



CORSO ITINERANTE SPECIALISTICO DI APPROFONDIMENTO SULLE NTC 2018

Roma, 29 gennaio 2019
Hotel Cicerone - via Cicerone, 55/C

NTC2018
Analisi della norma

EROS AIELLO

CGT

Centro di GeoTecnologie

GEOTECNICA, GEOINGEGNERIA e PROGETTAZIONE GEOLOGICA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA

Via Vetri Vecchi, 34 – 52027 San Giovanni Valdarno (AR)

eros.aiello@unisi.it



Dalle **NTC 2008** alle **NTC 2018**

Responsabili delle modifiche

Commissione redattrice GdL N. 8 – Geotecnica

Giuseppe Scarpelli (Coordinatore)

Lamberto Griffini, Massimo Grisolia, Carlo Lai, Michele Maugeri, Carlo Ricciardi, Sebastiano Rampello

Commissione relatrice - Geotecnica

Alberto Burghignoli, Alberto Clerici, Renato Lancellotta, Claudio Tamagnini

Commissione Circolare – Sottocommissione Geotecnica

Stefano Aversa (coordinatore)

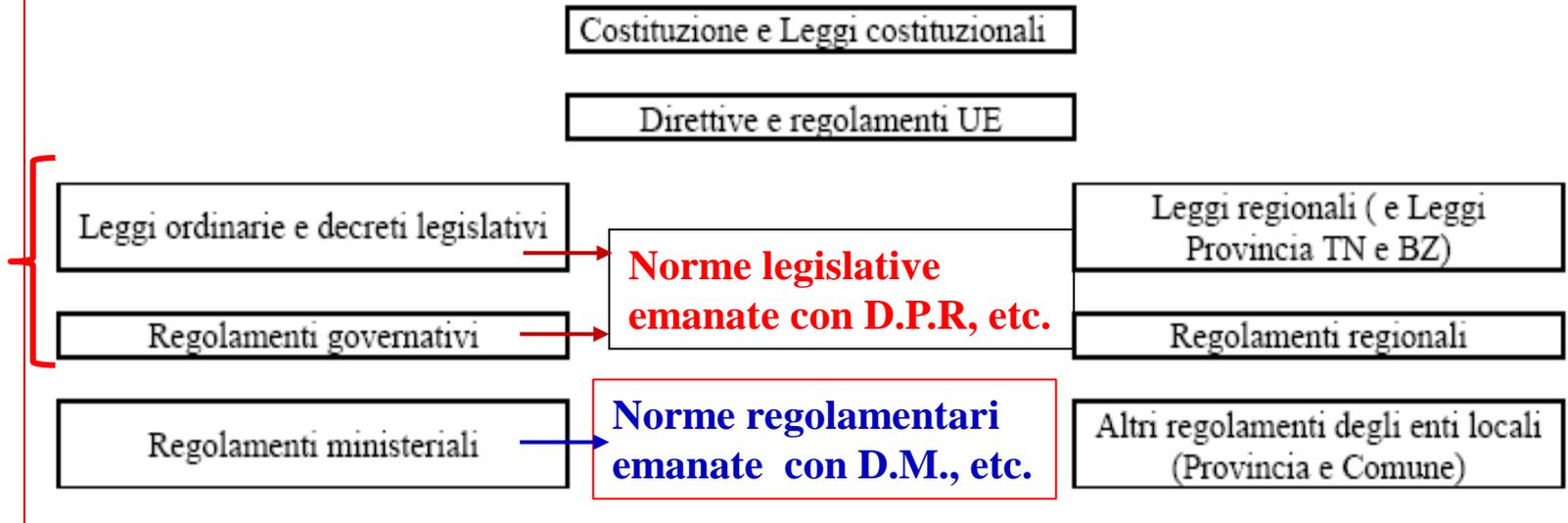
Alberto Burghignoli, Gianvito Graziano (sostituito da Raffaele Nardone),

Carlo Lai, Lorella Montrasio, Alberto Prestininzi, Giuseppe Scarpelli

integrata da

Francesco Colleselli, Francesco Maria Guadagno, Gabriele Scarascia Mugnozza, Vincenzo Simeone

GERARCHIA DELLE FONTI NORMATIVE



La normativa comunitaria è di ordine gerarchico superiore alle leggi ordinarie.

La riforma costituzionale del 2001 ha introdotto una ripartizione delle competenze tra stato e regioni che accresce notevolmente i poteri delle regioni. Il nuovo testo dell'articolo 117 costituzionale distingue infatti tre forme diverse di competenza legislativa:

*§ **Le materie di competenza esclusiva dello Stato:** politica estera e rapporti internazionali, immigrazione, difesa e sicurezza dello stato, norme generali sull'istruzione, previdenza sociale, dogane, protezione dei confini nazionali, tutela dell'ambiente e dei beni culturali, tutela del risparmio.*

*§ **Le materie di competenza concorrente fra stato e regione:** commercio con l'estero, tutela e sicurezza del lavoro, ricerca scientifica e tecnologica, tutela della salute, porti, aeroporti e reti di trasporto e navigazione, distribuzione dell'energia.*

*§ **Le materie di competenza esclusiva delle regioni sono tutte le altre.***

Le leggi regionali sono approvate dal consiglio regionale e promulgate dal presidente della regione.

LA "GERARCHIA" DELLA NORMATIVA ITALIANA

I livelli della normativa

La legislazione nazionale è ordinata secondo una precisa gerarchia:

0) COSTITUZIONE ITALIANA

1) NORME DI PRIMO LIVELLO

DIRETTIVE E REGOLAMENTI UE
(Disposizioni legislative)

1. Legge
2. D.P.R. - Decreto del Presidente della Repubblica
3. D.Lgs. - Decreto Legislativo
4. D.L. - Decreto Legge (emanato dal Governo -temporaneo: decade dopo 60 gg se non convertito in Legge - emanato solo per questioni a carattere di urgenza)

D.P.R. 328/01

2) NORME DI SECONDO LIVELLO (Disposizioni regolamentari)

1. D.M. - Decreto Ministeriale (Emanato dai Vari Ministeri)
2. D.P.C.M. - Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri
3. D.C.I. - Delibera Comitato Interministeriale

(D.M.17.01.'18)-NTC2018

3) NORME DI TERZO LIVELLO

1. Circolari
2. Interpretazioni
3. Ordinanze

Istruzioni per l'applicazione delle NTC

Il raccordo/coordinamento di leggi promulgate in tempi diversi è strutturato con le seguenti regole fondamentali:

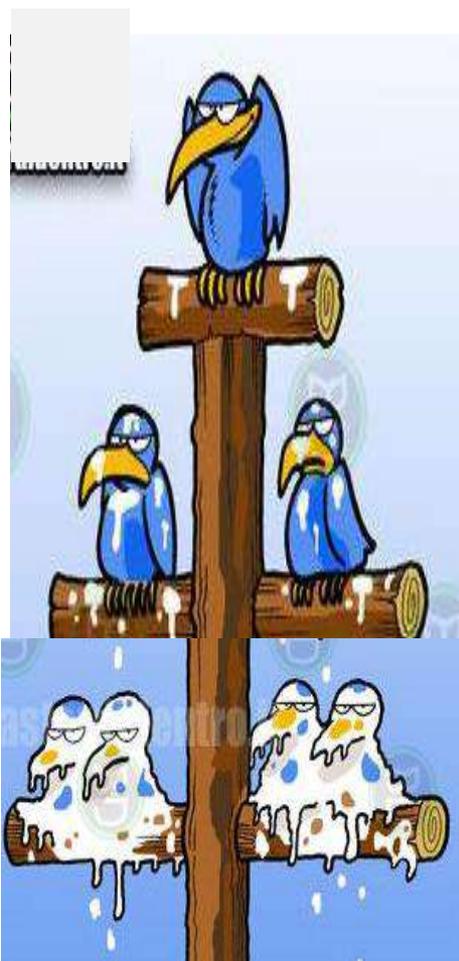
- una norma successiva di grado inferiore non può modificare una norma precedente di grado superiore;
- tra norme di pari efficacia quelle successive abrogano ed integrano quelle precedenti.

Le Leggi Ordinarie vengono promulgate dal Presidente della Repubblica previa approvazione dei due rami del Parlamento.

I Decreti Legislativi, adottati dal Governo su delega del Parlamento, sono atti normativi aventi efficacia di leggi formali.



ALBERO DELLE GERARCHIE DELLE NORME DI INTERESSE



D.P.R. 328/01
Disposizione legislativa

I Livello



D.M. 17.01.2018
(NTC 18)

Disposizione regolamentare

II Livello



Circolare esplicativa

III Livello

GEOLOGO **PROGETTISTA**

Il geologo è PROGETTISTA secondo quanto espresso dal DPR 328/01 comma 1, Art.41 (Attività professionali)

1. Formano oggetto dell'attività professionale degli iscritti nella sezione ...omissis..., oltre alle attività indicate nel comma 2, in particolare le attività implicanti assunzioni di responsabilità di programmazione e di progettazione degli interventi geologici;

comma 1, lettera e)
geotecnica e indagini geotecniche ;

comma 1, lettera g)
Gestione degli strumenti di pianificazione, programmazione e progettazione degli interventi geologici.



Da queste attribuzioni deriva il ruolo di PROGETTISTA.

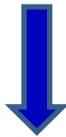
Nella fase progettuale delle opere pubbliche sono previste diverse figure professionali:

→ *il Responsabile Unico del Procedimento (RUP)*;

→ *i Progettisti* (e non uno solo), con un coordinatore;

→ *i Soggetti Verificatori*.

Pertanto, il termine **progettista** deve essere interpretato in senso più ampio di quello che emerge dalle NTC, e comunque, se il **geologo/geologo-geotecnico** non dovesse essere considerato tale, si entrerebbe in contrasto con il sovraordinato **D.P.R. 328/01** e, quindi, si rovescerebbe il **principio di gerarchia delle fonti**:



D.P.R. 328/01
gerarchicamente preminente su
D.M. 17.01.2018 – NTC 18
e Circolare esplicativa

Il geologo progettista:
-sentenza CDS 21/04/2016
-sentenza n. 1036 del 21
giugno 2018, TAR Puglia
sede di Lecce



ANAC

Autorità Nazionale Anticorruzione

L'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bolzano ha chiesto un parere ad ANAC con oggetto: "Affidamento a geologi di incarichi di progettazione, direzione lavori, misura e contabilità lavori, collaudo".

Detto Ordine ha chiesto se sia legittima la procedura di affidamento di servizi di ingegneria e architettura che preveda la partecipazione di geologi ed in cui l'oggetto della prestazione siano la progettazione nei tre livelli previsti, direzione lavori, misura e contabilità lavori e collaudo di costruzioni, di opere di ritenuta e di difesa (barriere e reti paramassi, valli, muri, gabbionate, ecc.). In particolare, ha sottoposto all'attenzione dell'Autorità la procedura con la quale è stato previsto l'affidamento a un professionista-geologo della **progettazione esecutiva** e della **direzione dei lavori di due barriere paramassi**, con contestuale affidamento a un ingegnere della parte di progettazione e direzione lavori relativa agli ancoraggi della barriera paramassi al suolo.



Secondo le indicazioni contenute nelle linee guida dell'ANAC, la professionalità del geologo si inserisce tra i servizi di progettazione, unitamente alle professionalità di ingegneri e architetti, fermo restando che le attività richieste nei bandi di gara, secondo valutazioni di merito di competenza delle amministrazioni aggiudicatrici, devono comunque essere quelle previste dall'ordinamento professionale di riferimento (art 41, D.P.R 328/2001; art. 3 L. 112/1963). A tale riguardo, si segnala che ai sensi dell'art. 41, comma 1 D.P.R 328/2001 formano oggetto dell'attività professionale di geologo, tra le altre, «le attività implicanti assunzioni di responsabilità di programmazione e di progettazione degli interventi geologici e di coordinamento tecnico-gestionale», tra le quali sono ricomprese anche le attività di «programmazione e progettazione degli interventi geologici strutturali e non strutturali, compreso l'eventuale relativo coordinamento di strutture tecnico gestionali».

Pertanto, alla luce della normativa professionale richiamata e delle linee guida n. 1/2016 come modificate nel 2017, appare legittima una procedura come quella sottoposta all'esame dell'Autorità (delibera GM. di Lana n. 567 del 12.12.2017) nella quale al geologo è stata affidata la progettazione esecutiva e la direzione dei lavori di due barriere paramassi, con contestuale affidamento a un ingegnere della parte di progettazione e di direzione dei lavori relativa agli ancoraggi della barriera paramassi al suolo.

 **IL GEOLOGO E' PROGETTISTA** 

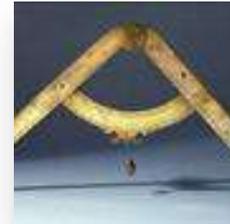
IL GEOTECNICO NELLE NTC 2018



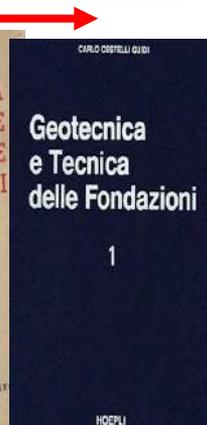
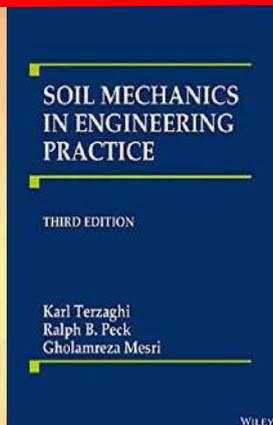
K. Terzaghi:
La geotecnica nasce da un'incursione dell'ingegneria nel campo della geologia.



GEOTECNICA



C. Cestelli Guidi:
La geotecnica mentre all'origine aveva il carattere di una avventura delle scienze delle Costruzioni nel campo della Geologia, poi è andata assumendo una propria fisionomia via via sempre più spiccata, ma è anche vero che mai potrà essere disconosciuta la matrice comune.



**Confusione “chirurgica” tra i termini:
Geotecnica e Ingegneria geotecnica
intesi “pro parte” come sinonimi**

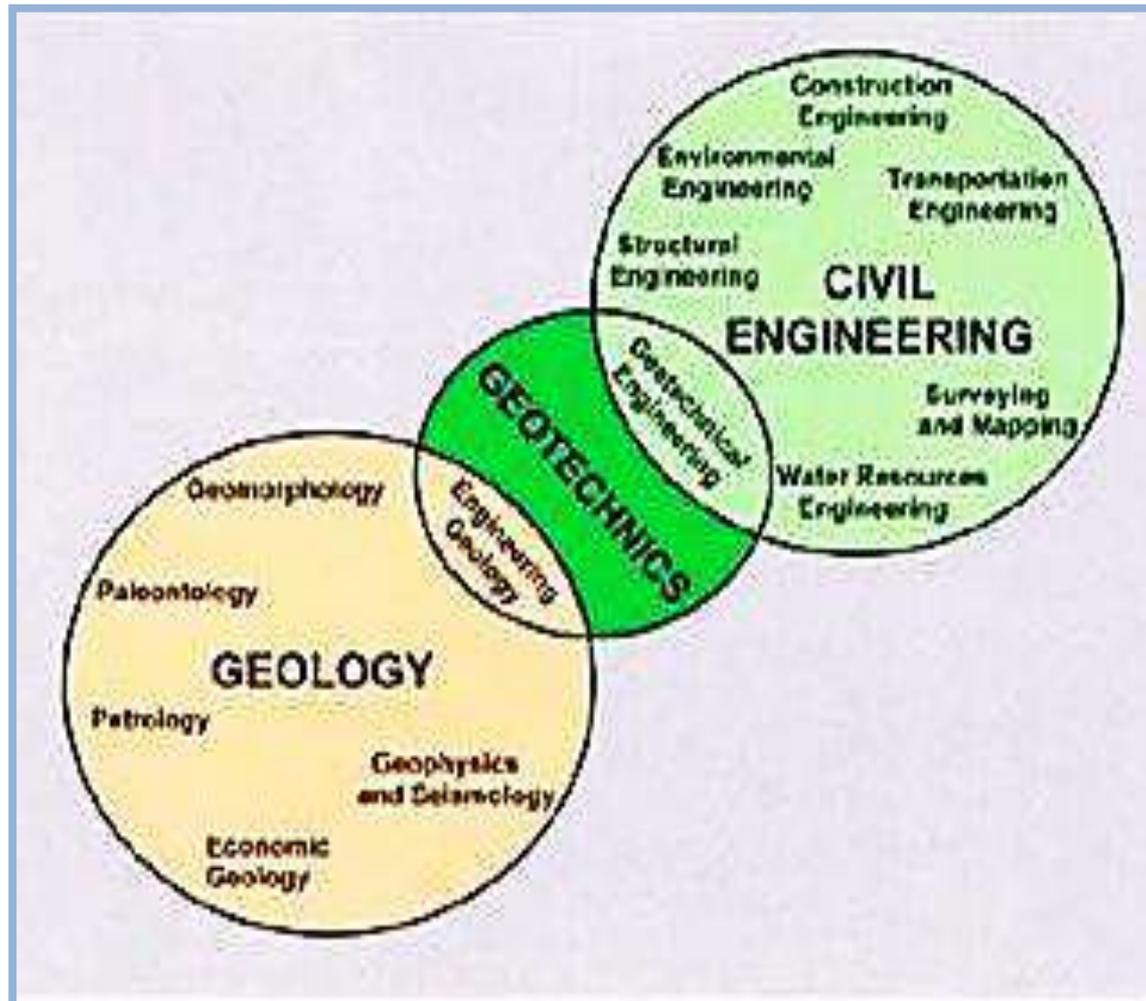
La **Geotecnica** è la disciplina che studia la *meccanica delle terre* e la *meccanica delle rocce* e la loro applicazione nelle opere di ingegneria ed è **materia concorrente tra ingegneri e geologi**

L’Ingegneria geotecnica è la disciplina che, sulla scorta della *geotecnica*, si occupa delle **verifiche strutturali geotecniche degli interventi che interessano il sottosuolo** (*fondazioni, opere di sostegno, scavi, rilevati, gallerie, palificazioni, paratie, consolidamenti di pendii, tiranti ed ancoraggi, cassoni, nuove edificazioni in pendio, vasche interrato, opere in terra rinforzata, argini fluviali, dighe in terra, ecc.*).

L’ingegneria geotecnica, dunque, per sua natura deve sempre interfacciarsi con la progettazione delle sovrastrutture e deve misurarsi con le *condizioni presenti al contorno*.

Le competenze richieste all'ingegnere geotecnico sono condivise con altre discipline, quali la *geologia*, *l’ingegneria strutturale*, *l’ingegneria idraulica*, *l’ingegneria dei trasporti*, *l’ingegneria sismica* e la *fisica*.

La **progettazione e la direzione lavori** di tali opere sono **di competenza dell’ingegnere geotecnico**, coadiuvato ovviamente dagli altri specialisti sopra menzionati.



**La confusione tra i termini
Geotecnica e Ingegneria geotecnica
è semplicemente strumentale**

IL GEOTECNICO NELLE NTC 18 DUNQUE CHI E'?



Ingegnere

o

Geologo

**Per diverse
sentenze negli
anni del
Consiglio di Stato**



Entrambi



**Per diversi
pronunciamenti
dei T.A.R. in
materia**

Leggere anche :
DOCUMENTO CONGIUNTO CNG - CNI
inviato al
Servizio Tecnico Centrale
Ministero dei Lavori Pubblici
aprile 2013

COMPETENZE PROFESSIONALI

GEOLOGO



Aspetti di sito*

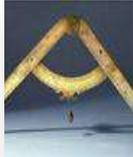


-Modello Geologico di Riferimento (MGR), Geomorfologia ed Idrogeologia di dettaglio progettuale, pericolosità geologica, **sismica** ed idraulica e relative Fattibilità nella Relazione Geologica, che contiene la **progettazione geologica**.

GEOTECNICO



Volume significativo**



-Relazione Geotecnica e Modellazione Sismica (già contenuta nella Relazione Geologica, perché indispensabile per la definizione della pericolosità sismica di base e di sito).

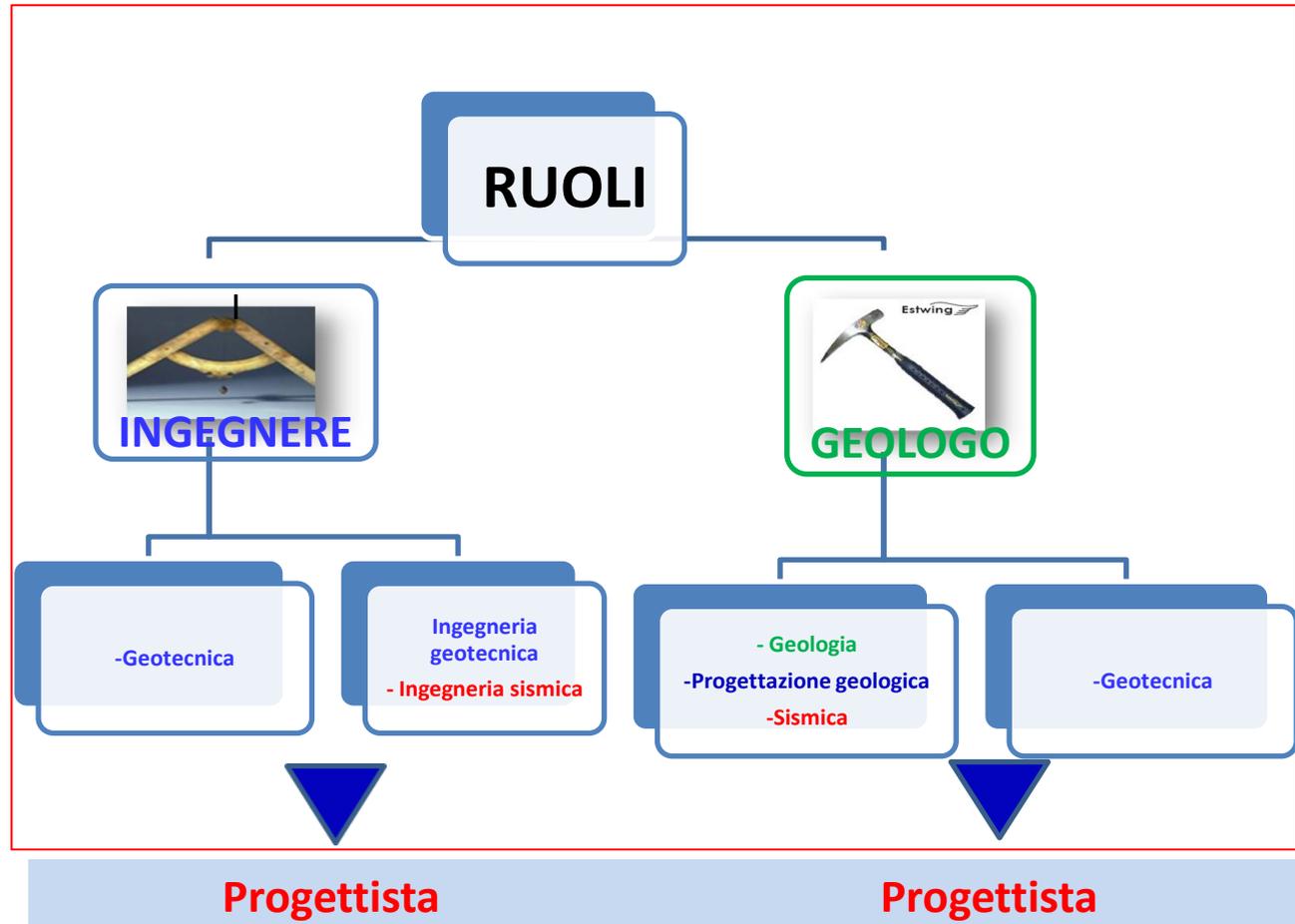


*** Esclusiva competenza del Geologo**

**** Materia concorrente (Geologo – Ingegnere)**

La geotecnica non è materia che si possa improvvisare!

L'attribuzione delle competenze per Legge è determinante, ma la competenza specifica per esercitare è fondamentale!



LE NORMATIVE ANTISISMICHE

Italia



- O.P.C.M. 3274 (2003)
- O.P.C.M. 3431 (2005) Norme per edifici
- Decreto Ministeriale 17/01/18 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 18) e riferimenti alle NTC 08**
- Circolare sulle Istruzioni - C.S. LL.PP**

Europa



- Eurocodice 8, versione 2005

Stati Uniti



- NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. 2009 Edition (FEMA P/750)
- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)
- IBC – International Building Code (2012)

NTC 2018

e

Circolare esplicativa

		Indice
PREMESSA		
1 OGGETTO	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	17
2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE		19
3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI	Azione sismica Vento Neve Temperatura Az. Eccezionali	56
4 COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI	Costruzioni in calcestruzzo in acciaio miste acciaio-calcestruzzo in legno in muratura in altri materiali	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
5 PONTI Ponti stradali Ponti ferroviari		
6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA		292
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	413
8 COSTRUZIONI ESISTENTI		420
9 COLLAUDO STATICO		
10 REDAZIONE DEI PROGETTI ESECUTIVI E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO		
11 MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE	Ponti Strutture con isolamento o dissipazione Opere e sistemi geotecnici	420
12 RIFERIMENTI TECNICI		422
Quadro sinottico opere – Approcci		

Nota:

Le slides con cornice nera si riferiscono al D.M. 17.01.2018 – NTC 18;
le slides con cornice verde si riferiscono alla Circolare esplicativa;
le slides con cornice rossa sono notazioni del redattore.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018

PREMESSA

1 OGGETTO

2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

4 COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI

5 PONTI

Ponti stradali
Ponti ferroviari

6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

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

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~~

Azione sismica
Vento
Neve
Temperatura
Az. Eccezionali

Costruzioni in calcestruzzo
in acciaio
miste acciaio-calcestruzzo
in legno
in muratura
in altri materiali

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

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

Cap.1 – Oggetto

PREMESSA

Le presenti Norme tecniche per le costruzioni sono emesse ai sensi delle leggi 5 novembre 1971, n. 1086, e 2 febbraio 1974, n. 64, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al DPR 6 giugno 2001, n. 380, e dell'art. 5 del DL 28 maggio 2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27 luglio 2004, n. 186 e ss. mm. ii.. Esse raccolgono in un unico organico testo le norme prima distribuite in diversi decreti ministeriali.



1. OGGETTO

Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse forniscono quindi i **criteri generali di sicurezza**, precisano le **azioni che devono essere utilizzate nel progetto**, definiscono le **caratteristiche dei materiali e dei prodotti** e, più in generale, trattano gli **aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere**.

Circa le indicazioni applicative per l'ottenimento delle **prescritte prestazioni**, per quanto non espressamente specificato nel presente documento, ci si può riferire a **normative di comprovata validità e ad altri documenti tecnici elencati nel Cap. 12**. In particolare quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018

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

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

Ponti
Strutture con isolamento o dissipazione
Opere e sistemi geotecnici

Capitolo 2.

SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

Modifiche introdotte dalle NTC18 rispetto alle NTC08

Paragrafo		Modifiche
Parte generale	2.2.4	Aggiunto nuovo paragrafo riguardo alle caratteristiche di durabilità delle opere.
	2.4.3	Eliminato il valore minimo di 35 anni per il periodo di riferimento dell'azione sismica. Rimesso dalla Circolare con errore di riferimento alle NTC18
	2.6.1	Modificati i coefficienti di combinazione per le condizioni favorevoli . <u>Ad esempio</u> le verifiche a ribaltamento e scorrimento presentano valori più permissivi. Lo Stato Limite per Ribaltamento (EQU) rientra fra gli Stai Limite (GEO) e la verifica va eseguita con DA2 (A1+M1+R3)
	2.7 (NTC2008)	Eliminato il paragrafo relativo alla possibilità di utilizzo delle tensioni ammissibili .

NdR:

Nelle NTC 2018 scompare, dunque, la limitazione di 35 anni come periodo minimo di riferimento V_R per la valutazione dell'azione sismica. Questo comporterebbe valutazioni differenti del periodo di ritorno T_R per le Costruzioni temporanee e provvisorie. **Ma la circolare smentirebbe tale assunto, affermando che nelle NTC 2018 vige il limite dei 35 anni!**

2. SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

2.1. PRINCIPI FONDAMENTALI

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto da queste norme.

La **sicurezza e le prestazioni di un'opera** o di una parte di essa **devono essere valutate in relazione agli Stati limite che si possono verificare durante la Vita nominale di progetto**^o.

Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze di seguito elencate.

(SL = Frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità)

^o La **vita nominale di progetto** di un'opera strutturale **VN** è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata (v. 2.2.4). **La VN di progetto è legata al livello di prestazione che si vuole ottenere per l'opera (Tab.2.4.1)**

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, **le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:**

- ***sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)***: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, o comportare la perdita di beni, o provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera;
- ***sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)***: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- ***sicurezza antincendio***: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
- ***durabilità***: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
- ***robustezza***: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo (SLU) ha carattere irreversibile.

(*ndr*: Eliminato dal testo NTC 08: e si definisce collasso)

Il superamento di uno stato limite di esercizio (SLE) può avere carattere reversibile o irreversibile .

Ndr: Il superamento di uno stato limite di esercizio (SLE) ha carattere reversibile nel caso che si esamini una situazione in cui la **deformazione o il danno cessino con l'estinguersi della causa** che ha determinato il superamento dello stato limite. **Se**, pur non avendosi il collasso, **l'opera subisce lesioni tali da renderla inutilizzabile**, in quest'ultimo caso siamo in presenza di **danni irreversibili** o di deformazioni permanenti inaccettabili. Ad esempio, nel caso di una fondazione superficiale ciò può verificarsi quando i cedimenti del terreno superano una soglia critica, provocando delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura.

Opere esistenti

Per le **opere esistenti** è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile **considerare solo gli stati limite ultimi (SLU)**. Maggiori dettagli sono dati al Cap.8.

CIRCOLARE C2

Relativamente ai metodi di calcolo è d'obbligo il Metodo agli stati limite. Ovviamente, nel caso di valutazioni di sicurezza di strutture esistenti, laddove si ricorra al "**progetto simulato**" è **ammesso il ricorso ai metodi di verifica previsti all'epoca del progetto originario**.

Ndr: Progetto simulato: "Serve, in mancanza dei disegni costruttivi originali, a definire la quantità e la disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale o le caratteristiche dei collegamenti. Deve essere eseguito sulla base delle norme tecniche in vigore e della pratica costruttiva caratteristica all'epoca della costruzione."

Le NTC 2018 prevedono, **per la definizione del grado di sicurezza delle costruzioni**, un **approccio di tipo semiprobabilistico, o di primo livello**, adottando i

Coefficienti parziali di sicurezza (γF) ed il concetto di **Stato Limite (SL)** (frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità)

Stati limite in generale:

SLU: stati limite ultimi, al limite tra stabilità del sistema e collasso dello stesso (intera struttura o parte di essa: pilastri, travi, cerniere, fondazioni, etc.), o terreno sottostante. **Limite prima della rottura ultima del terreno per flusso plastico, senza considerare gli effetti deformativi.**

SLE: stati limite di esercizio. Riguardano le **deformazioni del terreno** dovute al peso proprio (pressione litostatica) o a forze esterne (cedimenti).



In presenza di azioni sismiche

LIVELLI PRESTAZIONALI

$$SLE = SLO - SLD$$

$$SLU = SLV - SLC$$

In dettaglio



2.2 STATI LIMITE

2.2.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

I principali **Stati Limite Ultimi** sono :

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile;
- f) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni (Ndr. i.e.: carico di esercizio applicato > portanza terreno di fondazione); 
- g) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- h) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- i) instabilità di parti della struttura o del suo insieme.

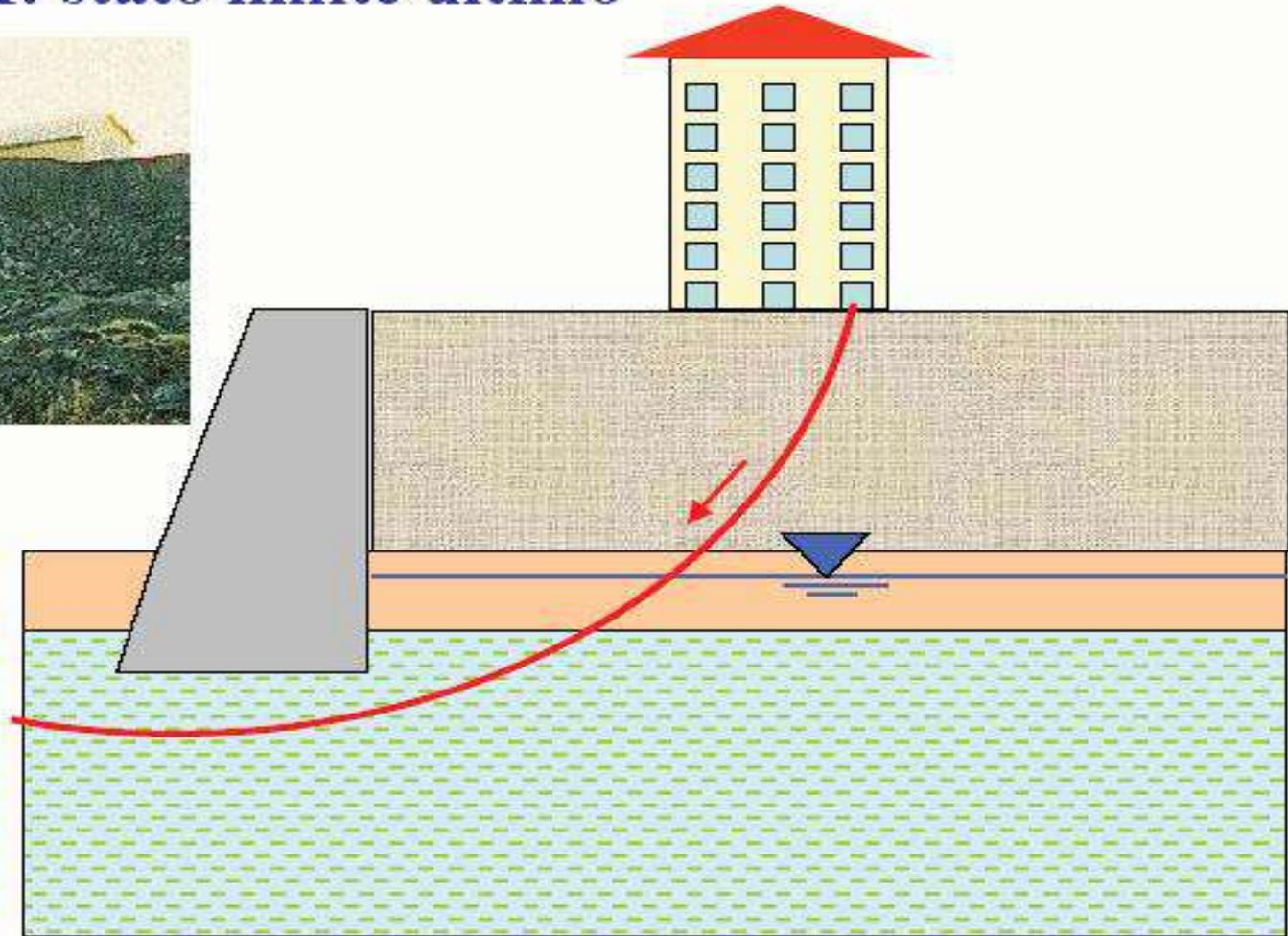
Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere;



in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi comprendono : 
gli Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e
gli Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC), come precisato nel § 3.2.1.

SLU

FONDAZIONI: stato limite ultimo



In presenza di azioni sismiche
Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

2.2.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

I principali **Stati Limite di Esercizio** sono :

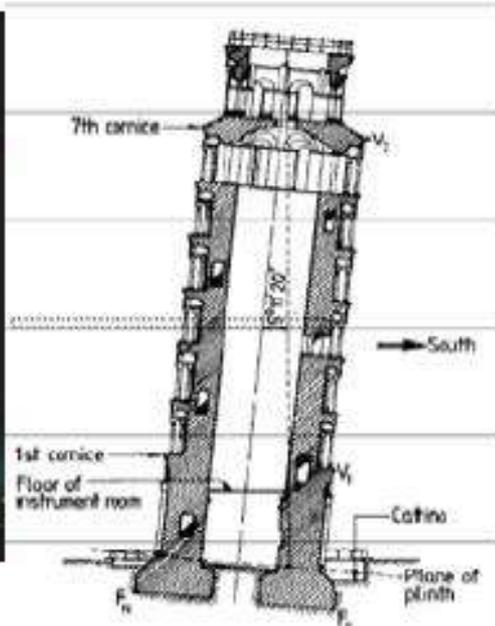
- a) danneggiamenti locali (ad es. **eccessiva fessurazione del calcestruzzo**) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) **spostamenti e deformazioni** *che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto* (**Ndr: con fondazione superficiale, quando i cedimenti > della soglia critica, si hanno delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura**); 
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità; **corrosione** e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere;

in presenza di azioni sismiche,  **gli Stati Limite di Esercizio** comprendono **gli Stati Limite di Operatività (SLO)** e **gli Stati Limite di Danno (SLD)**, come precisato nel § 3.2.1. 

SLE

FONDAZIONI: stato limite di esercizio



In presenza di azioni sismiche
Stati Limite di Operatività (SLO)
Stati Limite di Danno (SLD),

2.2.4. DURABILITA'

Un adeguato livello di durabilità può essere garantito progettando la costruzione, e la specifica manutenzione, in modo tale che il degrado della struttura che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto non riduca le prestazioni della costruzione al disotto del livello previsto.

Tale requisito può essere soddisfatto attraverso l'adozione di appropriati provvedimenti stabiliti tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione ed in base alle peculiarità del singolo progetto, tra cui:

- a) scelta opportuna dei materiali;
- b) dimensionamento opportuno delle strutture;
- c) scelta opportuna dei dettagli costruttivi;
- d) adozione di tipologie costruttive e strutturali che consentano, ove possibile, l'ispezionabilità delle parti strutturali;
- e) pianificazione di misure di protezione e manutenzione; oppure, quando queste non siano previste o possibili, progettazione rivolta a garantire che il deterioramento della costruzione struttura o dei materiali che la compongono non ne causi il collasso durante la sua vita nominale;
- f) impiego di prodotti e componenti chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche, indispensabili alla valutazione della sicurezza, e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Capitolo 11;
- g) applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali, soprattutto nei punti non più visibili o difficilmente ispezionabili ad opera completata;
- h) adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.

Le condizioni ambientali devono essere identificate in fase di progetto in modo da valutarne la rilevanza nei confronti della durabilità.

2.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Nel seguito sono riportati i criteri del **metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti parziali**, applicabili nella generalità dei casi; **tale metodo è detto di primo livello**.

Per opere di particolare importanza si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità di cui al Capitolo 12.

→• La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite ultimi (SLU)** è espressa dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d \quad [2.2.1]$$

con:

R_d = CAPACITA' di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza, duttilità e/o spostamento dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate ;

E_d = valore di progetto della DOMANDA, funzione dei valori di progetto delle azioni e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate

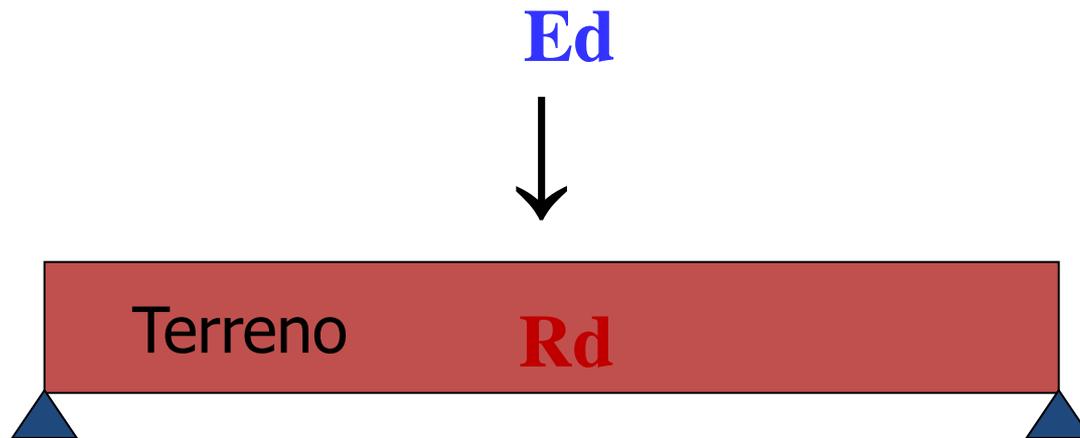
$$\mathbf{CAPACITA' \geq DOMANDA}$$

Verifica della sicurezza

Si studia la relazione fra le due grandezze:

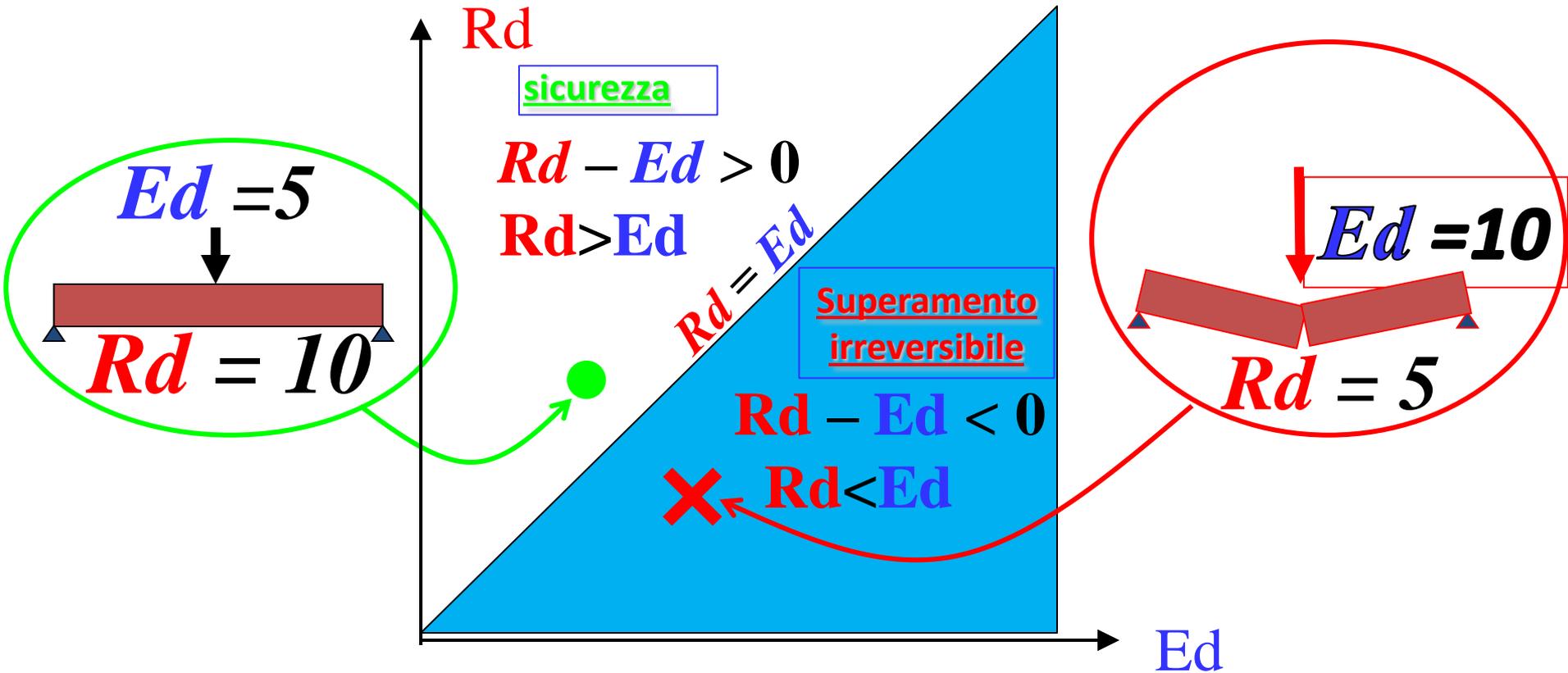
– ***Ed*** : Azione = **Domanda**

– ***Rd*** : Resistenza = **Capacità**



La verifica della sicurezza è espressa dall'equazione formale:

$$Rd \geq Ed$$



-I valori caratteristici dei parametri fisico-meccanici dei materiali sono definiti nel **Capitolo 11**.

-Per la sicurezza delle opere e dei sistemi geotecnici, i valori caratteristici dei parametri fisico-meccanici dei terreni sono definiti nel **§ 6.2.2**. 

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **Stati Limite di esercizio (SLE)** :

→•La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il **valore limite di progetto** associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato (**Cd**), con il corrispondente **valore di progetto dell'effetto delle azioni (Ed)**, attraverso la seguente espressione formale:

$$Cd \geq Ed \quad [2.2.2]$$

con

Cd soglia di deformazione determinata dallo strutturista

Ed valore della deformazione da noi calcolata

2.4. VITA NOMINALE **DI PROGETTO**, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

2.4.1. VITA NOMINALE DI PROGETTO

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab.2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le prestazioni dipendenti dal tempo. *(Sono state introdotte le categorie di opere differenziate sotto il profilo prestazionale e non tipologico).*

	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

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

Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate!!!

Per un'opera di nuova realizzazione la cui **fase di costruzione** abbia progettualmente una **durata P_N** , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a P_N e comunque non inferiore a 5 anni.

 **$5 \text{ anni} \leq V_N \text{ (in fase di costruzione)} \geq P_N$**

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni

2.4.2 CLASSI D'USO



(**ndr. In presenza di azioni sismiche**) Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, **le costruzioni sono suddivise in Classi d'uso** (circa corrispondenti alle **Classi di Importanza di EC8**) 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. [Ndr., **Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi** in questa categoria *i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi, (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento), gli uffici, i negozi*].

(**N.d.r.:** La **Classe d'Uso** **definisce i livelli minimi di sicurezza differenziati in relazione alla funzione svolta nella costruzione e alle conseguenze che ne derivano in caso di fallimento.**

Il livello di prestazione è cosa diversa dalla Classe d'uso e scaturisce da una valutazione tecnico-economica).

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. (Ndr. **Scuole. Teatri, Musei, Tribune, sale con affollamenti significativi, etc.**).

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5/11/2001, 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.

2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA (V_R)



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

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso **C_U** è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella sottostante tabella

Tab. 2AII - 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

→ **Circolare** : «Se V_R < 35 anni, si assume V_R = 35 anni»*

Tabella C2.4. I. - Intervalli di valori attribuiti a V_R al variare di V_N e C_U

VITA NOMINALE V _N	VALORI DI V _R			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

→ **C_U = 2.5**

*Se sparisse la soglia dei 35 anni questo comporterebbe valutazioni differenti del periodo di ritorno TR per le Costruzioni temporanee e provvisorie.

1) Vita Nominale di progetto VN → numero di anni di uso della struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria così come prevista in sede di progetto.

NTC18

	Tipi di costruzioni	Valori minimi di VN(anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

NTC08

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale VN (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

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



S **2) Classi d'Uso in presenza di azioni sismiche** → IV classi:

I II III IV

S **3) Coefficiente d'uso Cu (0,7 – 1,0 – 1,5 – 2,0)**

M

A **4) Periodo di riferimento per l'azione sismica VR = VN * CU**

Circolare : «Se VR < 35 anni, si assume VR = 35 anni»

2.5. AZIONI SULLE COSTRUZIONI

2.5.1. CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI

Si definisce azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura.

2.5.1.1 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI IN BASE AL MODO DI ESPLICARSI

- a) dirette: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- b) indirette: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincoli, ecc.
- c) degrado:
 - endogeno: alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
 - esogeno: alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni.

2.5.1.2 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI SECONDO LA RISPOSTA STRUTTURALE

- a) statiche: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- b) pseudo statiche : azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- c) dinamiche: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

2.5.1.3 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI SECONDO LA VARIAZIONE DELLA LORO INTENSITÀ NEL TEMPO

a) **permanenti (G)**: azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità :

- peso proprio di tutti gli **elementi strutturali (G1)**; **peso proprio del terreno**, quando pertinente; **forze indotte dal terreno** (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); **forze risultanti dalla pressione dell'acqua** (quando si configurino costanti nel tempo); ← (G1)

- peso proprio di tutti gli **elementi non strutturali (G2)**; ← (G2)
- spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;

- Presollecitazione;

b) **variabili (Q)**: azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:

- *sovraccarichi*; - *azioni del vento*; - *azioni della neve*; - *azioni della temperatura*.

Le azioni variabili sono dette di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. A seconda del sito ove sorge la costruzione, una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata. ← (Q)

c) **eccezionali (A)**: azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura; - incendi; - esplosioni; - urti ed impatti; ← (E)

d) **sismiche (E)**: azioni derivanti dai terremoti.

Quando rilevante, nella valutazione dell'effetto delle azioni è necessario tenere conto del comportamento dipendente dal tempo dei materiali, come per la viscosità.

2.5.2. CARATTERIZZAZIONE DELLE AZIONI ELEMENTARI

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura F_d è ottenuto dal suo valore caratteristico F_k , come indicato nel §2.3.

Salvo i casi caratterizzati da elevata variabilità, **si definisce valore caratteristico G_k di un'azione permanente (G), il valore medio della distribuzione dei valori correnti.**

In accordo con le definizioni del §2.3, il valore caratteristico G_k di azioni permanenti caratterizzate da distribuzioni con coefficienti di variazione minori di 0,10 si può assumere coincidente con il valore medio.

Nel caso di **azioni variabili** caratterizzate da distribuzioni dei valori estremi dipendenti dal tempo, **si assume come valore caratteristico quello caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno.** Per le azioni ambientali (neve, vento, temperatura) il periodo di ritorno è posto uguale a 50 anni, corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 2% su base annua; per le azioni da traffico sui ponti stradali il periodo di ritorno è convenzionalmente assunto pari a 1000 anni.

Nella definizione delle combinazioni delle azioni, i termini **Q_{kj}** rappresentano le **azioni variabili di diversa natura che possono agire contemporaneamente:**

Q_{k1} rappresenta **l'azione variabile di base**

Q_{k2}, Q_{k3}, \dots le **azioni variabili d'accompagnamento**, che possono agire contemporaneamente a quella di base.

Con riferimento alla **durata relativa ai livelli di intensità di un'azione variabile**, si definiscono:

- **valore quasi permanente $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$** : il valore istantaneo superato per oltre il 50% del tempo nel periodo di riferimento.

Indicativamente, esso può assumersi uguale alla media della distribuzione temporale dell'intensità;

- **valore frequente $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$** : il valore superato per un periodo totale di tempo che rappresenti una piccola frazione del periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale al frattile 95% della distribuzione temporale dell'intensità;

- **valore di combinazione (ex raro) $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$** : il valore tale che la probabilità di superamento degli effetti causati dalla concomitanza con altre azioni sia circa la stessa di quella associata al valore caratteristico di una singola azione.

Nel caso in cui la caratterizzazione probabilistica dell'azione considerata non sia disponibile, ad essa può essere attribuito il valore nominale. Nel seguito sono indicati con pedice k i valori caratteristici; senza pedice k i valori nominali.

La Tab. 2.5.I riporta i coefficienti di combinazione da adottarsi per gli edifici civili e industriali di tipo corrente.

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

NTC08

Integrazione delle Categorie/Azioni variabili

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - <u>Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale</u> Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi <u>ed aree per il traffico di veicoli</u> (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi <u>ed aree per il traffico di veicoli</u> (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

NTC18

2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI [consentono di pervenire al valore di Ed – (Ed ≤ Rd)]

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (+ vuol dire : **combinato con**) [Colore Rosso Combinazione dedicata agli SLU - Azzurro agli SLE]:

– **Combinazione fondamentale**, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \dots$$

– **Combinazione caratteristica, cosiddetta rara**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, (Ndr: utilizzava anche per le Tensioni Ammissibili) ←

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \dots$$

– **Combinazione frequente**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G1 + G2 + P + \psi 11 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$$

– **Combinazione quasi permanente (SLE)**, generalmente impiegata **per gli effetti a lungo termine**:

$$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$$

– **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$$

– **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6):

$$G1 + G2 + P + Ad + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali: **G1 + G2 + $\sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$** . Nelle combinazioni si intende che **vengono omissi i carichi Qkj che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2**. Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.). I valori dei **coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qj}** sono dati nel **§ 2.6.1, Tab. 2.6.I**

COMBINAZIONI DELLE AZIONI IN FUNZIONE DEL TIPO DI CALCOLO

stati limite ultimi (SLU):

Combinazione fondamentale statica

$$\gamma G_1 \times G_1 + \gamma G_2 \times G_2 + \gamma P \times P + \gamma Q_1 \times Q_{k1} + \gamma Q_2 \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma Q_3 \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots \longrightarrow = E_d$$

(per qlim statica; confronto nella disequazione tra Ed e Rd)

stati limite di esercizio statici (SLE) irreversibili

Combinazione caratteristica rara:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

(cedimento istantaneo irreversibile)

Si

stati limite di esercizio statici (SLE) reversibili

(cedimenti immediati):

Combinazione frequente

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$$

Si

stati limite di esercizio statici (SLE)

(cedimenti a lungo termine)

Combinazione quasi permanente

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \psi_{23} \times Q_{k3} + \dots$$

Sc

stati limite ultimi (qlim sismica) SLV
e di esercizio (cedimenti sismici) SLD

Combinazione sismica

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$



2.6. AZIONI NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni precedentemente definite.

2.6.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono (i seguenti stati limite):

- ● **EQU**- stato limite di equilibrio come corpo rigido.
- ● **STR**- stato limite di resistenza della struttura, compresi gli elementi di fondazione.
- ● **GEO**- stato limite di resistenza del terreno.

Fatte salve tutte le prescrizioni fornite nei capitoli successivi delle presenti norme, la Tab. 2.6.I riporta i valori dei coefficienti parziali γ_F da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (**EQU**) si utilizzano i coefficienti γ_F riportati nella colonna **EQU** della Tabella 2.6.I.

Nel Capitolo 6 (Progettazione geotecnica) vengono presi in considerazione anche gli **stati limite ultimi di tipo idraulico**, che si anticipano per completezza informativa:

Stati limite ultimi di tipo idraulico :

- **UPL** - perdita di equilibrio del terreno o della struttura *per la sottospinta dell'acqua*
- **HYD** - **erosione e sifonamento** del terreno dovuto ai gradienti idraulici

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I i coefficienti dei carichi permanenti non strutturali **G2** rispetto alle **NTC 08** (0,0-0,0-0,0) sono stati corretti nelle **NTC 2018** (0,8-0,8-0,8).

Circolare - C2.6.1 STATI LIMITE ULTIMI

Le NTC fanno riferimento a tre principali stati limite ultimi:

NEW →



-Lo stato limite per la perdita dell'equilibrio EQU della struttura o di una sua parte considerati come corpi rigidi, **non riguarda più il terreno o l'insieme terreno-struttura, compreso adesso nelle verifiche GEO, ma tale verifica è limitata al ribaltamento di strutture fuori terra (ad esempio ciminiere, cartelloni pubblicitari, torri, ecc. rispetto ad una estremità della fondazione).**

-Lo stato limite di resistenza della struttura, STR, che riguarda anche gli elementi di fondazione e di sostegno del terreno, è da prendersi a riferimento per tutti i dimensionamenti strutturali. Nei casi in cui le azioni sulle strutture siano esercitate dal terreno, si deve far riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

-Lo stato limite di resistenza del terreno, GEO, deve essere preso a riferimento per il dimensionamento geotecnico delle opere di fondazione e di sostegno e, più in generale, delle strutture che interagiscono direttamente con il terreno, oltre che per le verifiche delle opere di terra (rilevati, argini, ...), degli scavi e di stabilità globale dell'insieme terreno-struttura. Tra gli stati limite GEO sono da considerare anche meccanismi di rottura che coinvolgano la struttura o parte di essa (è il caso, ad esempio, della resistenza a carico limite sotto forze trasversali dei pali di fondazione).

Nel Cap. 6 delle NTC (Progettazione geotecnica), sono anche considerati gli **stati limite ultimi di tipo idraulico**, che riguardano la perdita d'equilibrio della struttura o del terreno dovuta alla sottospinta dell'acqua (**UPL**) o l'erosione e il sifonamento del terreno dovuto ai gradienti idraulici (**HYD**).

SINTESI DEL SIGNIFICATO DEGLI SLU :

EQU: (S.L. “**di Equilibrio**” come corpo rigido);(*Torri, antenne, ciminiere*).

UPL: (S.L. “**di Sollevamento**”) perdita di equilibrio dovuta al sollevamento causato dalla pressione dell’acqua o da altre azioni verticali.

HYD: (S.L. “**per Gradienti Idraulici**”) collasso dovuto a gradienti idraulici.

STR: (S.L. “**di resistenza della struttura**”, **compresi gli elementi di fondazione**).

GEO: (S.L. “**di resistenza del terreno**”). Comprende anche la perdita dell’equilibrio del terreno o dell’insieme terreno – struttura (ex **EQU**).

La verifica della sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di resistenza si ottiene tramite l’equazione formale

$$R_d \geq E_d$$

Rd=resistenza di progetto;

Ed=valore di progetto dell’effetto delle azioni.

Per la progettazione di elementi strutturali che coinvolgano azioni di tipo geotecnico (plinti, platee, pali, muri di sostegno, ...) **le verifiche** nei confronti di

{ (STR) *stati limite ultimi* strutturali
e
(GEO) *stati limite ultimi* geotecnici



si eseguono adottando **due** possibili **approcci progettuali**, fra loro alternativi:

APPROCCIO 1 (DA1)



Combinazione 1 STR
(A1+M1+R1)

Combinazione 2 GEO
(A2+M2+R2)

APPROCCIO 2 (DA2)



Combinazione unica GEO / STR
(A1+M1+R3) (A1+M1)



(DA1)-Nell'Approccio 1, le verifiche si conducono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le **azioni A** (γ_F), per la **resistenza dei materiali** (γ_M) e, eventualmente, per la **resistenza globale del sistema** (γ_R).

-Nella **Combinazione 1 dell'Approccio 1**, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F , riportati nella colonna **A1** della **Tabella 2.6.I**.

-Nella **Combinazione 2 dell'Approccio 1**, si impiegano invece i coefficienti γ_F riportati nella colonna **A2**. In tutti i casi, sia nei confronti del dimensionamento strutturale, sia per quello geotecnico, si deve utilizzare la combinazione più gravosa fra le due precedenti.

(DA2)-Nell'Approccio 2 si impiega **un'unica combinazione** dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le **Azioni A** (γ_F), per la **resistenza dei materiali M** (γ_M) e, eventualmente, per la **resistenza globale R** (γ_R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti (γ_F), riportati nella colonna **A1** (v. Tab. 2.6.I).

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

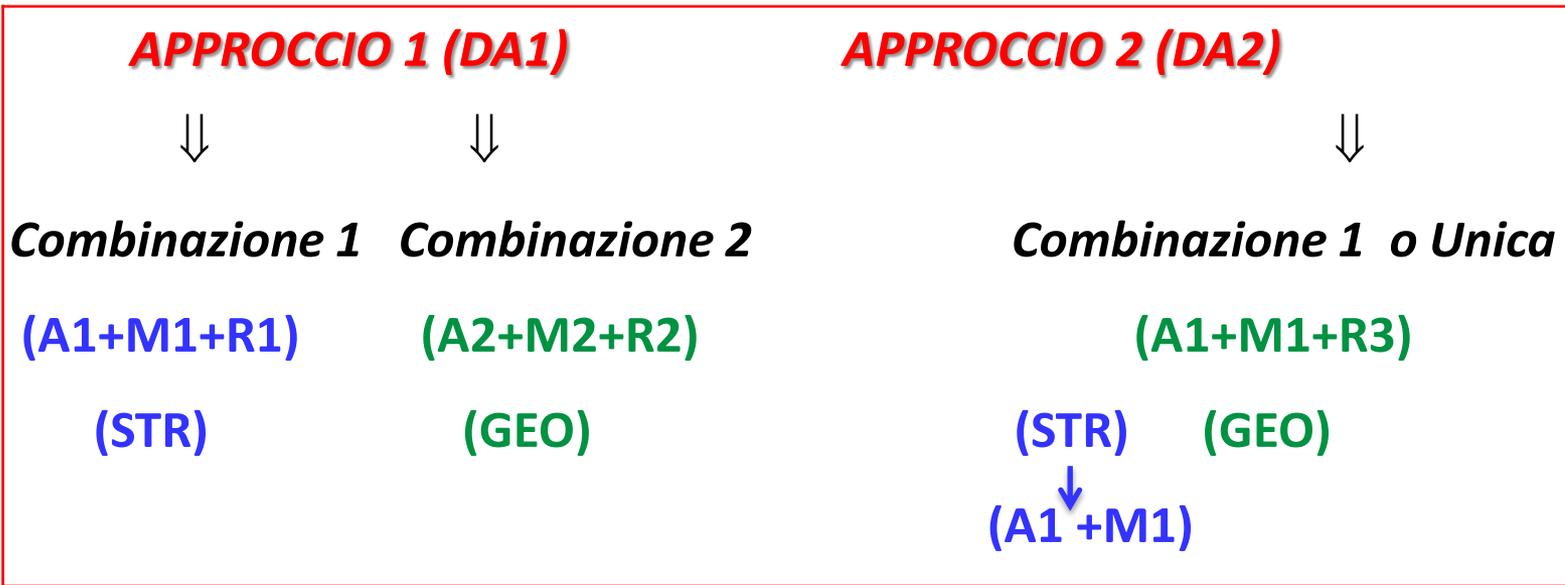
		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

I coefficienti γ_M e γ_R sono definiti nei capitoli successivi.

Eliminati in Tab.STR e GEO riferiti alle azioni

In sintesi, nelle verifiche (**SLU**) nei confronti degli **stati limite ultimi strutturali (STR)** e **geotecnici (GEO)** si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali:



Le **Combinazioni** sono formate da gruppi di **coefficienti parziali γ**

con

A = Azioni γF (per i coefficienti γF v. Tab. 2.6.I) →

M = resistenza dei materiali (terreno) γM (definito nei capitoli successivi)

R = Resistenza globale del sistema γR (definito nei capitoli successivi)

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

Esempio **A** (**A1+M1+R3**) **Azioni** :

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	γ_{G1} Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	γ_{G2} Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Eliminati STR e GEO dalla Tab.

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del **peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;**

γ_{G2} coefficiente parziale dei **pesi propri degli elementi non strutturali;**

γ_{Qi} coefficiente parziale delle **azioni variabili.**

Nel caso in cui l'azione sia **costituita dalla spinta del terreno**, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Cap.6 (ndr. **"Progettazione Geotecnica"**).

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a $\gamma_P = 1,0$.

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nei capitoli successivi con riferimento a particolari azioni specifiche..

2.6.2. STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche agli **stati limite di esercizio (SLE)** riguardano le voci riportate al **§ 2.2.2.** *

Nel Capitolo 4, per le condizioni non sismiche, e **nel Capitolo 7, per le condizioni sismiche**, sono date specifiche indicazioni sulle verifiche in questione, *con riferimento ai diversi materiali strutturali.*

* § 2.2.2

$$C_d \geq E_d$$

[2.2.2]

- a) **danneggiamenti locali** (ad es. **eccessiva fessurazione del calcestruzzo**) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) **spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto (con fondazione superficiale, quando i cedimenti > della soglia critica, si hanno delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura)**; 
- c) **spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;**
- d) **vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;**
- e) **danni per fatica** che possano compromettere la durabilità; **corrosione** e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

NTC 08

2.7 VERIFICHE ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

NTC 18

Eliminato il paragrafo 2.7

FINE DELLE VERIFICHE ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

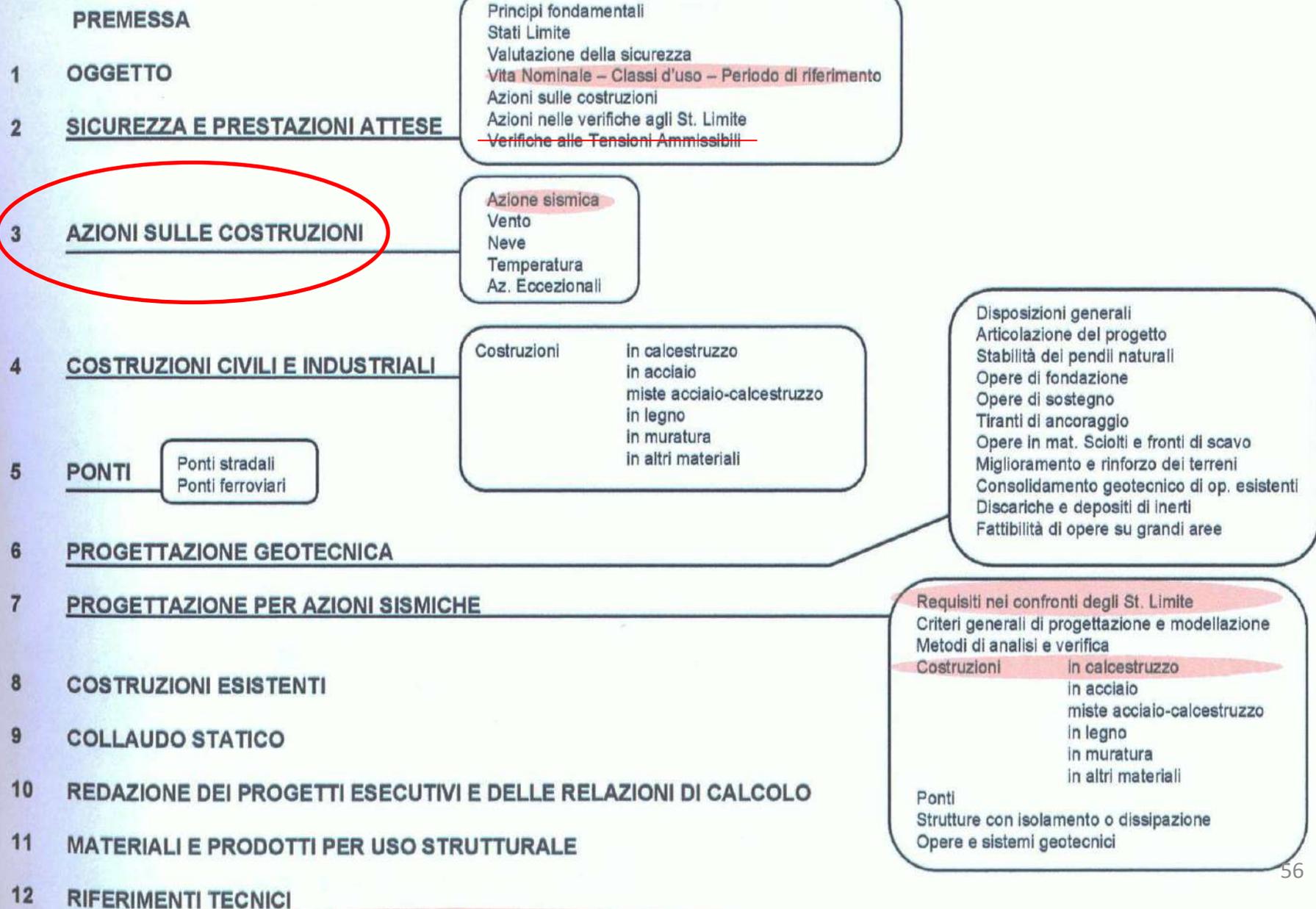
e delle semplificazioni per la ZONA SISMICA 4

Classe d'uso I per Tipi di costruzione 1 e 2 e Classe d'uso II

Anticipazione Cap. 7 NTC 18

Per gli edifici soggetti ad $a_g S$ (**amax**) $\leq 0.075 g$ sono stati definiti dei criteri semplificati per il progetto.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018



Capitolo 3.

AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Modifiche introdotte dalle **NTC18** rispetto alle **NTC08**

Azioni sulle Costruzioni	3	Le definizioni dei vari tipi di carichi sono state riorganizzate.
	3.2.2	Per stabilire la categoria di suolo, il calcolo del V_s non è sempre a relativo a 30 m. Per strati con $V_s \geq 800$ m/s posti a profondità inferiore ai 30 m, si considera solo tale profondità. Per la definizione della categoria di suolo non è più presente la classificazione in funzione di NSPT e C_u . Le definizioni dei suoli di tipo D ed E sono state modificate e sono state eliminate le cat. S1 ed S2.
	3.2.3.6	Il termine "accelerogramma" è sostituito con "storia temporale del moto del terreno". È stato introdotto e definito il criterio di scelta delle storie temporali naturali.

◆ *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 (geotecnico), di cui al § 6.2.2.*

(La Modellazione sismica viene assorbita dalla geotecnica)



Una precisazione nel paragrafo 3.2 :

Le Categorie di sottosuolo sono una seconda scelta rispetto alla RSL.

Si accetta, comunque, l'uso di correlazioni empiriche per la classificazione semplificata, ove consentita.

3.1.2. PESI PROPRI DEI MATERIALI STRUTTURALI

Le **azioni permanenti gravitazionali** associate ai pesi propri dei materiali strutturali sono derivate dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali con cui sono realizzate le parti strutturali della costruzione. Per i materiali più comuni possono essere assunti i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella Tab. 3.1.I.

Tab. 3.1.I - Pesi dell'unità di volume dei principali materiali

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m ³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14,0 + 20,0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28,0 + 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0
Metalli e leghe	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0
Materiale lapideo	
Tufo vulcanico	17,0
Calcere compatto	26,0
Calcere tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
Legnami	
Conifere e pioppo	4,0 + 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 + 8,0
Sostanze varie	
Acqua dolce (chiara)	9,81
Acqua di mare (chiara)	10,1
Carta	10,0
Vetro	25,0

3.1.3. CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Sono considerati **carichi permanenti non strutturali** i carichi presenti sulla costruzione durante il suo normale esercizio, quali **quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro**, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti.

(**ndr: per i dettagli si rimanda al testo della Norma**).

3.1.4. SOVRACCARICHI (Ndr: **ex Carichi variabili**) ←

I **sovraccarichi, o carichi imposti**, comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k
- carichi verticali concentrati Q_k
- carichi orizzontali lineari H_k

I valori nominali e/o caratteristici di q_k , Q_k ed H_k sono riportati nella Tab. 3.1.II. (v. oltre). Tali valori **sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di rilevanti amplificazioni dinamiche della risposta delle strutture.**

CIRCOLARE C3.1.4 - SOVRACCARICHI

Anzitutto è stato cambiato il titolo del paragrafo, **da Carichi variabili**, derivato dall'EC –EN 1991-1-1, in **Sovraccarichi**, più noto da tempo ai Tecnici italiani. Vi sono poi modifiche alla Tab. 3.1.II Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni. Si tratta di modifiche che si muovono nel senso di avvicinare ulteriormente il testo a quello dell'Eurocodice, pur conservando l'impostazione generale precedente.

Per le costruzioni scolastiche si applicano i valori dei sovraccarichi riportati nelle vigenti NTC.

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
	Uffici			
B	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
	Ambienti suscettibili di affollamento			
C	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad altri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4 Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5 Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	

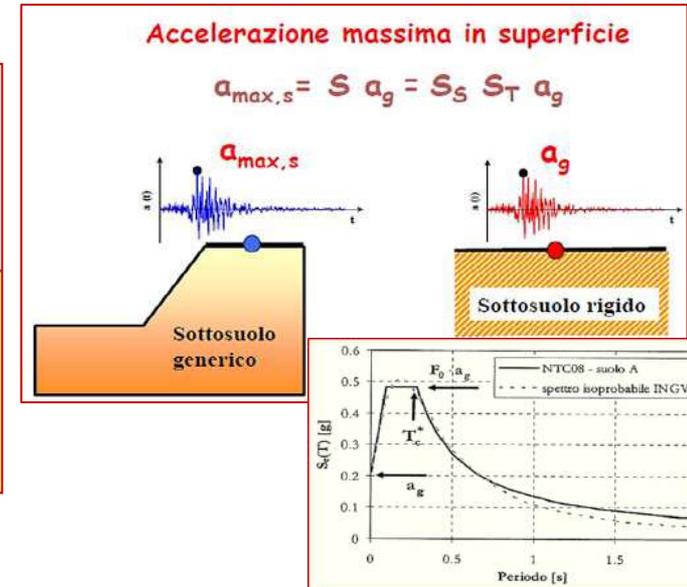
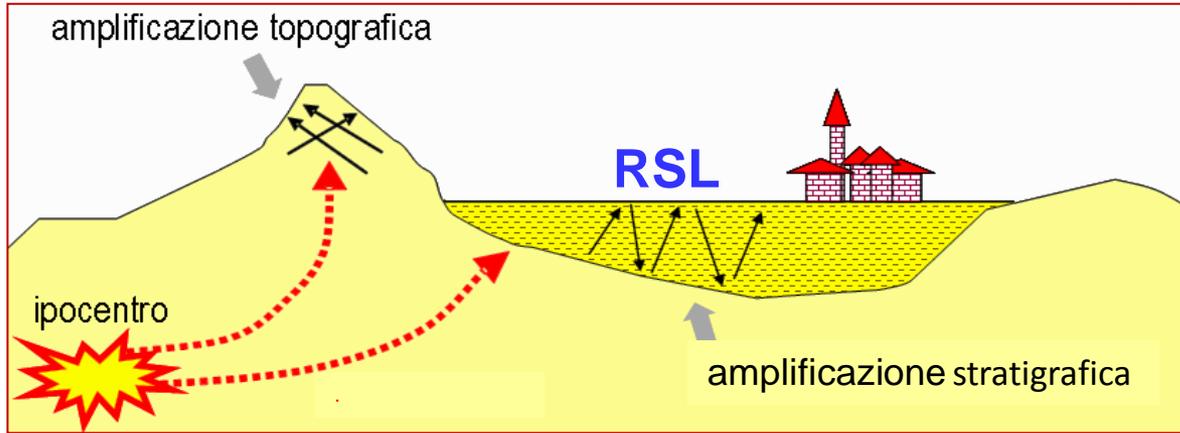
Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-C	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. C Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i voli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli autoveicoli dovranno essere valutate caso per caso.

3.2 AZIONE SISMICA

Le **azioni sismiche di progetto** in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche **morfologiche** e **stratigrafiche** che determinano la **RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)**



La pericolosità sismica è definita in termini di:

- **a_g** : accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di **campo libero**, su sito di **referimento rigido**, con **superficie topografica orizzontale** (di categoria A come definita al § 3.2.2).
- **$S_e(T)$** : ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **P_{VR}** come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento **$V_R (= CU * VN)$** , come definito nel § 2.4.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

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

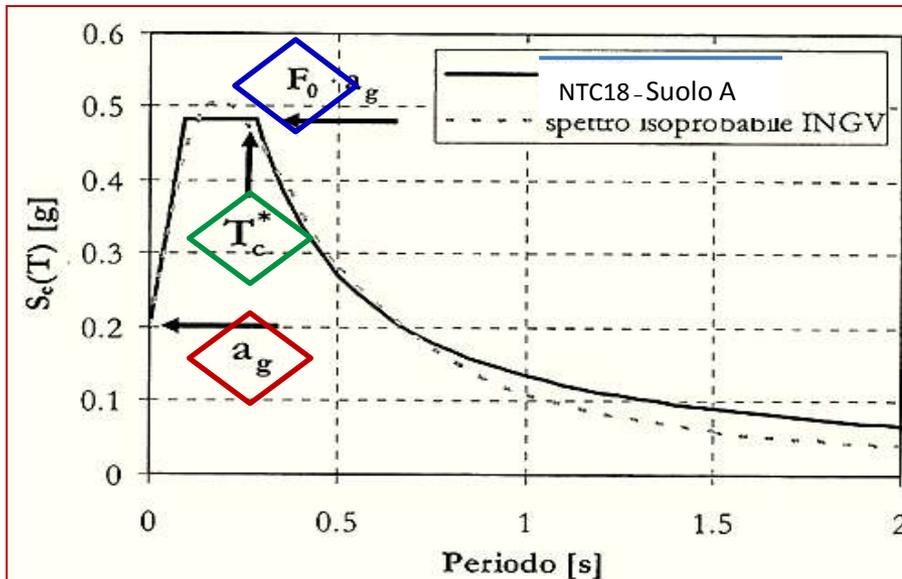
-**ag** **accelerazione orizzontale massima al sito**;

-**Fo** **valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale**.

-**T*C** **periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale**.

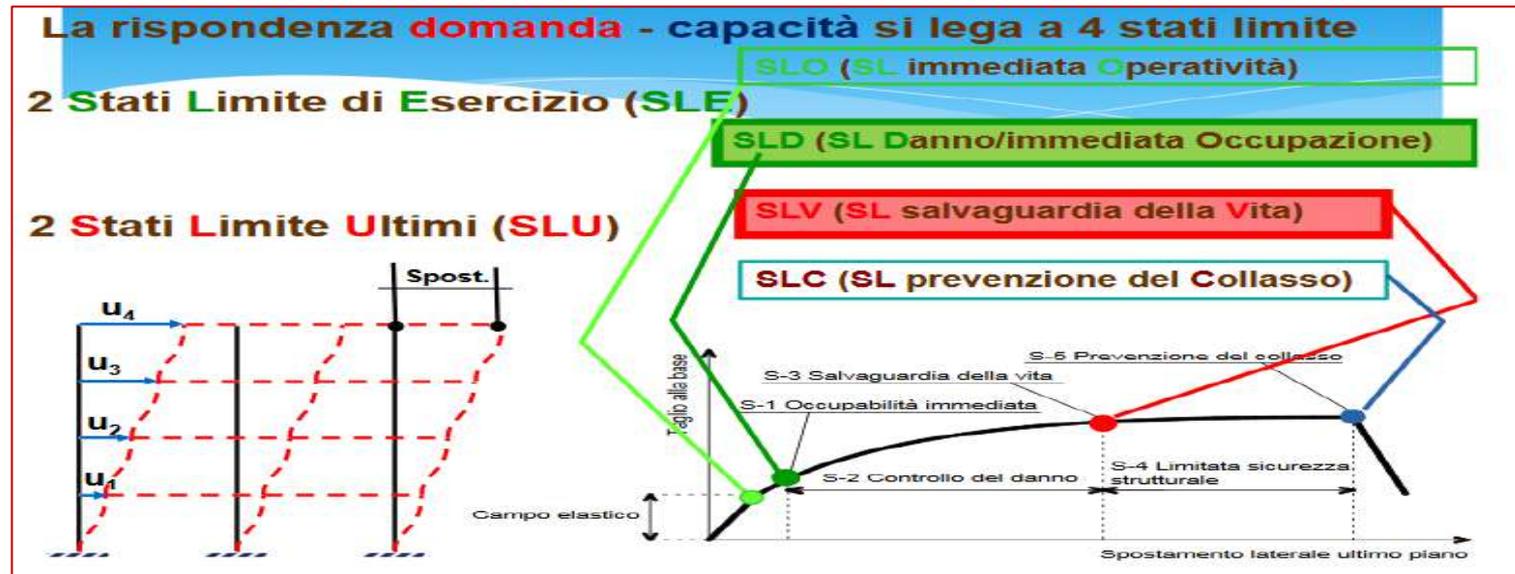
Nelle NTC la stima della pericolosità sismica (Allegati A e B - NTC 08) è basata su una griglia di 10.751 punti, ove viene fornita la terna di valori **ag**, **Fo** e **T*C** per nove distinti **periodi di ritorno TR** (v. oltre).

Nel caso di costruzioni di notevoli dimensioni, va considerata l'azione sismica più sfavorevole calcolata sull'intero sito ove sorge la costruzione e, ove fosse necessario, la variabilità spaziale del moto di cui al § 3.2.5.



Ndr: *La probabilità che, in un **fissato lasso di tempo** (“**periodo di riferimento**” VR espresso in anni), in un determinato sito **si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato**, è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” **PVR**.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite di esercizio (SLE) e ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione



3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

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

Gli **stati limite di esercizio (SLE)**

comprendono:

-**Stato Limite di Operatività (SLO)**

-**Stato Limite di Danno (SLD)**

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%



Tab. 3.2.1 – Probabilità di superamento PVR in funzione dello stato limite considerato

Gli **stati limite ultimi (SLU)** comprendono:

-**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**

-**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella **Tab.3.2.1.**; NTC (v. sopra e oltre).

SLO



Stato Limite di Operatività (Fully Operational) (Villa Sant'Angelo)



STATI
LIMITE

SLE

SLD



Stato Limite di Danno (Operational) (L'Aquila)



Stato Limite di salvaguardia della Vita (Life Safety) (L'Aquila)

SLV



Stato Limite di prevenzione del Collasso (Near Collapse) (Onna)

SLU

SLC

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il **periodo di ritorno T_R** del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR}) \quad [3.2.0]$$

Il periodo di ritorno T_R è il periodo medio intercorrente fra un sisma ed il successivo di eguale intensità.

Stati Limite		Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$(^2) 30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \cdot V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475 \text{ anni } (^1)$

Gli eventi sismici si ripetono ciclicamente



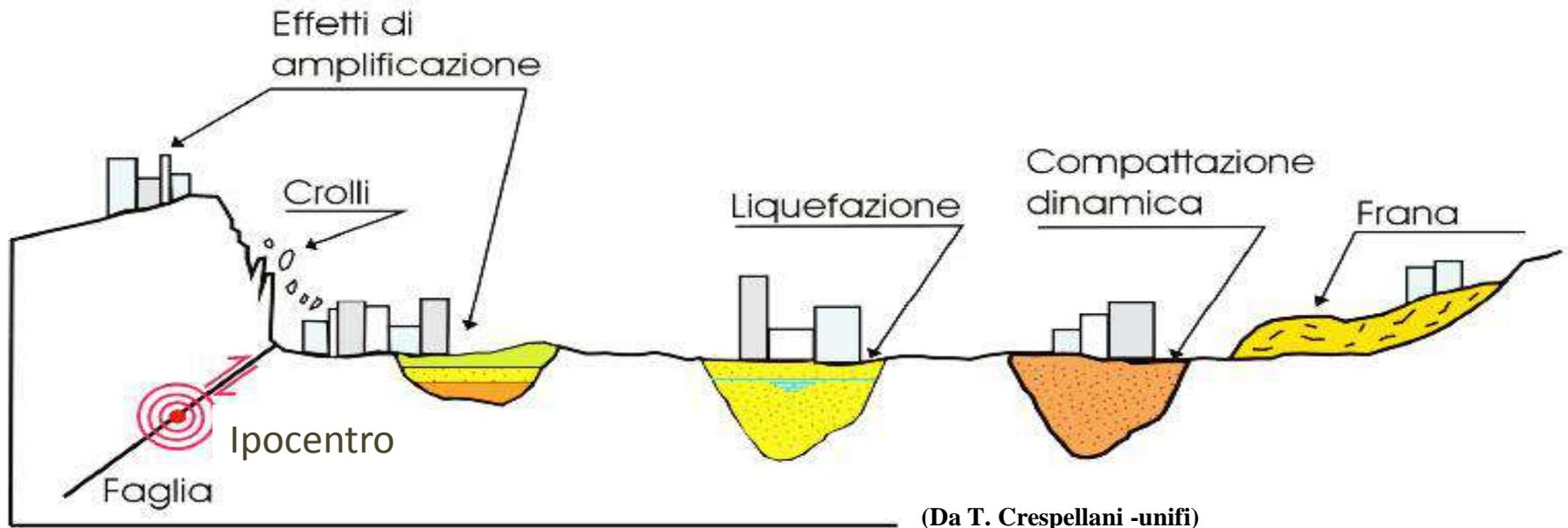
V_N vita nominale di progetto (v.2.4.1)

C_u coefficiente d'uso (v.2.4.3)

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

a) SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

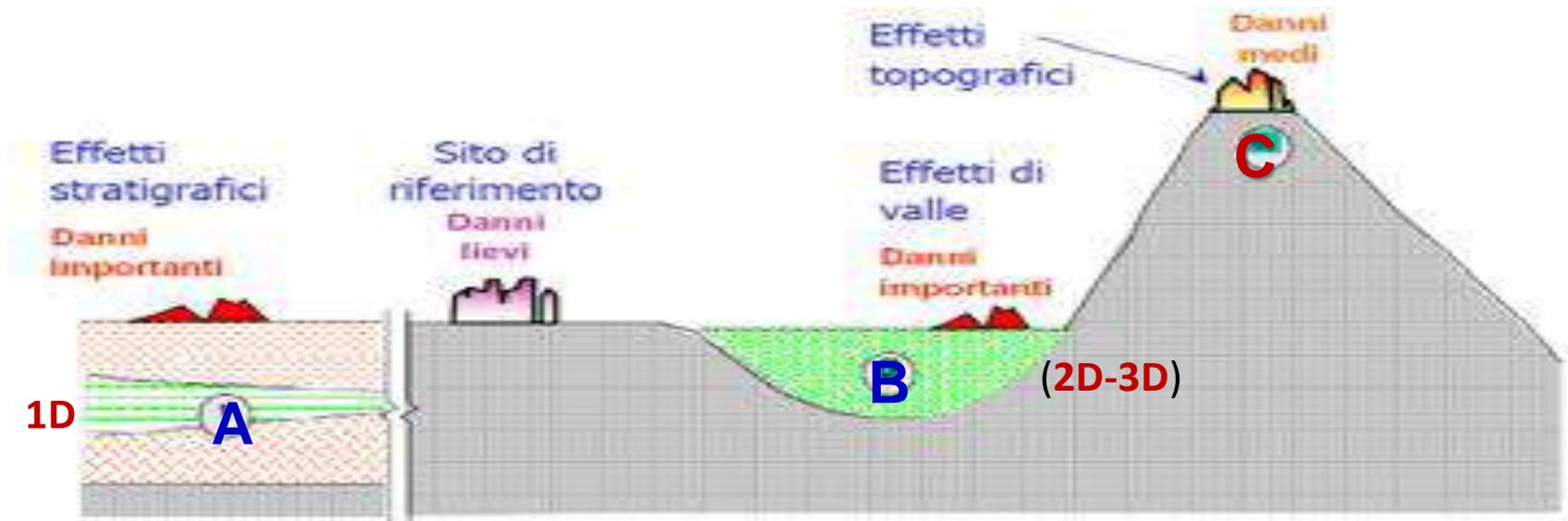
Scorrimenti di faglia - Instabilità di pendii - Liquefazione di terreni non coesivi saturi - Amplificazione sismica - Addensamento di terreni a grana grossa - Subsidenza dei terreni molli a grana fine



b) EFFETTI DI SITO

Le situazioni stratigrafiche e morfologiche, in cui le condizioni locali possono portare a una modificazione del segnale sismico in arrivo al sito su roccia sono essenzialmente tre:

- **A** - i depositi costituiti da terreni stratificati di caratteristiche meccaniche diverse da quelle della roccia sottostante (effetti stratigrafici **1D**);
- **B** - i depositi di valle con bordi e morfologie del substrato irregolari dove le onde sismiche possono subire fenomeni di rifrazione e riflessione con generazione all'interfaccia di onde superficiali e concentrazioni di energia (effetti di bordo **2D-3D**);
- **C** - la sommità di rilievi collinari, creste, promontori costituiti da formazioni rocciose, profili di versanti, pendii, bordi di terrazzi (effetti topografici)



(Da Lanzo - 2005, rielaborato).

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

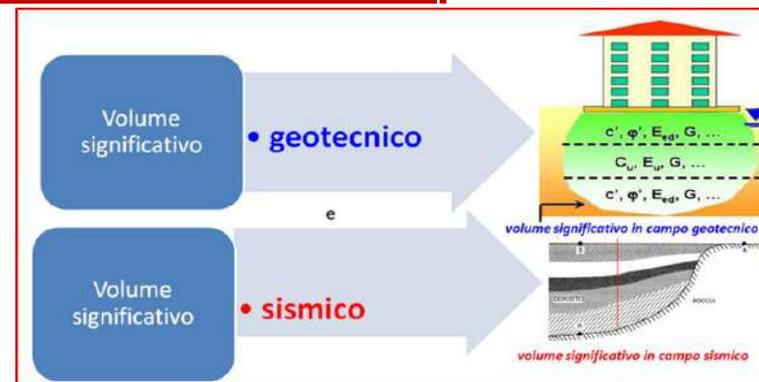
Categorie di sottosuolo

[Ndr.: La modellazione sismica nella geotecnica!]

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della **risposta sismica locale (RSL)** 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 ad 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**.

***Ndr:**
volume significativo geotecnico
e
volume significativo sismico



Circolare 3.2.2 Si denomina “risposta sismica locale” l’azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come “superficie” il “piano di riferimento” così come definito, per le diverse tipologie strutturali, al § 3.2.2 delle NTC.

- CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

L’identificazione della categoria del sottosuolo è basata sulla descrizione stratigrafica e sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, nell’attuale versione delle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro NSPT30 per i terreni a grana grossa e Cu30 per i terreni a grana fine. Ciò era invece permesso nelle NTC08.

Le attuali norme tecniche richiedono che la categoria di sottosuolo sia stabilita sulla base del profilo Vs. **La misura diretta di Vs attraverso specifiche indagini geofisiche è in ogni caso preferibile**, essendo consentita in alternativa la definizione del profilo Vs attraverso il ricorso a correlazioni empiriche “**di comprovata affidabilità**” solo per il metodo semplificato ed in ipotesi residuali, stante la maggiore incertezza che caratterizza la determinazione di Vs con le citate correlazioni empiriche.

In caso di utilizzo di correlazioni empiriche è comunque raccomandabile non limitarsi all’uso di un singolo modello empirico, al fine di **consentire una stima dell’incertezza legata al carattere regionale di tali correlazioni e alla conseguente elevata dispersione dei relativi dati sperimentali.**

Per tutte quelle configurazioni litostratigrafiche non riconducibili alla classificazione riportata in Tab. 3.2.II (ad esempio terreni instabili o suscettibili di liquefazione, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione), **le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale, meglio descritte nel § C.7.11.3.1 della presente Circolare. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà meccaniche dei terreni in condizioni cicliche e dinamiche, determinate mediante specifiche indagini e prove geotecniche.**



[Ndr.: La Modellazione Sismica nella geologica!]

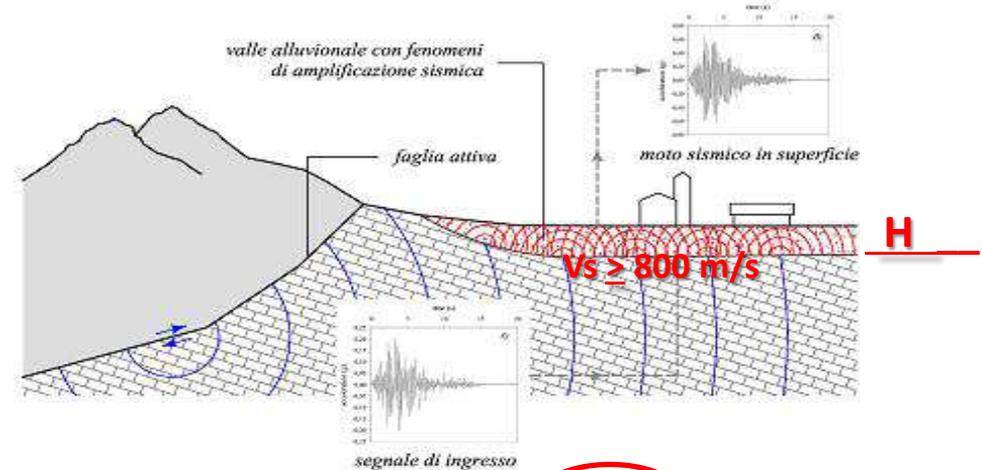


La risposta sismica locale e, comunque, la modellazione sismica in generale comprendono, ove necessario in relazione alla natura ed alla dimensione dell'opera, un propedeutico studio geomorfologico, stratigrafico e tettonico, nonché una individuazione delle categorie di sottosuolo a cui afferiscono le opere in progetto. (Ndr: Modellazione sismica generale anche in Rel. Geologica, quale integrazione alla disposizione del § 3.2.2 delle NTC 18 che la assegnano alla relazione geotecnica, confermata dal C.6.2.1)

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:

New

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{(NTC 18)} \quad (3.2.1)$$



Old (NTC 08)

~~$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$~~

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo
 V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima
 N = Numero di strati

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato (in m);

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato (in m/s);

N numero di strati;

H profondità del substrato **SISMICO (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a **800 m/s**.**

Fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo di terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{S,eq}$ definita mediante la media armonica; [3.2.1] delle NTC 18.

- La media armonica di un insieme di numeri X in statistica è il reciproco della media aritmetica dei reciproci dei numeri stessi.

-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*.

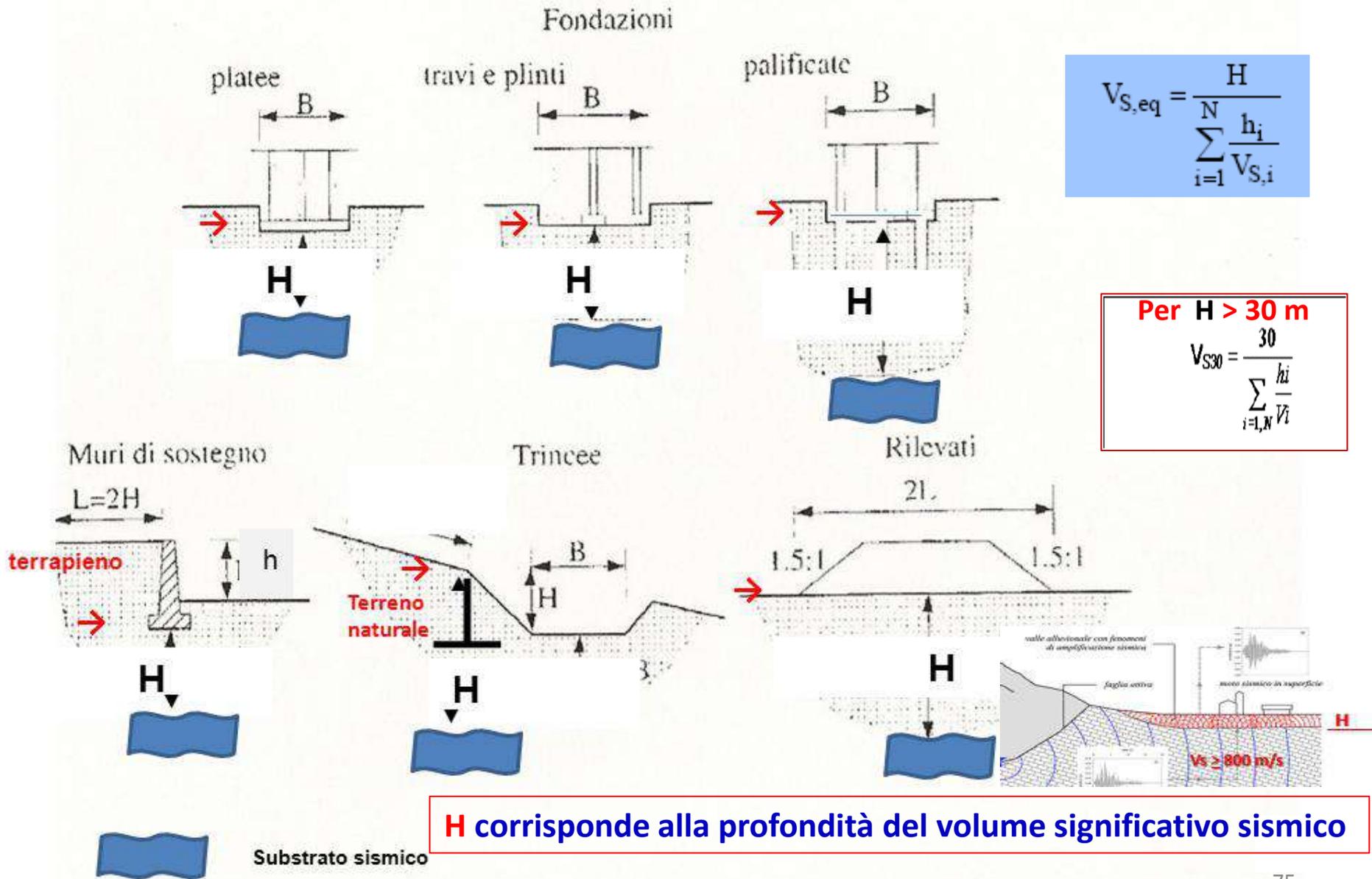
-Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla *testa dell'opera*. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al *piano di imposta della fondazione*.

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 espressione (3.2.1) e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

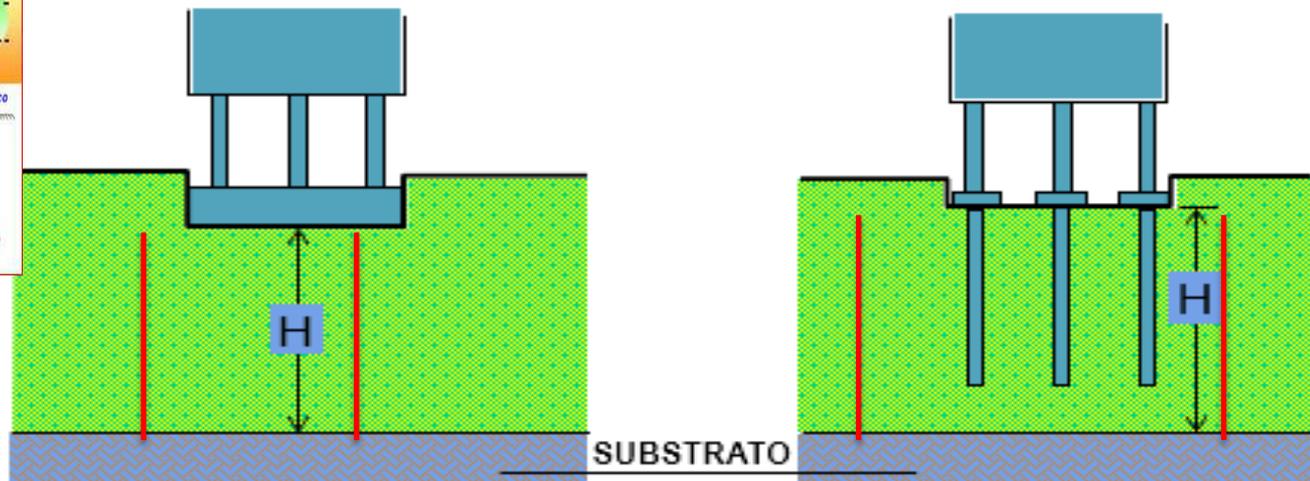
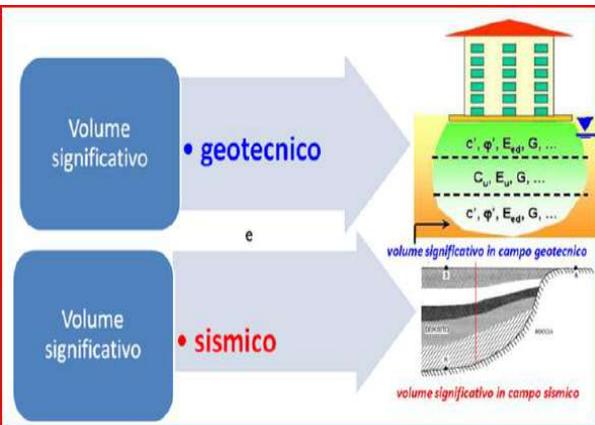
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (3.2.1)$$

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. (v. pag. 76).

→ Punto di partenza della misura della profondità **H** del substrato sismico

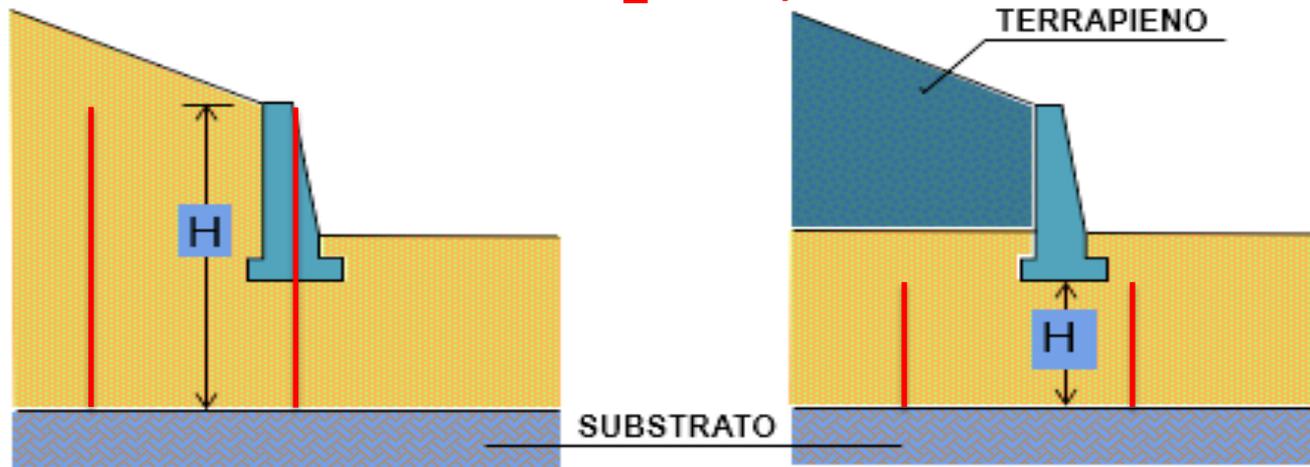


H corrisponde alla profondità del volume significativo sismico



$V_s \geq 800 \text{ m/s}$

QUOTA DI RIFERIMENTO DELLA PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SISMICO



$V_s \geq 800 \text{ m/s}$

(Ripreso da Vannucchi G., 2018 e modificato)

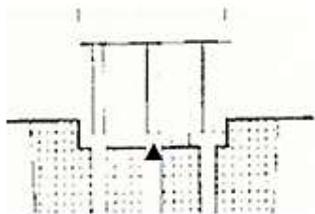
$V_{S,30}$ diventa $V_{S,H}$

La **velocità equivalente** $V_{s,eq}$ si misura dal punto di partenza, visto nella tavola precedente, ma non fino a -30m, bensì fino al substrato sismico, se questo non è profondo più di 30 m. Pertanto, $V_{s,30}$ diventa $V_{s,H}$

Per profondità del substrato maggiori di 30 m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è uguale a $V_{s,30}$, ponendo $H = 30$ m e assumendo le proprietà degli strati fino a tale profondità.

SUBSTRATO A PROF. > 30M

$$V_{s,eq} = V_{s,30}$$



Se $H > 30$ m

$$\longrightarrow V_{s,eq} = V_{s,30}$$



Bedrock sismico

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato (in m);

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato (in m/s);
N numero di strati;

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

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

Volume significativo

• sismico

volume significativo in campo sismico

Volume significativo sismico

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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).</i>
C	<i>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).</i>
D	<i>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).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento</i>

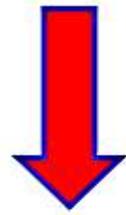
Tabella 3.2.II

Categoria
S1
S2

NTC 08

Eliminate le Categorie S1 e S2

N_{spt30} e c_{u30}
eliminati



nelle NTC 18

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>

Eros Aiello CGT- unisi

In dettaglio

Categoria

Descrizione

A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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.

$V_{S,30}$ diventa $V_{S,H}$

Eliminato il vincolo degli spessori > 30m, è stato introdotto il termine “miglioramentocon la profondità” che sostituisce, dunque, il “graduale miglioramento” .
Questo vale anche per le categorie C e D.

Eliminati SPT e cu.

$V_{S,30}$ diventa $V_{S,H}$

C

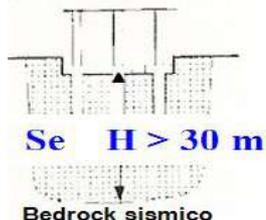
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

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.

Bedrock a profondità > 30 m, ma proprietà degli strati assunte fino a 30 m

$$V_{S,eq} = V_{S,30}$$



$$\longrightarrow V_{S,eq} = V_{S,30}$$

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima

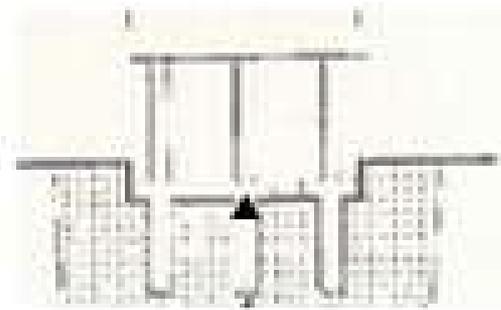
N = Numero di strati

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.** $V_{S, eq} = 100 \div 360 \text{ m/s}$

Lo spessore di riferimento è ora **30 m** e non più 20 m

Categoria E

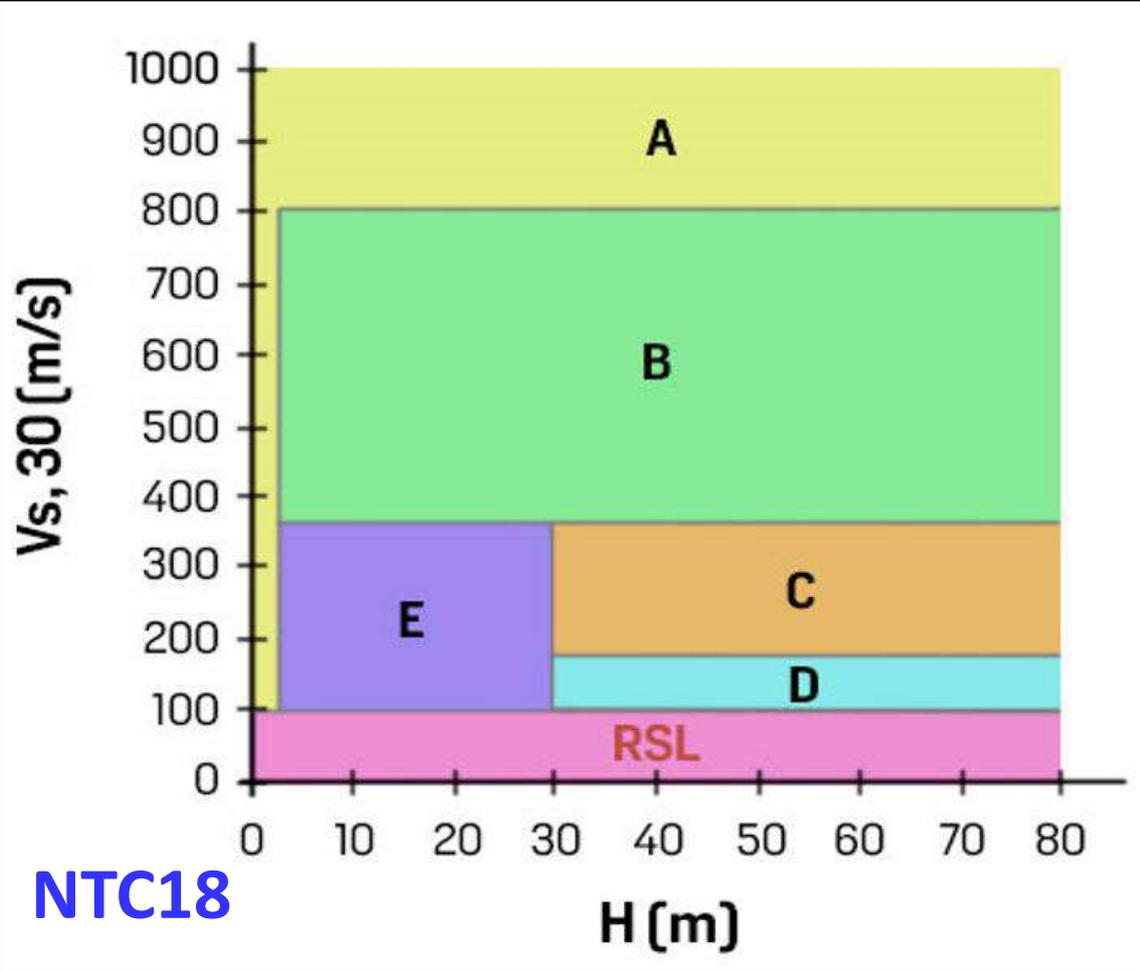
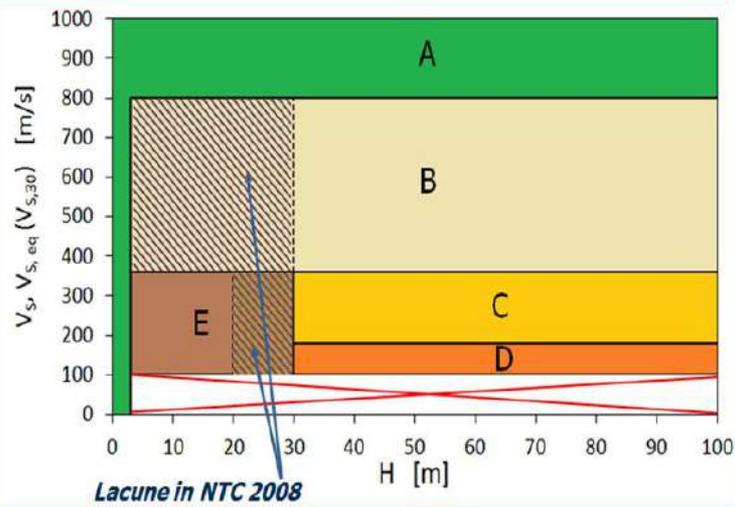


$H \leq 30 \text{ m} \longrightarrow V_{S, eq}$

$$V_{S, eq} = 100 \div 360 \text{ m/s}$$

$V_{S,30}$ diventa $V_{S,H}$

LACUNE IN NTC 2008



Per tutti i terreni che non rientrano nelle categorie di sottosuolo è necessario effettuare l'analisi di **Risposta Sismica Locale (RSL)**.

Per B ed E la semplificazione è accettabile se non si rilevano contrast di impedenza significativi. In caso contrario analisi di RSL, che presuppongono una conoscenza adeguata delle proprietà geotecniche dei terreni e delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico ottenute con specifiche indagini e prove. (v. oltre).

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

U.S.A – Ripresa da Rodriguez - Marek

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale (RSL).

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione :

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

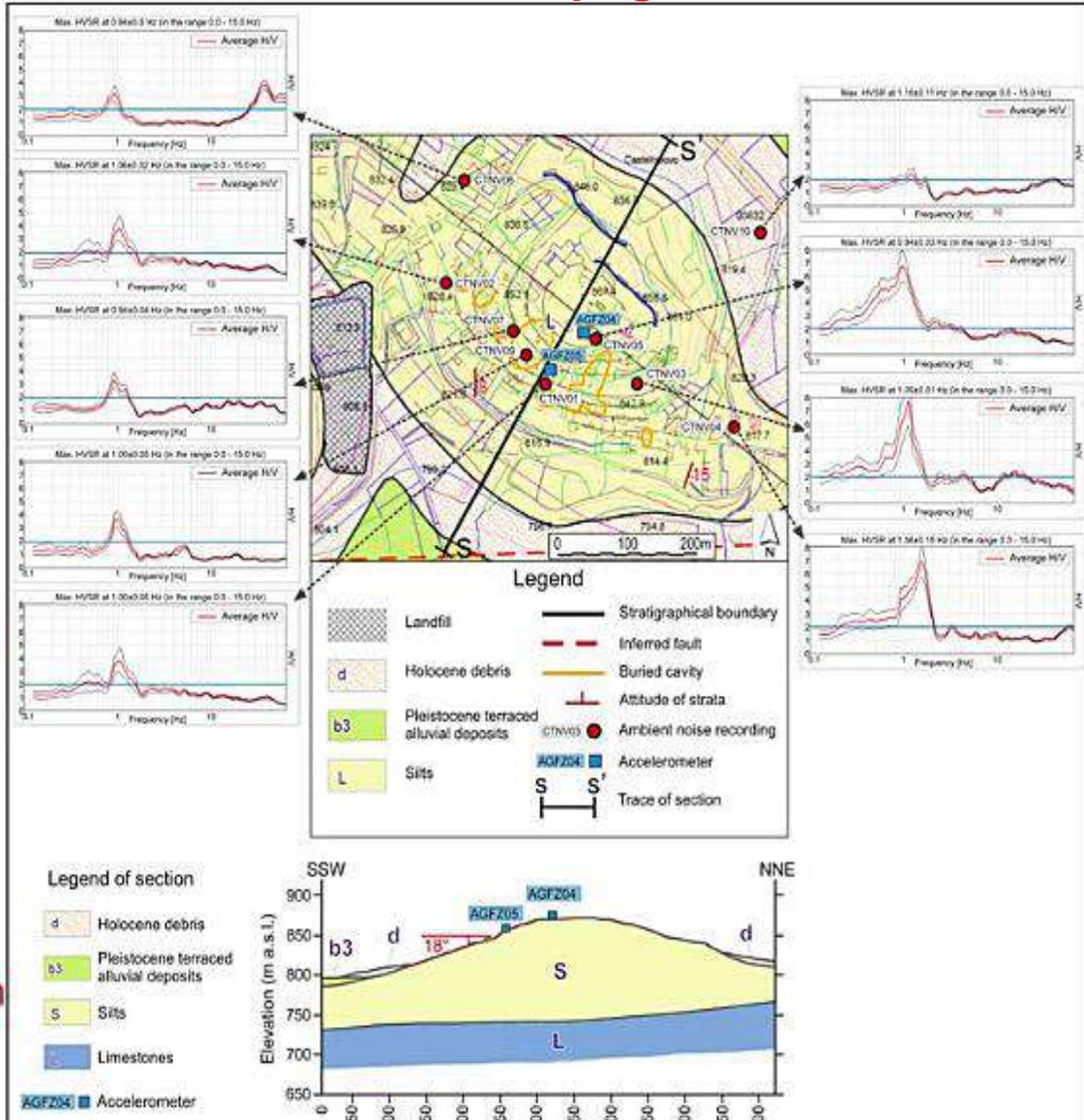
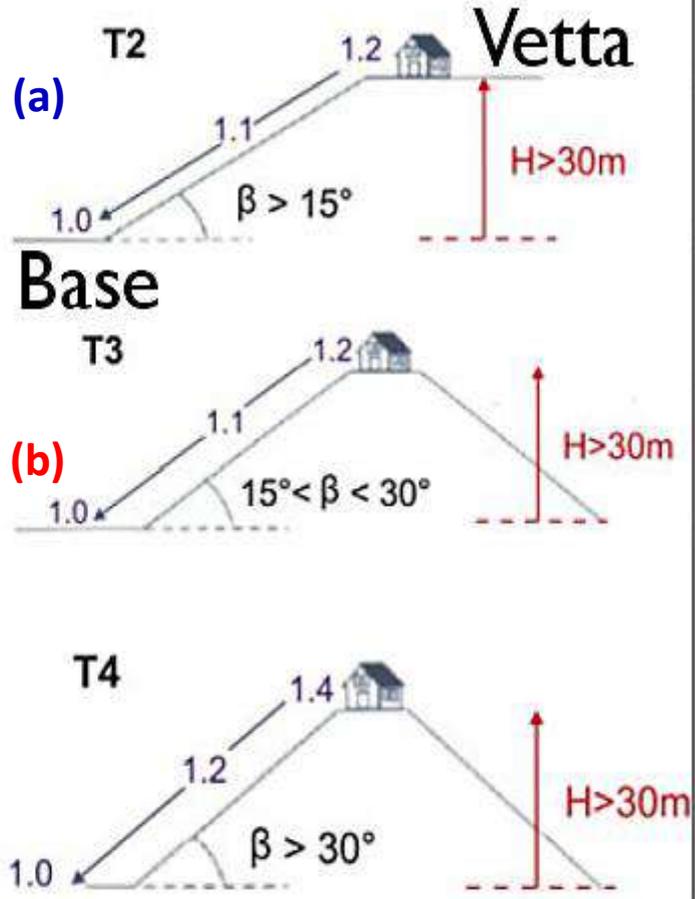
Le susposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Da considerare solo se di altezza $H > 30$ m

Topographic versus stratigraphic amplification: mismatch between code provisions and observations during the L'Aquila (Italy, 2009) sequence

Bull Earthquake Eng DOI 10.1007/s10518-013-9446-3
 M. R. Gallipoli · M. Bianca · M. Mucciarelli · S. Parolai · M. Picozzi

Coefficiente topografico ST



Valori del fattore di amplificazione topografica ST secondo EC8 per (a) – Pendii e rilievi isolati e (b) rilievi con larghezza in cresta notevolmente minore di quella alla base.

Considerazioni sulla V_{Seq}

Le NTC18 riconfermano che l'impiego del metodo semplificato (V_{Seq}) per classificare il sottosuolo a fini sismici non è la scelta prioritaria.

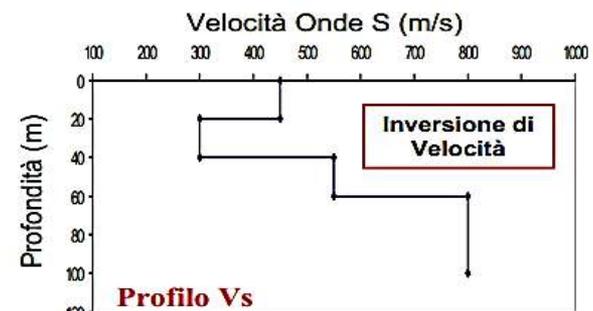
Le categorie di sottosuolo delle NTC18 e le azioni sismiche corrispondenti tengono conto soltanto delle amplificazioni stratigrafiche (1D) nei primi 30 m di sottosuolo. In molti casi (ad es., **contrast** di impedenza*, **inversioni di velocità****, depositi di elevato spessore, etc.) la stima degli effetti di sito mediante la V_{Seq} risulta affetta da incertezze.

La revisione operata dalle NTC 18 non consente di colmare, nonostante qualche aggiustamento, le lacune presenti nella classificazione del sottosuolo delle NTC 08.

* **Impedenza**: prodotto della densità del terreno per la velocità delle onde sismiche. Varia fra strati differenti di terreno ed è comunemente indicata con **Z**. Il contrasto di impedenza sismica fra strati di roccia adiacenti influisce sulle modalità di propagazione dell'energia sismica da un mezzo all'altro.

** **inversione di velocità**: situazioni litostratigrafiche dove si verificano contemporaneamente 4 condizioni (indicazioni sperimentali ICMS):

- un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto V_s rig. / V_s sof. superiore a 1.5;
- la differenza tra le V_s dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
- lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
- la V_s dello strato più rigido è maggiore o uguale a 500 m/s.



3.2.3. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

3.2.3.1 DESCRIZIONE DEL MOTO SISMICO IN SUPERFICIE E SUL PIANO DI FONDAZIONE

Ai fini delle presenti norme **l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.** Salvo quanto specificato nel § 7.11 **per le opere e i sistemi geotecnici, la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (Capitolo 7) e purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo, così come definita nel seguente §3.2.3.2, pari ad $a_g \geq 0,15g$.**

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, **mediante** una delle seguenti rappresentazioni:

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

a_{max}

a_{max} e $S_e(T)$

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può poi passare dai valori in superficie ai valori sui piani di riferimento definiti nel § 3.2.2; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

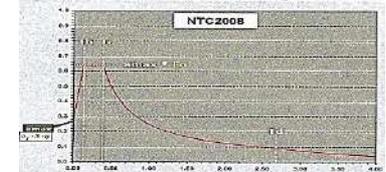
Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il **moto verticale** é caratterizzata dal suo **spettro di risposta** o dalla componente accelerometrica verticale.

In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

Quale che sia la probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, la definizione degli spettri di risposta elastici, degli spettri di risposta di progetto e delle storie temporali del moto del terreno è fornita ai paragrafi successivi.

3.2.3.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE



Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima ag su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR (vedi § 2.4 e § 3.2.1).

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. ←

Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante storie temporali del moto del terreno.

3.2.3.2.1 *Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali*

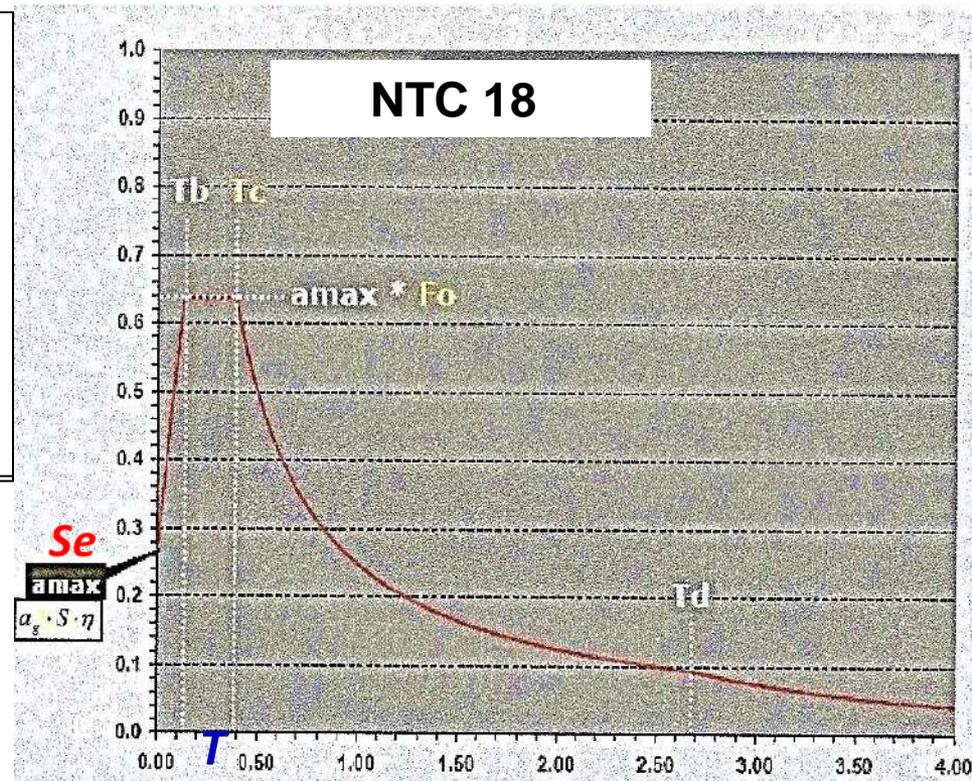
Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico, **Se**, è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_{\xi} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_{\xi} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_{\xi} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_{\xi} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$



Se = accelerazione spettrale orizzontale

T = periodo di vibrazione

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

NTC 2018

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

$$S = S_S \cdot S_T$$

Amplificazione dovuta alle caratteristiche geotecniche e topografiche del sito

η Fattore che altera lo spettro elastico per:

Smorzamento diverso da quello base del 5%

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

T_c Periodo corrispondente inizio tratto a velocità costante
 T_b tratto ad accelerazione costante

$$T_B = T_C / 3$$

T^*c periodo inizio tratto a vel. costante dello spettro in accelerazione orizzontale

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

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$a_{max} \cdot F_0$

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

$S_e(T)$ = accelerazione spettrale orizzontale

F_0 Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2

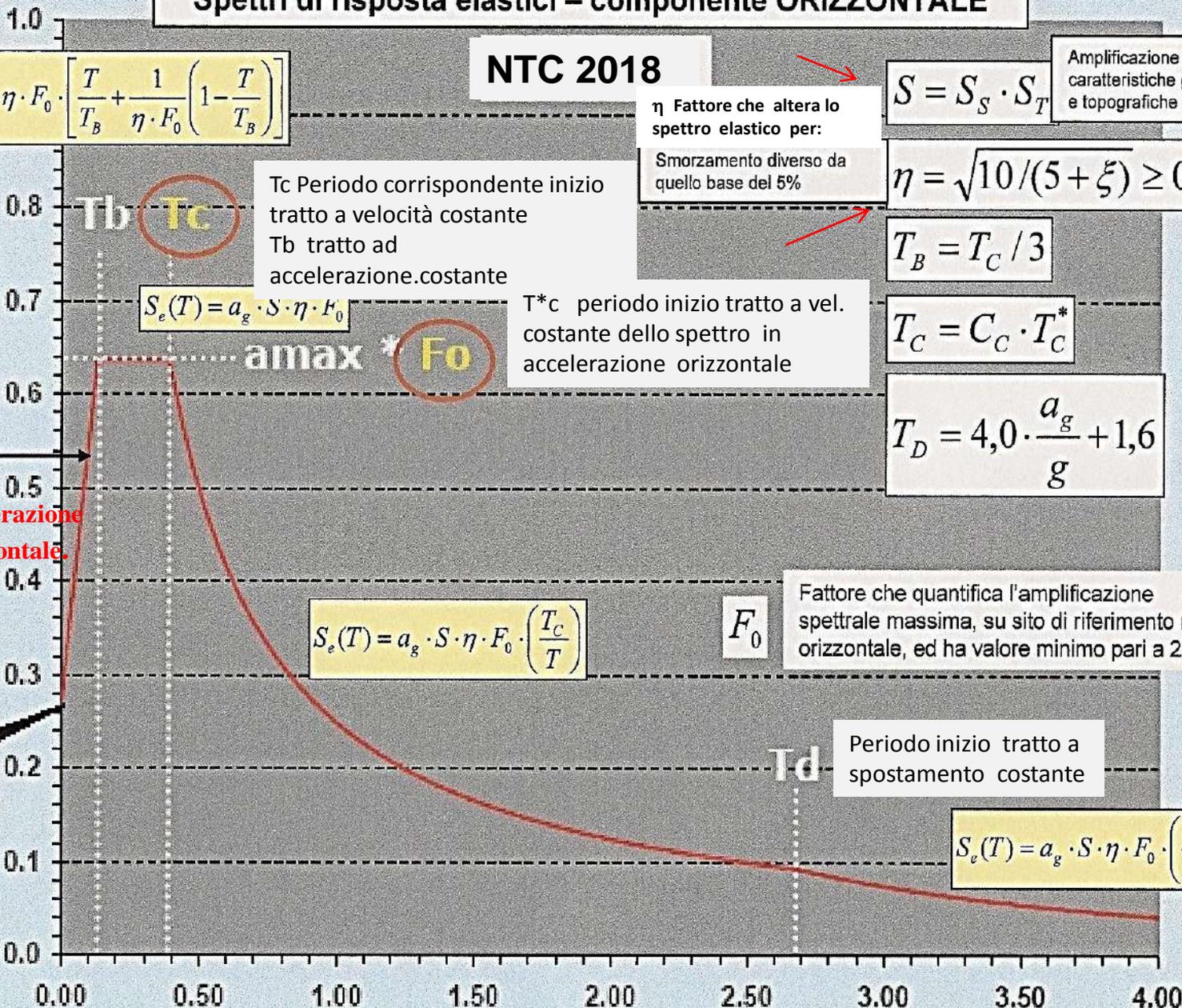
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

a_{max}

$$a_g \cdot S \cdot \eta$$

T_d Periodo inizio tratto a spostamento costante

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



Nelle (3.2.2) inoltre:

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

$$S = S_s \times S_T \quad (3.2.3)$$

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

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)^3} \geq 0,55 \quad (3.2.4)$$

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

$$T_c = C_C \times T^*C \quad (3.2.5)$$

dove

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

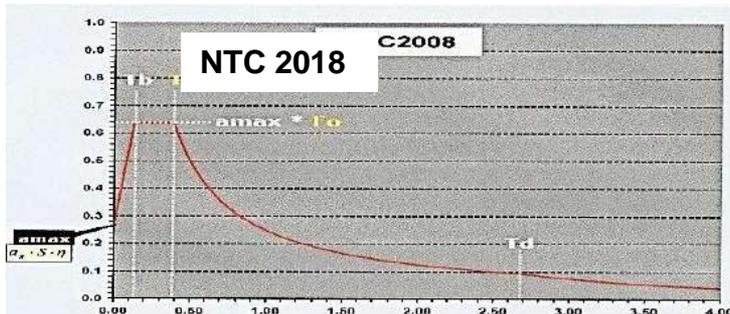
C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V), utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico;

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

$$T_B = T_C / 3 \quad (3.2.6)$$

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

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad (3.2.7)$$



Spettri di risposta elastici NTC 2018

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

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

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

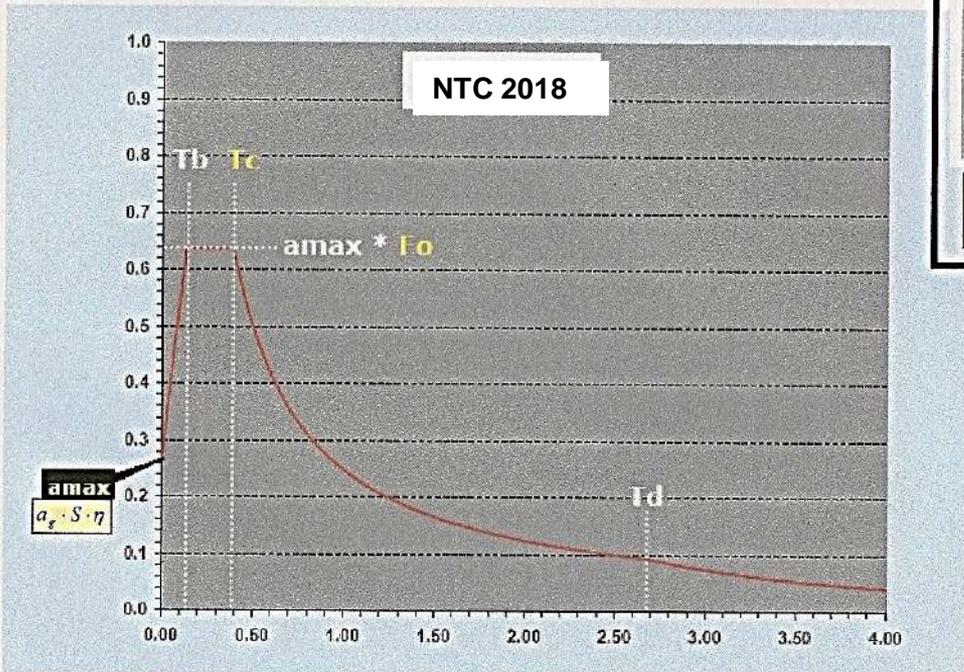


Tabella 3.2.V - Espressioni di S_s e di C_c

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

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	1,3
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

$$S = S_S \cdot S_T$$

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

$$T_B = T_C / 3$$

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

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

S_s

C_c

Per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale.  [RSL rigorosa, mediante analisi numerica]

Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

In mancanza di tali determinazioni 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 S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che modifica il valore del periodo T_c ^o.

^o (T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro).

Amplificazione stratigrafica S_s

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1.

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

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

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

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.V, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

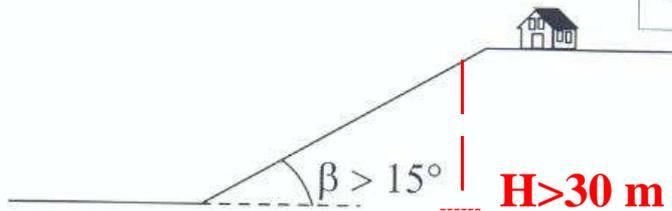
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale di 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°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

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

T2

Pendii o rilievi isolati

$S_T \geq 1.2$

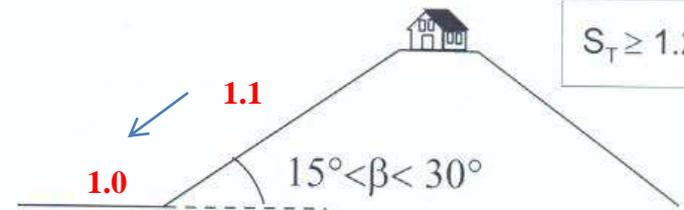


(a)

T3

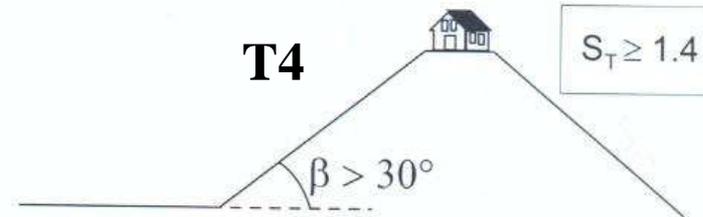
Rilievo con larghezza in cresta molto inferiore a quella alla base

$S_T \geq 1.2$



T4

$S_T \geq 1.4$



(b)

– 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 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

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

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned} \quad [3.2.8]$$

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

$$F_r = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{a_g} \right)^{0,5} \quad [3.2.9]$$

I valori di a_g , F_o , S , η sono definiti nel § 3.2.3.2.1 per le componenti orizzontali; i valori di SS , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguente Tab. 3.2.VI.

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.V.

3.2.3.2.3 Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali $S_{De}(T)$ si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione $S_e(T)$ mediante la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad [3.2.10]$$

purché il periodo di vibrazione T non ecceda i valori T_E indicati in Tab. 3.2.VII.

*** $S_e(T)$ = accelerazione spettrale orizzontale**

Tab. 3.2.VII – Valori dei parametri T_E e T_F

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

3.2.3.3 Spostamento orizzontale e velocità orizzontale del terreno

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno sono dati dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} d_g &= 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \\ v_g &= 0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \end{aligned} \quad [3.2.12]$$

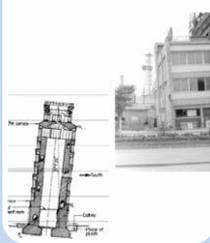
dove a_g , S , T_C , T_D assumono i valori già utilizzati al § 3.2.3.2.1.



Livelli prestazionali e Spettri di progetto nel caso di analisi lineare statica o dinamica

PREMESSA

EL: stato limite di esercizio

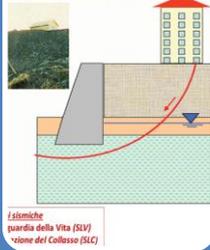


SLE

- SLO → S. Elastico = S. di progetto
- SLD → S. Elastico \neq S. di progetto

← NEW

SONI: stato limite ultimo



SLU

- SLV → S. Elastico \neq S. di progetto
- SLC → S. Elastico \neq S. di progetto

Come si
Utilizza lo
Spettro di
Progetto?
V. esempio
a pag. 303
e seguenti.

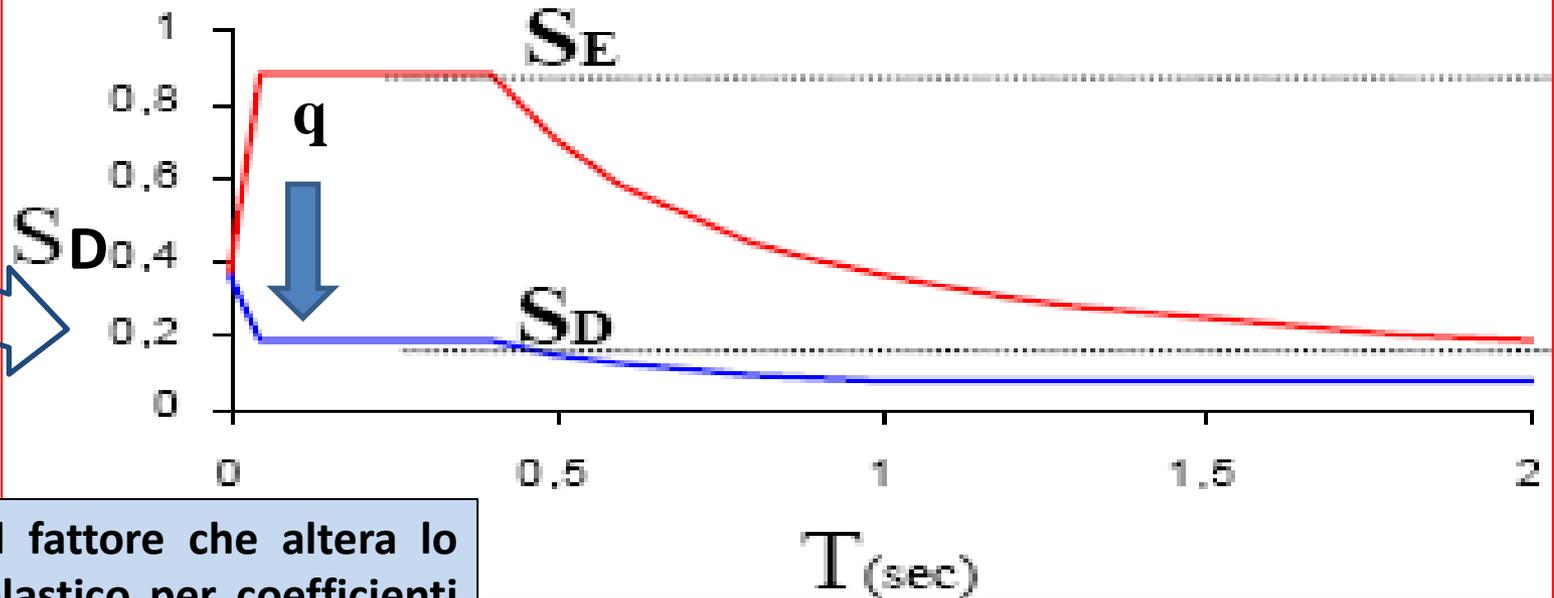
Come si passa dallo Spettro elastico allo spettro di progetto?

Si utilizza lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito a PVR
con le ordinate ridotte sostituendo, eccetto che per SLO, η con $1/q$

Per tutti gli Stati Limite, nel caso di analisi lineare, statica o dinamica, eccetto (SLO), Spettri elastici \neq da Spettri di risposta di progetto

Si utilizza lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito a PVR con le ordinate ridotte sostituendo η^* con $1/q$

— Spettro Elastico — Spettro di Progetto



* η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento ξ diversi da quello base del 5%

OBBLIGATORIO:

$$S_D(T) \geq 0,2a_g$$

$$0 \leq T < T_B$$

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

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D$$

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

$$T_D \leq T$$

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

FATTORE DI COMPORTAMENTO q_{lim} allo SLV

$$q = q_{lim} \cdot K_R$$



Fattore di regolarità K_R

Gli edifici devono avere quanto più possibile caratteristiche di semplicità, simmetria, iperstaticità e regolarità.

Si definisce regolare un edificio che rispetti sia i criteri di regolarità in pianta sia i criteri di regolarità in altezza.

- $K_R=1.0$ Edifici regolari in altezza
- $K_R=0.8$ Edifici irregolari in altezza

→ (eliminata la $T1 = C_1 \times h^{3/4}$ delle NTC08)

Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia distribuita in modo approssimativamente uniforme lungo l'altezza, T_1 (in secondi) può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = 2\sqrt{d} \quad [7.3.6]$$

dove d è lo spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri,

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

Fornisce le forze sismiche che sarebbe necessario applicare per garantire un comportamento indefinitamente elastico.

Poiché nella verifica allo SLU si considera un'azione sismica corrispondente ad un elevato periodo di ritorno, 475 anni, si ritiene accettabile una controllata fuoriuscita dal campo elastico, che non comporti il collasso strutturale, potendo in tal modo progettare con forze sismiche ridotte attraverso il **fattore di struttura q , detto ora fattore di comportamento.**

SPETTRO DI PROGETTO

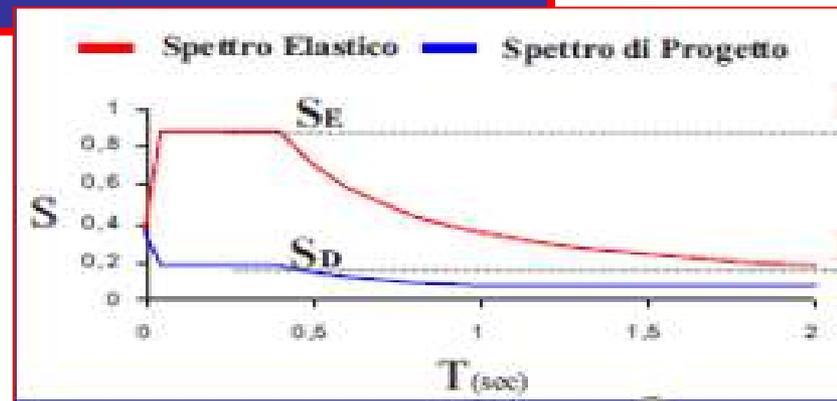
Fornisce le forze sismiche di progetto ridotte corrispondenti ad un livello di plasticizzazione (richiesta di duttilità) compatibile con la sopravvivenza della struttura:

DUTTILITÀ RICHIESTA < DUTTILITÀ DISPONIBILE

(Ridis. con modifiche da M. De Stefano, 2009)

$S_e(T)$ = accelerazione spettrale orizzontale
Ordinata dello Spettro elastico

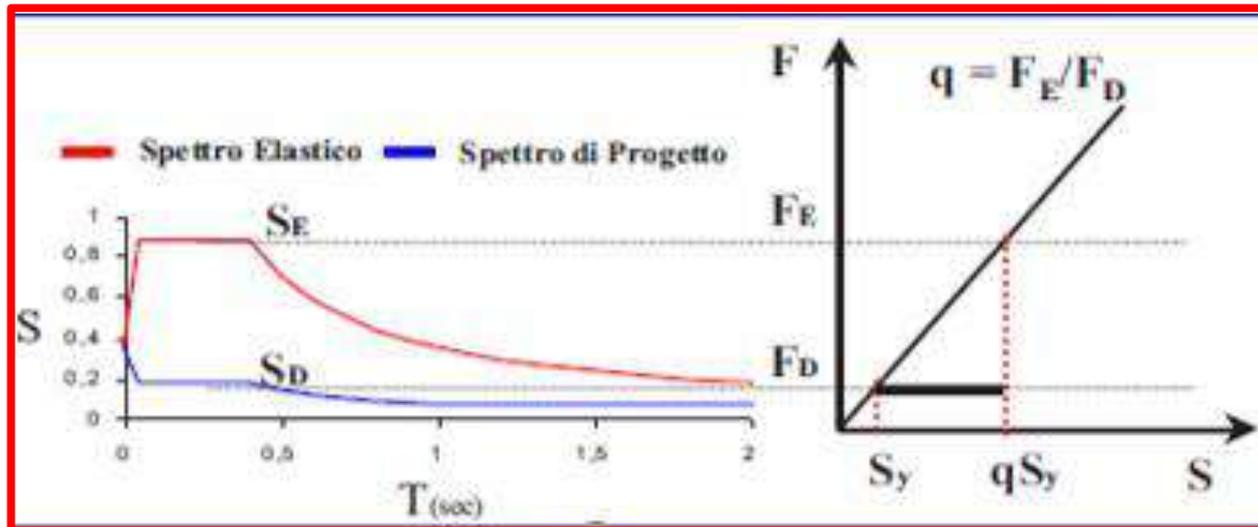
$S_d(T)$ = ordinata dello spettro di progetto



VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO -SLU

Per motivi di carattere economico, in occasione di eventi sismici violenti, con elevato periodo di ritorno, vengono accettate significative plasticizzazioni (ed il conseguente danneggiamento), purchè esse non comportino il collasso della struttura

La verifica consiste nel controllare che il sistema strutturale abbia specifiche caratteristiche di resistenza e di capacità di dissipazione energetica. Il bilancio fra resistenza e capacità dissipativa (duttilità) avviene operativamente mediante il cosiddetto *fattore di struttura* q , che riduce le ordinate dello spettro di risposta elastico S_E , dando luogo allo spettro di progetto S_D

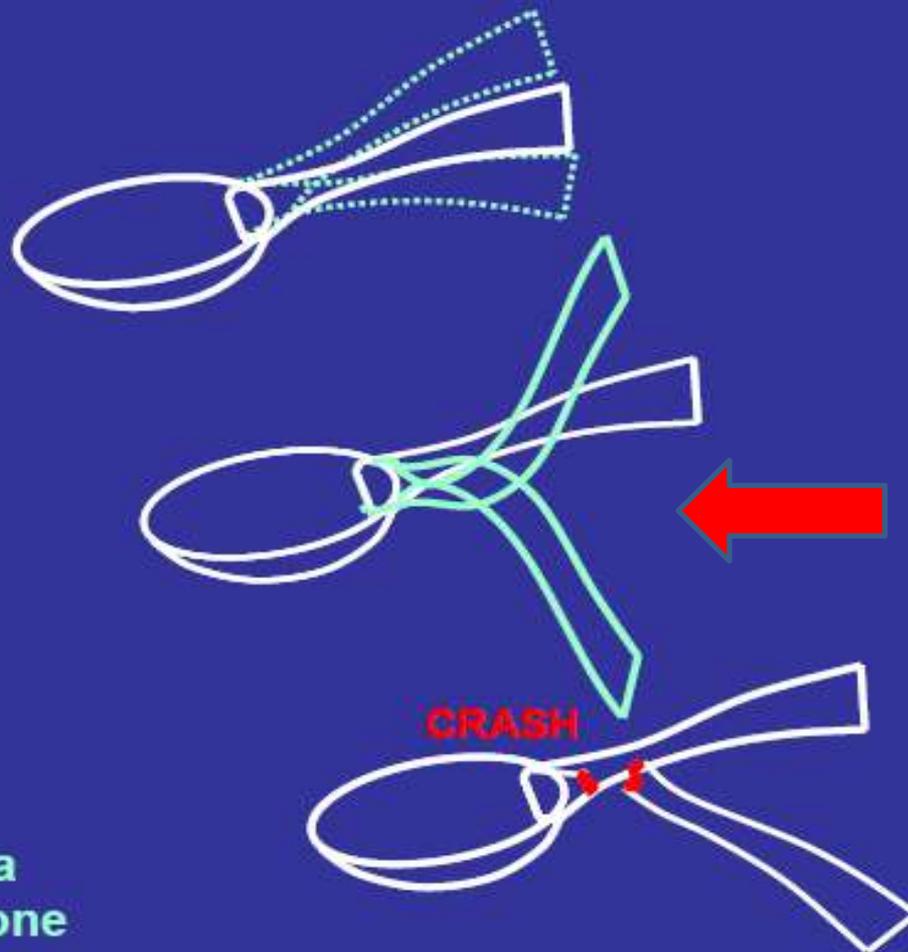


COMPORTAMENTO ELASTICO - DUTTILE - FRAGILE

risposta elastica
piccole deformazioni
poco dissipative

risposta duttile
ampie deformazioni
plastiche
molto dissipative

risposta fragile
rottura improvvisa
priva di dissipazione



Duttilità

rapporto tra spostamento massimo e spostamento al collasso

LA RIDUZIONE DELLE FORZE SISMICHE

MEDIANTE IL **FATTORE DI COMPORTAMENTO q** E'

POSSIBILE SOLO SE LA STRUTTURA POSSIEDE

ADEGUATE RISORSE IN TERMINI DI DUTTILITA'



RESISTENZA \longleftrightarrow DUTTILITA'

Duttilità = bilancio tra resistenza e capacità dissipativa

Ndr:

Analisi statica lineare

Rappresenta una semplificazione dell'analisi dinamica lineare (modale), e consiste nell'applicare alla struttura delle forze statiche equivalenti a quelle che produce l'azione sismica (dinamiche).

Analisi non lineare

In alternativa ai metodi lineari si possono utilizzare i metodi di analisi di tipo non lineare, in cui il calcolo delle sollecitazioni è fatto considerando la reale risposta non lineare dei materiali che compongono la struttura.

L'analisi statica non lineare è comunemente chiamata *pushover* (= andare oltre), perché porta ad esplorare quello che succede dopo il comportamento elastico.

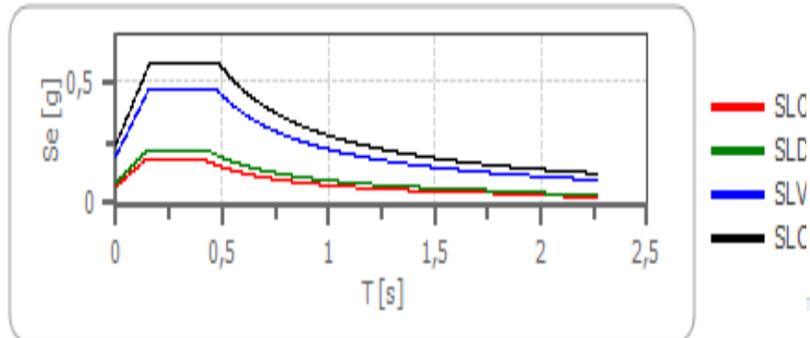
3.2.3.4 Spettri di risposta di progetto per lo stato limite di operatività(SLO)

Per lo **stato limite di operatività (SLO)** lo **spettro di risposta di progetto** $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo **spettro di risposta elastico corrispondente**, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1).



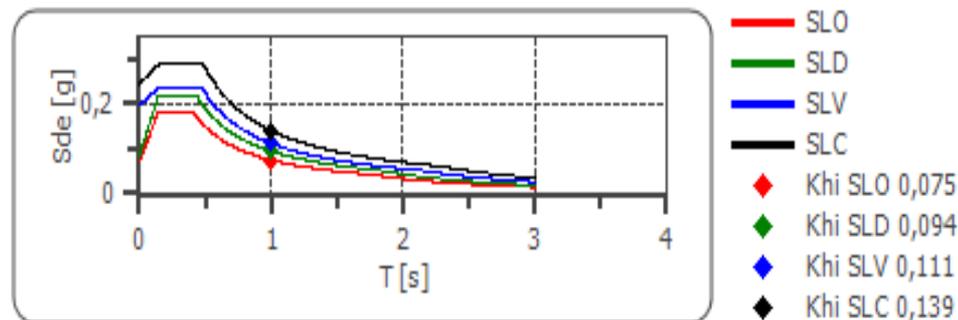
Negli **SLE** solo per **(SLO)** **spettro elastico = spettro di progetto**

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



(Software Geostru PS)

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



↑
new

3.2.3.5 Spettri di risposta di progetto per gli stati limite di danno (SLD), di salvaguardia della vita (SLV) e di prevenzione al collasso (SLC).

Qualora le verifiche agli stati limite di danno, di salvaguardia della vita e di prevenzione del collasso non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi non lineari 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 di **risposta elastico** corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1).

Per valutare la domanda verrà utilizzato tale spettro:

η smorzamento diverso da quello base del 5%

-nel caso di analisi non lineare statica ponendo $\eta = 1$

-nel caso di analisi lineare, statica o dinamica con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule [3.2.2] (per le componenti orizzontali) e nelle formule [3.2.8] (per le componenti verticali) η con $1/q$, dove q è il **fattore di comportamento (ex fattore di struttura) definito nel Capitolo 7.**

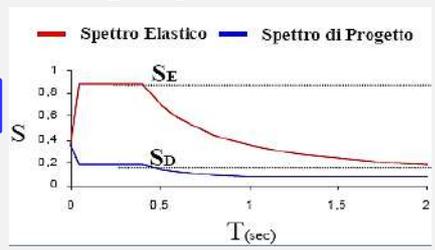
$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

[3.2.2]

***SD(T) = ordinata dello spettro di progetto**

In ogni caso:

$SD(T) \geq 0,2ag$



3.2.3.6. IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

Gli **SLU** e gli **SLE** possono essere verificati mediante l'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali o naturali.

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.

L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione.

3.2.3.6. IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

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

La durata delle storie temporali artificiali del moto del terreno deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di S_s . In assenza di studi specifici, la parte pseudo-stazionaria dell'accelerogramma associato alla storia deve avere durata di almeno 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.

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.

L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione.

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. ←

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.

Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%.

L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite.

3.2.4. EFFETTI DELLA VARIABILITÀ SPAZIALE DEL MOTO

3.2.4.1 VARIABILITÀ SPAZIALE DEL MOTO

Nei punti di contatto con il terreno di opere con sviluppo planimetrico significativo, il moto sismico può avere caratteristiche differenti, a causa del carattere asincrono del fenomeno di propagazione, delle disomogeneità e delle discontinuità eventualmente presenti, e della diversa risposta locale del terreno. Degli effetti sopra indicati deve tenersi conto quando essi possono essere significativi e in ogni caso quando le condizioni di sottosuolo siano così variabili lungo lo sviluppo dell'opera da richiedere l'uso di accelerogrammi o di spettri di risposta diversi. In assenza di modelli fisicamente più accurati e adeguatamente documentati, un criterio di prima approssimazione per tener conto della variabilità spaziale del moto sismico consiste nel sovrapporre agli effetti dinamici, valutati ad esempio con lo spettro di risposta, gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi. Nel dimensionamento delle strutture in elevazione tali effetti possono essere trascurati quando il sistema fondazione-terreno sia sufficientemente rigido da rendere minimi gli spostamenti relativi. Negli edifici ciò avviene, ad esempio, quando si collegano in modo opportuno i plinti di fondazione. Gli effetti dinamici possono essere valutati adottando un'unica azione sismica, corrispondente alla categoria di sottosuolo che induce le sollecitazioni più severe. Qualora l'opera sia suddivisa in porzioni, ciascuna fondata su sottosuolo di caratteristiche ragionevolmente omogenee, per ciascuna di esse si adotterà l'appropriata azione sismica.

3.2.4.2 SPOSTAMENTO ASSOLUTO E RELATIVO DEL TERRENO

Il valore dello spostamento assoluto orizzontale massimo del suolo (d_g) può ottenersi utilizzando l'espressione [3.2.12].

Nel caso in cui sia necessario valutare gli effetti della variabilità spaziale del moto richiamati nel paragrafo precedente, il valore dello spostamento relativo tra due punti i e j caratterizzati dalle proprietà stratigrafiche del rispettivo sottosuolo ed il cui moto possa considerarsi indipendente, può essere stimato secondo l'espressione seguente:

$$d_{ij\max} = 1,25 \sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2} \quad [3.2.13]$$

dove d_{gi} e d_{gj} sono rispettivamente gli spostamenti massimi del suolo nei punti i e j , calcolati con riferimento alle caratteristiche locali del sottosuolo.

Il moto di due punti del terreno può considerarsi indipendente per punti posti a distanze notevoli, in relazione al tipo di sottosuolo; il moto è reso indipendente anche dalla presenza di forti variabilità orografiche tra i punti.

In assenza di forti discontinuità orografiche, lo spostamento relativo tra punti a distanza x (in m) si può valutare con l'espressione:

$$d_{ij}(x) = d_{ij0} + (d_{ij\max} - d_{ij0}) \left[1 - e^{-1,25(x/v_s)^{0,75}} \right] \quad [3.2.14]$$

dove v_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s e d_{ij0} è dato dall'espressione

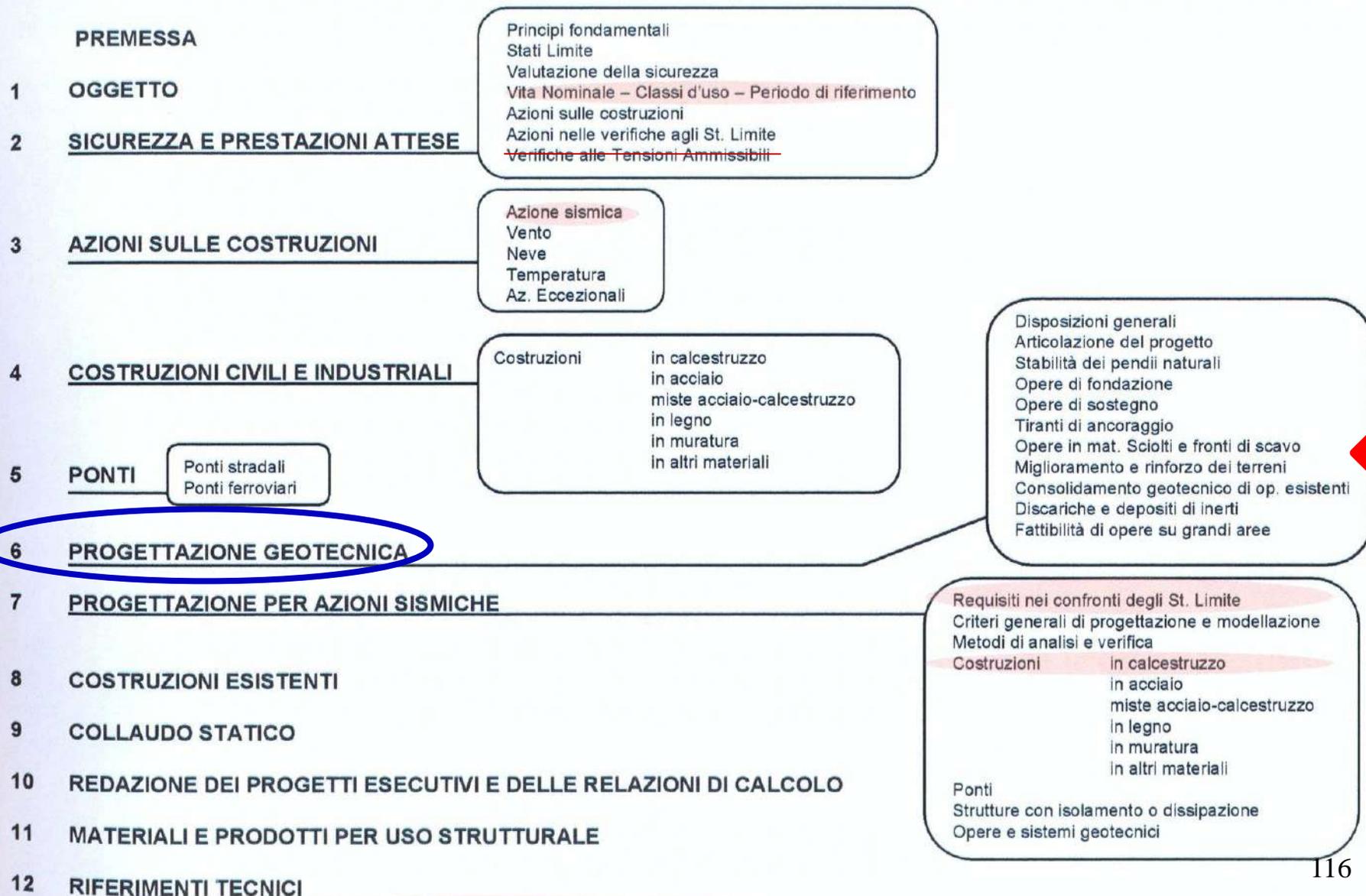
$$d_{ij0} = 1,25 |d_{gi} - d_{gj}| \quad [3.2.15]$$

Per punti che ricadano su sottosuoli differenti a distanza inferiore a 20 m, lo spostamento relativo è rappresentato da d_{ij0} ; se i punti ricadono su sottosuolo dello stesso tipo, lo spostamento relativo può essere stimato, anziché con l'espressione [3.2.14], con le espressioni

$$\begin{aligned} d_{ij}(x) &= \frac{d_{ij\max}}{v_s} \cdot 2,3x \quad \text{per sottosuolo tipo D,} \\ d_{ij}(x) &= \frac{d_{ij\max}}{v_s} \cdot 3,0x \quad \text{per sottosuolo di tipo diverso da D.} \end{aligned} \quad [3.2.16]$$

Per la determinazione delle sollecitazioni indotte nei ponti dagli spostamenti relativi del terreno, si possono utilizzare criteri riportati in documenti di comprovata validità.

Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC 18



**MANCA UN CAPITOLO
FONDAMENTALE NELLE NTC :
PROGETTAZIONE GEOLOGICA.**

**PERTANTO, LA NORMA
CONTIENE BRANDELLI SPARSI
DI ASPETTI GEOLOGICI,
MA LA CULTURA GEOLOGICA,
CHE DOVREBBE REGGERE L'IMPALCATURA
NORMATIVA (Cap. 2, 3, 6, 7, 8),
E' ASSENTE**