3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Per definire **l'azione sismica di progetto**, si valuta l'effetto della **risposta sismica locale (RSL)**° mediante specifiche analisi (v. Risposta sismica locale e stabilità del sito 7.11.3 e C7.11.3.1 e pag. 248). *In assenza* di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica *si può fare riferimento ad un* **approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento** (Tab. 3.2.II e 3.2.III) e sulle **condizioni topografiche**.

°**Risposta sismica locale è l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subìte trasmettendosi dal substrato rigido.**

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

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

* Al paragrafo C.7.11.3.1.2.1. si considera substrato rigido terreno con Vs > 700 - 800 m/s.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo[1], ***ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo***, ***la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente* Vs30 *di propagazione delle onde di taglio*** (definita successivamente) ***entro i primi 30 m di profondità.***

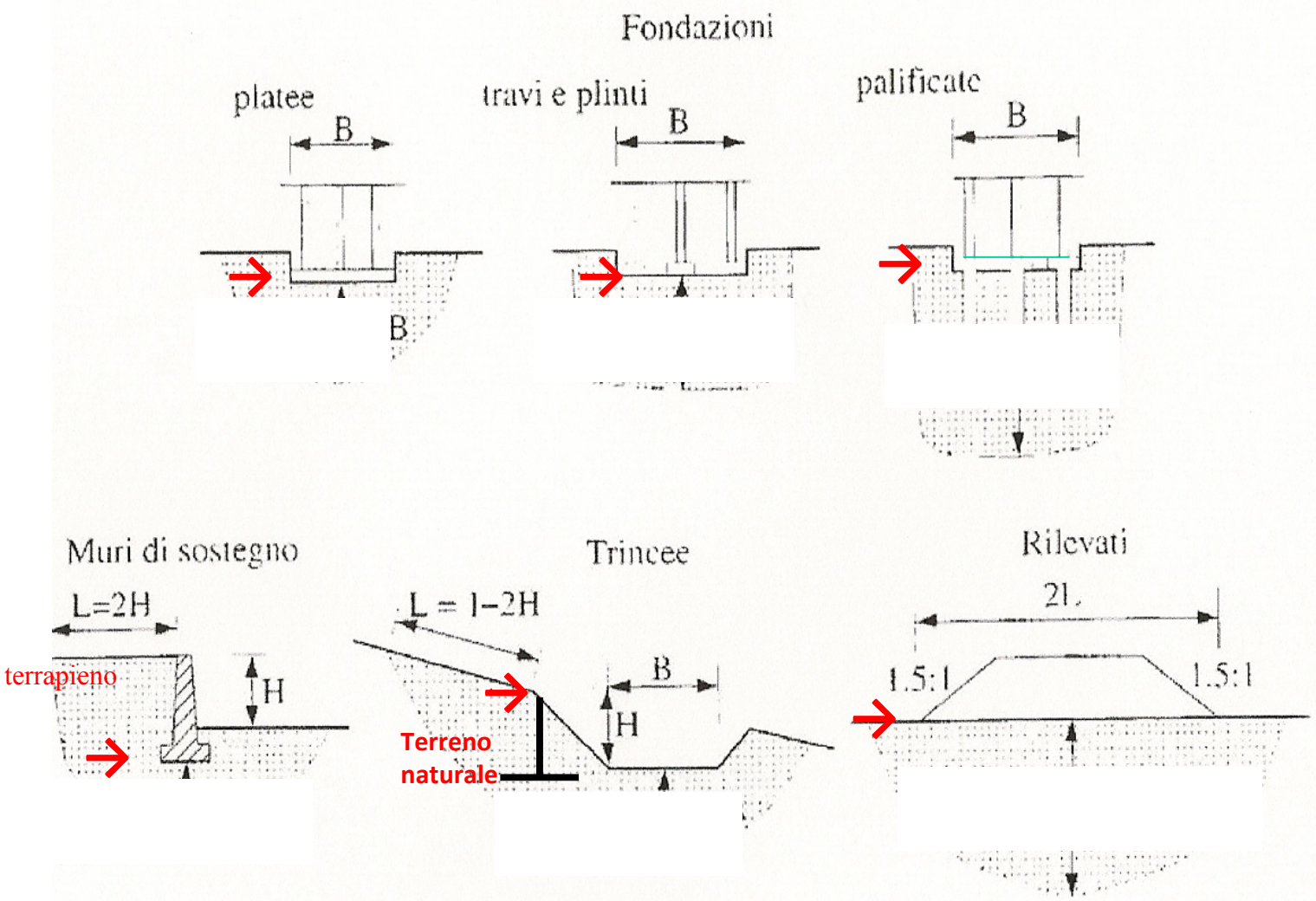
Per le ***fondazioni superficiali***, tale profondità è riferita al **piano di imposta** delle stesse, mentre per le fondazioni su ***pali*** è riferita alla **testa dei pali**.

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.

---

[1] **Per *volume significativo* di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso**



→ **punto di partenza dei 30m di profondità per le V_{S30}**

E' raccomandata la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio.

La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{S\,30}$.

Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata :

-in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) NSPT30 nei terreni prevalentemente a grana grossa

-in base ai valori della resistenza non drenata equivalente cu30 nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per le descritte cinque categorie di sottosuolo (A,B,C,D,E), le azioni sismiche sono definite oltre.

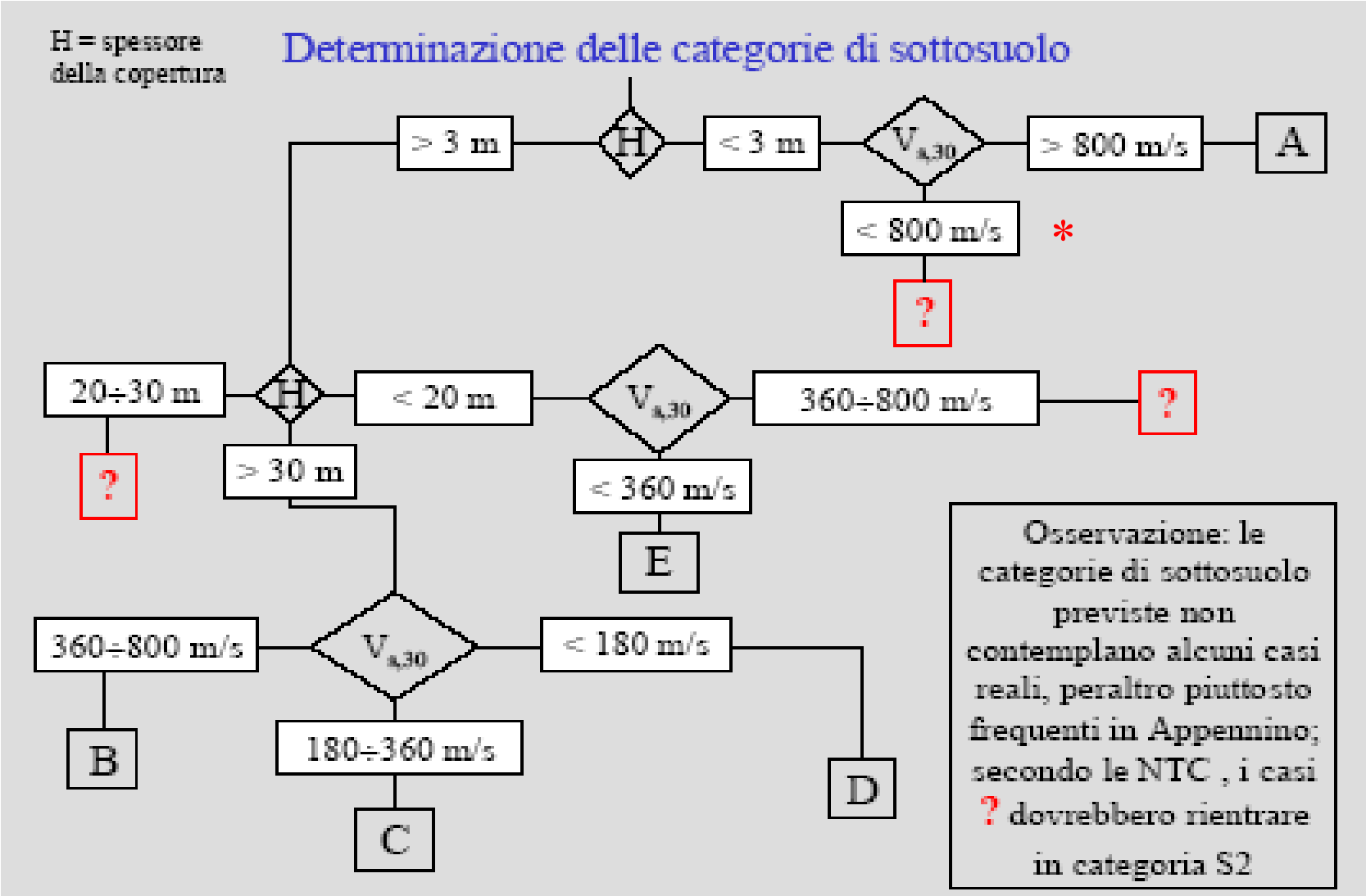
Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed **S2** di seguito indicate (Tab. 3.2.III,NTC)), **è necessario predisporre specifiche analisi** per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la **presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata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

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ 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.

Liquefazione

Liquefazione



Lacune nella determinazione delle categorie di sottosuolo

* Il limite è per la Circolare 700 m/s

Ripreso e modificato da G. Vannucchi (2009)

La velocità **equivalente** delle onde di taglio Vs30 è definita dall'espressione (3.2.1)

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{hi}{Vi}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT30 è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}.$$

(3.2.2.)

$N_{SPT,i}$ numero di colpi N_{SPT} nell'i-esimo strato;

M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;

La resistenza non drenata equivalente cu30 è definita dall'espressione

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

cu,i resistenza non drenata nell'i-esimo strato;
K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità

(3.2.3)

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, **distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità**, ricadenti nelle categorie da **A** ad **E**, **quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue**:

-determinare NSPT,30 limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30 m di profondità**;**

-determinare cu,30 limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità;

-individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri NSPT,30 e cu,30 ;

-**riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.**

La Norma chiede la Vs30, ma la Vs30 stima l'amplificazione di sito?

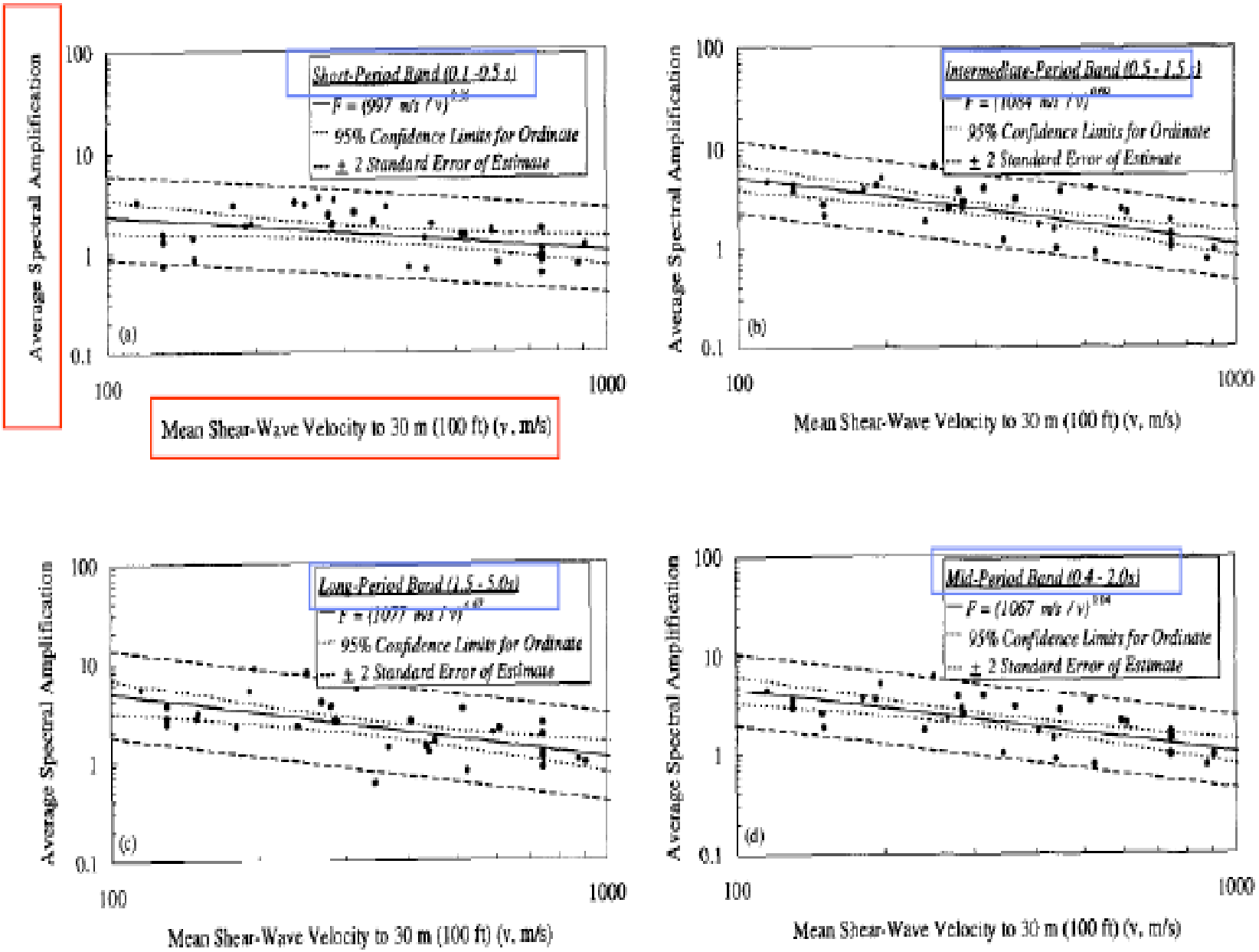
Tra Fattore di Amplificazione Fa e Vs30 esiste una relazione?

Tutto ha avuto origine da un lavoro di Borcherdt pubblicato in Earthq. Spectra (1994) nel quale si evidenziavano alcune relazioni tra **Vs100 ft** (~ Vs30m) e **l'amplificazione sismica** registrata in diversi siti a seguito del terremoto di Loma Prieta (California, 1989).

L'autore, che lavora per lo USGS (Servizio Geologico statunitense), analizzò i dati fino a 30 m (100 piedi), perché quello era il set di cui disponeva e che si riferiva solo a quella profondità e non perché vi fossero evidenze che la Vs nei primi 30 m mostrasse una relazione con il fattore di amplificazione. **In pratica, è stata la disponibilità di dati e non la loro significatività a condurre alla scelta della Vs30 come parametro di riferimento.**

Questo lavoro è stato recepito dalle agenzie locali di rischio sismico statunitensi divenendo direttiva.

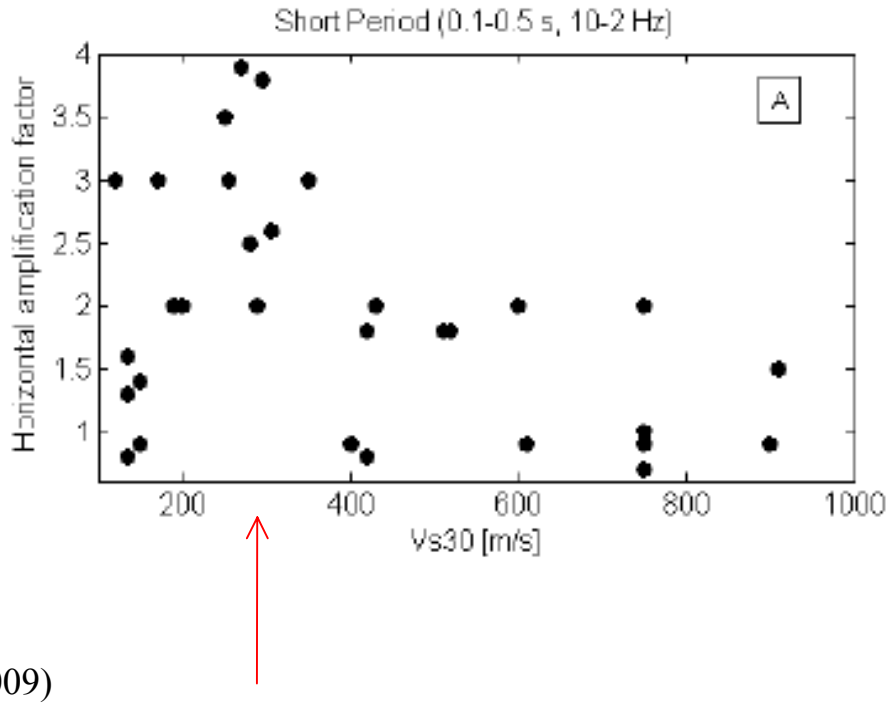
Questa parte delle direttive statunitensi in merito alla classificazione di sito è stata recepita dall'Eurocodice e di conseguenza dalla normativa italiana.



(Ripreso da S. Castellaro, 2009)

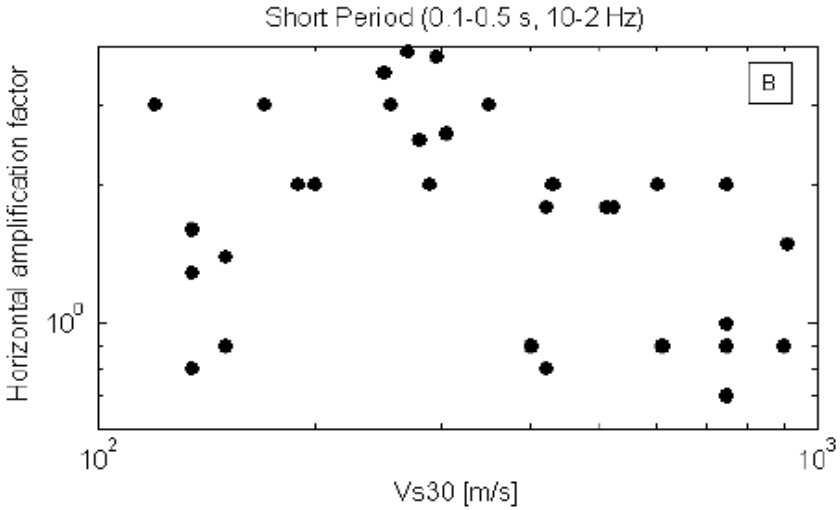
Questa è la stessa figura di Earthq. Spectra (1994) ridisegnata in scala lineare.
E' palese che:

- non esiste relazione lineare tra Vs30 e amplificazione (lo scatter dei dati è enorme)
- sembra addirittura che l'amplificazione massima non si abbia per Vs30 basse ma per Vs30 intermedie (280-350 m/s).

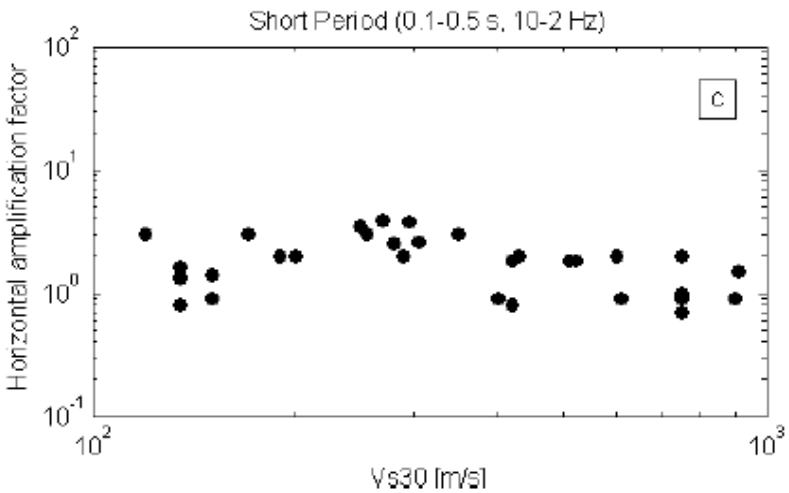


(Ripreso da S. Castellaro, 2009)

Passando alla scala logaritmica non sembra proponibile una relazione tra Fa e Vs30

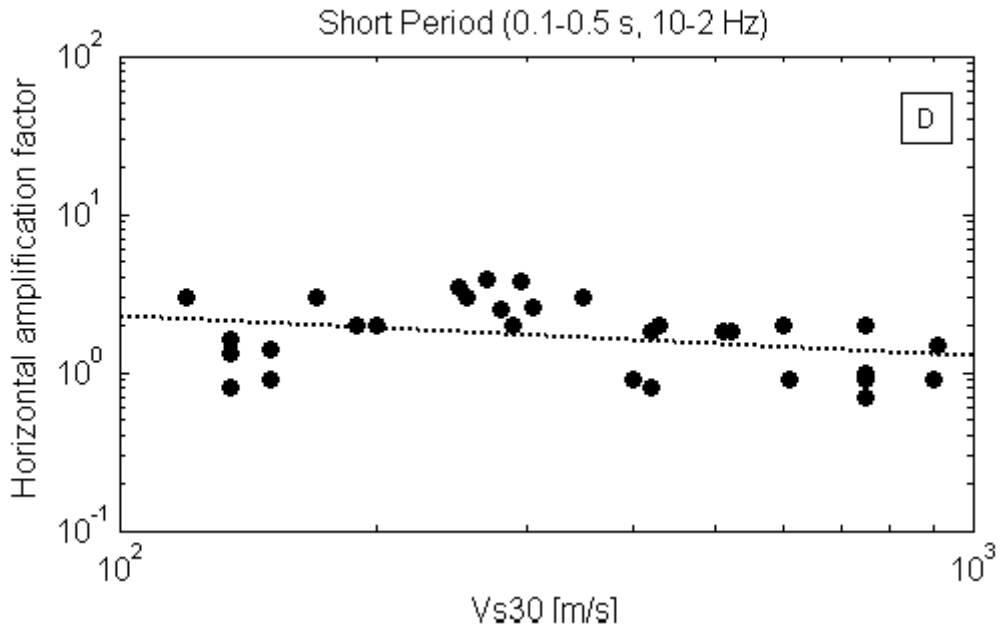


Se però estendiamo la scala delle ordinate fino a coprire 3 ordini di grandezza anziché l'1 scarso che i dati coprono, allora l'occhio viene ingannato e percepisce una relazione che non esiste.



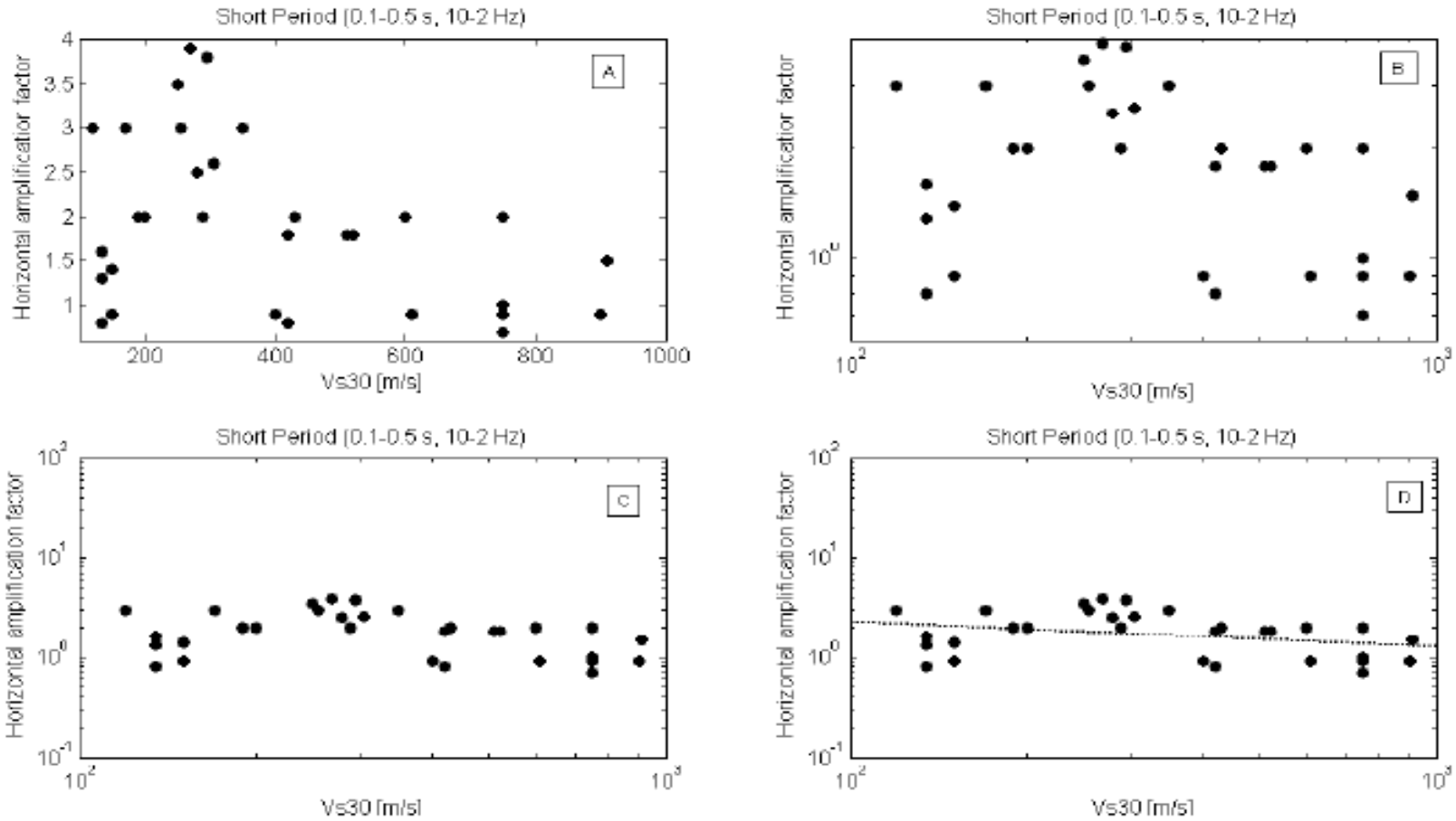
Se poi aggiungiamo una retta di regressione

ecco la famosa relazione Fa-Vs30



Per trovare una presunta relazione tra il fattore di amplificazione e la Vs30 i dati sono stati graficizzati in modo tale da enfatizzare relazioni inesistenti.

Fa – Vs30: è mai esistita, dunque, una relazione?



Sintetizzando :

La relazione Fa - Vs30 non regge nemmeno ad un'analisi statistica elementare sul set di dati in cui è stata sviluppata (Castellaro et al., SRL, 2008).

E' incontrovertibile che la **rigidità del sottosuolo**, e quindi il profilo di Vs vicino alla superficie, abbia un **ruolo negli effetti di sito**.

Ma **l'amplificazione sismica locale è alquanto complessa** (topografia, effetti di sorgente, profilo di rigidità fino al bedrock sismico ecc.) **per poter essere descritta in maniera compiuta da un parametro sintetico come la Vs30**.

Quello che conta ai fini dello sviluppo di un'amplificazione sismica locale sono, *come minimo*, i parametri seguenti:

profilo di Vs +

profondità dei contrasti di impedenza =

----

frequenze di risonanza → **L'amplificazione massima del moto del suolo di un terreno si ha alla sua frequenza di risonanza.**

Qual è il metodo migliore per misurare la Vs30?

Di metodi ne esistono tanti, ciascuno con altrettanti pro e contro.

Ma per la caratterizzazione sismica di un sito, **la tecnica sismica passiva a stazione singola** presenta aspetti positivi perché **misura (e non " deriva " da altri N parametri) le frequenze di risonanza** senza limiti di profondità nell'intervallo di interesse geotecnico e strutturale e in modo molto rapido. Questa si affiancherà alle altre tecniche per caratterizzare i valori assoluti di Vs, comunque necessari, le attenuazioni ed altro.

Come sarà … tra qualche anno in Italia la Tab. 3.2.II

Site	Description	Comments	Site Period	Freq. (Hz)
A	Hard Rock	Hard, strong, intact rock; $V_s \geq 1500$ m/s	≤ 0.1 s	10
B	Rock	Most "unweathered" California rock cases ($V_s \geq 760$ m/s or < 6 m of soil).	≤ 0.2 s	5
C-1	Weathered/Soft Rock	Weathered zone > 6 m and < 30 m (V_s > 360 m/s increasing to > 700 m/s).	≤ 0.4 s	2.5
-2	Shallow Stiff Soil	Soil depth > 6 m and < 30 m	≤ 0.5 s	2
-3	Intermediate Depth Stiff Soil	Soil depth > 30 m and < 60 m	≤ 0.8 s	1.25
D-1	Deep Stiff Holocene Soil, either **S** (Sand) or **C** (Clay)	Soil depth > 60 m and < 200 m. Sand has low fines content (< 15%) or nonplastic fines (PI < 5). Clay has high fines content (> 15%) and plastic fines (PI > 5).	≤ 1.4 s	0.71
-2	Deep Stiff Pleistocene Soil, **S** (Sand) or **C** (Clay)	Soil depth > 60 m and < 200 m. See D_1 for S or C sub-categorization.	≤ 1.4 s	0.71
-3	Very Deep Stiff Soil	Soil depth > 200 m.	≤ 2 s	0.5
E-1	Medium Depth Soft Clay	Thickness of soft clay layer 3 m to 12 m	≤ 0.7 s	1.43
-2	Deep Soft Clay Layer	Thickness of soft clay layer > 12 m.	≤ 1.4 s	0.71
F	Special, e.g., Potentially Liquefiable Sand or Peat	Holocene loose sand with high water table ($z_w \leq 6$ m) or organic peat.	≈ 1 s	1

Modificata da Rodriguez-Marek, Bray & Abrahamson, 2001, Earthq. Spectra

Ripreso da Mucciarelli (2009)

Condizioni topografiche

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

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

Da considerare solo se di altezza H > 30 m

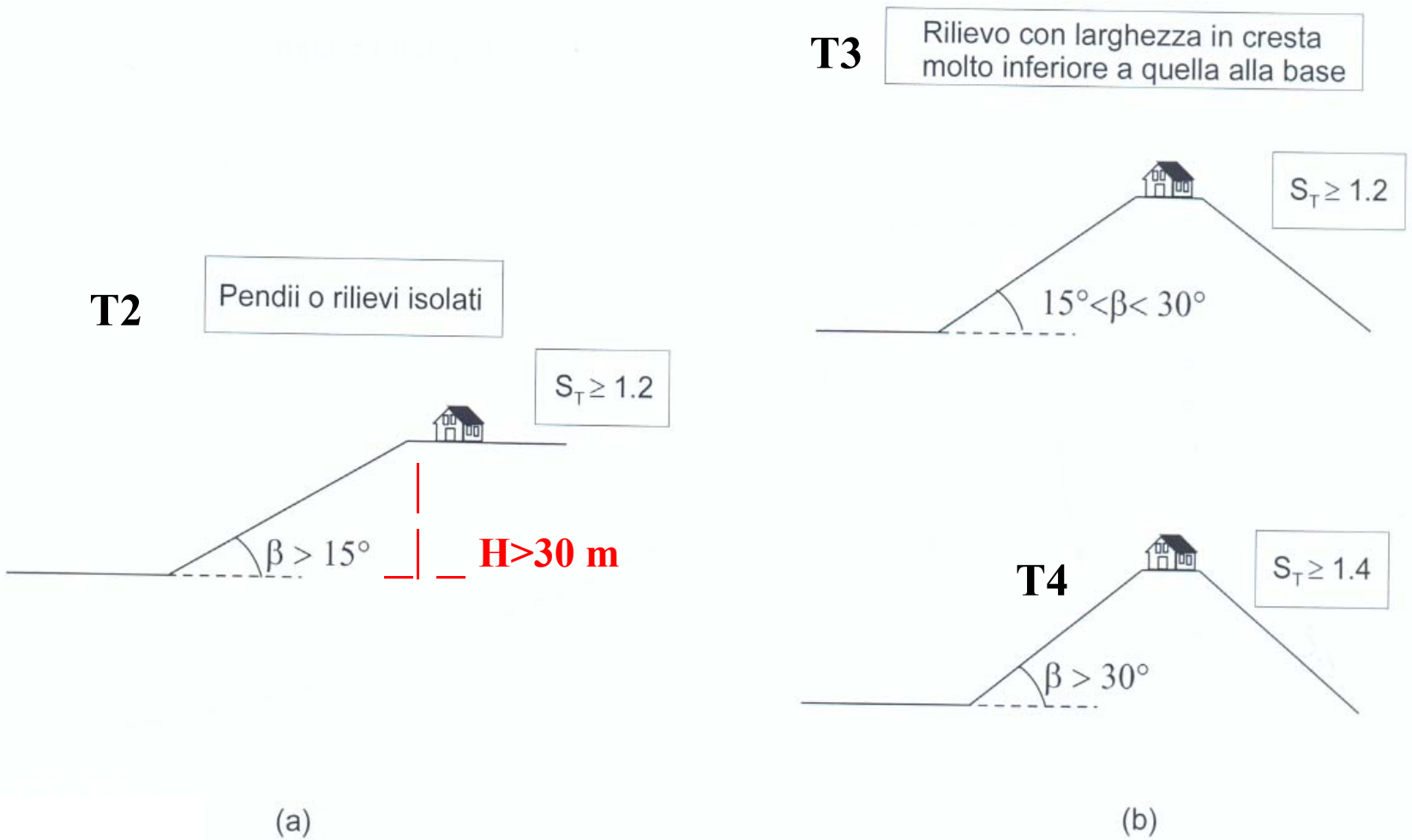


Fig.1 – Valori del fattore di amplificazione topografica S_T secondo l'EC8 per (a) pendii e rilievi isolati e (b) rilievi con larghezza in cresta molto minore di quella alla base.

3.2.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (C 3.2.3)

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; *per ciascuna componente* dell'azione sismica *può essere fornita una rappresentazione* puntuale mediante :

-l'accelerazione massima attesa,

-l'intero spettro di risposta,

-le storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi). Qualora la costruzione sia di dimensioni limitate o le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti, si può assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione. Altrimenti si deve tener conto della variabilità spaziale del moto, nei modi definiti nel § 7.3.2.5.

↓

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

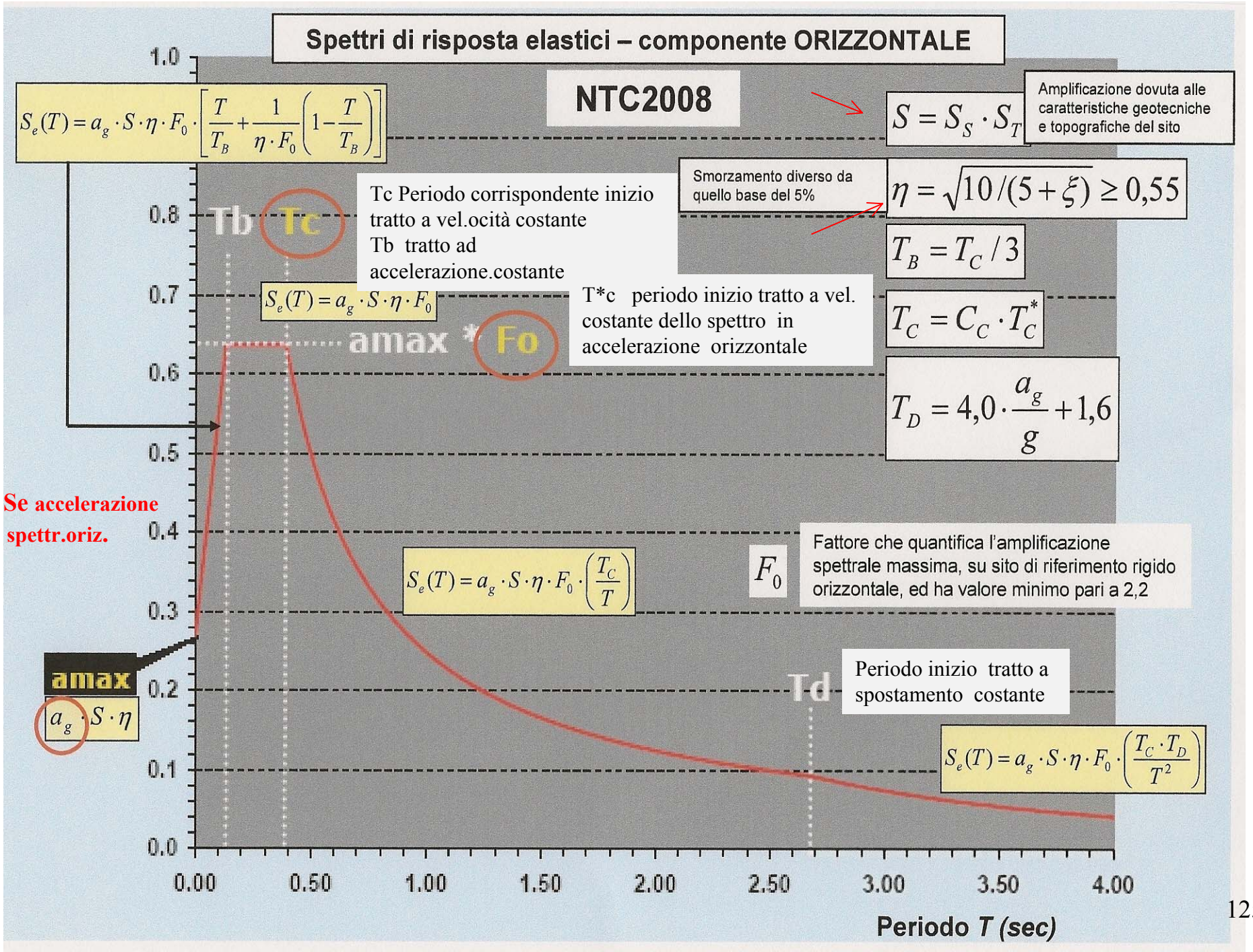
3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle <u>componenti orizzontali</u>

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$
\begin{aligned}
&0 \le T < T_B && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
&T_B \le T < T_C && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
&T_C \le T < T_D && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
&T_D \le T && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
\end{aligned}
\qquad (3.2.4)
$$

nelle quali *T* e *Se* sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale .

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali $\xi \neq 5\%$


Spettri di risposta elastici – componente ORIZZONTALE
NTC2008
$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$
$S = S_S \cdot S_T$
Amplificazione dovuta alle caratteristiche geotecniche e topografiche del sito
Smorzamento diverso da quello base del 5%
$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0{,}55$
$T_B = T_C / 3$
$T_C = C_C \cdot T_C^*$
$T_D = 4{,}0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1{,}6$
Tb
Tc
Tc Periodo corrispondente inizio tratto a vel.ocità costante
Tb tratto ad accelerazione.costante
$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
amax * Fo
T*c periodo inizio tratto a vel. costante dello spettro in accelerazione orizzontale
Se accelerazione spettr.oriz.
$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$
F_0
Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2
amax
$a_g \cdot S \cdot \eta$
Td
Periodo inizio tratto a spostamento costante
$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$
1.0
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0.00
0.50
1.00
1.50
2.00
2.50
3.00
3.50
4.00
Periodo T (sec)

Nelle (3.2.4) inoltre:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \times S_T \qquad (3.2.5)$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

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

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0{,}55 \qquad (3.2.6)$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

Fo è il fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$T_C = C_C \times T^*_C$ (3.2.7)

dove

T^*_C (Tratto Spettrale a Periodo Costante per un Periodo di Ritorno determinato) è definito al paragrafo 3.2 ;

C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V), utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico;

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$T_B = T_C / 3$ (3.2.8)

$$T_D = 4{,}0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1{,}6 \,. \qquad (3.2.9)$$

Spettri di risposta elastici NTC2008

$$0 \le T < T_B \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$$

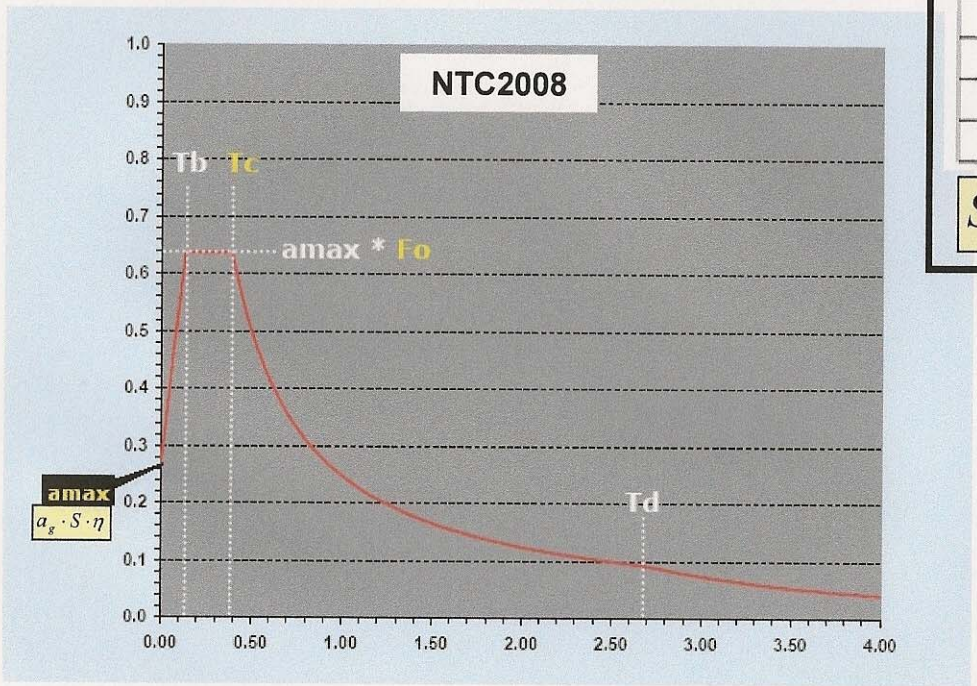


Tabella 3.2.V – *Espressioni di S_S e di C_C*

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

$$S = S_S \cdot S_T$$

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

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

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

Spettro di risposta elastico **NTC2008**

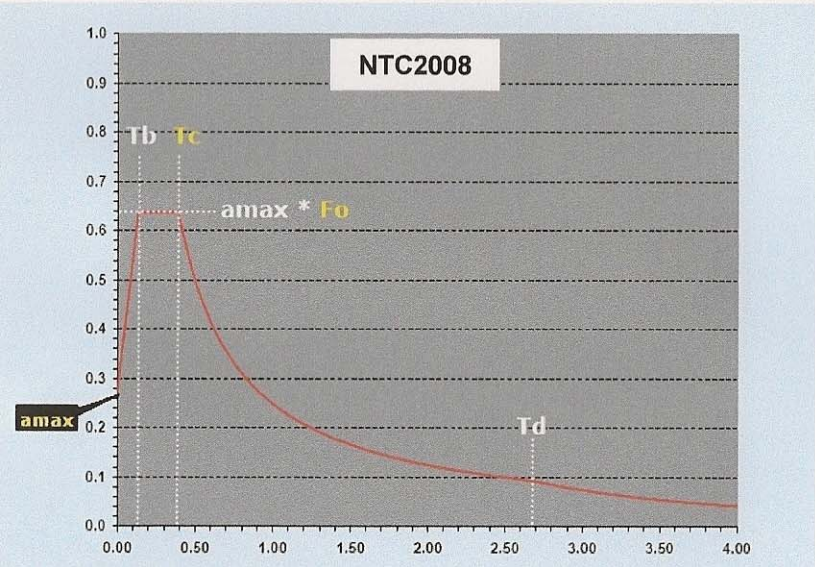
Distribuzione di Fo

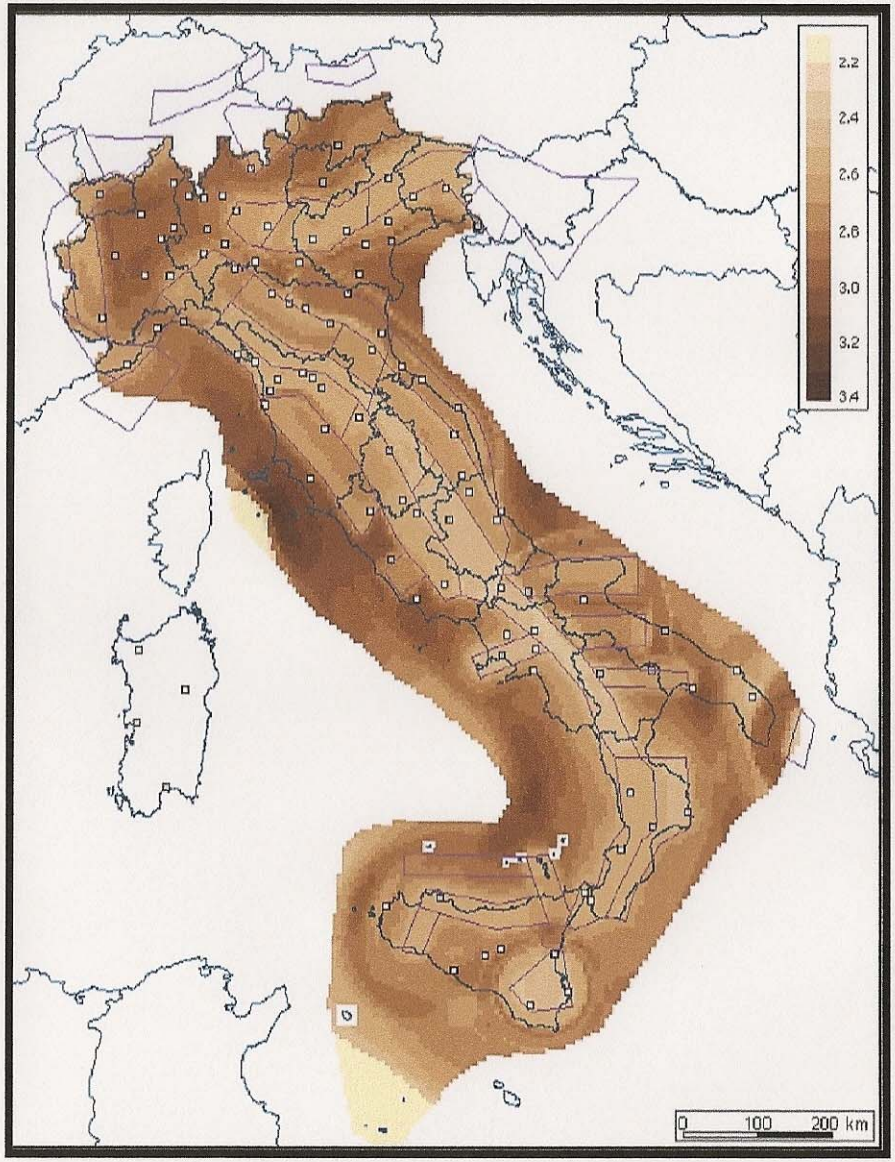
La norma prevede che Fo non possa essere minore di 2.2. Questo in realtà avviene eventualmente solo in aree lontane dalle zone sorgente.

Fo è il rapporto tra il valore massimo dello spettro e a_{max}.

Maggiore è Fo e più ripida è la parte ascendente dello spettro (circa tra 0 e 0.3 sec).

Questo parametro sembra essere funzione dell'inverso di a_{max}.





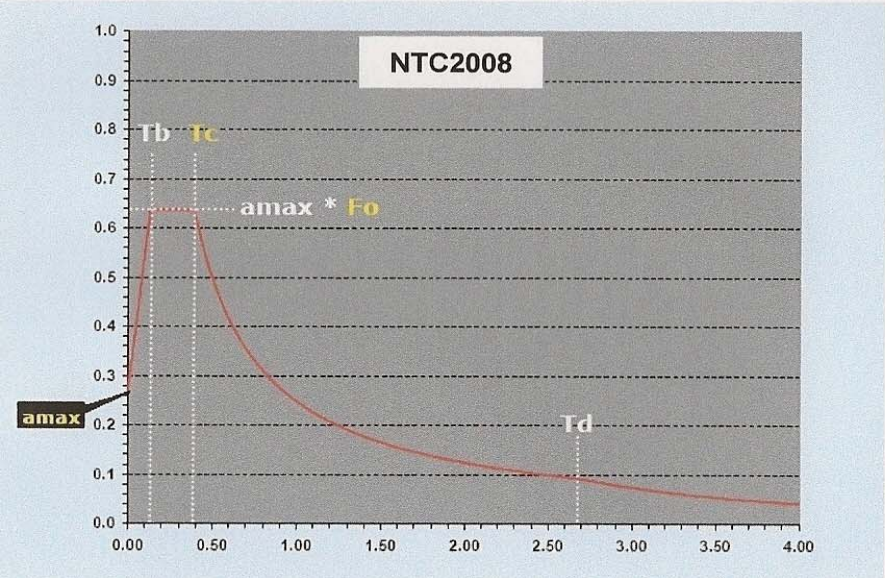
Spettro di risposta elastico NTC2008

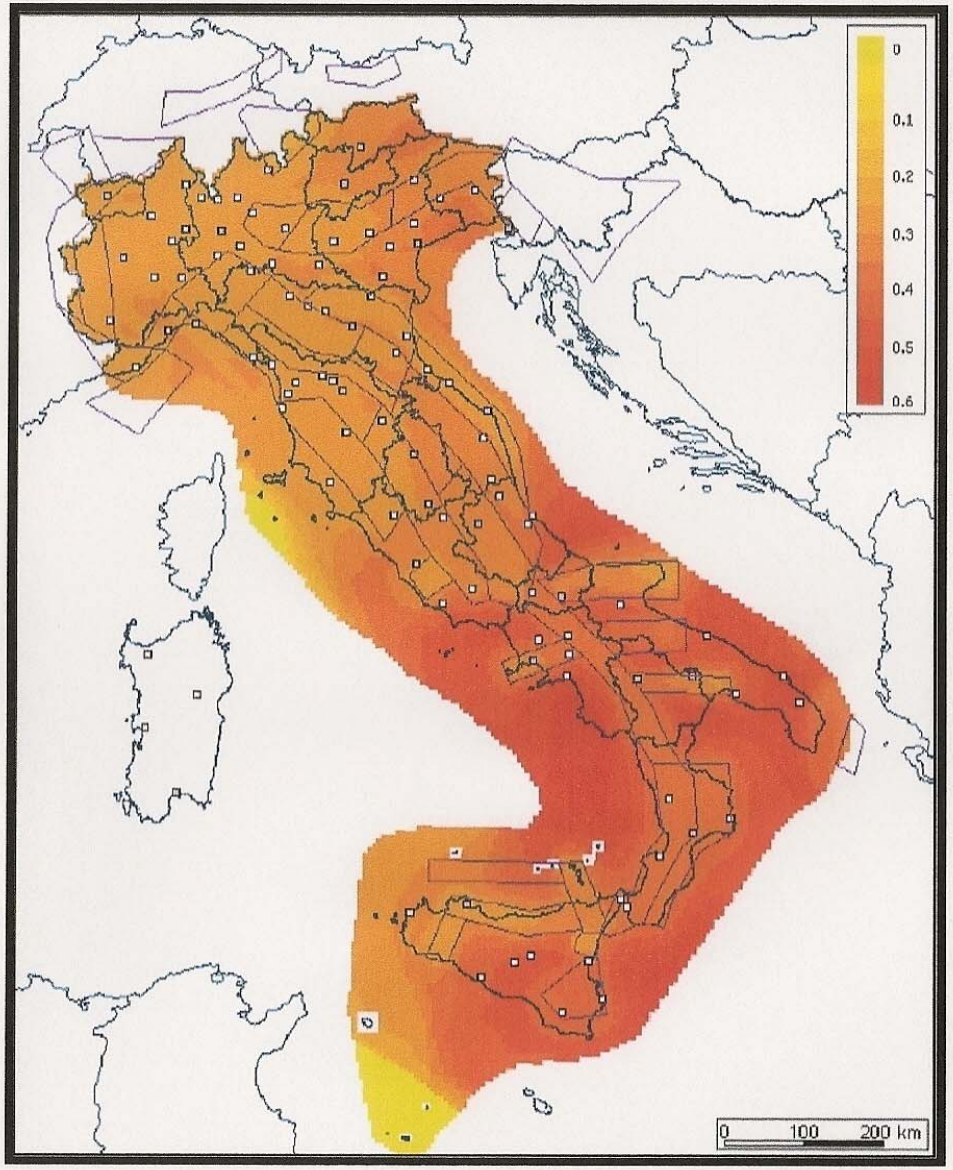
Distribuzione di Tc

Tc è il rapporto tra il valore massimo dello spettro in velocità e il valore massimo dello spettro in accelerazione.

Valori più grandi di Tc significano che lo spettro in accelerazione ha un plateau più esteso.

Si notano valori più grandi a Sud lontano dalle zone sorgente, a Nord è più uniforme.





Per le **componenti orizzontali del moto** e per le **categorie di sottosuolo di fondazione** definite nel § 3.2.2, **la forma spettrale** su sottosuolo di categoria **A** **è modificata** attraverso il ***coefficiente stratigrafico SS*** , il ***coefficiente topografico ST*** e il ***coefficiente CC*** che modifica il valore del periodo **TC** °.

° **TC è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro**

Amplificazione stratigrafica Ss

Per sottosuolo di categoria **A** ***i coefficienti Ss e Cc valgono 1.***

Per le categorie di sottosuolo **B, C, D** ed **E** ***i coefficienti Ss e Cc*** possono essere calcolati, in funzione dei valori di Fo e T*C relativi al sottosuolo di categoria **A,** mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di* S_S *e di* C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80 \cdot$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica S_T

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del **coefficiente topografico S_T** riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario. S_T si utilizza solo se H > 30 m.

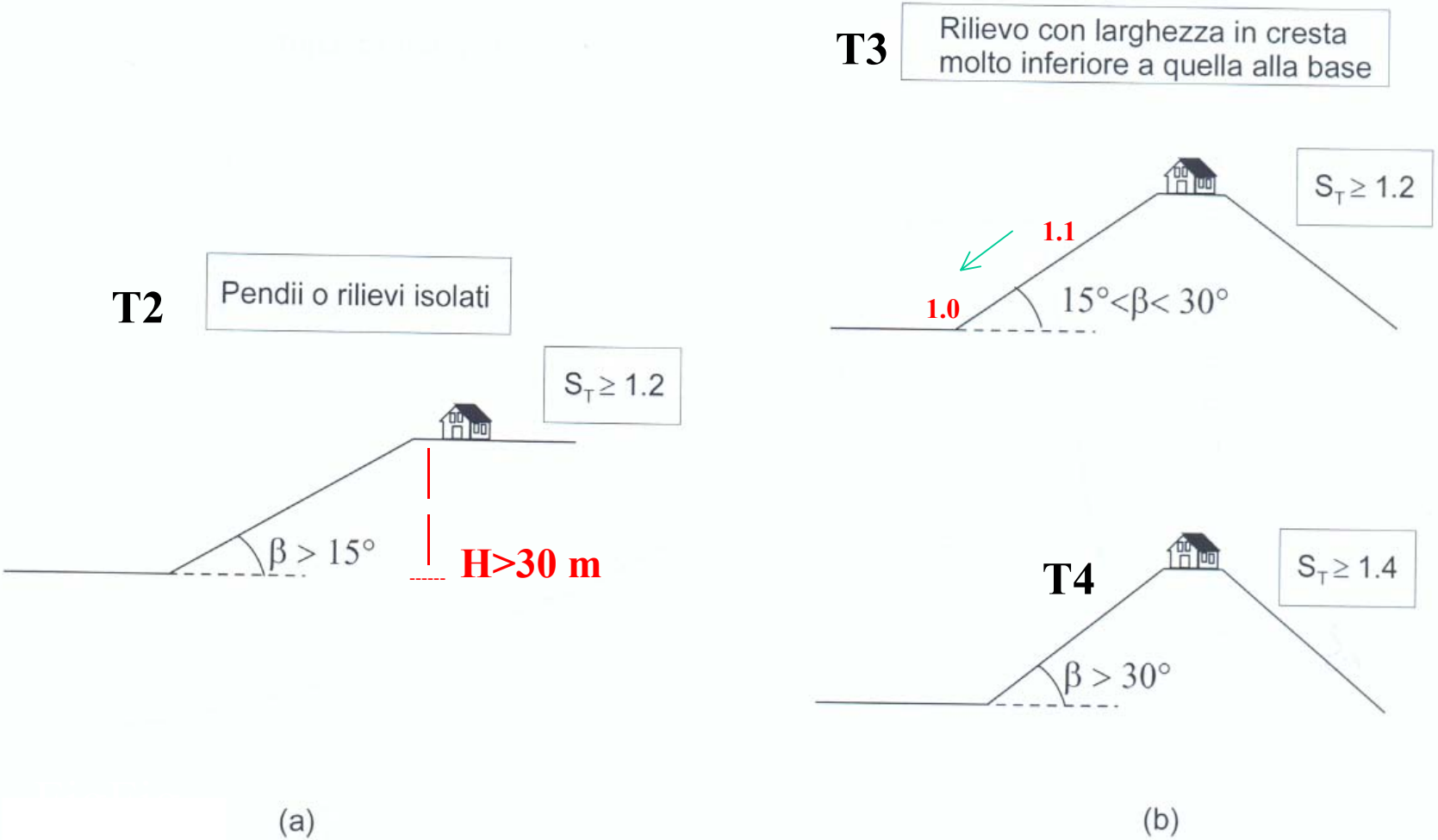


Fig.1 Valori del fattore di amplificazione topografica S_T secondo l'EC8 per (a) pendii e rilievi isolati e (b) rilievi con larghezza in cresta molto minore di quella alla base.

3.2.3.2.2 Spettro di risposta elastico in accelerazione della <u>componente verticale</u>

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$
\begin{aligned}
&0 \le T < T_B && S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
&T_B \le T < T_C && S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
&T_C \le T < T_D && S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
&T_D \le T && S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
\end{aligned}
\qquad (3.2.10)
$$

nelle quali T e S_{ve} sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e Fv è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno *ag* su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \qquad (3.2.11)$$

I valori di ag, Fo**, S,** η sono definiti nel § 3.2.3.2.1 per le componenti orizzontali; i valori di SS, TB, TC e TD, salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguenteTab. 3.2.VII.

Tabella 3.2.VII – *Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale*

Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tenere conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico **ST** riportati in Tab. 3.2.VI.

3.2.3.2.3 Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali SDe(T) si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione Se(T) mediante la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \qquad (3.2.12)$$

purché il periodo di vibrazione T non ecceda i valori TE indicati in Tab. 3.2.VIII.

Categoria sottosuolo	T_E [s]	T_F [s]
A	4,5	10,0
B	5,0	10,0
C, D, E	6,0	10,0

Tabella 3.2.VIII – *Valori dei parametri TE e TF*

3.2.3.4 Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio (SLE)

Per gli stati limite di esercizio **lo spettro di progetto Sd(T)** da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, **è lo spettro elastico corrispondente,** riferito alla probabilità di superamento, nel **periodo di riferimento PVR**, considerata (v. paragrafi 2.4 e 3.2.1).

3.2.3.5 Spettri di progetto per gli stati limite ultimi (SLU)

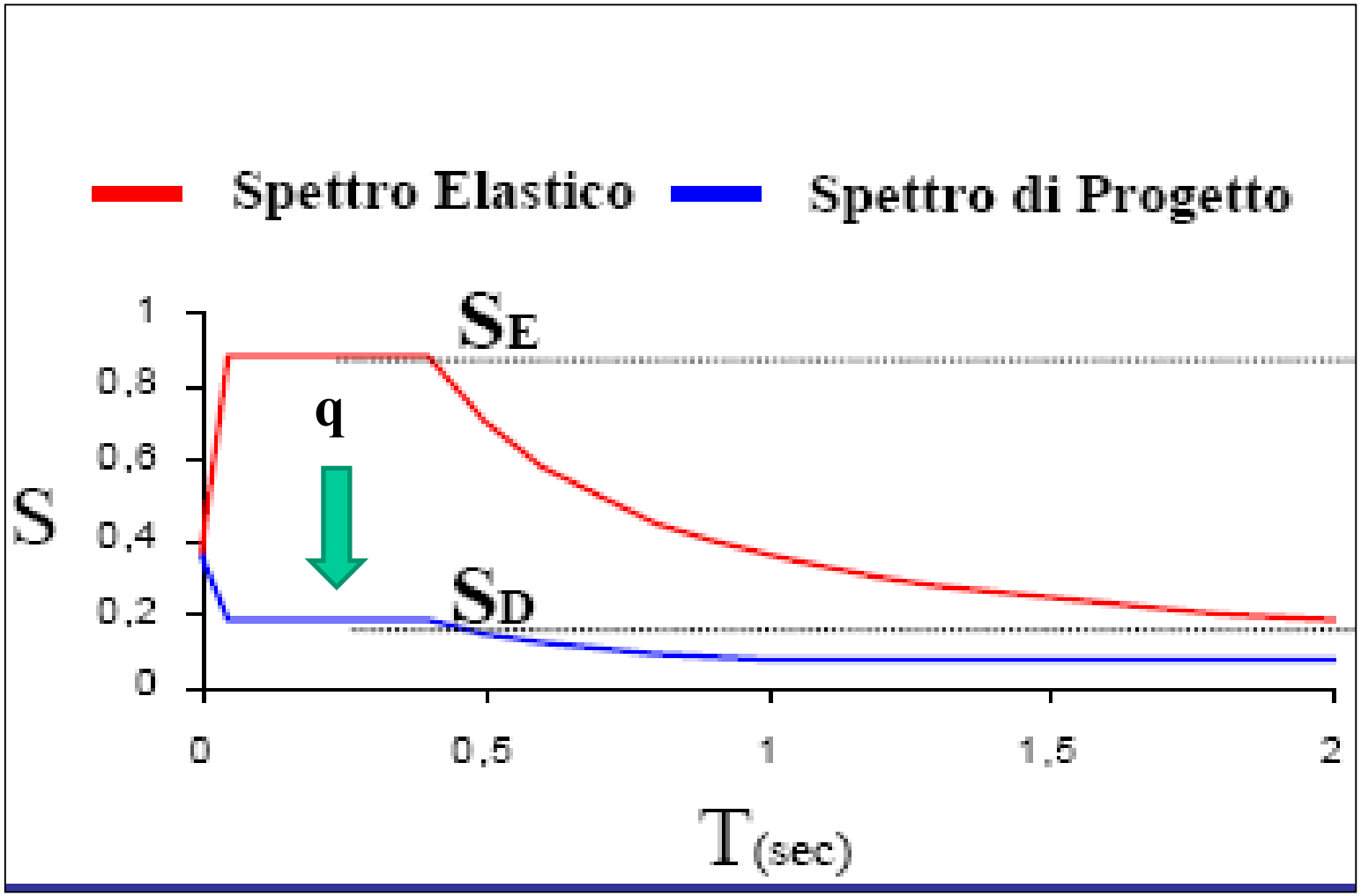
Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, **lo spettro di progetto Sd(T)** da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale**, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata (v. paragrafi 2.4 e 3.2.1), con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule 3.2.4 η con 1/q, dove q è il fattore di struttura** (fornito dallo strutturista) definito nel capitolo 7.

Si assumerà comunque

Sd(T) ≥ 0,2ag

$$
\begin{aligned}
&0 \le T < T_B && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right] \\
&T_B \le T < T_C && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
&T_C \le T < T_D && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) \\
&T_D \le T && S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)
\end{aligned}
\qquad (3.2.4)
$$

η smorzamento diverso da quello base del 5%



OBBLIGATORIO:

SD(T) ≥ 0,2ag

Impiego di accelerogrammi

Gli SLU e gli SLE possono essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi **artificiali** o **simulati** o **naturali**. Ciascun accelerogramma 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 accelerogrammi.

L'uso di accelerogrammi artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di accelerogrammi generati 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.

L'uso di accelerogrammi registrati (naturali) 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.

Gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.

Database:

- PEER: http//peer.berkeley.edu/smcat
- ESD: http//ww.isesd.cv.ic.ac.uk
- SISMA: http//ww.sisma.disg.uniroma1.it

D.M. 14-01-2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni

PREMESSA

1 OGGETTO

2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE
- Principi fondamentali
- Stati Limite
- Valutazione della sicurezza
- Vita Nominale – Classi d'uso – Periodo di riferimento
- Azioni sulle costruzioni
- Azioni nelle verifiche agli St. Limite
- Verifiche alle Tensioni Ammissibili

3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI
- Azione sismica
- Vento
- Neve
- Temperatura
- Az. Eccezionali

4 COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI
- Costruzioni
  - in calcestruzzo
  - in acciaio
  - miste acciaio-calcestruzzo
  - in legno
  - in muratura
  - in altri materiali

5 PONTI
- Ponti stradali
- Ponti ferroviari

6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA
- Disposizioni generali
- Articolazione del progetto
- Stabilità dei pendii naturali
- Opere di fondazione
- Opere di sostegno
- Tiranti di ancoraggio
- Opere in mat. Sciolti e fronti di scavo
- Miglioramento e rinforzo dei terreni
- Consolidamento geotecnico di op. esistenti
- Discariche e depositi di inerti
- Fattibilità di opere su grandi aree

7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE
- Requisiti nei confronti degli St. Limite
- Criteri generali di progettazione e modellazione
- Metodi di analisi e verifica
- Costruzioni
  - in calcestruzzo
  - in acciaio
  - miste acciaio-calcestruzzo
  - in legno
  - in muratura
  - in altri materiali
- Ponti
- Strutture con isolamento o dissipazione
- Opere e sistemi geotecnici

8 COSTRUZIONI ESISTENTI

9 COLLAUDO STATICO

10 REDAZIONE DEI PROGETTI ESECUTIVI E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO

11 MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

12 RIFERIMENTI TECNICI

ALLEGATO A: PERICOLOSITA' SISMICA

ALLEGATO B: TABELLE DEI PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA