

# EC8-2G

Il nuovo standard europeo per la progettazione sismica



**EUCENTRE**  
FOR YOUR SAFETY.



# Analisi e progettazione strutturale

EN1998-1-1. Sicurezza, approcci alle forze e agli spostamenti, classi di duttilità

---

**Paolo Franchin**, Sapienza Università di Roma

TC250/SC8/MG-PT6-PT3, TC250/HG «A&R»

Pavia - 5 Giugno 2025

# Struttura e novità della Parte 1-1, focus della presentazione

- **Struttura**

- **European foreword**, ~~0 Introduction, 1 Scope, 2 Normative references, 3 Terms, definitions and symbols~~
- 4 Basis of design
  - 4.1 Performance objectives
  - 4.2 Consequence classes
  - 4.3 Limit states and associated seismic action
  - 4.4 Primary and secondary seismic members
  - **4.5 Compliance criteria for new structures**
- 5 Site conditions and seismic action
- 6 Modelling, analysis, and verification
  - **6.4 Force-based approach**
  - **6.5 Non-linear static analysis**
  - **6.6 Response-history analysis**
  - **6.7 Verification to limit states**
  - 6.8 Structures equipped with antiseismic devices
- **7 Deformation criteria for displacement-based approach (RC, Steel/composite, timber)**
- Annexes
  - Annex A (informative) European seismic hazard maps
  - Annex B (normative) Alternative identification of site categories
  - Annex C (normative) Site-specific elastic response spectra
  - Annex D (informative) Criteria for selection and scaling of input motions
  - Annex E (normative) Determination of target displacement and limit-state spectral acceleration by using non-linear response-history analyses of an equivalent SDOF model
  - **Annex F (informative) Target reliability and simplified reliability-based verification format**
  - Annex G (normative) Design of fastenings to concrete in the seismic design situation
  - Annex M (normative) Material or product properties in EN 1998-1-1

- **Novità**

- Simplification of the national-level global safety choice through seismic action classes
- Homogenisation of LS definitions across all parts and with improved consistency with EN 1990
- Unambiguous definition of site classification introducing the depth of the bedrock formation
- Definition of one elastic response spectrum instead of two by introducing two parameters in place of  $a_g$
- **New definition of ductility classes**
- **Two possible approaches for analysis: force-based or displacement-based; modelling, analysis and verifications**
  - **FBA: Improved definition of the behaviour factor  $q$**
  - **DBA: Deformation criteria and strength models**
  - **DBA: Reliability-based definition of partial factors**
- Structures equipped with antiseismic devices and dissipative components

# Strategie di protezione (compliance criteria)

- EN1998-1-1:2024,4 “Basis of design” introduce:

- Obiettivi di prestazione

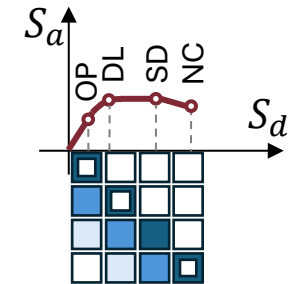
- Classici: 1) protezione vita umana, 2) limitazione danno, 3) operatività per infrastrutture critiche per la Protezione Civile [4.1(1)]

- Classi di conseguenza

- Le stesse di EN1990 (sostituiscono le Classi di Importanza): da CC1 a CC3 (CC4 = beyond code) [4.2(1)]

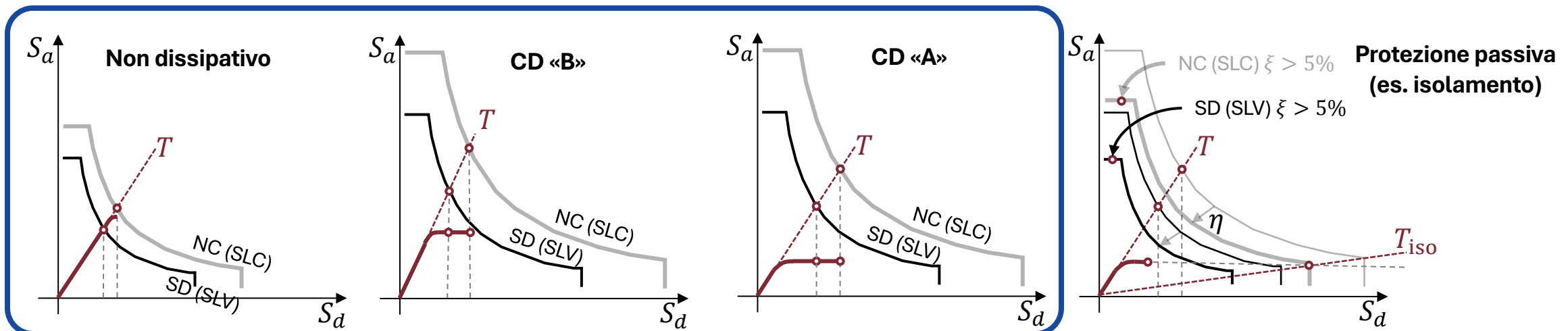
- Stati limite ed azione sismica

- Matrice di prestazione classica, quattro SL come NTC2018: OP, DL, SD ↔ SLV e NC ↔ SLC [4.3(1)]
- Intensità dell'azione, regolata da  $T_{LS,CC}$ , legata all'affidabilità “obiettivo” [4.3(3)]



- *Compliance criteria* (modalità di raggiungimento degli obiettivi)

- Il soddisfacimento di SD implica quello di NC per azione maggiore e DL per azione minore [4.5.1(1) NOTE 1]
- Il raggiungimento degli obiettivi può essere garantito con una combinazione di **resistenza**, capacità di **deformazione inelastica** e capacità di **dissipazione di energia** + Gerarchia delle res. per impedire fragilità/instabilità [4.5.2(1)(2)]



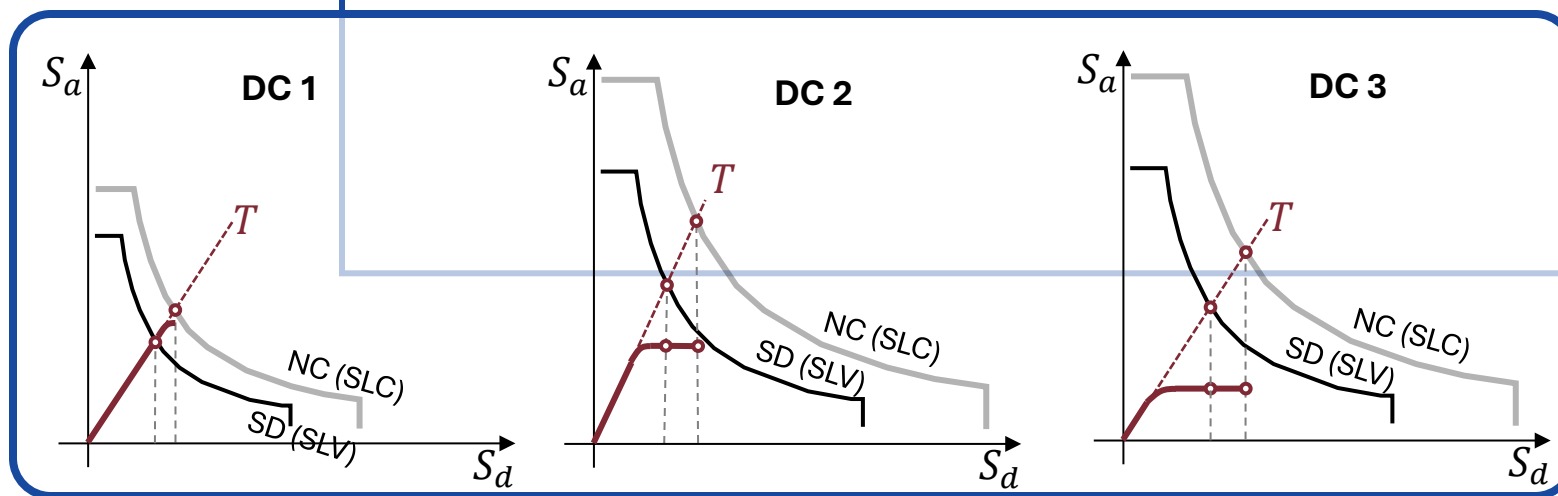
- Le classi di duttilità sono tre, come nella prima generazione e nella nostra norma, ridenominate però per sottolineare che non sono uguali a quelle precedenti [4.5.2(3)]
  - DC 'M' e 'H' non erano ben differenziate, richiedendo lo stesso impegno, solo con un valore di  $q$  inferiore
  - DC 2 è invece vantaggiosa: richiede non solo dettagli costruttivi ma anche calcoli più semplici (no gerarchia nei nodi)
- Inoltre, l'applicabilità delle DC dipende dalla classe di azione sismica

| Norma    | Resistenza | Resistenza e duttilità | Duttilità |
|----------|------------|------------------------|-----------|
| EN 1G    | DC 'L'     | DC 'M'                 | DC 'H'    |
| NTC 2018 | Non diss.  | CD 'B'                 | CD 'A'    |
| EN 2G    | DC 1       | DC 2                   | DC 3      |

- Ability of the structure to form a **global plastic mechanism** at SD is **verified**
- local** overstrength + inelastic deformation + energy dissipation capacities all account for

- Local** overstrength+inelastic deformation+energy dissipation capacities accounted for
- Global** plastic mechanisms controlled by limited verifications.

- Local** overstrength capacity accounted for
- Inelastic deformation & energy dissipation capacities disregarded

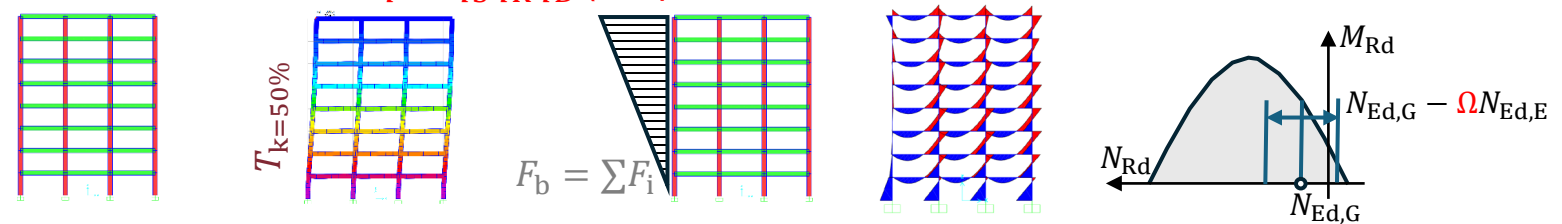


(\*) La classe DC3 non corrisponde, in termini di  $q$ , alla classe H precedente per tutte le tipologie

# Approcci | Force-based vs displacement-based

- FBA (tradizionale):

- Geometria, massa, **rigidezza (assunta 50% di quella integra)** → proprietà modali
- Spettro ridotto** → forze equivalenti o analisi modale → **verifiche in forze** (MN,V, etc)
- Fattore di struttura  $q = q_S q_R q_D$**  (trasparenza sui contributi di sovrarigidità, ridondanza e duttilità)

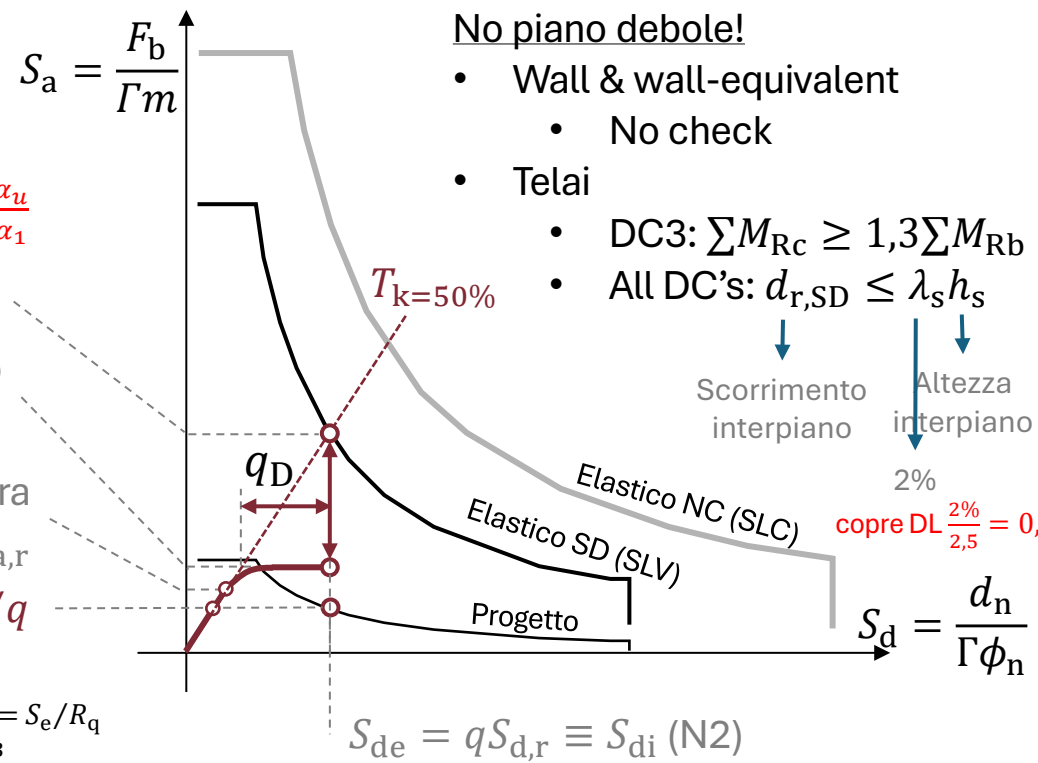


Il ordine:  $\theta = \frac{M_{II}}{M_I} = \frac{q N_{Ed} d}{q_s q_R V_{Ed} h}$   
Se  $0,1 < \theta \leq 0,2$ :  $M'_{Ed} = M_{Ed} \frac{1}{1-\theta}$   
Se  $0,2 < \theta$  analisi NL e  $\theta = \frac{N_{Ed} d}{V_{Ed} h} \leq 0,3$

Table 10.1 — Default upper limit values of the behaviour factors

| Structural type                                                                                                             | $q_R$ | $q_D$ |     | $q = q_R q_S q_D$ |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-----|-------------------|-----|
|                                                                                                                             |       | DC2   | DC3 | DC2               | DC3 |
| Moment resisting frame or moment resisting frame-equivalent dual structures without infills or with non-interacting infills | 1,3   | 1,3   | 2,0 | 2,5               | 3,9 |
|                                                                                                                             | 1,2   |       |     | 2,3               | 3,6 |
|                                                                                                                             | 1,1   |       |     | 2,1               | 3,3 |
| Moment resisting frame or moment resisting frame-equivalent dual structures with interacting masonry infills                | 1,1   | 1,2   | 1,7 | 2,0               | 3,0 |
| wall-equivalent dual structures                                                                                             | 1,2   | 1,3   |     | 2,3               | 3,6 |
| Wall or wall-equivalent dual structures                                                                                     | 1,2   | 1,4   | 2,0 | 2,5               | 3,6 |
|                                                                                                                             | 1,0   | 1,3   |     | 2,0               | 3,0 |
| Flat slab structures                                                                                                        | 1,1   | 1,2   | --  | 2,0               | --  |

Esempio da EN1998-1-2 CA (cap. 10)



- No piano debole!
- Wall & wall-equivalent
    - No check
  - Telai
    - DC3:  $\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$
    - All DC's:  $d_{r,SD} \leq \lambda_s h_s$

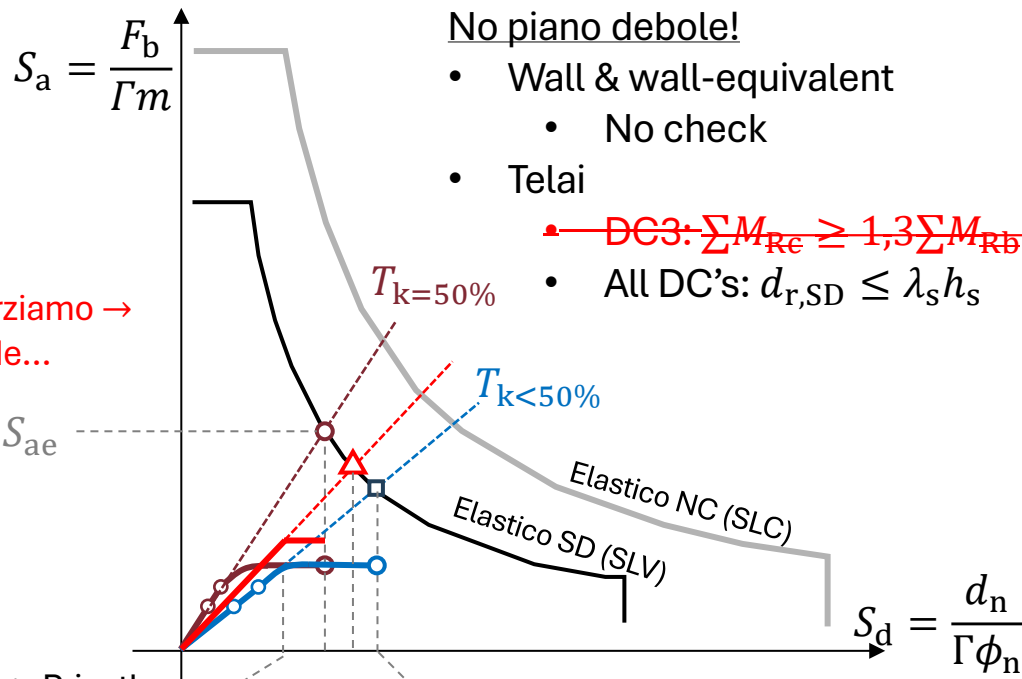
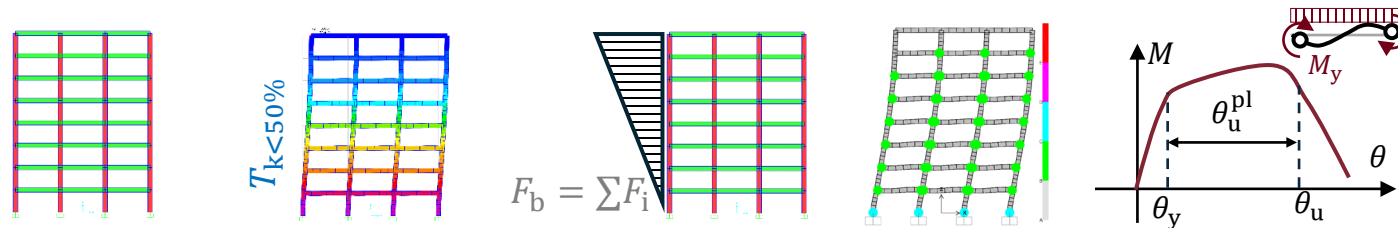
NB  $q_R$  è il vecchio  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$

NB: spettro ridotto  $S_r = S_e / R_q$  con  $R_q = q$  per  $T \geq T_B$

$S_{de} = q S_{d,r} \equiv S_{di} (N2)$

# Approcci | Force-based vs displacement-based

- DBA (nuovo, già in EN1998-3:2005 limitatamente ad esistente):
  - Geometria, massa, **resistenza** → rigidezza (<50% di quella integra) → proprietà modali
  - Spettro inelastico = elastico (N2)** → spost. obiettivo → **verifiche duttili/fragili** ( $\theta, V$ , etc)



No piano debole!

- Wall & wall-equivalent
  - No check
- Telai

~~DC3:  $\sum M_{Re} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$~~

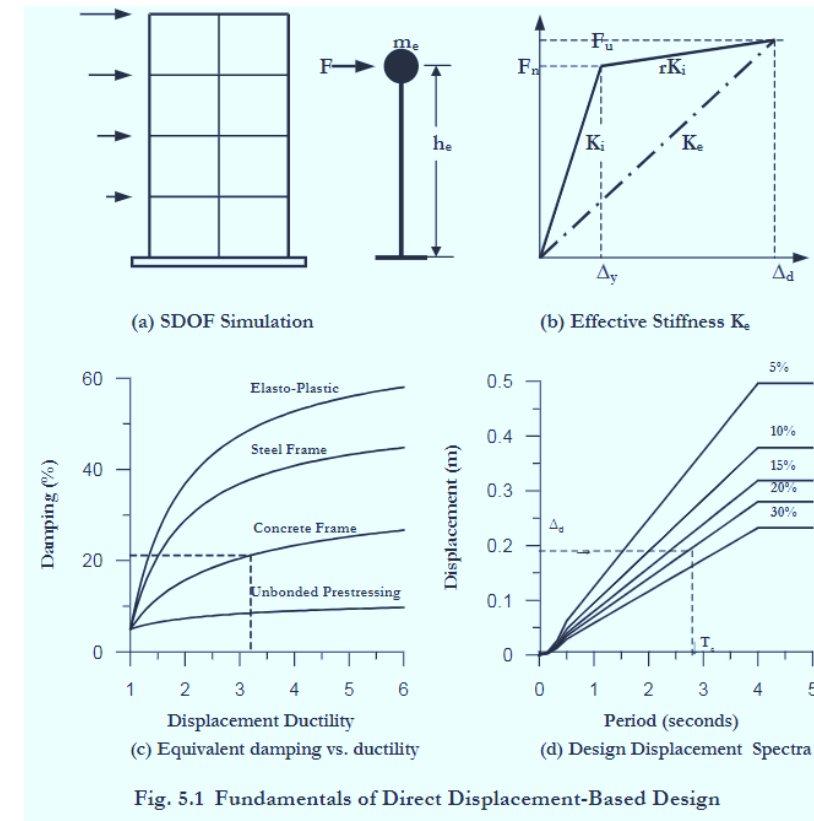
- All DC's:  $d_{r,SD} \leq \lambda_s h_s$

E se  $d_{r,SD} > \lambda_s h_s$   
o  $\theta_{Ed} > \theta_{SD}$ ?  
Irrigidiamo = rinforziamo →  
 $q$  era troppo grande...

e.g., Priestley  
 $\Delta_y \cong 0,01H \rightarrow S_{dy}$

$S_{dt} = S_{di} \equiv S_{de} \text{ (N2)}$

Attenzione: DBD ≠ DDBD



Priestley, N. 2003. Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revised (The Ninth Mallet Milne Lecture, 2003). IUSS press.

- L'analisi è non lineare, statica (*pushover*) <sup>[6.5]</sup> o dinamica (*response-history*) <sup>[6.6]</sup>

- Statica

- Almeno distribuzione modale per direzione (massa efficace max direzione considerata)  $\bar{F}_i = m_i \phi_i$
- Spostamento di controllo  $d_n$  (ordinata modale massima nella direzione considerata)
- Curva di capacità  $F_b(d_n) \rightarrow F^*(d^*)$  legame oscillatore equivalente ( $F^* = F_b/\Gamma$  e  $d^* = d_n/\Gamma \phi_n$ )
- Bilinearizzazione <sup>[6.5.3(2)-(6)]</sup> (o multilinearizzazione <sup>[Annex E.3(2)]</sup>)  $\rightarrow k^* \rightarrow T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*}$

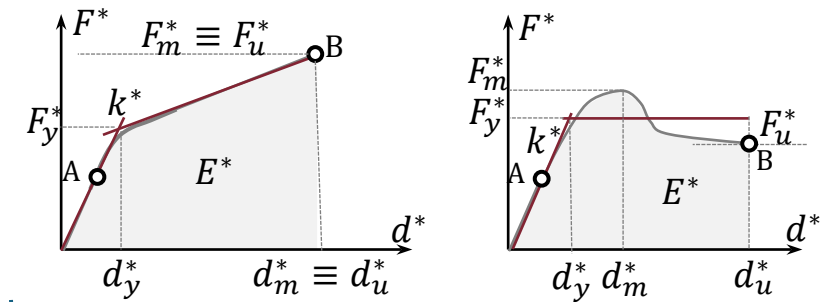


Fig. 6.1

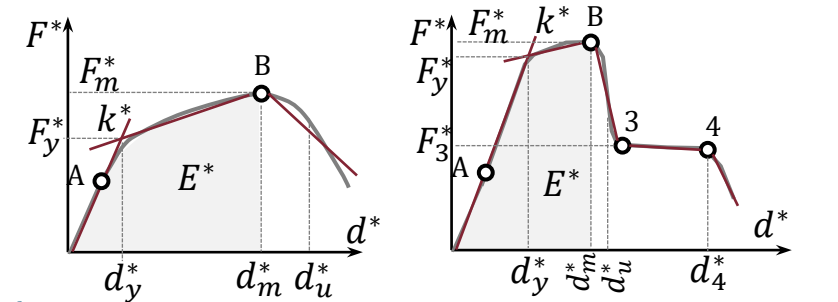


Fig. E.1

Mode shapes  $\phi$  are always normalised. [...] they can be nondimensional; in this case only,  $m^*$  has dimension of mass. [...] if mode shapes have a dimension, [it] cancels out in the evaluation of the  $T^*$  [and] also in the evaluation of the yield acceleration  $F_y^*/m^*$

- Spostamento domanda (*target displacement*): N2 ovvero  $d_t^* = S_{De}(T^*)$  per  $T^* \geq T_c$  (maggiore altrimenti)
  - Oppure da analisi al passo di oscillatore multilineare <sup>[Annex E.4]</sup>

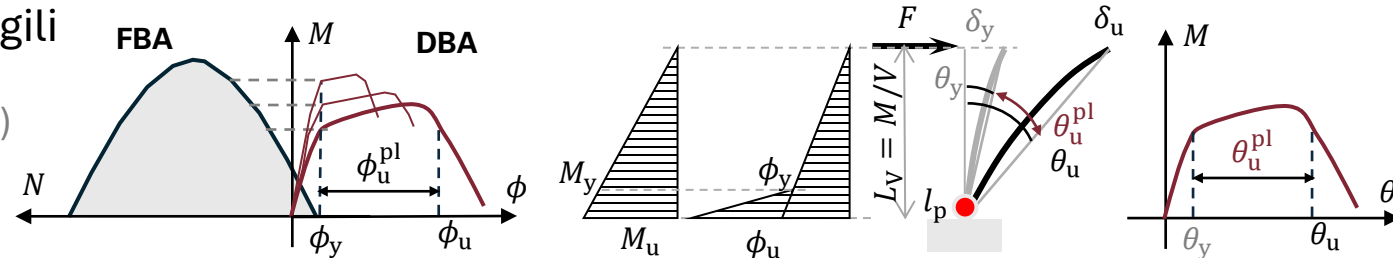
- Dinamica

- 7 moti multi-componente (3 solo in *low seismic action class*) e media dei picchi come domanda
- Moti preferibilmente naturali registrati, criteri di selezione nell'annesso C (anche *conditional spectrum*)

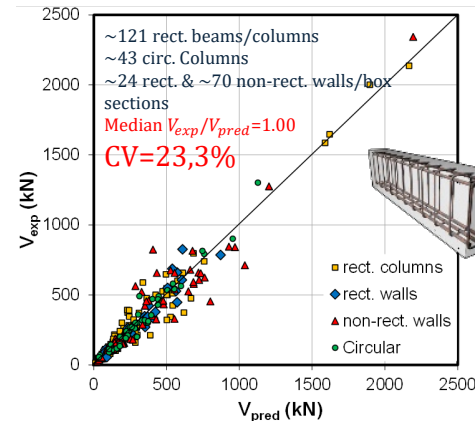
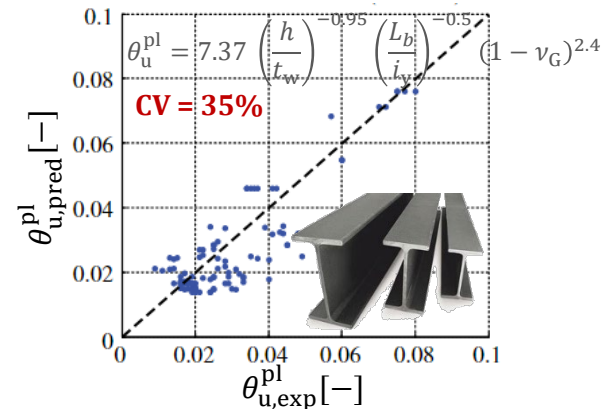
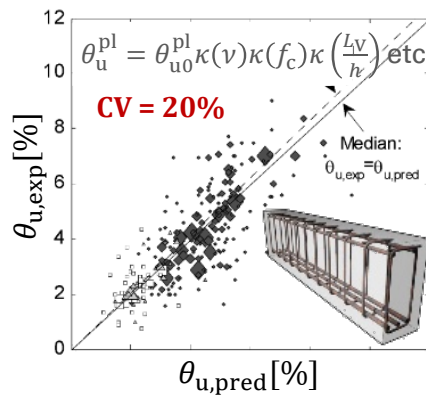


- Verifiche differenziate per mecc. duttili e fragili

- Duttili:  $\theta_{Ed} \leq \theta_{SD} = \frac{\theta_y + \alpha_{SD} \theta_u^{pl}}{\gamma_{Rd, \theta, SD}}$  (o  $\theta_{NC} = \frac{\theta_y + \theta_u^{pl}}{\gamma_{Rd, \theta, NC}}$ )
- Fragili:  $V_{Ed} \leq V_{SD} = \frac{\alpha_{SD, V} V_R}{\gamma_{Rd, V, SD}}$  (o  $V_{NC} = \frac{V_R}{\gamma_{Rd, V, NC}}$ )



- I coefficienti  $\alpha_{SD}$  e  $\alpha_{SD, V}$  servono a differenziare la capacità SD da quella NC (che è più chiaramente definita)
  - $\alpha_{SD} = 0,5$  assicura che il livello di danno sia coerente con quello che si avrebbe per un equivalente edificio progettato in forze (al contrario, la precedente capacità  $\theta_{SD} = 0,75\theta_{NC}$  non lo era, rendendo artificialmente più vantaggiosa la verifica SD)
  - $\alpha_{SD, V} = 0,8$  calibrato perché l'esito positiva @SD implichi quello @NC (SD→NC aumenta domanda e diminuisce resistenza)
- Il nuovo capitolo 7 fornisce i modelli di deformabilità e resistenza necessari sia per l'analisi che le verifiche



Tutti i modelli (CA, acciaio, composte, etc) sono basati su grandi basi dati sperimentali, sono ricavati per non avere distorsione e caratterizzati in termini di dispersione

- I nuovi fattori parziali  $\gamma_{Rd, \theta}$ ,  $\gamma_{Rd, V}$  sono *reliability-based* e servono ad ottenere la stessa affidabilità implicata ma non dichiarata per le strutture tradizionali *force-based designed*



- La sicurezza si quantifica con l'affidabilità, cioè  $1 - p_f$

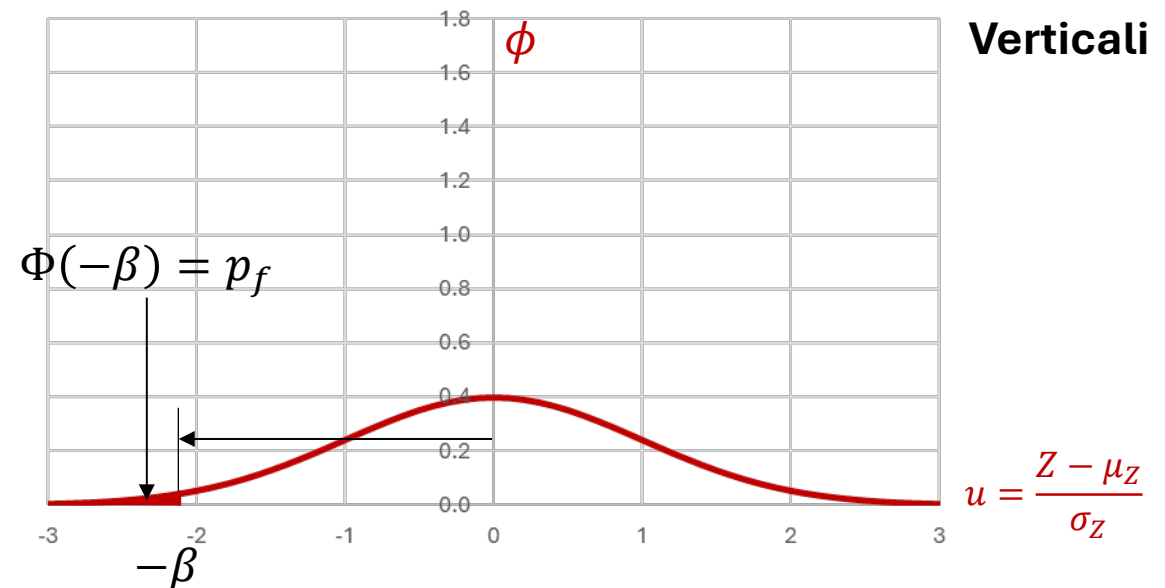
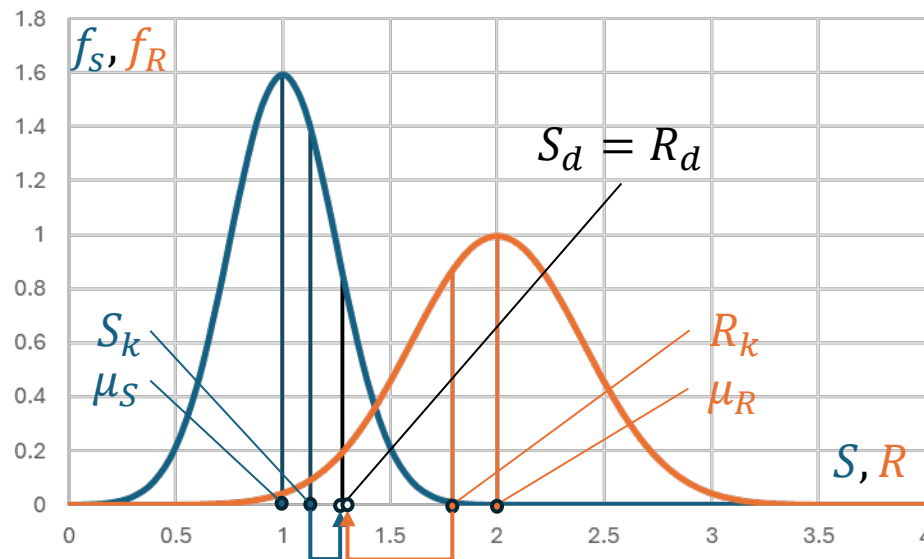
$$p_f = p(R \leq S) = p(Z = R - S \leq 0) = p\left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} \leq -\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta)$$

- Metodo ai fattori parziali

- Non si calcola  $p_f$  si confrontano valori di calcolo (design values)

$$S_d = \gamma_S S_k \rightarrow \gamma_S = \frac{S_d}{S_k} = \frac{1 + \alpha_S \beta V_S}{1 + \kappa_S V_S}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \rightarrow \gamma_R = \frac{R_k}{R_d} = \frac{1 + \kappa_R V_R}{1 - \alpha_R \beta V_R}$$



Verticali

- Tutto si può scrivere negli stessi termini

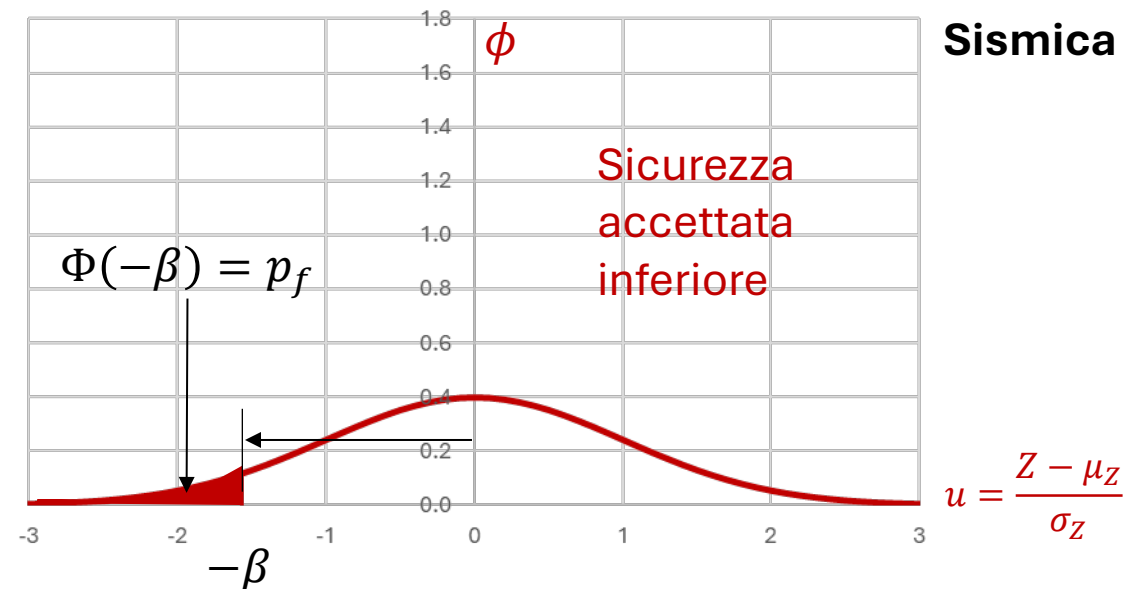
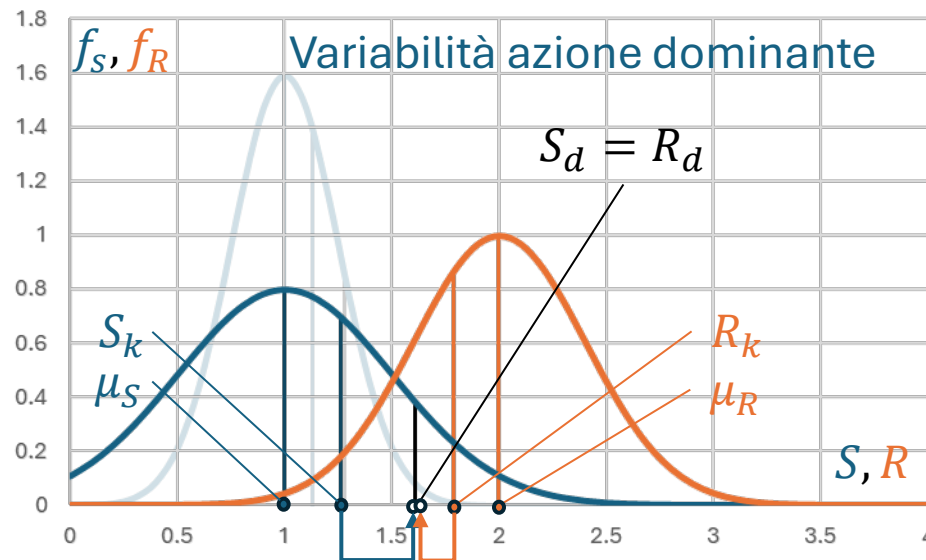
$$p_f = p(R \leq S) = p(Z = R - S \leq 0) = p\left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} \leq -\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta)$$

- Metodo ai fattori parziali

- Cambiano i coefficienti  $\alpha_S$  e  $\alpha_R$  (prima  $\alpha_S < \alpha_R$  ora  $\alpha_S > \alpha_R$ ) e  $\beta$

$$S_d = \gamma_S S_k \rightarrow \gamma_S = \frac{S_d}{S_k} = \frac{1 + \alpha_S \beta V_S}{1 + \kappa_S V_S}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \rightarrow \gamma_R = \frac{R_k}{R_d} = \frac{1 + \kappa_R V_R}{1 - \alpha_R \beta V_R}$$



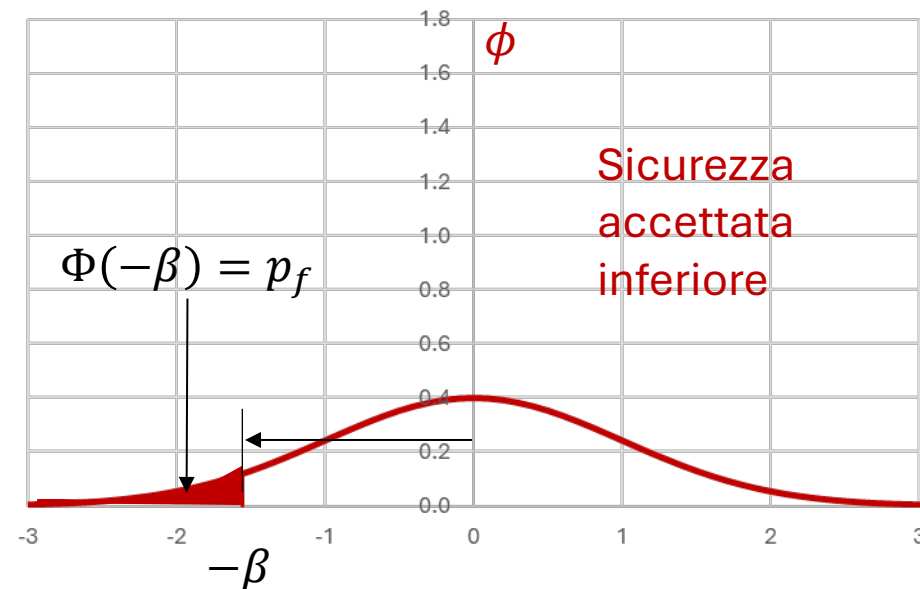
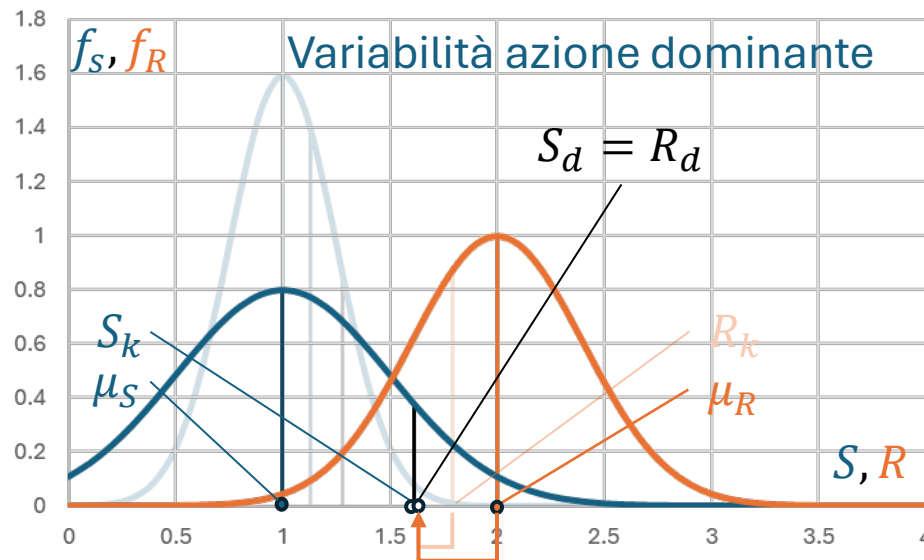
- In sismica non si amplifica l'azione

- $S_d = \gamma_S S_k \rightarrow \gamma_S = 1 \rightarrow S_k = S_d \rightarrow$  il frattile deve dipendere da  $\beta$

$$T_R = -\frac{\ln t_L}{\Phi(0,8\beta)}$$

- Si usa il solo fattore lato resistenza  $\gamma_R^* > \gamma_R$  (si applica alla mediana/media)

$$R_d = \frac{\mu_R}{\gamma_R^*}$$



**Sismica**

$$u = \frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z}$$

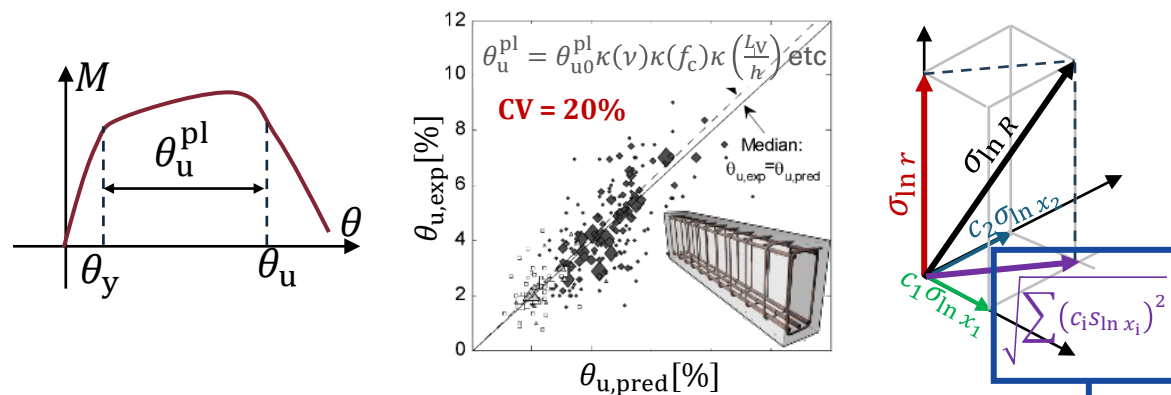
# Sicurezza | Fattori parziali e affidabilità obiettivo in EN1998 (2G)

## • EN1998: fattori parziali per il DBA

- Si parte dalle espressioni DVM per distribuzioni lognormali,  $\alpha_R$  e  $\alpha_E$  'sismici', da applicare alla resistenza mediana  $\gamma_{Rd} = \exp \alpha_R \beta_t \sigma_{\ln R}$  e  $\gamma_E = \frac{\exp -\alpha_E \beta_t \sigma_{\ln E}}{\exp \kappa_E \sigma_{\ln E}}$
- Per arrivare, per ragioni di compatibilità con la norma precedente (*evolution not revolution*), a:
  - Il frattile dell'azione legato a  $\beta_t$  (sempre)
  - Un fattore singolo lato resistenza  $\gamma_{Rd}^* = \gamma_{Rd} \gamma_{Ed} = \exp(\alpha_R^* \beta_t \sigma_{\ln R})$  per le strutture a base fissa
  - Un fattore singolo lato effetto dell'azione  $\gamma_x = \gamma_{Rd} \gamma_{Ed} = \exp[\beta_t \sigma_t - \kappa_S b \sigma_{\ln S}]$  per le strutture isolate o con dissip.

Presentazione su isolamento e dissipazione  
(Prof. Alberto Pavese)

## • I valori di $\sigma_{\ln R}$ sono forniti nelle altre parti di EN1998



NB: questa parte dipende dalle informazioni raccolte, quindi dal livello di conoscenza (KLG, KLD o KLM) per le strutture esistenti:  $\gamma_{Rd,KL}^*$  Parte 3 (Prof. Sergio Lagormarsino)

- Valori di  $\beta_t$  suggeriti in Parte 1-1, Annex F mentre quelli di  $T_R = -\frac{\ln t_L}{\Phi(0,8\beta)}$  forniti nelle altre parti di EN1998

Table 10.2 — Total logarithmic standard deviation  $\sigma_{\ln R}$  of the resistance model

| Section shape       | Chord rotation $\theta_u$ | Shear |
|---------------------|---------------------------|-------|
| Rectangular, hollow | 0,22                      | 0,35  |
| Circular            | 0,17                      | 0,30  |

Table 10.3 (NDP) — Partial factors at SD and NC

| Section shape       | Chord rotation $\theta_u$ |      | Shear |      |
|---------------------|---------------------------|------|-------|------|
|                     | SD                        | NC   | SD    | NC   |
| Rectangular, hollow | 1,35                      | 1,55 | 1,60  | 2,00 |
| Circular            | 1,26                      | 1,40 | 1,50  | 1,80 |

NOTE The values in Table 10.3 (NDP) are computed with the values of  $\beta_{t,LS,2}$  (i.e. CC2) suggested in prEN 1998-1-1:2022, F.3. Values for CC other than CC2 can be calculated according to the note in 6.2.3(3). If the National Annex gives different values of  $\beta_{t,LS,CC}$  for use in a country, the partial factors should be updated according to the note in 6.2.3(3).

# Sicurezza | Fattori parziali e affidabilità obiettivo in EN1998 (2G)

- Valori di  $\beta_t$  suggeriti in Annex F della Parte 1-1

Table F.2 (NDP) — Target annual probability of exceedance  $P_{t,LS,CC}$

| Limit state | Consequence class     |                       |                       |                       |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|             | CC1                   | CC2                   | CC3-a                 | CC3-b                 |
| NC          | $8,2 \times 10^{-4}$  | $2,0 \times 10^{-4}$  | $1,0 \times 10^{-4}$  | $0,4 \times 10^{-4}$  |
| SD          | $24,4 \times 10^{-4}$ | $11,3 \times 10^{-4}$ | $8,0 \times 10^{-4}$  | $4,6 \times 10^{-4}$  |
| DL          | $87,0 \times 10^{-4}$ | $73,5 \times 10^{-4}$ | $68,6 \times 10^{-4}$ | $61,7 \times 10^{-4}$ |

Table F.1 (NDP) — Target reliability index  $\beta_{t,LS,CC}$  in a 50-year reference period

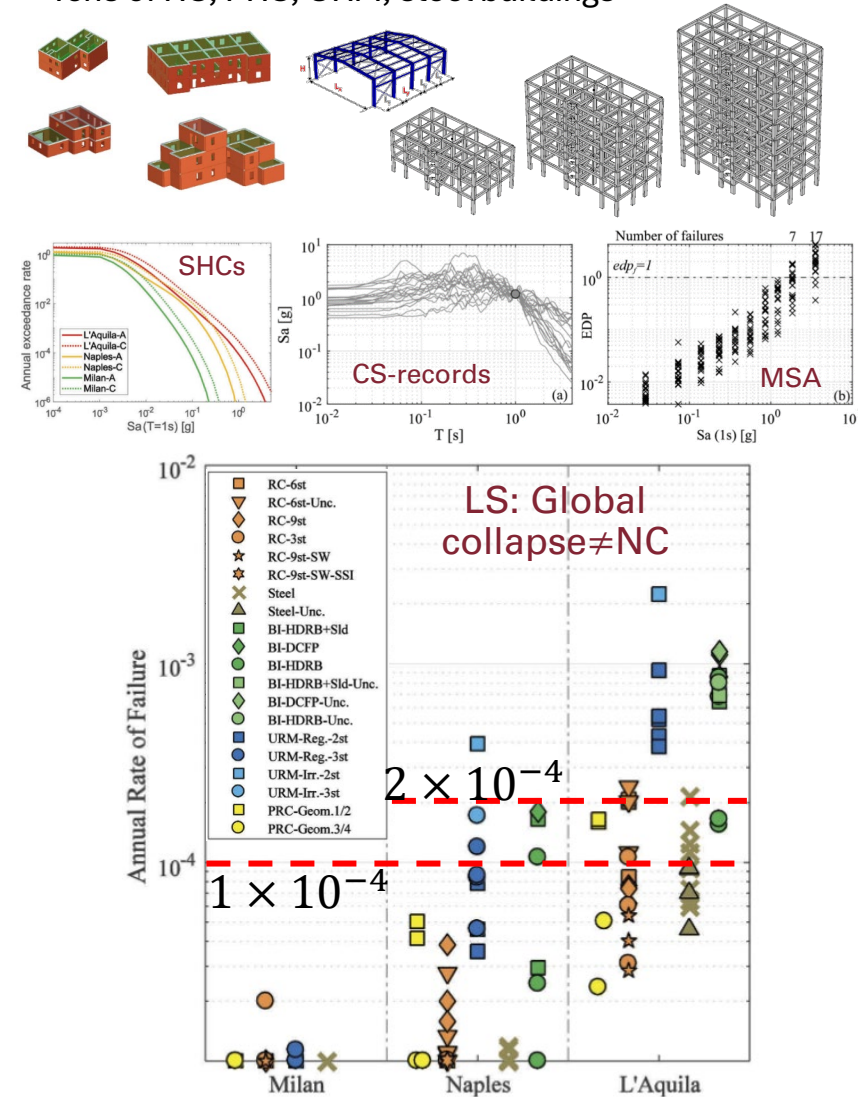
| Limit state | Consequence class |      |       |       |
|-------------|-------------------|------|-------|-------|
|             | CC1               | CC2  | CC3-a | CC3-b |
| NC          | 1,75              | 2,33 | 2,56  | 2,91  |
| SD          | 1,20              | 1,60 | 1,76  | 2,00  |
| DL          | 0,38              | 0,50 | 0,55  | 0,63  |

- Valori di  $T_R = -\frac{\ln t_L}{\Phi(0,8\beta)}$  forniti nelle altre parti di EN1998

Table 4.3 (NDP) — Return period  $T_{LS,CC}$  values, in years, for buildings

| Limit state | Consequence class |      |       |       |
|-------------|-------------------|------|-------|-------|
|             | CC1               | CC2  | CC3-a | CC3-b |
| NC          | 600               | 1600 | 2500  | 5000  |
| SD          | 275               | 475  | 600   | 900   |
| DL          | 100               | 115  | 125   | 140   |

RINTC project 2015-2018:  
Tens of RC, PRC, URM, steel buildings

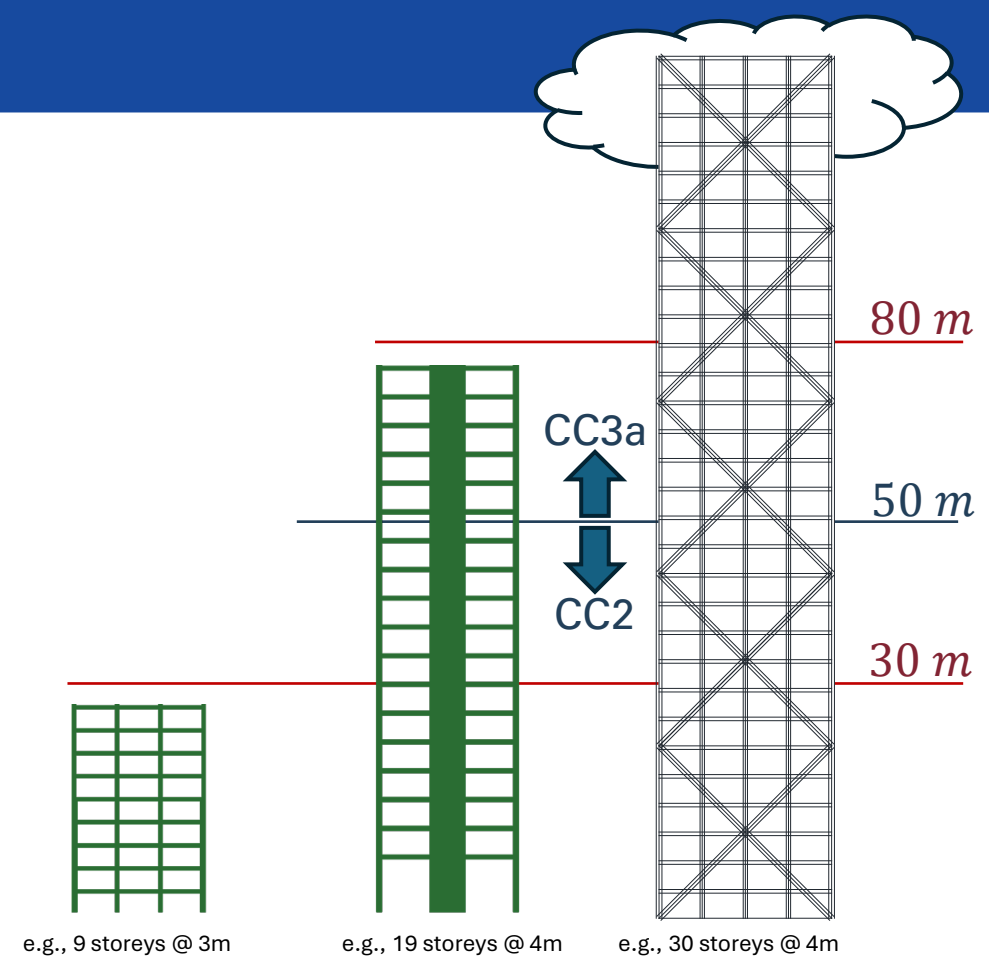


Valori coerenti con quelli valutati indipendentemente in passato: l'affidabilità sismica corrispondente al FBD è inferiore a quella per carichi verticali

- Il DBA è uno strumento innovativo che permette la vera progettazione prestazionale

- USA/Cina
  - edifici «normali»: codice
  - edifici alti: linee guida ad-hoc (es. TBI)
- Nuovo EN1998 si possono fare entrambi
- Introdotta  $\xi(H)$  per edifici sopra i 30 m
- $H > 50\text{ m} \rightarrow \text{CC3a}$
- $H > 80\text{ m} \rightarrow \text{RHA con SSI}$

Presentazione sulla Parte 5  
(Prof. Luigi Callisto)



|         |                            | e.g., 9 storeys @ 3m | e.g., 19 storeys @ 4m | e.g., 30 storeys @ 4m |
|---------|----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| FBA     | Lateral force method       | ✓                    | ✗                     | ✗                     |
|         | Response spectrum analysis | ✓ with $q$           | ✓                     | ✗                     |
| DBA     | Nonlinear static analysis  | ✓                    | ✓                     | ✗                     |
|         | Response history analysis  | ✓                    | ✓                     | ✓ with SSI            |
| Damping |                            | $\xi = 5\%$          | $\xi(H) \leq 5\%$     |                       |