

Parte Terza

Effetti di sito e Progettazione:

la Risposta Sismica Locale

DAL MONDO DELLA

PIANIFICAZIONE

ENTRIAMO NEL MONDO DELLA

PROGETTAZIONE

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:

$$A_{max} = S_s * S_t * a_g$$

Accelerazione orizzontale max in 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 ?

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 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 DM 5/11/2001, 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.

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

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

Tab. 3.2.I – *Probabilità di superamento P_{V_R} in funzione dello stato limite considerato*

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

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** 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 § 6.2.2.

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

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>

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 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 § 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, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

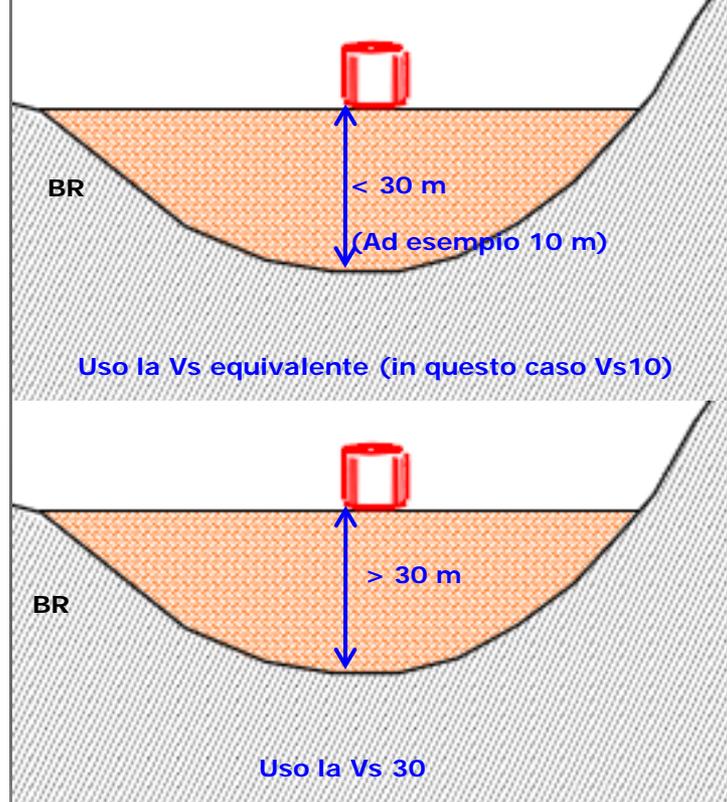
N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s 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 $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, 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.



L'INTRODUZIONE DELLA V_s 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 sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III - Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{v,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo 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	Annassi 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.
B	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.
C	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.
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 categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

RIASSUMENDO:

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

→ TOPOGRAFIA

→ STRATIGRAFIA (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).

Suolo rigido: è il cosiddetto **BEDROCK SISMICO**, per la nostra normativa è tutto ciò che possiede $V_s > 800$ 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:

Rischio sismico di base



MS Livello 1 MOPS Instabili*

MS Livello 2 non conclusa

MS Livello 2 con $F_h > S_s + 0,1$

Tipologia della struttura



Classe d'Uso IV (tutte)

Classe d'Uso III (solo edifici scolastici)

*: 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.

DELIBERA

1. 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 della presente deliberazione;
2. 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) **CLASSE D'USO III:** 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;
 - c) 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;
 - c) 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.

A) **CLASSE D'USO IV:** 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.

2) TABELLA RISCHIO SISMICO

LIVELLO DI RISCHIO SISMICO

L'obiettivo è raggiungere la definizione del modello geofisico del sottosuolo per la determinazione della 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 significativo. Le determinazioni 3 Livelli di Vulnerabilità dell'Opera (Basso, Medio, Alto), in funzione della zona sismica e della classificazione del progetto, secondo lo schema di seguito riportato.

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	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



ALLEGATO C Indagini minime



Dalla DGR 375/2016

Livello di Rischio Sismico
ALTO

TERRENI

- Almeno **2 Sondaggi Geognostici**, con **Prove SPT** in foro eseguite negli strati coesivi e granulari dei terreni costituenti il volume significativo fondazionale.
- Almeno **2 Prove Penetrometriche statiche** (CPT, CPTE, CPTU), **dinamiche** (DPSH), o **dilatometriche DMT** che consentano di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari costituenti il volume significativo fondazionale.
- 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.).
- 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.
- Almeno **2 Acquisizioni di Microtremore Sismico** a stazione singola (HVSr), per la definizione della **frequenza di risonanza del terreno**;
- 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).
- 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 rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.II 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)

- 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.
- Caratterizzazione Geomeccanica** degli ammassi rocciosi affioranti, eseguita tramite esecuzione di rilevamento geostrutturale, laddove possibile.
- 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.
- Almeno **2 Acquisizioni di Microtremore Sismico** a stazione singola (HVSr), per la definizione della **frequenza di risonanza del terreno**;
- 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 rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui

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 V_{30} ;
- Almeno **1 misura di rumore** (tipo RE.MI, HVSr, ecc.);
- 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.**

Livello di Vulnerabilità dell'Opera

Alto

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 V_{30} ;
- 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.

27/10/2020 - BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE LAZIO - N. 129

TERRENI

- 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.**
- c) **Nel caso di esecuzione del Sondaggio Geognostico: prelievo di campioni quando 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-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 1 **Acquisizione 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 i, in tutti i casi in cui dovrà essere eseguito uno studio di Risposta Sismica 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 dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. inversioni di velocità, bruschi passaggi di rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.II 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.

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

Livello di Rischio Sismico
MEDIO



Livello di vulnerabilità dell'Opera

Basso

- Almeno 1 **prova geofisica indiretta** (tipo MASW, SASW, ecc.) per il calcolo delle V_{s30} .

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 V_{s30} .

Livello di Vulnerabilità dell'Opera

Medio

SU TERRENI:

Dovranno eseguirsi:

- Almeno 1 **sondaggio geognostico** con prove SPT in 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 caratteristiche fisiche e meccaniche;
- Almeno 2 **prove geofisiche indirette** (tipo MASW, SASW, ecc.) per il calcolo delle V_{s30} ;
- **Verifiche di stabilità** ante e post operam dei versanti, laddove necessario.

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 V_{s30} ;
- **Verifiche di stabilità** ante e post operam dei versanti, laddove necessario.



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?*

ORA:

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

MOTIVO	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 ==> $F_h > S_s + 0,1$	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 geologiche e geognostiche*)

B - Implementazione del modello geofisico
(*indagini geofisiche*)

C - Ricerca ed estrazione accelerogrammi

D - Simulazione numerica con software specialistico

E - Confronto degli spettri di RSL con gli spettri di norma da NTC'08 ed indicazioni per lo strutturista

Ricostruzione sismostratigrafia

```
graph TD; A["A - Implementazione del modello geologico (indagini geologiche e geognostiche)"] --> RS["Ricostruzione sismostratigrafia"]; B["B - Implementazione del modello geofisico (indagini geofisiche)"] --> RS; RS --> D["D - Simulazione numerica con software specialistico"]; style A fill:#fff,stroke:#fff; style B fill:#fff,stroke:#fff; style RS fill:#fff,stroke:#fff; style D fill:#fff,stroke:#fff;
```

Definizione dell'input sismico: ricerca ed estrazione degli accelerogrammi

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_g . 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 $0,15s \div 2,0s$ e $0,15s \div 2T$, in cui T è il periodo proprio di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0,15s \div 1,5T$, 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.

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 $V_R = V_N * C_u$ (come da NTC2018)
- 3) 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 $P_{VR} = 81\%$, per lo SLD $P_{VR}=63\%$, per lo SLV $P_{VR}=10\%$ e per lo SLC $P_{VR}=5\%$.

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 PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

12,45690

LATITUDINE

41,90210

Ricerca per comune

REGIONE

Lazio

PROVINCIA

Roma

COMUNE

Roma

Elaborazioni grafiche

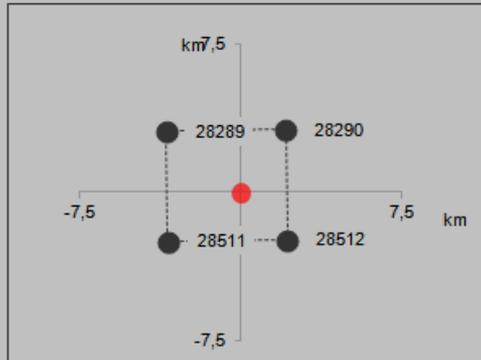
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info ←

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info ←

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="60"/>
		SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>
		SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione II
- Grafici spettri di risposta II
- Tabella parametri azione II

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

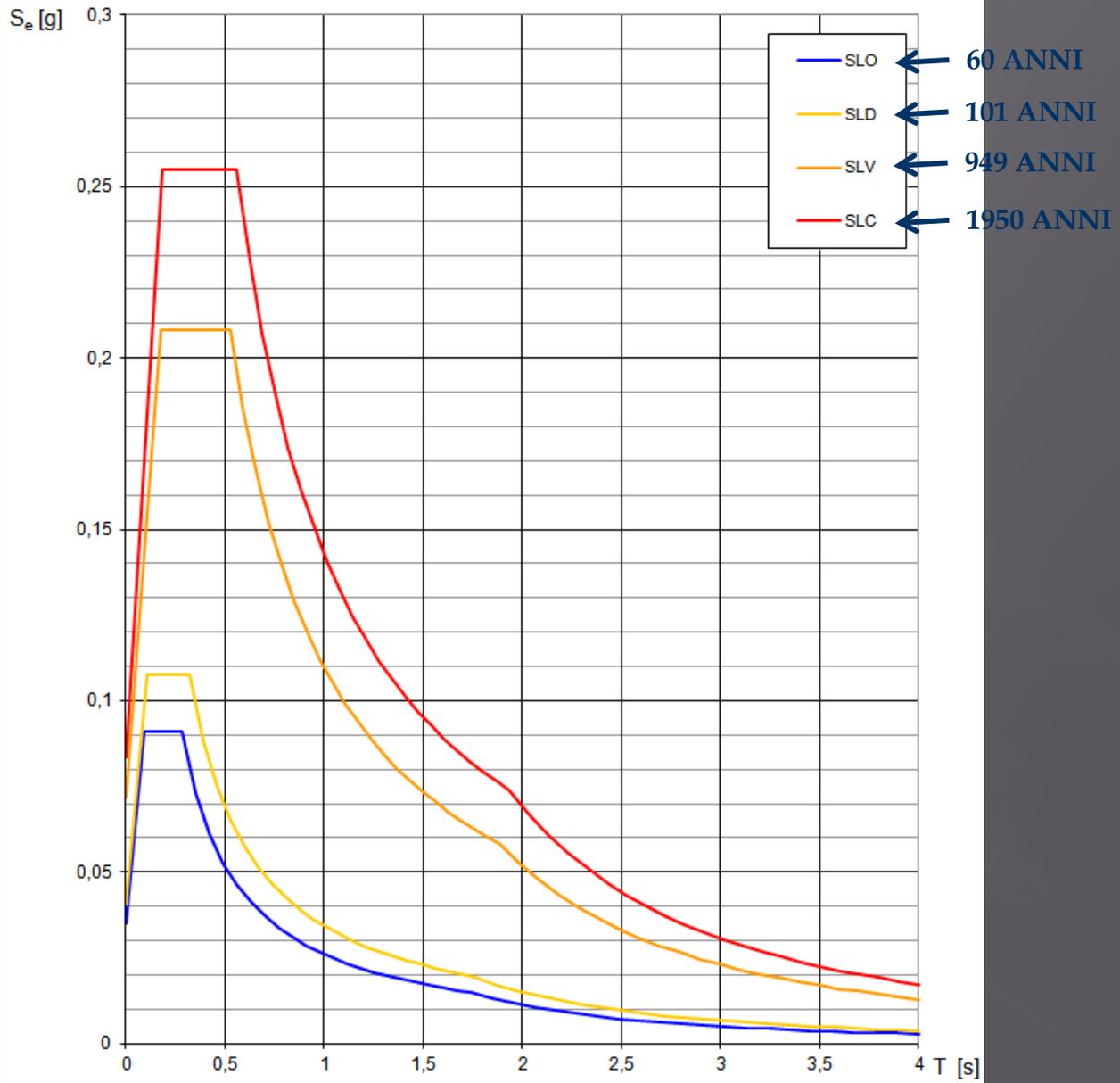
INTRO

FASE 1

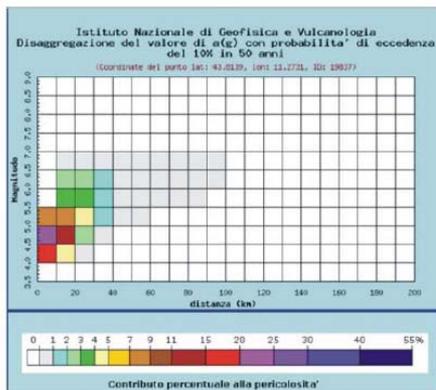
FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

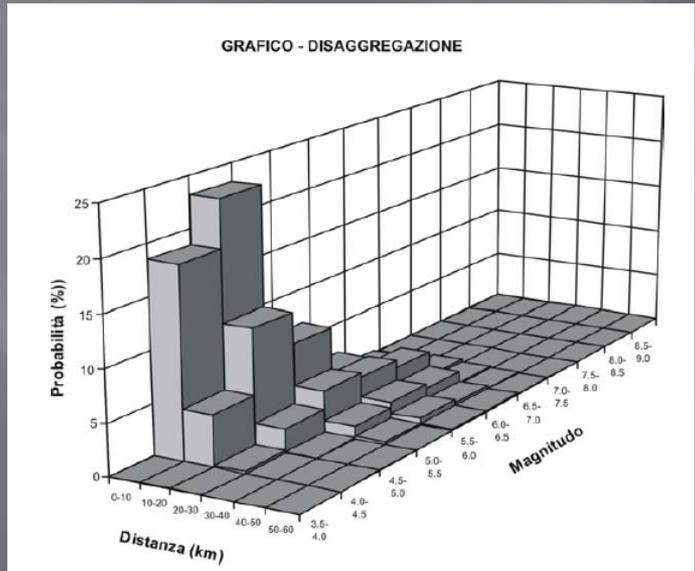


L'estrazione degli accelerogrammi di input prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre il valore di a_g . In particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di **disaggregazione** (variabilità in termini di magnitudo e distanza), desumibili ad esempio dalla pagina del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



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a_g (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) (Coordinate del punto lat.: 43.0219, lon.: 11.2721, Id: 19527)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	18.500	23.200	7.190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	4.790	11.400	8.280	3.640	2.190	0.288	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.191	2.230	4.170	3.760	2.970	0.459	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.054	1.170	1.790	1.400	0.251	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.188	0.671	0.394	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.005	0.169	0.147	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.061	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi
Magnitudo Distanza Epiluo
4.990 12.900 1.100



Strumenti
Ritorna alla mappa iniziale
Ridisegna mappa
Zoom In
Zoom Out
Ricentra sul punto
Grafico sul punto griglia
Grafico di disaggregazione **step3**

Scala:
(Valori consentiti 50.000 - 7.909.000)
Scala: 195000
Coordinate del centro della mappa
Latitudine: 43.765
Longitudine: 11.245
Cambia scalacentro

Ricerca Comune
Il nome contiene: Firenze **step1**

Seleziona mappa **step2**
Visualizza punti della griglia
Parametro dello scuotimento: a_g
Probabilità in 50 anni: 10%
Percentile: 50
Periodo spettrale (sec): 3.50

Comune evidenziato: Firenze

REXEL (ReLUIS di Napoli)

Banche dati: ITACA e ESD

REXEL v 3.2 (beta)

File Database Output About References

REXEL v 3.2 (beta)

Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures
 (c) Iunio Iervolino, Carmine Galasso and Eugenio Chioccarelli, 2008-2011
 Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Naples, Italy.

1. Target Spectrum

Italian Building Code 2008

Longitude [°] 14.191

Latitude [°] 40.829

Map

Site class A

Topographic category T1

Nominal life 50 yea...

Functional type II

Limit state SLV (...)

horizontal vertical

Disaggregation for (Italian sites only) Sa(T = ...)

2. Preliminary database search

Based on M and R

M minimum 4 M maximum 7 records: 2x 207

R minimum [km] 0 R maximum [km] 30 events: 115

Database European Strong-motion Data...

Site class Same as target spectrum

Build code spectrum User-defined spectrum

Look at disaggregation ID conditional hazard

Check database Preliminary plot

3. Spectrum matching

Acceleration elastic response spectrum

Target Spectrum

Lower Tolerance

Upper Tolerance

Range of periods

Lower tolerance [%] 10

Upper tolerance [%] 10

T1 [s] 0.10

T2 [s] 2

Plot spectral bounds

4. Analysis options

Scaled records (FOA-normalized records' search)

I'm feeling lucky (Returns only the first combination found)

Set size

Individual record

7 records

30 records

1 component

2 components

3 components

NEW SEARCH EXIT

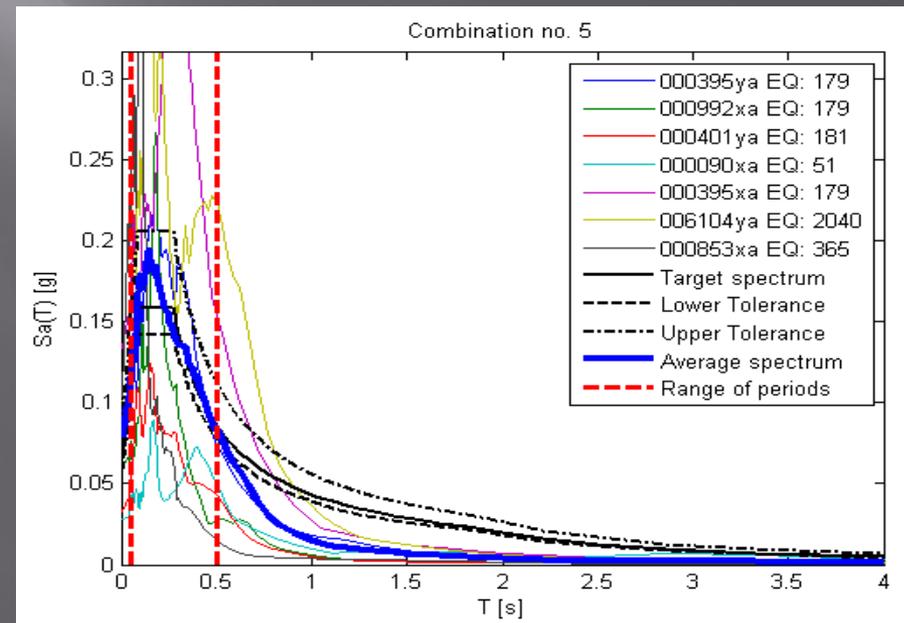
SE SIETE FORTUNATI

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.

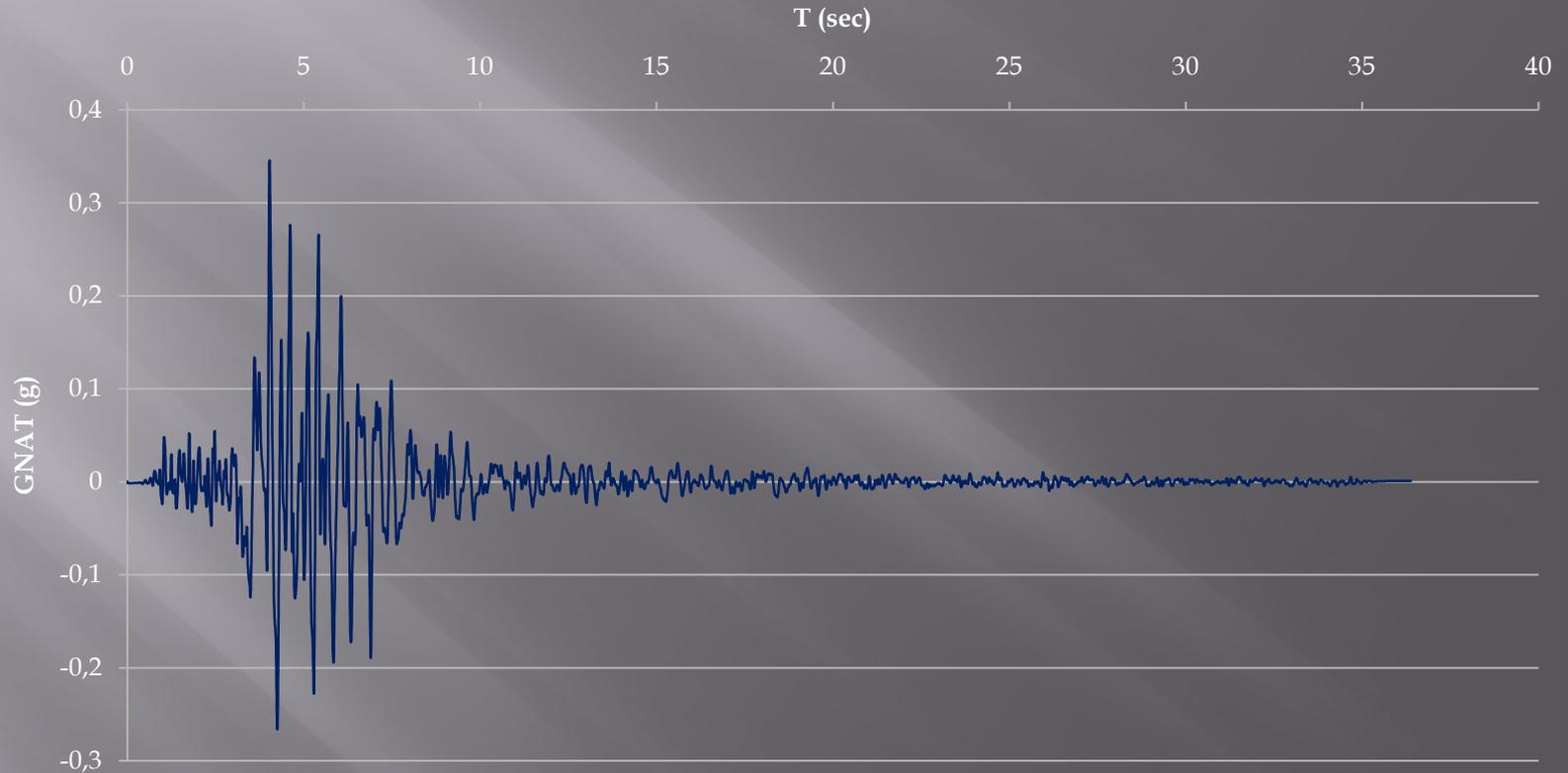
PGA - Input [m
Lower limit [%]: 10
Upper limit [%]: 30
Tolerance [%]: 0
Non-dimensional :

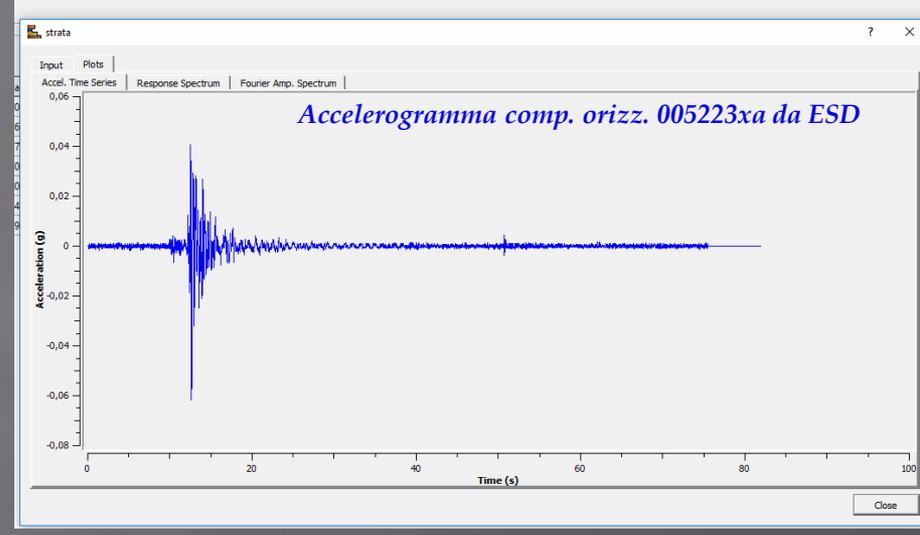
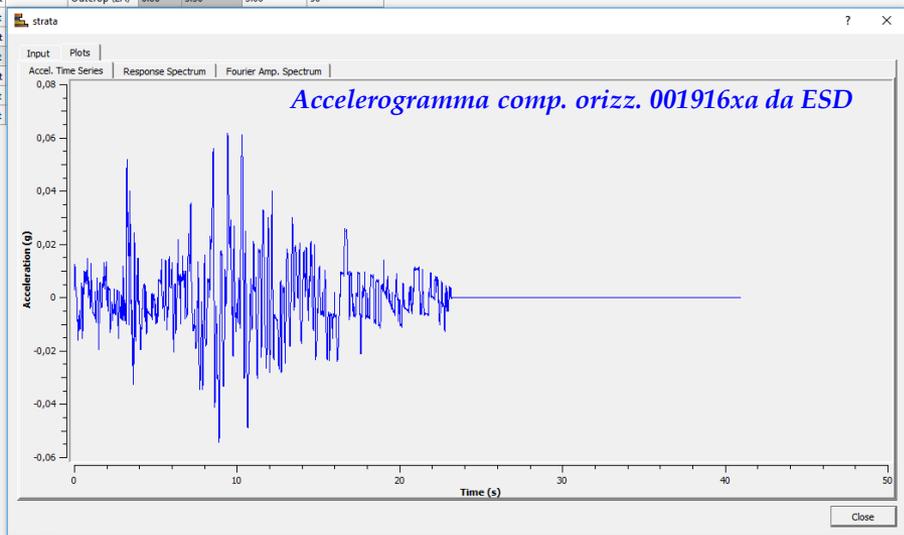
ncomb	Recdev_med	Recdev_1	Recdev_2	Recdev_3	Recdev_4	Recdev_5	Recdev_6	Recdev_7
1	0.136	0.217	0.392	0.400	0.439	0.819	0.842	0.877
2	0.136	0.217	0.392	0.418	0.439	0.819	0.842	0.877
3	0.111	0.217	0.392	0.439	0.557	0.819	0.842	0.877
4	0.101	0.217	0.392	0.439	0.568	0.819	0.842	0.877
5	0.094	0.217	0.392	0.439	0.653	0.819	0.842	0.877
-1	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/s^2 in g_{nat} , abbiamo a disposizione il materiale da dare in pasto al software di simulazione dello scuotimento.

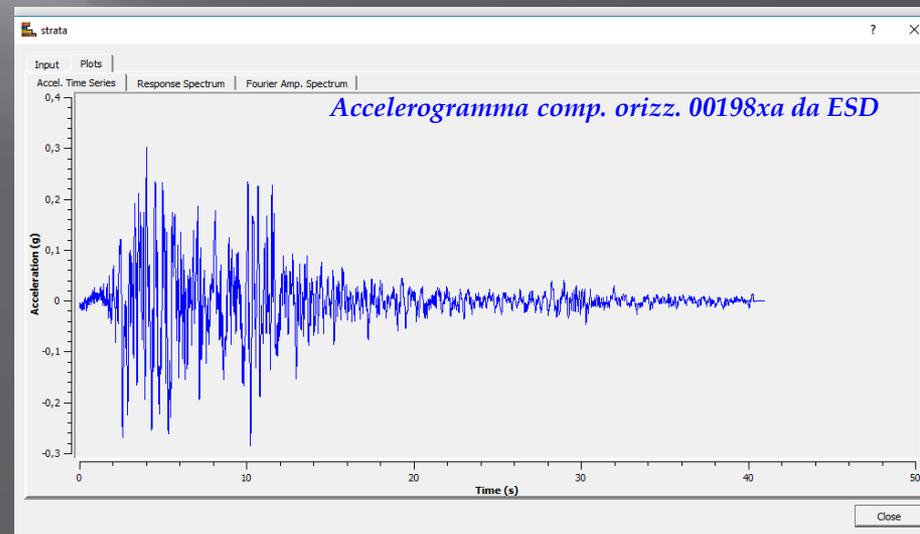
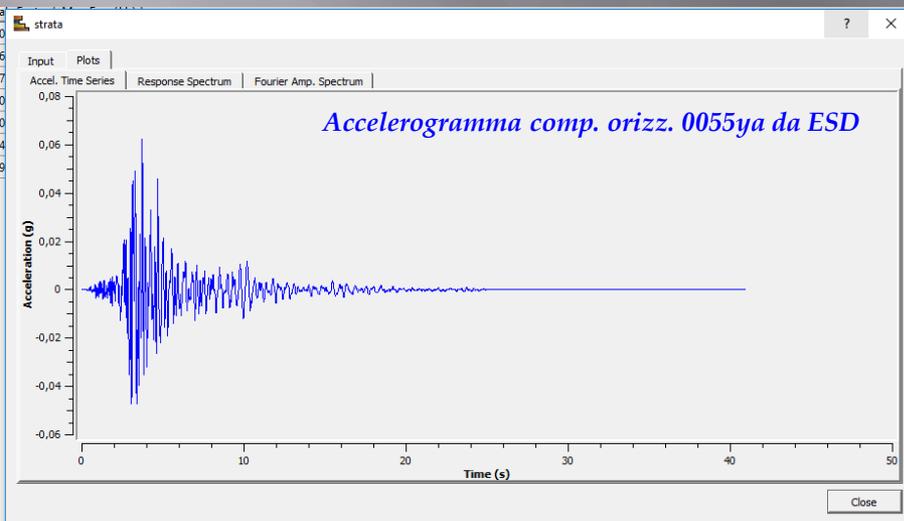


Accelerogramma comp. orizz. IT0014xa da ITACA





Importanza morfologia accelerogrammi



SIMULAZIONE NUMERICA

Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre alla simulazione, si devono determinare le caratteristiche sismostratigrafiche 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.

<i>Unità</i>	<i>Profondità</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Peso di volume</i>	<i>V_s</i>
<i>Primo livello</i>	0 ÷ 3 m dal p.c.	Depositi fluvio-lacustri	17 kN/m ³	303 m/s
<i>Secondo livello</i>	3 ÷ 10 m dal p.c.	Sabbie continentali molto addensate	21 kN/m ³	694 m/s
<i>Terzo livello</i>	10 ÷ 16 m dal p.c.	Sabbie litorali in falda da poco a mediamente addensate	19 kN/m ³	404 m/s
<i>Quarto livello a)</i>	16 ÷ 21 m dal p.c.	Depositi limoso-argillosi	19,5 kN/m ³	370 m/s
<i>Quarto livello b)</i>	21 ÷ 23 m dal p.c.	Depositi limoso-sabbiosi	18,5 kN/m ³	402 m/s
<i>Quarto livello c)</i>	23 ÷ 29 m dal p.c.	Depositi limoso-argillosi	19,5 kN/m ³	458 m/s
<i>Quinto livello</i>	29 ÷ 35 m dal p.c.	Sabbie marine	20 kN/m ³	400 m/s
<i>Sesto livello</i>	35 ÷ 45 m dal p.c.	Limi argillosi pleistocenici	21 kN/m ³	450 m/s
<i>Settimo livello</i>	45 ÷ 75 m dal p.c.	Argille grigie calabriane	21,5 kN/m ³	500 m/s
<i>BEDROCK SISMICO</i>	> 75 metri dal p.c.	Argille grigio-azzurre mioplioceniche	23 kN/m ³	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
Secondo livello	3 ÷ 8 m dal p.c.	Sabbia mediamente addensata	17,5 kN/m ³	378 m/s
Terzo livello	8 ÷ 11 m dal p.c.	Piroclastite addensata	18,5 kN/m ³	521 m/s
Quarto livello	11 ÷ 18 m dal p.c.	Piroclastite litoide	19,5 kN/m ³	898 m/s
Quinto livello	18 ÷ 40 m dal p.c.	Piroclastite addensata	18,5 kN/m ³	500 m/s
Sesto livello	40 ÷ 70 m dal p.c.	Argille plioceniche	21 kN/m ³	650 m/s
BEDROCK SISMICO	70 metri dal p. c.	Argille plioceniche	21 kN/m ³	800 m/s

Tabella 5: sintesi della sismostratigrafia adottata.

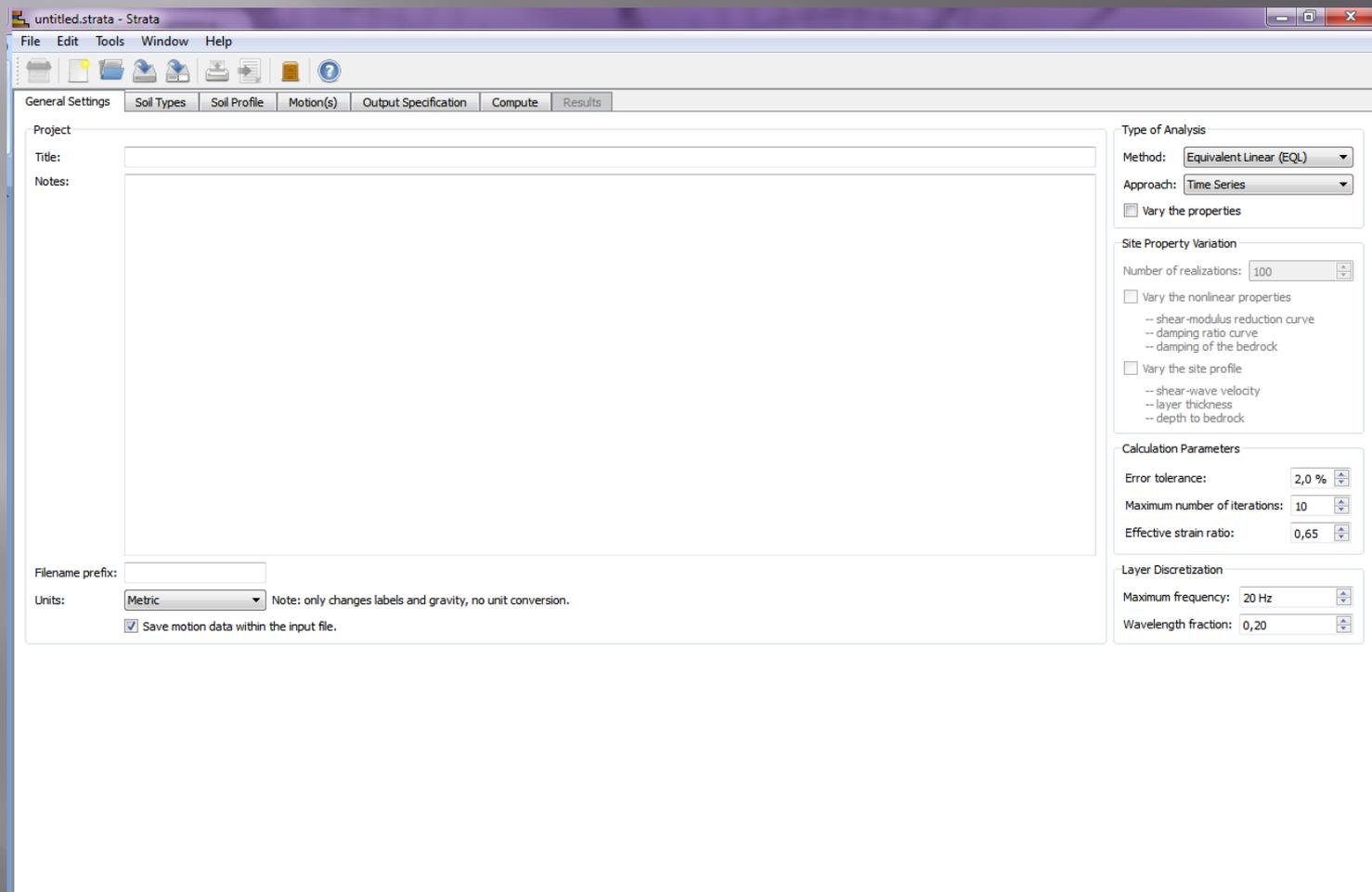
ESISTONO MOLTI SOFTWARE CHE SIMULANO LO SCUOTIMENTO SISMICO PER ANALISI MONODIMENSIONALI. LA MAGGIOR PARTE DI ESSI UTILIZZANO LO STESSO ALGORITMO DI BASE, DIFFERENDO SOLO PER L'INTERFACCIA GRAFICA, LA FACILITA' DI INPUT ED I PRODOTTI DI OUTPUT. L'ANTESIGNANO E' **SHAKE, CHE RISOLVE LE EQUAZIONI DEL MOTO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

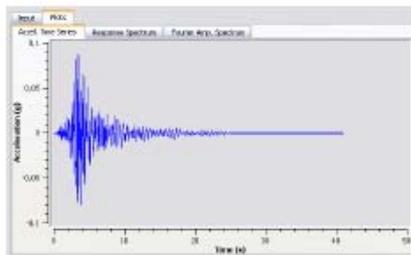
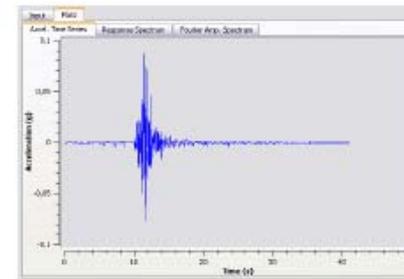
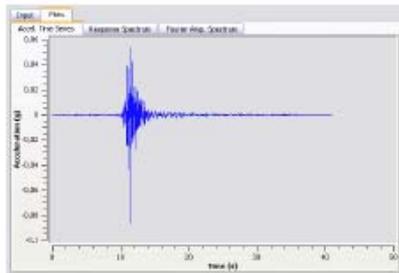
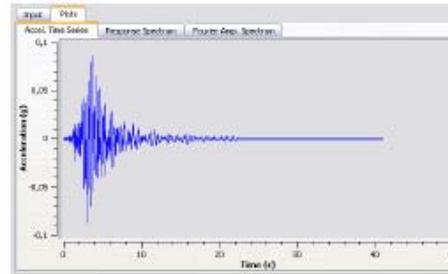
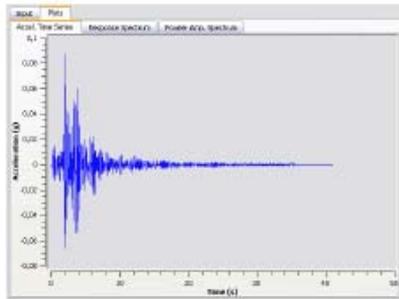
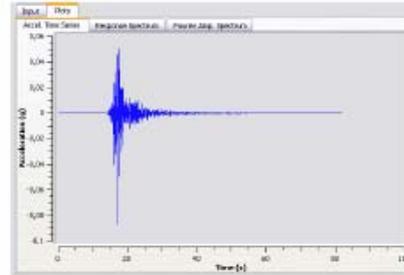
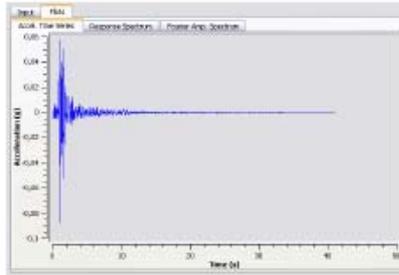
Geometria	Codice di calcolo (riferimento)	Tipo di analisi		Ambiente operativo
1-D	→ SHAKE (Schnabel et al., 1972) SHAKE91 (Idriss & Sun, 1992)* PROSHAKE (EduPro Civil System, 1999) SHAKE2000 (www.shake2000.com) EERA (Bardet et al., 2000) NERA (Bardet & Tobita, 2001) DEEPSOIL (Hashash e Park, 2001)	TT	LE	DOS
	DESRA_2 (Lee & Finn, 1978) DESRAMOD (Vucetic, 1986) D-MOD_2 (Matasovic, 1995) SUMDES (Li et al., 1992) CYBERQUAKE (www.brgm.fr)		TE	NL
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 Modaresi, 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 più recenti si segnala **STRATA** (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**

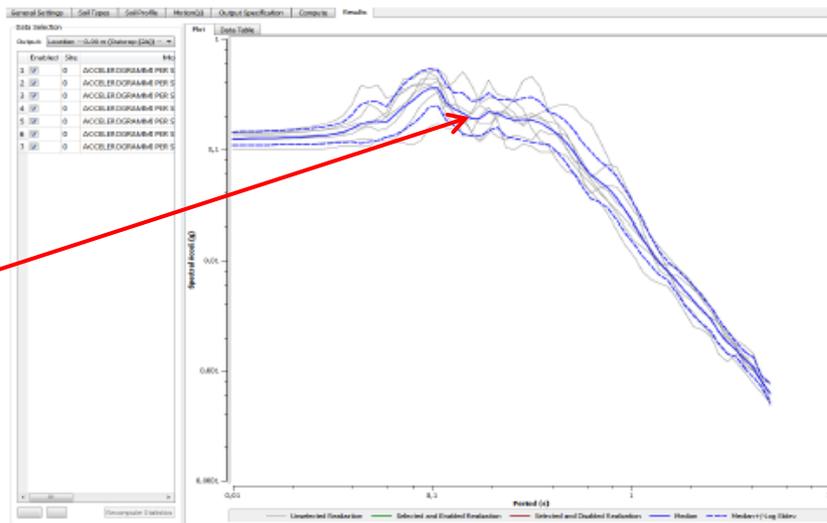


Figura 16: acceleration response spectrum da Strata per SLD

**FUNZIONE DI TRASFERIMENTO
DELL'ACCELERAZIONE: VERIFICA
DEL MODELLO ADOTTATO**

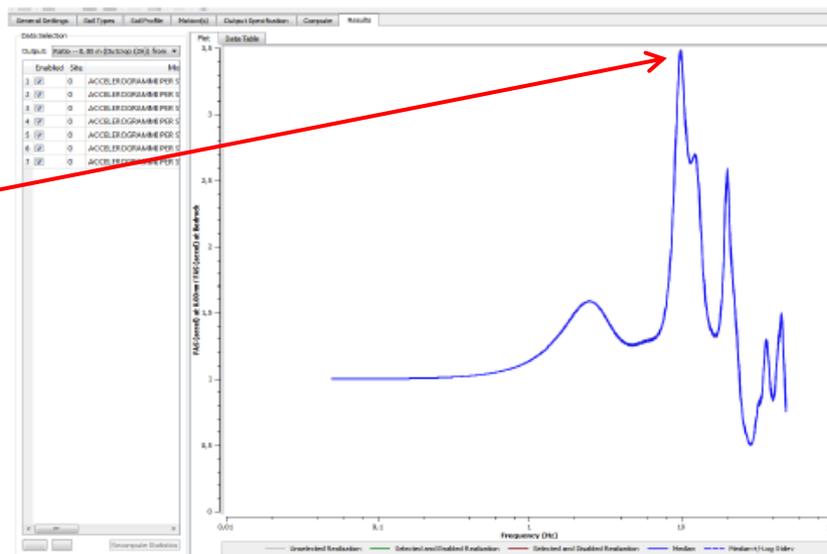


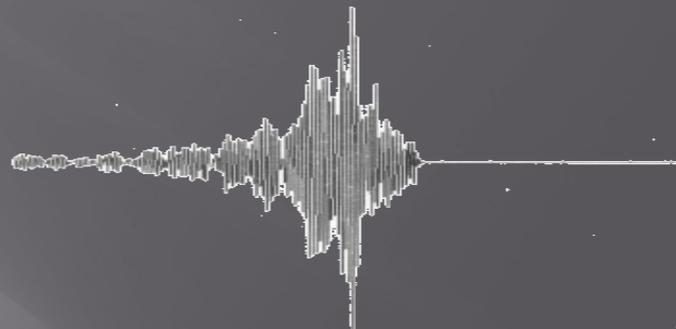
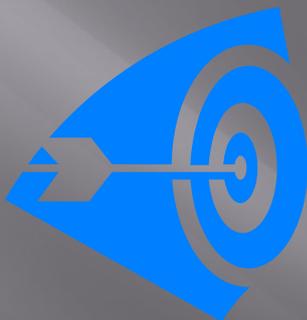
Figura 17: acceleration transfer function da Strata per SLD

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**

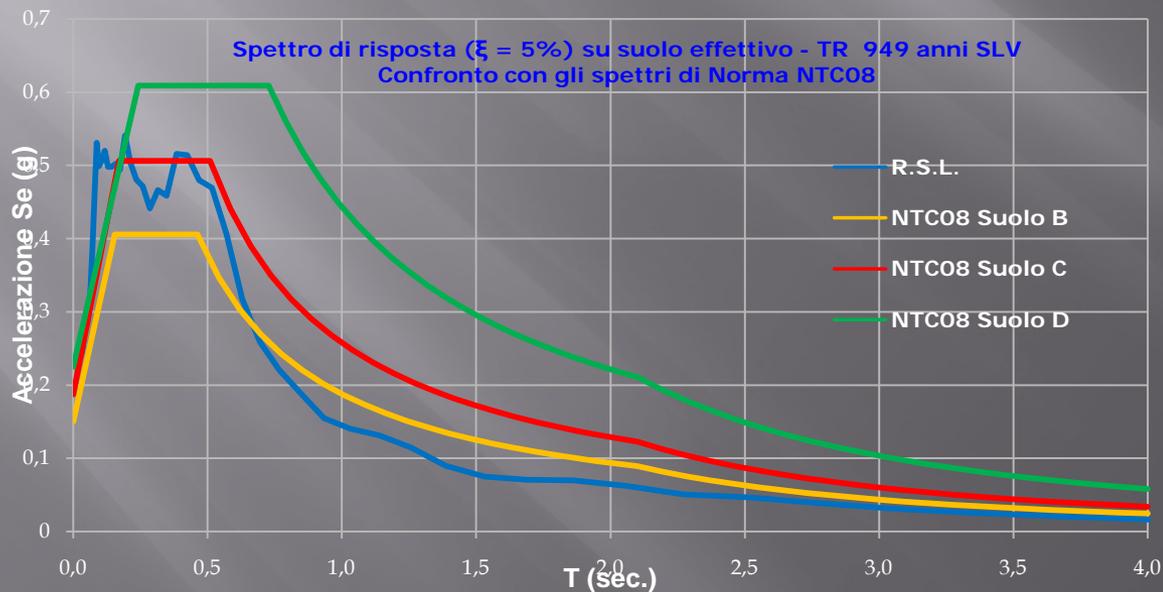
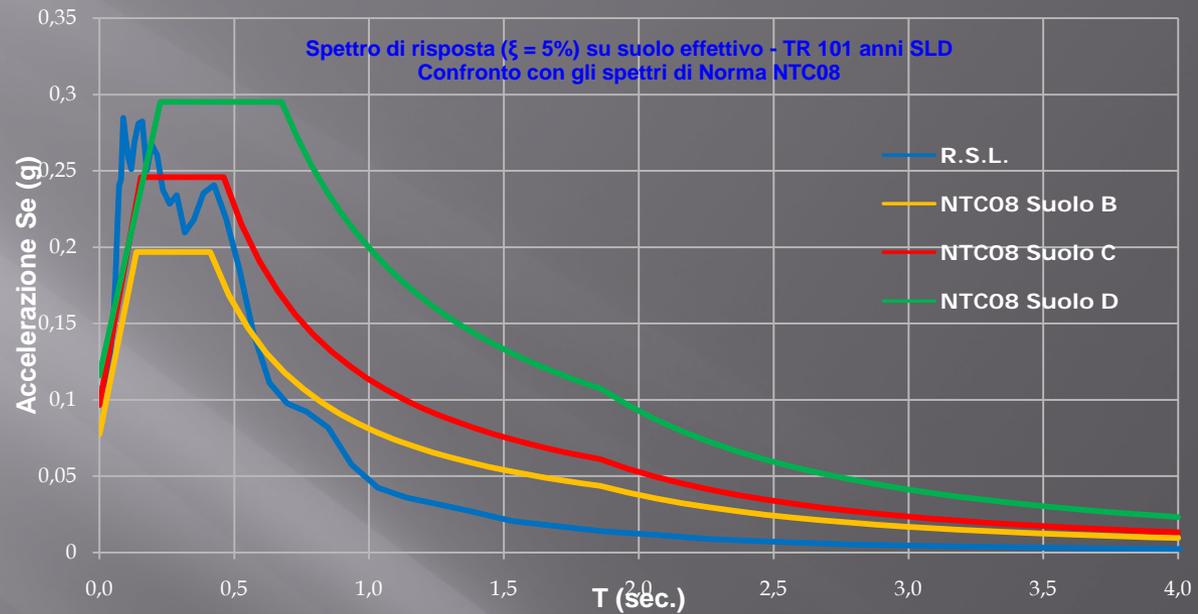


- ➔ Siamo all'interno di una unica Unità geologico-geomorfologica
- ➔ L'assetto geologico-stratigrafico regionale dell'Unità è noto
- ➔ I possibili fattori di amplificazione sismica sono unicamente stratigrafici poiché siamo in pianura
- ➔ E' applicabile un approccio 1D
- ➔ Si applica la D.G.R. 493/2019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

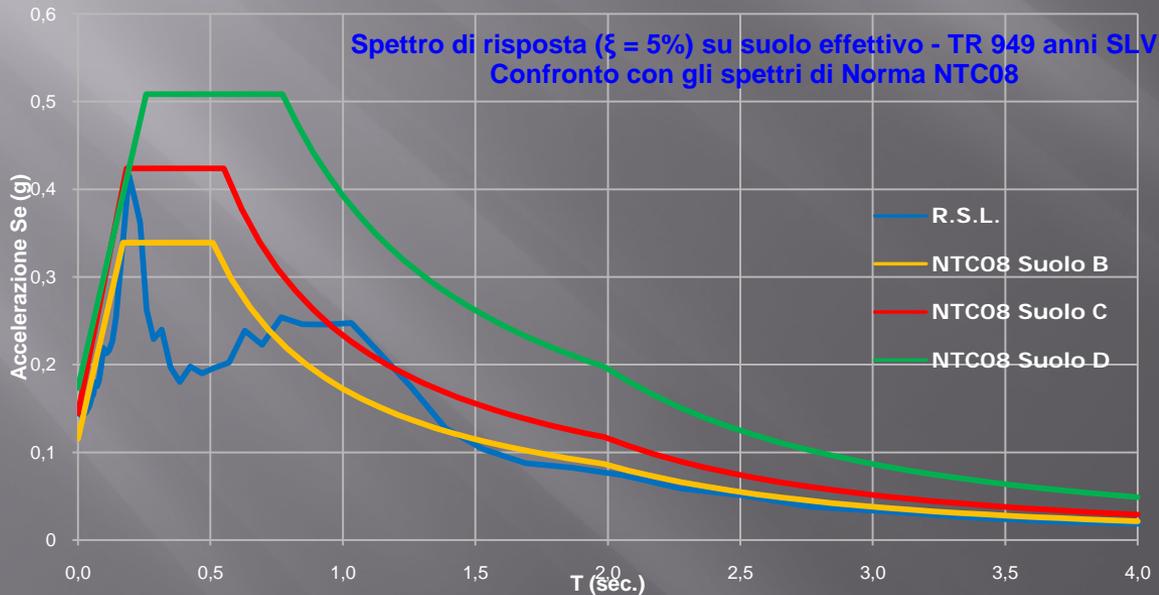
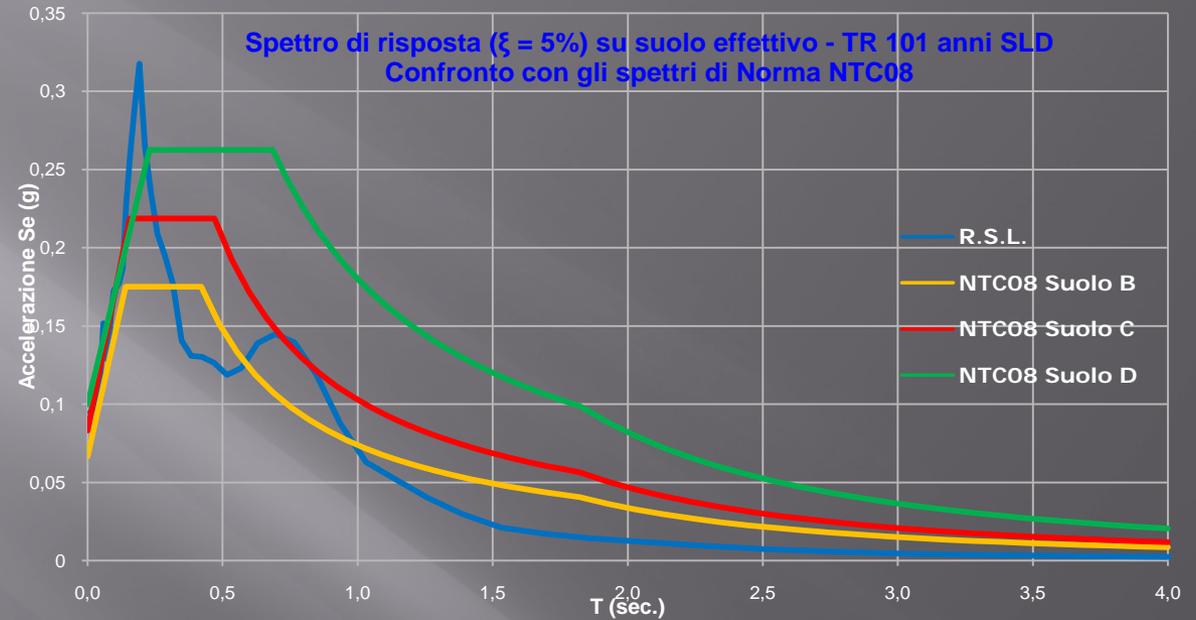


- **PUNTUALE APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA TECNICA VIGENTE**
- **CORRETTA E ACCURATA ESECUZIONE DELLE INDAGINI E DEGLI STUDI DI RSL**
- **CONSEGUENTE ED ADEGUATA PROGETTAZIONE**

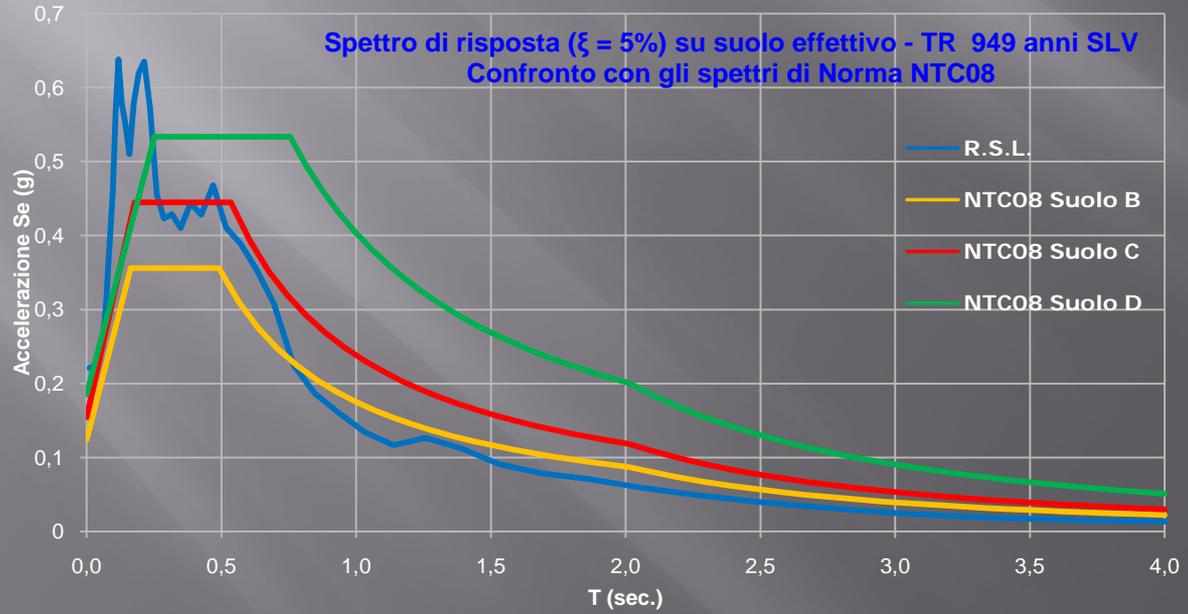
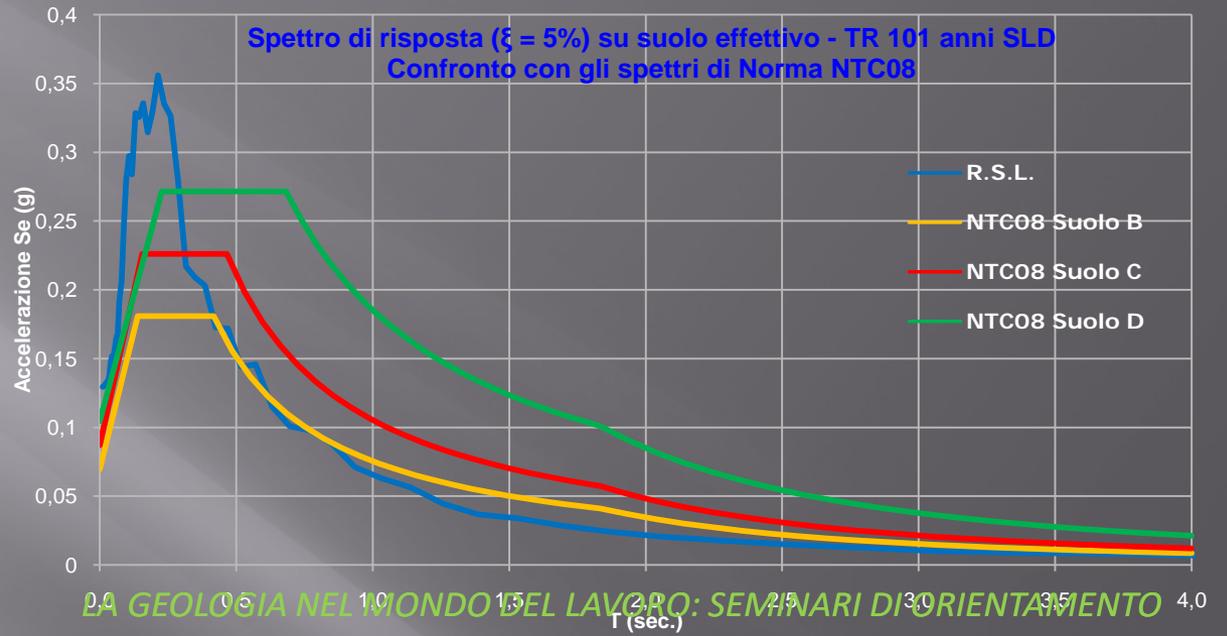
CASO 1: gli spettri di Norma rappresentano abbastanza bene gli spettri di R.S.L.



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



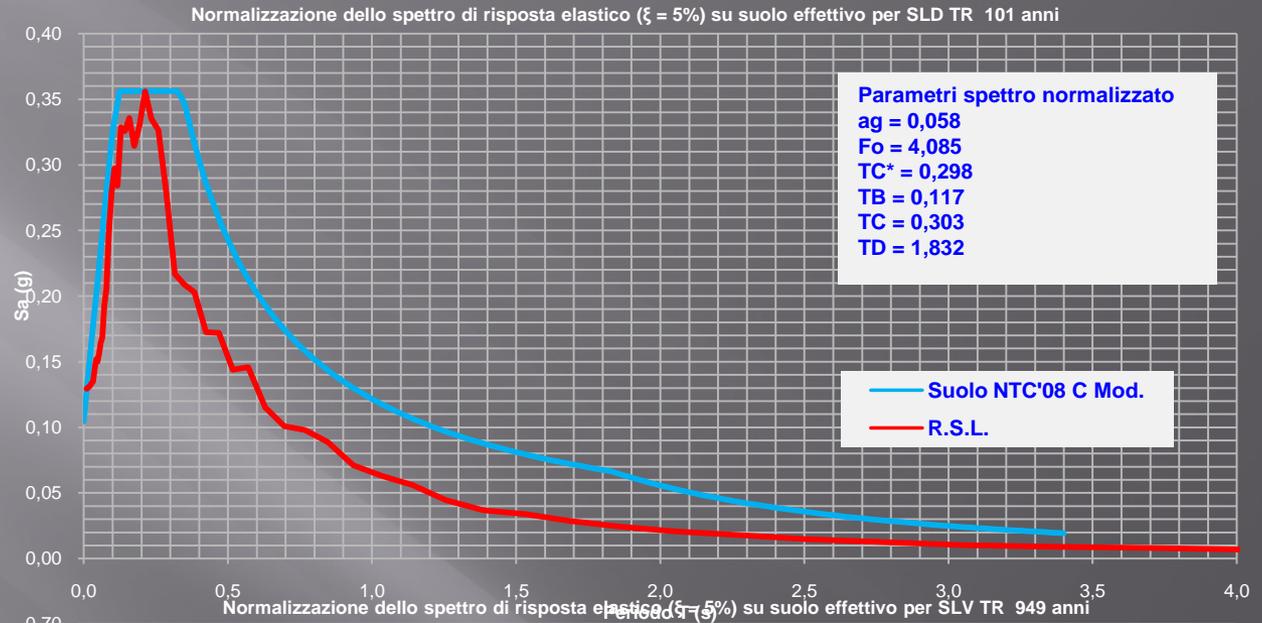
CASO 3: gli spettri di Norma sono molto distanti dagli spettri di R.S.L.



CASO 3: NORMALIZZAZIONE DEGLI SPETTRI – INPUT PROGETTUALE

Parametri spettro NTC'08 Suolo C

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



Parametri spettro NTC'08 Suolo C

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

