

SOFT.LAB
SOFTWARE PER L'EDILIZIA



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA

***Progettazione sismica
e sicurezza di edifici
in cemento armato
nuovi ed esistenti***

***STATI GENERALI
DEL CEMENTO ARMATO***



**PROF. ING.
GIANFRANCO DE MATTEIS**

**Sicurezza strutturale e vulnerabilità
sismica di costruzioni strategiche in
cemento armato: caratterizzazione
dei materiali e metodologie di analisi**

Sommario

➤ **Introduzione:**

- Il concetto di costruzione esistente
- Peculiarità delle costruzioni strategiche esistenti in c.a. (ospedali e ponti)

➤ **Le caratteristiche meccaniche dei materiali in costruzioni esistenti:**

- Sul concetto di conoscenza
- Il livello di conoscenza in relazione alle indagini distruttive
- L'approccio proposto dalle LG20 del MIT

➤ **Metodologie di analisi**

- Incertezze della modellazione
- Strategie di modellazione per ponti in c.a.
- Metodologie di analisi non lineare per ponti esistenti

➤ **Conclusioni**

Il concetto di costruzione esistente

Fase 1

Monumento come costruzione esistente

conservazione



Fase 2

Terremoti del XX secolo (soprattutto i più recenti, es. Irpinia 1980, Umbria 1997)

ricostruzione e protezione dell'esistente



Il concetto di costruzione esistente

Fase 3

Terremoti del XXI secolo (San Giuliano di Puglia 2002)

vulnerabilità sismica delle costruzioni esistenti



ORDINANZA P.C.M. 3274 del 2003

l'art. 2 comma obbliga i proprietari, pubblici e privati, a sottoporre entro 5 anni dall'emissione dell'ordinanza, a verifica le opere (edifici e opere infrastrutturali) di interesse strategico o rilevanti, progettate secondo norme antecedenti al 1984 o situate in Comuni la cui attuale classificazione sismica risulti più severa rispetto a quella dell'epoca di realizzazione

- **EDIFICI STRATEGICI O RILEVANTI (scuole, ospedali, caserme...)**
- **OPERE INFRASTRUTTURALI - PONTI**



NTC 2008 E NTC 2018

Cap. 8 – COSTRUZIONI ESISTENTI/Valutazione della Sicurezza

...altri terremoti (L'Aquila 2009, Centro Italia 2016)

*prevenzione sismica ad ampio spettro
...ad es. chiese*

Fase 4

Morandi, Polcevera ...i ponti in generale

*vulnerabilità strutturale (non solo sismica!)
a livello diffuso di specifiche tipologie di costruzioni*

Linee Guida Ponti Esistenti 2020 - MIT



Sugli ospedali... *tipologia strutturale di grande attualità!*

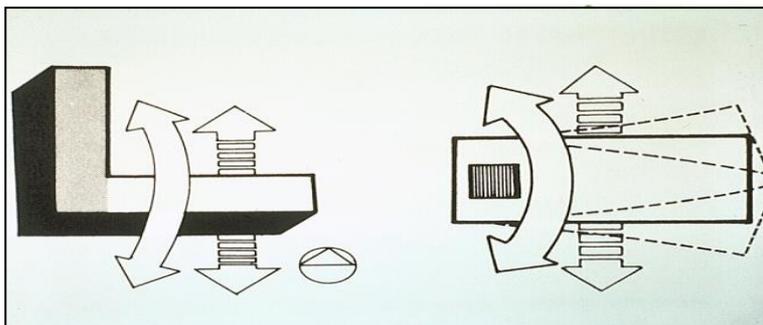
Recente stanziamento di oltre 2mld di € per la realizzazione di interventi di miglioramento/adequamento sismico

- **Importanza strategica** (*concetto introdotto con l'OPCM 3274/2003*);
- **Vetustà** (*molte delle strutture ospedaliere oggi in funzione sono state realizzate e concepite durante il secolo scorso e hanno probabilmente superato la loro vita utile assimilabile qualitativamente a 50 anni date le tecniche costruttive del passato*);
- **Complessità** (*hanno subito generalmente numerose trasformazioni strutturali e architettoniche*);
- **Significativa vulnerabilità sismica** (*realizzate e concepite senza tenere in conto in maniera opportuna delle azioni di natura sismica*).



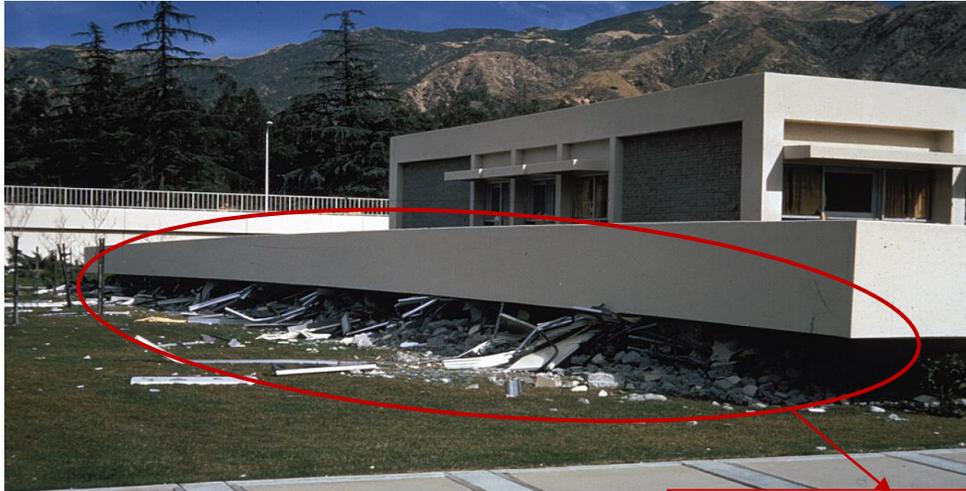
Sugli ospedali (e anche in generale sugli edifici esistenti in c.a.)

Mancanza di un'adeguata concezione strutturale: Irregolarità in pianta

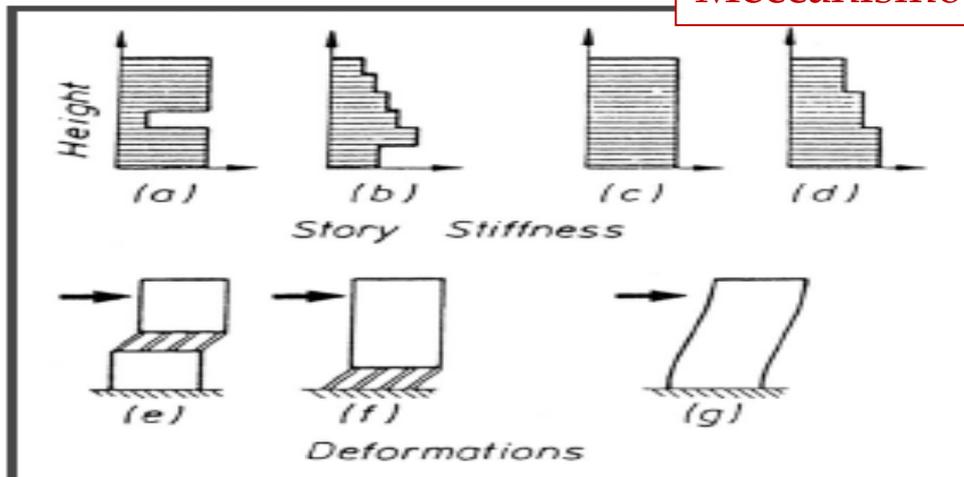


Sugli ospedali (e anche in generale sugli edifici esistenti in c.a.)

Mancanza di un'adeguata concezione strutturale: Irregolarità in altezza



Meccanismo di piano debole!



Sugli ospedali (e anche in generale sugli edifici esistenti in c.a.)

Mancanza di un'adeguata concezione strutturale: Scarsi dettagli costruttivi



Nodi non staffati!

**Pilastrini con
armatura
trasversale
insufficiente!**

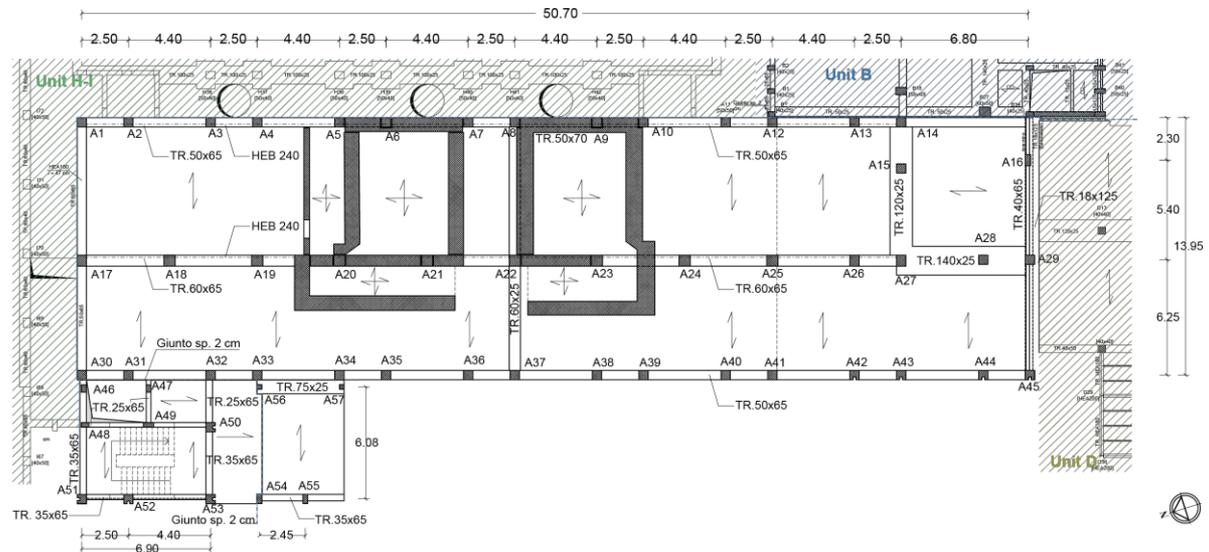


**Lunghezza insufficiente
dei ferri di ripresa!**

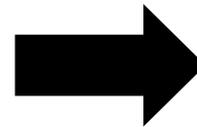


Sugli ospedali ... un esempio pratico

Edificio ospedaliero con n.4 piani fuori terra realizzato tra il 1961 e il 1980.



- Telai disposti in un'unica direzione;
- Irregolarità in pianta;
- Irregolarità in elevazione;
- Eterogeneità dei sistemi strutturali;
- ...



Capacità sismica:

Stato Limite Salvaguardia della Vita:

- $I_R(PGA)=0.11$;
- $I_R(T_R)=0.18$.

Sui ponti in c.a.

- **Importanza strategica;**
- **Vetustà** (*molti dei ponti in c.a. tutt'ora operativi sono stati realizzati e concepiti per sopportare a carichi da traffico significativamente minori di quelli attualmente agenti e previsti dalla vigente normativa tecnica*);
- **Scarso stato di conservazione** (*presenza di significativi stati di degrado in atto per effetto della maggiore esposizione agli agenti atmosferici – in particolare acqua – e dell'assenza di interventi di manutenzione ordinaria*);
- **Possibili e frequenti problemi legati ad aspetti idraulici e geotecnici;**
- **Significativa vulnerabilità nei confronti dei carichi verticali** (*generalmente non mostrano significativi problemi con riferimento alle azioni sismiche*)



La valutazione della sicurezza e vulnerabilità sismica

1. ANALISI STORICO-CRITICA

2. RILIEVO DELLO STATO DI FATTO

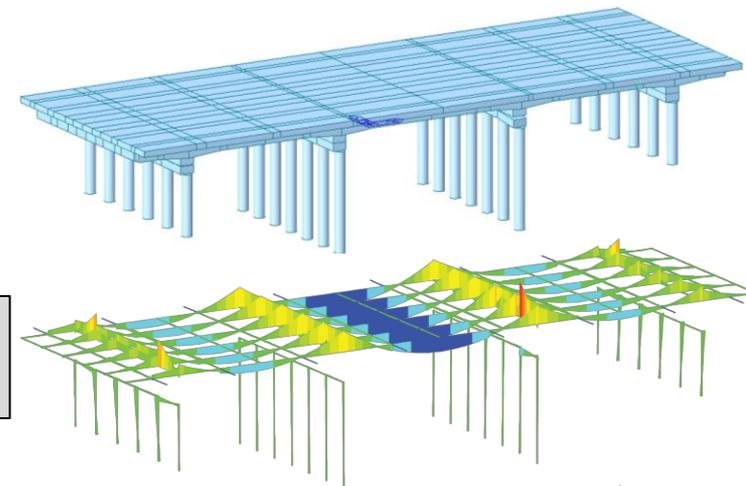
3. CONOSCENZA DELLA STRUTTURA
(prove sui materiali)

4. MODELLAZIONE E ANALISI DELL'OPERA

5. VERIFICHE DI RESISTENZA

Processo di conoscenza

Valutazione dell'indice di sicurezza



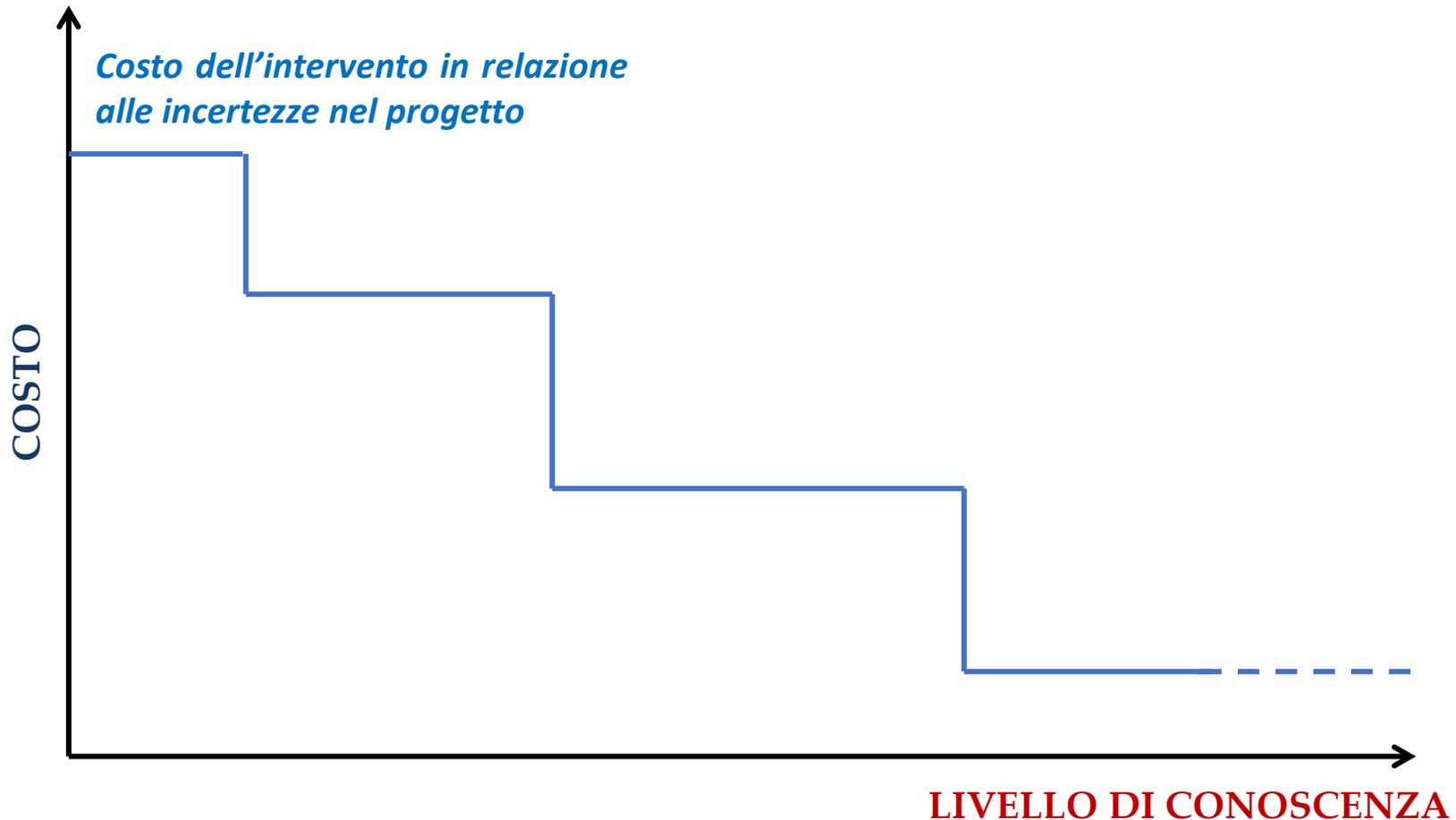
La valutazione della sicurezza e vulnerabilità sismica

Sul livello di conoscenza delle costruzioni esistenti



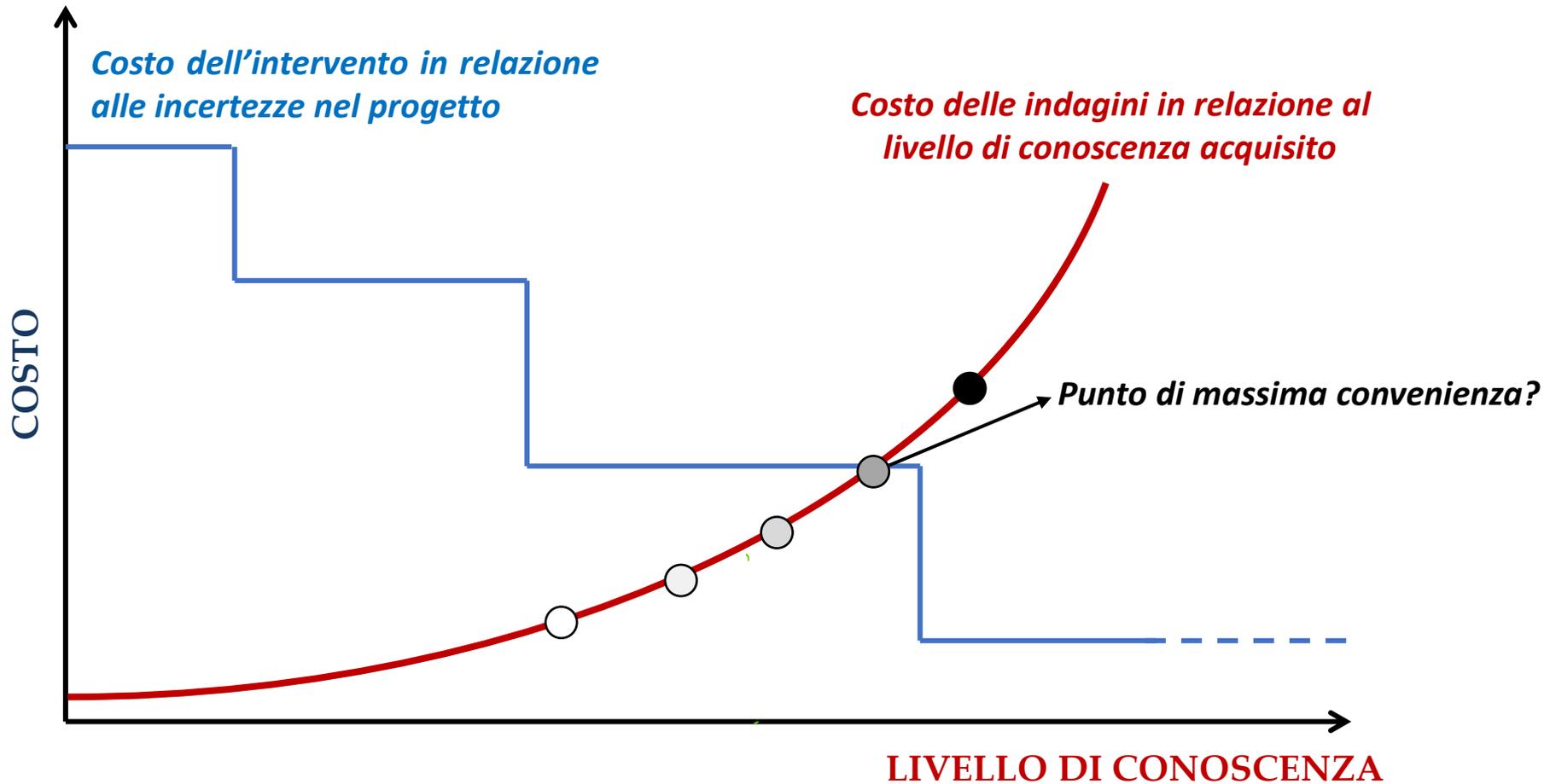
La valutazione della sicurezza e vulnerabilità sismica

Sul livello di conoscenza delle costruzioni esistenti



La valutazione della sicurezza e vulnerabilità sismica

Sul livello di conoscenza delle costruzioni esistenti



Applicazione ragionata della normativa tecnica

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2	Da disegni di carpenterie	Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini</i>	Dalle specifiche originali di progetto o		1,20
LC3	altre carpenterie	<i>esaurive</i> in situ	<i>prove esaurive</i> in situ		1,00

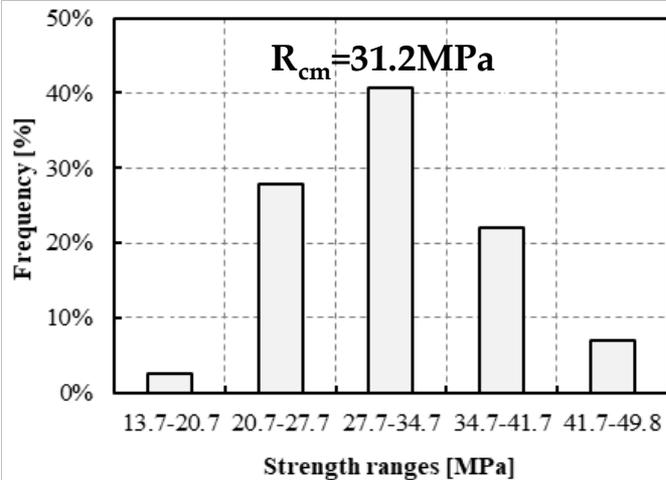
Tali indicazioni "quantitative" non devono e non possono considerarsi **dogmatiche!!!**

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
<i>esaurivo</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Un esempio applicativo

Distribuzione delle resistenze (188 prove a compressione su provini cilindrici di cls):



- Il numero di prove corrisponde alle indicazioni di norma per l'acquisizione di LC3;
- Valore medio della resistenza (cubica): $R_{cm}=31.2$ MPa;
- Valori di calcolo (in accordo a NTC2018):
 - (meccanismi fragili): $f_{cd}=0.83R_{cm}/\gamma_c=17.3$ MPa;
 - (meccanismi duttili): $f_{cd}=0.83R_{cm}=25.9$ MPa.

È davvero raggiunto LC3???

Il valore medio corrisponde al frattile del 50%!

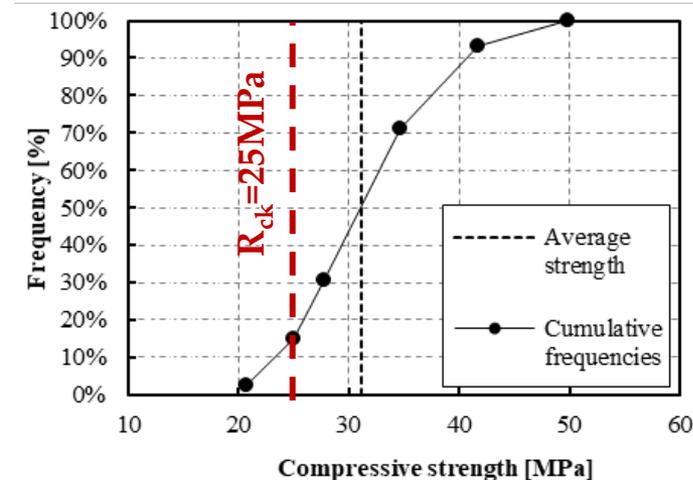
La ratio della normativa vigente ammette di operare con resistenze inferiori per gli edifici esistenti rispetto a quelli nuovi. Applicando alla lettera la norma, però, nel caso di specie, otterremmo valori di calcolo che in alcuni casi superano addirittura il valore delle resistenze esibite dalle carote di cls. Nei documenti di progetto era dichiarato $R_{ck}250$



Approccio ragionato: utilizzo resistenza di progetto
(frattile del 15%)

$$f_{cd}=0.83 \cdot R_{ck} / \gamma_c \text{ (fragili)} \rightarrow f_{cd}=13.8 \text{ MPa}$$

$$f_{cd}=0.83 \cdot R_{ck} \text{ (duttili)} \rightarrow f_{cd}=20.7 \text{ MPa}$$



Applicazione ragionata della normativa tecnica

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell’edificio, 1 campione di armatura per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell’edificio, 2 campioni di armatura per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell’edificio, 3 campioni di armatura per piano dell’edificio

Dettagli costruttivi

a. Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali **situazioni ripetitive**, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale.

b. ...

c.

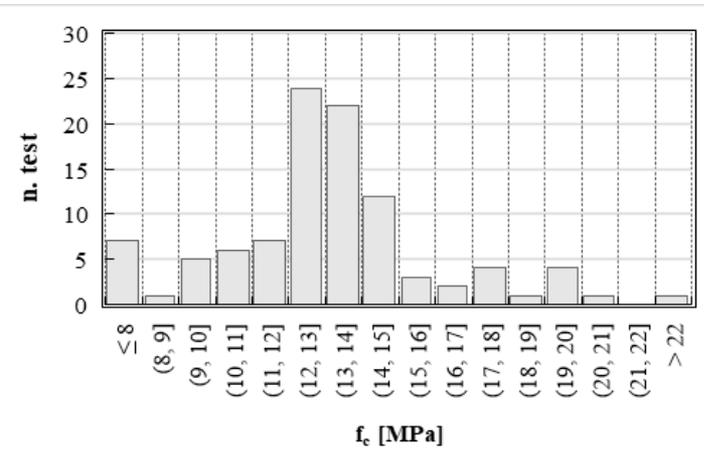
Resistenze dei materiali

d. Il numero di provini riportato nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di **omogeneità del materiale**. Nel caso del calcestruzzo in opera, tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell’epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l’indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l’effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

Quando il materiale può considerarsi omogeneo???

Un esempio applicativo

Distribuzione delle resistenze (100 prove a compressione su provini cilindrici di cls):



- Il numero di prove corrisponde alla metà delle indicazioni di norma per l'acquisizione di LC3 (ipotesi di omogeneità del materiale);
- Valore medio della resistenza: $f_{cm}=13.1$ MPa;
- Valori di calcolo (in accordo a NTC2018):
 - (meccanismi fragili): $f_{cd}=f_{cm}/\gamma_c=8.7$ MPa;
 - (meccanismi duttili): $f_{cd}=f_{cm}=13.1$ MPa.

È davvero raggiunto LC3???

Analisi statistica dei dati

Dev. St.: $\sigma=3.06$

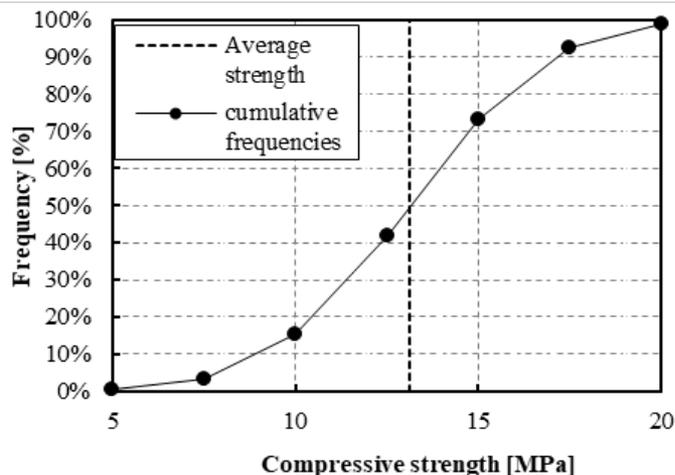
Co.V.: (media/Dev.St.)= 23.3%

Quando il materiale può considerarsi omogeneo???

Non vi è una definizione univoca. Ad es. la normativa Americana (FEMA 356) ammette che un materiale possa considerarsi omogeneo quando $Co.V.\leq 14\%$



Il numero delle prove da effettuarsi deve essere subordinato alla dispersione dei risultati!!!

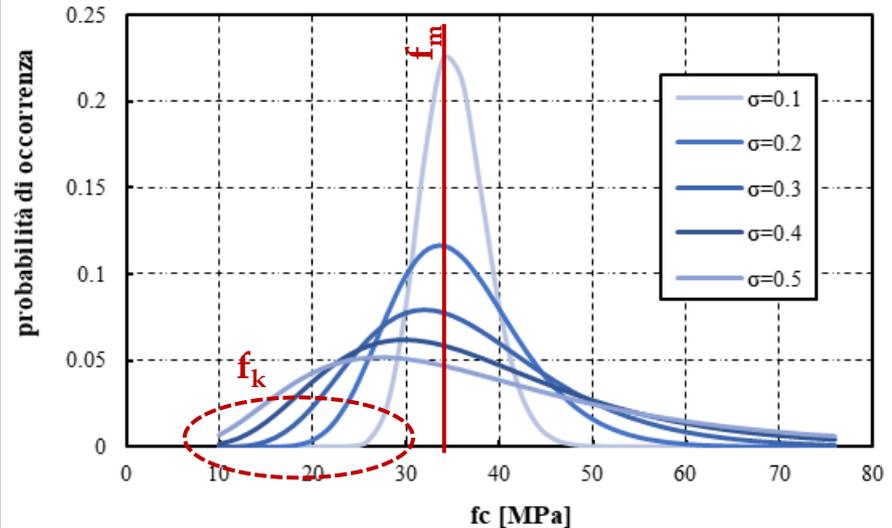


Un approccio alternativo (LG20 ponti)

Sulle resistenze dei materiali

- La resistenza di calcolo deve tener conto della dispersione delle prove distruttive (ipotesi distribuzione log-normale);
- Introduzione di una metodologia (in forma chiusa) per la determinazione della resistenza di calcolo:

$$f_d = \min \left(\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$



Considerazioni aggiuntive sui valori di calcolo: coefficiente parziale di sicurezza dei materiali per meccanismi fragili/duttile (Circolare 2019)

“Nel caso di analisi lineare con spettro elastico la capacità si valuta dividendo le proprietà dei materiali esistenti per il fattore di confidenza FC e per il coefficiente parziale. [...] Nel caso di analisi lineare con fattore di struttura q o di analisi non lineare, per gli elementi duttili la capacità si valuta dividendo le proprietà dei materiali esistenti per il fattore di confidenza FC, per gli elementi fragili le proprietà dei materiali esistenti si dividono sia per il fattore di confidenza FC sia per il coefficiente parziale.

In teoria valido solo per azioni sismiche e in caso di analisi lineare con fattore di struttura q o analisi non lineare!!!

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{\mu}]^2}$$

$$\bar{\mu}_{0.16} = \bar{\mu} - \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

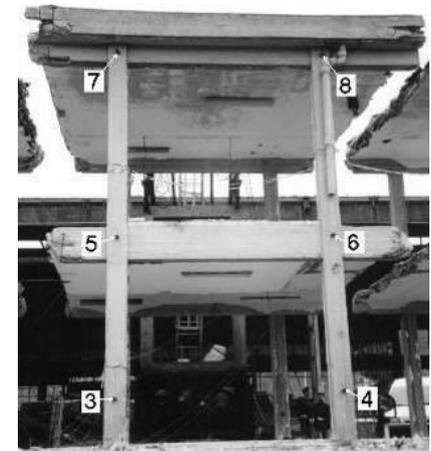
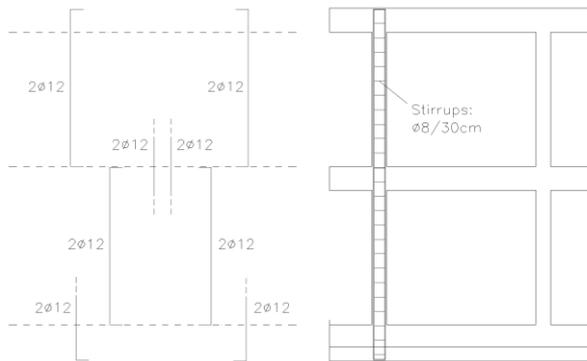
$$\hat{x}_{0.05} = e^{\bar{\mu}_{0.16} - 1.64\bar{\sigma}}$$

Sulle incertezze della modellazione

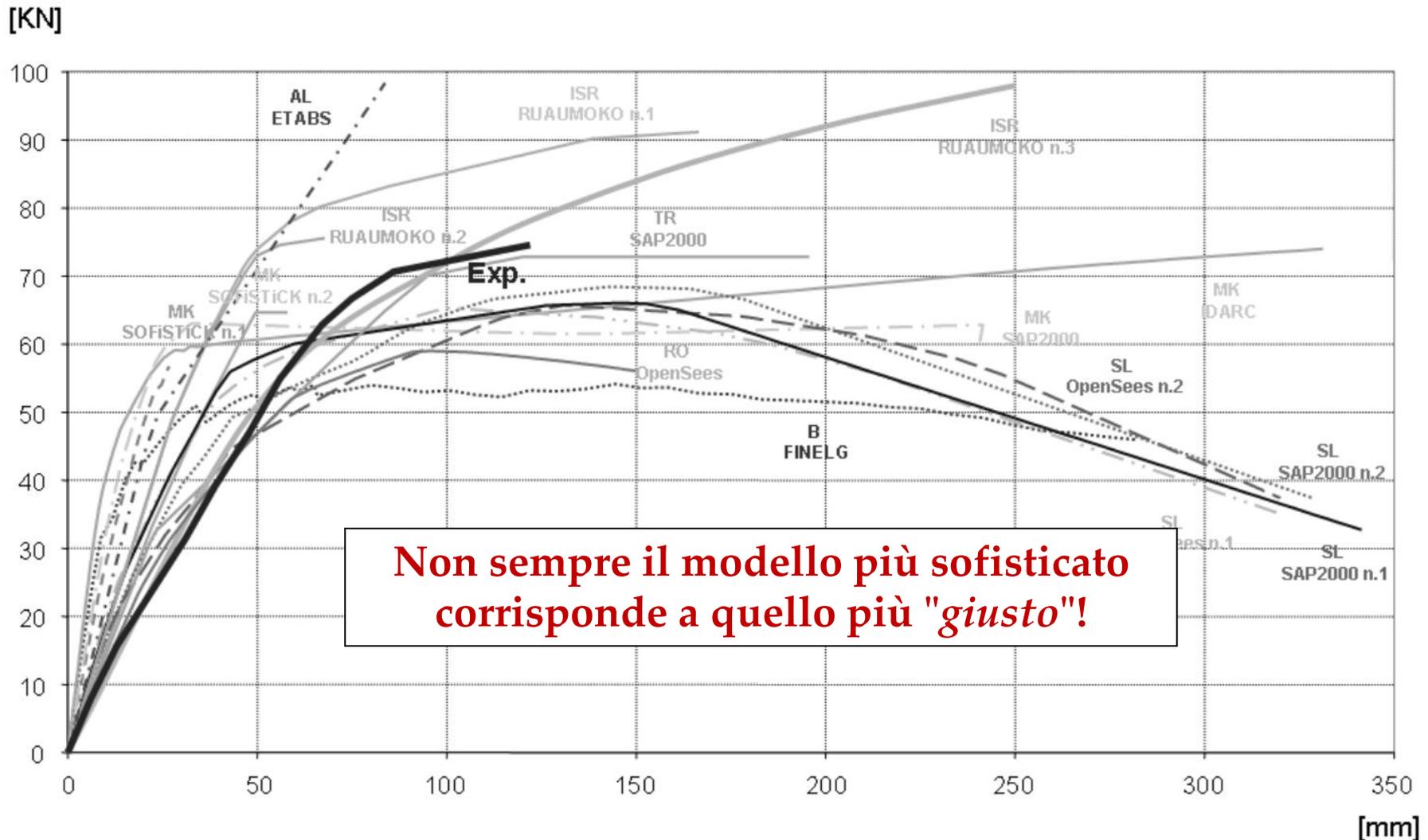


PTN n°Software	ABAQUS	ALGOR	ANSYS	CASTEM	DRAIN	ETABS	FINELG	IDARC	LUSAS	OpenSees	Ruaumoko	SAP	SOFiStiK
1) UNINA	•											•	
2) B							•					•	
3) MK			•					•	•			•	•
4) GR	•					•							
5) NA-ARC		•	•									•	
6) P													
7) ROPUT										•			
8) ROTUB													
9) SL	•				•	•				•		•	
10) TR					•	•						•	
11) ISR											•		
12) EG													
13) M				•									
14) SUN	•											•	
15) AL						•						•	
16) UNICH	•	•										•	

Anchorage lengths are not known at this stage of the research.



Sulle incertezze della modellazione



**Non sempre il modello più sofisticato
corrisponde a quello più "giusto"!**

Metodologie di analisi per ponti in c.a. (LG20)

Sui livelli di sicurezza

- **ADEGUATEZZA:** il ponte è in grado di sopperire alle azioni previste dalla norma vigente (verifica secondo NTC 2018);
- **OPERATIVITÀ:** il ponte è in grado di sopperire alle azioni previste dalla norma vigente, ma con coefficienti di sicurezza inferiori (riduzione coefficienti parziali di sicurezza) e dunque per un lasso di tempo ridotto;
- **TRANSITABILITÀ:** il ponte è in grado di sopperire ad azioni ridotte (limitazioni dei carichi e/o restrizione d'uso) e dunque devono effettuarsi interventi entro e non oltre 5 anni.

Riepilogo esiti verifiche di sicurezza ponti in c.a. non verificate condotte ai sensi della NTC2018 e delle Linee Guida Ministeriali di una tratta autostradale.

	Travi	Traversi	Soletta	Pila
Ponte 1	Adeguato	Adeguato	Transitabile	Adeguato
Ponte 2	Operativo	Operativo	Adeguato	Transitabile
Ponte 3	Operativo	Operativo	Operativo	Transitabile
Ponte 4	Operativo	Operativo	Transitabile	Operativo
Ponte 5	Adeguato	Transitabile	Transitabile	Adeguato
Ponte 6	Operativo	Operativo	Transitabile	Adeguato
Ponte 7	Operativo	Operativo	Transitabile	Adeguato

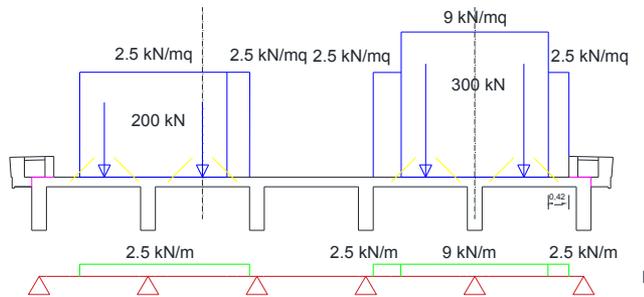
In diversi casi analizzati, le strutture sono costrette a subire una **limitazione** del carico massimo transitabile e/o una **riduzione** del numero di corsie a causa di alcuni elementi strutturali che non soddisfano le condizioni di "Adeguatezza" e "Operatività" (sebbene con fattori di sicurezza non lontani dall'unità) così come definite nelle Linee Guida Ministeriali.

Esempio applicativo

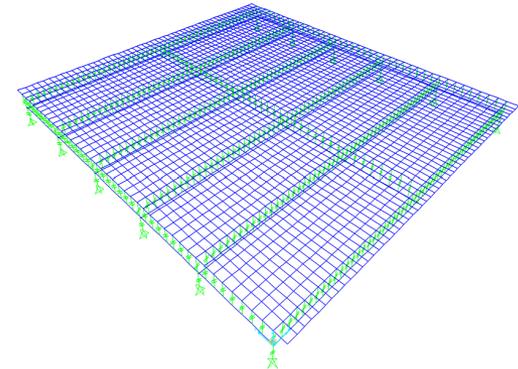
Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

Differenti strategie di analisi

1. Modello locale della sola soletta a trave

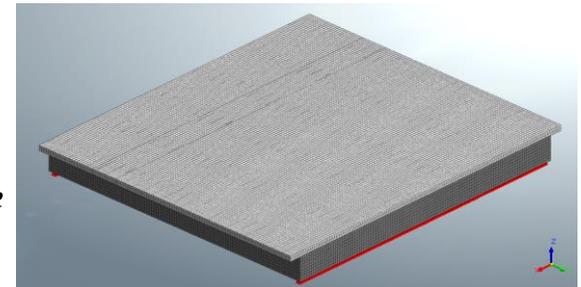


2. Modellazione globale a grigliato di travi



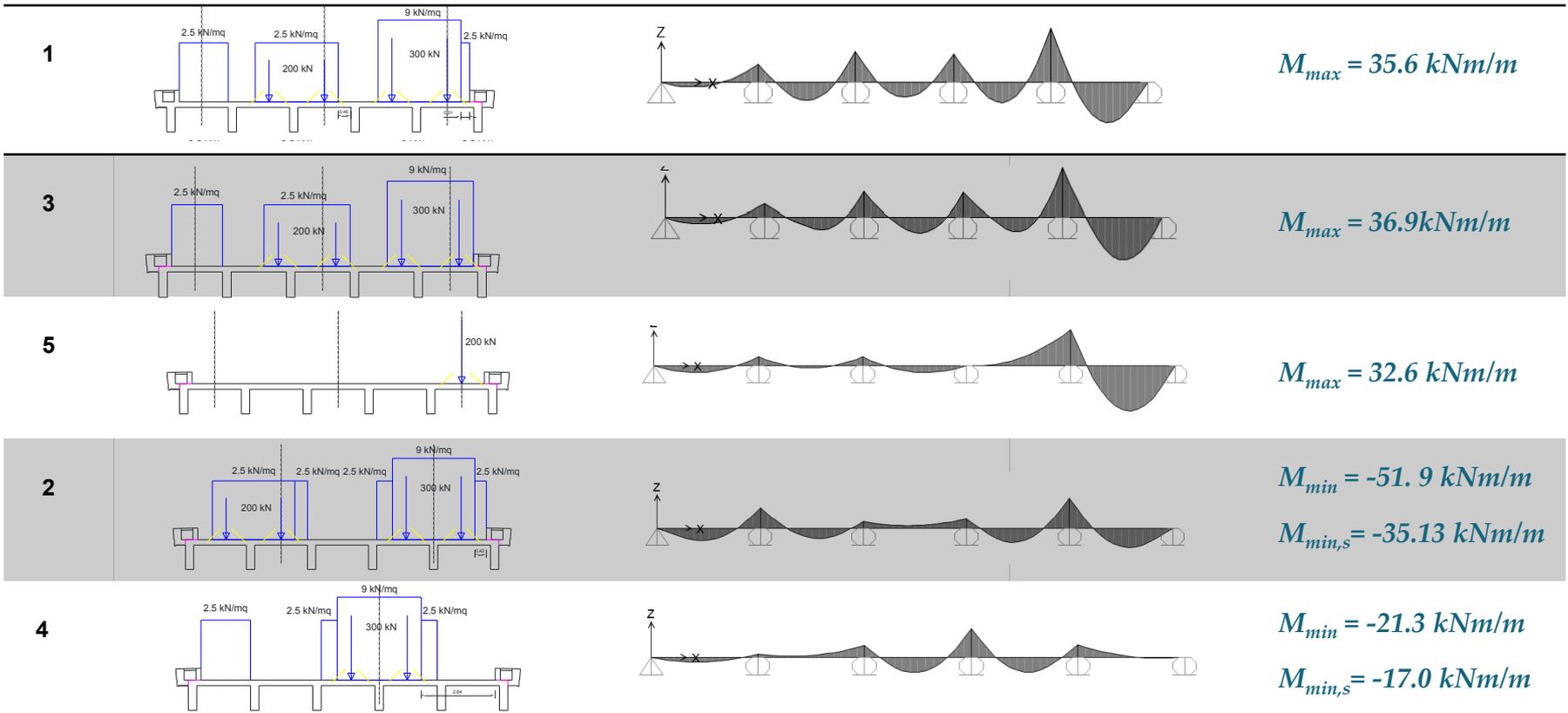
3. Modellazione globale con elementi 3D a comportamento lineare

4. Modellazione globale con elementi 3D a comportamento non lineare



Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

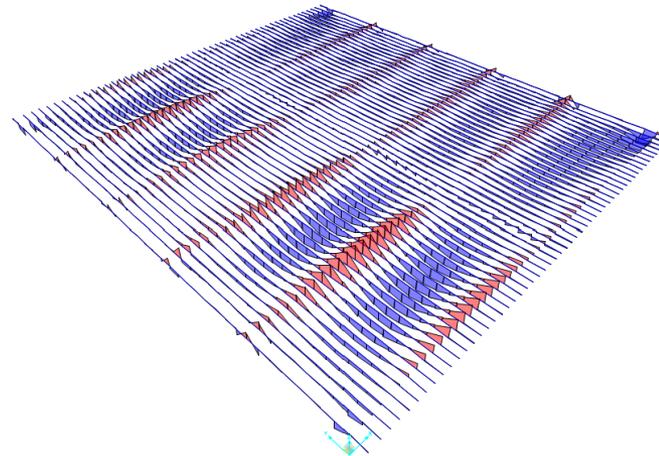
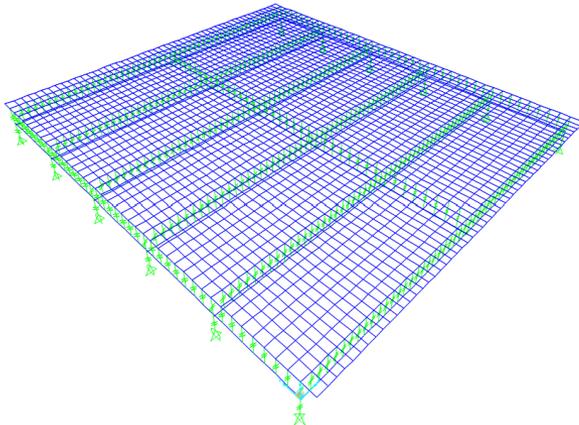
1. Modello locale della sola soletta a trave



Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

2. Modellazione globale a grigliato di travi

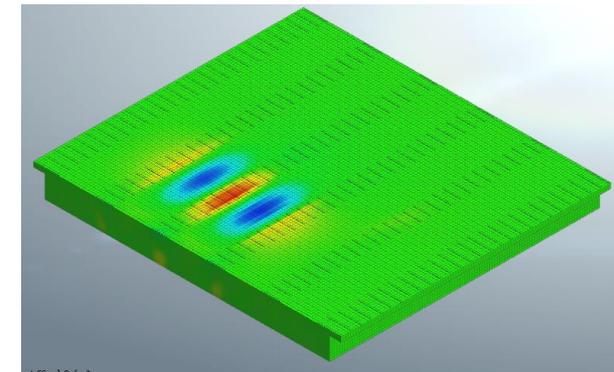
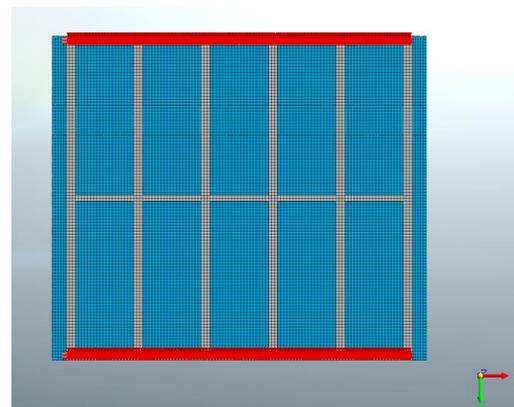
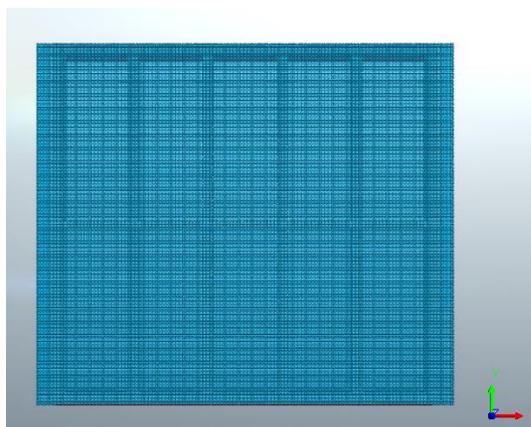
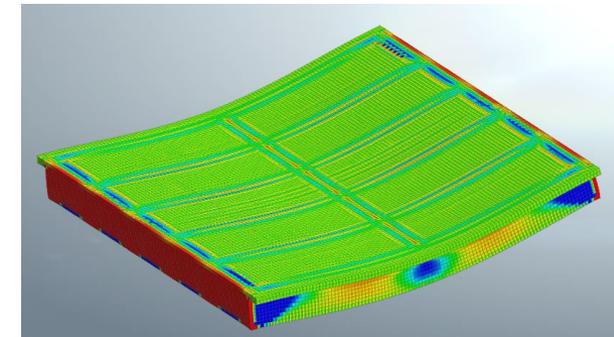
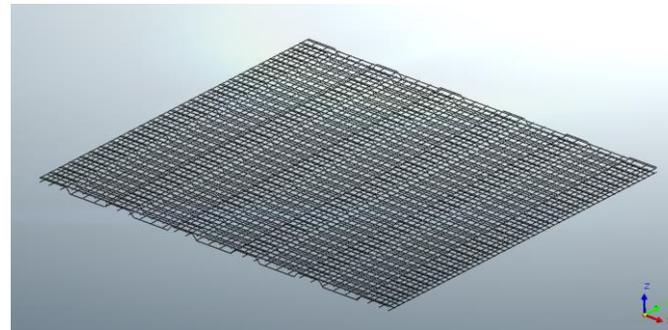
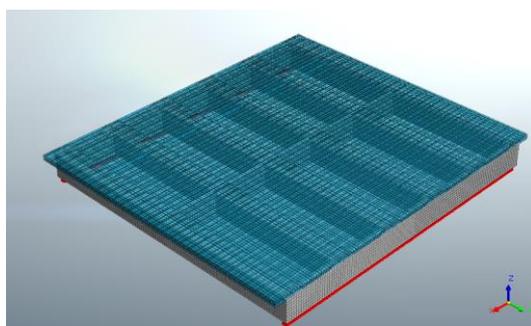
- Grigliato di travi per la soletta nelle due direzioni principali (i trasversali privi di peso)
- Elementi considerati nel proprio asse baricentrico
- Eccentricità degli assi baricentrici incluse tramite link rigidi
- Travi e traversi modellati con elementi beam
- Carichi distribuiti e concentrati applicati in modo distribuito lungo gli elementi trasversali
- Per i carichi concentrati le aree caricate tengono conto della diffusione dei carichi sullo spessore della pavimentazione e di metà soletta
- Sono stati considerati due modelli differenti:
 - Modello 1: include la rigidità torsionale degli elementi del grigliato;
 - Modello 2: trascura la rigidità torsionale degli elementi del grigliato, con il fine di distinguere nettamente i meccanismi resistenti per la flessione principale e quella trasversale.



Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

3. Modellazione globale con elementi 3D a comportamento lineare

- Elementi 3d (a 8 nodi) per cls;
- Elementi *truss*;
- Condizione di perfetta aderenza;
- Mesh: 0.5 m x 0.5 m;
- Determinazione delle sollecitazioni attraverso integrazione degli stati tensionali.

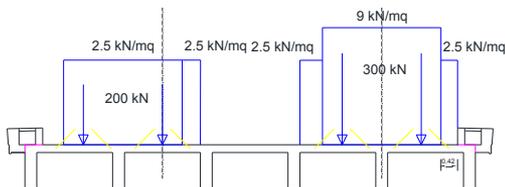


Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

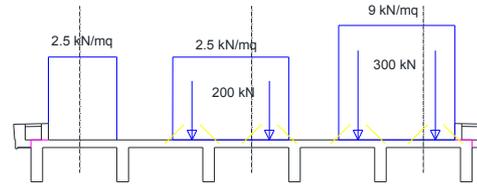
Riepilogo risultati

	Momento	Modello 3D	Modello a trave (T)	Modello a grigliato (G)-1	Modello a grigliato (G)-2	Capacità (C)	C/T 3D	C/T	C/G1	C/G2	(G1-T)/T	(G2-T)/T	(T-3D)/3D	(G2-3D)/3D
Schema 1, Combinazione n.3	Max Positivo (kNm/m)	28.2	36.9	28.25	32.25	32.23	1.14	0.87	1.14	1.00	-13%	-13%	31%	14%
Schema 1, Combinazione n.2	Max Negativo (kNm/m)	-29.10	-35.1	-28.73	-32.96	42.16	1.45	1.20	1.47	1.28	-6%	-6%	21%	13%
Schema 2, Combinazione n.5	Max Negativo (kNm/m)	22.40	32.60	-	-	32.23	1.44	0.99	-	-	-	-	46%	-

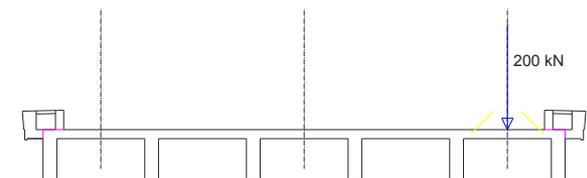
modello 3d
modello a trave
modelli a grigliato



Schema 1, Combinazione 2 (Massimo Momento Negativo)



Schema 1, Combinazione 3 (Massimo Momento Positivo)



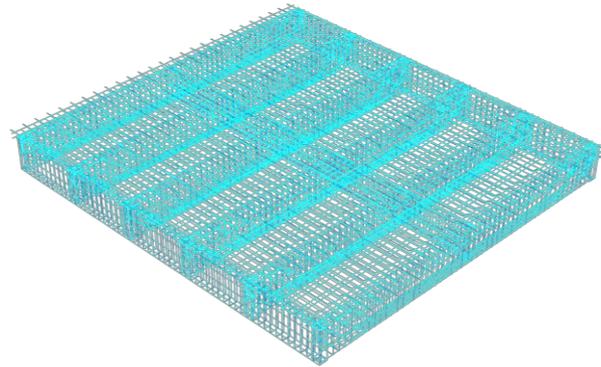
Schema 2

Sulla possibilità di utilizzare metodologie di analisi non lineare...

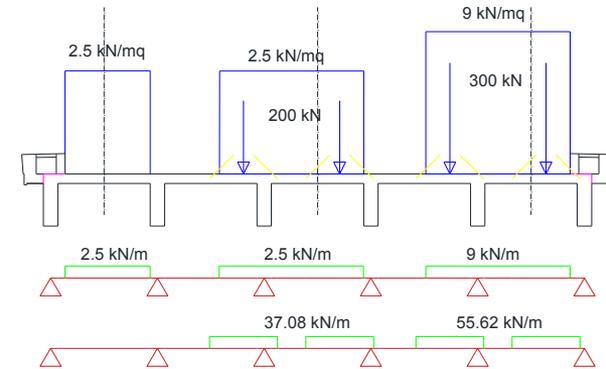
Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

Prima applicazione metodologia non lineare (non normata!)

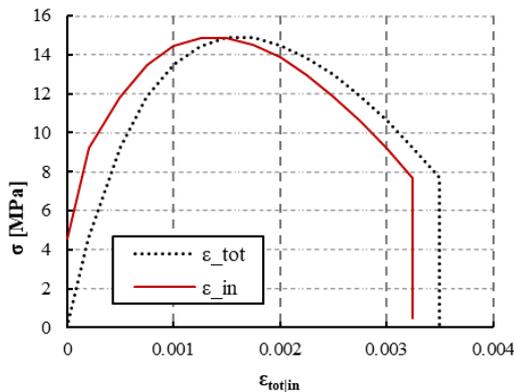
Schema di carico:



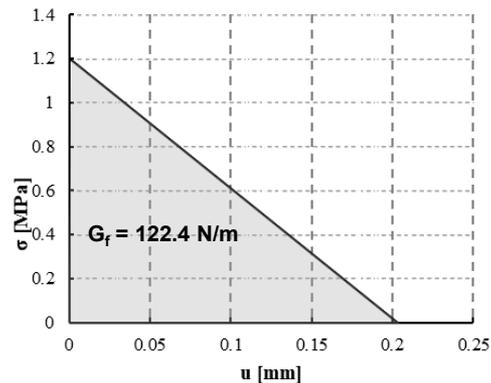
Massimizzazione momento positivo soletta



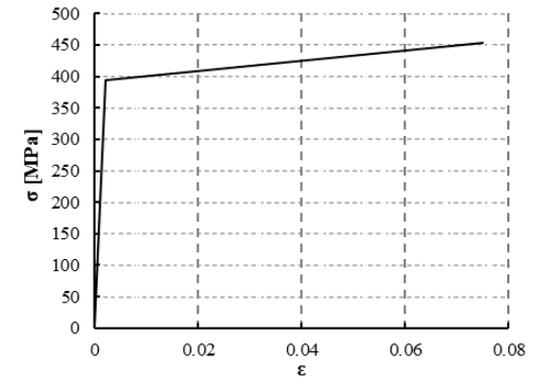
Legame uniassiale compressione_cls



Legame uniassiale trazione_cls



Legame uniassiale acciaio



Strategie di modellazione per ponti in c.a._ caso studio

Safety format EC2 (1992-2) – Concrete bridges (strutture nuove)

5.7 Non-linear analysis

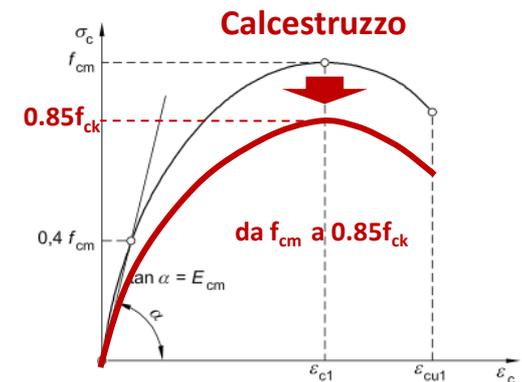
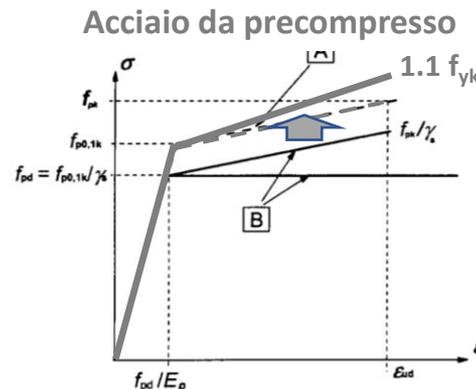
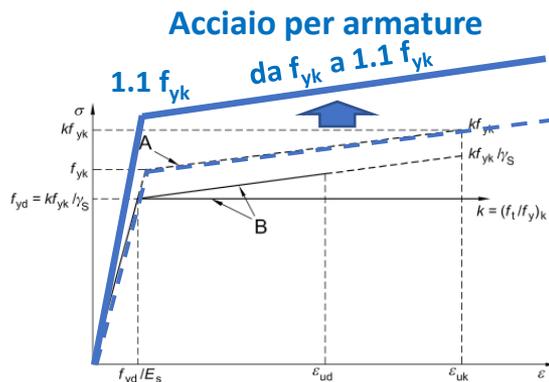
(105) Non-linear analysis may be used provided that the model can appropriately cover all failure modes (e.g. bending, axial force, shear, compression failure affected by reduced effective concrete strength, etc.) and that the concrete tensile strength is not utilised as a primary load resisting mechanism.

If one analysis is not sufficient to verify all the failure mechanisms, separate additional analyses should be carried out.

NOTE 1 The details of acceptable methods for non-linear analysis and safety format to be used in a Country may be found in its National Annex. The recommended details are as follows:

When using non-linear analysis the following assumptions should be made:

- **For reinforcing steel**, the stress-strain diagram to be used should be based on Figure 3.8, curve A. In this diagram, f_{yk} and kf_{yk} should be replaced by $1.1f_{yk}$ and $1.1kf_{yk}$
- **For prestressing steel**, the idealised stress-strain diagram given in 3.3.6 (Figure 3.10, curve A) should be used. In this diagram f_{pk} should be replaced with $1.1f_{pk}$
- **For concrete**, the stress-strain diagram should be based on expression (3.14) in 3.1.5. In this expression, and in the k -value, f_{cm} should be replaced by $g_{cf} \cdot f_{ck}$ with
 $g_{cf} = 1.1 \cdot g_s / g_c = 1.1 \cdot 1.15 / 1.5 = 0.85$



Strategie di modellazione per ponti in c.a._ caso studio

Safety format EC2 (1992-2) – Verifiche di sicurezza

The following design format should be used:

- The resistance should be evaluated for different levels of appropriate actions which should be increased from their serviceability values by incremental steps, such that the value of $g_G \cdot G_k$ and $g_Q \cdot Q_k$ are reached in the same step. **The incrementing process should be continued until one region of the structure attains the ultimate strength, evaluated taking account of a_{cc} , or there is global failure of the structure. The corresponding load is referred to as q_{ud} .**
- Apply an overall safety factor γ_O and obtain the corresponding strength $R\left(\frac{q_{ud}}{\gamma_O}\right)$,
- One of the following inequalities should be satisfied:

$$\gamma_{Rd} E(\gamma_G G + \gamma_Q Q) \leq R\left(\frac{q_{ud}}{\gamma_O}\right)$$

$$E(\gamma_G G + \gamma_Q Q) \leq R\left(\frac{q_{ud}}{\underbrace{\gamma_{Rd}}_{1.06} \underbrace{\gamma_O}_{1.2}}\right) \rightarrow \text{(i.e.) } R\left(\frac{q_{ud}}{\underbrace{\gamma_{O'}}_{1.27}}\right) \rightarrow \gamma_{O'} = \gamma_{Rd} \cdot \gamma_O = 1.06 \cdot 1.20 = 1.27$$

$$\gamma_{Rd} \gamma_{Sd} E(\gamma_g G + \gamma_q Q) \leq R\left(\frac{q_{ud}}{\gamma_O}\right)$$

where:

γ_{Rd} is the partial factor for model uncertainty for resistance, $\gamma_{Rd} = 1,06$,

γ_{Sd} is the partial factor for model uncertainty for action/action effort, $\gamma_{Sd} = 1,15$,

γ_O is the overall safety factor, $\gamma_O = 1,20$.

q_{ud} carico di rottura



q_{ud}/γ_O carico di calcolo



$R(q_{ud}/\gamma_O)$ azione
interna corrispondente

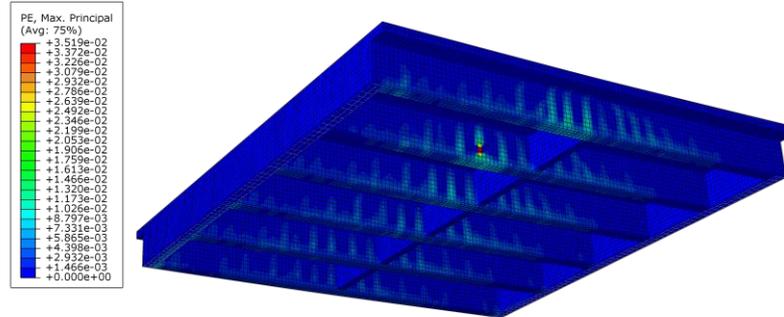
Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

Prima applicazione metodologia non lineare_Safety format EC2 (1992-2) – Concrete bridges (strutture nuove)

Criterio di verifica: $E(\gamma_G G + \gamma_Q) \leq R \left(\frac{q_{ud}}{\gamma_{0'}} \right)$

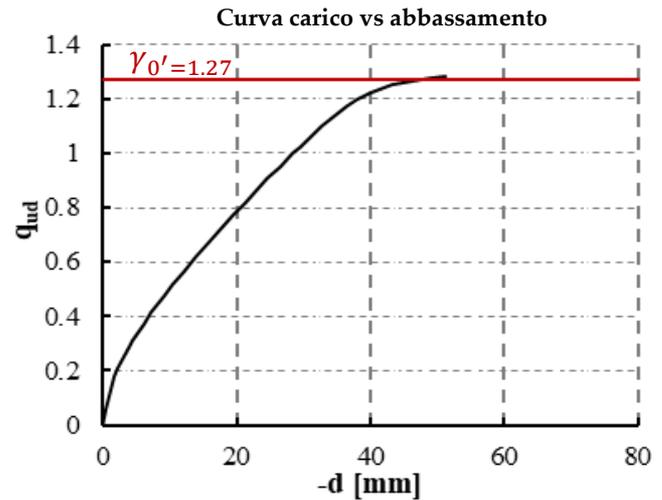
$\gamma_{0'}=1.27$

Deformazioni plastiche di compressione_cls

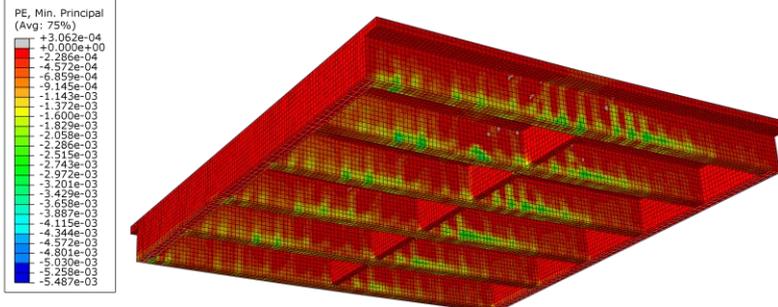


OJB: NewModel-Copy.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2018x Wed Dec 29 12:45:32 W. Europe Standard Time 2021

Step: Step-1
Increment: 1000; Step Time = 1.564
Primary Var: PE, Max, Principal
Deformed Var: U; Deformation Scale Factor: +1.000e+00



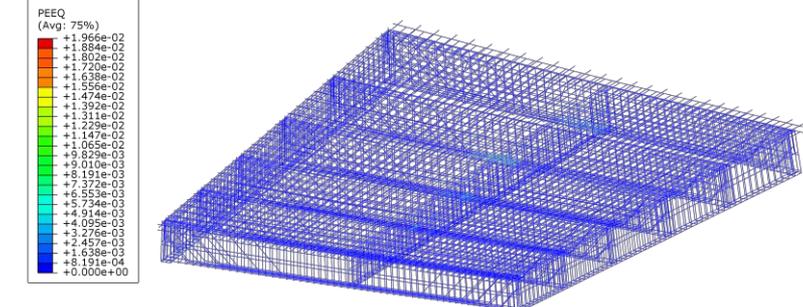
Deformazioni plastiche di trazione_cls



OJB: NewModel-Copy.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2018x Wed Dec 29 12:45:32 W. Europe Standard Time 2021

Step: Step-1
Increment: 1000; Step Time = 1.564
Primary Var: PE, Min, Principal
Deformed Var: U; Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Deformazioni plastiche equivalenti (Von Mises)_acciaio



OJB: NewModel-Copy.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2018x Wed Dec 29 12:45:32 W. Europe Standard Time 2021

Step: Step-1
Increment: 1000; Step Time = 1.564
Primary Var: PEEQ
Deformed Var: U; Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Strategie di modellazione per ponti in c.a._caso studio

Coefficiente di sicurezza γ_{Rd}

$$\theta = \frac{R_{exp}}{R_{NLFEA}}$$

Nel safety format, l'incertezza dovuta alla variabilità di θ viene tenuta in conto tramite γ_{Rd} .

- In **EC2**, Global Resistance Format, $\gamma_{Rd}=1.06$
- In **MC2010**, GRF, $\gamma_{Rd}=(1.0, 1.06, 1.1)$ rispettivamente per nulla, bassa, alta incertezza del modello di calcolo
- In **MC2020** (bozza), γ_{Rd} è valutato analiticamente a partire dalla fase di validazione del modello nel Partial Factors Method. Nel GRF è invece inglobato in un unico coefficiente γ_R che tiene conto di incertezza di modellazione (V_θ), incertezza dei parametri fisici (V_{R_x}) e la variabilità geometrica (V_G):

$$\bullet V_R = \sqrt{V_{R_x}^2 + V_\theta^2 + V_G^2}; \quad V_{R_x} = \frac{1}{1.645} \ln \frac{R_m}{R_k} \approx \frac{1}{1.645} \ln \frac{R_{NLFEA}(x_m)}{R_{NLFEA}(x_k)}$$

$$\bullet \gamma_R = \frac{1}{\mu_\theta} \exp \alpha_R \beta V_R$$

con:

- μ_θ, V_θ media e coefficiente di variazione di θ
- α_R sensitivity factor
- β_{LS} target reliability index per la struttura allo stato limite di interesse

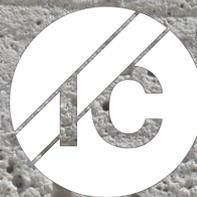
...Validazione della metodologia attraverso lo studio di casi benchmark!

Conclusioni

- ❖ La *conoscenza* è un processo fondamentale nello studio delle costruzioni esistenti e incide significativamente sull'esito delle verifiche di sicurezza e vulnerabilità (oltre che sugli eventuali costi di intervento di adeguamento statico e miglioramento/adeguamento sismico);
- ❖ I livelli di conoscenza (e dunque le resistenze di calcolo) per costruzioni esistenti devono determinarsi sulla scorta di opportune *analisi statistiche* e sono subordinate alla dispersione dei risultati restituite dalle indagini.
- ❖ Ogni valutazione numerica è affetta da *incertezza*, la quale può essere considerevolmente diversa a seconda della tipologia di modellazione e di analisi.
- ❖ "Nuove frontiere" di analisi prevedono l'utilizzo di *analisi non lineari* per la valutazione della sicurezza (per carichi verticali) dei ponti in c.a. esistenti.



SOFT.LAB
SOFTWARE PER L'EDILIZIA



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE.

***STATI GENERALI
DEL CEMENTO ARMATO***