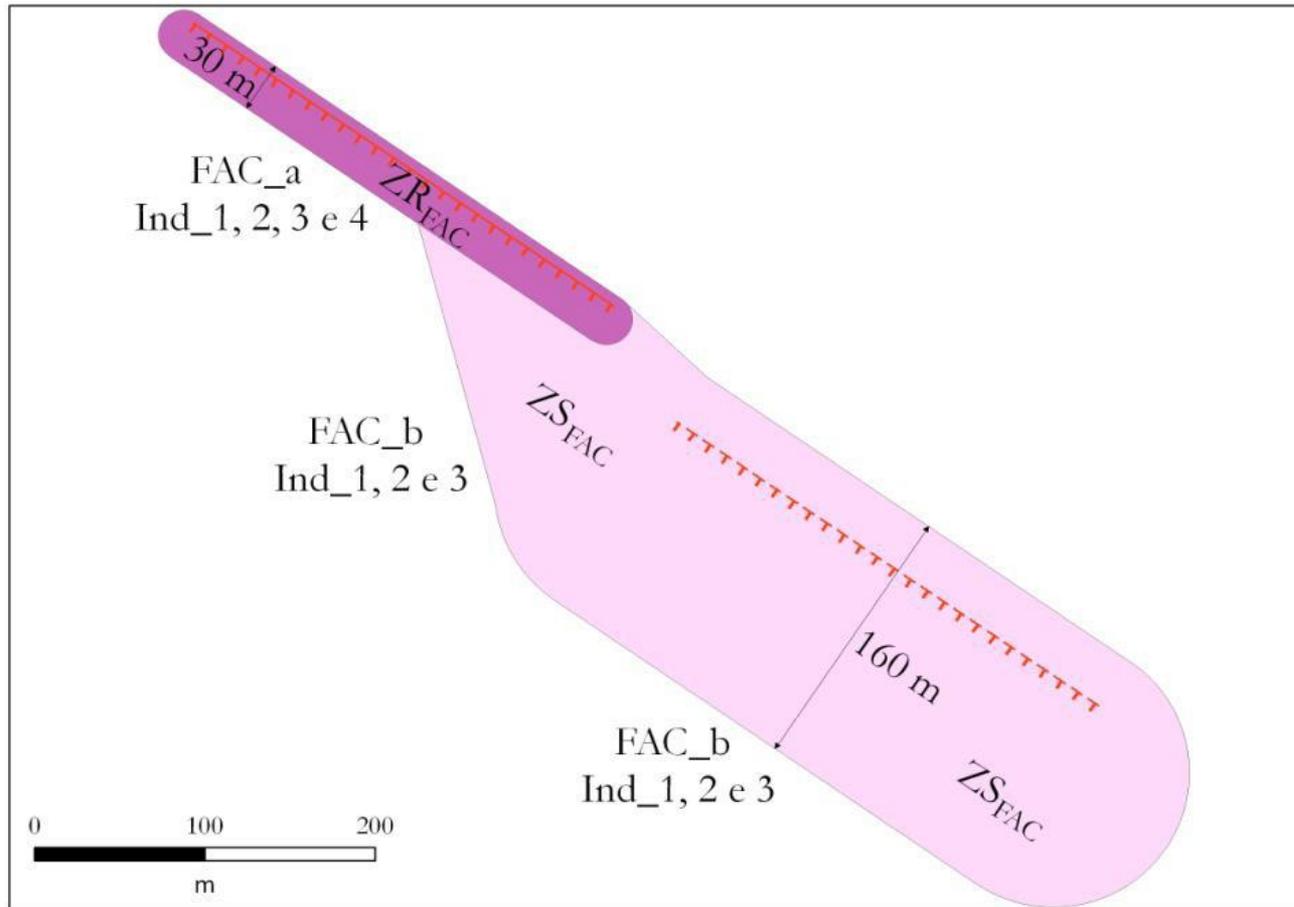
- Utilizzo dei risultati di MS per la progettazione di opere: da H_{MS} agli spettri di risposta



La microzonazione sismica

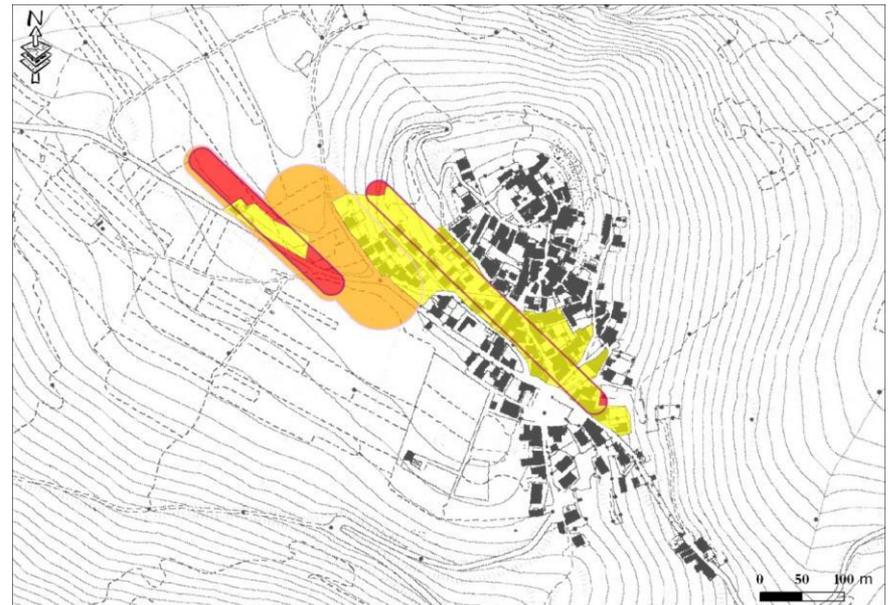
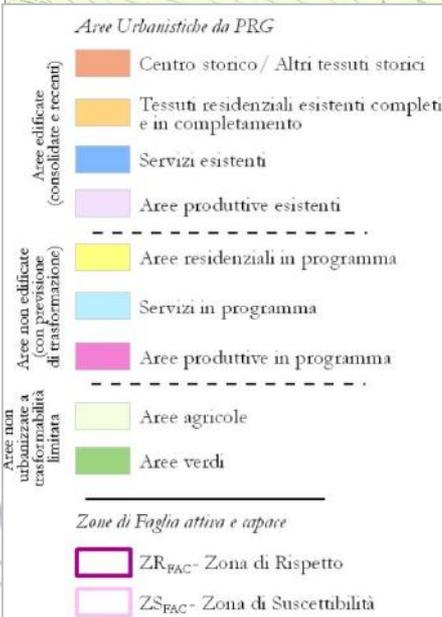
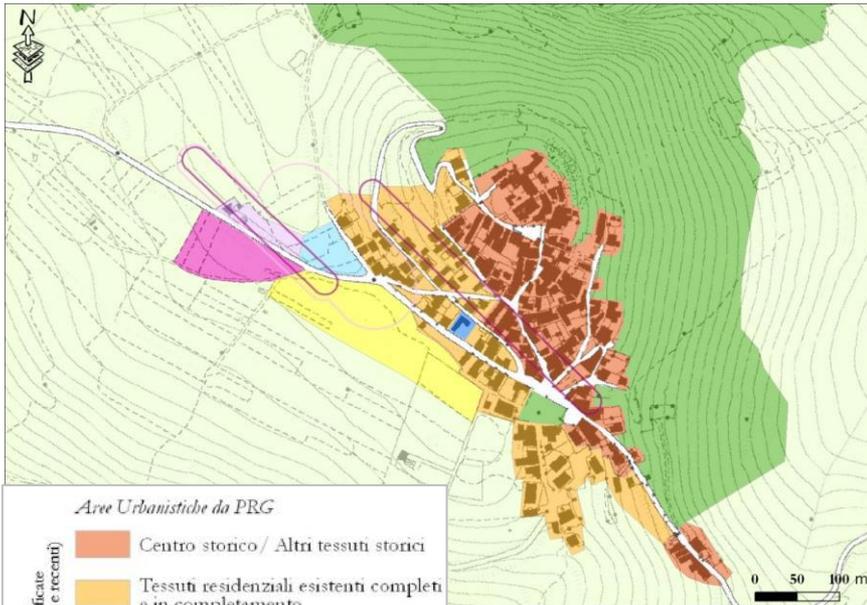
- Deformazioni permanenti e applicazioni urbanistiche

Zone per un'area interessata da una faglia attiva e capace (FAC)



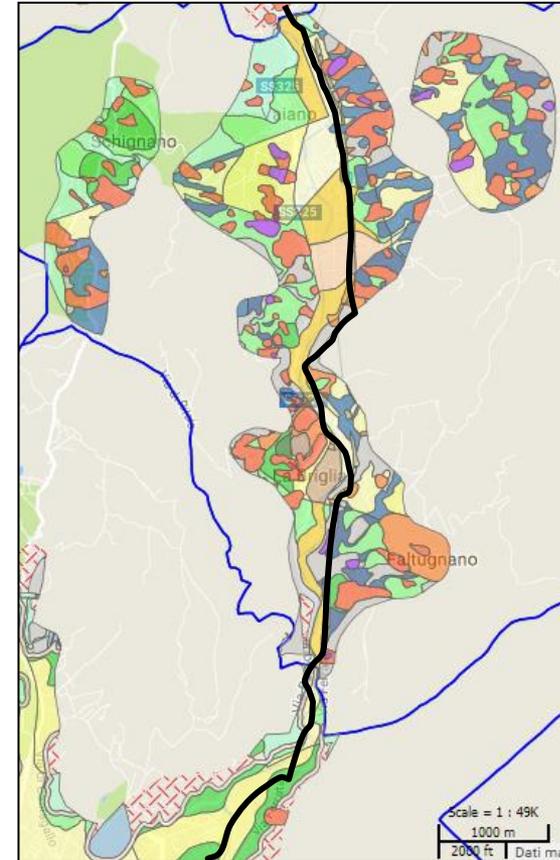
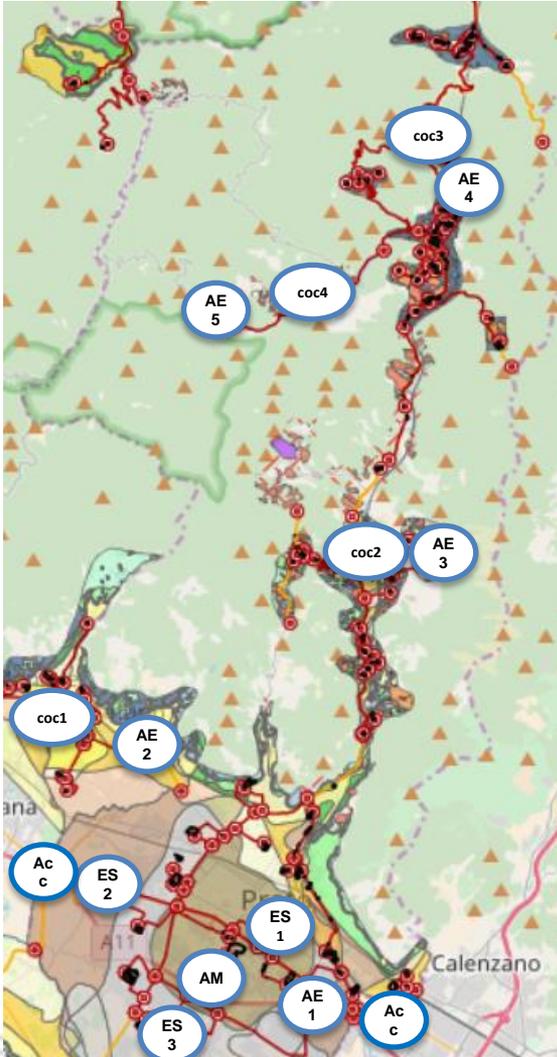
La microzonazione sismica

- Deformazioni permanenti e applicazioni urbanistiche



La microzonazione sismica

- MS e operatività sistema di emergenza

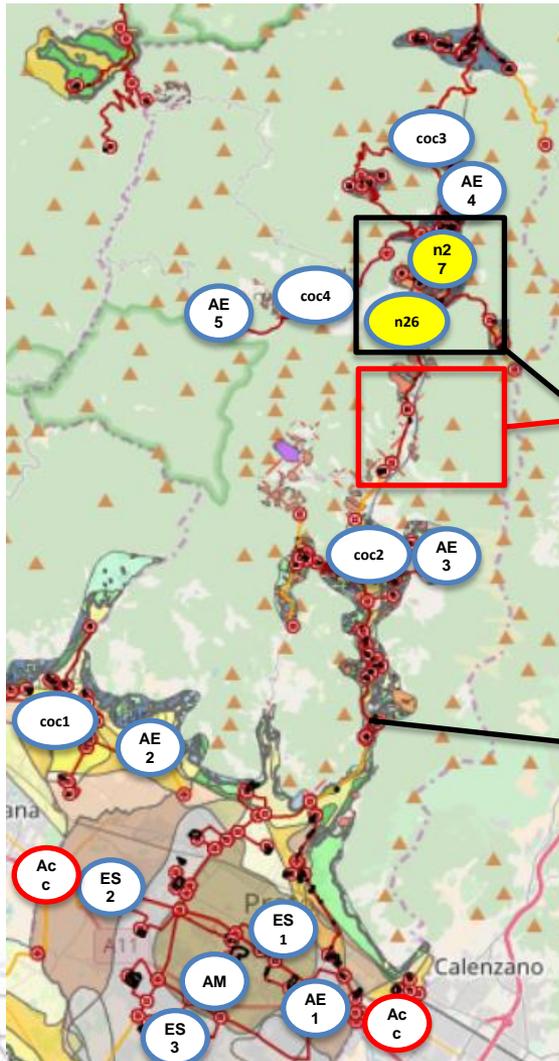


Infrastruttura Prato-Vaiano

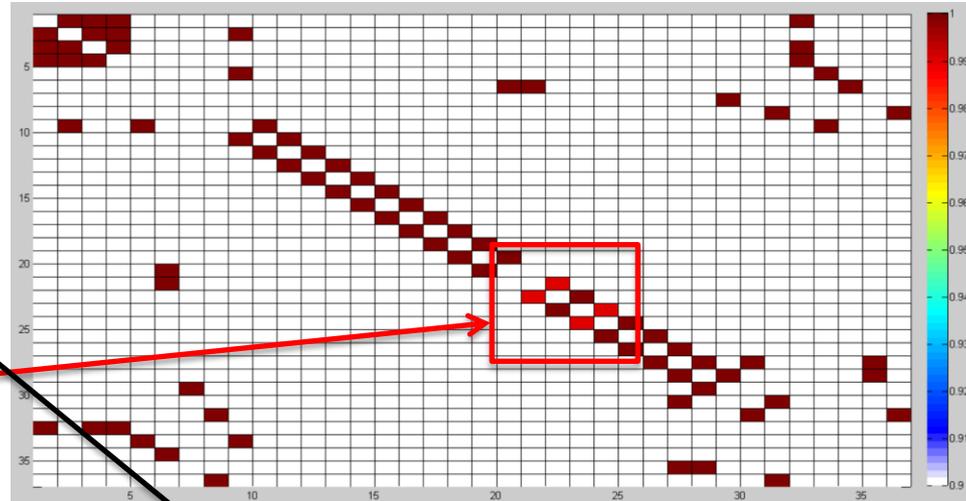
Sistema di emergenza Prato-Vaiano e dati e indagini MS

La microzonazione sismica

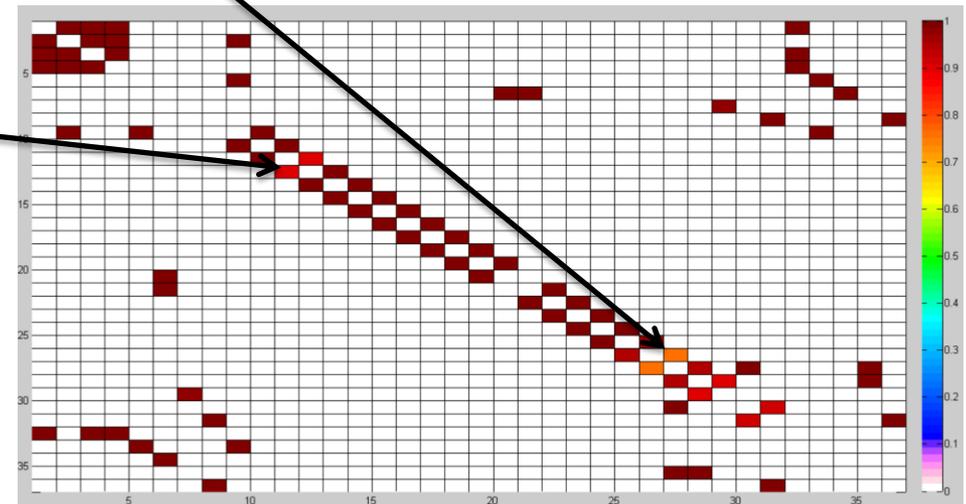
- MS e operatività sistema di emergenza



Probabilità di Operatività infrastruttura dovuta alle frane

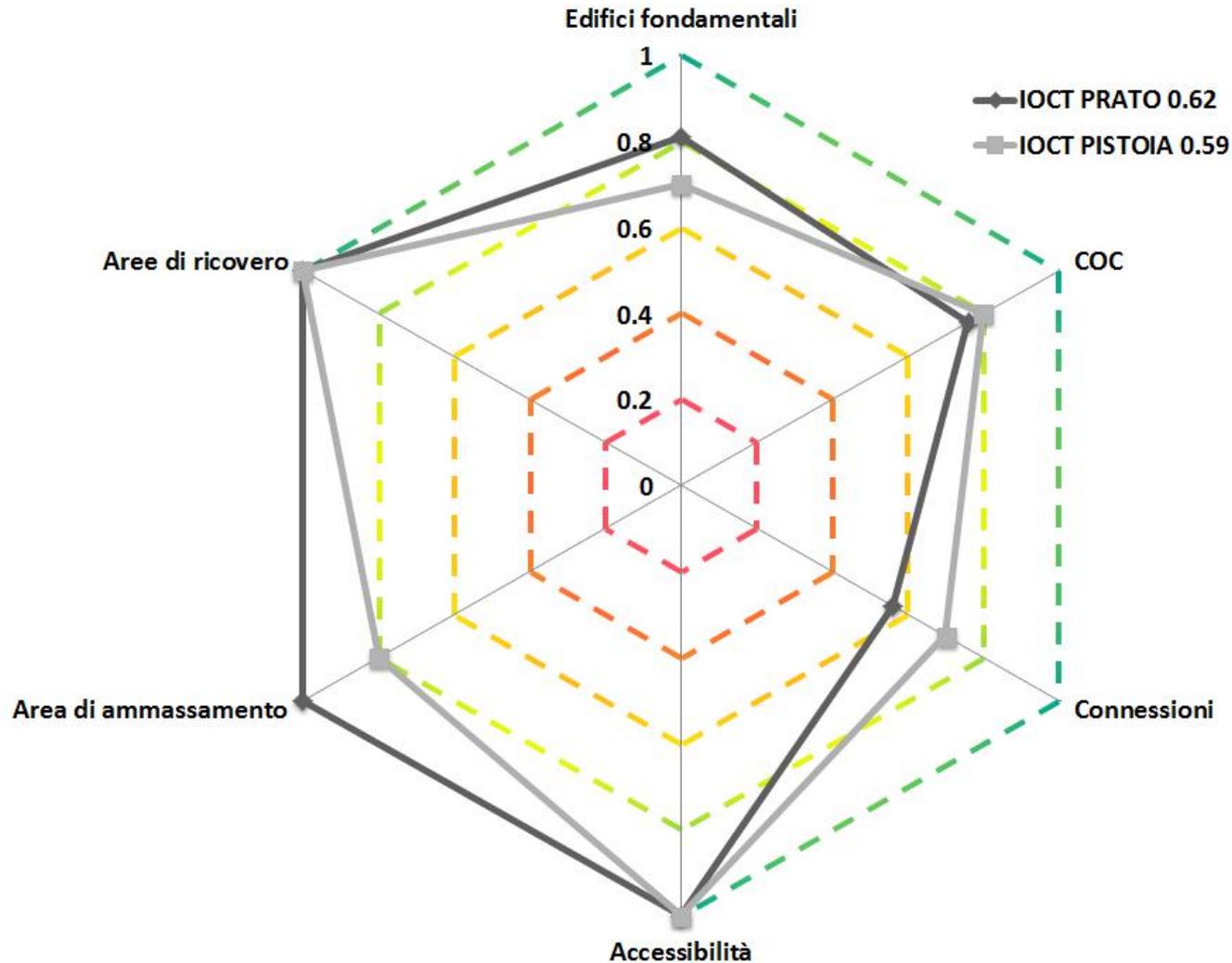


Probabilità di operatività archi per crolli edifici interferenti



La microzonazione sismica

- MS e operatività sistema di emergenza



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Convegno tra geologia e geofisica 2017

Rovereto 30 novembre – 1 dicembre 2017

Giuseppe Naso

Dipartimento della protezione civile

www.protezionecivile.it – giuseppe.naso@protezionecivile.it