



ESEMPIO DI APPLICAZIONE DI PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE IN REGIONE LOMBARDIA

Floriana Pergalani

Massimo Compagnoni

Dipartimento di Ingegneria Strutturale – Politecnico di Milano

GNGTS 26° CONVEGNO NAZIONALE

**Consiglio Nazionale delle Ricerche
piazzale Aldo Moro, 7**

Roma 13-15 novembre 2007



LEGGE PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO L.R. 12 del 11 marzo 2005

Art. 57 : Componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T

DG.R. 22 dicembre 2005, n. VIII/1566

“Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005”

ALLEGATO 5

“Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei piani di governo del territorio”

INDIRIZZI E CRITERI GENERALI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

Gruppo di Lavoro – Sottocommissione 8



METODOLOGIA: ALLEGATO 5

3 livelli di approfondimento:

1° livello di tipo qualitativo

permette di individuare e delimitare le aree soggette ad effetti sismici locali

2° livello di tipo semiquantitativo

permette di determinare il valore del Fattore di amplificazione (F_a) tramite l'uso di curve di correlazione

3° livello di tipo quantitativo

condotta con approccio numerico e/o sperimentale, permette di definire gli spettri di risposta del sito



1° livello: aree PSL

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali



2° livello:

MODELLO GEOLOGICO

+

CONOSCENZA DEI VALORI DI V_s
qualsiasi metodo di indagine presente in letteratura (*invasivo o non invasivo scelto dal geologo sulla base del modello geologico*), in grado di fornire un modello geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito



MODELLO GEOFISICO



SCHEDE DI VALUTAZIONE LITOLOGICHE



VALORE DI F_a con grado di approssimazione ± 0.1

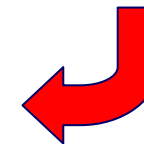
CARTOGRAFIA TOPOGRAFICA
Scala 1:1000 - 1:10000



MODELLO MORFOLOGICO



SCHEDE DI VALUTAZIONE MORFOLOGICHE



Esempio di schede di valutazione

GRANULOMETRIA:
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ed un massimo del 55%
Preseza di ciasti lamari con $D_{60} < 2-3$ cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 18%

A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

Parametro	Intervallo	Valore
Indice di plasticità (Ip)	0.00 - 0.15	0.07
Limite di liquidità (Ll)	15.00 - 25.00	21.00
Limite di plasticità (Pl)	5.00 - 15.00	14.00
Indice di consistenza (Ic)	1.00 - 2.00	1.40
Indice di consistenza (Ic)	2.00 - 3.00	2.80
Indice di consistenza (Ic)	3.00 - 4.00	4.20
Indice di consistenza (Ic)	4.00 - 5.00	5.60
Indice di consistenza (Ic)	5.00 - 6.00	7.00
Indice di consistenza (Ic)	6.00 - 7.00	8.40
Indice di consistenza (Ic)	7.00 - 8.00	9.80
Indice di consistenza (Ic)	8.00 - 9.00	11.20
Indice di consistenza (Ic)	9.00 - 10.00	12.60

Indice di consistenza (Ic) vs Wp

Ic	Wp
0.00	0.00
0.10	10.00
0.20	20.00
0.30	30.00
0.40	40.00
0.50	50.00
0.60	60.00
0.70	70.00
0.80	80.00
0.90	90.00
1.00	100.00

Indice di consistenza (Ic) vs Wp

Curve	Tetto polinomiale	Tetto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $W_{Li, max} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.48$	$0.10 < T \leq 1.00$ $W_{Li, max} = 2.21 - 1.98LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $W_{Li, max} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.10 < T \leq 1.00$ $W_{Li, max} = 1.77 - 1.38LnT$
3	$0.03 < T \leq 0.40$ $W_{Li, max} = -12.6T^2 + 7.8T + 0.48$	$0.10 < T \leq 1.00$ $W_{Li, max} = 1.38 - 1.24LnT$

$$F_{0.075} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$

Crete	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Crete Appuntite	$F_{0.15-0.25} = e^{1.25H/L}$			
Crete Arrotondate	$F_{0.15-0.25} = e^{1.5H/L}$			

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE APPUNTITE $l > 1/3 L$

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE APPUNTITE <math> l < 1/3 L </math>

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE ARROTONDATE $l > 1/3 L$

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE ARROTONDATE <math> l < 1/3 L </math>

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE APPUNTITE $l > 1/3 L$

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE APPUNTITE <math> l < 1/3 L </math>

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE ARROTONDATE $l > 1/3 L$

ACCELERAZIONE IN - (R) SAAS $$

CRESTE ARROTONDATE <math> l < 1/3 L </math>

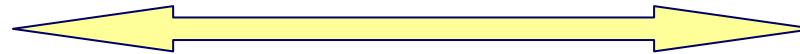


Analisi sismica di
2° livello



Valore
 F_a

Confronto considerando una tolleranza di 0.1



Database
regionale



Soglia
comunale SC

$SC > F_a$



**Lo spettro di normativa
è sufficientemente
cautelativo**

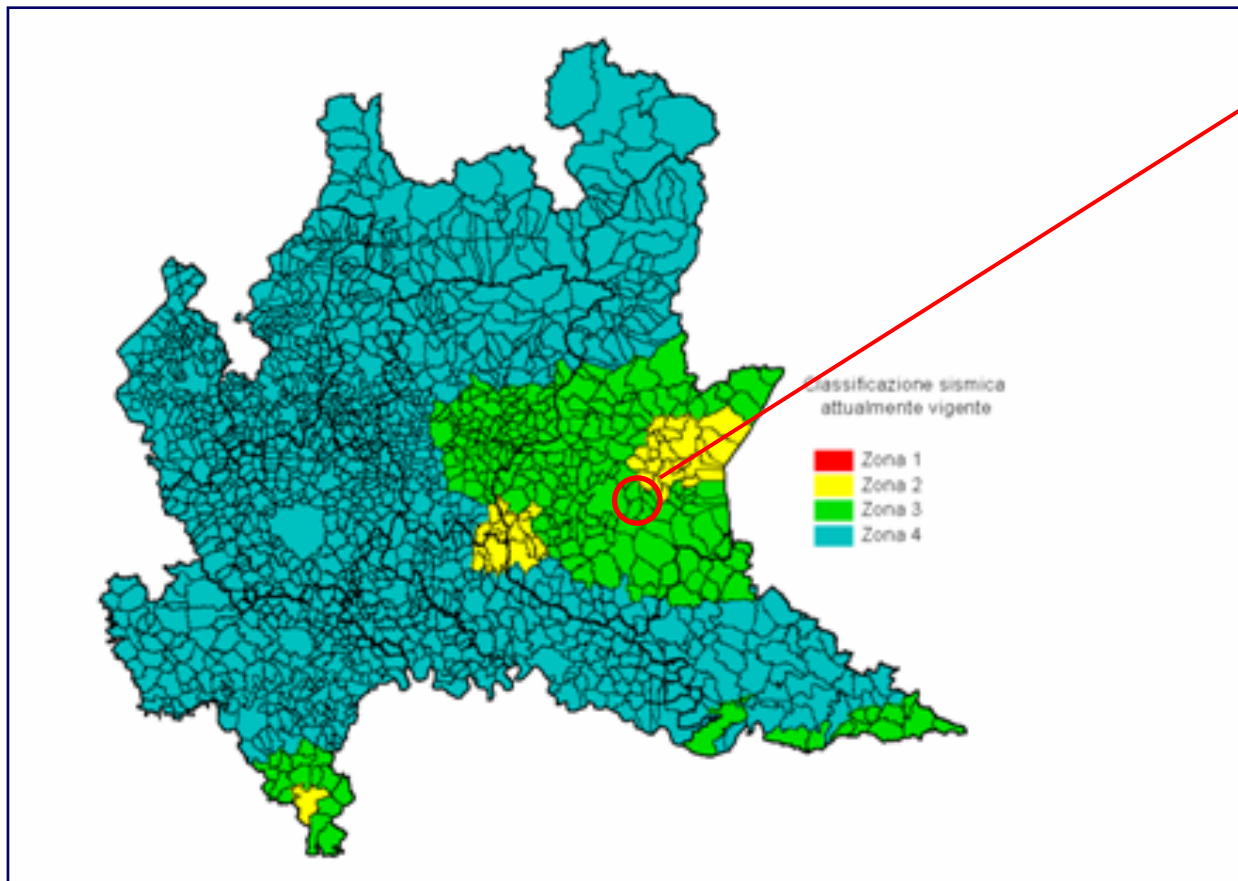
$SC < F_a$



**Lo spettro di normativa
non è in grado di
coprire sufficientemente
gli effetti sismici di sito**



ESEMPIO



**Comune di Botticino
(BS)**

Zona sismica: 3

$$a_{\max} = 0.15g$$

Categoria di suolo A

$SC_{0.1-0.5}$	$SC_{0.5-1.5}$
1.2	1.6

Categoria di suolo B-C-E

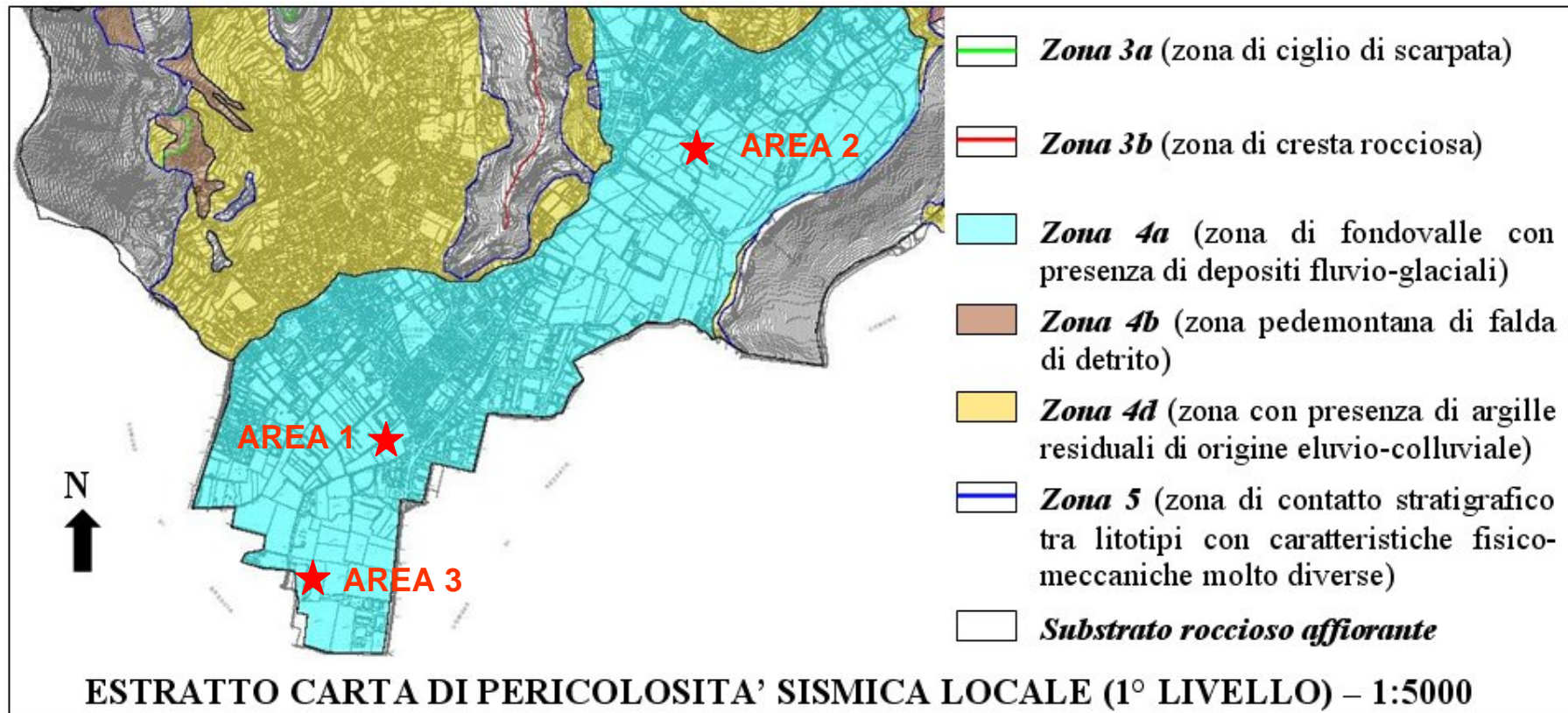
$SC_{0.1-0.5}$	$SC_{0.5-1.5}$
1.6	2.5

Categoria di suolo D

$SC_{0.1-0.5}$	$SC_{0.5-1.5}$
1.7	4.2

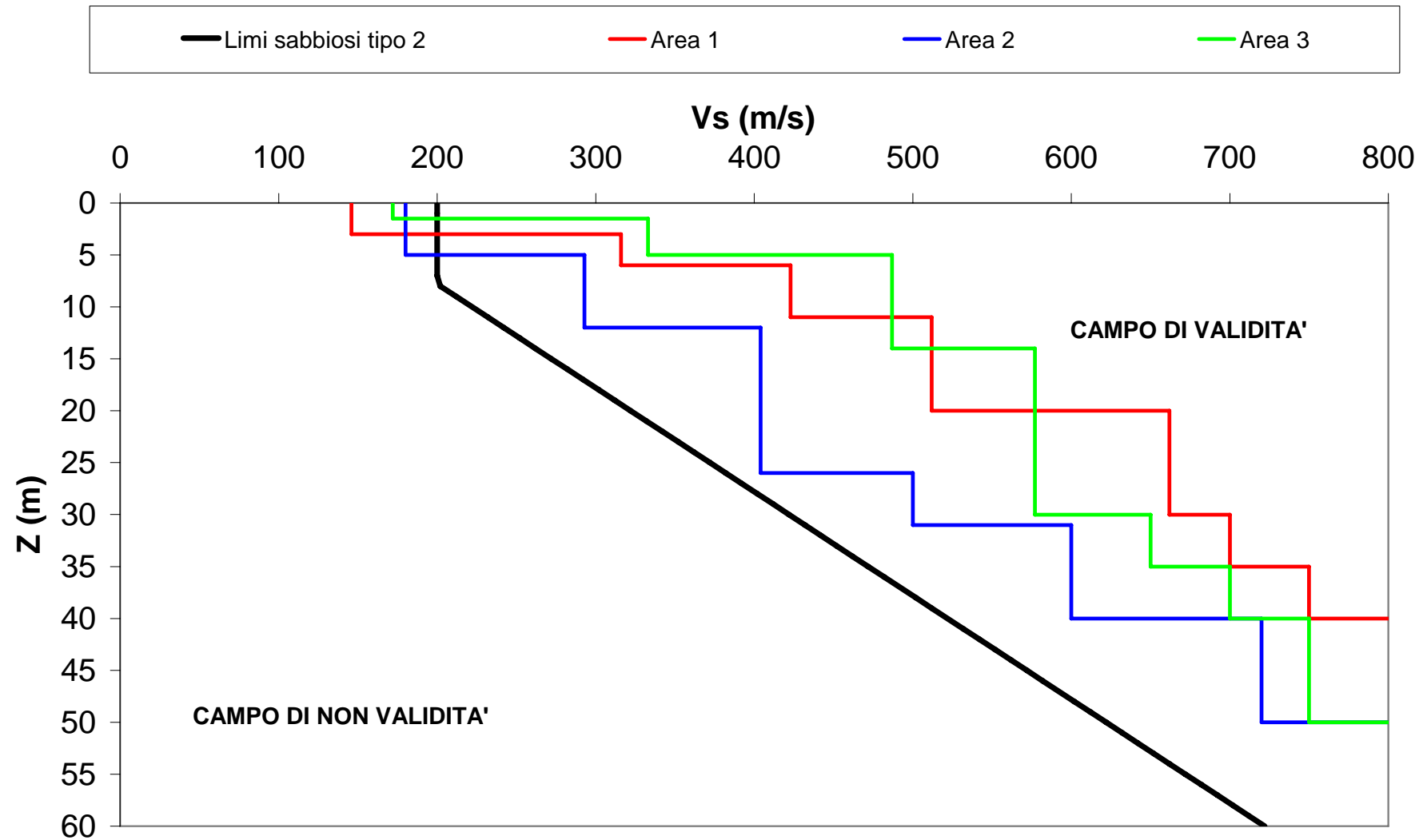


1° LIVELLO





Indagini geofisiche: sismica rifrazione





ANALISI 2° LIVELLO LITOLOGICO

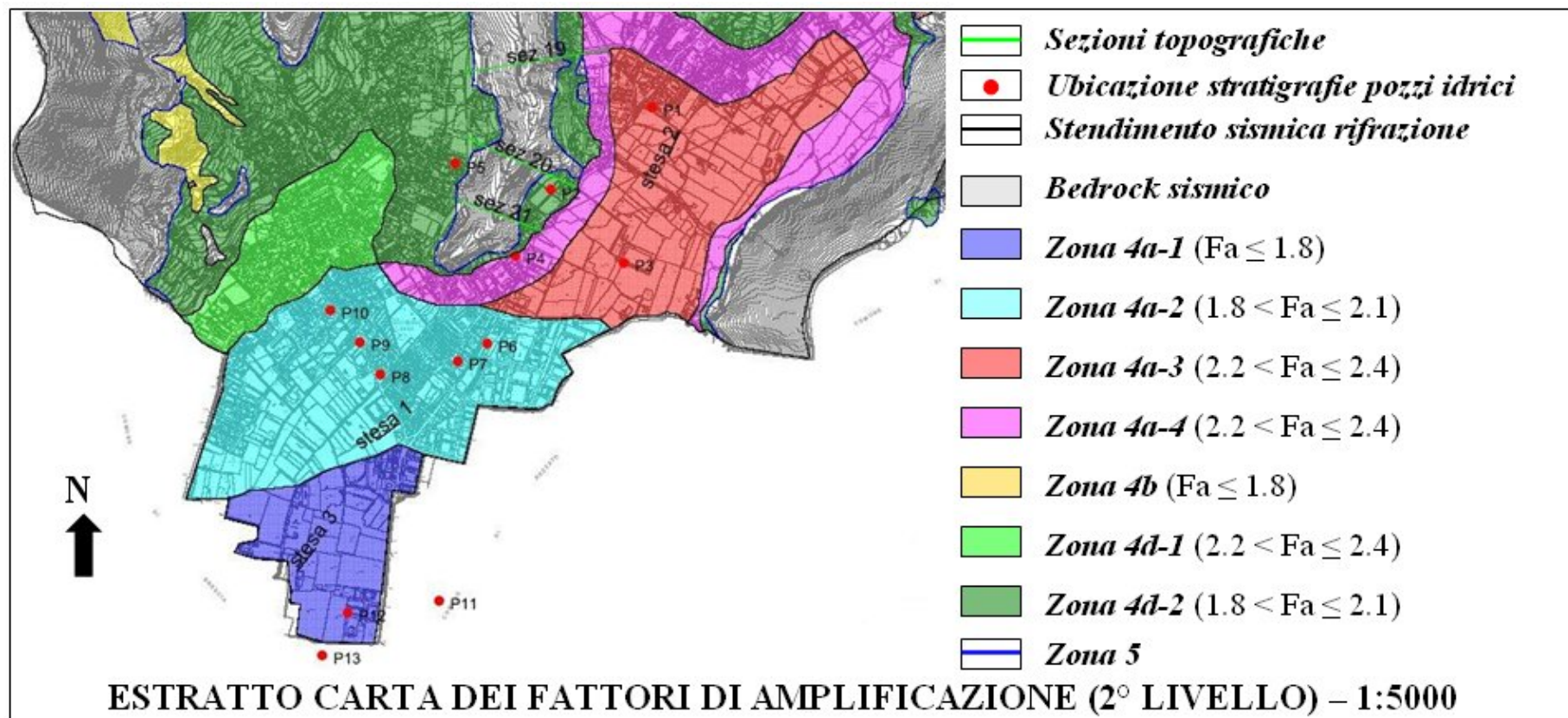
	AREA 1		AREA 2		AREA 3	
	Spessore (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Velocità (m/s)
	3.0	146	5	180	1.5	172
	3.0	316	7	293	3.5	333
	5.0	423	14	404	9.0	487
	9.0	512	5	500	16.0	577
	10.0	662	9	600	5.0	650
	5.0	700	10	720	5.0	700
	5.0	750			10.0	750
Periodo (s)	0.29		0.42		0.35	
$Fa_{0.1-0.5}$	2.1		2.4		1.8	
$Fa_{0.5-1.5}$	1.2		1.4		1.3	

ANALISI 2° LIVELLO MORFOLOGICO (sezione 20)

H (m)	L (m)	h (m)	l (m)	α_1	α_2	H/L	$Fa_{0.1-0.5}$
66	280	60	50	26	21	0.23	1.2



2° LIVELLO con prescrizioni





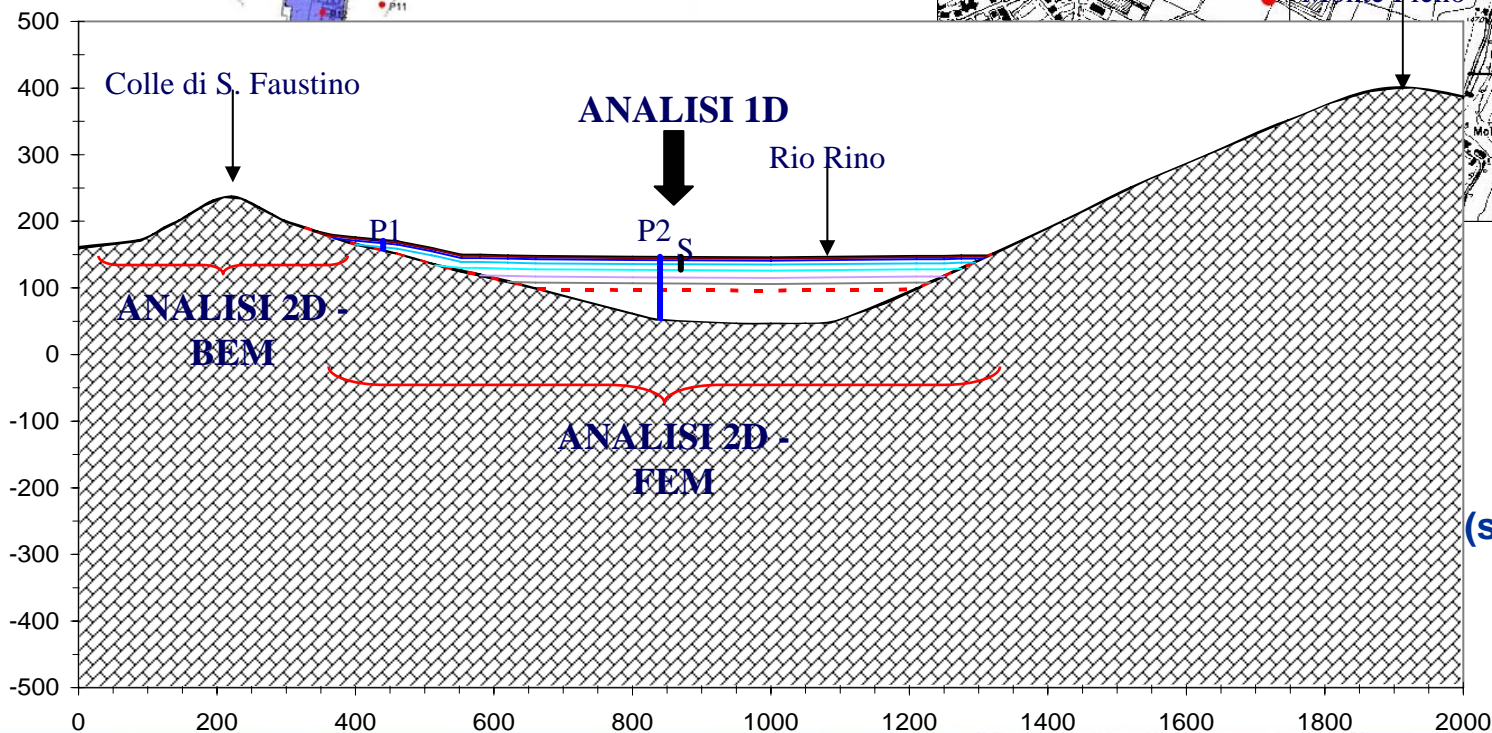
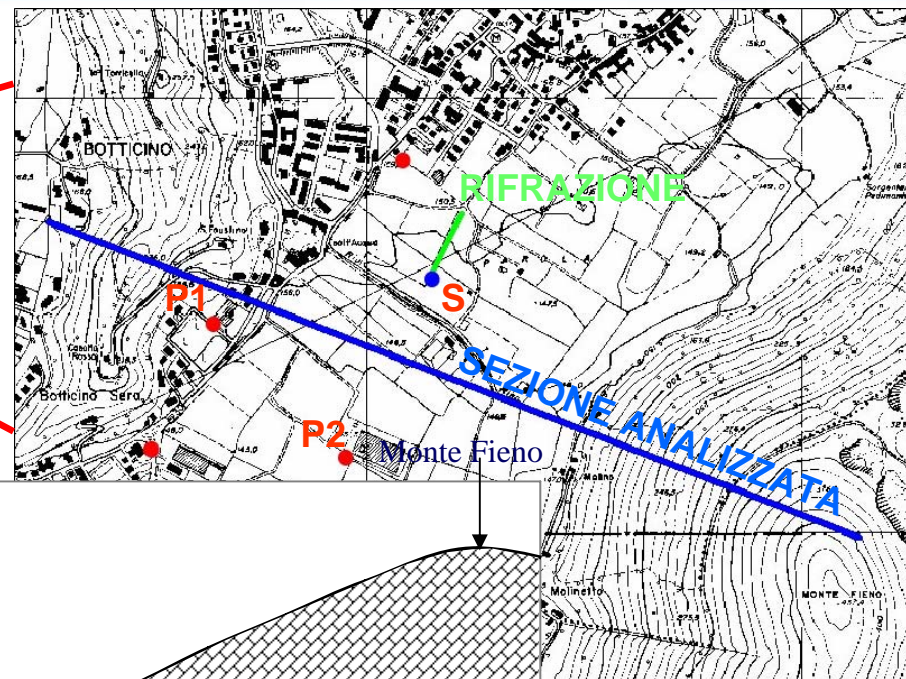
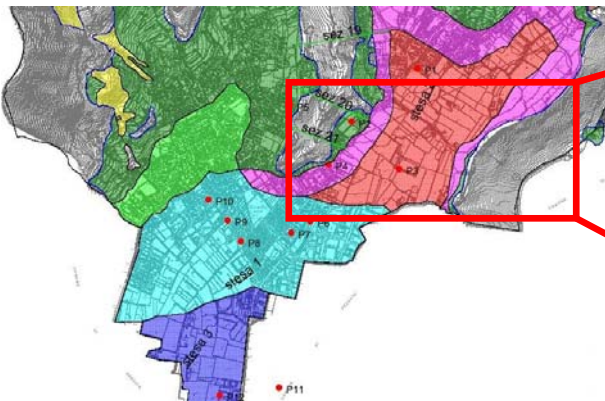
GNGTS 26° CONVEGNO NAZIONALE



ZONE	Fa _{0.1-0.5} – Fa _{0.5-1.5} AFFIDABILITA'	SC _{0.1-0.5} – SC _{0.5-1.5}	PRESCRIZIONI	
			<i>Edifici ordinari</i>	<i>Edifici strategici-rilevanti</i>
Bedrock	1.0 – 1.0 ALTA	1.2 – 1.6	NORMA	
Z3a-Z3b	1.3 – nd ALTA	1.2 – 1.6	<i>Edifici bassi: NORMA</i> <i>Edifici alti: Analisi di 3° livello</i>	Analisi di 3° livello
Z4a-1	1.8 – 1.3 ALTA	1.6 – 2.5	NORMA	
Z4a-2	2.1 – 1.2 ALTA	1.6 – 2.5	Analisi di 3° livello oppure incremento zona sismica NORMA con piano di posa fondazionale almeno a 3.0m	
Z4a-3	2.4 – 1.4 ALTA	1.6 – 2.5	Analisi di 3° livello oppure incremento zona sismica	
Z4a-4 Z4d-1	2.4 – 1.4 BASSA	1.6 – 2.5	Determinazione della reale profondità del bedrock sismico: ▪se < 10 m NORMA con piano di posa fondazionale almeno a 3.0m ▪se compresa tra 10 e 20 m Analisi di 2° livello ▪se > 20 m Analisi di 3° livello oppure incremento zona sismica	
Z4b	1.8 – 1.3 BASSA	1.6 – 2.5	NORMA	
Z4d-2	2.1 – 1.2 BASSA	1.6 – 2.5	Determinazione della reale profondità del bedrock sismico e verifica presenza orizzonti conglomeratici: ▪se < 20 m NORMA ▪se > 20 m e presenza orizzonti conglomeratici NORMA con piano di posa fondazionale almeno a 3.0m ▪se > 30 m senza orizzonti conglomeratici Analisi di 3° livello oppure incremento zona sismica	
Z5	-	-	Ricostruzione di dettaglio andamento limite di contatto	



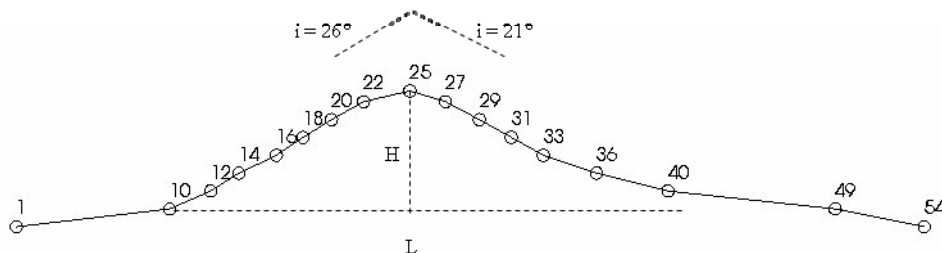
3° LIVELLO numerico



3 accelerogrammi
generati spettro
compatibili
(spettro isoprobabile)

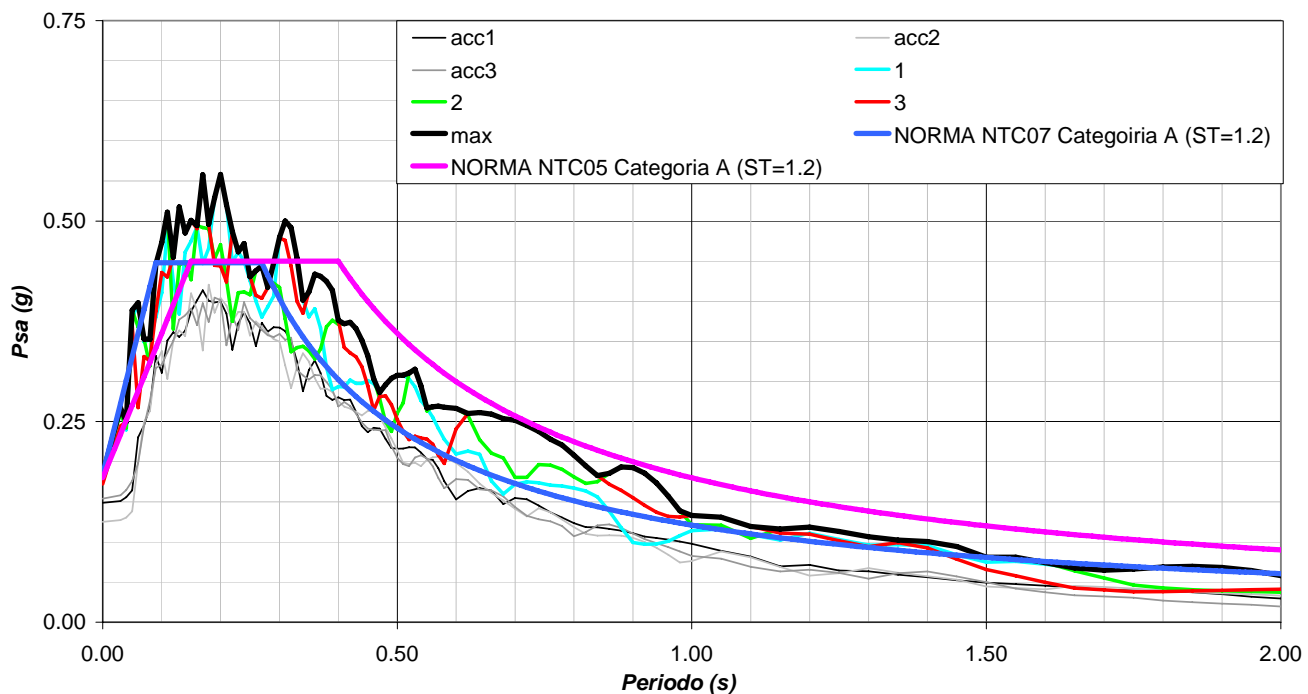


3° LIVELLO: numerico 2D morfologico



Sommità sezione 20			Max	NORMA
	Acc1	Acc2	Fa _{0.1-0.5}	S _T
Fa _{0.1-0.5}	1.22	1.19	1.26	1.2
Fa _{0.5-1.5}	1.33	1.58	1.58	

SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE AL 5% DELLO SMORZAMENTO CRITICO

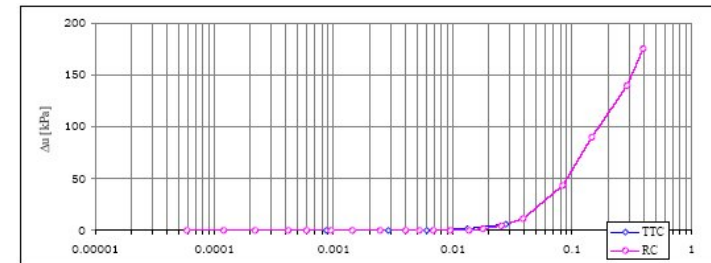
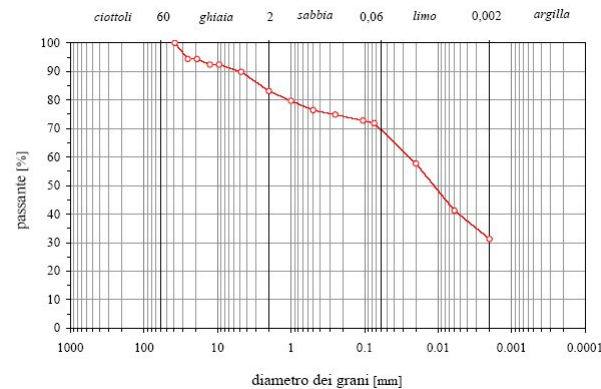
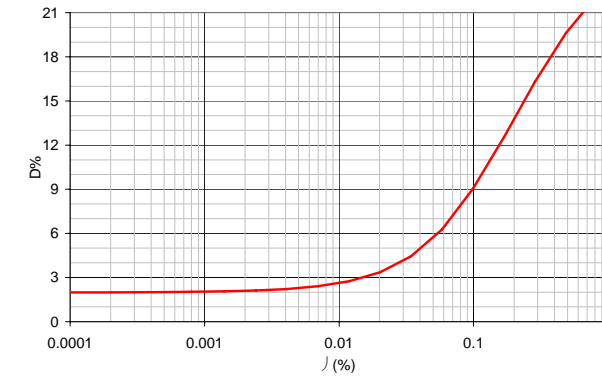
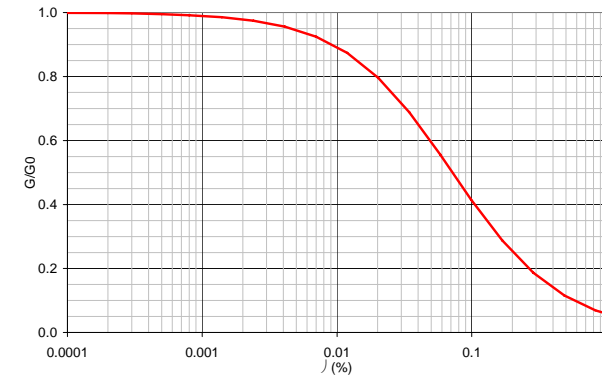
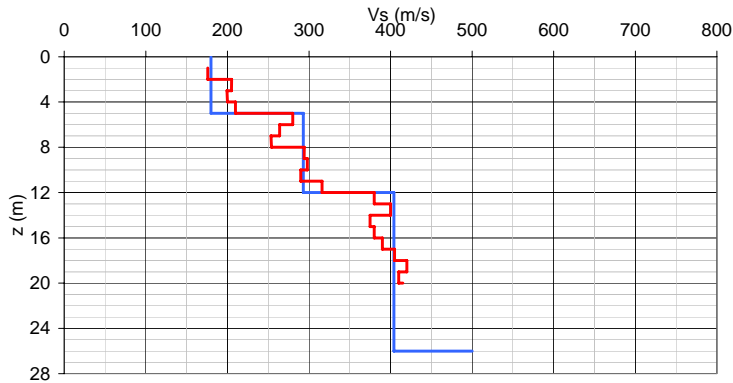




3° LIVELLO: numerico litologico

RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE

— Sismica rifrazione Area 2
— Indagine Down-hole S

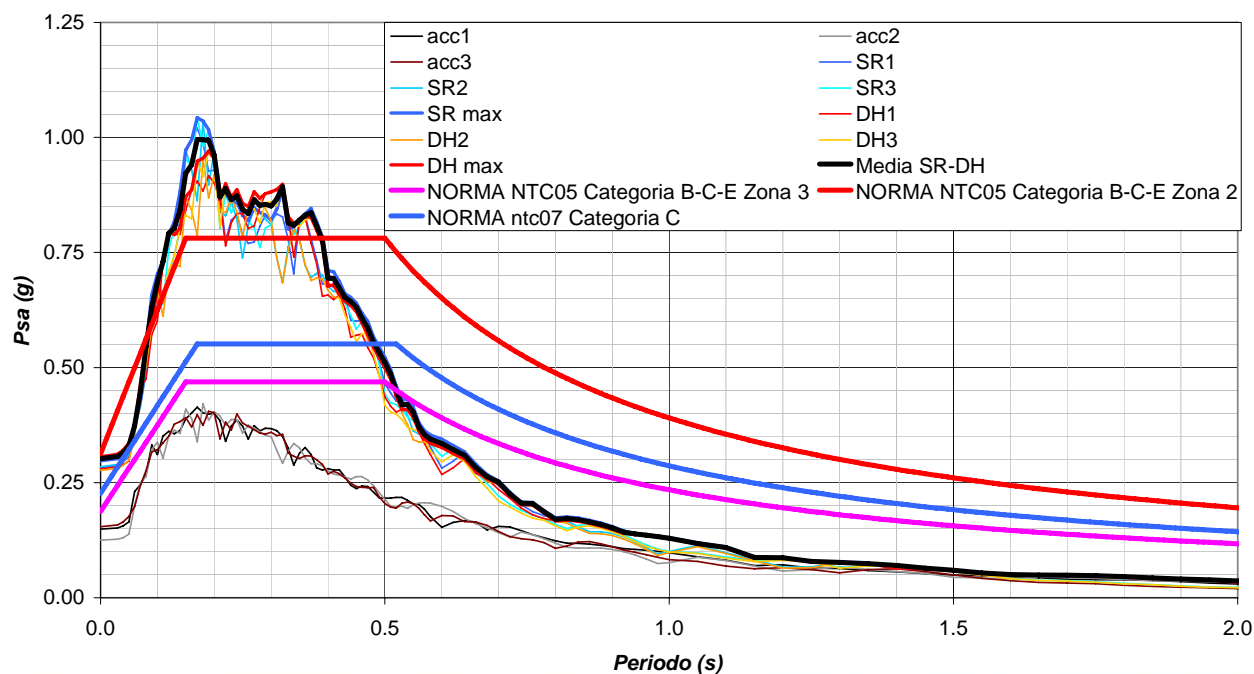




3° LIVELLO: numerico litologico 1D

	ANALISI 3° LIVELLO 1D								MEDIA
	MODELLO sismica rifrazione				Modello Down-hole				
	1	2	3	max	1	2	3	max	
Fa _{0.1-0.5}	2.38	2.36	2.45	2.45	2.34	2.31	2.39	2.39	2.42
Fa _{0.5-1.5}	1.37	1.36	1.35	1.37	1.39	1.39	1.37	1.39	1.38

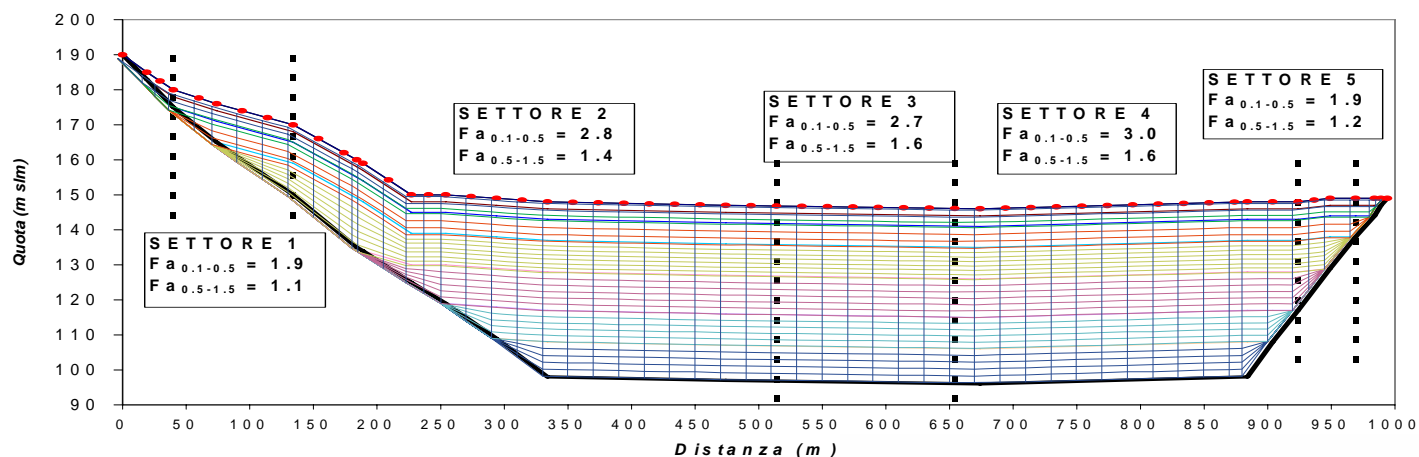
SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE AL 5% DELLO SMORZAMENTO CRITICO





3° LIVELLO: numerico litologico 2D

MODELLO 2D

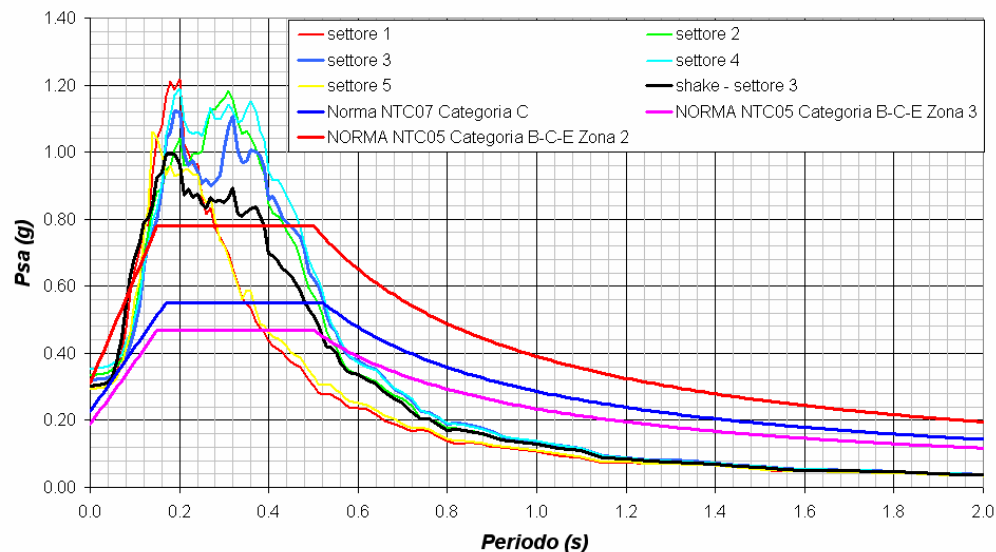


MESH FEM

1218 elementi

1246 nodi

SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN PSEUDO-ACCELERAZIONE AL 5% DELLO SMORZAMENTO CRITICO



UNITA'	γ_n (kN/m ³)	G (MPa)	ν
1	18	57	0.24
2	19	77	0.48
3	20	160	0.49
4	20	294	0.47
5	20	510	0.45
6	21	771	0.43
7	21	1110	0.40
BEDROCK	22	1435	0.40



Conclusioni

La procedura è risultata uno strumento pianificatorio in grado di fornire importanti indicazioni sia all'urbanista, in fase di scelta delle diverse destinazioni d'uso del territorio, sia al progettista, in fase di progettazione

La procedura proposta è stata ben recepita dai professionisti e dai tecnici delle Amministrazioni Pubbliche, in virtù anche degli estesi incontri tecnici a carattere regionale e provinciale e un continuo supporto tecnico

Resta aperto il dibattito sul tema delle diverse tecniche di indagine geofisica

Necessità di implementare il numero di schede di valutazione degli effetti litologici nell'ambito delle analisi di 2° livello.

Trasmettere al mondo professionale le basi tecniche per studi di maggior dettaglio (3° livello)