

EC8-2G

Il nuovo standard europeo per la progettazione sismica



EUCENTRE
FOR YOUR SAFETY.



Materiali e tipologie costruttive

EN1998-2. Ponti

Paolo Franchin, Sapienza Università di Roma

TC250/SC8/MG-PT6-PT3, TC250/HG «A&R»

Pavia - 5 Giugno 2025

Struttura e novità della Parte 2, focus della presentazione

- Struttura

- **European foreword**, 0 Introduction, 1 Scope, 2 Normative references, 3 Terms, definitions and symbols
- 4 Basis of design
 - **4.1 Basic requirements**
 - **4.2 Seismic actions**
 - **4.3 Characteristics of earthquake resistant bridges**
- 5 Modelling and structural analysis
 - 5.2 Methods of analysis
 - **5.2.2 Force-based approach**
 - **5.2.3 Displacement-based approach**
 - **5.3 Methods of analysis accounting for SVGM**
- 6 Verifications of structural members to limit states
- 7 Detailing for ductility
- 8 Bridges equipped with antiseismic devices
- **9 Cable-stayed and extradosed bridges**
- **10 Integral abutment bridges**
- Annexes
 - A (informative) Characteristics of earthquake resistant bridges
 - B (informative) Added mass of entrained water for immersed piers
 - C (informative) Additional information on timber bridges
 - **D (informative) Displacement-based approach for integral abutment bridges**

- Novità

- Alignment with the general rules given in EN 1998-1-1 and removal of redundancies (**146 → 85 pages**)
- Development of DBD for bridges
- **New approach for considering the spatial variability of the seismic action**
- Further development of the verification rules
- **Specific rules for cable-stayed, extradosed and integral abutment bridges**
- New informative annex on timber bridges

Più informazioni
nel ciclo di
webinar sul sito
EAEE

Capitolo 4 | Basis of design| CC, $T_{LS,CC}$, F_T

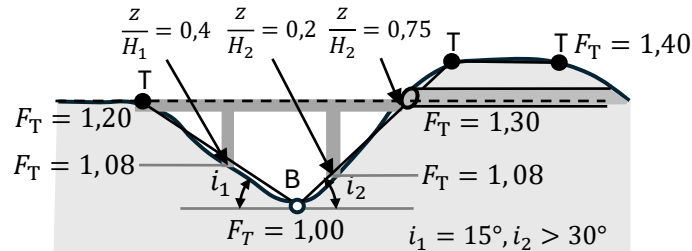
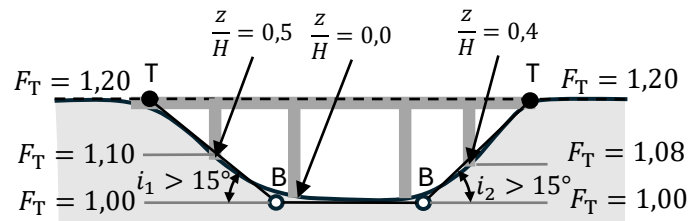
- $\text{tE} \rightarrow \text{CC} \rightarrow \text{EN1990 Table A.2.1 (NDP)}$ [4.1(1)]

- Azione sismica

- $T_{LS,CC} = -\frac{t_L}{\ln \Phi(0,8\beta_{t,LS,CC})}$ come edifici a parità di CC e LS [4.2.1(1)]

- **Amplificazione topografica** declinata nel caso dei ponti

- Valori di F_T da calcolare a ogni supporto [4.2.1(3)]
- Se non si considera la SVGM, moto amplificato con $\bar{F}_T$ [5.3.1(2)]
- Se la SSI è considerata con un modello completo (intero sistema terreno-fondazione-struttura), amplificazione topografica e SVGM sono modellate implicitamente (no F_T) [4.2.1(7)]



- **Componente verticale:** sì per impalcati pre-sollecitati, ponti strallati, nel caso di dispositivi antisismici o quando le pile sono soggette a flessione sotto i carichi verticali in *high seismic action class*. Può essere omessa sulle pile in *low & moderate* [4.2.1(4)(5)]
- L'azione sismica in EN1998-1-1 non contiene gli **spostamenti co-sismici**, vanno considerati se rilevanti (prossimità faglie attive poco profonde) [5.3.1(2)]
 - Raccomandazione non seguita da indicazioni operative ($\rightarrow$ Parte 4)

Table A.2.1 (NDP) — Examples of bridges in different consequence classes

Consequence class a	Description of consequence	Examples
CC4b	Highest	
CC3b	High (upper class)	Where an increased level of reliability is required, when specified by the relevant authority or, where not specified, agreed for a specific project by the relevant parties
CC3a	High (lower class)	Railway bridges on main railway lines, bridges over main railway lines, bridges over and under major roads
CC2	Normal	Bridges not in other consequence classes
CC1	Low	Short span bridges on local roads with little traffic (provided they do not span over main railway lines or major roads)
CC0b	Lowest	Elements other than structural, see 3.1.1.7.

^a CC3b corresponds to an increased level of reliability compared to CC3a.
^b For provisions concerning CC0 and CC4, see 4.3.

Table 4.2 (NDP) — Return period $T_{LS,CC}$ values, in years, for bridges

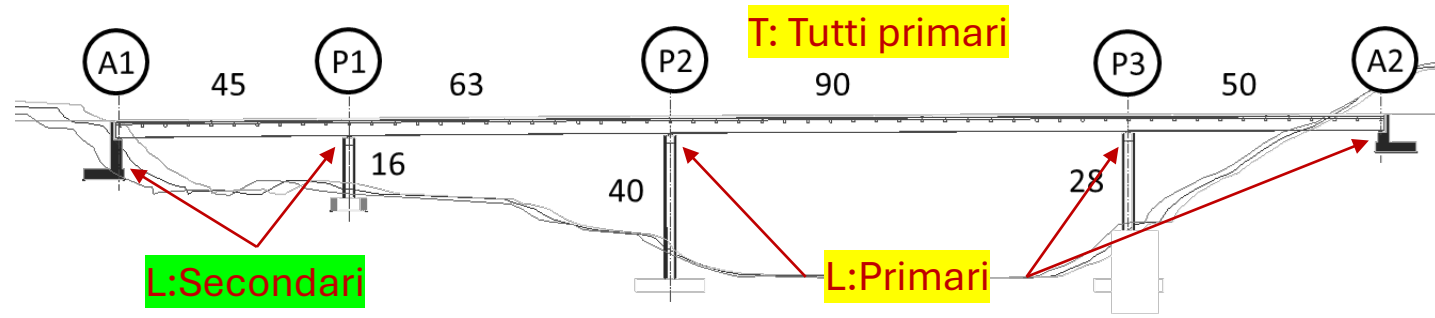
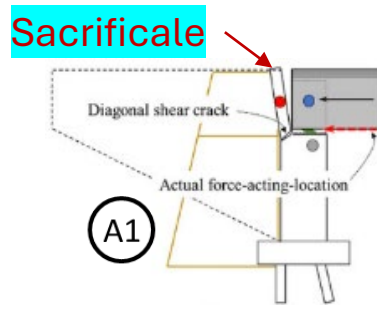
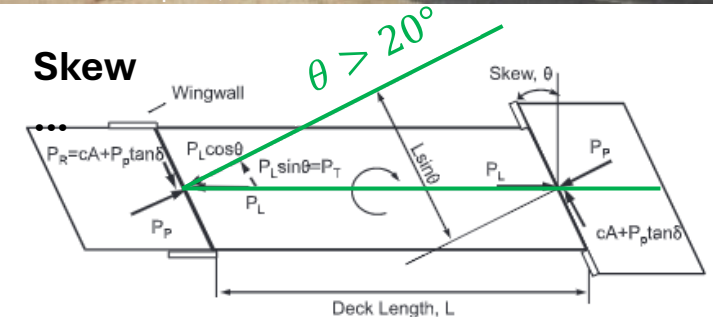
Limit state	Consequence class			
	CC1	CC2	CC3-a	CC3-b
NC	600	1600	2500	5000
SD	275	475	600	900
DL	100	115	125	140



A1, Ponte sul Reno

Capitolo 4 | Basis of design| Principi di progettazione

- Le prestazioni sotto sisma dovrebbero essere considerate fin dalla concezione strutturale [4.3.1(2)]
 - I requisiti sono gli stessi di tutte le strutture, così come indicati nella Parte 1-1
- Il soddisfacimento dei requisiti può essere garantito mediante [4.3.1(3)]:
 - Combinazione di resistenza, capacità di deformazione inelastica e capacità di dissipazione di energia + Gerarchia delle res. per impedire fragilità/instabilità
 - Dissipazione di energia sì, ma non nelle fondazioni [4.3.1(10)]
 - Uso di dispositivi antisismici
 - Combinazione dei due
- Resistenza sismica in tutte le direzioni [4.3.1(1)] e rigidezza torsionale mai affidata a una sola pila [4.3.1(5)]
 - Nei ponti a singola campata la rigidezza torsionale dev'essere assicurata dagli appoggi [4.3.1(6)]
 - L'effetto di N sulla rigidezza degli appoggi dovrebbe essere modellato nei ponti molto obliqui $\varphi > 45^\circ$ [5.1.2(4)]
- I supporti sono classificati in **primari**, **secondari** e **sacrificali** [4.3.2(1)&(5)]

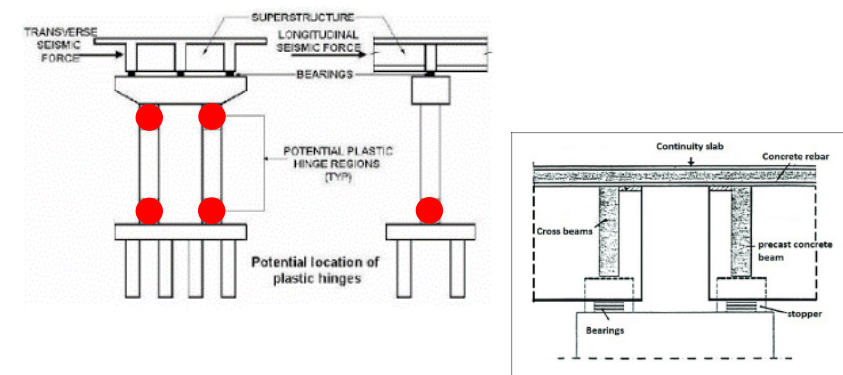


	A1	P1	P2	P3	A2	
LOW						
MODERATE						
HIGH						

Capitolo 4 | Basis of design| Principi di progettazione

- **Struttura primaria** = insieme dei supporti primari
 - Le deve essere attribuita una classe di duttilità (unica = stessa per tutti gli elementi in tutte le direzioni) [4.3.6(2)(3)]
 - NB Un pila può essere classificata P in una direzione e S nell'altra
 - La classe di duttilità non può essere scelta indipendentemente dalla *seismic action class* [4.3.6(4)(5)]
- **Gerarchia delle resistenze**
 - La posizione delle zone critiche dev'essere scelta con criteri di accesso per ispezione/riparazione [4.3.3(1)]
 - Strutture in DC2 e DC3 dovrebbero sviluppare un meccanismo affidabile di dissipazione dell'energia, parziale o globale [4.3.3(2)]
 - **Impalcato:** deve rimanere elastico [4.3.3(5)]
 - Le solette di continuità possono plasticizzare [4.3.3(6)]
- **Connessioni e controllo degli spostamenti**
 - **Perdita di appoggio:** dev'essere evitata [4.3.4(1)]
 - Indicazioni nel capitolo 8 (ponti isolati, $\gamma_x = 2,0$)
 - **Martellamento:** dovrebbe essere evitato [4.3.5(2)]
$$d_{Ed} = d_G "+" d_E "+" \psi_2 d_T$$
 - Esclusione degli elementi sacrificali, ma protezione degli elementi sensibili: es. ancoraggi cavi pre-sollecitazione [4.3.5(6)]

	DC1	DC2	DC3
Low	Ok	Ok	Ok
Moderate	-	Ok	Ok
High	-	Ok (CC1)	Ok



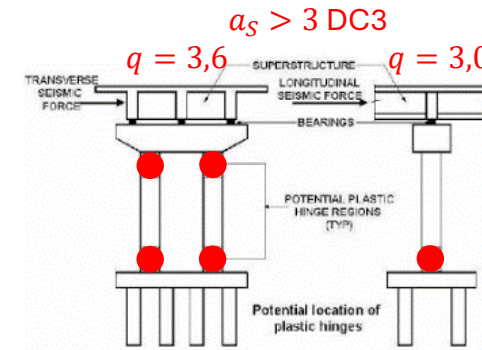
Nel calcolo di d_E si dovrebbe tenere conto degli effetti del II ordine

$$\theta = \frac{M_{II}}{M_I}$$



Capitolo 5 | Force-based vs displacement-based approach

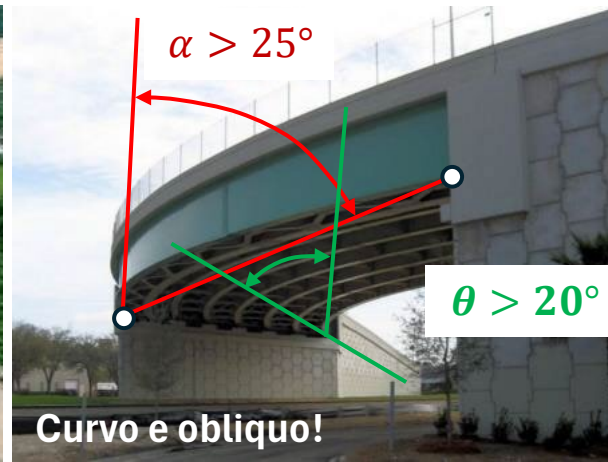
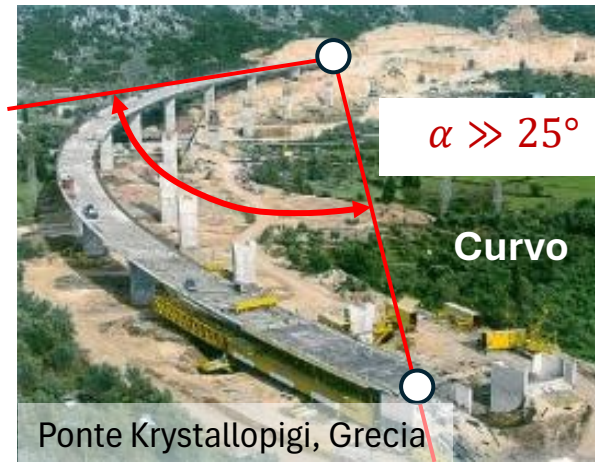
- Analisi [5.1.1]
 - Massa con UDL di LM1 ($\psi = 0,2$) o LM71 ($\psi = 0,3$) per traffico severo
 - Rigidezza secante allo snervamento approx. 50%
- DC unica ma q diverso in L e T se ponte non curvo o obliquo [5.2.2.1(5)]



$$\lambda(a_s) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{3}} & \text{if } a_s < 1 \\ \sqrt{\frac{a_s}{3}} & \text{if } 3 > a_s \geq 1 \\ 1 & \text{if } a_s \geq 3 \end{cases}$$

Table 5.2 — Maximum values of the behaviour factor q for horizontal seismic actions (for DC2 and DC3)

Type of Ductile Members	q_R	q_D		$q = q_s q_R q_D$	
		DC2	DC3	DC2	DC3
Reinforced concrete piers:					
Multiple double-bending vertical piers <i>(i.e. more than one monolithically connected pier in longitudinal direction or multi-column piers in transverse direction)</i>	1,2	$1,3\lambda(a_s)$	$2,0\lambda(a_s)$	$2,3\lambda(a_s)$	$3,6\lambda(a_s)$
Multiple single-bending vertical piers <i>(i.e. more than one pin-connected pier in longitudinal direction or single-column piers in transverse direction)</i>	1,0	$1,3\lambda(a_s)$	$2,0\lambda(a_s)$	$2,0\lambda(a_s)$	$3,0\lambda(a_s)$
Inclined struts in bending	1,1	$1,0\lambda(a_s)$	$1,3\lambda(a_s)$	$1,6\lambda(a_s)$	$2,1\lambda(a_s)$
Steel Piers:					
Vertical piers in bending	1,1	1,3	2,2	2,1	3,6
Inclined struts in bending	1,1	1,0	1,2	1,6	2,0
Piers with normal bracing	1,1	1,1	1,5	1,8	2,5
Piers with eccentric bracing	1,3	1,3	2,2	2,1	3,6
Abutments rigidly connected to the deck:					
In general	1,1	1,0	1,1	1,6	1,8
Integral abutment bridges (see 10)	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5
Arches	1,1	1,0	1,2	1,6	2,0



Riduzioni di q :

- Se SSI considerata $\frac{1}{q_{D,SSI}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{q_D}\right) \frac{T_1}{\eta T_{SSI}}$
- Se N elevato $q_{D,N} = q_D - \frac{\nu-0,3}{0,3} (q_D - 1)$ con $\nu = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{ck}}$
- Se zone critiche non accessibile $q' = 0,6q \geq q_S$
- Se ponte non regolare $q' = \frac{\rho_0}{\rho} q \geq q_S$ se $\rho > 2,0$

$$q'_D = \frac{q_{D,SSI}}{q_D} \cdot \frac{q_{D,N}}{q_D}$$

Capitolo 5 | Force-based vs displacement-based approach

- Statica non lineare [5.2.3.1]

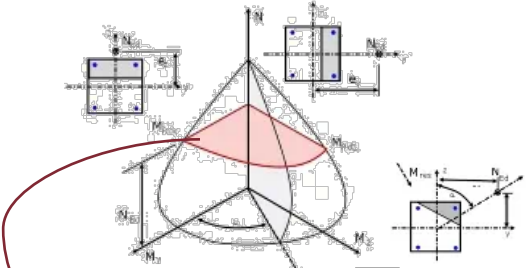
- Analisi

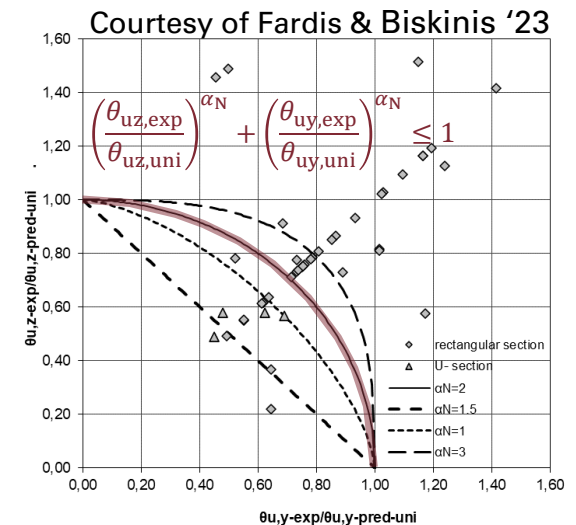
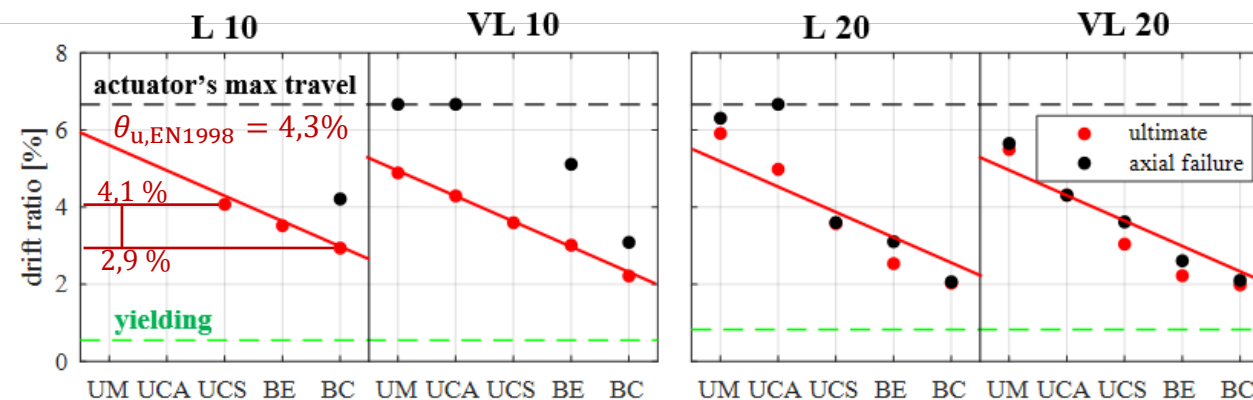
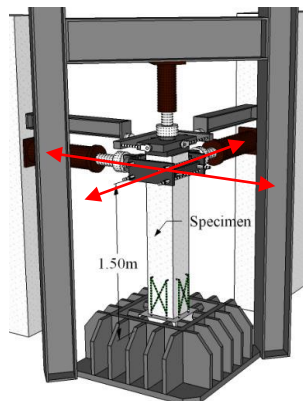
- *Single-mode invariant pattern* (=N2) utilizzabile se massa efficace nella direzione considerata $\geq 60\%$ e ponte non curvo [5.2.3.1(2)]
 - Permessso di usare metodi multi-modali (MPA indicato in nota, ma *warning* su applicabilità = meglio dinamica a quel punto) [5.2.3.1(3)]

- Verifiche: duttili/fragili, indipendenti nelle due direzioni [5.2.3.1(4)]

- Dinamica non lineare [5.2.3.2]

- Verifiche meccanismi duttili: devono tenere conto dell'interazione tra i due piani di flessione, come nel caso della pressoflessione deviata.
 - La formula è quella in EN1992, capitolo 8, in cui i momenti sono sostituiti dalle rotazioni rispetto alla corda [6.3.8(3)]

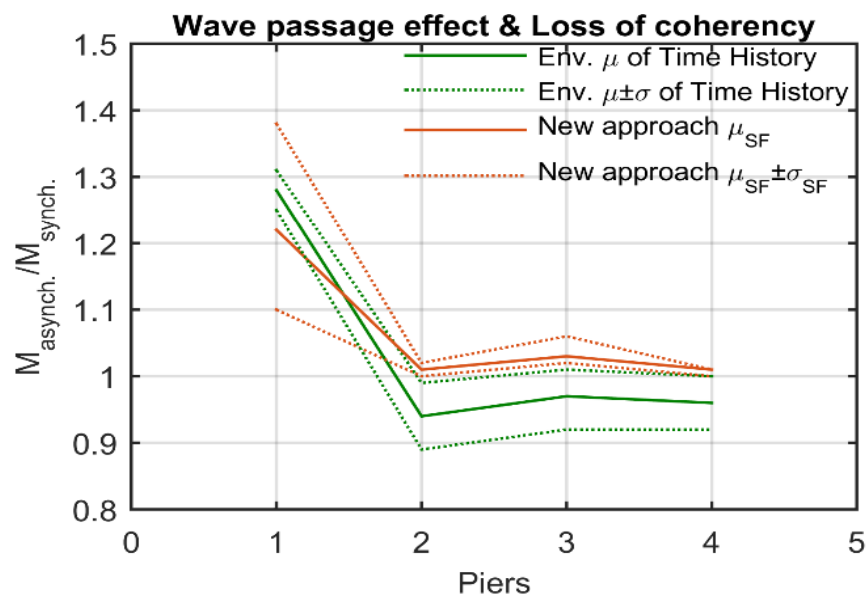

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz,N}} \right)^{\alpha_N} + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy,N}} \right)^{\alpha_N} \leq 1 \quad 1,0 < \alpha_N < 1,5$$



Capitolo 5 | Analisi in presenza di variabilità spaziale del moto

• Cause ^[5.2.3.1]

- Variabilità sottosuolo tra i supporti (effetti di sito diversi), propagazione delle onde (*wave-passage & loss of coherence*)
- Se la luce totale e delle campate è bassa, la propagazione delle onde non conta e se il suolo è uniforme il fenomeno è trascurabile
- Se lunghezza totale e delle campate maggiore, il fenomeno conta, è complessivamente benefico ma comporta amplificazione locali difficilmente predicibili perché sono eccitati modi locali
- C'è sempre una via d'uscita (e non costa di più)



Applicazione al ponte Metsovon, Grecia (A.Sextos)

Table 5.3 — Analysis type for multiple support excitation

Soil conditions	Bridge and span length	
	Short-medium length ($L \leq L_{lim}$) and maximum span between adjacent piers $L_{kl} < 60$ m	Long bridge ($L > L_{lim}$) or maximum span between two successive piers $L_{kl} > 60$ m (for bridges having two spans or more)
The maximum and minimum shear wave velocity $V_{s,H}$ of the soil profiles under the supports (piers and abutments) do not vary by more than 200 m/s	Account for spatial variability is not required	Simplified higher mode excitation method (5.3.2) Alternatively , the simplified higher mode excitation method of analysis can be omitted, with an application of a 20 % increase in all seismic action effects* obtained from a regular uniform excitation analysis (e.g. response spectrum method)
The maximum and minimum shear wave velocity $V_{s,H}$ of the soil profiles under the supports (piers and abutments) vary by more than 200 m/s and the depth of the valley along the bridge is lower than 100 m.	Simplified multiple-support response-history analysis, with ground motions at the supports obtained from a common input at the bedrock and separate 1D ground response analyses at each support (5.3.3) Alternatively , 1D ground response analysis can be omitted, with an application of a 20 % increase in all seismic action effects* obtained from a regular uniform excitation analysis (e.g. response spectrum method)	Multiple-support response-history analysis, with ground motions that comply with the spatial variability model (5.3.4(1)) or Multiple-support response spectrum method (5.3.4(2)) Alternatively , multi-support response analyses can be omitted, with an application of a 30 % increase in all seismic action effects* obtained from a regular uniform excitation analysis (e.g. response spectrum method)
The maximum and minimum shear wave velocity $V_{s,H}$ of the soil profiles under the supports (piers and abutments) vary by more than 200 m/s and the depth of the valley along the bridge is not lower than 100 m	Response-history analysis with spatially variable ground motions produced by means of 2D/3D ground response analysis or Alternatively , 2D/3D ground response analysis can be omitted, with an application of a 1D site response analysis per support and an additional 30 % increase in all seismic action effects* obtained from a regular uniform excitation analysis (e.g. response spectrum method)	
* Seismic action effects include generalised stresses as well as generalised deformations. The latter include relative displacements at deck joints and supports, which should be increased to avoid unseating failure due to spatially varying ground motions.		

Capitolo 9 | Ponti strallati e estradossati

EN1998-2. Ponti
Paolo Franchin
Pavia 5 giugno 2025



Capitolo 9 | Ponti strallati e estradossati

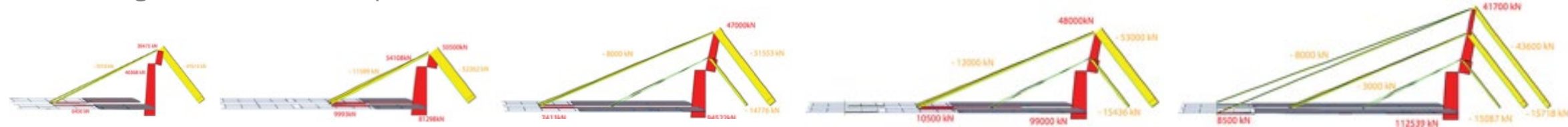
- Prestazioni

- Comportamento elastico per tutti i componenti tranne i dispositivi antisismici [9.4.1(1)]
- Impatti impalcato-piloni: dovrebbero essere evitati [9.4.1(2)(3)]

Un po' come per gli edifici alti questo è l'ambito di applicazione della RHA-NL con SSI

- **Analisi**

- Dovrebbe essere dinamica NL [9.3(1)] e partire alla fine dei verticali tenendo conto dell'effetto della sequenza costruttiva sugli effetti delle azioni permanenti [9.2(1)]



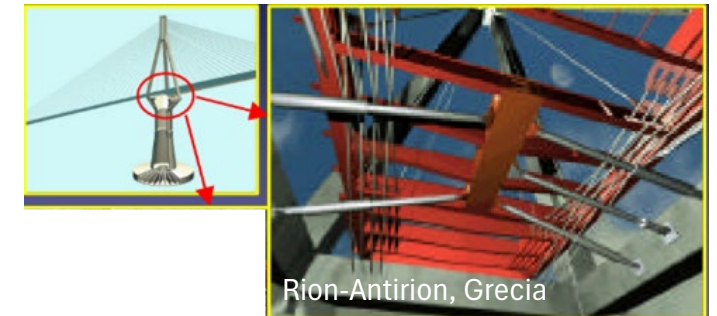
- La dissipazione dei dispositivi antisismici dovrebbe essere modellata esplicitamente nell'analisi NL [9.3.(7)]
 - Modale con spettro di risposta in *low seismic action class* se non sono previsti dispositivi antisismici [9.3(2)]
 - Il modello dovrebbe essere 3D, tenere conto delle NL geometriche e descrivere l'accoppiamento flessione trasversale-torsione dell'impalcato [9.3(3)-(5)]
 - Lo smorzamento dei cavi dovrebbe essere coerente con la deformazione [9.3(6)]
 - È un caso di smorzamento non proporzionale con smorzamenti anche molto minori del 5%
 - SSI, almeno con impedenze [9.3.(8)]
- 

- Verifiche

- Gerarchia per appoggi fissi, ancoraggi di cavi e stralli etc ($\gamma_{Bd} = 1,3$) [9.5(1)-(3)]

- Dettagli costruttivi

- Impalcato continuo e vincolo orizzontale attraverso dispositivi (non i cavi) [9.4.2(1)]



Capitolo 10 | Ponti con spalla integrale

EN1998-2. Ponti
Paolo Franchin
Pavia 5 giugno 2025



A73, Monaco, Germania



Cavalcavia Gatteo, A1, Italia

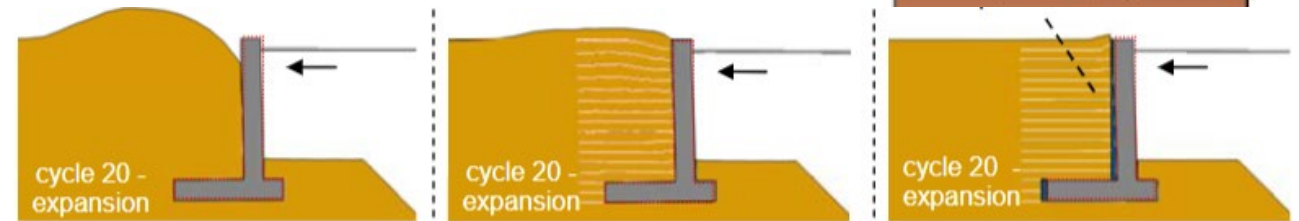
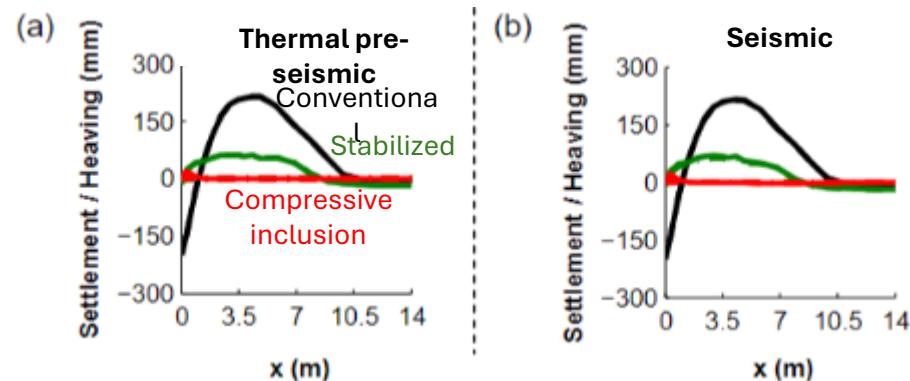
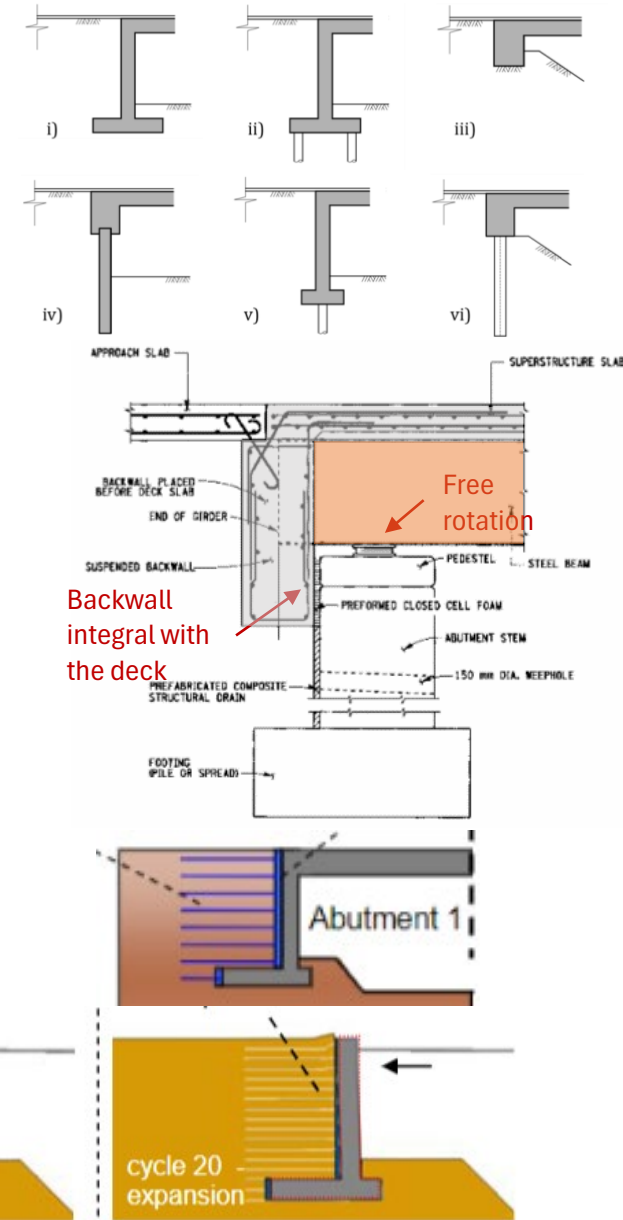


Cavalcavia autostradale, Bled, Slovenia



BAB A8, Germania

- Il capitolo regola i ponti integrali e semi-integrali [10.1(1)(2)]
 - Se non è intenzionalmente ridotta, l'interazione con il terreno è parte essenziale della determinazione della risposta [10.1(1) NOTE]
 - La risposta dovrebbe essere calcolata tenendo conto della compatibilità cinematica (= pressioni dipendenti dallo spostamento) [10.2(4)]
 - La risposta è non simmetrica anche per un ponte simmetrico [10.2(5)]
 - La risposta dovrebbe essere calcolata con due set di proprietà del terreno (stime UB e LB) [10.2(2)]
 - Il calcolo delle pressioni può considerare l'effetto di a) sequenza costruttiva b) storia 'termica' [10.2(3)]
 - Tenendo conto della difficoltà di accesso e riparazione, le prestazioni obiettivo per le spalle sono quasi elastiche (DC1) [10.2(7)]
 - Le pile possono invece essere progettate per dissipare (DC2 o DC3) [10.2(8)]

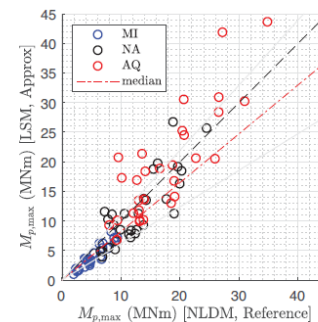
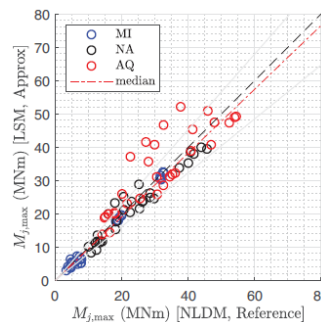
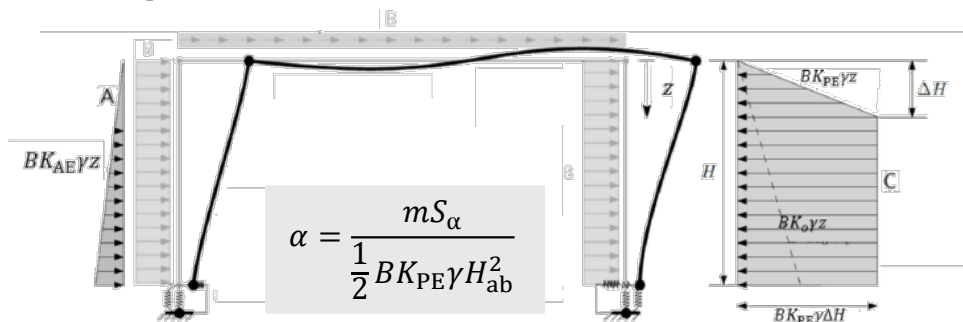


Capitolo 10 | Force-based vs displacement-based approach

• FBA [10.3.2]

- $q = q_S = 1,5$ (prestazioni obiettivo spalle!) [10.3.2(1)]
- NB: non $S_{a,r} = \frac{S_a}{q}$ ma $S_a \rightarrow M'_{Ed,E} \rightarrow M_{Ed,E} = \frac{M'_{Ed,E}}{q}$
- Azioni: pressioni totali (statiche+sismiche) + forze d'inerzia sulle masse strutturali [10.3.2(2)]
- Fondazioni: impedenze [10.3.2(7)(8)]

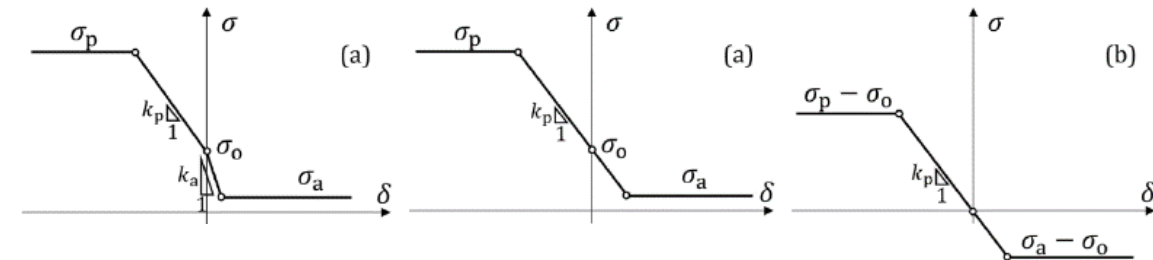
$$\sigma_{p,mob}(z) = K_{PE}\gamma \cdot \min(z; \Delta H) \rightarrow \Delta H = c\alpha H_{ab}$$



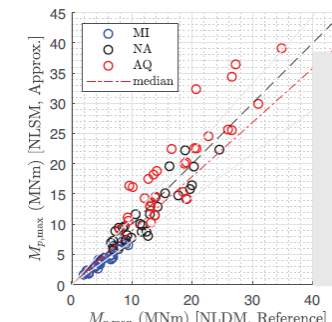
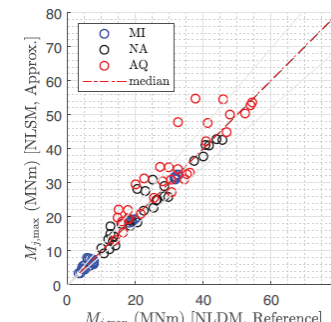
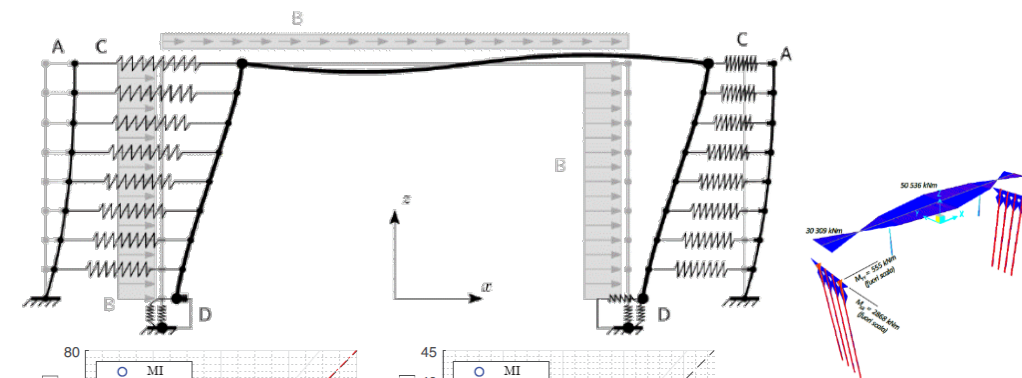
Verifica/calibrazione
metodi statici contro
dinamica NL (a sua
volta calibrata vs
modello completo)

• DBA [10.3.3 + Annex D]

- Pressioni: molle NL [D.3(2)-(8)]



- Azioni: forze d'inerzia su masse strutturali [10.3.2(2)]
- Fondazioni: impedenze [10.3.2(7)(8)]



Analisi trasversale: uno
qualsiasi dei metodi in
5.2 con vincolo
trasversale spalle.
Ponte curvo/obliquo =
modello 3D