

 UNIONE EUROPEA	 REGIONE CALABRIA DIPARTIMENTO 6 Infrastrutture - Lavori Pubblici - Mobilità SETTORE 5 Lavori Pubblici	 COMUNE CROPALATI Via Roma n.86 87060 Cropalati (CS) Tel. 0983.61064 - Fax 0983.61877 www.comune.cropalati.cs.it
 REPUBBLICA ITALIANA		

**MANIFESTAZIONE DI INTERESSE PER LA CONCESSIONE DI CONTRIBUTI
FINALIZZATI ALLA ESECUZIONE DI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO O,
EVENTUALMENTE, DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEGLI EDIFICI DI
INTERESSE SCOLASTICI**

(D.G.R.N 427 DEL 10 NOVEMBRE 2016)

PROGETTO ESECUTIVO

**"ADEGUAMENTO SISMICO EDIFICIO SCUOLA
ELEMENTARE/MATERNA"**

TAVOLA GEO.02	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE
--------------------------	---

	Timbro e Firma
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Cropalati RESP. DEL PROCEDIMENTO: Ing. Andrea CALIO'	
PROGETTISTA E C.S.P.: Ing. Alberto BOCCUTI DIRETTORE DEI LAVORI E C.S.E.: Ing. Vincenzo FORCINITI ESPERTO DEL PROTOCOLLO ITACA: Ing. Immacolata FONTANA IL GEOLOGO: Dott.ssa Geol. Maria Lucia CARBONE	

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della Circolare n. 7 del 21 gennaio
2019"

d.ssa Maria Lucia Carbone



FINALITÀ

Nella relazione che segue sono esposte le principali peculiarità sismologiche e sismotettoniche del territorio comunale di Cropalati (CS), scaturite a seguito dello studio geologico – tecnico e sismico per il *progetto di Scuola Elementare-Infanzia e primaria* nel Comune di Cropalati. L'elaborato è stato redatto in conformità al D.M. 17-01-2018 - Norme tecniche per le costruzioni [NTC], nonché alla Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n° 7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

La relazione, partendo dai risultati dello studio geologico e dalla consultazione di materiale bibliografico, fa riferimento specifico alle indagini geognostiche eseguite per la fase preliminare del progetto (Indagini Geofisiche di tipo MASW).

In essa vengono esposte tutte le informazioni necessarie alla definizione delle caratteristiche sismologiche, sismiche e sismotettoniche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area di intervento che influiscono sulla pericolosità sismica di base del sito che costituisce la base per la valutazione dell'azione sismica di progetto.

La presente relazione illustra:

- ✓ *Gli aspetti sismici e sismotettonici del sito,*
- ✓ *La categoria sismica di suolo cui fare riferimento per la verifica delle*
- ✓ *prestazioni attese delle opere previste in progetto, secondo quanto stabilito dal*
- ✓ *D.M. 14.01.2008 e dalla relativa Circolare n° 617 del 2.2.2009.*
- ✓ *la pericolosità sismica di sito e l'azione sismica di progetto*

DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE E GEOFISICHE

Nel sito oggetto di intervento, sono state effettuate le seguenti indagini:

Indagine sismica, con caratterizzazione della V_{s30} , eseguendo una misura sismica MASW. Per la caratterizzazione geotecnica sono state prese in considerazione i dati emersi dal rilevamento geologico e dalle prove di laboratorio eseguite in occasione del PRG del comune di Cropalati (CS).



ASPETTI SISMOTETTONICI E PERICOLOSITÀ SISMICA

Tettonica regionale e aspetti sismogenetici

L'Arco Calabro Peloritano si colloca tra l'Appennino meridionale e la restante parte della Sicilia con una sismicità distinta come dimostra anche la zonazione sismogenetica del CNR-INGV (2006). Qui sono stati registrati i massimi di sismicità storica del Mediterraneo, con terremoti superficiali variamente distribuiti, ma con la maggior parte di quelli intermedi (profondità focali tra 50 e 100 km) e profondi

(ipocentri fra 100 e 500 km) localizzati nel mar Tirreno dove sono stati registrati valori di magnitudo $M_{max} \cdot 7 \cdot 7,5$. La maggiore intensità sismica è stata registrata nella zona in cui l'Arco subisce la massima distorsione, passando da NW-SE a NE-SW e poi da NE-SW a NNE-SSW, e ciò sarebbe pienamente concordante con l'andamento delle principali faglie della regione le cui componenti tensionali sono ortogonali alla curvatura dell'Arco (zona di separazione Sila - Serre e Serre - Aspromonte) ma ancora di più con le zone in cui alla divaricazione si aggiunge lo sprofondamento (Graben del Mesima e dello Stretto di Messina).

Le soluzioni disponibili sui meccanismi focali dei terremoti storici dimostrano in prevalenza una componente di moto inclinata da 30° a 60° e una disposizione degli ipocentri analoga a quella degli archi insulari e dei margini continentali del Pacifico, ma i caratteri della sismicità, le proprietà del campo gravitazionale, il flusso termico, la natura dei prodotti vulcanici e la geologia di superficie fanno presumere un'evoluzione molto particolare, chiaramente legata alla complessità tettonica dell'area.

Ricerche condotte negli ultimi decenni hanno dimostrato che l'Arco non è un corpo strutturale unico e statico, ma un insieme di blocchi di crosta continentale, separati da linee tettoniche profonde (faglie litosferiche) in sovrascorrimento passivo verso l'avampaese ionico, con velocità differenziate lungo le faglie che li separano. L'andamento spaziale degli ipocentri dei terremoti profondi e le massime profondità ipocentrali (~ 500 km) registrate nella crosta tirrenica fanno presumere l'esistenza di una zolla in subduzione situata sulla parte esterna dell'Arco, in pieno mare Ionio, ed un piano di Wadati- Benioff immergente verso ovest con angoli di circa 50°-60° (Fig. -1).

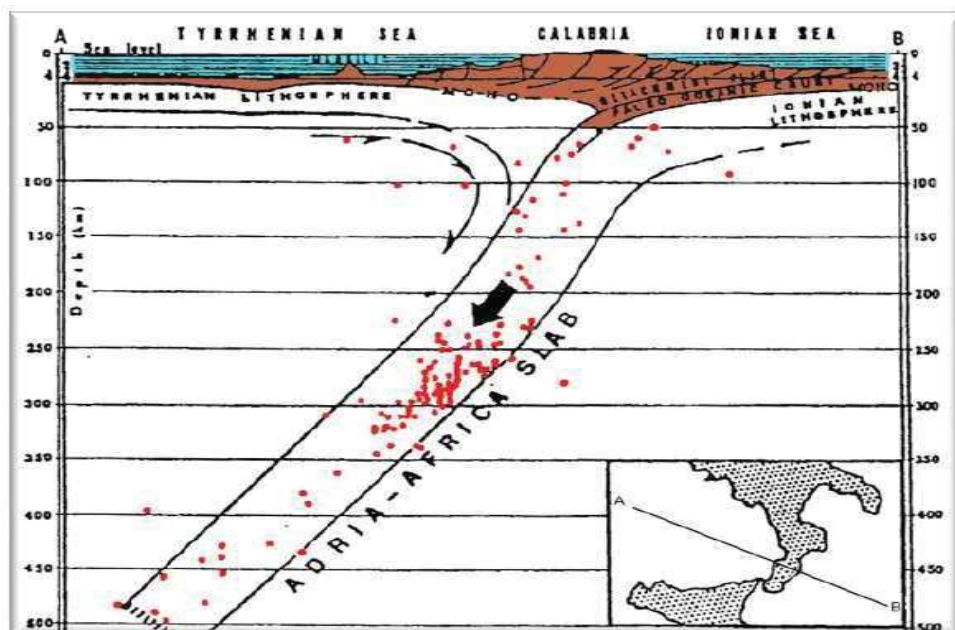


Figura .1. Piano di Wadati – Benioff e sismicità profonda dell'arco calabro peloritano. I puntini rossi indicano gli ipocentri dei terremoti

Ma gli ipocentri dei terremoti più distruttivi si collocano in massima parte nei primi 20 km di spessore della crosta e mostrano soluzioni focali molto differenziate, richiamando la possibilità di strutture geologiche sovrapposte ed in sovrascorrimento, segmentate da strutture distensive, ognuna delle quali ha una diversa capacità di generare e/o accumulare stress; ciò potrebbe essere ricondotto alla subduzione della "zolla ionica" sotto la "zolla calabra" e spiegherebbe i diversi blocchi strutturali che caratterizzano quest'ultima. Si tratta di una regione tettonica soggetta da una parte a processi geodinamici molto profondi (contatto fra zolla calabra e zolla ionica) e dall'altra a fenomeni generati dalle strutture intermedie e superiori in cui il sollevamento tettonico è accompagnato da fenomeni compressivi verso Est e da fenomeni distensivi e di sprofondamento verso Ovest. Tale impostazione geotettonica e sismologica è in accordo con gli studi geologici dai quali risulta che l'Arco Calabro è un

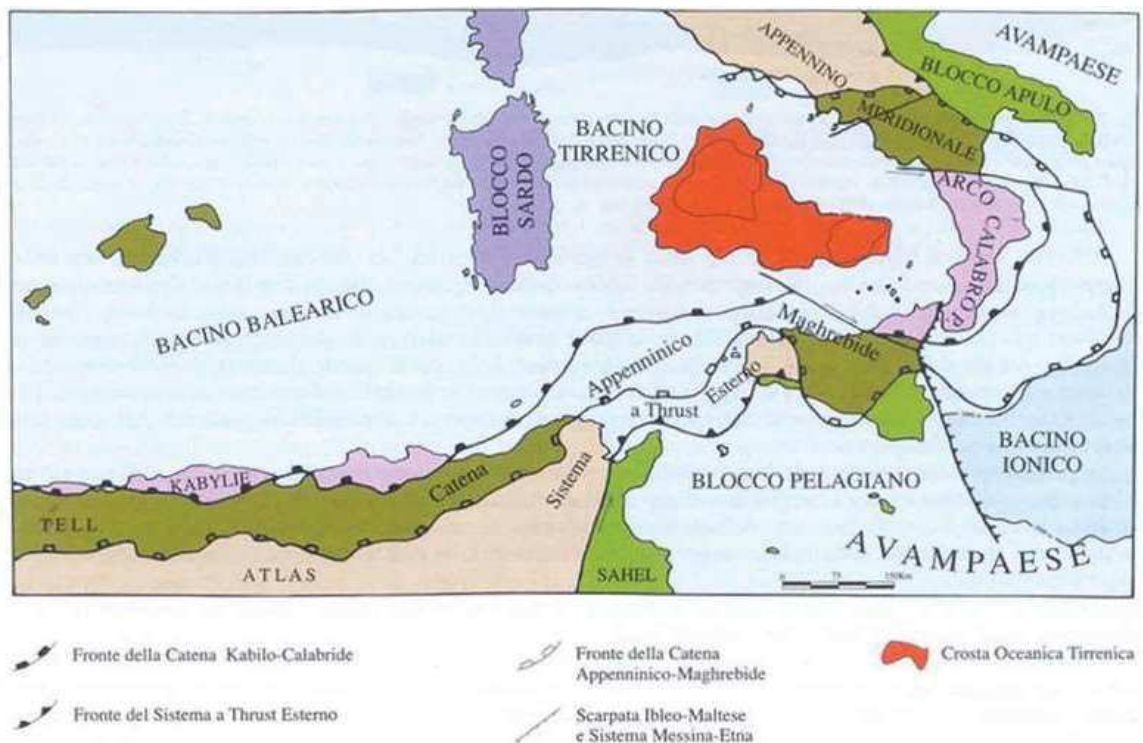


Figura 2: L'Arco calabro – peloritano nell'evoluzione tettonica del Mediterraneo centrale (da: Lentini et al., 2005, mod.)

insieme di blocchi litosferici strutturalmente composti da un basamento ercinico e da coperture sedimentarie post-mesozoiche, che sovra scorrono dall'originaria collocazione nella catena alpina verso l'avampaese ionico, fortemente differenziandosi dalla catena appenninica e dalle Maghrebidi siciliane con cui vanno a contatto rispettivamente a nord e a sud. Lo schema grafico di tali interpretazioni è rappresentato nella fig.2.

In tale ricostruzione le unità cristalline calabresi, strutturalmente delimitate a Nord dalla linea di Sangineto, proseguono in Sicilia nei Peloritani ma si arrestano in corrispondenza della linea di Taormina non più mobilizzata in periodo neotettonico (Plio-pleistocene).

La segmentazione interna dell'Arco avviene per opera di altri importanti sistemi di faglie che possono essere divisi in due gruppi. Il primo, corrispondente ai sistemi longitudinali, paralleli alle direttrici strutturali della catena, segue la curvatura dell'arco passando da direzioni N-S a direzioni NE-SW ed EW, mentre l'altro riunisce i sistemi che interrompono la continuità della catena stessa delimitando strutture di affondamento, in corrispondenza delle quali avviene la curvatura dell'Arco. Queste strutture presentano direzione orientata da ENE-WSW a E-W e da ESE-WNW a NE-SW, ed anche se non tutte sono sismogenetiche in epoca storica, per lo meno sono risultate sismo-propagatrici come è dimostrato dal fatto che i massimi eventi sismici avvertiti nella regione si sono verificati in queste aree anche quando l'epicentro era lontano. (v. Fig. .3).



Figura 3 Principali strutture sismotettoniche attive in tempi storici (da Boschi et al., 1993)

Si può quindi ritenere sufficientemente accettata l'ipotesi che L'Arco calabro peloritano rappresenti un lembo di catena alpina in trasporto passivo (roll-back) verso SE, in sovrapposizione ad un piano di Wadati-Benioff che subduce la litosfera ionica verso NW con elevato angolo. In tale modello, la particolare disposizione delle strutture evidenzia che le faglie longitudinali e trasversali che dividono l'Arco in blocchi rappresentano la risposta in superficie delle tensioni tettoniche di profondità.

Lo spostamento, iniziato con l'apertura del Mar Tirreno, dura da almeno 30 m.a. (Doglioni, 1991; Guegen et al., 1998; Faccenna et al., 2001) (v. Figura -4) ed ha profondamente segnato l'Arco dando luogo ad aspetti tettonici ancora non completamente noti.

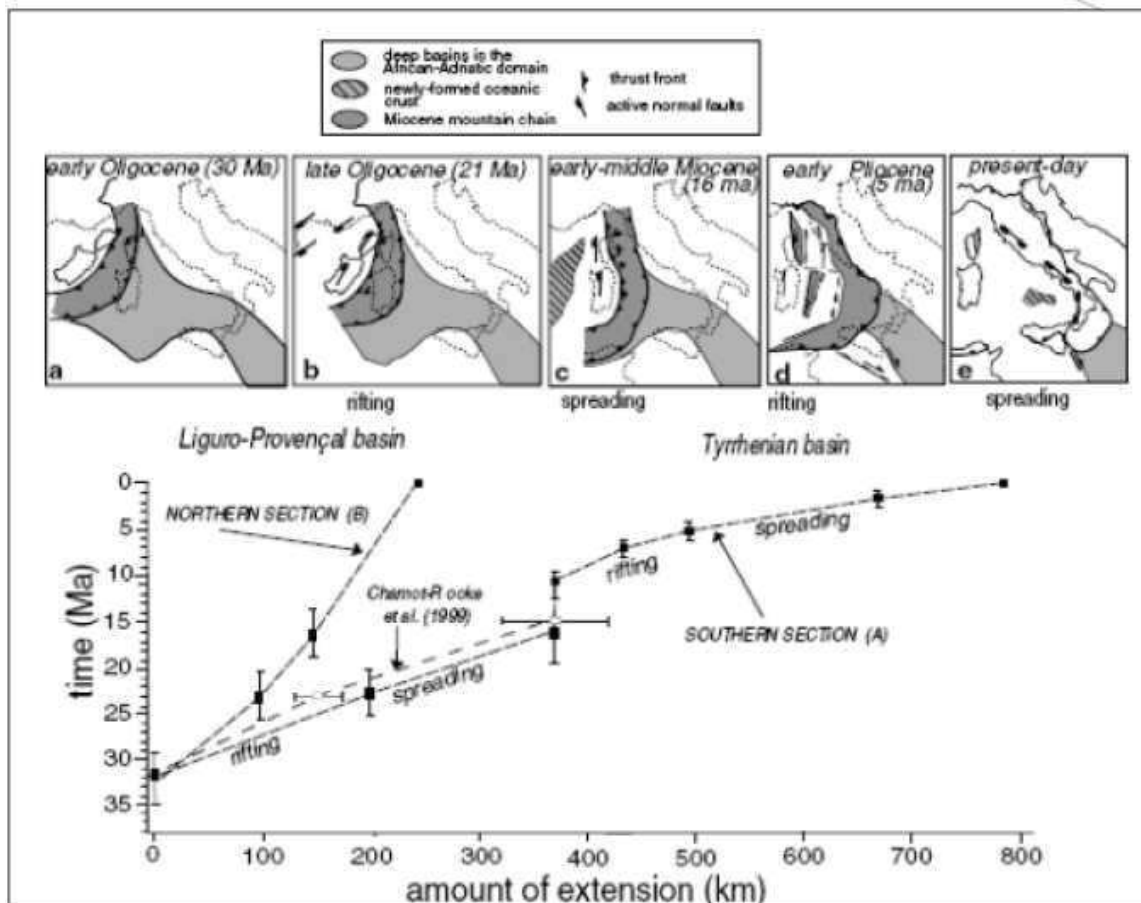


Figura 4: Ricostruzione paleogeografica della migrazione del fronte orogenico appenninico e dell'Arco calabro (da Faccenna et al., 2001).

L'Arco presenta anche differenziazioni litologiche interne e le unità deformate e metamorfosate del settore settentrionale sono state osservate solo localmente nel settore meridionale (Bonardi et al. 1987, Platt e Compagnoni, 1990); inoltre, è dimostrato che le unità litostratigrafiche dell'Arco differiscono nettamente da quelle che caratterizzano l'Appennino meridionale e le Maghrebidi siciliane, costituendo un frammento di litosfera alloctona rispetto alle rocce con cui vanno a contatto (Mac Williams e Howel, 1982; Cavazza et al. 1997).

Alle diversità litologiche corrispondono anche notevoli differenze tettonico-strutturali ed una specifica ed elevata sismicità storica (Panza et al., 2002; Gasparini et al., 1982; Cristofolini et al., 1982; Ghisetti, et al. 1982; De Natale e Pingue, 1993; Boschi et al., 1994; Valensise et al., 2003; Tinti, 2007; Mandaglio et al. 2008). Caratteristiche importanti dell'Arco Calabro-Peloritano, sono la grande velocità di raccorciamento litosferico negli ultimi 30 Ma ed un corpo freddo immergente verso NW ben visibile nei lavori di tomografia (Fig. 5) - che giustificherebbe la posizione degli epicentri dei terremoti indicati in figura 3 - e di altre tomografie sismiche locali (Fig. 6).

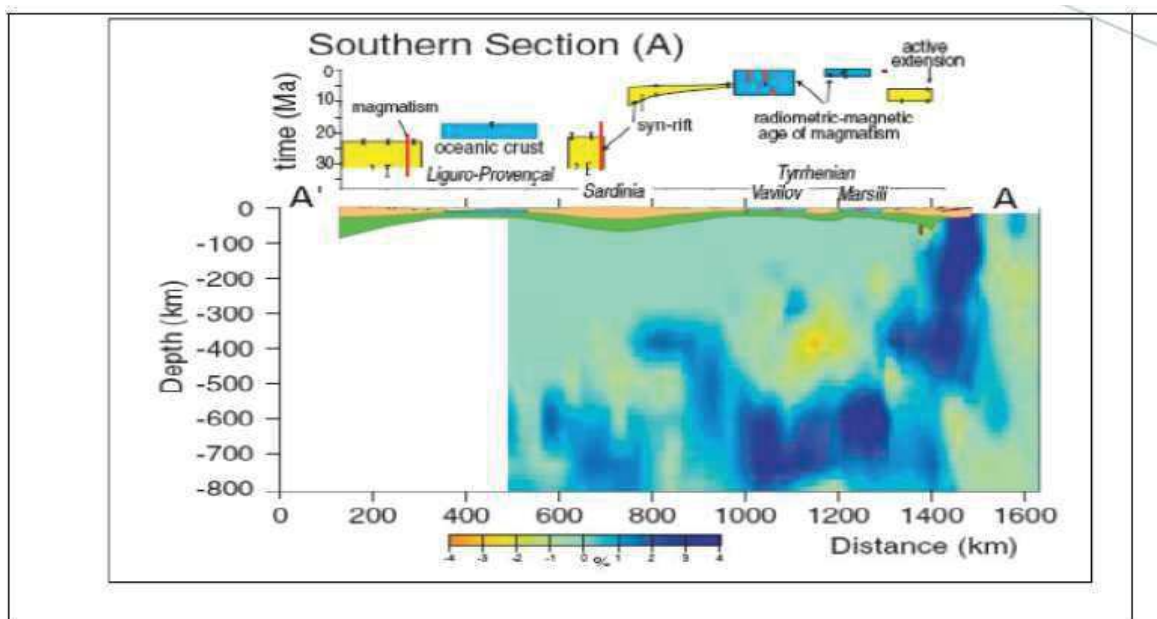


Figura 5. Sezione tra il Golfo di Lione e la Calabria con modello tomografico del mantello superiore (da Faccenna et al., 2001).

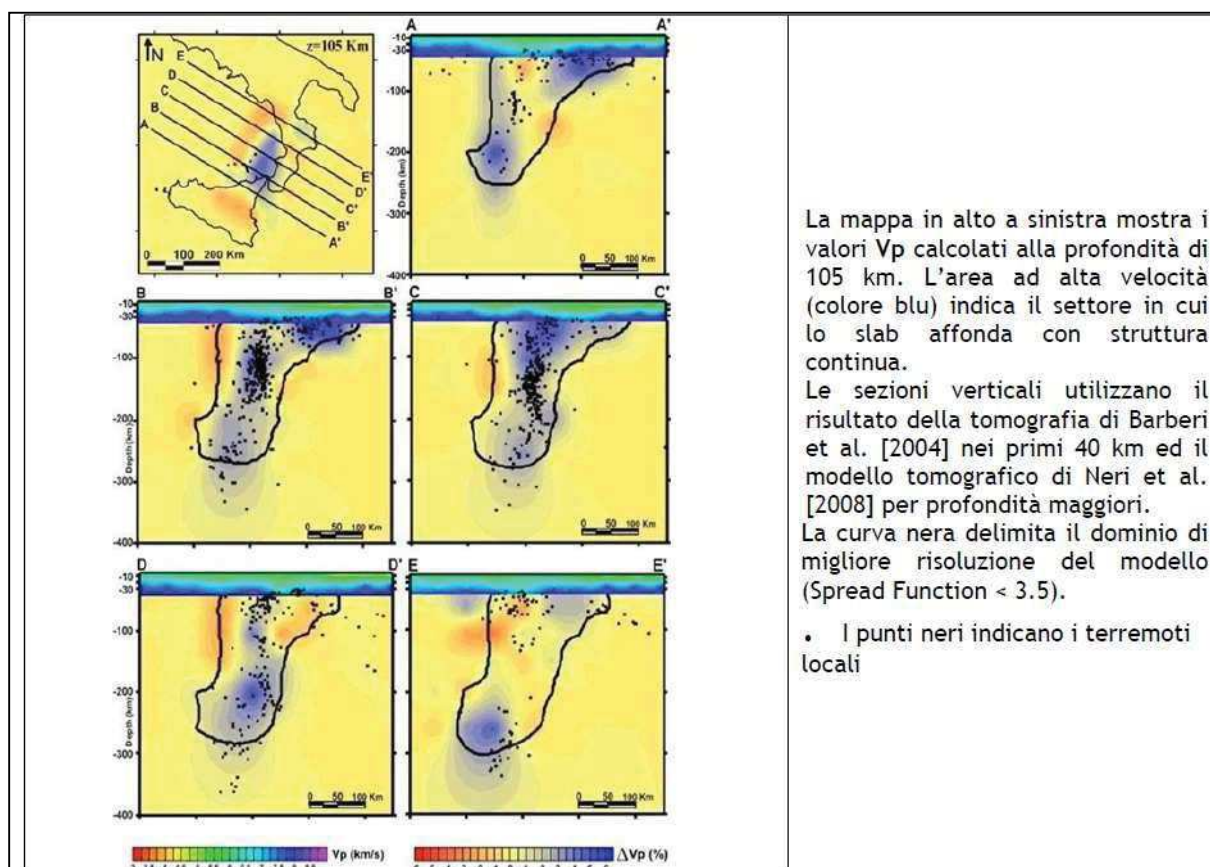


Figura 6: Tomografie sismiche dell'Arco Calabro – Peloritano.

La forte differenza dello spessore crostale tra il bacino ionico (25 - 45 km) ed il bacino tirrenico (~ 10 km), le faglie normali che hanno dislocato le falde della catena nel Pliocene inferiore, ed il sollevamento differenziale ancora perdurante sarebbero da attribuire alla subduzione. Inoltre, la fagliazione ed il sollevamento differenziale sarebbero alla base della formazione di una serie di bacinidi sprofondamento (Valle del Mesima, bacini di Gioia Tauro, Sant'Eufemia, Bacino di Reggio, Stretto di Messina) e alti strutturali (Serre, Aspromonte, M. Sant'Elia, Campo Piale) che nella Calabria meridionale sono orientati in direzione NE-SW oppure ENE-WSW, bordati da faglie normali ad alto angolo, sia subparallele che ortogonali alla catena (Tortorici et al., 1995; Monaco et al., 1997, Galli & Bosi, 2002, 2003). Il sollevamento ritmico della catena è ben testimoniato dalla successione e disposizione dei terrazzi che caratterizzano il versante occidentale dell'Aspromonte - dove sono stati riconosciuti 12 ordini di terrazzi di età pleistocenica - i quali, all'attuale linea di riva, raggiungono i 1350 m s.l.m. (Miyauchi et al., 1994). Il tasso di sollevamento generale risulta superiore a 0.6 mm/anno, con valori compresi tra 3.8 e 0.3 mm/anno nel Pleistocene inferiore-medio e 0.9-1.1 mm/anno nel Pleistocene superiore. Per quanto riguarda il tasso di sollevamento olocenico, sono indicati valori compresi tra 1.3 e 1.8 mm/anno (Westaway, 1993; Antonioli et al., 2002).

Ma il sollevamento regionale non si sviluppa in maniera continua né uniforme. Infatti, l'altitudine delle linee di riva pleistoceniche sollevate è variabile anche quando le linee appartengono allo stesso ordine, in quanto gli spostamenti lungo le faglie sono diacroni e disuniformi.

Sismicità e sismotettonica dell'area di costruzione

L'Arco Calabro è un segmento ristretto di catena montuosa tra il Mar Tirreno a E e il Mar Ionio a W. Si estende per 200 km tra il sud Appennino a N e Sicilia per la SW. L'Arco Calabro si è formato come conseguenza della subduzione della crosta oceanica sotto il margine meridionale della placca Europea. Il cuore dell'Arco Calabro è di per sé un residuo di quel margine che include unità cristallina. Anche le unità sedimentarie provenienti dal margine settentrionale della placca africana sono state progressivamente incorporate durante il processo di subduzione e contribuito a formare l'attuale Arco Calabro. La subduzione della crosta oceanica sembra essere ancora attiva solo in una porzione ristretta, nei pressi della sua estremità sud-occidentale, tra lo Stretto di Catanzaro e lo Stretto di Messina. A nord, anche se la convergenza è ancora attiva, la copertura sedimentaria del margine continentale africana è stato incastrato all'interno dell'Arco. Profili sismici attraverso il Mar Ionio evidenziano la struttura che si immerge del margine orientale dell'Arco Calabro e del cuneo sommerso in accrescimento che si estende verso il Mar Ionio per circa 170 km. Profili sismici e sezioni di tomografia riprendono la lastra di subduzione al di sotto della Calabria. Al contrario, la maggior parte della porzione onshore dell'Arco Calabro è dominato da un attivo movimento distensivo. La sismicità della Calabria è allo stesso tempo superficiale e profonda. Sismicità profonda da dati di tomografia sismica raffigurano una ben sviluppata

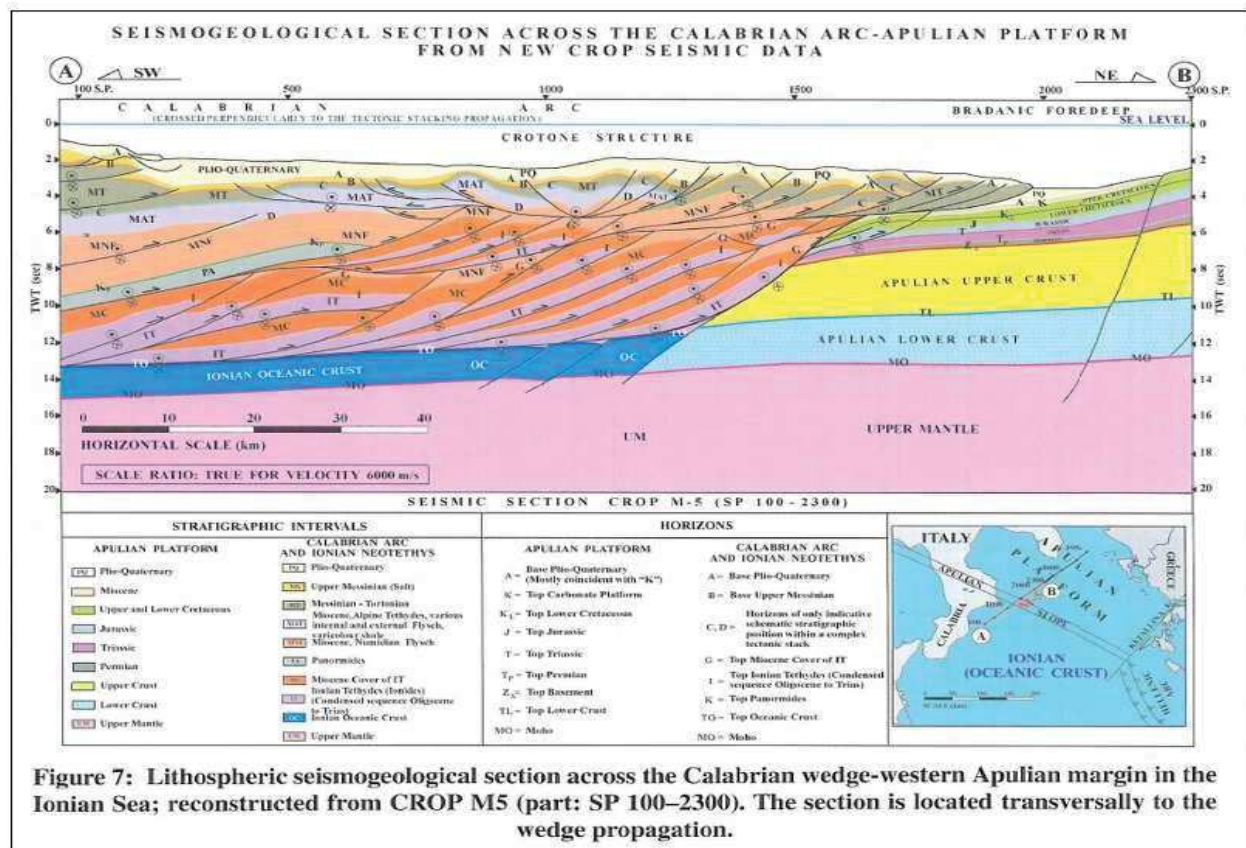
lastra di subduzione fino a 500 km di profondità. Sismicità superficiale è prevalentemente di tipo distensivo (Vannicci et al 2004). Per Crotone-Crosia la sorgente sismogenetica è collocata a una profondità compresa tra 3,0 e 12,0 km. La posizione corrisponde a quella parte di Arco Calabro dove la copertura sedimentaria del margine continentale africana è stato incastrato nella catena. La linea sismica CROP è una struttura complessa denominata "struttura di Crotone", che corrisponde alla porzione meridionale della fonte sismogenetica Crotone - Crosia. In questa zona, la presenza di terrazzi marini testimoniano il sollevamento rapido che ha avuto la zona in epoca quaternaria (vedi Mauz e Hassler, 2000, tra gli altri).

L'8 marzo 1832 un terremoto con $M = 6.5$ ha avuto luogo presso l'estremità sud-occidentale. E' stato adottato come grandezza massima per la sorgente sismogenetica di Crotone-Crosia il valore di 6,5 Mw in base a questo evento storico che si è verificato in questo settore.

Molto legate a queste strutture, sono i terremoti che, nel corso dei secoli, si sono succeduti con una certa frequenza, in queste porzioni di territorio.

Sulla Carta Neotettonica d'Italia (CNR – Progetto Finalizzato Geodinamica, 1991) si può notare che il massimo assoluto di attività sismica dell'Arco Calabro è localizzato nello Stretto di Messina e nella Piana

This profile shows the crustal structure of Calabria at the front of the Crotone-Rossano seismogenic source. The so-called Crotone Structure is imaged as a SW-verging thrust structure (from Finetti [2005]).



di Gioia - Bacino del Mesima, con un grande numero di terremoti aventi magnitudo $M > 7$ e profondità focali di circa 10 Km. Tali ricorrenze, estese a quelle che caratterizzano l'intero territorio nazionale,

hanno portato alla valutazione della massima intensità macrosismica risentita dalle diverse parti della penisola italiana e alla redazione di una specifica carta tematica (Massima intensità macrosismica risentita in Italia - INGV; Pres. Cons. Ministri - Dip. Protezione Civile.1996) uno stralcio della quale, comprendente l'area in esame, è riportato nella pagina seguente. Dall'esame di tale Carta si evince chiaramente che il territorio di Stilo e quindi anche l'area di costruzione rientrano in una zona in cui si sono verificati terremoti con intensità MCS dell'VIII-IX grado. Molto legate a queste strutture, sono i terremoti che, nel corso dei secoli, si sono succeduti con una certa frequenza, assumendo talvolta intensità distruttiva.

PERICOLOSITÀ SISMICA - APPROCCIO DETERMINISTICO

La valutazione della pericolosità sismica di un sito può essere condotta utilizzando due approcci: uno deterministico ed uno probabilistico.

Il metodo deterministico si basa sullo studio dei danni osservati in occasione di eventi sismici che storicamente hanno interessato un sito, ricostruendo degli scenari di danno per stabilire la frequenza con la quale si sono ripetute nel tempo fenomeni di uguale intensità. Sulla scorta di tali informazioni e tenendo conto delle massime intensità dei terremoti storici nel territorio italiano, l'INGV-SSN ha redatto la Carta della Massima Intensità Macrosismica il cui stralcio è riportato in fig .7.

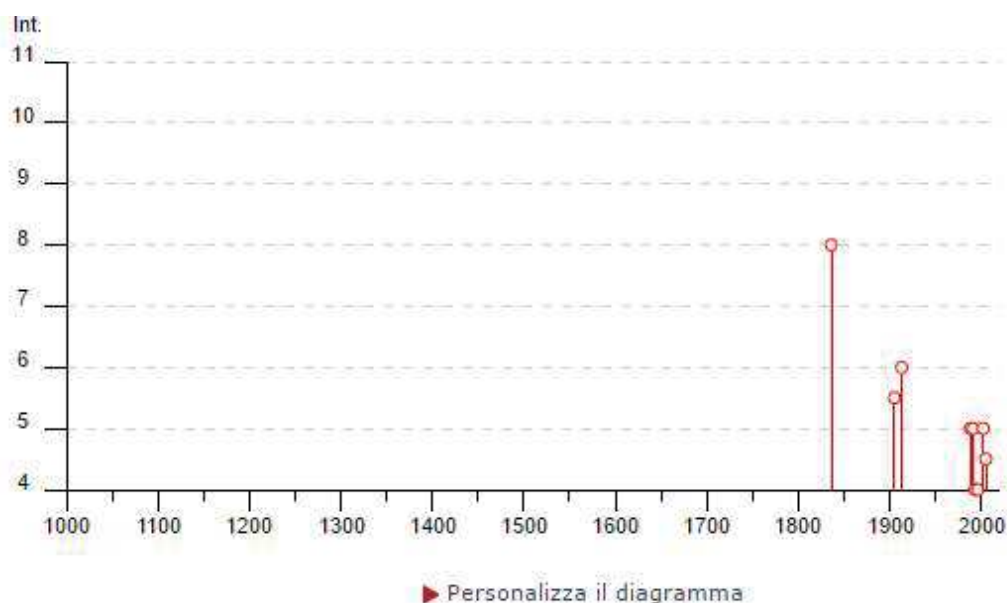
Come già accennato nel paragrafo precedente la zona indagata ricade in un contesto a pericolosità sismica molto elevata, di cui i terremoti storici sono l'effetto più tangibile ed i cui fattori generatori, che caratterizzano l'intera area, hanno lasciato evidenti segni geomorfologici sia sotto forma di grandi frane che di deformazioni tettoniche.

La storia sismica di Cropalati è sintetizzata nelle figure seguenti (fonte INGV - Stucchi et altr. -2007).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	📄	1836	04	25	00	20	Calabria settentrionale	44	9	6.18
5-6	📄	1905	09	08	01	43	Calabria centrale	895	10-11	6.95
6	📄	1913	06	28	08	53	0 Calabria settentrionale	151	8	5.64
2	📄	1930	07	23	00	08	Irpinia	547	10	6.67
5	📄	1988	04	13	21	28	2 Golfo di Taranto	272	6-7	4.86
NF	📄	1990	01	24	04	45	0 Crotonese	63	5	4.43
NF	📄	1990	05	05	07	21	2 Potentino	1375		5.77
3-4	📄	1991	03	30	03	04	5 Valle del Crati	67	5	4.01
5	📄	1991	05	09	08	57	1 Sila Greca	18	5	3.54
4	📄	1993	08	10	01	14	1 Golfo di Taranto	79	4-5	4.45
NF	📄	1995	04	17	03	26	1 Costa calabra settentrionale	13		4.06
NF	📄	1995	08	08	07	53	4 Piana di Sibari	49	4-5	4.31
4	📄	1996	04	27	00	38	2 Sila Greca	123	6-7	4.77
NF	📄	2001	10	18	11	02	4 Valle del Crati	115	5	4.28
5	📄	2002	04	17	06	42	5 Costa calabra settentrionale	66		4.84
NF	📄	2004	05	05	13	39	4 Isole Eolie	641		5.42
4-5	📄	2005	04	23	19	11	4 Costa calabra settentrionale	156	4	4.15
NF	📄	2006	04	17	02	44	0 Costa calabra settentrionale	135	4-5	4.76

Figura 9 – Storia sismica di Cropalati (INGV)

Dove: Is: Intensità al sito (MCS); Np: Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Ix: intensità massima (MCS); Mw: Magnitudo momento



Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Caloveto	19	3
Paludi	16	4
Crosia	13	7
Calopezzati	10	8
Pietrapaola	6	8

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (39.582, 16.778) e raggio 50 km
con valore Io tra 1 e 11

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	RE	Rt	Mp	Imax	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	SS9	TE	Ncft	Mnt	Nept
23	DI	1951						ROSSANO	CFTI	1	90	90		39.57	16.63	A	6.00	0.26		6.00	0.26		6.00	0.26	920	G	85		23
40	DI	1184	5	24				Valle del Crati	CFTI	7	90	90		39.43	16.25	A	6.00	0.26		6.00	0.26		6.00	0.26	929	G	105	1599	40
242	DI	1628	6	8	9	45		Protonese	CFTI	40	100	95		39.28	16.82	A	6.60	0.17		6.60	0.17		6.60	0.17	920	G	253	1631	242
573	DI	1767	7	14	1	5		Cosentino	CFTI	8	85	85		39.28	16.28	A	5.82	0.13		5.78	0.20		5.78	0.20	929	G	216	1606	573
755	DI	1824	12	11				ROSSANO	DOM	4	75	75		39.54	16.588	A	5.52	0.22		5.32	0.32		5.48	0.30	929	G		1594	755
808	DI	1825	10	12	22	35		Cosentino	CFTI	24	100	90		39.23	16.3	A	5.91	0.13		5.90	0.20		5.90	0.20	929	G	287	1608	808
811	DI	1826	4	25		20		Calabria settent.	CFTI	46	100	90		39.57	16.73	A	6.16	0.13		6.16	0.13		6.16	0.13	920	G	388	1595	811
857	CP	1846	9	11				ROSSANO	POS85			60		39.582	16.667	A	4.82	0.26		4.30	0.39		4.52	0.36	920	G		1596	857
1136	DI	1887	12	3	3	45		Calabria settent.	CFTI	142	90	80		39.57	16.22	A	5.52	0.08		5.32	0.12		5.47	0.11	929	G	439	1619	1136
1285	CP	1897	12	6	3	15		LAGO AMPOLLINO	POS85			60		39.25	16.7	A	4.82	0.26		4.30	0.39		4.52	0.36	920	G		1623	1285
1506	CP	1909	5	17	10	28	44	SAVELLI	POS85			60		39.3	16.8	A	4.82	0.26		4.30	0.39		4.52	0.36	920	G		1624	1506
1581	DI	1912	6	28	8	53	2	Calabria settentrion	CFTI	151	85	80		39.52	16.23	A	5.65	0.04		5.52	0.06		5.52	0.06	929	G	475	1597	1581
1813	CP	1928	9	3	1	40		CIRO' MARINA	POS85			55		39.4	17.1	A	4.62	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	920	G		1625	1813
2090	CP	1955	7	23	21	5		S. DEMETRIO	POS85			60		39.582	16.417	A	4.82	0.26		4.30	0.39		4.52	0.36	929	G		1598	2090
2199	CP	1962	11	12	8	22	33	LUZZI	POS85			55		39.5	16.317	A	4.62	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	929	G		1629	2199
2465	DI	1988	4	13	21	28	28	POLLINO	EMING	272	65	65		39.764	16.275	A	4.98	0.09		4.71	0.12		4.91	0.11	927	G			
2507	DI	1996	4	27		38	27	COSENTINO	EMING	91	70	65		39.575	16.291	A	4.81	0.08		4.47	0.12		4.68	0.11	929	G			

Dall'osservazione della tabella si può notare come il terremoto più importante (max intensità al sito) per l'area esaminata sia il sisma del 09/08/1905, con magnitudo 7.06.

La valutazione della pericolosità sismica effettuata sulla base dei danni arrecati ai manufatti ed all'ambiente fisico non descrive oggettivamente il contenuto energetico associato al terremoto. Per cui è necessario fare riferimento all'energia liberata da un sisma, rappresentata dalla magnitudo secondo diverse scale, delle quali la più diffusa è la scala Richter.

Tra l'altro, la grandezza di maggiore impiego per la valutazione degli effetti sulle strutture è l'accelerazione massima (amax) che può essere ricavata da registrazioni sismiche e da leggi empiriche che tengono conto dell'attenuazione del moto sismico e dell'intensità e/o magnitudo del terremoto.

PERICOLOSITÀ SISMICA - APPROCCIO PROBABILISTICO

La valutazione della pericolosità sismica effettuata sulla base dei danni arrecati ai manufatti ed all'ambiente fisico non descrive oggettivamente il contenuto energetico associato al terremoto. Per cui è necessario fare riferimento all'energia liberata da un sisma, rappresentata dalla magnitudo secondo diverse scale, delle quali la più diffusa è la scala Richter. Tra l'altro, la grandezza di maggiore impiego per la valutazione degli effetti sulle strutture è l'accelerazione massima (amax) che può essere ricavata da registrazioni sismiche e da leggi empiriche che tengono conto dell'attenuazione del moto sismico e dell'intensità e/o magnitudo del terremoto.

La difficoltà di conoscere in misura soddisfacente la natura meccanica e la geometria delle sorgenti sismiche e i meccanismi di propagazione delle onde dalla sorgente all'area bersaglio, rendono poco praticabile l'approccio deterministico del problema della scuotibilità di una determinata zona.

Perciò il problema sismico viene affrontato normalmente secondo un approccio di tipo probabilistico grazie alle notevoli informazioni presenti per il territorio italiano riguardo ai terremoti storici riportati in appositi cataloghi. Partendo da questi cataloghi, attraverso modelli statistici, è possibile valutare la probabilità di occorrenza o di eccedenza di un terremoto di determinate caratteristiche.

Secondo tale criterio è stata elaborata una mappa della pericolosità sismica del territorio Italiano, approvata dalla Commissione Grandi Rischi, nella seduta del 6 aprile 2004 (Fig 4.13). Tale carta, redatta in termini di accelerazione massima al suolo su un suolo di riferimento di Cat. A, fornisce la base di partenza per la valutazione dell'azione sismica come previsto dalla vigente normativa (D.M. 17.01.2018).

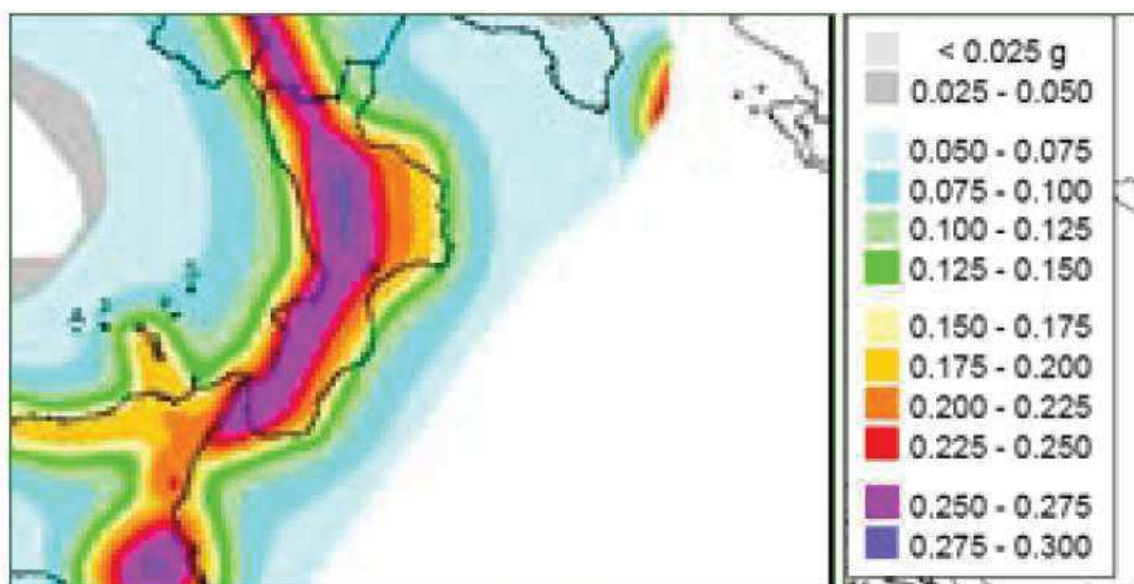


Figura 4-13- Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.

MODELLAZIONE SISMICA DI SITO E AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (D. Min. Infrastrutture 14 gennaio 2008) raccolgono, modificano e organizzano le norme introdotte con il D.M. N°3274/2003 in base alle direttive dell'Eurocodice 8 e riconoscono che anche in terreni ricadenti all'interno di un'area avente la stessa classificazione, la risposta sismica può non essere omogenea, e subire incrementi o riduzioni strettamente dipendenti dalle situazioni geologiche, lito-stratigrafiche e geomorfologiche locali. Pertanto, alla sismicità generale dell'area descritta in precedenza, deve essere associato uno studio specifico sulla risposta sismica locale che in sostanza deriva dalla storia geologica del sito.

Caratterizzazione sismica – Categoria di suolo

Le Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con il D.M. 17.01.2018, stabiliscono che, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica mediante specifiche analisi in assenza delle quali si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di suolo di riferimento. Le categorie di suolo standard previste dalla normativa sono le seguenti:

Categoria suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} (m/s) (N_{spt30}) (Cu_{30})
A	Ammassi rocciosi affioranti e terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s30} > 800$
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	$360 < V_{s30} < 800$ ($N_{spt} > 50$) ($Cu > 250$ kPa)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	$180 < V_{s30} < 360$ ($15 < N_{spt} < 50$) ($70 < Cu < 250$ kPa)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	$V_{s30} < 180$ ($N_{spt} < 15$) ($Cu < 70$ kPa)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D di spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).	

La V_{s30} che caratterizza le diverse categorie, corrisponde alla velocità media di propagazione delle onde sismiche trasversali (onde di taglio) nei primi 30 metri di profondità, ed il suo valore viene misurato per mezzo di appositi strumenti. Dalla categoria B in poi, in alternativa o a completamento delle V_s , è previsto l'impiego di altri parametri (N_{spt30} , Cu_{30}). Quando si è in presenza di terreni multistrato, ognuno dei quali sia dotato di una sua specifica velocità, la V_{s30} si calcola con l'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

- h_i = spessore dello strato in metri
- V_i = velocità delle onde di taglio (per deformazioni $\sigma < 10^{-6}$ dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di profondità).

La normativa prevede che la definizione della categoria di suolo sia eseguita con misure dirette delle onde V_{S30} , anche se quando non si conoscono i valori di V_{S30} consente la caratterizzazione dei terreni mediante i valori di $N_{spt.30}$ oppure della Cu_{30} a secondo dei litotipi.

Caratterizzazione sismica mediante V_{S30}

Per il caso specifico, ai fini dell'identificazione della categoria di suolo, avendo a disposizione i dati sismici provenienti dalle indagini MASW realizzate per il presente progetto la classificazione è stata effettuata in base ai valori della velocità equivalente V_{S30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi trenta metri di profondità (essendo una misura diretta e più attendibile rispetto ai valori di N_{spt} ed ai valori di Cu).

INDAGINE DI SISMICA MASW

Introduzione

Nell'ambito del progetto di indagini sono state eseguite delle misure sismiche per la stima della velocità delle onde di taglio dall'analisi ed inversione della dispersione delle onde di Rayleigh e Love.

Le onde di superficie possono essere utilizzate per determinare la velocità delle onde di taglio dei suoli non consolidati e dei materiali più rigidi come le rocce. Queste onde in genere si propagano con velocità tipiche dei materiali superficiali e ultimamente sono sempre più utilizzate nella definizione delle proprietà elastiche ed anelastiche dei terreni e per determinare la rigidità dei materiali. I metodi che utilizzano le onde di superficie hanno il vantaggio di considerare un'area del sito abbastanza vasta e soggetta a livelli di deformazione, principalmente dovuti alle onde sismiche che si propagano nel mezzo, molto bassi. La rigidità del terreno dipende essenzialmente dal livello di deformazione. Nelle prove di laboratorio (i.e. prove triassiali) i livelli di deformazione utilizzati per stimare la rigidità dei campioni sono molto più alti di quelli normalmente presenti nel terreno quando si propagano onde sismiche. Si è anche osservato che la rigidità aumenta al decrescere del livello di deformazione ed è ormai generalmente accettato il fatto che le deformazioni del terreno associate con la maggior parte dei problemi connessi all'interazione suolo-struttura hanno bassi valori percentuali (0.1%). Per questo motivo la classificazione dei suoli sulla base dei metodi che utilizzano le onde di superficie rappresenta oramai lo stato dell'arte.

Acquisizione dei dati

Per la misura della velocità delle onde S, la tecnica utilizzata in questo studio impiega l'analisi delle onde di superficie su registrazioni effettuate lungo uno stendimento di 24 stazioni sismiche ad ampia dinamica (24 bit) collegate da canali di trasmissione dati. Per ogni stazione sismica sono utilizzati sensori a 4.5 Hz. I sensori sono posti a distanze di 2 m l'uno dall'altro. I punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del

profilo a distanze di 5,0 e 7,0 m dal geofono n° 1. La scelta dei due scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24

Canali. La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra posizionata alla distanza di 1.25m dal primo geofono. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 1.25m.

METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio). Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing). Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza. I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee. Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni. Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (deviazioni standard) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

Il principale punto di forza del software utilizzato è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli ottenibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità.

Procedura di inversione

Per il sito considerato abbiamo invertito simultaneamente la velocità di fase del modo fondamentale delle onde di Rayleigh e di Love utilizzando una tecnica derivata da Nolet, (1981) e Herrmann (2002).

Come modello di partenza nell'inversione abbiamo usato i dati relativi all'analisi semplificata di sismica a rifrazione S effettuata sulla componente trasversale del moto. Abbiamo utilizzato una tecnica lineare di inversione generando però con diverse parametrizzazioni della struttura di partenza diverse soluzioni (profili di velocità S) in grado di produrre curve di dispersione molto simili a quelle osservate. E' importante sottolineare che l'inversione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love non restituisce un unico modello di velocità. I metodi come quello qui utilizzato hanno lo svantaggio di convergere verso un unico minimo relativo (metodo ai minimi quadrati). Per ovviare a questo in genere si utilizzano diversi modelli di partenza e si scelgono solitamente i modelli finali più semplici, dove esiste in genere un aumento della velocità con la profondità. Esiste comunque una certa ambiguità perché le soluzioni possono essere molteplici e diverse tra loro.

Per scegliere quindi i modelli finali che di seguito saranno presentati abbiamo scartato tutti i modelli che non erano in grado di generare le frequenze di risonanza osservate nei rapporti spettrali H/V del rumore ambientale. Nel nostro studio i profili di velocità S ottenuti dall'inversione delle proprietà di dispersione delle onde di Rayleigh e Love sono in accordo con i dati con i rapporti spettrali H/V misurati nel sito interessato. Questo rende più attendibile la soluzione ottenuta attraverso il processo di inversione in quanto si riesce ad eliminare ogni ambiguità relativa ai problemi di "tradeoff" tra profondità e velocità che sono ben conosciuti quando si utilizzano solamente le onde di superficie. Utilizzando i tempi di arrivo S e la frequenza di risonanza fondamentale si riesce in questo modo a vincolare la profondità dove esista un contrasto di velocità.

Interpretazione

L'individuazione del tono fondamentale di tutti gli shots effettuati è stato complicato dall'insorgere di un primo ipertono caratterizzato da un'elevata energia associata e da una velocità di fase lievemente maggiore di quella del tono fondamentale. E' stato però possibile individuare chiaramente l'immagine di dispersione del fundamental mode tramite filtrazione (mute) della parte relativa ai primi arrivi delle body wave nel sismogramma dello shot M1. Gli altri shots sono stati poi interpretati sulla base della curva di dispersione rilevata in M1. Il profilo delle Vs è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- 1) la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- 2) la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessanti dal propagarsi della perturbazione;

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione: $z_f = \lambda f$

dove:

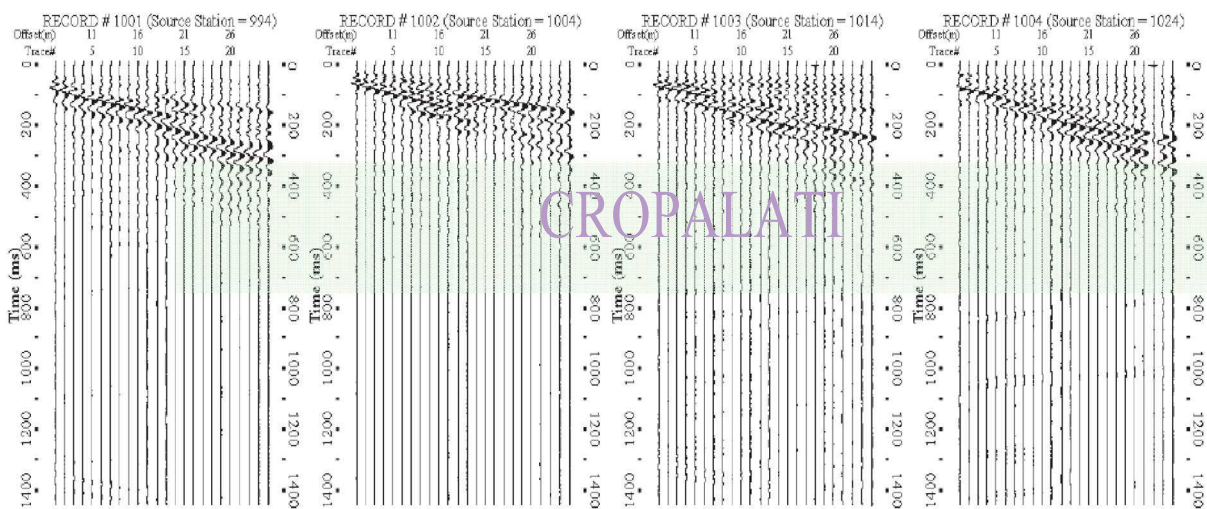
z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

a = coefficiente adimensionale;

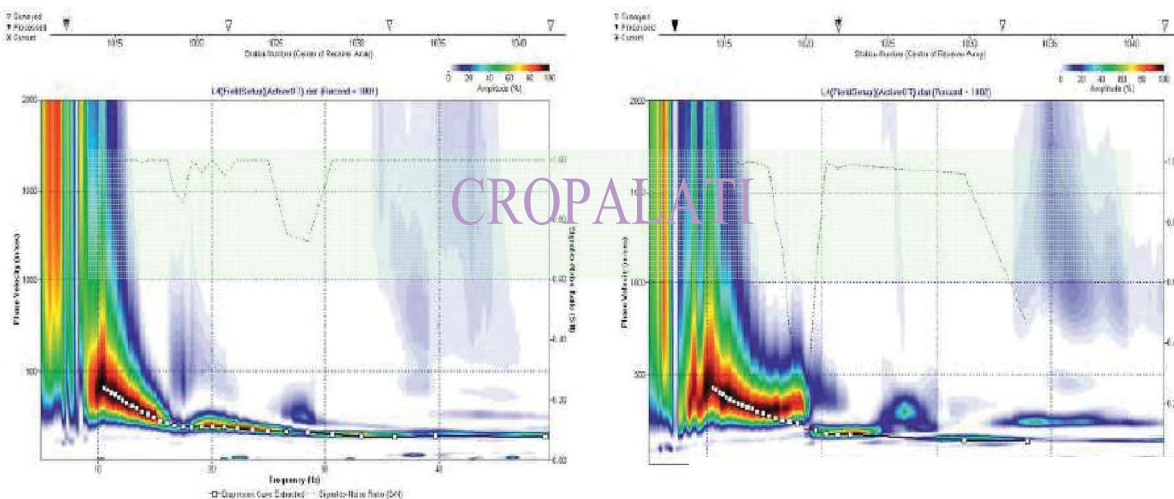
λf = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione precedentemente descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico.

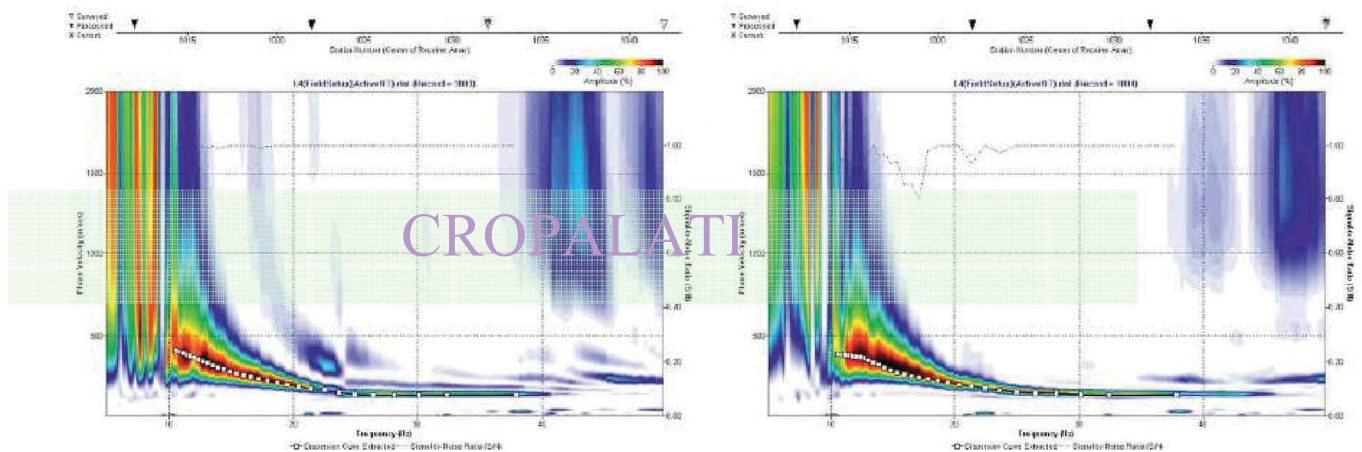
RISULTATI DELLA PROVA MASW N1



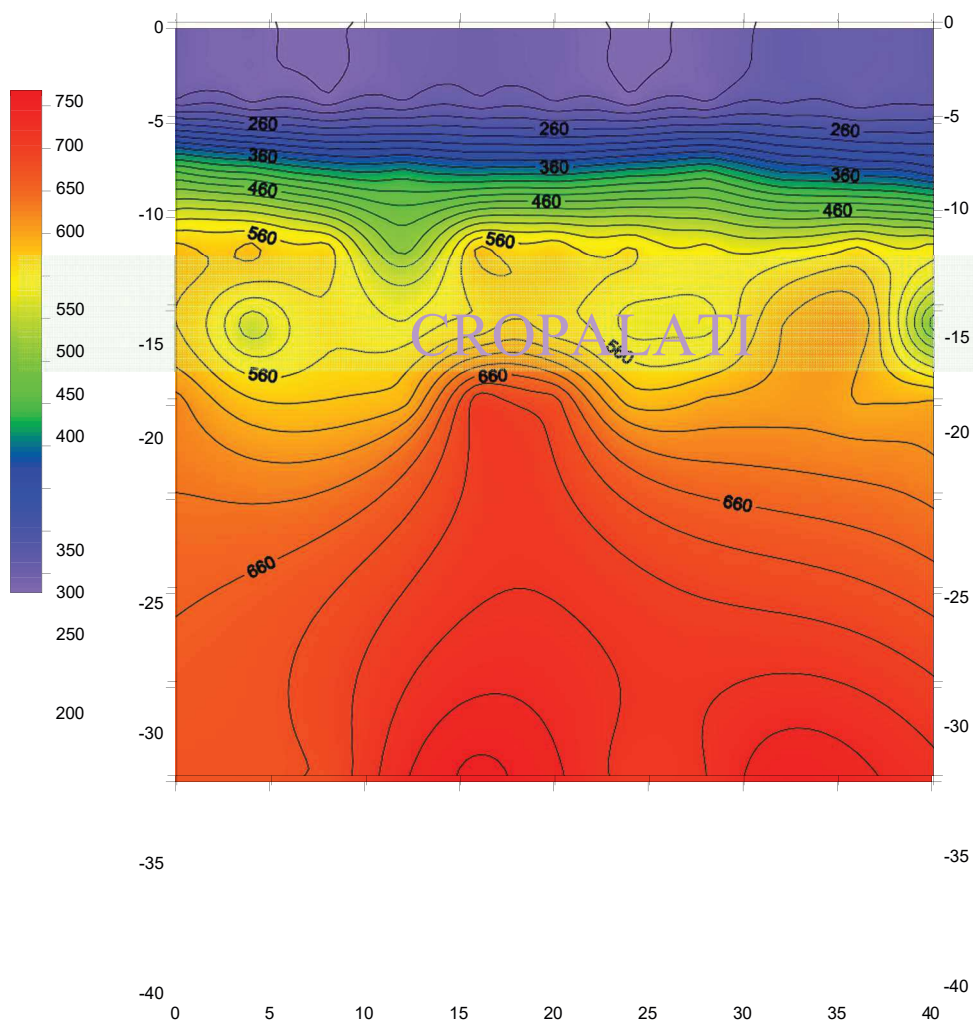
Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW
all'indagine Sismica MASW



Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW



Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW



Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

Spessore mt	Vs m/sec	γ Densità kN/mc	Coeff. di Poisson	Modulo Taglio G_0 Mpa	Frequenza Strato f	Periodo Strato s
6.00	244.000	17.00	0.35	103.17	10.2	0.10
4.00	430.000	18.00	0.30	339.27	26.9	0.14
25.00	520.000	19.00	0.28	523.71	6.5	0.15

Strato	Spessore m	RIGIDITA' $V_s^2 \gamma$
1	6.00	0.41
2	4.00	0.77
3	14.00	0.99

RIGIDITA' SISMICA RIFERITA ALLO SPESSORE DI TERRENO CONSIDERATO

R= 0.86

Metodi di calcolo delle V_{s30}	Valori in metri al secondo	Categoria suolo di fondazione
V_{s30} (misurato in sito con indagini dirette)	414,63	B

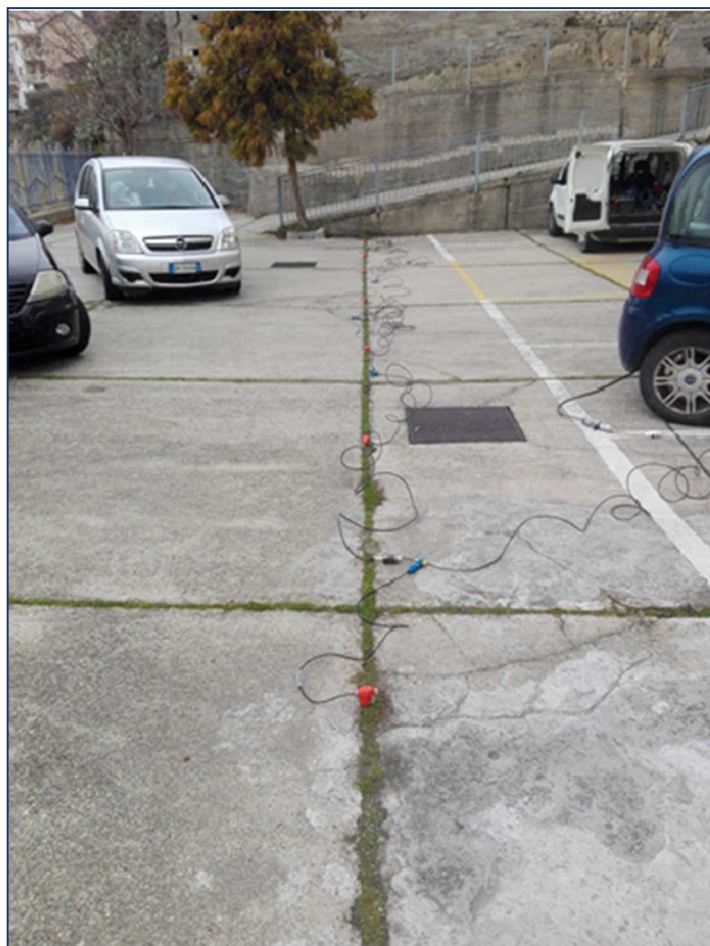
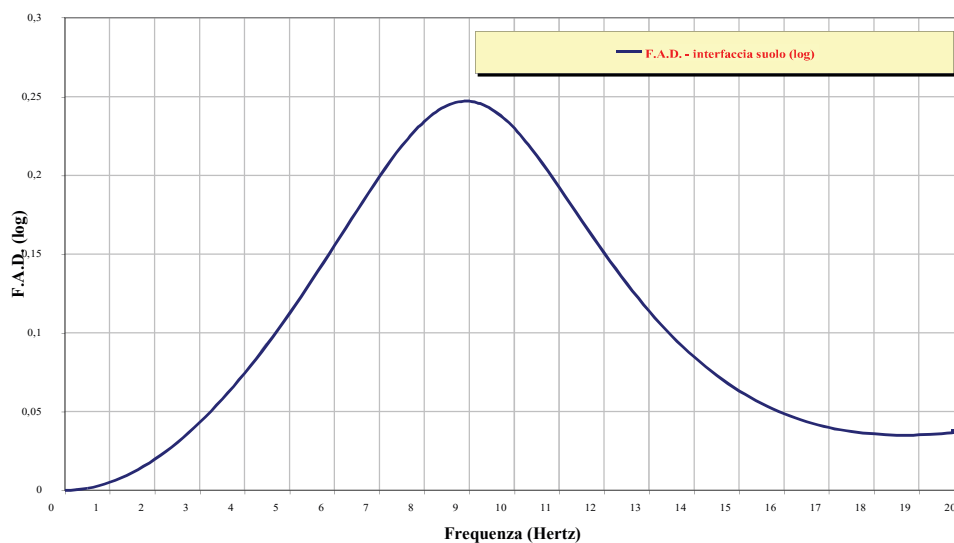
Categorie suolo di fondazione

- A** >800 m/s
- B** >360 m/s
- C** >180 m/s
- D** <180 m/s
- S₁** <100 m/s
- S₂** Terreni liquefacibili o non ascrivibili alle altre categorie
- E** Contiene alluvioni tra 5 e 20 metri su substrato rigido ($V_{s30} > 800$ m/s)

表 3-1 主要材料表

序号	材料名称	规格	单位	数量	单价	合价	备注	材料名称	规格	单位	数量	单价	合价	备注	材料名称	规格	单位	数量	单价	合价	备注
1	0	0.00	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	1.000	0.000				
2	0.25	1.57	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.990	0.990				
3	0.5	3.14	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.980	0.980				
4	0.75	4.71	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.970	0.970				
5	1	6.28	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.960	0.960				
6	1.25	7.85	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.950	0.950				
7	1.5	9.42	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.940	0.940				
8	1.75	10.99	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.930	0.930				
9	2	12.56	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.920	0.920				
10	2.25	14.13	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.910	0.910				
11	2.5	15.70	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.900	0.900				
12	2.75	17.27	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.890	0.890				
13	3	18.84	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.880	0.880				
14	3.25	20.41	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.870	0.870				
15	3.5	21.98	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.860	0.860				
16	3.75	23.55	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.850	0.850				
17	4	25.12	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.840	0.840				
18	4.25	26.69	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.830	0.830				
19	4.5	28.26	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.820	0.820				
20	4.75	29.83	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.810	0.810				
21	5	31.40	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.800	0.800				
22	5.25	32.97	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.790	0.790				
23	5.5	34.54	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.780	0.780				
24	5.75	36.11	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.770	0.770				
25	6	37.68	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.760	0.760				
26	6.25	39.25	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.750	0.750				
27	6.5	40.82	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.740	0.740				
28	6.75	42.39	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.730	0.730				
29	7	43.96	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.720	0.720				
30	7.25	45.53	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.710	0.710				
31	7.5	47.10	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.700	0.700				
32	7.75	48.67	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.690	0.690				
33	8	50.24	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.680	0.680				
34	8.25	51.81	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.670	0.670				
35	8.5	53.38	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.660	0.660				
36	8.75	54.95	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.650	0.650				
37	9	56.52	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.640	0.640				
38	9.25	58.09	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.630	0.630				
39	9.5	59.66	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.620	0.620				
40	9.75	61.23	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.610	0.610				
41	10	62.80	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.600	0.600				
42	10.25	64.37	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.590	0.590				
43	10.5	65.94	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.580	0.580				
44	10.75	67.51	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.570	0.570				
45	11	69.08	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.560	0.560				
46	11.25	70.65	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.550	0.550				
47	11.5	72.22	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.540	0.540				
48	11.75	73.79	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.530	0.530				
49	12	75.36	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.520	0.520				
50	12.25	76.93	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.510	0.510				
51	12.5	78.50	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.500	0.500				
52	12.75	80.07	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.490	0.490				
53	13	81.64	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.480	0.480				
54	13.25	83.21	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.470	0.470				
55	13.5	84.78	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.460	0.460				
56	13.75	86.35	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.450	0.450				
57	14	87.92	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.440	0.440				
58	14.25	89.49	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.430	0.430				
59	14.5	91.06	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.420	0.420				
60	14.75	92.63	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.410	0.410				
61	15	94.20	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.400	0.400				
62	15.25	95.77	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.390	0.390				
63	15.5	97.34	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.380	0.380				
64	15.75	98.91	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.370	0.370				
65	16	100.48	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.360	0.360				
66	16.25	102.05	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0	0.350	0.350				
67	16.5	103.62	1.00	244	18.00	4392	1.00	820	6.00	4920	0.000	0.000	0.000	1.000	1.0						

Spettro di risposta del Fattore di Amplificazione Dinamica
in campo viscoelastico (smorzato) - campo di frequenza 0-20 Hz



CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO OGGETTO DELL'INTERVENTO

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di

scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n. 08 dell'8 maggio 2003) si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica secondo dati, metodi, approcci aggiornati e condivisi e utilizzati a livello internazionale. Questa iniziativa ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 20% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante. Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3592/2006 (G.U. n. 05 maggio 2006) e relativa alle allora vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 14 Settembre 2005).

L'Ordinanza PCM 3274/2003, quindi applicata ed integrata da altre modifiche nelle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2005 (e successivamente nelle attuali NTC 2018), indica 4 valori di accelerazione orizzontale (a_g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare. Di conseguenza ciascuna zona viene individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni secondo la seguente tabella:

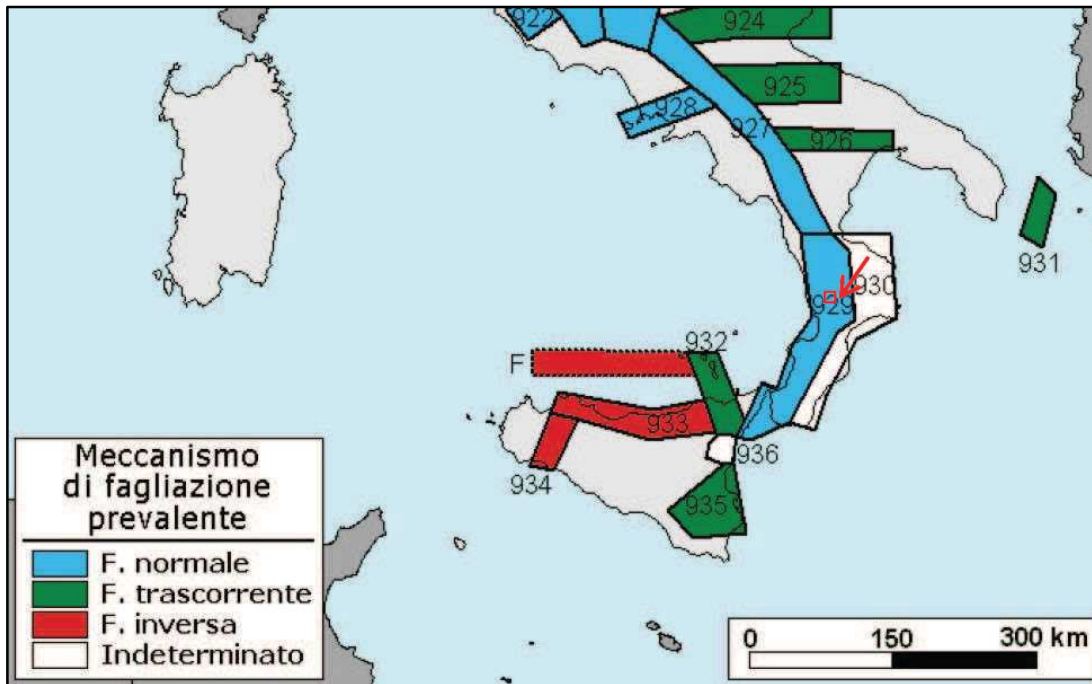
zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Con l'entrata in vigore del D.M. 2008 (Norme Tecniche sulle Costruzioni), e con il successivo loro aggiornamento attualmente in vigore (D.M. 17/01/2018), la valutazione dell'azione sismica viene fatta considerando intrinsecamente alcune caratteristiche del sito in oggetto (di seguito specificate), quindi questo tipo di valutazione, con la Normativa attualmente in vigore, non è più "zona-dipendente", ma "sito-dipendente".

MECCANISMO DI FAGLIAZIONE PRINCIPALE PER L'AREA DI STUDIO E CONSULTAZIONE DEL DATABASE MACROSISMICO ITALIANO

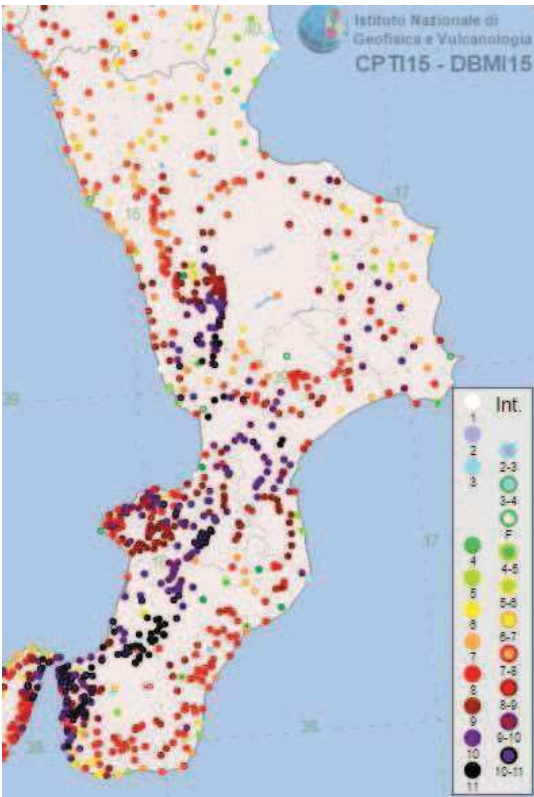
Per quanto riguarda il tipo di meccanismo focale principale che genera i terremoti nella zona di interesse, è stata consultata la zonazione sismogenetica ZS9 (vedi immagine seguente), realizzata dal Gruppo di Lavoro per la Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica dell'INGV nel Marzo 2004 (relativa all'OPCM 2003), è risultato

che il meccanismo di fagliazione prevalente (e quindi che genera i terremoti) nella zona interessata dal presente studio, è risultato essere di tipo normale (zona 929). Questa assegnazione, è basata su una combinazione dei meccanismi focali osservati con dati geologici a varie scale.



Zonazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia Meridionale (da INGV)

Inoltre, è stato consultato il Database Macrosismico Italiano dell'INGV, contenente gli eventi tellurici dall'anno 1000 al 2014. La ricerca è stata eseguita per località, da cui è emerso che sono stati registrati 69 eventi per Cropalati. Di seguito è riportata la mappa del DBMI15



Mappa degli eventi Sismici in Calabria con relativa intensità (da INGV, DBMI15)

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

Con l'entrata in vigore del D.M.2018, le azioni sismiche di progetto (Cap. 3.2 NTC 2018), in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla *"pericolosità sismica di base"* del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Prima di procedere alla dettagliata descrizione della metodologia da adottare nella valutazione dell'azione sismica, è opportuno definire tre importanti parametri che sono alla base di una corretta analisi, e sono Vita Nominale, Classe d'Uso e Periodo di Riferimento (§ 2.4 NTC 2018). La **Vita Nominale** di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (Anni)
	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50

	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100
--	--	-----

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in Classi d'Uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al

D.M. 5 novembre 200f, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un Periodo di Riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito al variare della classe d'uso.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al § 3.2.2 NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , come definite nel § 3.2.f delle NTC 2018, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4.3. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica locale* dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

f_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite (§ 3.2.1 NTC 2018), sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti

strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.4.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella successiva, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

h_i: spessore dell'i-esimo strato;

V_{S,i}: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N: numero di strati;

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 mfs.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nella tabella seguente vengono riportate le categorie di sottosuolo di cui si deve tener conto nell'individuazione dell'azione sismica di progetto.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.2 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suddette categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La valutazione dell'azione sismica, ai sensi delle NTC 2018, è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- storia temporale del moto del terreno.

La normativa, attualmente prevede due tipi di approcci nella valutazione dell'azione sismica:

Un **approccio semplificato** (nel caso in cui la Classe d'Uso della costruzione sia I oppure II, situazioni topografiche e/o stratigrafiche non complesse) in cui la valutazione viene eseguita utilizzando il foglio di calcolo ministeriale Spettri NTC dal quale si estrapolano gli spettri di risposta elastici ed inelastici di progetto, determinando quindi quelli che sono i parametri dipendenti;

Un **approccio numerico mono e bidimensionale** (nel caso in cui debba essere impiegato l'utilizzo di accelerogrammi naturali per costruzioni aventi Classe d'Uso III o IV, situazioni stratigrafiche e/o topografiche complesse, condizioni di sottosuolo non classificabili nelle suddette 5 tipologie), per la determinazione della Risposta Sismica Locale, utilizzando appositi codici di calcolo numerici che permettono di valutare con maggior accuratezza l'azione sismica attraverso una complessa procedura di normalizzazione degli spettri ottenuti rispetto a quelli di normativa.

Nello specifico, gli Spettri di Risposta Elastici in accelerazione, oltre ai già descritti parametri in questo paragrafo, nella loro forma spettrale, tengono conto anche di altri criteri ed espressioni, come descritto nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC 2018; in particolare la loro forma spettrale (spettro normalizzato) è riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} . Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s.

Le espressioni che definiscono lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti

orizzontali sono (Eq. 3.2.2 – NTC 2018):

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Dove:

T è il Periodo di vibrazione

S_e è l'accelerazione spettrale orizzontale

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e della categoria topografica mediante l'espressione $S = S_s \times S_T$ (con S_s fattore di amplificazione stratigrafica e S_T fattore di amplificazione topografica)

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali (diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$$

Con η (valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione)

f_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha valore minimo 2.2

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato da $T_c = C_c \times T_c$, con C_c dipendente dalla categoria di sottosuolo

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, definito da $T_B = T_c / 3$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Per particolari opere di interesse strategico e/o che prevedano degli affollamenti significativi, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale (come in questo caso specifico di studio). In ogni caso, anche nella metodologia semplificata della valutazione dell'azione sismica, la forma spettrale su sottosuolo di categoria **A** è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che modifica il valore del periodo T_c . Per il suolo di tipo A questi parametri valgono 1, mentre per le altre tipologie di sottosuolo, i coefficienti sono calcolati in funzione dei valori di F_0 e T_c relativi al suolo di categoria A mediante le espressioni riportate nella seguente tabella (Tab. 3.2 IY – NTC 2018):

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Inoltre, per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella seguente (Tab. 3.2.Y – NTC 2018), in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 delle NTC 2018 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento

lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario. Nei casi in cui debba essere effettuata un'analisi di stabilità tenendo conto del sisma (come ad esempio nelle analisi pseudo-statiche, da eseguire nei casi in cui si ha un'inclinazione maggiore di 15° e un'altezza maggiore di 30m), si deve tener conto del **coefficiente sismico orizzontale (k_h) e verticale (k_v)** (Par. 7.ff.3.5.2 NTC 2018), che altro non sono che due vettori che deviano la direzione della gravità a causa della spinta causata dal sisma quando si eseguono le analisi di stabilità (per le quali la gravità è convenzionalmente fissata come un vettore perfettamente verticale). Le espressioni per calcolare i coefficienti sismici k_h e k_v sono rispettivamente la 7.ff.3 e 7.ff.4 delle NTC 2018, di seguito riportate:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$ = accelerazione massima orizzontale attesa al sito

g = accelerazione di gravità

In assenza di analisi approfondite di Risposta Sismica Locale, l'accelerazione massima orizzontale attesa al sito, può essere calcolata con la relazione di seguito riportata (eq. 7.11.5 NTC 2018)

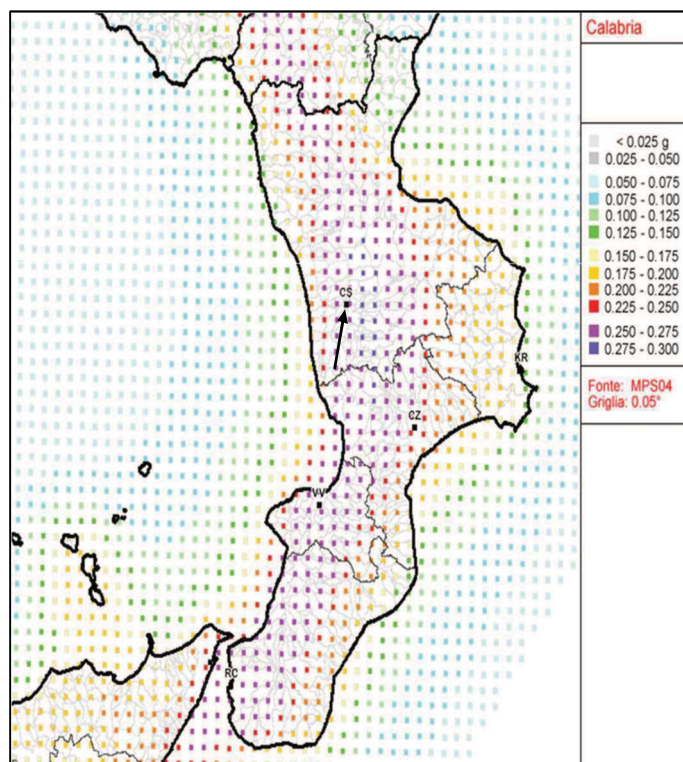
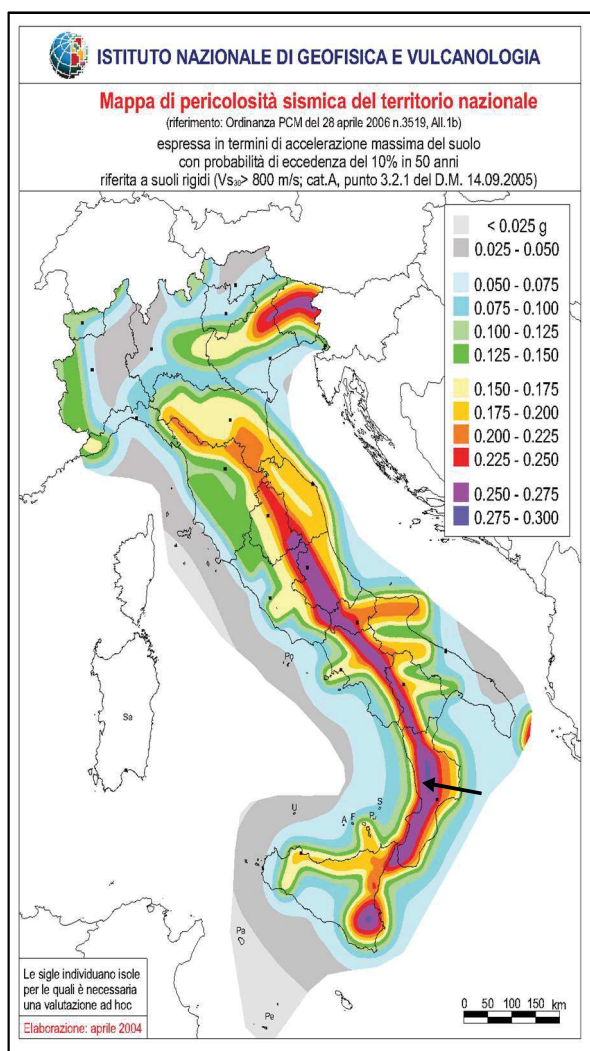
$$a_{\max} = S \times a_g = S_S \times S_T \times a_g$$

Il valore da adottare per il coefficiente β_s , dipende sostanzialmente dalla tipologia di sottosuolo presente, e dal valore di a_g nel sito di interesse. Quella che segue, è la tabella 7.11 delle NTC 2018 e ne indica i valori da considerare:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tutti i parametri e coefficienti descritti in questo paragrafo, come già detto, dipendono dall'ubicazione del sito di interesse (valutazione "sito-dipendente"). Infatti l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ha suddiviso l'intero territorio nazionale in un reticolo a maglie quadrate con lato inferiore a 10 km, per un totale di 10751 nodi rappresentanti i vertici di

ciascuna maglia (*Progetto Sf, INGV*). In base alle coordinate del sito di interesse (esprese nel sistema ED50), è possibile estrapolare quelli che sono i parametri dipendenti ed indipendenti nell'avalutazione dell'azione sismica attraverso la costruzione dello spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale. C'è però da sottolineare che i valori di accelerazione a_g forniti dal progetto Sf, sono riferiti a suoli rigidi di tipo A, e a morfologia piatta (categoria topografica T1). Pertanto, da questi valori di partenza, dei quali si tiene conto nella fase iniziale della valutazione dell'azione sismica, deve poi essere effettuata un'interpolazione con tutti i parametri che tengono conto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e topografica (S_T) del sito esaminato, in modo tale da ottenere alla fine, quelli che sono i reali parametri sismici che lo caratterizzano (a_{max}). Di seguito viene riportata la Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Italiano relativamente all'Ordinanza PCM 35f9f2006 a sua volta riferita al D.M. 14 Settembre 2005 (ed ancora in uso per le vigenti NTC 2018).



La figura a sinistra mostra la Mappa della Pericolosità Sismica del Territorio Italiano, mentre sopra è rappresentata la Regione Calabria relativamente ad essa (fonte INGV, Progetto Sf)

Pericolosità sismica di base

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un

solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati

verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

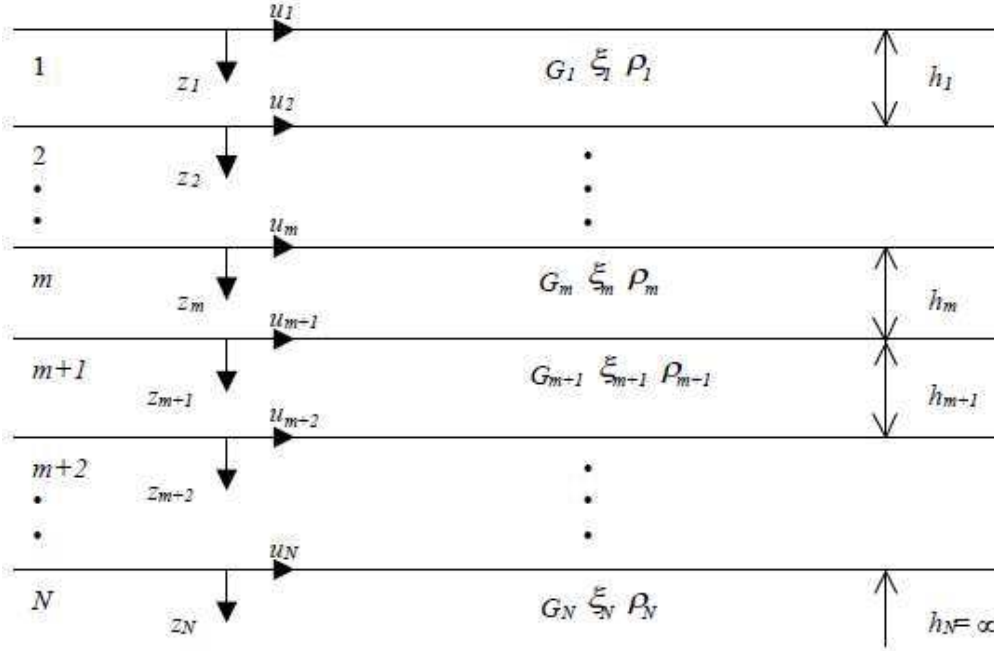


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}{k_m^* G_m^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

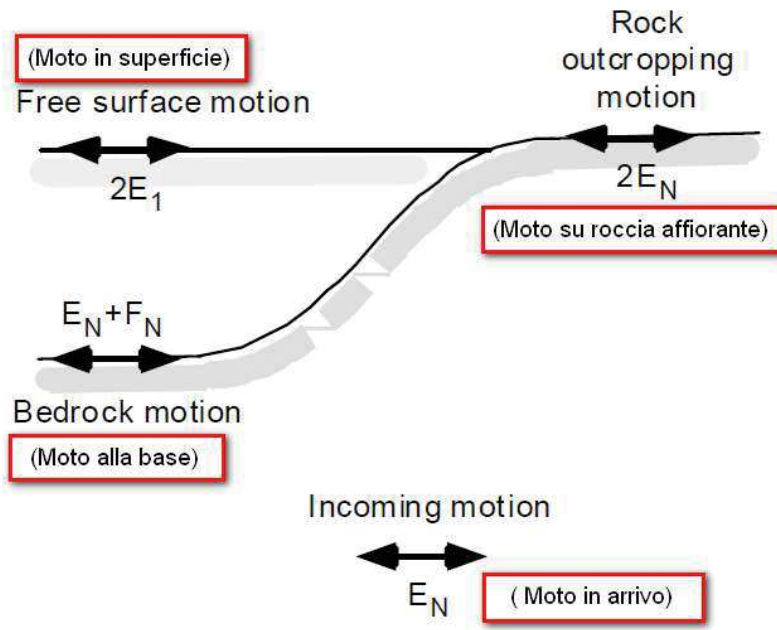


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore

iniziale di G per la prima iterazione.

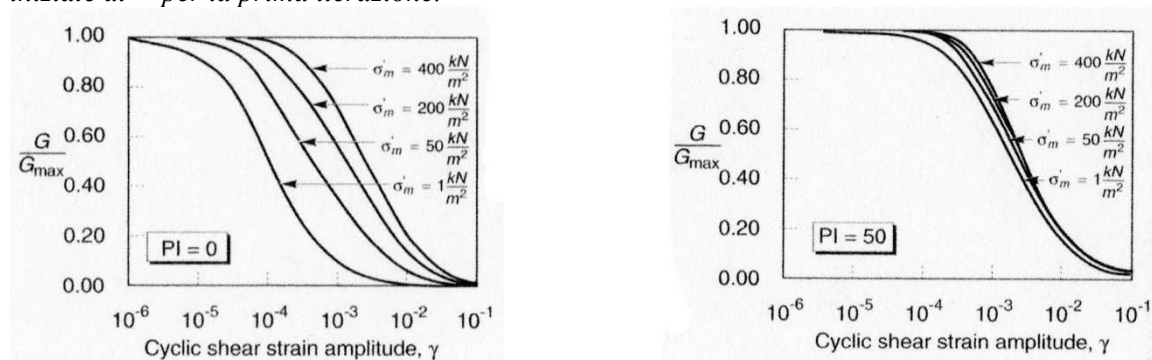


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

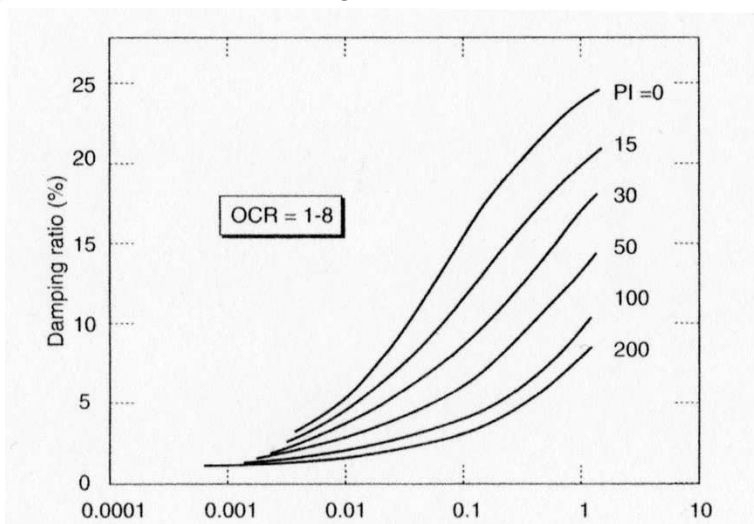


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

Data della prova

d.C./02/2021

Via

Cropalati

Latitudine

39.5157433[°]

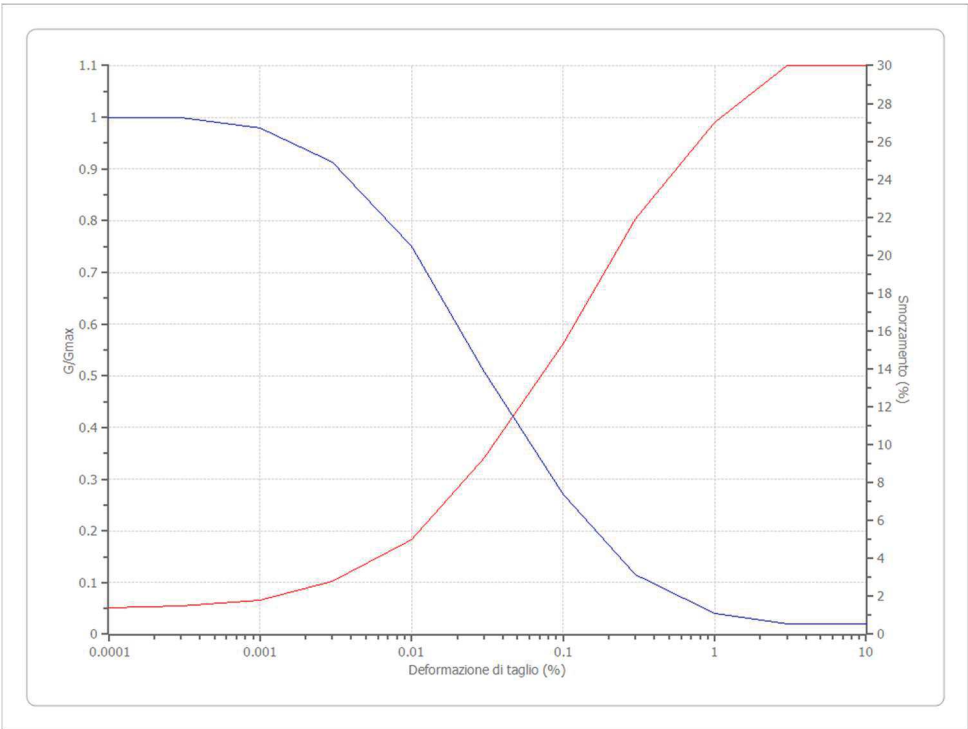
Longitudine

16.7268257[°]

Terreni

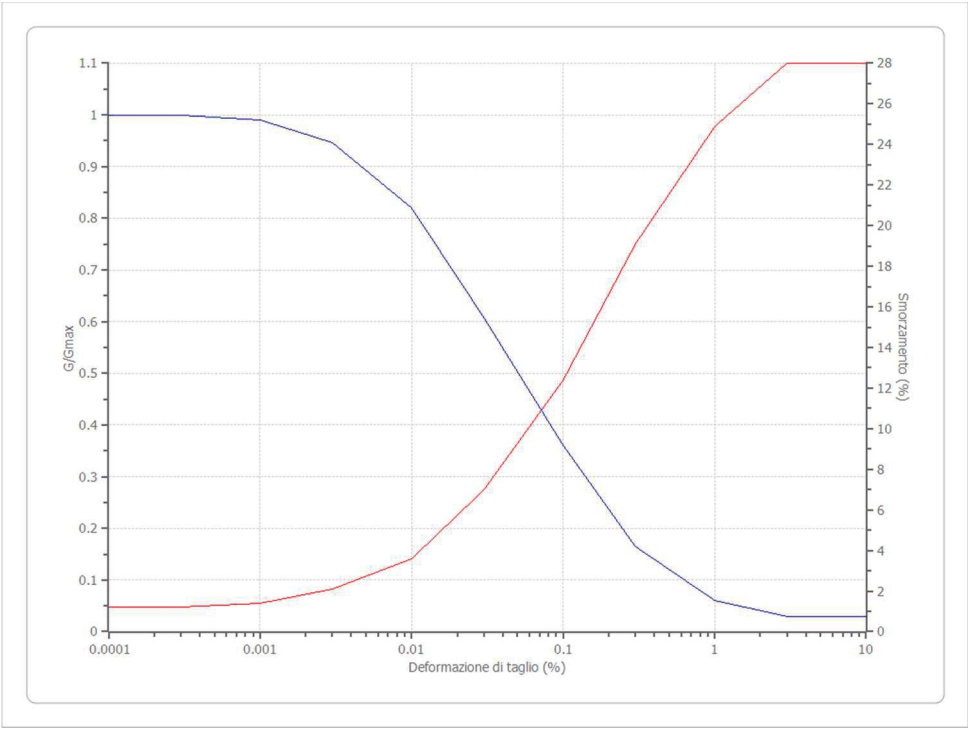
EPRI Sand (1993) 0-6 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.400
0.0003	1.000	0.0003	1.500
0.001	0.980	0.001	1.800
0.003	0.914	0.003	2.800
0.010	0.750	0.010	5.000
0.030	0.509	0.030	9.300
0.100	0.270	0.100	15.300
0.300	0.116	0.300	21.900
1.000	0.040	1.000	27.000
3.000	0.020	3.000	30.000
10.000	0.020	10.000	30.000



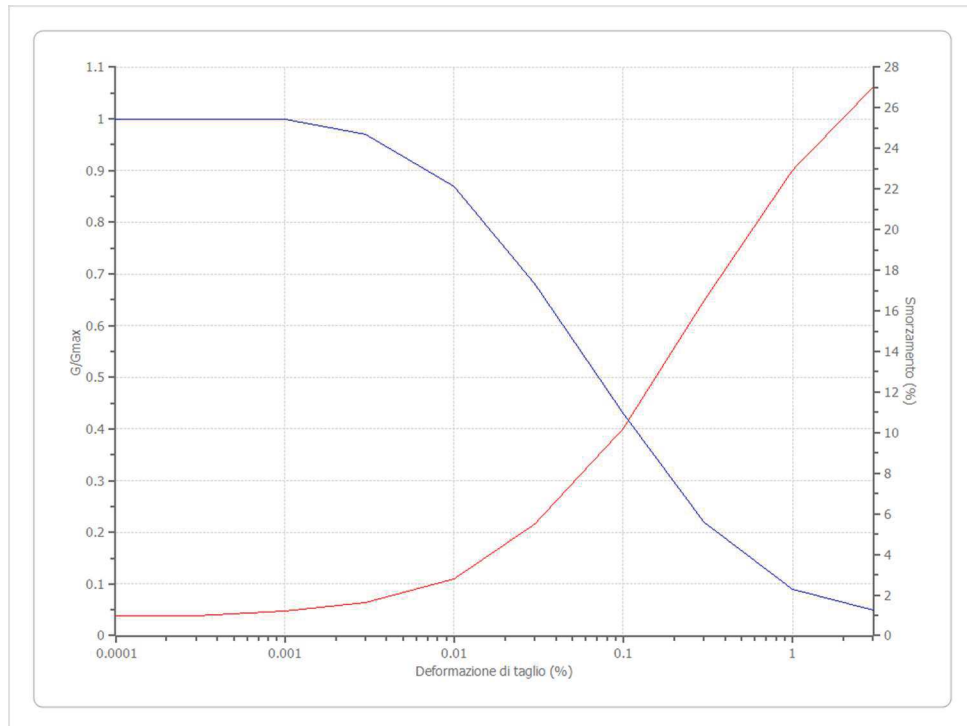
EPRI Sand (1993) 6,4-15,24 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.200
0.0003	1.000	0.0003	1.200
0.001	0.990	0.001	1.400
0.003	0.946	0.003	2.100
0.010	0.820	0.010	3.600
0.030	0.608	0.030	7.000
0.100	0.360	0.100	12.400
0.300	0.165	0.300	19.100
1.000	0.060	1.000	24.900
3.000	0.030	3.000	28.000
10.000	0.030	10.000	28.000



EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.000
0.0003	1.000	0.0003	1.000
0.001	1.000	0.001	1.200
0.003	0.970	0.003	1.640
0.010	0.870	0.010	2.800
0.030	0.680	0.030	5.490
0.100	0.430	0.100	10.200
0.300	0.220	0.300	16.500
1.000	0.090	1.000	22.900
3.000	0.050	3.000	27.000



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	6.0	EPRI Sand (1993) 0-6 metri	0	103.17	--	17.0	244.0	51.0
2		6.0	4.0	EPRI Sand (1993) 6,4-15,24 metri	0	339.27	--	18.0	430.0	138.0
3		oo	--	EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri	0	523.71	--	19.0	520.0	174.0

Strato rilevamento accelerogramma: 3 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
	6.00 [m]			244.0 [m/s]		51.0 [kPa]
	6.00 [m]					
	4.00 [m]			430.0 [m/s]		138.0 [kPa]
	10.00 [m]					
				520.0 [m/s]		174.0 [kPa]
		oo				

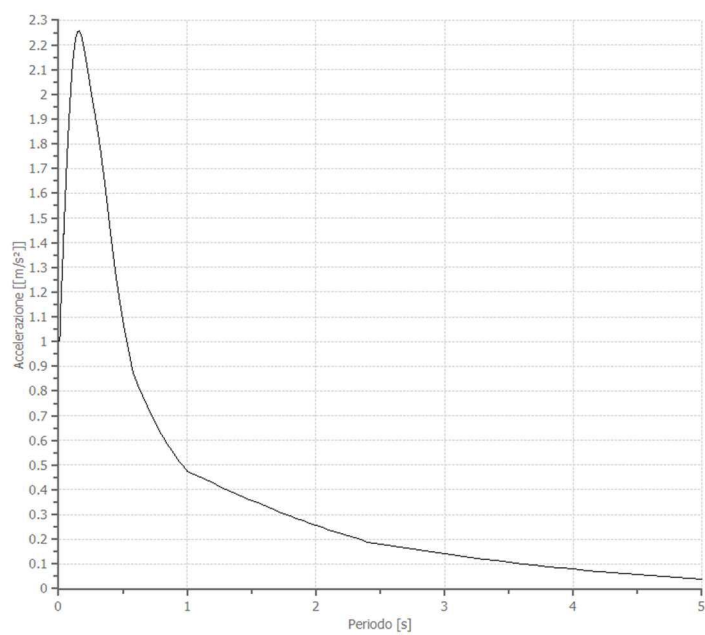
Elaborazione Analisi per lo stato limite SLO

Elaborazione

Numero di iterazioni 40
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.55 E-05

Spettro medio di risposta elastico

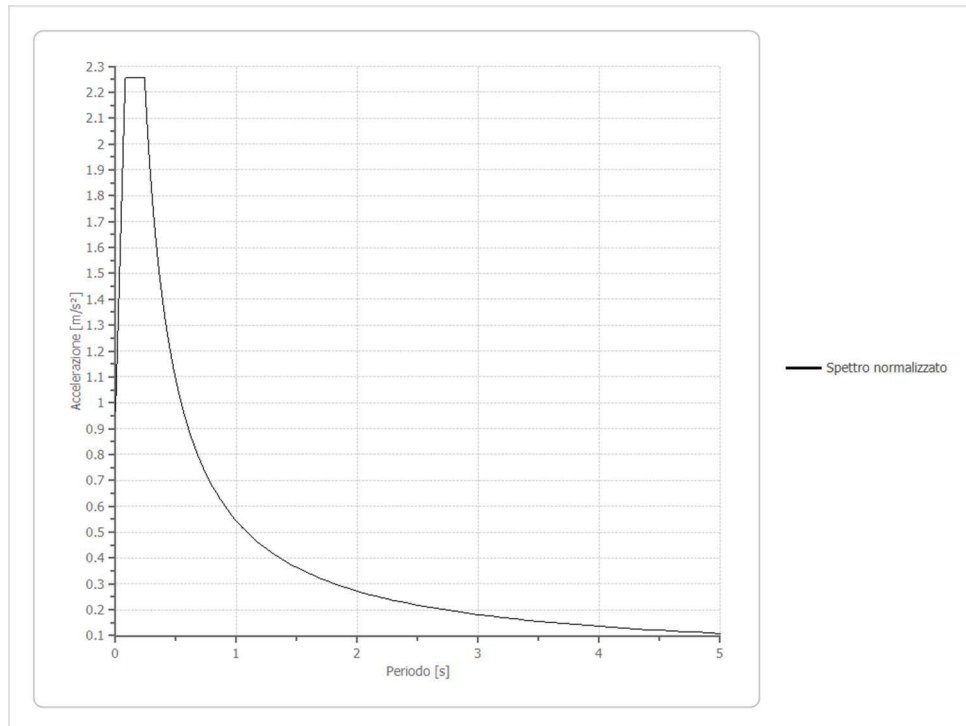
Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]
0.00	1.0025	0.28	1.9298	0.56	0.9229	1.25	0.4152	2.90	0.1491
0.01	1.0026	0.29	1.8983	0.57	0.8969	1.30	0.4035	3.00	0.1414
0.02	1.1859	0.30	1.8658	0.58	0.8712	1.35	0.3920	3.10	0.1339
0.03	1.2974	0.31	1.8319	0.60	0.8458	1.40	0.3805	3.20	0.1267
0.04	1.4332	0.32	1.7964	0.62	0.8207	1.45	0.3690	3.30	0.1197
0.05	1.5546	0.33	1.7591	0.64	0.7961	1.50	0.3577	3.40	0.1130
0.06	1.6744	0.34	1.7199	0.66	0.7722	1.55	0.3465	3.50	0.1066
0.07	1.7854	0.35	1.6790	0.68	0.7489	1.60	0.3354	3.60	0.1004
0.08	1.8880	0.36	1.6367	0.70	0.7263	1.65	0.3246	3.70	0.0946
0.09	1.9798	0.37	1.5932	0.72	0.7045	1.70	0.3140	3.80	0.0890
0.10	2.0597	0.38	1.5489	0.74	0.6836	1.75	0.3037	3.90	0.0836
0.11	2.1264	0.39	1.5043	0.76	0.6635	1.80	0.2937	4.00	0.0785
0.12	2.1793	0.40	1.4599	0.78	0.6442	1.85	0.2839	4.10	0.0736
0.13	2.2181	0.41	1.4159	0.80	0.6257	1.90	0.2745	4.20	0.0689
0.14	2.2432	0.42	1.3729	0.82	0.6079	1.95	0.2653	4.30	0.0644
0.15	2.2556	0.43	1.3312	0.84	0.5908	2.00	0.2564	4.40	0.0601
0.16	2.2564	0.44	1.2911	0.86	0.5744	2.05	0.2477	4.50	0.0560
0.17	2.2474	0.45	1.2526	0.88	0.5586	2.10	0.2391	4.60	0.0520
0.18	2.2303	0.46	1.2160	0.90	0.5434	2.15	0.2307	4.70	0.0483
0.19	2.2072	0.47	1.1812	0.92	0.5288	2.20	0.2224	4.80	0.0447
0.20	2.1797	0.48	1.1482	0.94	0.5147	2.25	0.2141	4.90	0.0414
0.21	2.1495	0.49	1.1167	0.96	0.5011	2.30	0.2058	5.00	0.0382
0.22	2.1179	0.50	1.0866	0.98	0.4879	2.35	0.1976		
0.23	2.0858	0.51	1.0577	1.00	0.4752	2.40	0.1894		
0.24	2.0539	0.52	1.0297	1.05	0.4627	2.50	0.1812		
0.25	2.0225	0.53	1.0024	1.10	0.4506	2.60	0.1731		
0.26	1.9915	0.54	0.9756	1.15	0.4386	2.70	0.1650		
0.27	1.9607	0.55	0.9491	1.20	0.4268	2.80	0.1570		



— Spettro medio

Spettro normalizzato di risposta elastico

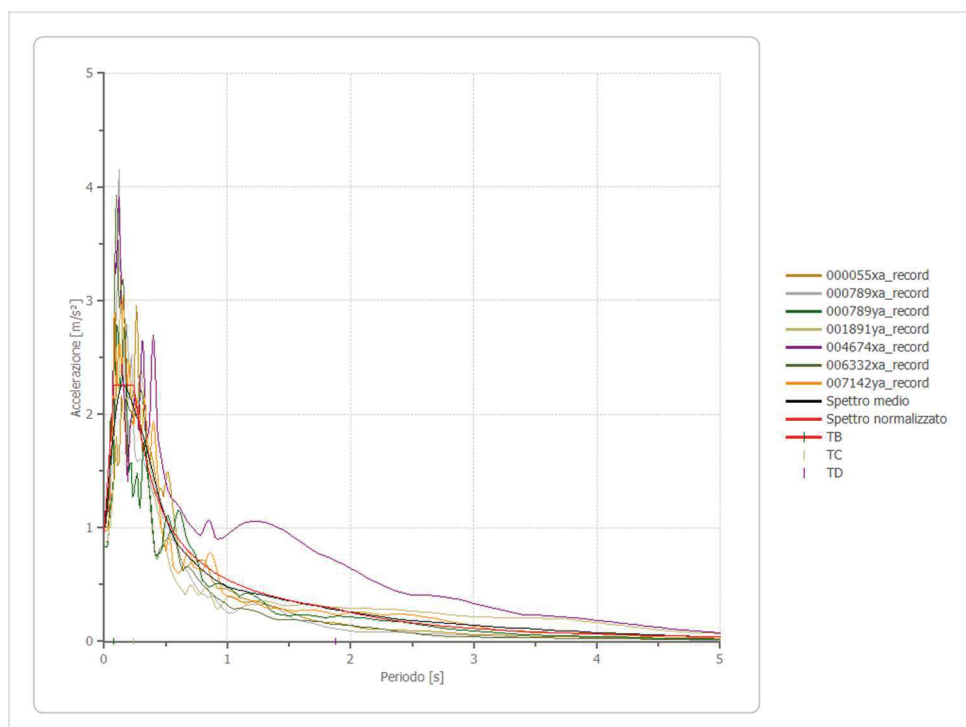
Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]
0.00	0.9676	0.28	1.9396	0.56	0.9698	1.25	0.4345	2.90	0.1873
0.01	1.1282	0.29	1.8727	0.57	0.9528	1.30	0.4178	3.00	0.1810
0.02	1.2889	0.30	1.8103	0.58	0.9363	1.35	0.4023	3.10	0.1752
0.03	1.4495	0.31	1.7519	0.60	0.9051	1.40	0.3879	3.20	0.1697
0.04	1.6102	0.32	1.6971	0.62	0.8759	1.45	0.3745	3.30	0.1646
0.05	1.7708	0.33	1.6457	0.64	0.8486	1.50	0.3621	3.40	0.1597
0.06	1.9315	0.34	1.5973	0.66	0.8228	1.55	0.3504	3.50	0.1552
0.07	2.0921	0.35	1.5517	0.68	0.7986	1.60	0.3394	3.60	0.1509
0.08	2.2527	0.36	1.5086	0.70	0.7758	1.65	0.3291	3.70	0.1468
0.09	2.2564	0.37	1.4678	0.72	0.7543	1.70	0.3195	3.80	0.1429
0.10	2.2564	0.38	1.4292	0.74	0.7339	1.75	0.3103	3.90	0.1393
0.11	2.2564	0.39	1.3925	0.76	0.7146	1.80	0.3017	4.00	0.1358
0.12	2.2564	0.40	1.3577	0.78	0.6963	1.85	0.2936	4.10	0.1325
0.13	2.2564	0.41	1.3246	0.80	0.6788	1.90	0.2858	4.20	0.1293
0.14	2.2564	0.42	1.2930	0.82	0.6623	1.95	0.2785	4.30	0.1263
0.15	2.2564	0.43	1.2630	0.84	0.6465	2.00	0.2715	4.40	0.1234
0.16	2.2564	0.44	1.2343	0.86	0.6315	2.05	0.2649	4.50	0.1207
0.17	2.2564	0.45	1.2068	0.88	0.6171	2.10	0.2586	4.60	0.1181
0.18	2.2564	0.46	1.1806	0.90	0.6034	2.15	0.2526	4.70	0.1155
0.19	2.2564	0.47	1.1555	0.92	0.5903	2.20	0.2469	4.80	0.1131
0.20	2.2564	0.48	1.1314	0.94	0.5777	2.25	0.2414	4.90	0.1108
0.21	2.2564	0.49	1.1083	0.96	0.5657	2.30	0.2361	5.00	0.1086
0.22	2.2564	0.50	1.0862	0.98	0.5542	2.35	0.2311		
0.23	2.2564	0.51	1.0649	1.00	0.5431	2.40	0.2263		
0.24	2.2564	0.52	1.0444	1.05	0.5172	2.50	0.2172		
0.25	2.1723	0.53	1.0247	1.10	0.4937	2.60	0.2089		
0.26	2.0888	0.54	1.0057	1.15	0.4722	2.70	0.2011		
0.27	2.0114	0.55	0.9874	1.20	0.4526	2.80	0.1940		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
0.968	2.332	--	0.080	0.241	1.880	0.968	2.256	1.000

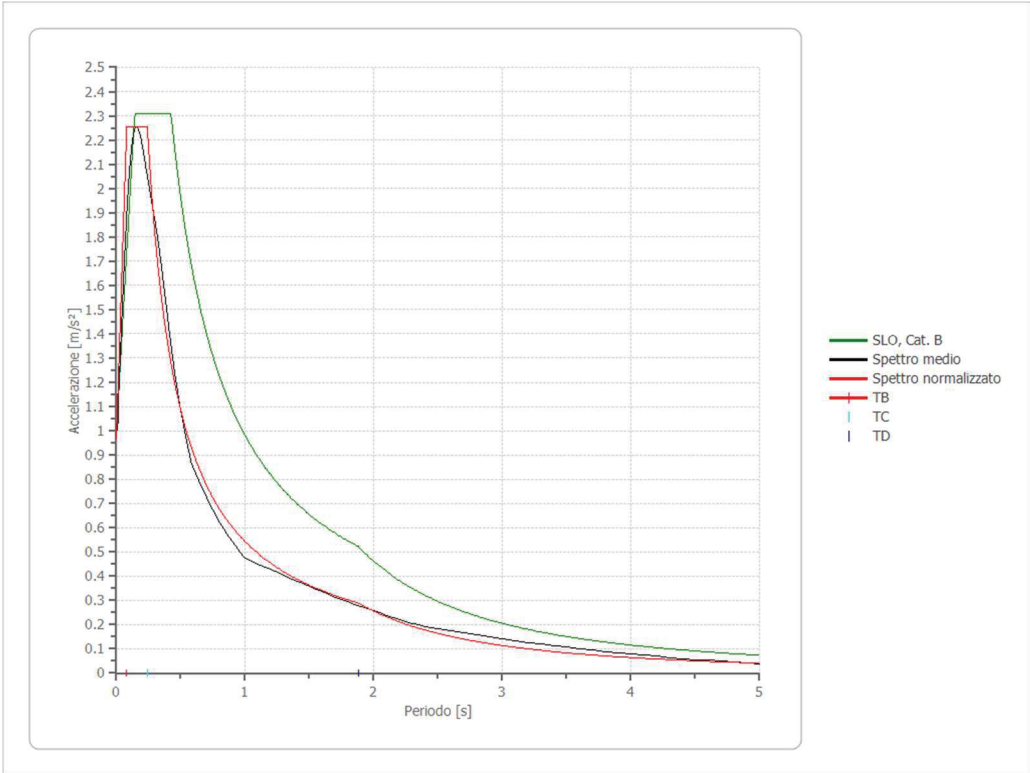
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.687	0.903	2.462	3.198
Fo	2.332	2.338	2.422	2.463
Tc* [s]	0.305	0.325	0.382	0.407
Ss	1.20	1.20	1.16	1.08
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.32
TB [s]	0.142	0.149	0.170	0.179
TC [s]	0.425	0.448	0.509	0.536
TD [s]	1.880	1.968	2.604	2.904
Se(0) [m/s²]	0.989	1.300	3.418	4.140
Se(TB) [m/s²]	2.307	3.040	8.278	10.197



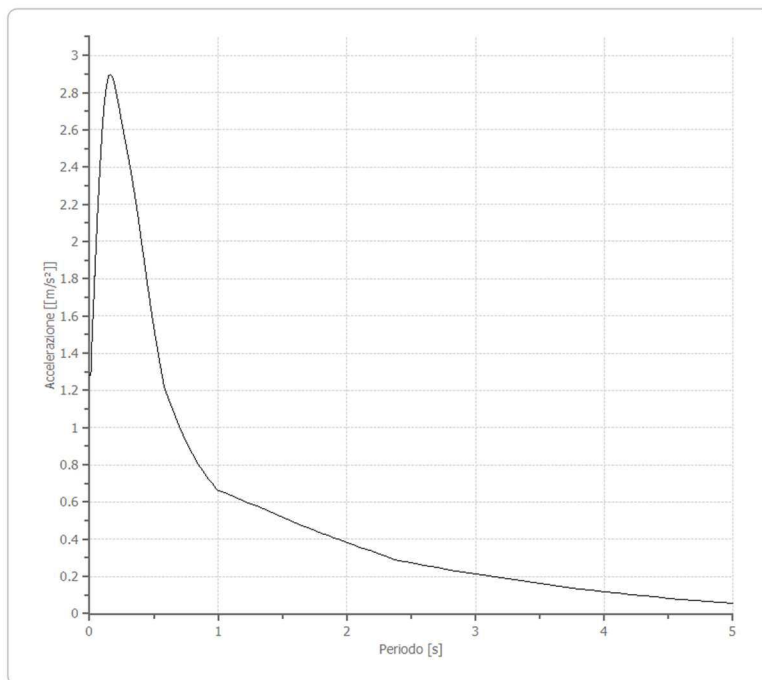
Elaborazione Analisi per lo stato limite SLD

Elaborazione

Numero di iterazioni 40
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza --

Spettro medio di risposta elastico

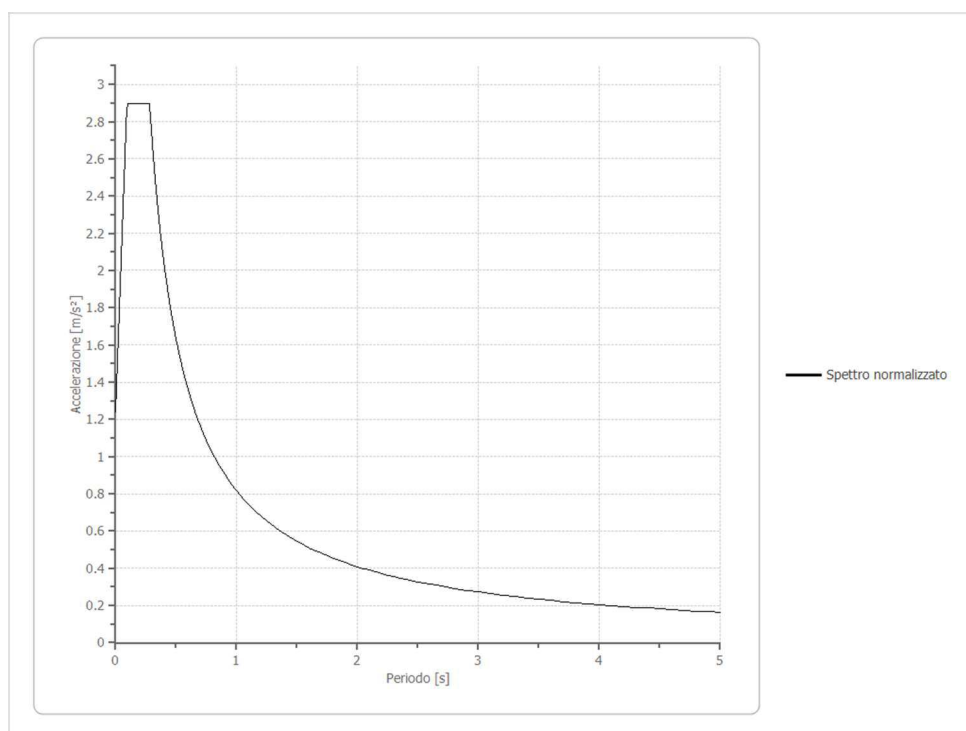
Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]
0.00	1.2785	0.28	2.5318	0.56	1.2942	1.25	0.5913	2.90	0.2245
0.01	1.2787	0.29	2.4951	0.57	1.2557	1.30	0.5770	3.00	0.2130
0.02	1.5061	0.30	2.4579	0.58	1.2176	1.35	0.5626	3.10	0.2018
0.03	1.6448	0.31	2.4200	0.60	1.1800	1.40	0.5480	3.20	0.1910
0.04	1.8140	0.32	2.3809	0.62	1.1429	1.45	0.5334	3.30	0.1806
0.05	1.9661	0.33	2.3406	0.64	1.1066	1.50	0.5186	3.40	0.1706
0.06	2.1170	0.34	2.2989	0.66	1.0711	1.55	0.5040	3.50	0.1609
0.07	2.2579	0.35	2.2556	0.68	1.0366	1.60	0.4894	3.60	0.1517
0.08	2.3893	0.36	2.2108	0.70	1.0032	1.65	0.4749	3.70	0.1428
0.09	2.5081	0.37	2.1646	0.72	0.9711	1.70	0.4607	3.80	0.1343
0.10	2.6129	0.38	2.1172	0.74	0.9403	1.75	0.4468	3.90	0.1261
0.11	2.7020	0.39	2.0686	0.76	0.9111	1.80	0.4332	4.00	0.1182
0.12	2.7744	0.40	2.0191	0.78	0.8833	1.85	0.4199	4.10	0.1106
0.13	2.8297	0.41	1.9691	0.80	0.8570	1.90	0.4070	4.20	0.1033
0.14	2.8681	0.42	1.9188	0.82	0.8322	1.95	0.3943	4.30	0.0963
0.15	2.8906	0.43	1.8685	0.84	0.8088	2.00	0.3819	4.40	0.0895
0.16	2.8986	0.44	1.8185	0.86	0.7868	2.05	0.3697	4.50	0.0831
0.17	2.8940	0.45	1.7691	0.88	0.7661	2.10	0.3575	4.60	0.0769
0.18	2.8788	0.46	1.7206	0.90	0.7466	2.15	0.3455	4.70	0.0711
0.19	2.8553	0.47	1.6731	0.92	0.7282	2.20	0.3334	4.80	0.0657
0.20	2.8257	0.48	1.6269	0.94	0.7108	2.25	0.3213	4.90	0.0605
0.21	2.7919	0.49	1.5818	0.96	0.6942	2.30	0.3092	5.00	0.0557
0.22	2.7556	0.50	1.5380	0.98	0.6784	2.35	0.2970		
0.23	2.7181	0.51	1.4953	1.00	0.6632	2.40	0.2848		
0.24	2.6802	0.52	1.4536	1.05	0.6484	2.50	0.2725		
0.25	2.6425	0.53	1.4128	1.10	0.6339	2.60	0.2603		
0.26	2.6053	0.54	1.3727	1.15	0.6197	2.70	0.2482		
0.27	2.5685	0.55	1.3332	1.20	0.6055	2.80	0.2362		



— Spettro medio

Spettro normalizzato di risposta elastico

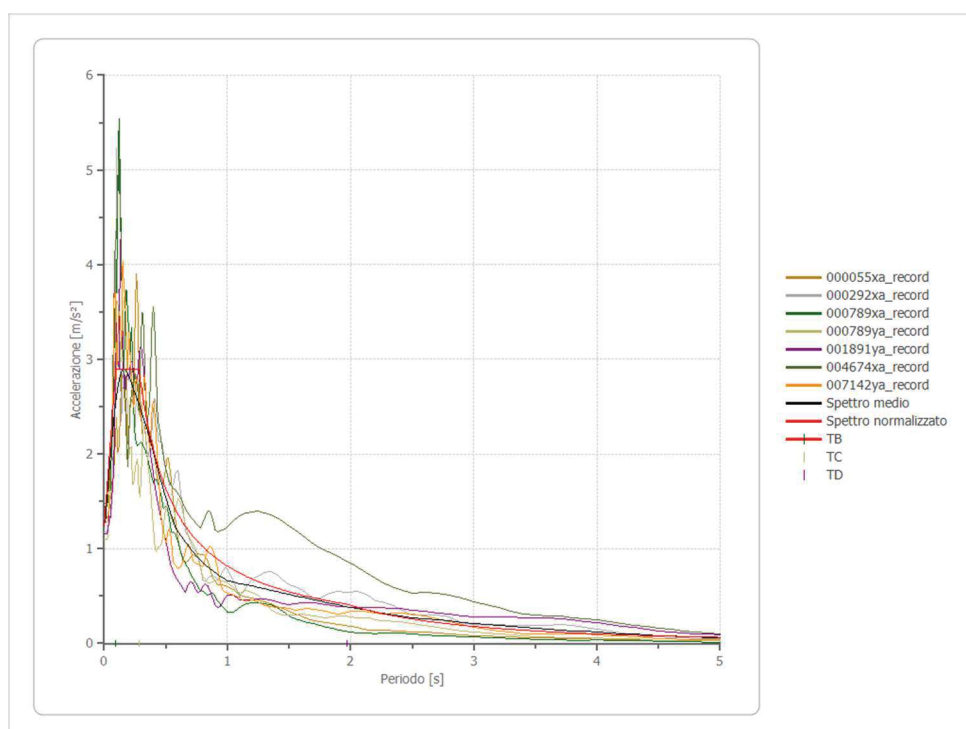
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]
0.00	1.2398	0.28	2.8986	0.56	1.4580	1.25	0.6532	2.90	0.2815
0.01	1.4165	0.29	2.8154	0.57	1.4324	1.30	0.6281	3.00	0.2722
0.02	1.5931	0.30	2.7216	0.58	1.4077	1.35	0.6048	3.10	0.2634
0.03	1.7698	0.31	2.6338	0.60	1.3608	1.40	0.5832	3.20	0.2551
0.04	1.9465	0.32	2.5515	0.62	1.3169	1.45	0.5631	3.30	0.2474
0.05	2.1232	0.33	2.4742	0.64	1.2757	1.50	0.5443	3.40	0.2401
0.06	2.2998	0.34	2.4014	0.66	1.2371	1.55	0.5268	3.50	0.2333
0.07	2.4765	0.35	2.3328	0.68	1.2007	1.60	0.5103	3.60	0.2268
0.08	2.6532	0.36	2.2680	0.70	1.1664	1.65	0.4948	3.70	0.2207
0.09	2.8299	0.37	2.2067	0.72	1.1340	1.70	0.4803	3.80	0.2149
0.10	2.8986	0.38	2.1486	0.74	1.1033	1.75	0.4666	3.90	0.2094
0.11	2.8986	0.39	2.0935	0.76	1.0743	1.80	0.4536	4.00	0.2041
0.12	2.8986	0.40	2.0412	0.78	1.0468	1.85	0.4413	4.10	0.1991
0.13	2.8986	0.41	1.9914	0.80	1.0206	1.90	0.4297	4.20	0.1944
0.14	2.8986	0.42	1.9440	0.82	0.9957	1.95	0.4187	4.30	0.1899
0.15	2.8986	0.43	1.8988	0.84	0.9720	2.00	0.4082	4.40	0.1856
0.16	2.8986	0.44	1.8556	0.86	0.9494	2.05	0.3983	4.50	0.1814
0.17	2.8986	0.45	1.8144	0.88	0.9278	2.10	0.3888	4.60	0.1775
0.18	2.8986	0.46	1.7749	0.90	0.9072	2.15	0.3798	4.70	0.1737
0.19	2.8986	0.47	1.7372	0.92	0.8875	2.20	0.3711	4.80	0.1701
0.20	2.8986	0.48	1.7010	0.94	0.8686	2.25	0.3629	4.90	0.1666
0.21	2.8986	0.49	1.6663	0.96	0.8505	2.30	0.3550	5.00	0.1633
0.22	2.8986	0.50	1.6329	0.98	0.8331	2.35	0.3474		
0.23	2.8986	0.51	1.6009	1.00	0.8165	2.40	0.3402		
0.24	2.8986	0.52	1.5701	1.05	0.7776	2.50	0.3266		
0.25	2.8986	0.53	1.5405	1.10	0.7422	2.60	0.3140		
0.26	2.8986	0.54	1.5120	1.15	0.7100	2.70	0.3024		
0.27	2.8986	0.55	1.4845	1.20	0.6804	2.80	0.2916		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
1.240	2.338	--	0.094	0.282	1.968	1.240	2.899	1.000

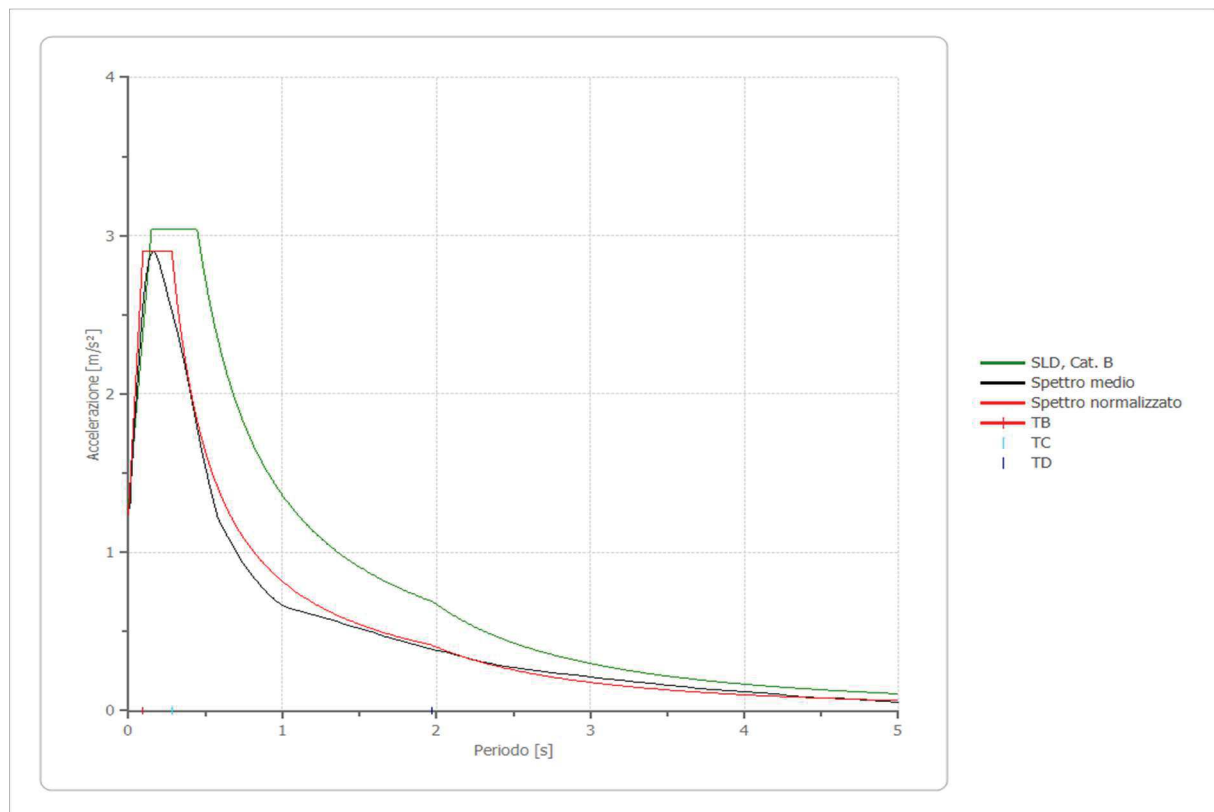
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s ²]	0.687	0.903	2.462	3.198
Fo	2.332	2.338	2.422	2.463
Tc* [s]	0.305	0.325	0.382	0.407
Ss	1.20	1.20	1.16	1.08
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.32
TB [s]	0.142	0.149	0.170	0.179
TC [s]	0.425	0.448	0.509	0.536
TD [s]	1.880	1.968	2.604	2.904
Se(0) [m/s ²]	0.989	1.300	3.418	4.140
Se(TB) [m/s ²]	2.307	3.040	8.278	10.197



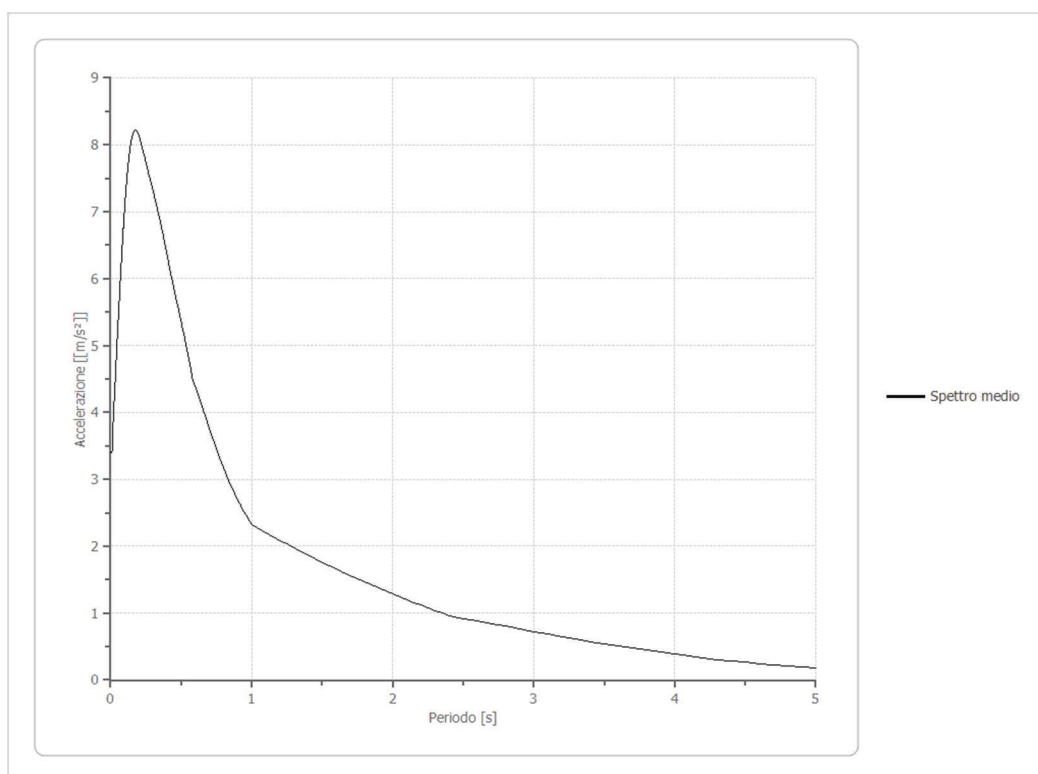
Elaborazione Analisi per lo stato limite SLV

Elaborazione

Numero di iterazioni 40
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 2.66 E-05

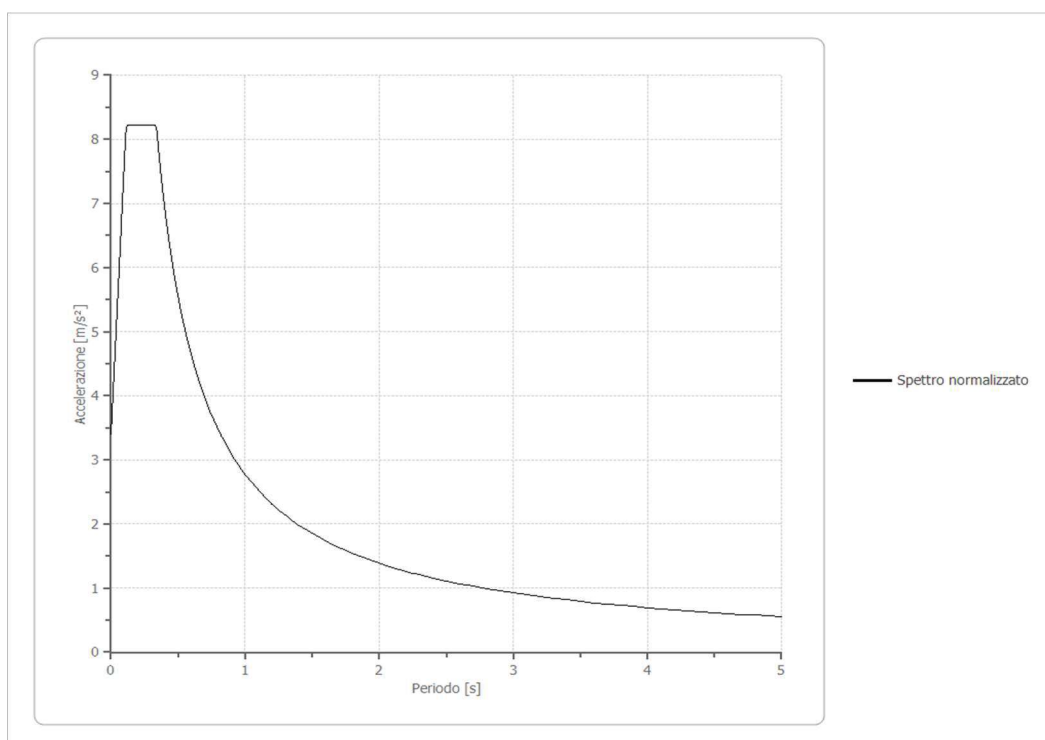
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]
0.00	3.4024	0.28	7.4826	0.56	4.7451	1.25	2.0312	2.90	0.7626
0.01	3.4027	0.29	7.4003	0.57	4.6309	1.30	1.9755	3.00	0.7238
0.02	3.9973	0.30	7.3179	0.58	4.5132	1.35	1.9205	3.10	0.6856
0.03	4.3629	0.31	7.2345	0.60	4.3921	1.40	1.8662	3.20	0.6481
0.04	4.8119	0.32	7.1489	0.62	4.2684	1.45	1.8124	3.30	0.6114
0.05	5.2218	0.33	7.0604	0.64	4.1428	1.50	1.7593	3.40	0.5756
0.06	5.6349	0.34	6.9685	0.66	4.0161	1.55	1.7071	3.50	0.5408
0.07	6.0295	0.35	6.8730	0.68	3.8894	1.60	1.6557	3.60	0.5071
0.08	6.4071	0.36	6.7742	0.70	3.7635	1.65	1.6053	3.70	0.4746
0.09	6.7597	0.37	6.6726	0.72	3.6394	1.70	1.5560	3.80	0.4433
0.10	7.0825	0.38	6.5686	0.74	3.5178	1.75	1.5079	3.90	0.4132
0.11	7.3701	0.39	6.4632	0.76	3.3994	1.80	1.4609	4.00	0.3845
0.12	7.6183	0.40	6.3571	0.78	3.2849	1.85	1.4152	4.10	0.3572
0.13	7.8239	0.41	6.2511	0.80	3.1747	1.90	1.3706	4.20	0.3313
0.14	7.9853	0.42	6.1460	0.82	3.0691	1.95	1.3270	4.30	0.3068
0.15	8.1027	0.43	6.0421	0.84	2.9682	2.00	1.2843	4.40	0.2838
0.16	8.1780	0.44	5.9400	0.86	2.8723	2.05	1.2425	4.50	0.2623
0.17	8.2144	0.45	5.8397	0.88	2.7813	2.10	1.2012	4.60	0.2422
0.18	8.2168	0.46	5.7413	0.90	2.6952	2.15	1.1605	4.70	0.2236
0.19	8.1904	0.47	5.6444	0.92	2.6137	2.20	1.1202	4.80	0.2064
0.20	8.1412	0.48	5.5488	0.94	2.5367	2.25	1.0802	4.90	0.1905
0.21	8.0751	0.49	5.4537	0.96	2.4637	2.30	1.0402	5.00	0.1758
0.22	7.9975	0.50	5.3585	0.98	2.3945	2.35	1.0004		
0.23	7.9131	0.51	5.2625	1.00	2.3285	2.40	0.9605		
0.24	7.8256	0.52	5.1649	1.05	2.2653	2.50	0.9207		
0.25	7.7377	0.53	5.0649	1.10	2.2044	2.60	0.8810		
0.26	7.6509	0.54	4.9618	1.15	2.1453	2.70	0.8413		
0.27	7.5659	0.55	4.8553	1.20	2.0877	2.80	0.8018		



Spettro normalizzato di risposta elastico

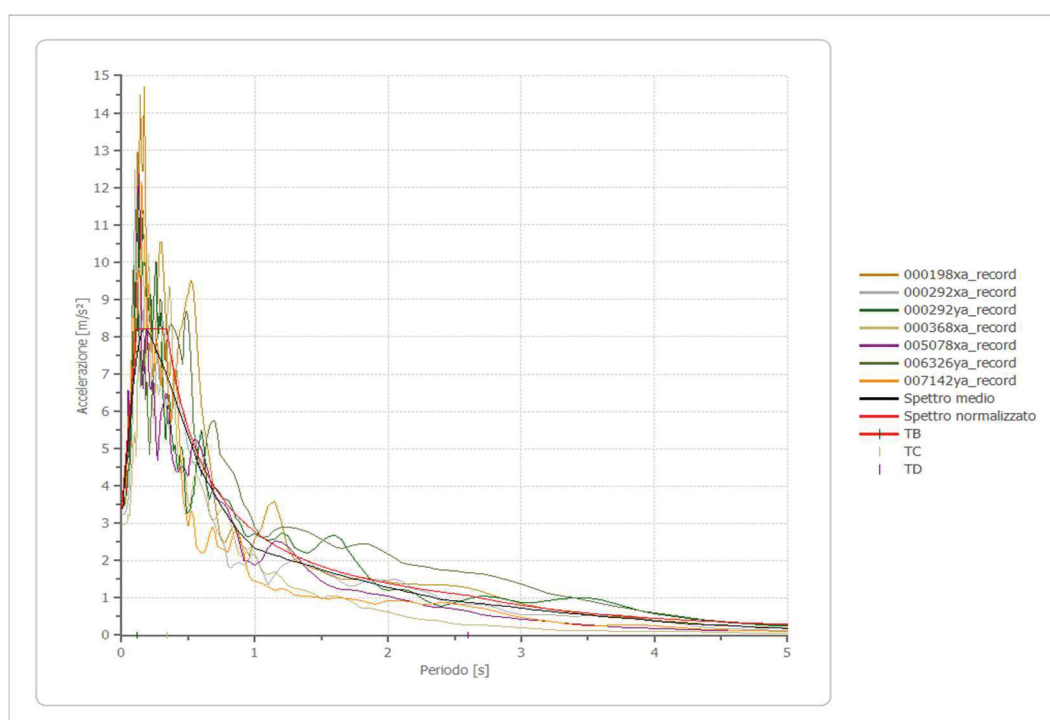
Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s ²]
0.00	3.3926	0.28	8.2168	0.56	4.9568	1.25	2.2206	2.90	0.9572
0.01	3.8210	0.29	8.2168	0.57	4.8698	1.30	2.1352	3.00	0.9253
0.02	4.2494	0.30	8.2168	0.58	4.7859	1.35	2.0561	3.10	0.8954
0.03	4.6778	0.31	8.2168	0.60	4.6263	1.40	1.9827	3.20	0.8674
0.04	5.1062	0.32	8.2168	0.62	4.4771	1.45	1.9143	3.30	0.8412
0.05	5.5346	0.33	8.2168	0.64	4.3372	1.50	1.8505	3.40	0.8164
0.06	5.9630	0.34	8.1641	0.66	4.2058	1.55	1.7908	3.50	0.7931
0.07	6.3914	0.35	7.9309	0.68	4.0821	1.60	1.7349	3.60	0.7711
0.08	6.8198	0.36	7.7106	0.70	3.9654	1.65	1.6823	3.70	0.7502
0.09	7.2483	0.37	7.5022	0.72	3.8553	1.70	1.6328	3.80	0.7305
0.10	7.6767	0.38	7.3047	0.74	3.7511	1.75	1.5862	3.90	0.7117
0.11	8.1051	0.39	7.1174	0.76	3.6524	1.80	1.5421	4.00	0.6940
0.12	8.2168	0.40	6.9395	0.78	3.5587	1.85	1.5004	4.10	0.6770
0.13	8.2168	0.41	6.7702	0.80	3.4698	1.90	1.4609	4.20	0.6609
0.14	8.2168	0.42	6.6091	0.82	3.3851	1.95	1.4235	4.30	0.6455
0.15	8.2168	0.43	6.4554	0.84	3.3045	2.00	1.3879	4.40	0.6309
0.16	8.2168	0.44	6.3086	0.86	3.2277	2.05	1.3541	4.50	0.6168
0.17	8.2168	0.45	6.1684	0.88	3.1543	2.10	1.3218	4.60	0.6034
0.18	8.2168	0.46	6.0344	0.90	3.0842	2.15	1.2911	4.70	0.5906
0.19	8.2168	0.47	5.9060	0.92	3.0172	2.20	1.2617	4.80	0.5783
0.20	8.2168	0.48	5.7829	0.94	2.9530	2.25	1.2337	4.90	0.5665
0.21	8.2168	0.49	5.6649	0.96	2.8915	2.30	1.2069	5.00	0.5552
0.22	8.2168	0.50	5.5516	0.98	2.8325	2.35	1.1812		
0.23	8.2168	0.51	5.4427	1.00	2.7758	2.40	1.1566		
0.24	8.2168	0.52	5.3381	1.05	2.6436	2.50	1.1103		
0.25	8.2168	0.53	5.2374	1.10	2.5235	2.60	1.0676		
0.26	8.2168	0.54	5.1404	1.15	2.4137	2.70	1.0281		
0.27	8.2168	0.55	5.0469	1.20	2.3132	2.80	0.9914		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
3.393	2.422	--	0.113	0.338	2.604	3.393	8.217	1.000

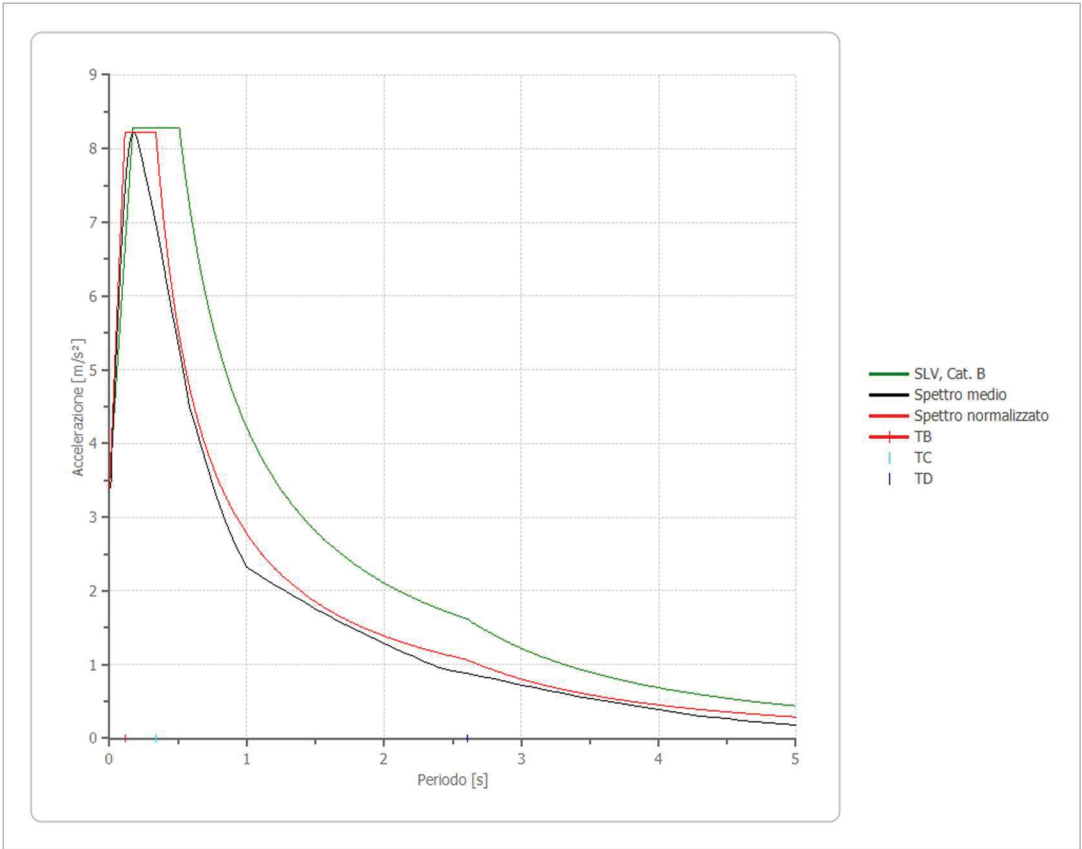
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.687	0.903	2.462	3.198
Fo	2.332	2.338	2.422	2.463
Tc* [s]	0.305	0.325	0.382	0.407
Ss	1.20	1.20	1.16	1.08
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.32
TB [s]	0.142	0.149	0.170	0.179
TC [s]	0.425	0.448	0.509	0.536
TD [s]	1.880	1.968	2.604	2.904
Se(0) [m/s²]	0.989	1.300	3.418	4.140
Se(TB) [m/s²]	2.307	3.040	8.278	10.197



CONCLUSIONI

L'analisi di risposta sismica locale, per come dettato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni, è un tipo di studio approfondito che deve essere applicato qualora le costruzioni ricadano in classe d'uso III o IV, quando si riscontrano delle significative inversioni nel profilo di velocità delle onde di taglio, o quando la morfologia di superficie e/o della stratigrafia non è considerata semplice.

Attraverso questa metodologia si valutano le variazioni in termini di ampiezza e frequenza, che subisce un input sismico (accelerogramma spettro-compatibile) nella sua propagazione dal substrato sismico (velocità delle onde di taglio di almeno 800 m/s) fino alla superficie (o al piano di imposta delle fondazioni), a seconda delle caratteristiche fisico-meccaniche degli strati attraversati.

L'input sismico è rappresentato da almeno una settupla di accelerogrammi naturali qualora la valutazione sia effettuata sul loro spettro medio (o in alternativa da 7 accelerogrammi per la direzione X, e 7 accelerogrammi per la direzione Y, entrambi riferiti alla componente orizzontale). L'impiego di accelerogrammi artificiali o sintetici non è consentito dalle vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 2018). Lo spettro di risposta in accelerazione di input, deve avere una forma spettrale compatibile con quella del sito in esame; gli accelerogrammi naturali provengono da registrazioni reali di eventi sismici. La loro scelta si basa sulla **disaggregazione**, ovvero il contributo alla pericolosità del sito che è dato da una determinata sorgente sismogenetica posta ad una certa distanza epicentrale **R** che genera un evento di magnitudo **M**.

Per la selezione dell'input sismico utilizzato nella modellazione, si deve far riferimento ad alcune caratteristiche del sito in esame e dell'opera in progetto:

- ✓ Coordinate (ED50) del sito;
- ✓ Classe d'Uso dell'opera;
- ✓ Vita nominale dell'opera;
- ✓ Stato limite di riferimento;
- ✓ Disaggregazione del sito.

Nello specifico di questo studio la risposta sismica locale è stata eseguita per tutti gli stati limite previsti dalla vigente normativa (SLO, SLD, SLV, SLC). Il sito oggetto di studio del presente lavoro, è ubicato nel comune di CROPALATI.

Esso è identificato nel sistema di riferimento European Datum 50 (ED50) dalle seguenti coordinate:

Latitudine: 39.5157

Longitudine: 16.7268

I dati di base del sito sono riassunti nelle seguenti tabelle:

PARAMETRO	VALORE
Vita Nominale della Costruzione V_N	50 Annj
Classe d'Uso della Costruzione	Classe III
Coefficiente d'Uso C_U	1.5
Periodo di Riferimento per la Costruzione $V_R = V_N \times C_U$	75 Annj

La tabella che segue riassume la variazione dei parametri indipendenti a_g , f_0 , T_c per diversi Stati Limite considerati

STATO LIMITE	T_R (annj)	a_g (g)	F_0	T_c^* (sec)
SL O	45	0,070	2,334	0,306
SLD	75	0,091	2,342	0,326
SLV	712	0,247	2,415	0,382
SL C	1462	0,320	2,461	0,407

Di seguito vengono riportati i dati tabellari relativi ai grafici normalizzati per ciascuno stato limite, ed infine una tabella riassuntiva che riporta i parametri indipendenti del sito ai sensi delle NTC 2018

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLO
a_g	0,070 g
F_0	2,334
T_C^*	0,306 s
S_S	1,200
C_C	1,394
S_T	1,200
q	1,000

Parametri dipendenti	
S	1,440
η	1,000
T_B	0,142 s
T_C	0,426 s
T_D	1,878 s

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLD
a_g	0,091 g
F_0	2,342
T_C^*	0,326 s
S_S	1,200
C_C	1,377
S_T	1,200
q	1,000

Parametri dipendenti	
S	1,440
η	1,000
T_B	0,149 s
T_C	0,448 s
T_D	1,963 s

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a_g	0,247 g
F_0	2,415
T_C^*	0,382 s
S_S	1,161
C_C	1,333
S_T	1,200
q	1,000

Parametri dipendenti	
S	1,393
η	1,000
T_B	0,170 s
T_C	0,509 s
T_D	2,589 s

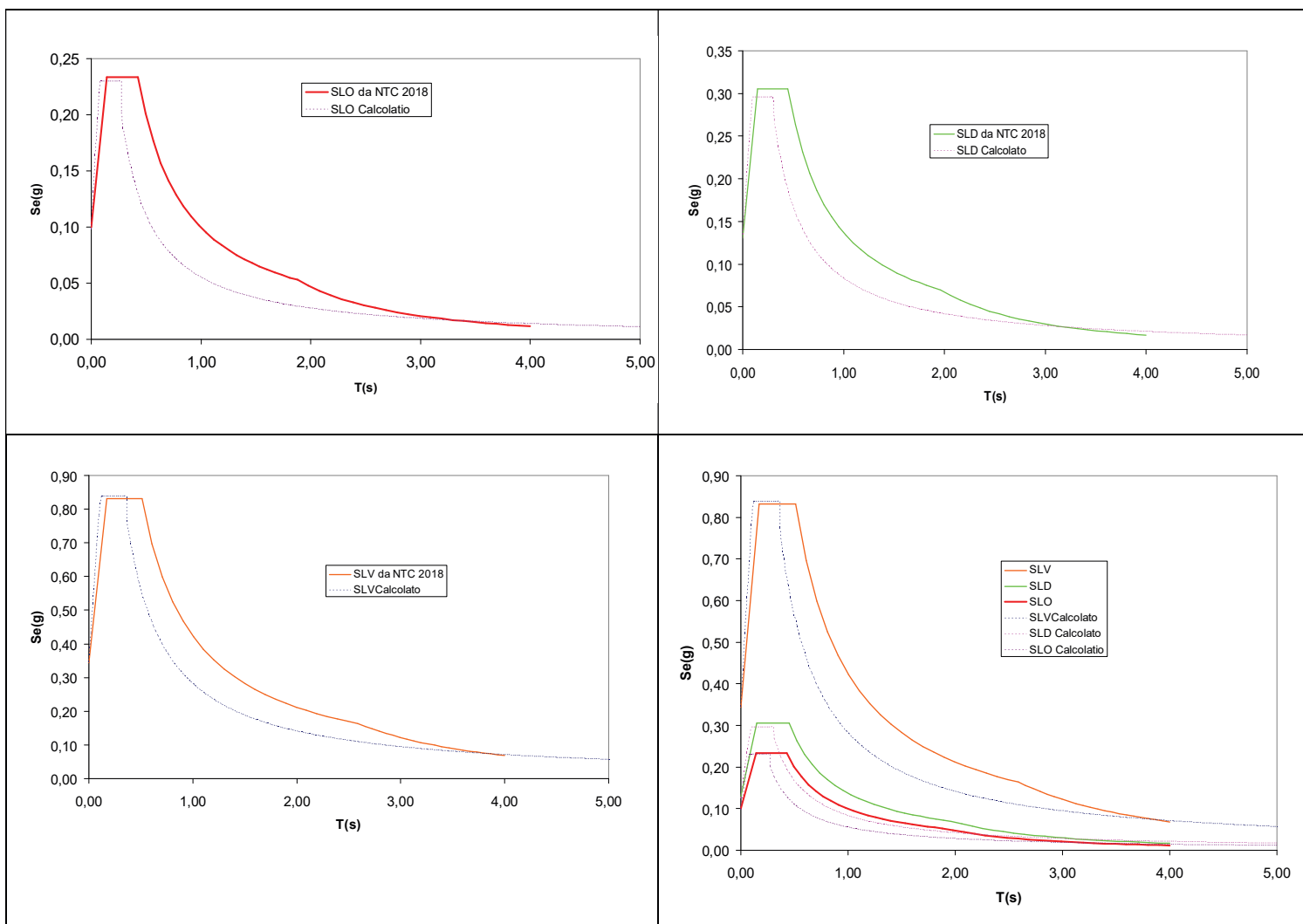
TABELLA SPETTRI NORMATIVA NTC 2018

SLV		SLD		SLO	
0,000	0,344	0,000	0,131	0,000	0,100
0,170	0,832	0,149	0,306	0,142	0,234
0,509	0,832	0,448	0,306	0,426	0,234
0,608	0,696	0,520	0,263	0,495	0,201
0,707	0,599	0,592	0,231	0,564	0,176
0,806	0,525	0,665	0,206	0,634	0,157
0,905	0,468	0,737	0,186	0,703	0,142
1,004	0,422	0,809	0,169	0,772	0,129
1,103	0,384	0,881	0,156	0,841	0,118
1,202	0,352	0,953	0,144	0,910	0,109
1,301	0,326	1,025	0,134	0,979	0,102
1,401	0,303	1,097	0,125	1,048	0,095
1,500	0,283	1,169	0,117	1,118	0,089
1,599	0,265	1,241	0,110	1,187	0,084
1,698	0,250	1,314	0,104	1,256	0,079
1,797	0,236	1,386	0,099	1,325	0,075
1,896	0,224	1,458	0,094	1,394	0,071
1,995	0,212	1,530	0,090	1,463	0,068
2,094	0,202	1,602	0,086	1,532	0,065
2,193	0,193	1,674	0,082	1,601	0,062
2,292	0,185	1,746	0,078	1,671	0,060
2,391	0,177	1,818	0,075	1,740	0,057
2,490	0,170	1,891	0,072	1,809	0,055
2,589	0,164	1,963	0,070	1,878	0,053
2,656	0,155	2,060	0,063	1,979	0,048
2,723	0,148	2,157	0,058	2,080	0,043
2,790	0,141	2,254	0,053	2,181	0,039
2,858	0,134	2,351	0,049	2,282	0,036
2,925	0,128	2,448	0,045	2,383	0,033
2,992	0,123	2,545	0,042	2,484	0,030
3,059	0,117	2,642	0,039	2,585	0,028
3,126	0,112	2,739	0,036	2,686	0,026
3,194	0,108	2,836	0,033	2,787	0,024
3,261	0,103	2,933	0,031	2,889	0,022
3,328	0,099	3,030	0,029	2,990	0,021
3,395	0,095	3,127	0,028	3,091	0,020
3,462	0,091	3,224	0,026	3,192	0,018
3,530	0,088	3,321	0,024	3,293	0,017
3,597	0,085	3,418	0,023	3,394	0,016
3,664	0,082	3,515	0,022	3,495	0,015
3,731	0,079	3,612	0,021	3,596	0,014
3,798	0,076	3,709	0,020	3,697	0,014
3,866	0,073	3,806	0,019	3,798	0,013
3,933	0,071	3,903	0,018	3,899	0,012
4,000	0,069	4,000	0,017	4,000	0,012

La relazione sulla pericolosità sismica di base, ha permesso di acquisire un grado sufficientemente chiaro delle caratteristiche sismiche dei terreni presenti nell'area in esame, sita nel Comune di CROPALATI. Riassumendo, nell'area interessata dall'intervento, i risultati dell'indagine eseguita pongono in evidenza quanto segue:

- La classe di sottosuolo identificata, tramite le indagini geofisiche eseguite in situ per il calcolo della Vs, equivalente, è la categoria "B";
- La superficie topografica è risultata la "T3";

Ai fini del calcolo strutturale, si consiglia l'utilizzo degli spettri di normativa in quanto più restrittivi rispetto a quelli normalizzati, come si evince dal confronto degli stessi, nell'analisi sismica locale;



Si conclude quindi che dal punto di vista della pericolosità sismica non si rilevano condizioni a priori ostative al progetto e, di conseguenza, si esprime parere favorevole per gli interventi strutturali da realizzare e programmati.

Crosia, ottobre 2020

Il Geologo

d.ssa Maria Lucia Carbone

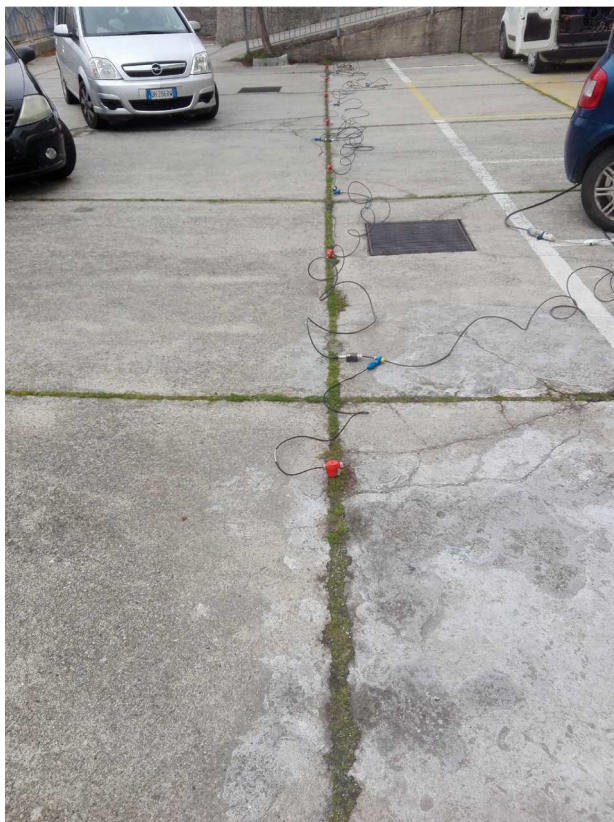


SEZ. PROVE DI COLLAUDO

Rapporto di prova n° 20/2020

COMMITTENTE : AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CROPALATI CS

CANTIERE : SCUOLA ELEMENTARE – INFANZIA E PRIMARIA -CROPALATI-



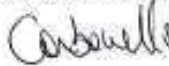
OGGETTO:

INDAGINE SISMICA

Crosia, 23 settembre 2020

Lo Sperimentatore

dott.ssa Maria Lucia



Il Direttore del Laboratorio Strutture

dott. geometra Domenico Pirillo



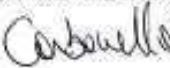
Il LABORATORIO JONICALAB srls con sede in via S. pertini n°20 del Comune di Crosia (CS) ha avuto incarico dalla AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CROPALATI (CS) di eseguire una indagine sismica nell'area del Fabbricato SEDE della **SCUOLA ELEMENTARE – INFANZIA E PRIMARIA – CROPALATI**" - .

Tipologia di prova	Numero Prove
Indagine Sismica MASW	N.1

Le prove sono state eseguite nei giorni 23 settembre 2020

Dal personale della Società JONICALAB srls:

- Dott. Geom.Domenico Pirillo
- Dott.ssa Geol. Maria Lucia Carbone
- Tecnico Lab Sign. Pietro Vennari
- Tecnico Lab. Sign. Marco Vennari

Lo Sperimentatore
dott.ssa Maria Lucia Carbone



Il Direttore del Laboratorio Strutture
dott. geometra Domenico Pirillo



INDAGINE DI SISMICA MASW

Introduzione

Nell’ambito del progetto di indagini sono state eseguite delle misure sismiche per la stima della velocità delle onde di taglio dall’analisi ed inversione della dispersione delle onde di Rayleigh e Love. Le onde di superficie possono essere utilizzate per determinare la velocità delle onde di taglio dei suoli non consolidati e dei materiali più rigidi come le rocce. Queste onde in genere si propagano con velocità tipiche dei materiali superficiali e ultimamente sono sempre più utilizzate nella definizione delle proprietà elastiche ed anelastiche dei terreni e per determinare la rigidità dei materiali.

I metodi che utilizzano le onde di superficie hanno il vantaggio di considerare un’area del sito abbastanza vasta e soggetta a livelli di deformazione, principalmente dovuti alle onde sismiche che si propagano nel mezzo, molto bassi. La rigidità del terreno dipende essenzialmente dal livello di deformazione. Nelle prove di laboratorio (i.e. prove triassiali) i livelli di deformazione utilizzati per stimare la rigidità dei campioni sono molto più alti di quelli normalmente presenti nel terreno quando si propagano onde sismiche .

Si è anche osservato che la rigidità aumenta al decrescere del livello di deformazione ed è ormai generalmente accettato il fatto che le deformazioni del terreno associate con la maggior parte dei problemi connessi all’interazione suolo-struttura hanno bassi valori percentuali (0.1%). Per questo motivo la classificazione dei suoli sulla base dei metodi che utilizzano le onde di superficie rappresenta oramai lo stato dell’arte.

Acquisizione dei dati

Per la misura della velocità delle onde S, la tecnica utilizzata in questo studio impiega l’analisi delle onde di superficie su registrazioni effettuate lungo uno stendimento di 24 stazioni sismiche ad ampia dinamica (24 bit) collegate da canali di trasmissione dati. Per ogni stazione sismica sono utilizzati sensori a 4.5 Hz. I sensori sono posti a distanze di 2 m l’uno dall’altro. i punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 5,0 e 7,0 m dal geofono n° 1. La scelta dei due scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell’area investigata.

L’indagine è stata condotta mediante l’utilizzo di un sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24

Canali. La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra posizionata alla distanza di 1.25m dal primo geofono. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 1.25m.

METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio). Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (deviazioni standard) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

Il principale punto di forza del software utilizzato è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli ottenibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell’attendibilità.

Procedura di inversione

Per il sito considerato abbiamo invertito simultaneamente la velocità di fase del modo fondamentale delle onde di Rayleigh e di Love utilizzando una tecnica derivata da Nolet, (1981) e Herrmann (2002).

Come modello di partenza nell’inversione abbiamo usato i dati relativi all’analisi semplificata di sismica a rifrazione S effettuata sulla componente trasversale del moto. Abbiamo utilizzato una tecnica lineare di inversione generando però con diverse parametrizzazioni della struttura di partenza diverse soluzioni (profili di velocità S) in grado di produrre curve di dispersione molto simili a quelle osservate. E’ importante sottolineare che l’inversione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love non restituisce un unico modello di velocità. I metodi come quello qui utilizzato hanno lo svantaggio di convergere verso un unico minimo relativo (metodo ai minimi quadrati). Per ovviare a questo in genere si utilizzano diversi modelli di partenza e si scelgono solitamente i modelli finali più semplici, dove esiste in genere un aumento della velocità con la profondità. Esiste comunque una certa ambiguità perché le soluzioni possono essere molteplici e diverse tra loro.

Per scegliere quindi i modelli finali che di seguito saranno presentati abbiamo scartato tutti i modelli che non erano in grado di generare le frequenze di risonanza osservate nei rapporti spettrali H/V del rumore ambientale. Nel nostro studio i profili di velocità S ottenuti dall’inversione delle proprietà di dispersione delle onde di Rayleigh e Love sono in accordo con i dati con i rapporti spettrali H/V misurati nel sito interessato. Questo rende più attendibile la soluzione ottenuta attraverso il processo di inversione in quanto si riesce ad eliminare ogni ambiguità relativa ai problemi di “tradeoff” tra profondità e velocità che sono ben conosciuti quando si utilizzano solamente le onde di superficie. Utilizzando i tempi di arrivo S e la frequenza di risonanza fondamentale si riesce in questo modo a vincolare la profondità dove esista un contrasto di velocità.

Interpretazione

L’individuazione del tono fondamentale di tutti gli shots effettuati è stato complicato dall’insorgere di un primo ipertono caratterizzato da un’elevata energia associata e da una velocità di fase lievemente maggiore di quella del tono fondamentale.

E' stato però possibile individuare chiaramente l'immagine di dispersione del fundamental mode tramite filtrazione (mute) della parte relativa ai primi arrivi delle body wave nel sismogramma dello shot M1. Gli altri shots sono stati poi interpretati sulla base della curva di dispersione rilevata in M1. Il profilo delle Vs è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- 1) la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- 2) la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessanti dal propagarsi della perturbazione;

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione: z_f

$= a \lambda f$

dove:

z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

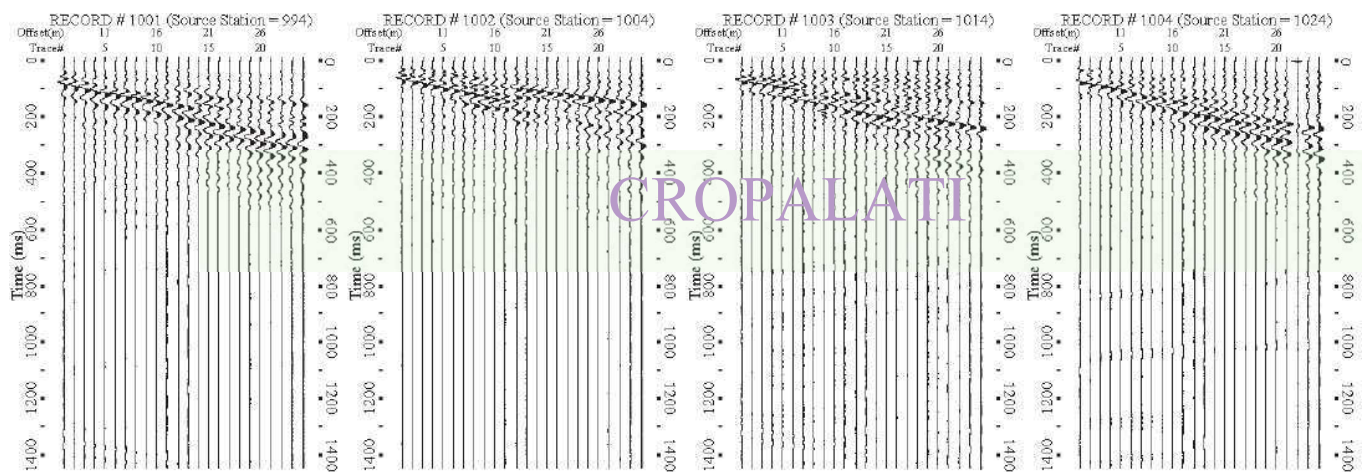
a = coefficiente adimensionale;

λf = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f .

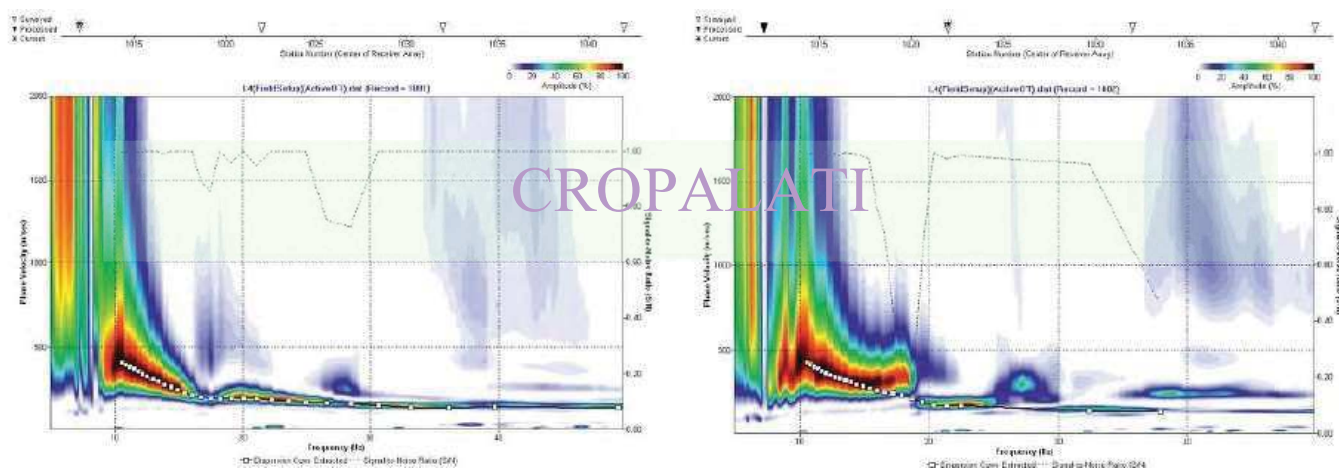
Le iterazioni necessarie per l'elaborazione precedentemente descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico.



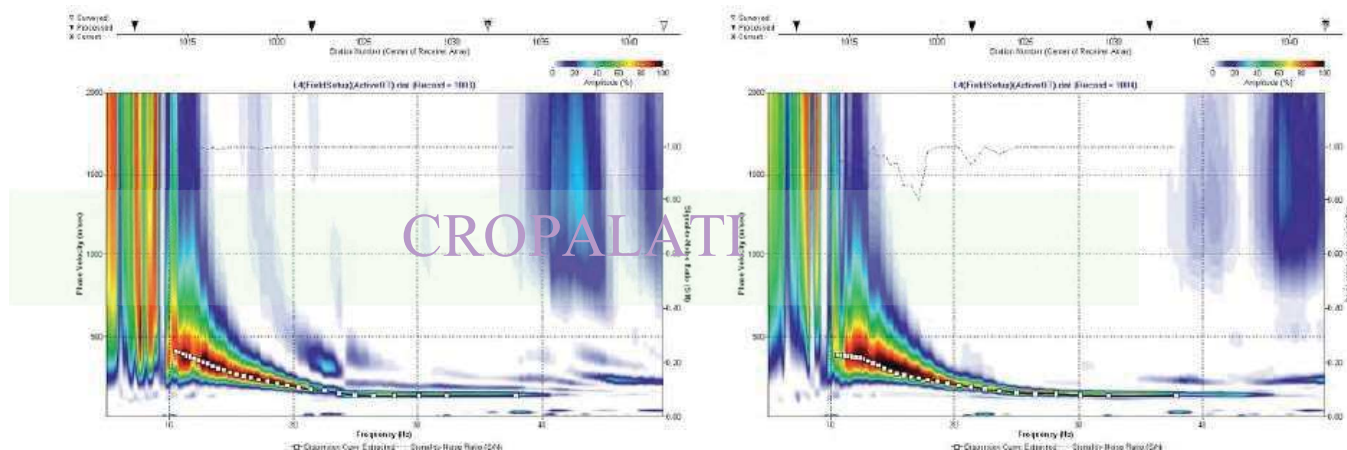
RISULTATI DELLA PROVA MASW N1



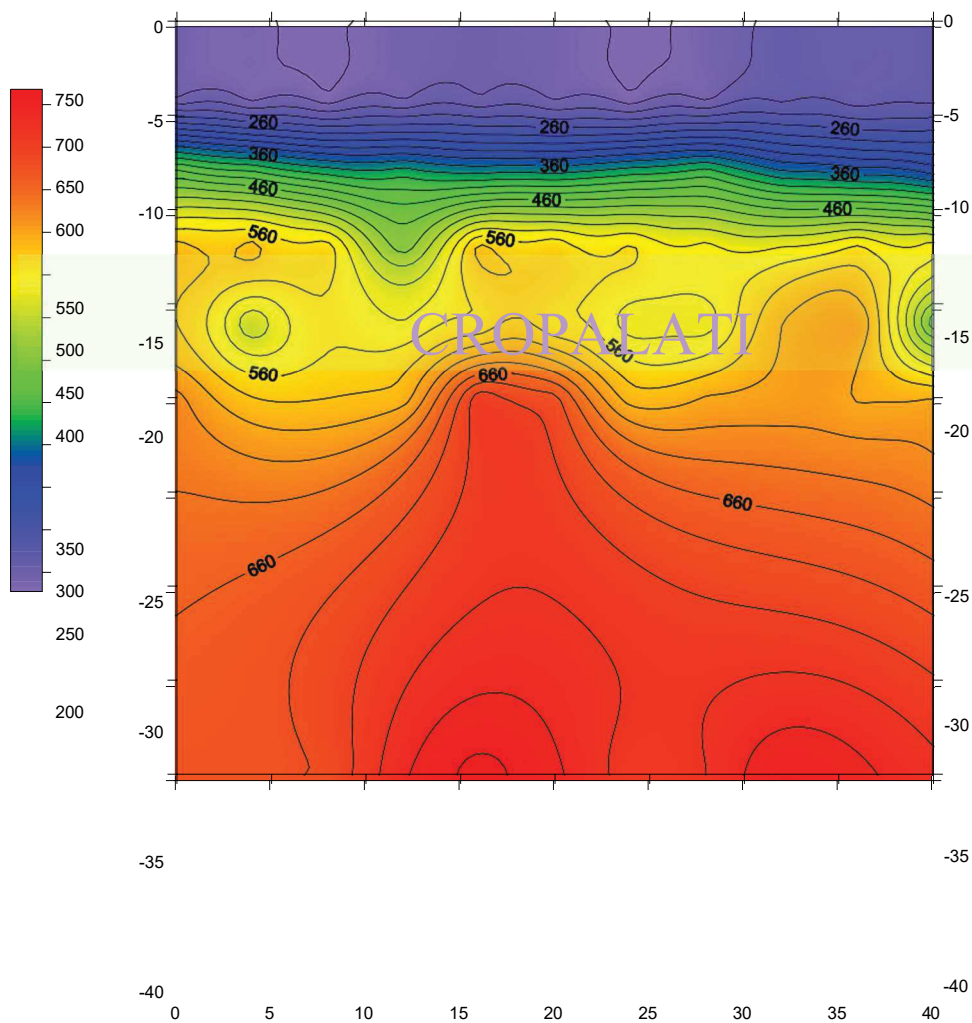
Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW



Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW



Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW



Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

JONICA LAB S.r.l.S. Sede: Via Sandro Pertini n.20 - 87060 Crosia (CS) ☎ 098343232 –
E-mail info@jonicalab.com - Web: www.jonicalab.com – Partita Iva 03296470788

9 di 13

DIAGNOSTICA

S1

Strato	Spessore mt	Vs m/sec	γ Densità kN/mc	Coeff. di Poisson	Modulo Taglio G ₀ Mpa	Frequenza Strato f	Periodo Strato s
1.00	6.00	244.000	17.00	0.35	103.17	10.2	0.10
2.00	4.00	430.000	18.00	0.30	339.27	26.9	0.04
3.00	25.00	520.000	19.00	0.28	523.71	6.5	0.15

Strato	Spessore m	RIGIDITA' Vs*Y
1	6,00	0,41
2	4,00	0,77
3	14,00	0,99

RIGIDITA' SISMICA RIFERITA ALLO SPESSORE DI TERRENO CONSIDERATO

R= 0,86

Metodi di calcolo delle V _{S30}	Valori in metri al secondo	Categoria suolo di fondazione
V _{S30} (misurato in sito con indagini dirette)	414,63	B

CROPALATI

Categorie suolo di fondazione

A >800 m/s

B >360 m/s

C >180 m/s

D <180 m/s

S₁ <100 m/s

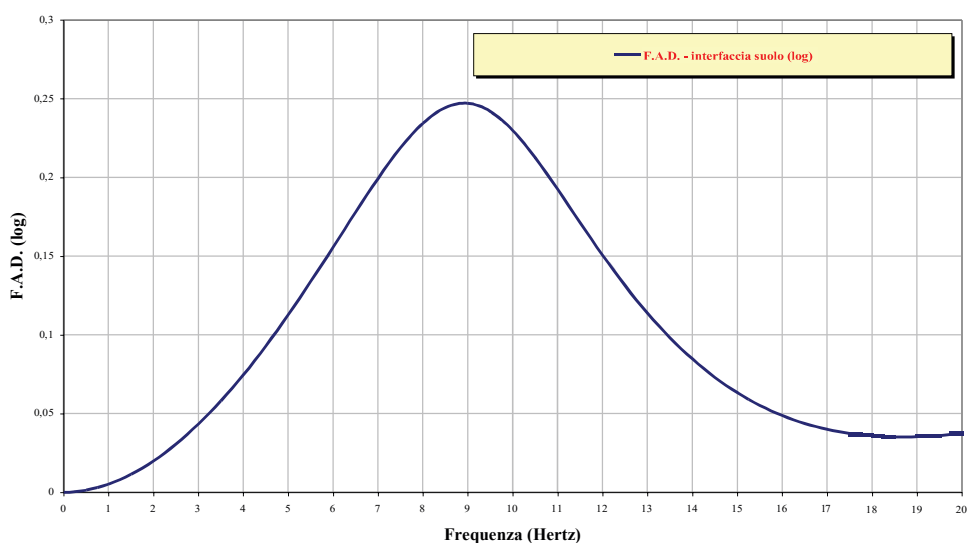
**JONICALAB S.R.L.S.****Jonica Lab S.r.l.s" Società a responsabilità limitata semplificata**

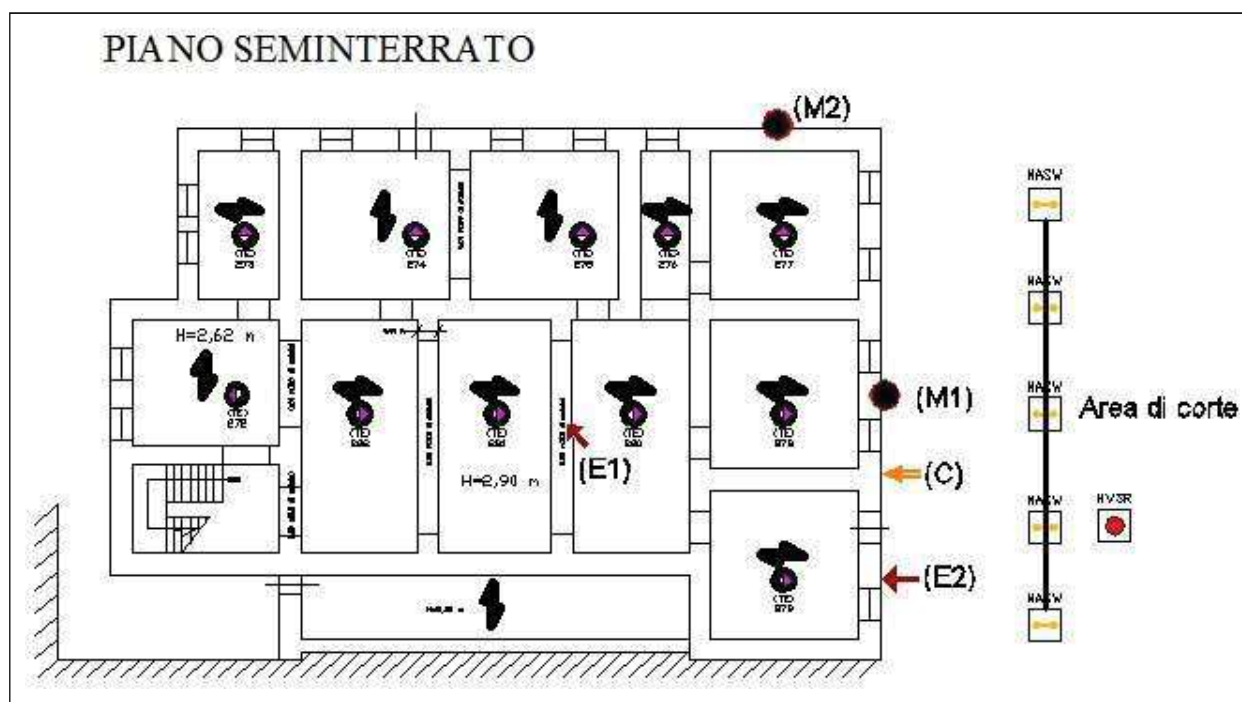
con sede legale in via S. Pertini n° 20 c.a.p. 87060 - Crosia (CS) - P.IVA 03296470788 - e.mail:jonicasrls@pec.it

ANALISI DINAMICA DEL SITO:

F.A.D.	freq. (Hertz)	freq. ang.	g. 1 (KN/mc)	Vsh 1 (m/sec)	g. 2 (KN/mc)	Vsh 2 (m/sec)	g. 3 (KN/mc)	Vsh 3 (m/sec)	H1 (m)	H2 (m)	teta 1	teta 2	F.A.D. (log)	rapporto di amplificazione	smorz. (%)	smorz.	F.A.D. (log)
1,00	0	0,00	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,000	0,000	0,000	1,000	1,0	1,000	0,000
1,00	0,25	1,57	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,039	0,015	0,000	1,000	1,0	0,990	0,000
1,00	0,5	3,14	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,077	0,029	0,001	1,000	1,0	0,980	0,001
1,01	0,75	4,71	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,116	0,044	0,003	1,000	1,0	0,970	0,003
1,01	1	6,28	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,154	0,058	0,005	1,000	1,0	0,961	0,005
1,02	1,25	7,85	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,193	0,073	0,008	1,000	1,0	0,951	0,008
1,03	1,5	9,42	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,232	0,088	0,012	1,000	1,0	0,941	0,011
1,04	1,75	10,99	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,270	0,102	0,017	1,000	1,0	0,932	0,015
1,05	2	12,56	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,309	0,117	0,022	1,000	1,0	0,923	0,020
1,07	2,25	14,13	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,347	0,131	0,027	1,000	1,0	0,914	0,025
1,08	2,5	15,70	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,386	0,146	0,034	1,000	1,0	0,904	0,031
1,10	2,75	17,27	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,425	0,161	0,041	1,000	1,0	0,895	0,037
1,12	3	18,84	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,463	0,175	0,049	1,000	1,0	0,886	0,043
1,14	3,25	20,41	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,502	0,190	0,058	1,000	1,0	0,878	0,050
1,17	3,5	21,98	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,540	0,204	0,067	1,000	1,0	0,869	0,058
1,19	3,75	23,55	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,579	0,219	0,077	1,000	1,0	0,860	0,066
1,22	4	25,12	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,618	0,234	0,088	1,000	1,0	0,851	0,075
1,26	4,25	26,69	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,656	0,248	0,099	1,000	1,0	0,843	0,084
1,29	4,5	28,26	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,695	0,263	0,111	1,000	1,0	0,835	0,093
1,33	4,75	29,83	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,734	0,277	0,124	1,000	1,0	0,826	0,103
1,37	5	31,40	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,772	0,292	0,138	1,000	1,0	0,818	0,113
1,42	5,25	32,97	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,811	0,307	0,152	1,000	1,0	0,810	0,123
1,47	5,5	34,54	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,849	0,321	0,167	1,000	1,0	0,802	0,134
1,52	5,75	36,11	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,888	0,336	0,182	1,000	1,0	0,794	0,145
1,58	6	37,68	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,927	0,351	0,198	1,000	1,0	0,786	0,156
1,64	6,25	39,25	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	0,965	0,365	0,215	1,000	1,0	0,778	0,167
1,70	6,5	40,82	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,004	0,380	0,231	1,000	1,0	0,770	0,178
1,77	6,75	42,39	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,042	0,394	0,248	1,000	1,0	0,762	0,189
1,84	7	43,96	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,081	0,409	0,264	1,000	1,0	0,755	0,199
1,91	7,25	45,53	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,120	0,424	0,281	1,000	1,0	0,747	0,210
1,98	7,5	47,10	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,158	0,438	0,296	1,000	1,0	0,740	0,219
2,04	7,75	48,67	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,197	0,453	0,310	1,000	1,0	0,732	0,227
2,11	8	50,24	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,235	0,467	0,324	1,000	1,0	0,725	0,235
2,16	8,25	51,81	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,274	0,482	0,335	1,000	1,0	0,718	0,240
2,21	8,5	53,38	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,313	0,497	0,344	1,000	1,0	0,711	0,245
2,24	8,75	54,95	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,351	0,511	0,351	1,000	1,0	0,703	0,247
2,26	9	56,52	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,390	0,526	0,355	1,000	1,0	0,696	0,247
2,27	9,25	58,09	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,428	0,540	0,356	1,000	1,0	0,689	0,246
2,26	9,5	59,66	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,467	0,555	0,355	1,000	1,0	0,683	0,242
2,24	9,75	61,23	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,506	0,570	0,350	1,000	1,0	0,676	0,237
2,21	10	62,80	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,544	0,584	0,344	1,000	1,0	0,669	0,230
2,16	10,25	64,37	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,583	0,599	0,335	1,000	1,0	0,662	0,222
2,11	10,5	65,94	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,621	0,613	0,324	1,000	1,0	0,656	0,213
2,05	10,75	67,51	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,660	0,628	0,312	1,000	1,0	0,649	0,203
1,99	11	69,08	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,699	0,643	0,300	1,000	1,0	0,643	0,192
1,93	11,25	70,65	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,737	0,657	0,286	1,000	1,0	0,636	0,182
1,87	11,5	72,22	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,776	0,672	0,272	1,000	1,0	0,630	0,171
1,81	11,75	73,79	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,815	0,686	0,258	1,000	1,0	0,624	0,161
1,75	12	75,36	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,853	0,701	0,244	1,000	1,0	0,617	0,151
1,70	12,25	76,93	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,892	0,716	0,230	1,000	1,0	0,611	0,141
1,65	12,5	78,50	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,930	0,730	0,217	1,000	1,0	0,605	0,131
1,60	12,75	80,07	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	1,969	0,745	0,204	1,000	1,0	0,599	0,121
1,56	13	81,64	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,008	0,759	0,192	1,000	1,0	0,593	0,114
1,51	13,25	83,21	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,046	0,774	0,180	1,000	1,0	0,587	0,106
1,48	13,5	84,78	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,085	0,789	0,169	1,000	1,0	0,581	0,098
1,44	13,75	86,35	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,123	0,803	0,158	1,000	1,0	0,575	0,091
1,41	14	87,92	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,162	0,818	0,149	1,000	1,0	0,570	0,085
1,38	14,25	89,49	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,201	0,832	0,139	1,000	1,0	0,564	0,079
1,35	14,5	91,06	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,239	0,847	0,131	1,000	1,0	0,558	0,073
1,33	14,75	92,63	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,278	0,862	0,123	1,000	1,0	0,553	0,068
1,30	15	94,20	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,316	0,876	0,116	1,000	1,0	0,547	0,063
1,29	15,25	95,77	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,355	0,891	0,109	1,000	1,0	0,542	0,059
1,27	15,5	97,34	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,394	0,905	0,103	1,000	1,0	0,536	0,055
1,25	15,75	98,91	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,432	0,920	0,098	1,000	1,0	0,531	0,052
1,24	16	100,48	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,471	0,935	0,093	1,000	1,0	0,526	0,049
1,23	16,25	102,05	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,509	0,949	0,089	1,000	1,0	0,520	0,046
1,22	16,5	103,62	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,548	0,964	0,085	1,000	1,0	0,515	0,044
1,21	16,75	105,19	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,587	0,979	0,082	1,000	1,0	0,510	0,042
1,20	17	106,76	17,00	244	18,00	430	19,00	520	6,00	4,00	2,625	0,993	0,079	1,000	1,0	0,505	0,040
1,19	17,25	108,33	17,00	244	18,00	430	19,00										

**Spettro di risposta del Fattore di Amplificazione Dinamica
in campo viscoelastico (smorzato) - campo di frequenza 0-20 Hz**





LEGENDA	
	Prove pacometriche (P)
	Endoscopia (E)
	Prova di carico con Pistone (CP)
	Orditura Solai
	Termografia (TE)
	Indagine Sismica MASW
	HVSR
	Martinetto Piatto Doppio (M)
	Prelievo di malta (C)
	Sclerometria (SL)