

L'AMPLIFICAZIONE DEL MOTO SISMICO NEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA E NELLE NORME TECNICHE DELLE COSTRUZIONI

F. Pergalani, M. Compagnoni

Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano

T. Sanò

Libero Professionista, Roma

G. Naso

Dipartimento della Protezione Civile, Roma

GNGTS 33° CONVEGNO NAZIONALE

Palazzo della Regione

Bologna, 25-27 novembre 2014

L'obiettivo di questo contributo è definire le possibili correlazioni tra i risultati degli studi di valutazione delle amplificazioni di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) previsti dagli ICMS e quanto previsto dalle NTC nell'ambito della Risposta Sismica Locale (RSL)

NTC 3.2

*Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende **necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).***

NTC 7.11.2

Le indagini geotecniche devono essere predisposte dal progettista.....

*La **caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e la scelta dei più appropriati mezzi e procedure d'indagine devono essere effettuate tenendo conto della tipologia del sistema geotecnico e del metodo di analisi adottato nelle verifiche.***

*Nel caso di opere per le quali si preveda l'impiego di metodi d'analisi avanzata, è opportuna anche **l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche di laboratorio, quando sia tecnicamente possibile il prelievo di campioni indisturbati.***

*Nelle **analisi di stabilità in condizioni post-sismiche si deve tener conto della riduzione di resistenza al taglio indotta dal decadimento delle caratteristiche di resistenza per degradazione dei terreni e dall'eventuale accumulo di pressioni interstiziali che può verificarsi nei terreni saturi.***

*Nelle **analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo A).***



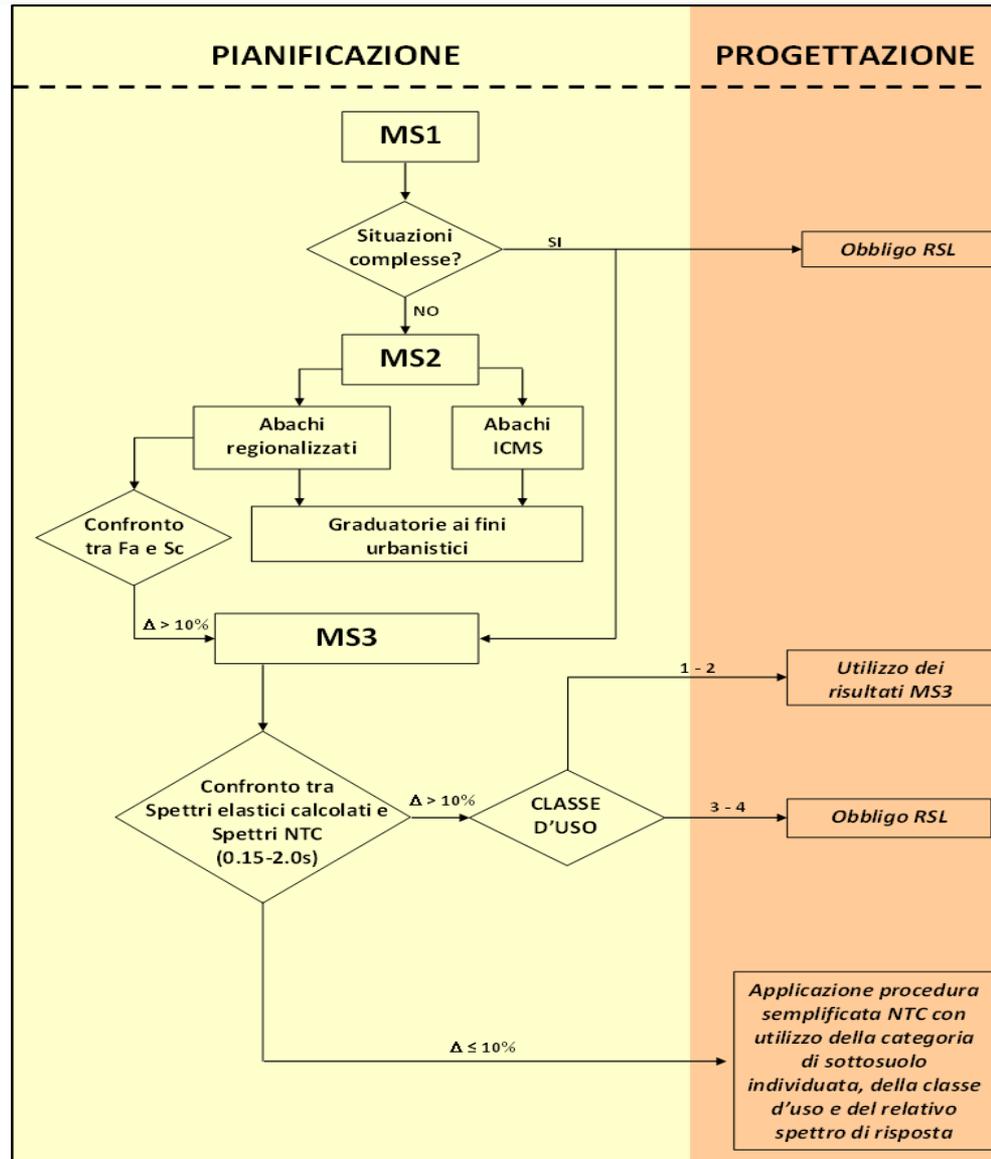
LINEE GUIDA MS3

Il Livello 3 di approfondimento si applica:

Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, non risolvibili con l'uso degli abachi, o qualora l'estensione della zona in studio renda conveniente un'analisi globale di dettaglio o, infine, per opere di particolare importanza; nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologie speditive.

Le indagini sono costituite da campagne di acquisizione di dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione delle Vs, prove geotecniche in sito e in laboratorio, sia statiche che dinamiche, campagne di microtremori.

Le elaborazioni sono costituite da analisi numeriche 1D e 2D per la quantificazione delle amplificazioni locali e analisi dinamiche per i casi di instabilità di versante e suscettibilità di liquefazione. È tipico di questo livello lo studio paleosismologico delle faglie attive e capaci.



I risultati forniti dagli studi di livello MS3 sono spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico, calcolati in *free field* (periodo di ritorno 475 anni)

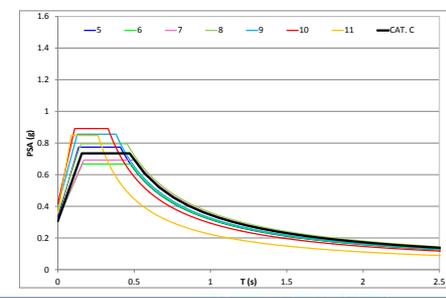
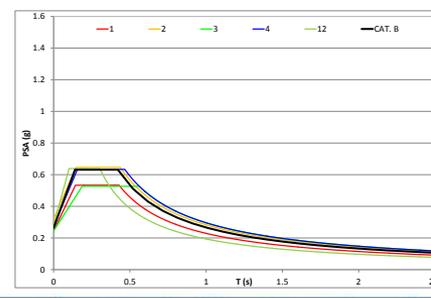
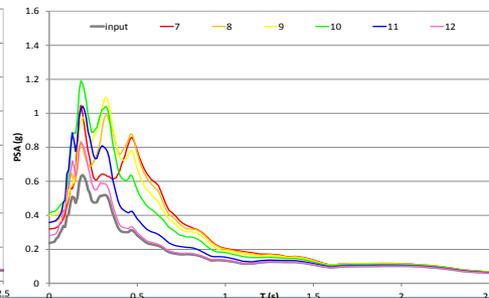
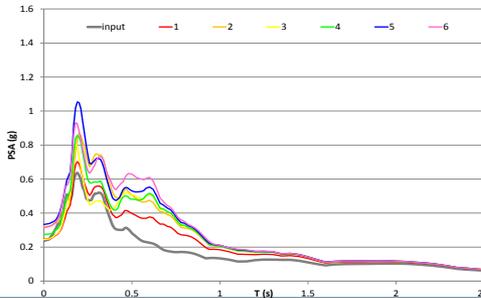
Gli spettri elastici di MS3 possono essere confrontati con il corrispondente spettro di risposta NTC o con quello degli studi di RSL

Il confronto con lo spettro elastico calcolato con l'approccio semplificato di NTC potrà avvenire dopo un semplice processo di standardizzazione (modifica della forma in ICMS cap.2.5.3.3)

Il confronto tra spettro di MS3 e spettro di RSL potrà invece avvenire direttamente senza nessun intervento di modificazioni sulla forma

- individuazione del periodo con massimo valore dello spettro in accelerazione (TA)
- calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione (SA) tra 0.5TA-1.5TA
- individuazione del periodo con massimo il valore dello spettro in pseudo-velocità (TV)
- calcolo del valor medio dello spettro in pseudo-velocità (SV) tra 0.8TV-1.2TV
- calcolo del valore di $T_C = 2\pi$ (SV/SA)
- calcolo del valore di $T_B = 1/3T_C$
- calcolo del valore di $T_D = 4a_g + 1.6$ con a_g uguale al valore di accelerazione a $T = 0$
- applicazione delle equazioni riportate nelle NTC per la determinazione dei tratti dello spettro compresi tra T_0 , T_B , T_C , T_D , T_{4s}

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





Gli studi di MS3 forniscono indicazioni in fase di progettazione, limitatamente all'area di estrapolabilità dei risultati, solo per edifici di importanza ordinaria (classi d'uso 1 e 2, $V_r \geq 50$, SLV)

Per gli edifici di classe d'uso 3 e 4 sono necessari studi di RSL

Nei casi in cui gli effetti di non linearità possono essere considerati limitati, i risultati degli studi di MS3 (PR 475), possono essere opportunamente scalati in ampiezza, riferendosi a tempi di ritorno diversi

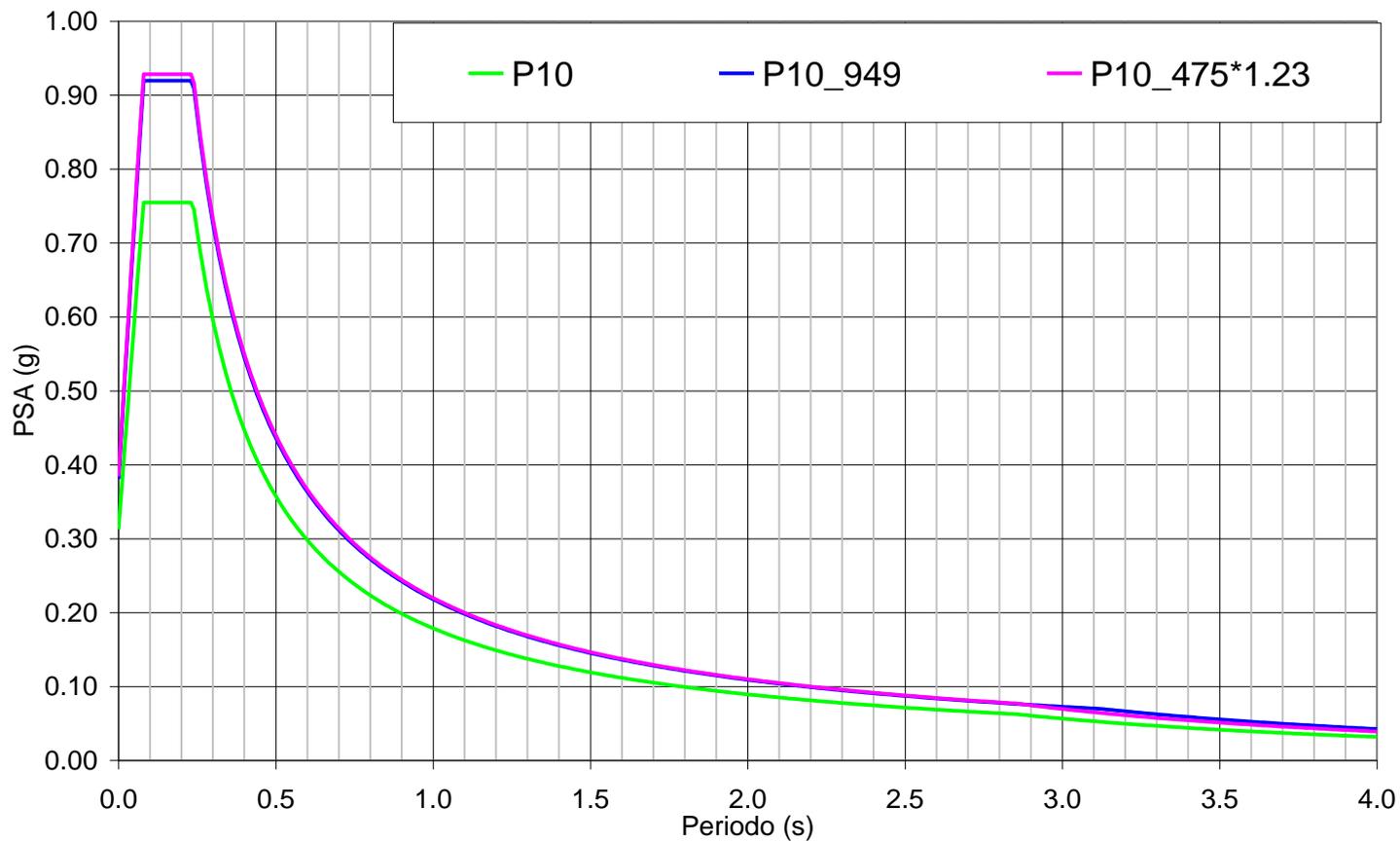
I risultati degli studi di MS3 sono di supporto agli studi di RSL, anche per edifici di classe 3 e 4, per valutazioni su eventuali amplificazioni su aree più estese rispetto a quelle del volume significativo interessato dalle fondazioni



Ambiti di applicabilità e livelli prestazionali



POLITECNICO
DI MILANO





Gli studi di MS3 hanno come obiettivo la caratterizzazione sismica di aree omogenee dal punto di vista geologico, geotecnico e geofisico (microzone)

Le NTC richiedono che nella progettazione siano affrontati aspetti e conseguiti obiettivi simili agli studi di MS3 alla scala dell'opera o del sistema geotecnico

Una criticità è nelle incertezze e nei possibili errori legati alla localizzazione delle indagini. Opportunità di espletare indagini solo nell'intorno del manufatto o indagini estese a dintorni più ampi e più rappresentativi della complessità del sottosuolo (es. una zona di raccordo tra rilievo e pianura)

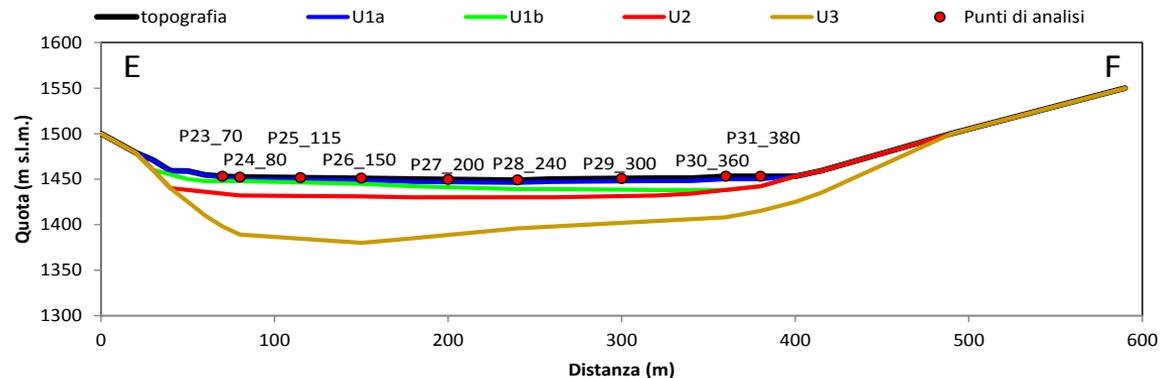
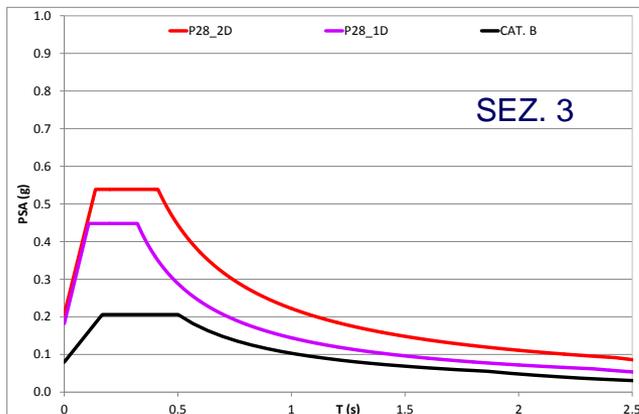
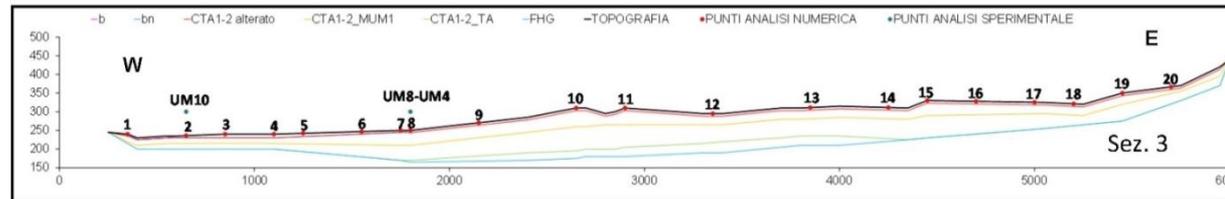
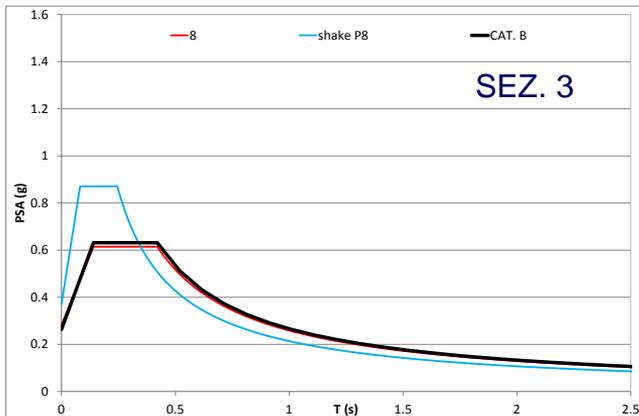
Quindi, le indagini e lo studio di RSL forniscono informazioni più puntuali e specifiche sulle caratteristiche dei terreni di fondazione

I risultati di MS3 offrono una conoscenza più diffusa dell'area e un quadro più esaustivo



Confronti tra analisi monodimensionale e bidimensionale

L'analisi ed i confronti hanno mostrato come l'influenza della geometria delle valli può portare ad una diminuzione ed un filtraggio dei valori delle ordinate spettrali nei bassi periodi ed ad un conseguente aumento dei valori delle ordinate spettrali negli alti periodi o ad un aumento generale delle ordinate spettrali su tutti i periodi



Il programma di indagini



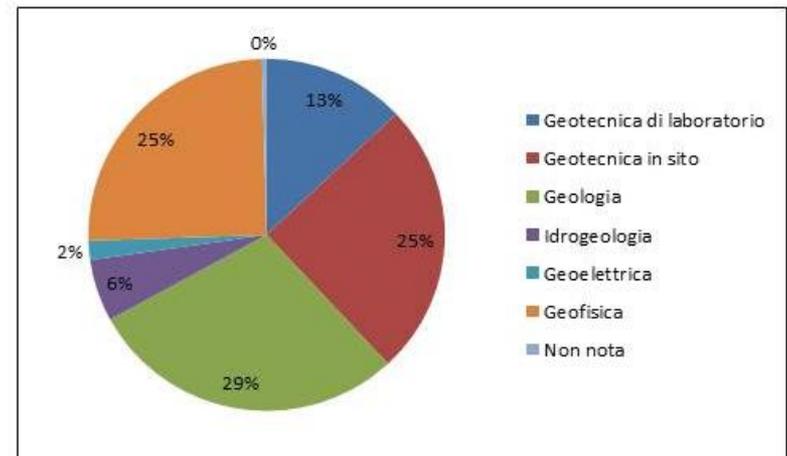
Le NTC definiscono le indagini per la caratterizzazione del modello geotecnico del sottosuolo che interessa l'opera. Il modello deve tener conto di:

- condizioni stratigrafiche
- regime delle pressioni interstiziali
- caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo

La scelta delle indagini è anche condizionata dalla tipologia strutturale dell'opera e dallo stato prestazionale da esaminare.

Sono anche previste indagini integrative per studi di RSL, in particolare si danno indicazioni su indagini geofisiche (CH, DH, MASW, rumore ambientale ecc.) e indagini geotecniche (colonna risonante, ecc.)

Le tipologie delle prove descritte sono le stesse che si utilizzano comunemente per gli studi di MS3





Sia per gli studi di MS3 che per gli studi di RSL, il moto sismico è fornito in ogni punto della superficie in termini di:

- **accelerazione massima**
- **spettro di risposta elastico**
- **accelerogramma**

Sia per MS3 che per RSL, lo studio viene effettuato per valutare le modifiche che il segnale sismico subisce, a causa dei fattori locali, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A)

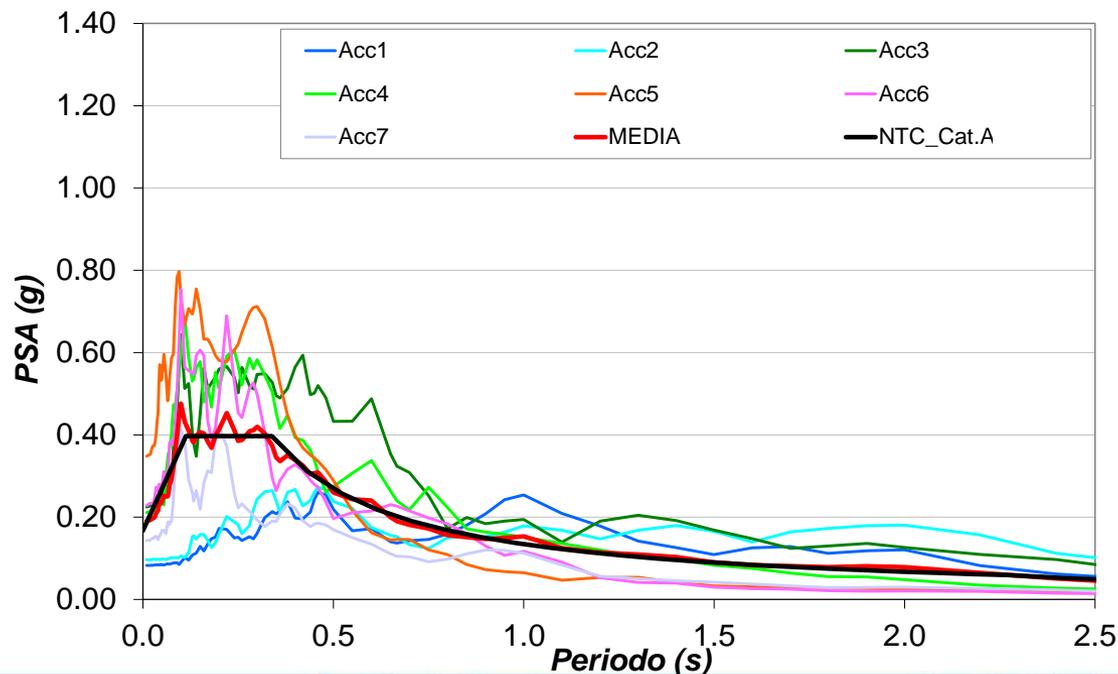
In NTC è riportato: “*l’uso di accelerogrammi artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici*”..., sono ammessi invece accelerogrammi ricavati mediante simulazioni del meccanismo di sorgente o accelerogrammi registrati (con alcune raccomandazioni sulle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, sulle condizioni del sito di registrazione, sulla coppia magnitudo-distanza e sulla massima accelerazione orizzontale attesa al sito)



Definizione delle azioni sismiche di ingresso



TR 475 anni									
ID	Sigla	Lat (°)	Long (°)	Distanza epicentrale (km)	Evento	Stazione	Comp.	pga (g)	Fattore di scala
Acc1	BSC	41.01	15.37	28.3	23-11-1980	Bisaccia	EW	- 0.083	1.0
Acc2	BSC	41.01	15.37	28.3	23-11-1980	Bisaccia	NS	- 0.096	1.0
Acc3	ALT	40.55	15.39	23.8	23-11-1980	Auletta	NS	0.056	4.0
Acc4	VGG	39.96	16.05	13.5	09-09-1998	Viggianello	EW	- 0.052	3.0
Acc5	0LAI	39.95	15.97	8.5	25-10-2012	Laino temporanea	NS	- 0.087	3.0
Acc6	AQP	42.38	13.37	13.2	07-04-2009 17:47:37	L'Aquila	NS	0.076	3.0
Acc7	AQP	42.38	13.37	11.8	09-04-2009	L'Aquila	EW	- 0.071	2.0



Una criticità spesso evidenziata nei rapporti tra i due tipi di studio è quella del piano di riferimento rispetto al quale si calcola il moto sismico

I risultati degli studi di MS3 sono riferiti al piano campagna in condizioni di *free field*

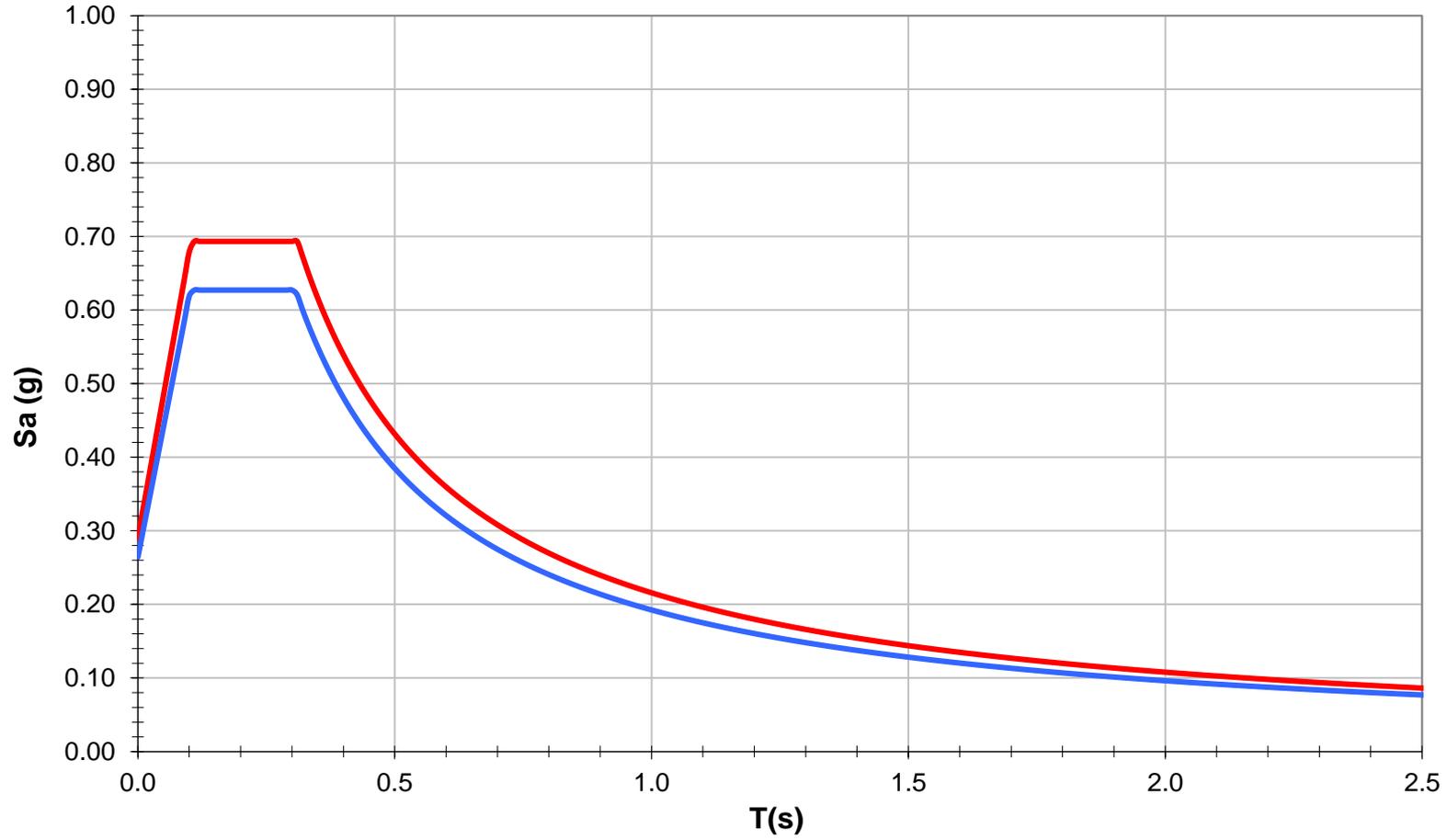
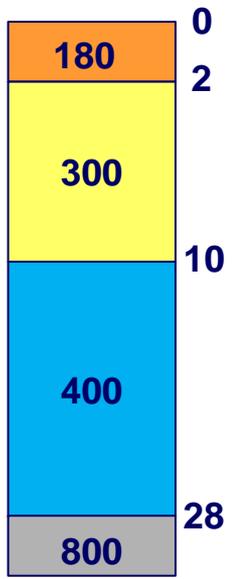
In NTC per la definizione dell'azione sismica con il metodo semplificato, si precisa a quale profondità calcolare il V_{s30} : per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali

C'è a questo proposito da osservare che se ci si riferisce al piano di riferimento dell'opera, le fondazioni (meglio ancora se sono profonde) “migliorano” le condizioni di rigidità del terreno, quindi calcolare lo spettro in superficie *free field* (studi di MS3) è una condizione generalmente cautelativa

Il piano di riferimento



— SPETTRO DI RISPOSTA RSL - FREE FIELD
— SPETTRO DI RISPOSTA RSL - PIANO FONDAZIONE -2.0 M DAL P.C.





a. Dati di base

La definizione del modello di sottosuolo richiede l'uso di metodi di indagine convenzionali e/o propri della dinamica dei terreni quali (AGI, 1977, 2005):

- sondaggi litostratigrafici
- prove *in situ* (CPT, SPT, DMT, ecc.)
- installazione di piezometri e misura delle pressioni interstiziali
- prove geofisiche *in situ* (DH, CH, cono sismico, SDMT, SASW, MASW, ecc.)
- prove geotecniche di laboratorio (determinazione di proprietà indice e di stato, prove edometriche, triassiali, colonna risonante, ecc.)

La quantità e la tipologia delle indagini geotecniche sono definite dal progettista. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli di sottosuolo e la caratterizzazione dei terreni deve essere estesa a un volume significativo legato alla natura delle sollecitazioni e al problema oggetto di studio

Riepilogando, la caratterizzazione del sottosuolo nell'ambito del volume significativo deve avere come obiettivi minimi:

- la definizione della litostratigrafica e delle geometrie dei corpi litologici
- la conoscenza del regime delle pressioni interstiziali
- la conoscenza delle proprietà fisiche e meccaniche dei diversi terreni

Utilizzando questi dati è possibile effettuare sia studi di RSL sia di MS3



b. Elaborazioni e risultati partendo da uno studio di MS3

La procedura proposta prevede che il progettista, responsabile del manufatto:

1. verifichi in quale microzona della carta di MS3 si trova il sito del manufatto di interesse
2. valuti, per la microzona identificata:
 - mappa con localizzazione delle indagini eseguite
 - carta geologico tecnica e sezioni geologico tecniche rappresentative della microzona
 - mappa delle misure strumentali della risposta in frequenza del sottosuolo
 - risultati delle indagini geotecniche e geofisiche
 - gli spettri di risposta elastici in superficie, calcolati con simulazioni numeriche
3. valuti, con il supporto di un tecnico specialista competente, se i risultati riferiti alla microzona sono affidabili anche per il sito del manufatto di interesse, sulla base di:
 - esperienze e conoscenze pregresse del sito del manufatto
 - vicinanza al sito del manufatto delle indagini e delle elaborazioni numeriche degli studi di MS3
 - affidabilità delle indagini e delle modellazioni numeriche eseguite
 - rappresentatività degli studi di MS3, sia per la caratterizzazione dei terreni di fondazione del manufatto, sia per l'assetto del sottosuolo dell'area
4. verifichi se il requisito di affidabilità e rappresentatività richiesto al punto 3. è soddisfatto:
 - a. se è soddisfatto, utilizzerà direttamente lo spettro di risposta elastico definito nella MS3
 - b. se il requisito non è soddisfatto, dovrà effettuare ulteriori indagini nel sottosuolo, rispettando le indicazioni di NTC ed effettuare uno studio di RSL



CONCLUSIONI

La procedura delineata deve essere calibrata (es. numero e tipo di indagini) sul manufatto da progettare

E' importante ribadire che nel caso di due o più manufatti piccoli, ubicati in adiacenza in uno stesso sito, le indagini devono intendersi come riferite all'unico sito "geotecnico"

Ovviamente la procedura esposta è valida anche per la verifica di manufatti esistenti, con le integrazioni previste in NTC

Infine, i risultati forniti dagli studi di MS3, in termini di spettri di risposta elastici in accelerazione, al 5% dello smorzamento critico, calcolati in *free field* e riferiti ad un determinato livello di pericolosità sismica (ovvero ad un determinato tempo di ritorno riferito a 475 anni), possono essere confrontati direttamente con il corrispondente spettro di risposta elastico assegnato dall'approccio semplificato di NTC

Lo spettro di risposta elastico calcolato dovrà essere standardizzato riportandolo nella forma usata da NTC ovvero delimitando i tratti ad accelerazione, velocità e spostamento costante (una procedura possibile è illustrata negli ICMS)

Il confronto dovrebbe essere eseguito in termini di valori spettrali in corrispondenza dell'intervallo di periodo di vibrazione compreso tra 0.15-2.0 s