



Parte Terza

Effetti di sito e Progettazione:

la Risposta Sismica Locale



DAL MONDO DELLA

PIANIFICAZIONE

ENTRIAMO NEL MONDO DELLA

PROGETTAZIONE

Normativa Nazionale – partiamo dal D.M. 14.01.2008 "NTC '08"

Per la PRIMA VOLTA la normativa tecnica introduce una serie di importanti novità:

- → l'opera è pensata e valutata in termini "prestazionali"
- → con specifico riferimento all'azione sismica e all'argomento di oggi:

l'energia proveniente da una sorgente sismica può essere amplificata localmente, fondamentalmente a causa di due fattori:

Amax = Ss * St * ag Condizione di free field, su suolo rigido e superficie orizzontale

(A) L'ASSETTO STRATIGRAFICO

(B) LA TOPOGRAFIA

Ci occuperemo solo di (A) poiché (B) è definito unicamente dall'introduzione nelle verifiche strutturali del Progettista di un coefficiente numerico derivante direttamente dalla Norma

NTC 2008

NTC 2018

COSA SI INTENDE PER APPROCCIO PRESTAZIONALE DELL'OPERA?

2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la <u>vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :</u>

 $V_R = V_N \cdot C_U$

[2.4.1]

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V _N (anni)	
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10	
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50	
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100	

2.4.2. CLASSI D'USO

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 affoliamenti 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 DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad i-tinerari 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.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

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

 $\textbf{Tab. 3.2.I} - Probabilit\`{a} \ di \ superamento \ P_{\mathbb{V}_{\mathbb{R}}} \ in \ funzione \ \ dello \ stato \ limite \ considerato$

Stati Limite	$\mathbf{P}_{\mathbf{V_R}}$: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$			
Stati limite di esercizio	SLO → OPERATIVITA'	81%		
Stati fiffite di esercizio	SLD → DANNO	63%		
Stati limite ultimi	SLV -> SALVAGUARDIA VITA	10%		
Stati innite ulunu	SLC → COLLASSO	5%		

Normativa Nazionale - D.M. 17.01.2018 "NTC '18"

APPROCCIO SEMPLIFICATO

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato cha 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 costi uiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

Tab. 3.2.II - Categorie di sottosuolo che	permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
В	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consi- stenti, 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.
С	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consi- stenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del- le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consi- stenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del- le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le catego- rie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel \S 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. Π , 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, di cui al \S 6.2.2.

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, Vs.eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$
[3.2.1]

con:

Ν

Н

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

numero di strati;

profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

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_{5,eq} è definita dal parametro V_{5,30}, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

< 30 m BR (Ad esembio 10 m) Uso la Vs equivalente (in questo caso Vs10) > 30 m BR Uso la Vs 30

L'INTRODUZIONE DELLA VS EQUIVALENTE HA COMPORTATO L'ELIMINAZIONE DI DUE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO PREVISTE NELLE NTC 2008:

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

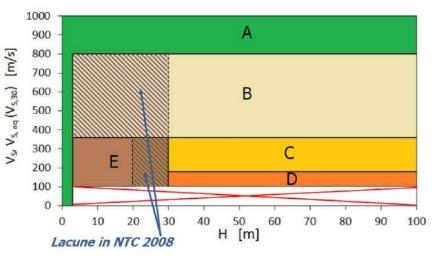
Tabella 3.2.III - Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
\$1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{8,30}$ infleriori a $100 \mathrm{m/s}$ (ovvero $10 < c_{8,30} < 20 \mathrm{kPa}$), che includono uno strato di almeno $8 \mathrm{m}$ di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno $3 \mathrm{m}$ di torba o di argille altamente organiche.
S2 Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di non classificabile nei tipi precedenti.	

Tab. 3.2.II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
В	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consi- stenti, 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.
С	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consi- stenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del- le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	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.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le catego- rie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Categorie di sottosuolo ed approccio semplificato (Confronto NTC 2008 - NTC 2018)



Madiai, 2017

Tab. 3.2.II Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

		$V_{S,e}$	eq	
Categoria	Descrizione	V _{s,30} m/s	N _{5PT.30}	C _{u lo} [ki a]
Α	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, con eventuale strato di alterazione/terreni di caratteristiche più scadenti di spessore massimo pari a 3 m	>800	1	1
В	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessore >30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
С	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessore >30m, caratterizzati da un graduale proprietà meccaniche con la profondità	180-360	15-50	70-250
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessore >30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180 100-180	<15	c 70
E	Terreni riconducibili alle categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 20 m 30m	<360	<50	<250
S1	Depositi con strato >8m di argille poco consistenti o >3m di torbe o materiali organici	<100		10-20
52	Depositi suscettibili di liquefazione, argille sensitive o categorie di sottosuolo non classificabili nei tipi precedenti			
				1

Madiai, 2017

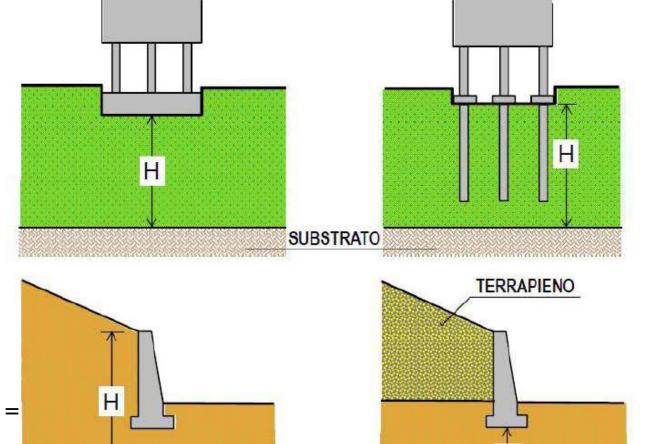
COME SI CALCOLA "H" RISPETTO ALLE OPERE DI FONDAZIONE ?

QUOTA DI RIFERIMENTO DELLA PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO

SUBSTRATO =

BEDROCK SISMICO =

Vs > 800 m/s



SUBSTRATO

Madiai, 2017

RIASSUMENDO:

L'accelerazione generata da un terremoto in un determinato sito dipende dalle condizioni locali:

- → <u>TOPOGRAFIA</u>
- → <u>STRATIGRAFIA</u> (proprietà fisiche e meccaniche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi che costituiscono la colonna stratigrafica)

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la **RSL** consente di definire **se, come e quanto** un segnale sismico si sia modificato rispetto al sito di riferimento (suolo rigido* e superficie topografica orizzontale).

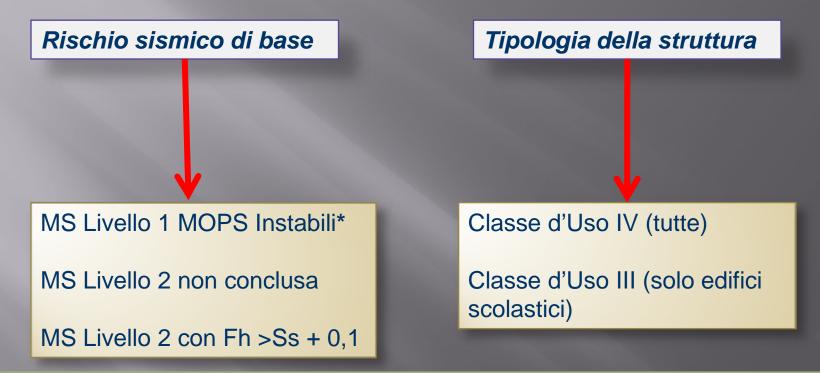
<u>Suolo rigido</u>: è il cosiddetto BEDROCK SISMICO, per la nostra normativa è tutto ciò che possiede Vs > 800 m/s e che non amplifica il segnale sismico

La Normativa Regionale

DGR Lazio 493/2019 modifica delle DGR 387/2009 – 489/2012 elenco delle strutture strategiche (Classe d'uso IV) e rilevanti (Classe d'uso III)

Regolamento Sismico n. 26 del 26/10/2020 (sostituisce la DGR 375/2016) procedure prevenzione rischio sismico – Genio Civile

In sintesi – come prescrizione di Normativa Regionale – la necessità di produrre uno studio di RSL può derivare da:



^{*:} in realtà in questo caso è prevista l'esecuzione di una MS di Livello 3. La differenza rispetto ad uno studio di RSL – come vedremo – è che si tratta ancora di un documento di pianificazione territoriale e si riferisce ad un unico tempo di ritorno (475 anni); la procedura è del tutto analoga.

Dalla DGR Lazio 493/2019

DELIBERA

- di modificare la deliberazione di Giunta regionale 22 maggio, 2009 n. 387, come modificata dalla deliberazione di Giunta regionale 17 ottobre 2012, n. 489 sostituendo l'Allegato 2 con l'Allegato A rubricato "Elenco delle strutture in Classe d'uso IV (Strategiche) e in Classe d'uso III (Rilevanti)", parte integrante e sostanziale idella presente deliberazione;
- di disporre, obbligatoriamente e preventivamente alla progettazione esecutiva, lo studio di Risposta Sismica Locale (RSL) per tutte le nuove opere o per l'adeguamento sismico delle strutture esistenti di Classe d'uso III e di Classe d'uso IV, a eccezione di quelle di cui al punto e) del paragrafo "Infrastrutture";
- 3. di prevedere la possibilità di ovviare allo studio di RSL per le opere di Classe d'uso III, eccetto le Strutture per l'Istruzione, laddove dalle indagini di cui all'Allegato C del regolamento regionale n. 14/2016 scaturiscano indicazioni tecniche evidenti e inconfutabili dell'appartenenza del sottosuolo a una delle Categorie di sottosuolo di fondazione indicate nella Tabella 3.2.II del DM. 17.01.2018, utilizzando in questi casi l'approccio semplificato previsto dallo stesso DM.

B) <u>CLASSE D'USO III</u>: Costruzioni rilevanti il cui uso preveda affollamenti significativi con riferimento a un eventuale collasso della struttura, come, in particolare, di seguito indicate:

- Strutture per l'Istruzione*
 - a) Asili nido, scuole ed istituti di istruzione, pubblici e privati, di ogni ordine e grado;
 - b) Università;
 - c) Conservatori statali, accademie di Belle Arti (statali e non statali), istituti musicali, Accademie statali di danza e di Arte, Istituti statali superiori per le industrie Artistiche;
 - d) Case famiglia e Strutture educative per i minori;
 - e) Uffici scolastici regionali.
- Strutture civili*
 - a) Alberghi (art. 2, comma 1, lettera a) R.R. 17/2008 e successive modifiche), Ostelli per la Gioventù (art.5 R.R. 08/2015 e successive modifiche);
 - g) Attività Commerciali con cubatura ≥ 5000 metri cubi;
 - h) Stadi, Palazzi dello Sport, Palestre, Impianti per lo sport compresi i servizi di supporto per l'attività sportiva (spogliatoi, ecc.), e spazi per il pubblico (coperture e tribune di impianti sportivi, ecc.);
 - b) Auditorium, Biblioteche, Cinema, Edifici per mostre, Ludoteche, Musei, Pinacoteche e Teatri;
 - Banche, Centri Commerciali (art. 4, comma 1, lettera g), d. lgs. n. 114/1998 e successive modifiche);
 - d) Mercati coperti;
 - e) Chiese, Campanili, Chiese cimiteriali ed Edifici di Culto non ricadenti nelle disposizioni di cui agli articoli 13, 14, 15 e 16 del Trattato Lateranense;
 - f) Obitori e camere mortuarie;
 - g) Centri polifunzionali;
 - h) Uffici postali;
- Strutture Industriali*
 - a) Industrie con attività pericolose per l'ambiente non ricadenti nella Classe IV;
- Infrastrutture
 - a) Centrali Elettriche a Media Tensione, Centrali di cogenerazione, Impianti eolici, Termovalorizzatori:
 - b) Dighe non ricadenti nella Classe IV, ma comunque rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso:
 - Metropolitana e Stazioni della Metropolitana, Edifici delle Stazioni di autobus e tranviarie;
 - d) Gallerie di reti viarie, viadotti di reti viarie e ponti di reti viarie, ricadenti nel tipo C se non già indicato in Classe IV la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.

Dalla DGR Lazio 493/2019

- A) <u>CLASSE D'USO IV</u>: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di evento sismico come, in particolare, di seguito indicate:
- Strutture Ospedaliere*
 - a) Ospedali, Case di Cura, Case di riposo, Cliniche, Ambulatori ospedalieri, Istituti di ricovero e cura a carattere Scientifico, Aziende Unità Sanitarie Locali, Residenze Sanitarie Assistenziali;
- Strutture per l'istruzione, comprese le palestre scolastiche, inserite nei Piani di Emergenza di Protezione Civile comunali che possono ospitare funzioni strategiche (centro coordinamento soccorsi (CCS); centro operativo misto (COM); centro operativo comunale (COC) eccetera);
- Strutture Civili*
 - a) Sedi degli uffici statali, regionali e provinciali;
 - b) Municipi e sedi comunali decentrate; .
 - c) Sedi degli uffici territoriali del Governo;
 - d) Sedi della Protezione Civile e relative strutture adibite all'attività di Protezione Civile;
 - e) Ambasciate, Consolati, Legazioni, Istituti culturali, Organismi internazionali;
 - f) Uffici Giudiziari e Carceri.
- Strutture Militari*
 - a) Caserme delle Forze Armate, dei Carabinieri, del Corpo Forestale dello Stato, della Guardia di Finanza, della Pubblica Sicurezza, dei Vigili del Fuoco.
- Strutture Industriali
 - a) Industrie con attività di produzione di "sostanze pericolose per l'ambiente" (Decreto legislativo 26 giugno 2015, n.105 (Attuazione della direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose) in cui può avvenire un incidente rilevante per evento sismico.
- Infrastrutture
 - a) Centrali Elettriche ad Alta Tensione;
 - b) Dighe connesse al funzionamento di acquedotti ed a impianti di produzione di energia elettrica;
 - c) Gallerie di reti viarie di tipo A o B, Ponti di reti viarie di tipo A o B e Viadotti di reti viarie di tipo A o B (Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"), o le Gallerie, i Ponti ed i Viadotti di reti viarie di tipo C se appartenenti a itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non serviti da strade di tipo A o B;
 - d) Gallerie di reti ferroviarie, Ponti di reti ferroviarie e Viadotti di reti ferroviarie;
 - e) Impianti per le telecomunicazioni (radio, televisioni, ponti radio ecc.), con altezza maggiore o uguale a 15 metri non su fabbricati esistenti;
 - f) Autostrade ed opere d'arte annesse;
 - g) Grandi stazioni o Terminal ferroviari, stazioni o Terminal aeroportuali, eliporti e porti.

A tutte le costruzioni, opere e/o attività miste, si applica la classe d'uso della destinazione che assicura una maggiore sicurezza per la pubblica e privata incolumità di cose e persone.

Dal Regolamento Regionale 26/2020 → ALLEGATO C

2) TABELLA RISCHIO SISMICO

LIVELLO DI RISCHIO SISMICO

L'obiettivo è raggiungere la definizione del modello geofisico del sottosuolo per la determinazio categoria di suolo di fondazione indicato nella Relazione Geologico-Sismica e delle indagini e laboratorio che caratterizzano l'aspetto geomeccanico del sottosuolo per il volume significa determinano 3 Livelli di Vulnerabilità dell'Opera (Basso, Medio, Alto), in funzione della zona sismic classificazione del progetto, secondo lo schema di seguito riportato.

	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
PROGETTI	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Dalla DGR 375/2016

LIVELLO DI VULNERABILITA' DELL'OPERA

	zona sismica 1	zona sismica 2a	zona sismica 2b	zona sismica 3a	zona sismica 3b
ASSEVERAZIONI	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A SORTEGGIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso II; classe d'uso III, escluse le strutture per l'istruzione - DGRL n. 489/2012)	ALTO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso III - strutture per l'istruzione; classe d'uso IV e opere pubbliche)	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

TERRENI

- a) Almeno 2 Sondaggi Geognostici, con Prove SPT in foro eseguite negli strati coesivi e granulari dei terreni costituenti il volume significativo fondazionale.
- b) Almeno 2 Prove Penetrometriche statiche (CPT, CPTE, CPTU), dinamiche (DPSH), o dilatometriche DMT che consentano di definire le caratteristiche fisicomeccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari costituenti il volume significativo fondazionale.
- c) Prelievo di campioni quando la litologia consente un campionamento indisturbato, del terreno fondazionale da sottoporre a Prove Geotecniche di laboratorio, certificate ai sensi dell'articolo 59 del DPR 380/2001, per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche (Prova di Taglio Diretta, Prova Edometrica, Prova Triassiale, Prova di Taglio Ciclico, Colonna Risonante, ecc.).
- d) Almeno 2 Prova Sismiche in sito attive (MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passive (REMI, SPAC, ESAC, f-k, MAAM, ecc.), possibilmente perpendicolari tra di loro per la definizione del profilo di velocità dell'onda S.
- e) Almeno 2 Acquisizioni di Microtremore Sismico a stazione singola (HVSR), per la definizione della frequenza di risonanza del terreno;
- f) Almeno una prova sismica diretta in foro (DH, CH, SDMT) eseguita fino alla profondità pari al raggiungimento del bedrock sismico o comunque fino alla profondità di almeno 30 metri, in tutti i casi in cui dovrà essere eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale (RSL).
- g) Analisi della Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III e IV come previsto dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. inversioni di velocità, bruschi passaggi di rigidezza, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.Il delle NTC'18, eseguita tramite:
 - codice di calcolo 1D unicamente per sottosuoli costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica piana;
 - codice di calcolo 2D da eseguire per sottosuoli non costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica non pianeggiante.

Per opere con fondazioni di modesta ampiezza e carichi ridotti (antenne di trasmissione radio e telefoniche, ecc.) e per opere accessorie di strutture ricadenti in classe d'uso III e IV, non strutturalmente connesse a giudizio motivato del professionista incaricato, è possibile una riduzione del programma delle indagini, fino al livello minimo previsto per il rischio medio.

ROCCE AFFIORANTI o SEPOLTE sotto terreni di copertura aventi spessore massimo di 3 metri (Substrato geologico)

- a) Almeno 2 Prove Penetrometriche statiche (CPT, CPTE, CPTU), dinamiche (DPSH) o dilatometriche DMT, che attraversino i terreni di copertura, coesivi e granulari, nel caso di ammassi rocciosi sepolti.
- b) Caratterizzazione Geomeccanica degli ammassi rocciosi affioranti, eseguita tramite esecuzione di rilevamento geostrutturale, laddove possibile.
- c) Almeno 2 Prove Sismiche in sito attive (Seismic Refraction, MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passive (REMI, SPAC, ESAC, f-k, MAAM, ecc.), per la definizione del profilo di velocità dell'onda S.
- d) Almeno 2 Acquisizioni di Microtremore Sismico a stazione singola (HVSR), per la definizione della frequenza di risonanza del terreno;
- e) Analisi della Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III e IV come previsto dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. inversioni di velocità, bruschi passaggi di rigidezza, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui

Dal Regolamento Regionale 26/2020

ALLEGATO C Indagini minime



Livello di Vulnerabilità dell'Opera

Alto

Dalla DGR 375/2016

SU TERRENI:

Dovranno eseguirsi:

- Almeno 2 prove verticali di indagine di cui 1 sondaggio geognostico con prove SPT in foro;
- Almeno 1 prova penetrometrica di tipo statico CPT, CPTE, CPTU) o dinamico (DPH, DPSH) per una profondità almeno pari al volume significativo;
 - Almeno 2 prove geofisiche indirette (tipo MASW, SASW, ecc.) per il calcolo delle V₅₃₀;
 - Almeno 1 misura di rumore (tipo RE.MI, HVSR, ecc.); Prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e
- Prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni di fondazione; Verifiche di stabilità ante e post-operam dei versanti,
- laddove necessario; Solo per i progetti a controllo obbligatorio - art. 5,
- c. 1, R.R. n. ... del:

 ✓ Almeno 1 prova geofisica diretta in foro di
- sondaggio (tipo Down Hole, Cross-Hole, ecc.);

 ✓ Almeno un secondo sondaggio geognostico,
- spinto alla profondità di 30 m, attrezzato per 1 prova sismica diretta;
- ✓ risposta sismica locale.

SU ROCCIA COMPATTA AFFIORANTE O CON SUBSTRATO ROCCIOSO ENTRO I PRIMI 3 MT DI PROFONDITÀ:

Dovranno eseguirsi:

- Almeno 1 prova geofisica indiretta (tipo MASW, SASW, ecc.) per il calcolo delle V₅₃₀;
- Determinazione delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi con rilevamento geostrutturale;
- Prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni di fondazione;
- Verifiche di stabilità ante e post-operam dei versanti, se necessario;
- · Solo per i progetti a controllo obbligatorio:
- Almeno 1 prova geofisica diretta in foro di sondaggio (tipo Down Hole, Cross-Hole, ecc.);
- Almeno un sondaggio geognostico, attrezzato per 1 prova sismica diretta.

Livello di Rischio Sismico ALTO

Alcune "imprecisioni" sono state risolte

Dal Regolamento Regionale 26/2020

Dalla DGR 375/2016

Dovranno eseguirsi:

Dovranno eseguirsi:

laddove necessario

Dovranno eseguirsi:

laddove necessario

Allineno i prova georisica mulitetta (upo masw.

SASW, ecc.) per il calcolo delle V₅₃₀.

SASW, ecc.) per il calcolo delle V_{s30}.

caratteristiche fisiche e meccaniche:

SASW, ecc.) per il calcolo delle V₅₃₀;

SASW, ecc.) per il calcolo delle V₅₃₀;

SU TERRENI:

foro oppure almeno 2 prove penetrometriche di tipo

statico (CPT, CPTE, CPTU) o dinamico (DPH, DPSH)

per una profondità almeno pari al volume significativo;

Prove di laboratorio per la definizione delle

27/10/2020 - BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE LAZIO - N. 129 Basso SU ROCCIA COMPATTA AFFIORANTE O CON SUBSTRATO ROCCIOSO ENTRO I PRIMI 3 MT DI PROFONDITA: TERRENI · Almeno 1 prova geofisica indiretta (tipo MASW, a) Almeno 1 Sondaggio Geognostico con Prove SPT in foro più 1 Prova Penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU), dinamica, (DPSH) o dilatometriche DMT, oppure, almeno 2 Prove Penetrometriche statiche (CPT, CPTE, CPTU) o dinamiche (DPSH), che consentano di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari costituenti il volume significativo fondazionale. b) In sostituzione delle prove di cui alla lett. a) che precede, solo per le classi III e IV: almeno 1 Sondaggio Geognostico con Prove SPT in foro più 1 Prova Penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU), dinamica (DPSH) o dilatometriche DMT, che consentano di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari costituenti il volume significativo fondazionale. Nel caso di esecuzione del Sondaggio Geognostico: prelievo di campioni guando la litologia consente un campionamento indisturbato o almeno significativo, del terreno fondazionale da sottoporre a Prove Geotecniche di laboratorio, certificate ai sensi dell'articolo 59 del DPR 380/2001, per la definizione delle caratteristiche fisico- Almeno 1 sondaggio geognostico con prove SPT in meccaniche e dinamiche (Prova di Taglio Diretta, Prova Edometrica, Prova Triassiale, Prova di Taglio Ciclico, Colonna Risonante, ecc.): d) Almeno 2 Prova Sismiche in sito attive (MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passive (REMI, SPAC, ESAC, f-k, MAAM, ecc.), possibilmente perpendicolari tra di loro per la definizione del profilo di velocità dell'onda S. Livello di Vulnerabilità dell e) Almeno 1 Acquisizione di Microtremore Sismico a stazione singola (HVSR), per la definizione della frequenza di risonanza del terreno; Medio Almeno 2 prove geofisiche indirette (tipo MASW, f) Almeno una prova sismica diretta in foro (DH, CH, SDMT) eseguita fino alla profondità Verifiche di stabilità ante e post operam dei versanti, pari al raggiungimento del bedrock sismico o comunque fino alla profondità di almeno Livello di Rischio 30 metri i, in tutti i casi in cui dovrà essere eseguito uno studio di Risposta Sismica Sismico Locale (RSL) per le classi d'uso III e IV. g) Analisi della Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III e IV come previsto MEDIO SU ROCCIA COMPATTA AFFIORANTE O CON dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. inversioni di velocità, bruschi passaggi di SUBSTRATO ROCCIOSO ENTRO I PRIMI 3 MT DI rigidezza, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.II delle NTC'18, eseguita tramite: PROFONDITÀ: · codice di calcolo 1D unicamente per sottosuoli costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica piana; · codice di calcolo 2D da eseguire per sottosuoli non costituiti da strati Almeno 1 prova geofisica indiretta (tipo MASW). orizzontali continui e superficie topografica non pianeggiante. Verifiche di stabilità ante e post operam dei versanti, ROCCE AFFIORANTI o SEPOLTE sotto terreni di copertura aventi spessore massimo di 3 metri (Substrato geologico) a) Almeno 2 Prove Penetrometriche statiche (CPT, CPTE, CPTU), dinamiche (DPSH) o dilatometriche DMT, che attraversino i terreni di copertura, coesivi e granulari, nel caso di ammassi rocciosi sepolti. b) Caratterizzazione Geomeccanica degli ammassi rocciosi affioranti, mediante esecuzione di rilevamento geostrutturale, laddove possibile, oppure per le classi d'uso

Alcune "imprecisioni" sono state risolte

ESEMPIO: devo realizzare una biblioteca in una UAS in Zona sismica 1:

Devo fare lo studio di RSL?

PRIMA:

Dalla DGR Lazio 489/2012



NO (C.U. III – no scuola)

Dalla DGR Lazio 375/2016



SI (NESSUN RIMANDO ALLA DGR 489/2012)



Alcune "imprecisioni" sono state risolte

ESEMPIO: devo realizzare una biblioteca in una UAS in Zona sismica 1:

Devo fare lo studio di RSL?

<u>ORA:</u>

Dalla DGR Lazio 493/2019



NO (C.U. III – no scuola)

Dal Reg. Sismico 26/2020



NO (Livello di rischio Alto ma rimanda alla DGR 493/2019)



R.S.L. OBBLIGATORIA DA NORMATIVA REGIONALE

мотіуо	NORMA
MS LIVELLO 1 ==> MOPS INSTABILI	D.G.R. LAZIO 545/2010 - D.G.R.LAZIO 535/2012
MS LIVELLO 2 ==> NON CONCLUSA	D.G.R. LAZIO 155/2020 - D.G.R.LAZIO 535/2012
MS LIVELLO 2 ==> Fh > Ss + 0,1	D.G.R. LAZIO 155/2020 - D.G.R.LAZIO 535/2012
PROGETTI EX NOVO; PROGETTI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI RICADENTI IN CLASSE D'USO IV	D.G.R. LAZIO 493/2019 – REG. SISM. 26/2020
PROGETTI EX NOVO; PROGETTI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI RICADENTI IN CLASSE D'USO III (SOLO SCUOLE)	D.G.R. LAZIO 493/2019 – REG. SISM. 26/2020
PROGETTI EX NOVO; PROGETTI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO SISMICO DI TUTTI GLI ALTRI EDIFICI RICADENTI IN CLASSE D'USO III QUANDO INDAGINI GEOFISICHE DI COMPROVATA VALIDITA' NON CONSENTANO UNA ATTRIBUZIONE CERTA AD UNA DELLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO PREVISTE DALL'APPROCCIO SEMPLIFICATO DELLE NTC 2018	D.G.R. LAZIO 493/2019 – REG. SISM. 26/2020

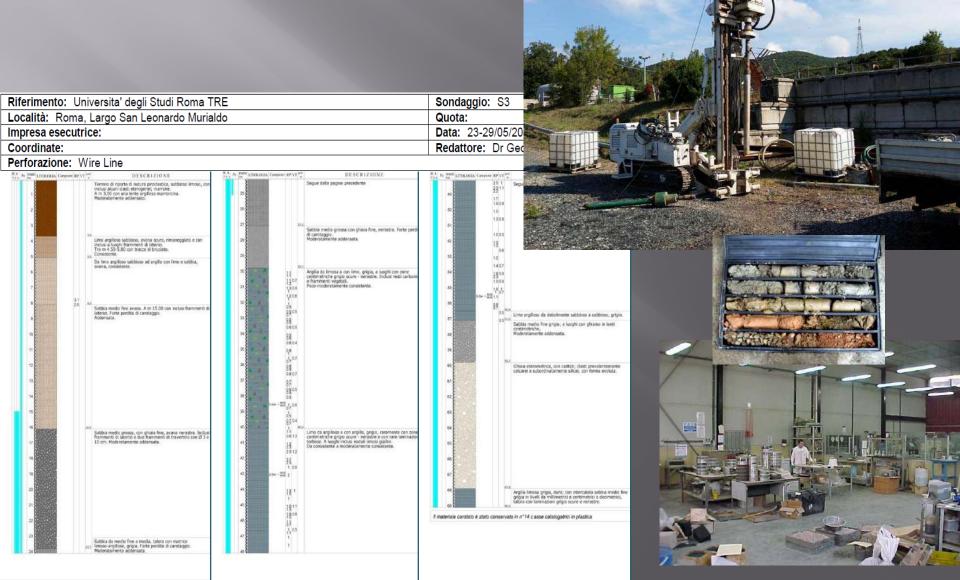
La procedura per gli studi di RSL

Lo studio di RSL passa attraverso 5 steps fondamentali



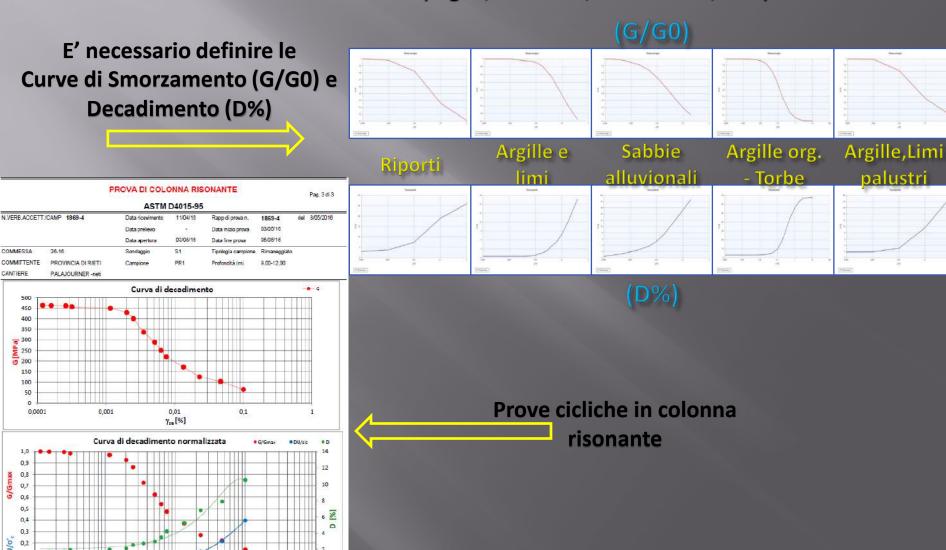
A - Implementazione del modello geologico (indagini





A - Implementazione del modello geologico (indagini geologiche e geognostiche)

Non sono sufficienti le analisi di laboratorio geotecnico "ordinarie" (taglio, triassiale, edometrica,)



0.0001

0.001

Y .. [96]

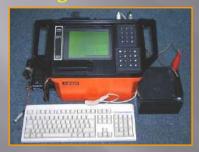
B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

TECNICHE DI PROSPEZIONE

- PROSPEZIONI MASW (Onde superficiali Vel. di Fase e di Gruppo)
- PROSPEZIONI ReMi (Onde superficiali Vel. di Fase e di Gruppo)
- SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE
- SISMICA IN FORO TIPO CROSS-HOLE
- HOLISURFACE (Onde superficiali Velocità di Gruppo)
- MISURE HVSR (Nakamura)

STRUMENTAZIONE MASW - ReMi

Sismografo multicanale



Geofoni

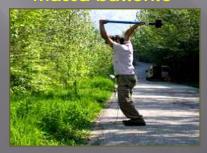


Cavo sismico



SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE (Prove attive)

Massa battente



Fucile sismico

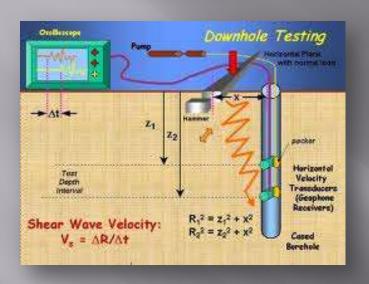


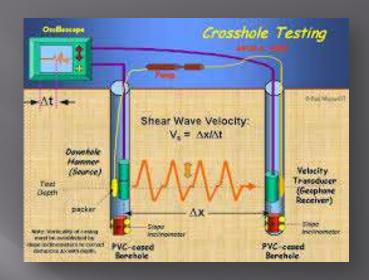
Esplosivo



B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

SISMICA IN FORO: DOWN HOLE - CROSS HOLE



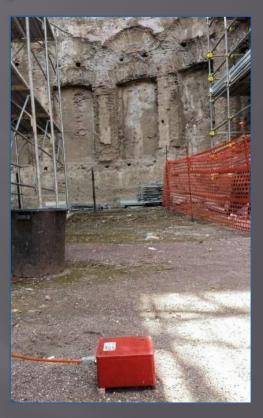


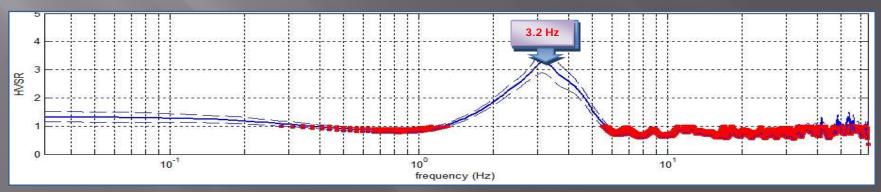
- Più affidabili per la determinazione del parametro Vs 30 (Vsн) e del profilo di velocità delle onde S
- Costi maggiori rispetto alle prospezioni di superficie (MASW, ReMi), che comprendono anche la terebrazione ed il condizionamento di un foro di sondaggio, che diventano due nel caso delle cross hole
- Sono commissionate soprattutto dalle amministrazioni pubbliche e dai privati nell'ambito della progettazione di opere importanti
- Necessaria strumentazione allo stato dell'arte

HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratio





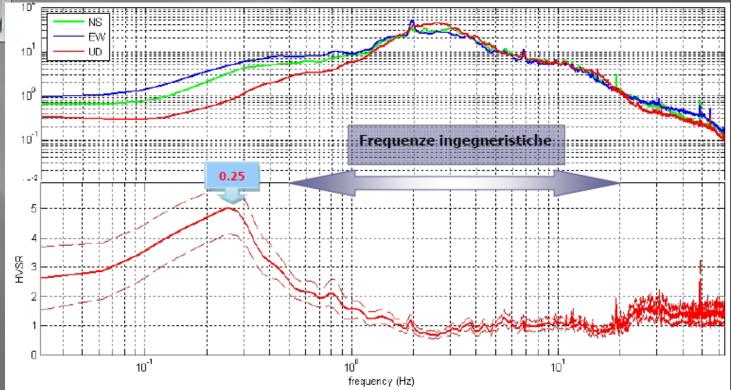




HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratio

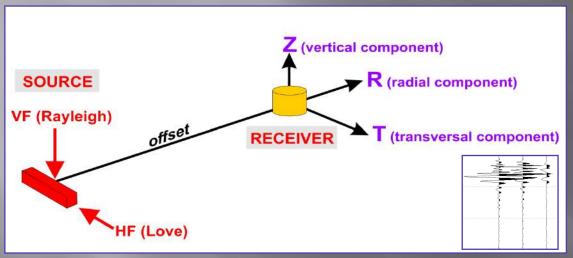


Lo strumento indicato funziona con una terna di sensori velocimetrici ad alta sensibilità ed alta stabilità, con frequenza naturale pari a 2 Hz: ciò consente di far conto su una sensibilità strumentale in grado di esplorare i campi di frequenza (ordine di 0,1 Hz) che interessano la prospezione

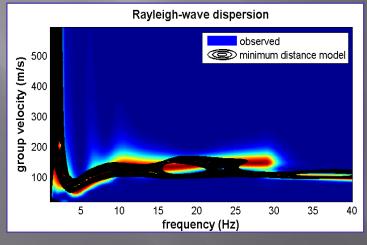


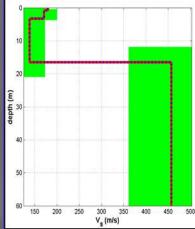
B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

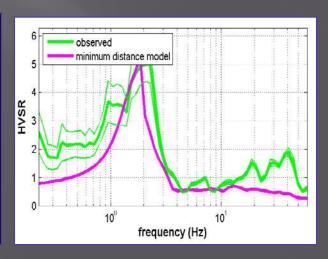
HOLISURFACE











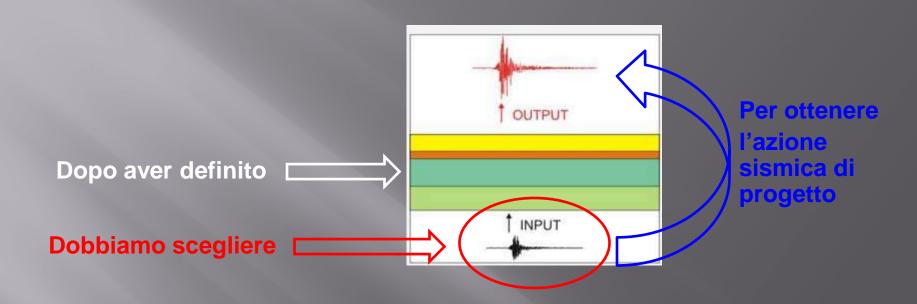
B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)

HOLISURFACE

Tale tipo di indagine è una evoluzione (oggetto di brevetto www.holisurface.com) del metodo di analisi delle velocità di gruppo, quindi basata sulla dispersione delle onde di superficie (velocità di gruppo; rapporto tra spazio e tempo di arrivo dell'onda frequenza per frequenza) e la sua analisi secondo l'approccio FVS (Full Velocity Spectrum).

- L'acquisizione dei dati HS (attivi) avviene grazie ad un unico geofono triassiale.Lo stesso geofono è poi utilizzato per registrare i dati passivi utili a definire il rapporto spettrale H/V. I dati (attivi e passivi) sono poi analizzati congiuntamente.
- Acquisire un dato per analisi HoliSurface® non è molto diverso rispetto alle tradizionali acquisizioni di sismica attiva (ad es. MASW).
- La differenza sostanziale rispetto alla cosiddetta tecnica MASW, sta nel fatto che per effettuare acquisizioni e analisi HoliSurface®, invece di utilizzare n geofoni a componente singola, si utilizza un unico geofono a tre componenti (geofono triassiale) posto ad una certa distanza (offset) dalla sorgente e opportunamente orientato in modo da raccogliere i dati relativi alla componente verticale (Z), radiale (R) e trasversale (T).

(Giancarlo Dal Moro, 2020)



ESISTONO 3 TIPI DI ACCELEROGRAMMI: NATURALI - ARTIFICIALI - SINTETICI

Questi ultimi sono molto difficili da definire e richiedono conoscenze molto dettagliate sulla sorgente sismica e sul suo modello fisico Di fatto sono ancora una competenza del mondo della ricerca

Per l'analisi dinamica delle strutture e terreni è consentito l'utilizzo di diversi tipi di accelerogrammi: artificiali, sintetici e registrati. Tuttavia, non è permesso l'uso di accelerogrammi artificiali nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici (NTC2018), tra cui ricadono le analisi di risposta sismica locale. Per questi motivi, l'esecuzione di analisi di risposta sismica locale è usualmente basata su accelerogrammi naturali.

C - Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

Dalle NTC 2018

3.2.3.6 IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali o naturali. Ciascuna storia temporale descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali, ed una verticale) costituisce un gruppo di storie temporali del moto del terreno.

La durata delle storie temporali artificiali del moto del terreno deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di S_S. In assenza di studi specifici, la parte pseudo-stazionaria

dell'accelerogramma associato alla storia deve avere durata di 10 s e deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, in modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro di risposta elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve

presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0.15s \div 2.0s = 0.15s \div 2T$, in cui T è il periodo proprio di vibrazione della struttura in campo elastico,

per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0.15 \text{ s} \div 1.5 \text{ T}$, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a 1.2 T_{is} , essendo T_{is} il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame.

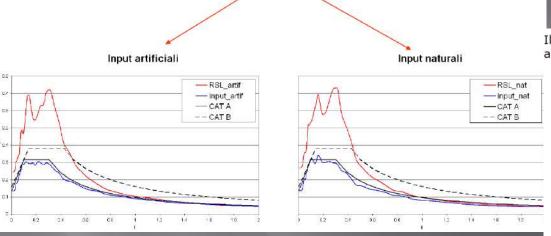
L'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di storie temporali del moto del terreno generate mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione e che, negli intervalli di periodo sopraindicati, l'ordinata spettrale media non presenti uno scarto in difetto superiore al 20% rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico.

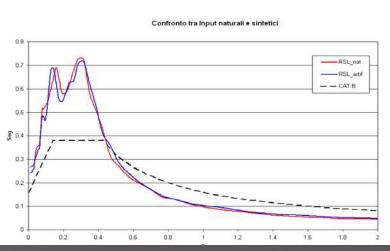
L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

CONFRONTO TRA ACCELEROGRAMMI NATURALI E ARTIFICIALI

Il grafico di sinistra riporta il risultato in termini di spettro di risposta elastico (ξ =5%) utilizzando un input artificiale compatibile con lo spettro di categoria A per il sito in esame. Lo spettro di destra è analogo a quello precedentemente descritto ad esclusione dell'input che in questo caso è costituito da 7 accelerogrammi naturali (di cui il risultato è la media dei 7 accelerogrammi amplificati dal sito).



Il confronto tra i due approcci mostra in figura risultati totalmente analoghi, con differenze minime trascurabili.



C - Definizione dell'input sismico (ricerca ed estrazione accelerogrammi)

Relativamente all'utilizzo di accelerogrammi naturali, le NTC2018 riportano in sintesi le sequenti prescrizioni:

- I'uso di accelerogrammi (o meglio storie temporali) registrati è ammesso, a condizione che la loro scelta sia <u>rappresentativa della sismicità</u> del <u>sito</u> e adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla accelerazione orizzontale attesa al sito;
- ➤ Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame;
- > utilizzare le condizioni di compatibilità spettrale media definite per i segnali artificiali anche per quelli naturali, avendo cura in ogni caso di rispettare le condizioni geologiche di sito e di scegliere accelerogrammi il cui spettro è, per quanto possibile, generalmente simile a quello di riferimento;
- > gli accelerogrammi possono essere scalati linearmente in ampiezza limitando il fattore di scala nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola magnitudo;
- gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi, se si utilizzano almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi, dai valori più sfavorevoli degli effetti, in caso contrario;
- in nessun caso si possono adottare meno di tre gruppi di accelerogrammi.

La prima informazione che è necessario acquisire per la definizione dell'input sismico (definizione della

pericolosità sismica di base) è l'accelerazione di base del sito ove è previsto il progetto: **ag**.

E' necessario acquisire alcune informazioni relative al Progetto, normalmente fornite dal Progettista in quanto derivanti dalla "strategia progettuale":

- 1) Coordinate del sito (queste ce le possiamo trovare da noi !!)
- 2) Vita di riferimento dell'opera VR = VN * Cu (come da NTC2018)
- Stato limite o stati limite per cui condurre la verifica. Gli stati limite sono SLO e SLD (Stati limite di esercizio) e SLV e SLC (Stati limite ultimi). Ad ogni stato limite corrispondono diversi valori di **ag** poiché questi sono funzione dei diversi periodi di ritorno. Infatti per lo SLO si pone PvR = 81%, per lo SLD PvR=63%, per lo SLV PvR=10% e per lo SLC PvR=5%.

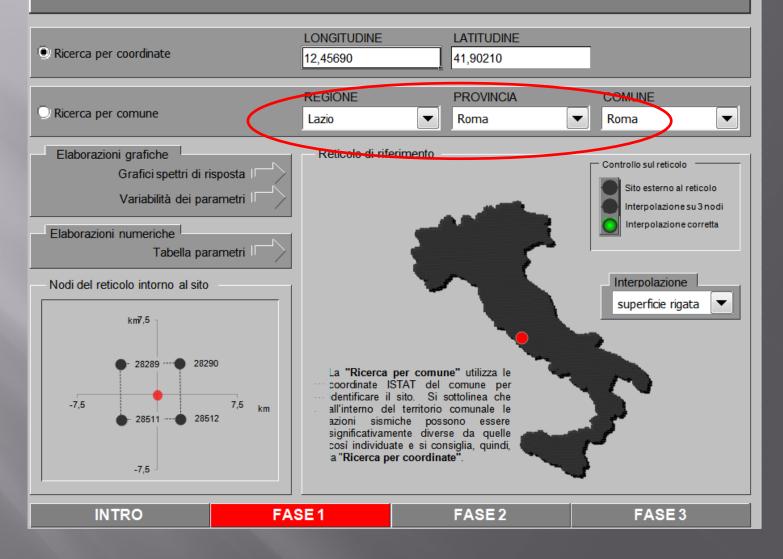
QUESTE OPERAZIONI POSSONO ESSERE ESEGUITE UTILIZZANDO IL FOGLIO DI CALCOLO MESSO A PUNTO E RESO DISPONIBILE DAL C.S.LL.PP. DENOMINATO "*SPETTRI*". Si tenga conto che le coordinate devono essere espresse in gradi sessadecimali, riferite al meridiano di Greenwich e nel sistema ED50.

INTRO

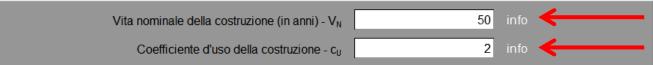
D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Spettri di risposta ver. 1.0.3

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÁ DEL SITO



FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE



Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R 100 info

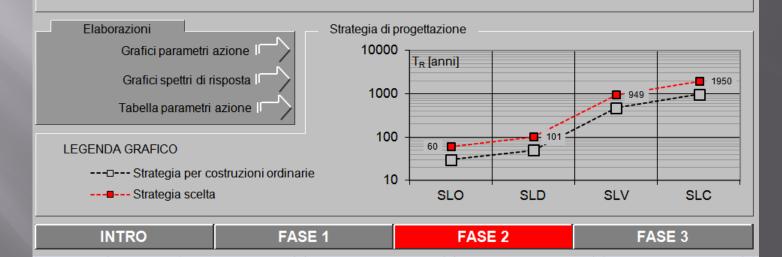
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - V_R info

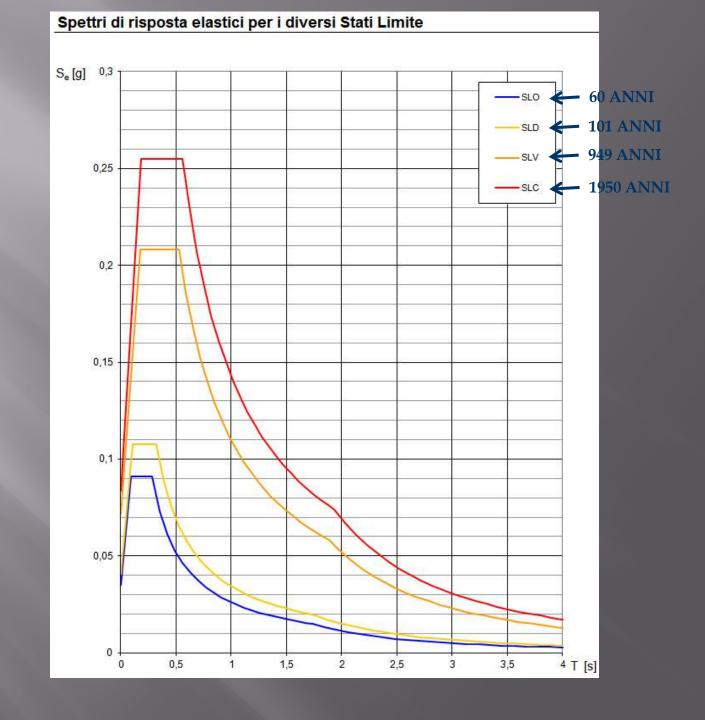
Stati limite di esercizio - $V_R = 81\%$ 60

SLD - $V_R = 83\%$ 101

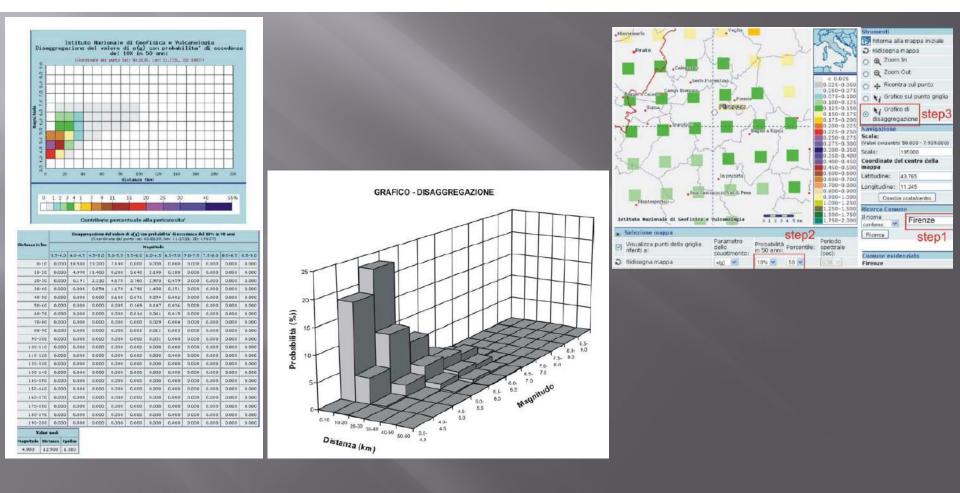
Stati limite ultimi - $V_R = 81\%$ 949

SLC - $V_R = 81\%$ 949

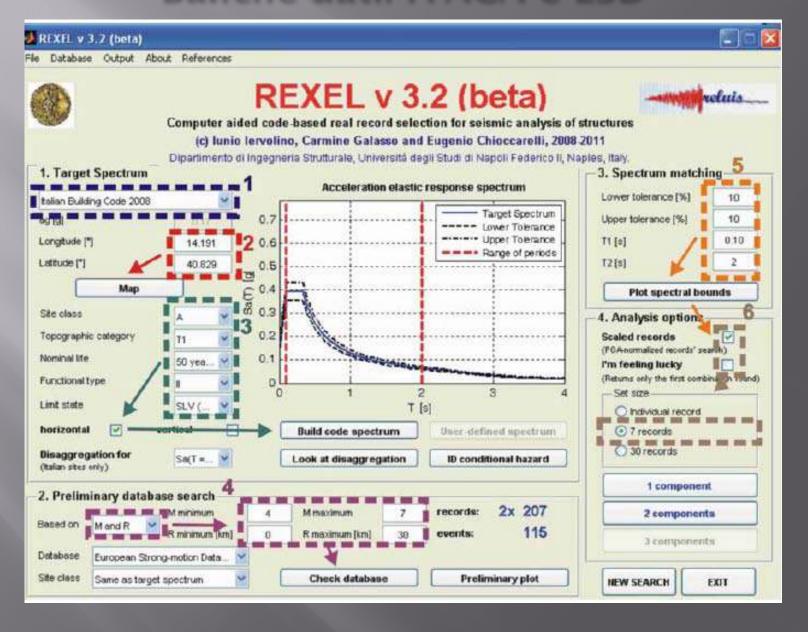




L'estrazione degli accelerogrammi di input prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre il valore di ag. In particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di **disaggregazione** (variabilità in termini di magnitudo e distanza), desumibili ad esempio dalla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano http://esse1-gis.mi.ingv.it dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale.



REXEL (ReLUIS di Napoli) Banche dati: ITACA e ESD

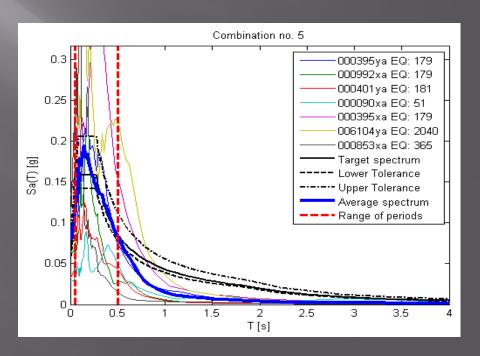


SE SIETE FORTUNATI

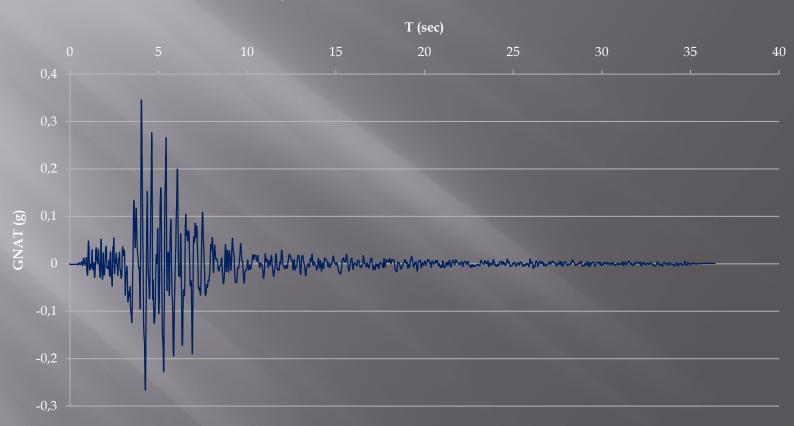
Si estraggono 5 combinazioni composte da 7 accelerogrammi ciascuna. Tra queste si sceglie la combinazione con il valore più basso di standard deviation e con i meccanismi focali più simili alla sorgente sismica che si ipotizza per il progetto in studio.

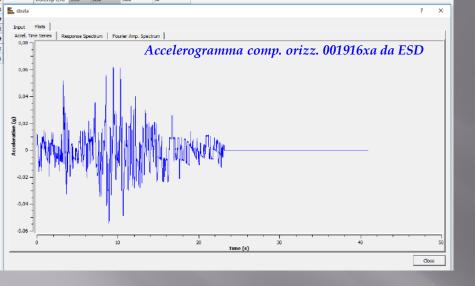
```
PGA - Input[m
Lower
      limit
                  [%]: 10
                      30
Upper
      limit
Tolerance
Non-dimensional
                 Recdev_med
                                     Recdev_1 Recdev_2 Recdev_3 Recdev_4 Recdev_5 Recdev_6 Recdev_7
      ncomb
                   0.136
                                            0.392
                                                                                       0.842
                                  0.217
                                                       0.400
                                                                  0.439
                                                                            0.819
                                                                                                  0.877
                   0.136
                                            0.392
                                                                  0.439
                                                                            0.819
                                                                                       0.842
                                  0.217
                                                       0.418
                                                                                                  0.877
                   0.111
                                  0.217
                                            0.392
                                                       0.439
                                                                  0.557
                                                                            0.819
                                                                                       0.842
                                                                                                  0.877
                   0.101
                                  0.217
                                            0.392
                                                       0.439
                                                                  0.568
                                                                            0.819
                                                                                       0.842
                                                                                                  0.877
                   0.094
                                  0.217
                                            0.392
                                                       0.439
                                                                  0.653
                                                                            0.819
                                                                                       0.842
                                                                                                  0.877
                                  0.000
                                            0.000
                   0.000
                                                       0.000
                                                                  0.000
                                                                             0.000
                                                                                       0.000
                                                                                                  0.000
```

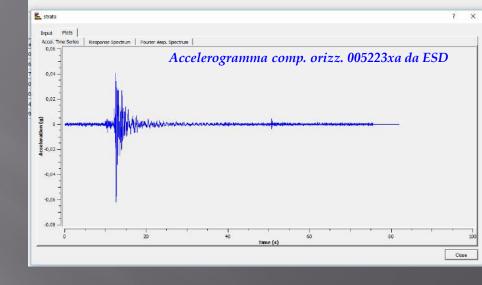
Dopo un adeguato trattamento del formato dei dati ed avendo avuto cura di trasformare i dati da m/s² in gnat, abbiamo a disposizione il materiale da dare in pasto al software di simulazione dello scuotimento.



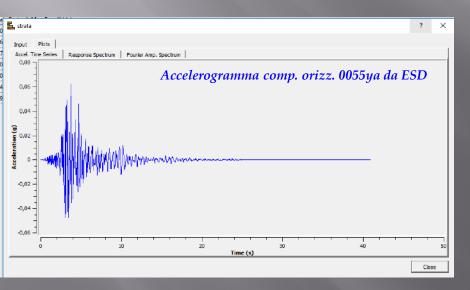
Accelerogramma comp. orizz. IT0014xa da ITACA

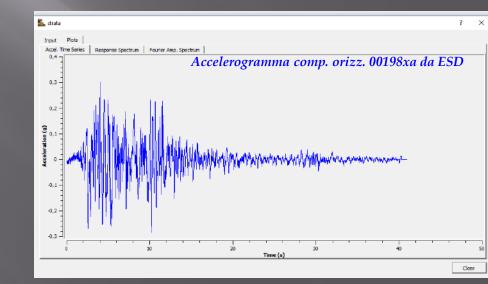






Importanza morfologia accelerogrammi





Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre alla simulazione, si devono determinare le <u>caratteristiche sismostratigrafiche</u> del volume di terreno indagato ed oggetto della possibile amplificazione.

Qualsiasi software di simulazione si scelga di utilizzare, sarà sempre necessario procedere all'inserimento (con modalità e formati differenti tra software e software) della colonna sismostratigrafica, ricostruita attraverso le campagne di indagini condotte come descritto in precedenza.

Va sempre verificata la condizione di stratificazione piano-parallela, almeno in un intorno significativo del sito di progetto, al fine di considerare applicabile una analisi monodimensionale.

Unità	Profondità	Descrizione	Peso di volume	Vs
Primo livello	0 ÷ 3 m dal p.c.	Depositi fluvio- lacustri	17 kN/m ³	303 m/s
Secondo livello	3 ÷ 10 m dal p.c.	Sabbie continentali molto addensate	21 kN/m³	694 m/s
Terzo livello	10 ÷ 16 m dal p.c.	Sabbie littorali in falda da poco a mediamente addensate	19 kN/m³	404 m/s
Quarto livello a)	16 ÷ 21 m dal p.c.	Depositi limoso- argillosi	19,5 kN/m ³	370 m/s
Quarto livello b)	21 ÷ 23 m dal p.c.	Depositi limoso- sabbiosi	18,5 kN/m ³	402 m/s
Quarto livello c)	23 ÷ 29 m dal p.c.	Depositi limoso- argillosi	19,5 kN/m ³	458 m/s
Quinto livello	29 ÷ 35 m dal p.c.	Sabbie marine	20 kN/m^3	400 m/s
Sesto livello	35 ÷ 45 m dal p.c.	Limi argillosi pleistocenici	21 kN/m ³	450 m/s
Settimo livello	45 ÷ 75 m dal p.c.	Argille grigie calabriane	21,5 kN/m³	500 m/s
BEDROCK SISMICO	> 75 metri dal p.c.	Argille grigio- azzurre mio- plioceniche	23 kN/m³	800 m/s

Tabella 5: sintesi della sismostratigrafia adottata.

Unità	Profondità	Descrizione	Peso di volume	Vs	
Primo livello	0 ÷ 3 m dal p.c.	Sabbia sciolta	16 kN/m ³	185 m/s	
		Sabbia			
Secondo livello	3 ÷ 8 m dal p.c.	mediamente	17,5 kN/m ³	378 m/s	
		addensata			
Terzo livello	8 ÷ 11 m dal p.c.	Piroclastite	18,5 kN/m ³	521 m/s	
Terzo livello	0 · 11 iii dai p.c.	addensata	10,5 KW/III	32111/3	
Quarto livello	11 ÷ 18 m dal	Piroclastite litoide	19,5 kN/m ³	898 m/s	
	p.c.	1 Hociastite iitolae	13,3 KW/III	030 111/3	
Quinto livello	18 ÷ 40 m dal	Piroclastite	18,5 kN/m ³	500 m/s	
Quinto il vello	p.c.	addensata	10,5 KW/III	300 111/3	
Sesto livello	40 ÷ 70 m dal	Argille	21 kN/m ³	650 m/s	
	p.c.	plioceniche	2 i KN/III	030 111/3	
BEDROCK	70 metri dal p. c.	Argille	21 kN/m ³	800 m/s	
SISMICO	70 mem dai p. c.	plioceniche	Z I KIN/III		

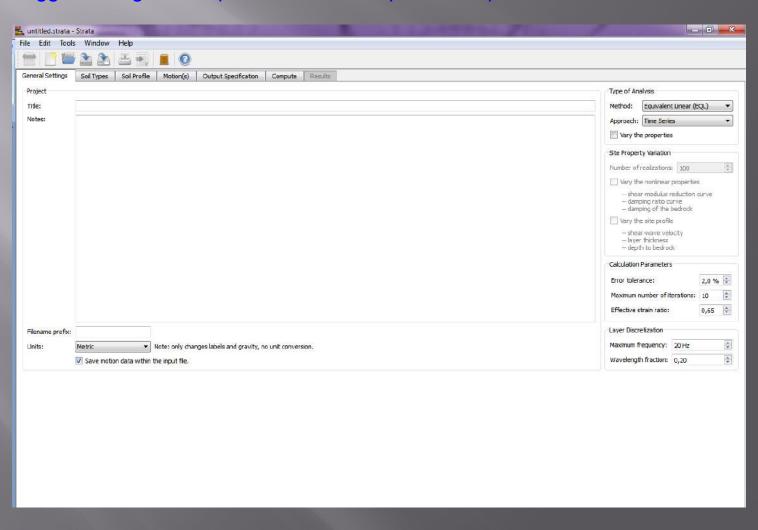
Tabella 5: sintesi della sismostratigrafia adottata.

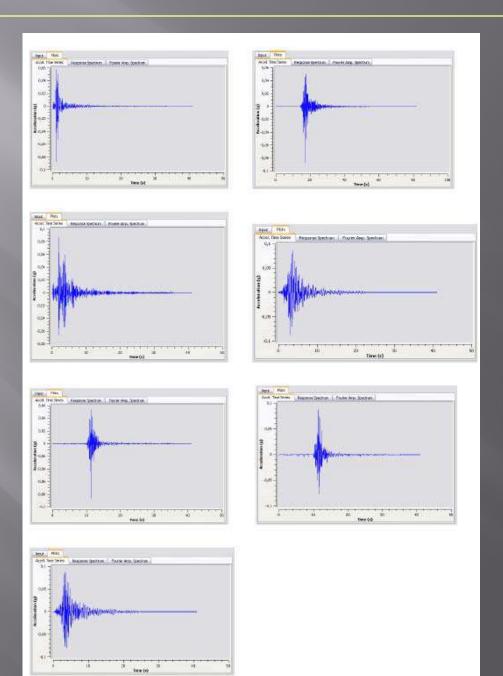
ESISTONO MOLTI SOFTWARE CHE SIMULANO LO SCUOTIMENTO SISMICO PER ANALISI MONODIMENSIONALI. LA MAGGIOR PARTE DI ESSI UTILIZZANO LO STESSO ALGORITMO DI BASE, DIFFERENDO SOLO PER L'INTERFACCIA GRAFICA, LA FACILITA' DI INPUT ED I PRODOTTI DI OUTPUT. L'ANTESIGNANO E' SHAKE, CHE RISOLVE LE EQUAZIONI DEL MOTO NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE E TIENE CONTO DEL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEL TERRENO REALE MEDIANTE UN PROCEDIMENTO LINEARE EQUIVALENTE.

	Geometria	Codice di calcolo (riferimento)	Tipo di	analisi	Ambiente operativo
		SHAKE (Schnabel et al., 1972) SHAKE91 (Idriss & Sun, 1992)* PROSHAKE (EduPro Civil System, 1999)		LE	DOS
2-D / 3-D	1-D	SHAKE2000 (www.shake2000.com) EERA (Bardet et al., 2000) NERA (Bardet & Tobita, 2001) DEEPSOIL (Hashash e Park, 2001)	TT		Windows
		DESRA_2 (Lee & Finn, 1978) DESRAMOD (Vucetic, 1986)	NL		DOS
		D-MOD_2 (Matasovic, 1995) SUMDES (Li et al., 1992) CYBERQUAKE (www.brgm.fr)	TE		Windows
	2-D / 3-D	QUAD4 (Idriss et al., 1973) QUAD4M (Hudson et al., 1994) FLUSH (Lysmer et al., 1975) BESOIL (Sanò, 1996)	TT LE		DOS
		QUAKE/W vers. 5.0 (GeoSlope, 2002)			Windows
		DYNAFLOW (Prevost, 2002) GEFDYN (Aubry e Modaressi, 1996) TARA-3 (Finn et al.,1986)	TE	NL	DOS
		FLAC vers. 6.0 (Itasca, 2008) PLAXIS vers. 8.0 (www.plaxis.nl)			Windows
	TT = Tensioni Totali; TE = Tensioni Efficaci; LE = Lineare Equivalente; NL = Non Lineare				

Tra i prodotti di più comune utilizzo (e gratuito) si segnala <u>STRATA</u> (*A.R. Kottke, E.M. Rathje, University of Texas, 2008*) non riportato nella tabella della precedente slide, che discende dal gruppo di programmi derivanti da SHAKE

Forse, ad oggi, è il miglior compromesso tra completezza - potenza di calcolo - facilità di utilizzo.





SPETTRO DI ACCELERAZIONE: DATO FINALE DI RSL

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO DELL'ACCELERAZIONE: VERIFICA DEL MODELLO ADOTTATO

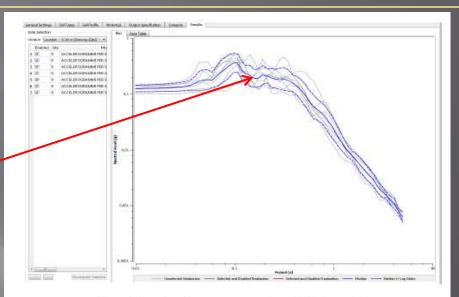


Figura 16: acceleration response spectrum da Strata per SLD

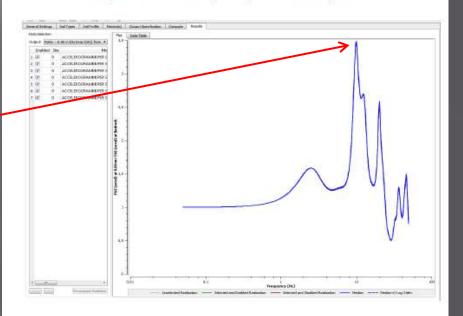


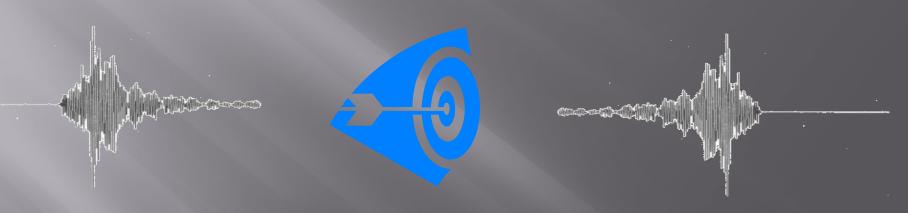
Figura 17: acceleration transfer function da Strata per SLD

CASI DI STUDIO: 3 ESEMPI DI R.S.L.

- Tutti e 3 gli interventi sono in Classe d'uso IV, poiché all'interno di siti industriali con attività di produzione di sostanze pericolose per l'ambiente (D.Lgs. 105/2015)
- Tutti e 3 i siti, nell'approccio progettuale semplificato, presenterebbero una Categoria di sottosuolo di Tipo C ai sensi delle NTC 2018

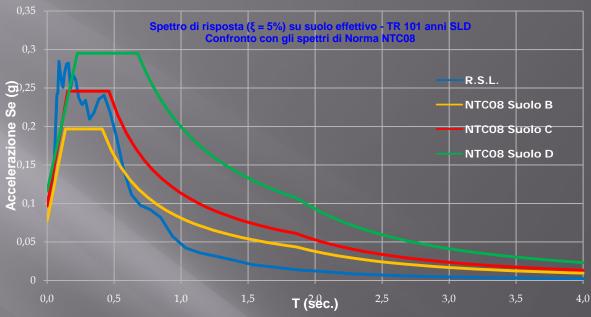


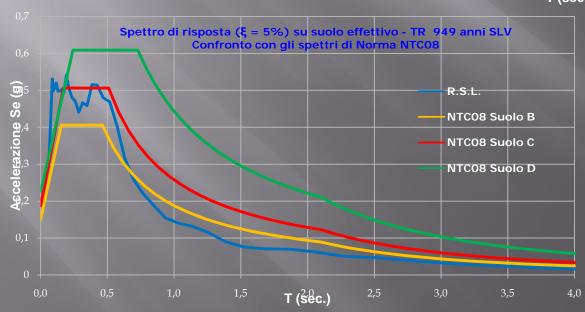
- → Siamo all'interno di una unica Unità geologico-geomorfologica
- → L'assetto geologico-stratigrafico regionale dell'Unità è noto
- → I possibili fattori di amplificazione sismica sono unicamente stratigrafici poiché siamo in pianura
- → E' applicabile un approccio 1D
- → Si applica la D.G.R. 493/2019 (definizione delle strutture strategiche e rilevanti)



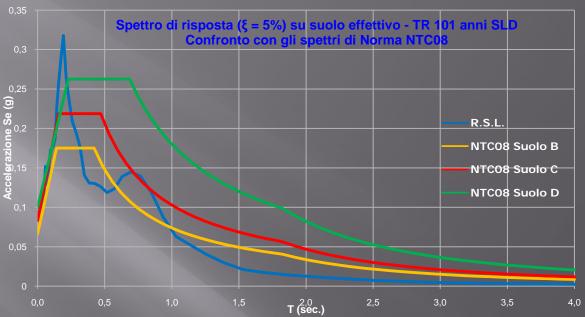
- > PUNTUALE APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE
- > CORRETTA E ACCURATA ESECUZIONE DELLE INDAGINI E DEGLI STUDI DI RSL
- > CONSEGUENTE ED ADEGUATA PROGETTAZIONE

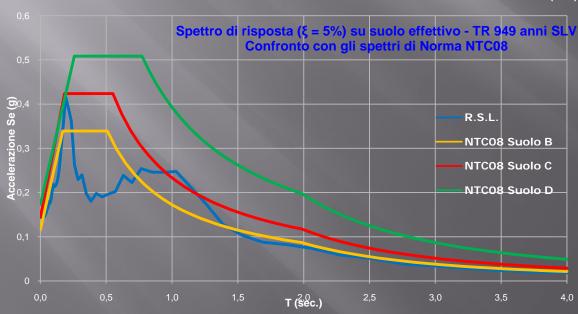
CASO 1: gli spettri di Norma rappresentano abbastanza bene gli spettri di R.S.L.



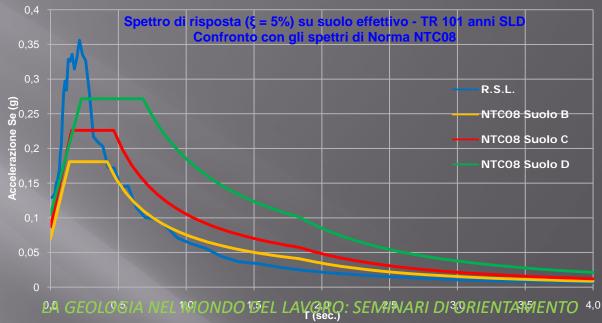


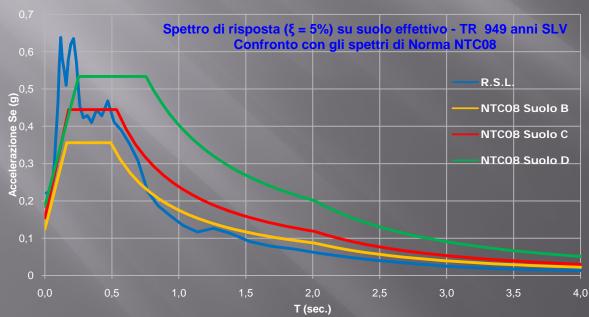
CASO 2: gli spettri di Norma rappresentano abbastanza bene lo spettro di R.S.L. per uno solo degli stati limite analizzati





CASO 3: gli spettri di Norma sono molto distanti dagli spettri di R.S.L.





Spettro normalizzato (parametri dipendenti ed indipendenti)

Può essere necessario per lo strutturista avere il dato di output dello spettro elastico normalizzato (caratterizzato da una forma similare a quella dell'approccio semplificato di normativa).

Questi spettri si ricavano riportando i parametri indipendenti (relativi alla localizzazione geografica del sito ed alle scelte progettuali) e calcolando i parametri dipendenti (derivanti dall'amplificazione propria del sito).

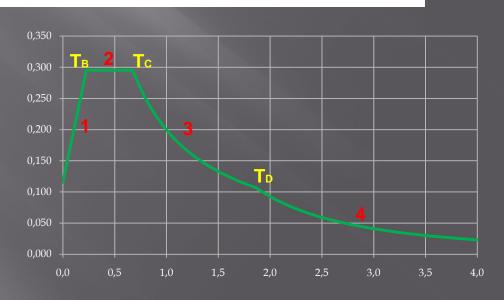
ESISTONO TRE DIFFERENTI MODALITA' DI NORMALIZZAZIONE:

- 1) Normalizzazione su spettri "lisciati";
- Normalizzazione "totale";
- 3) Normalizzazione secondo ICMS.

$$\mathbf{1} \quad 0 \le T < T_B \qquad \qquad S_e (T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

2
$$T_B \le T < T_C$$
 $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$
3 $T_C \le T < T_D$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

4
$$T_D \le T$$
 $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$



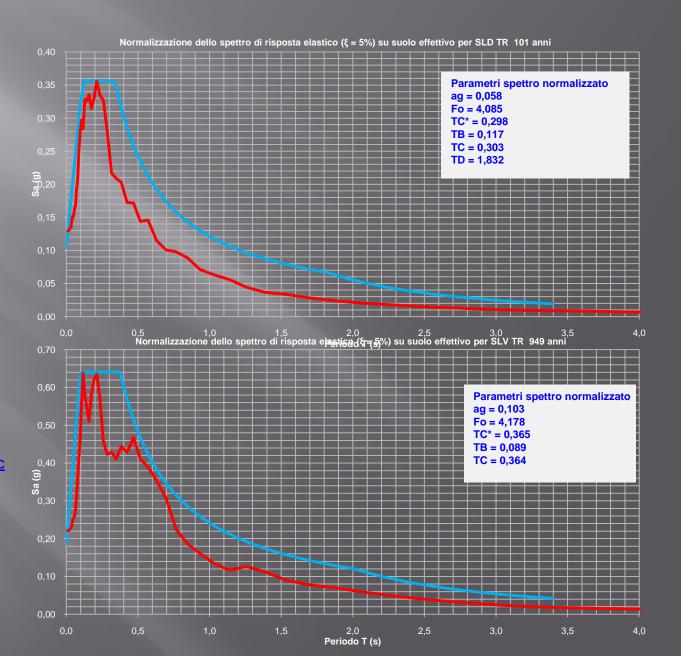
NORMALIZZAZIONE TOTALE DEGLI SPETTRI – INPUT PROGETTUALE

Parametri spettro NTC2018 Suolo C

Fo = 2,602 TB = 0,155 TC = 0,466

Parametri spettro NTC2018 Suolo C

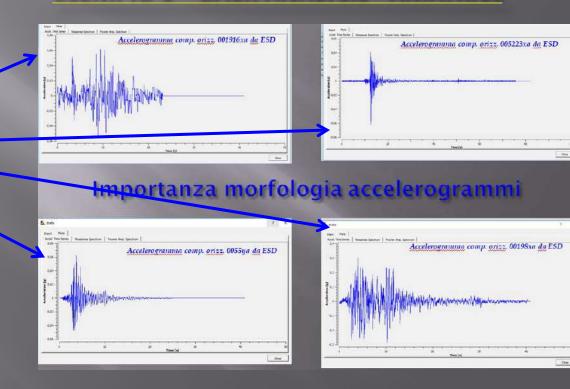
Fo = 2,881 TB = 0,178 TC = 0,535





STIMA DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DEGLI EDIFICI CON FORMULE EMPIRICHE E CONFRONTO CON LO SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE

ESEMPIO 1 – BACK ANALYSIS - AMATRICE

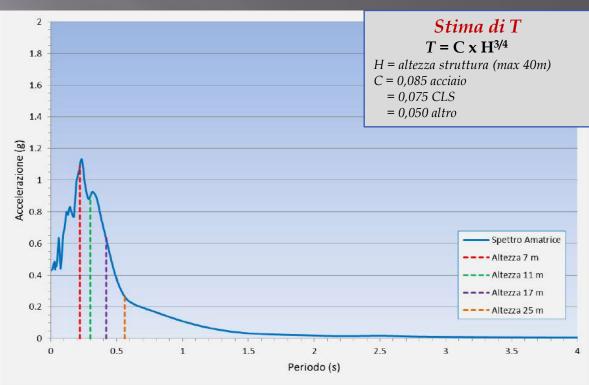


Il terremoto è selettivo, a seconda del suo contenuto spettrale colpisce di più certe strutture che altre. Ogni terremoto è diverso dagli altri



STIMA DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DEGLI EDIFICI CON FORMULE EMPIRICHE E CONFRONTO CON LO SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE

ESEMPIO 1 – BACK ANALYSIS - AMATRICE



Il terremoto è selettivo, a seconda del suo contenuto spettrale colpisce di più certe strutture che altre. Ogni terremoto è diverso dagli altri

SINTESI ASSOLUTA – STATO DELL'ARTE

R.S.L. + ANALISI DINAMICA STRUTTURA

LA TORRE DI NINFA



STUDIO DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA TORRE DI NINFA (P. Friello – F. Aucone)



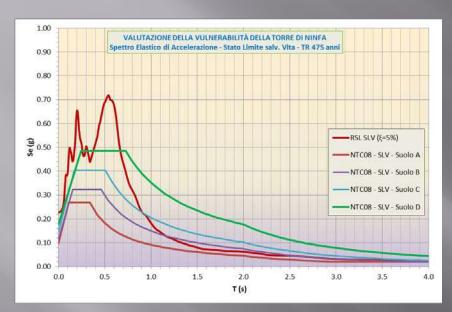


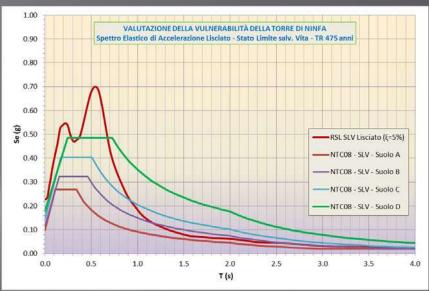






STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE Stadio Limite di salvaguardia Vita (SLV) – TR 475 anni

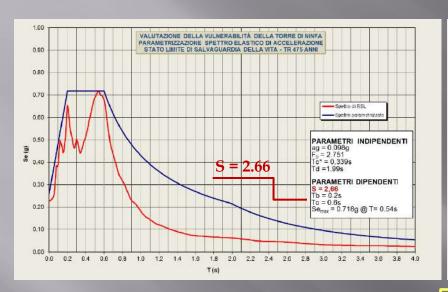


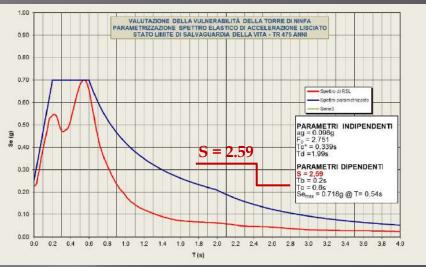


Amax =	0.654	g
PERIODO=	0.200	S
Freq=	5.000	Hz
Amax =	0.718	g
Amax = PERIODO=	0.718 0.540	g s

Amax =	0.547	g
PERIODO=	0.220	S
Freq=	4.545	Hz
Amax =	0.699	g
Amax = PERIODO=	0.699 0.540	g s

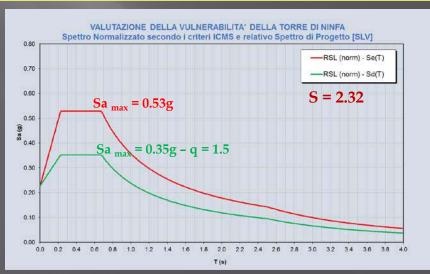
PARAMETRIZZAZIONE SPETTRI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (SLV)





INVILUPPO TOTALE DEGLI SPETTRI

PARAMETRIZZAZIONE SECONDO I CRITERI ICMS



CONCLUSIONI

<u>Nelle zone a bassa sismicità</u>, ma con particolari assetti geologici, l'approccio semplificato può non essere sufficiente per la valutazione delle sollecitazioni sismiche.

Lo studio di RSL eseguito per la Torre di Ninfa, ha infatti mostrato <u>accelerazioni spettrali sensibilmente superiori</u> a quelle di riferimento per la categoria di suolo del sito (C).

Utilizzando un approccio geofisico di tipo *olistico*, con metodi flessibili, non invasivi e di moderato impegno economico, è possibile ottenere un quadro sismostratigrafico di riferimento sufficientemente solido per la successiva procedura di RSL

I risultati ottenuti, integrati con la caratterizzazione dinamica sperimentale della struttura in studio, può fornire al progettista un quadro esaustivo per la valutazione della sua vulnerabilità sismica e per la progettazione degli interventi propedeutici alla sua tutela e conservazione

Analisi dinamica: parametri del moto

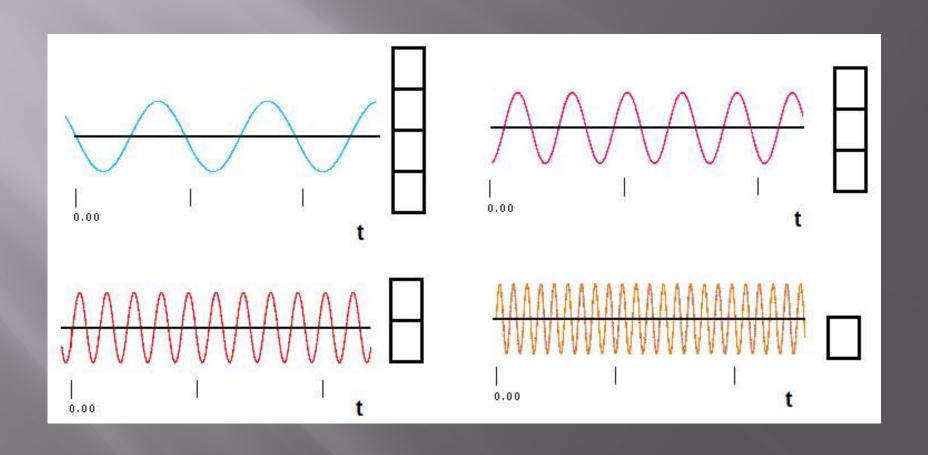
Cosa significa effettuare l'analisi dinamica di una struttura?

Significa definire come questa risponde naturalmente alle sollecitazioni dinamiche
Ossia significa definirne i Modi naturali di vibrazione

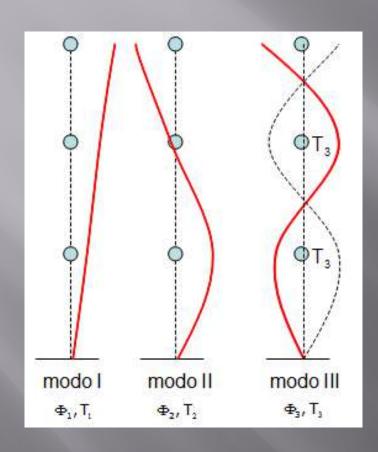
Un modo di vibrare è caratterizzato dai seguenti parametri

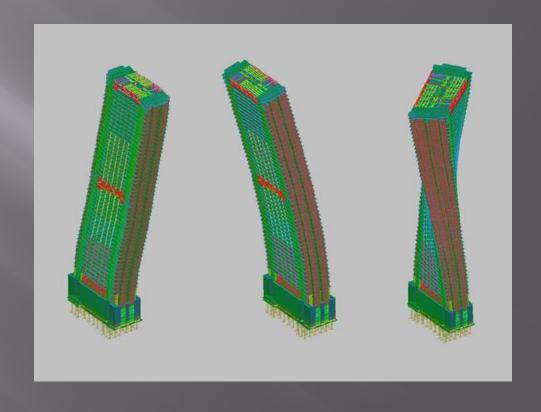
- → Frequenza caratteristica
- > Forma modale (o anche deformata)
- **→** Smorzamento

Frequenza caratteristica

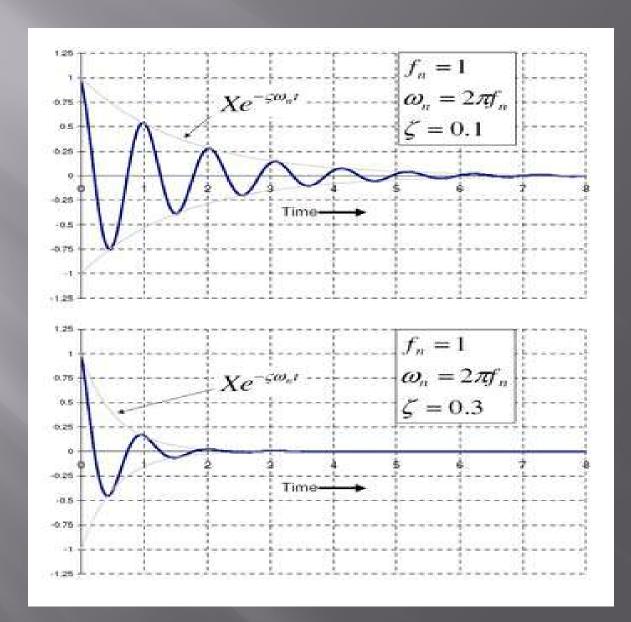


Forma modale





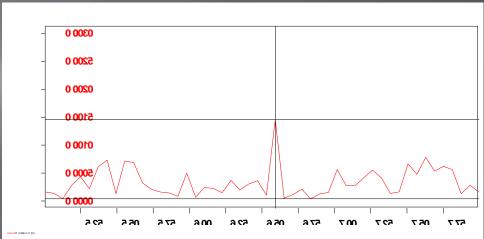
Smorzamento

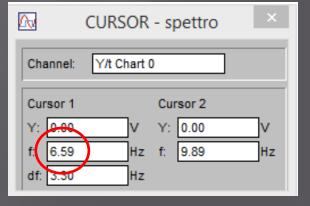


Turbina della centrale idroelettrica all'interno del Giardino: la macchina è della seconda metà dell'800, acquistata dalla Famiglia Caetani ai primi del '900, installata ed in funzione dal 1908, tuttora in funzione.

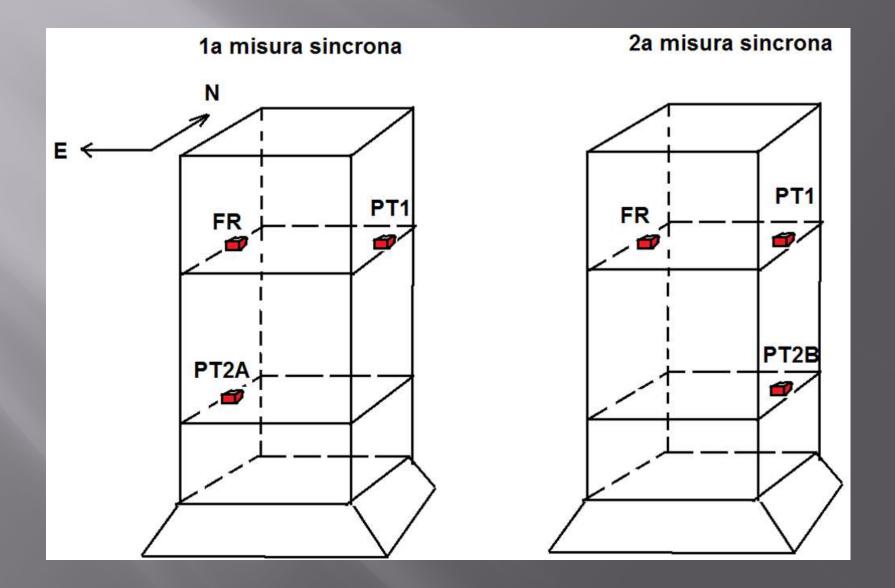
Compie circa 400 giri/min, corrispondenti a circa 6,6 Hz
Riscontrati sulla Torre, sulle misure di sismica passiva nei dintorni della torre e direttamente
con un accelerometro sulla turbina stessa



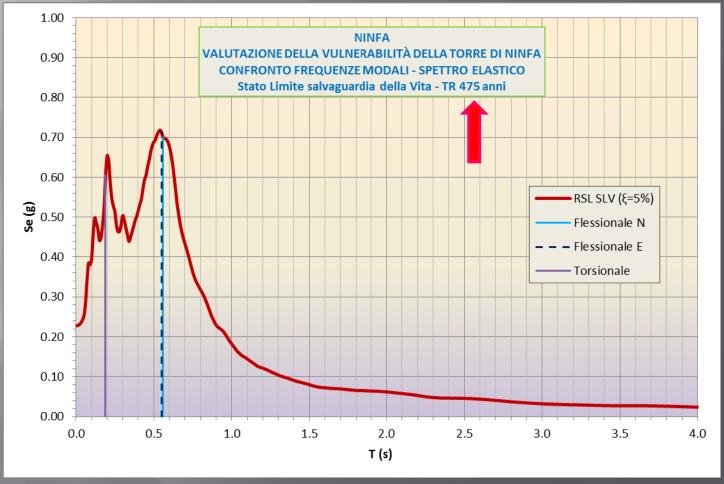




MISURE E DISPOSIZIONE DEI SENSORI GEOFONICI TRIASSIALI

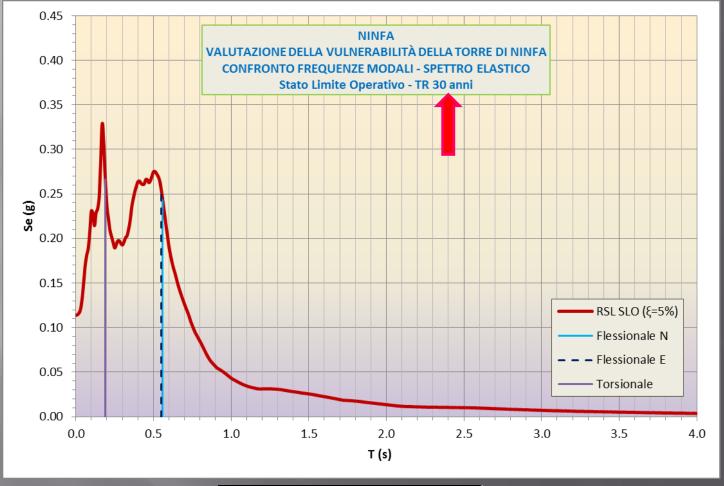


CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLV)



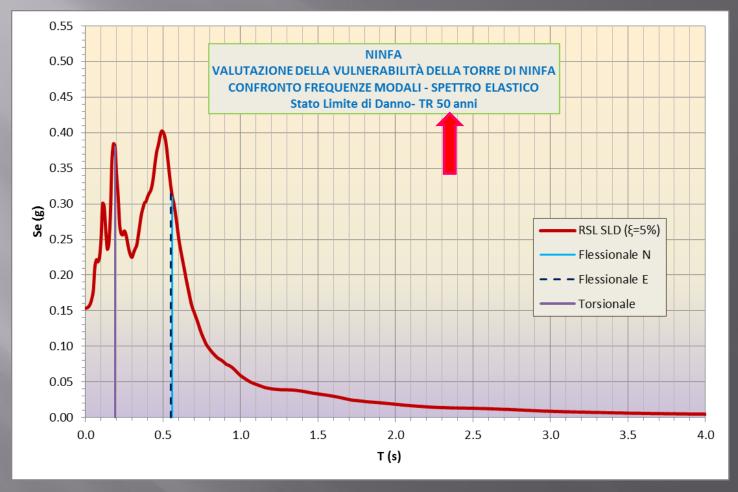
LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.699
Flessionale E	1.82	0.55	0.712
Torsionale	5.26	0.19	0.605

CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLO)



LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.243
Flessionale E	1.82	0.55	0.255
Torsionale	5.26	0.19	0.266

CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLD)



LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.310
Flessionale E	1.82	0.55	0.325
Torsionale	5.26	0.19	0.381

GRAZIEPER L'ATTENZIONE!!



E





