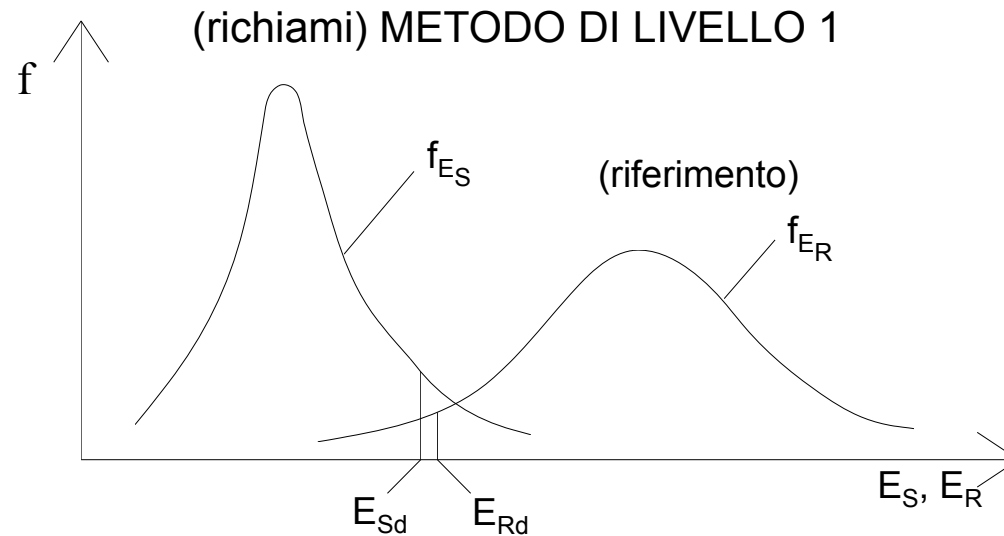


“Bontà” delle opere strutturali



capacità di sostenere le azioni applicate
in piena sicurezza e durabilità nel tempo



- misura di sicurezza $E_{Sd} \leq E_{Rd}$

$E_{Sd} = \gamma_{Sd} E_S (\sum \psi_i^{(n)} \gamma_{fi} F_{ik})$, o anche, senza gradualizzare i coeffic. γ ,	$E_{Rd} = \gamma_{Rd} E_R \left(\frac{f_{mk}}{\gamma_m}; c \right)$ o anche
$E_{Sd} = E_S (\sum \psi_i^{(n)} \gamma_{Fi} F_{ik})$, (ovviamente con $\gamma_{Fi} > \gamma_{fi}$),	$E_{Rd} = E_R \left(\frac{f_{mk}}{\gamma_M}; c \right)$, ($\gamma_M > \gamma_m$)
ove E_S indica l' "operatore" che fa passare dalle azioni agli effetti	con E_R operatore di "resistenza"

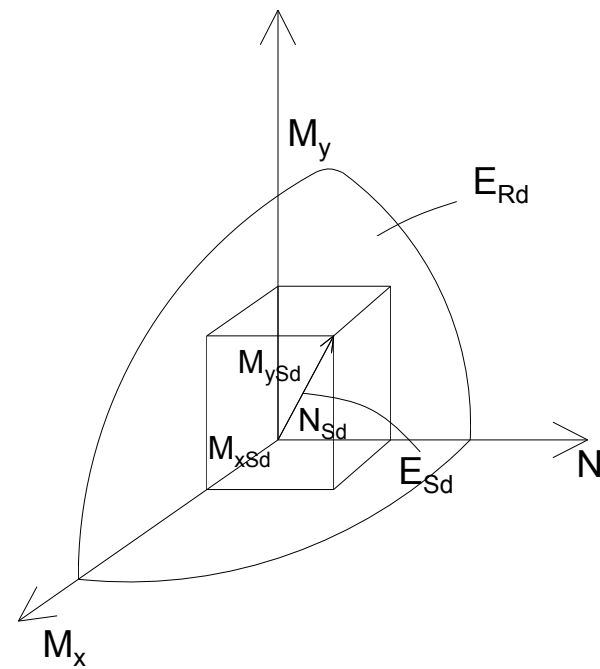
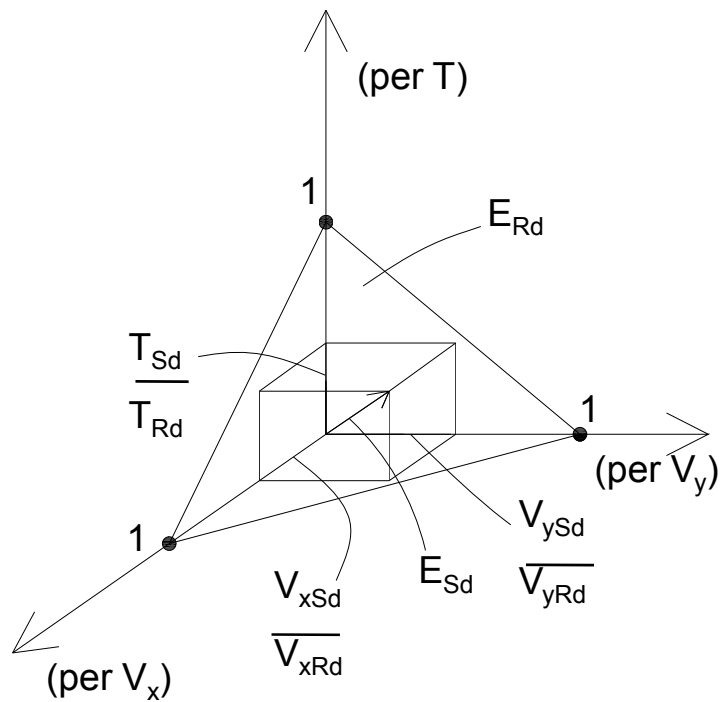
ATT!! E_{Rd} per alcuni effetti non dipende da un "meccanismo" descrivibile, ma da fattori e circostanze non dettabili univocamente : ad esempio, le accelerazioni fisiologicamente accettabili in un moto dell'edificio, o gli spostamenti d'interpiano, oppure le accelerazioni verticali nel moto di un convoglio ferroviario.

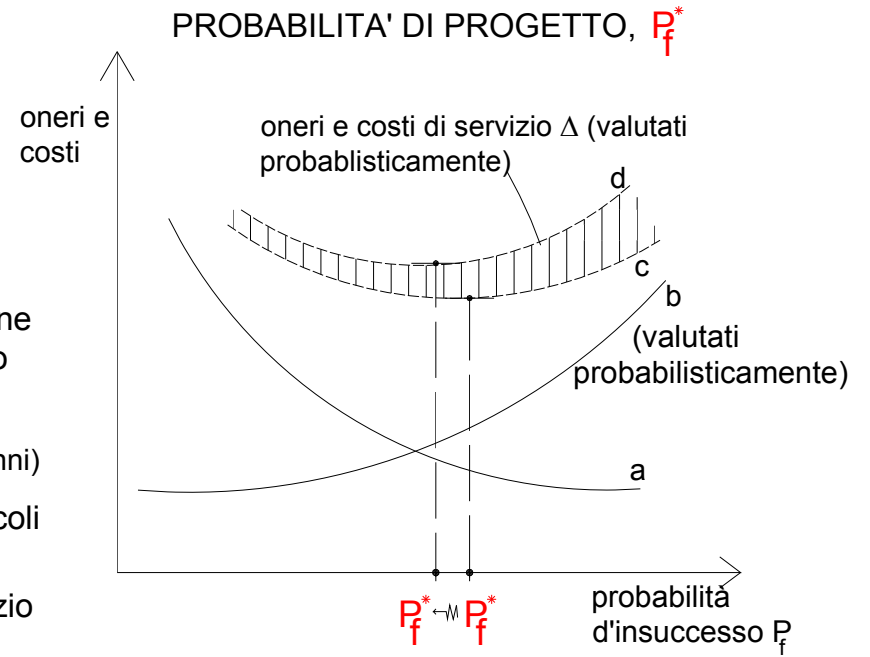
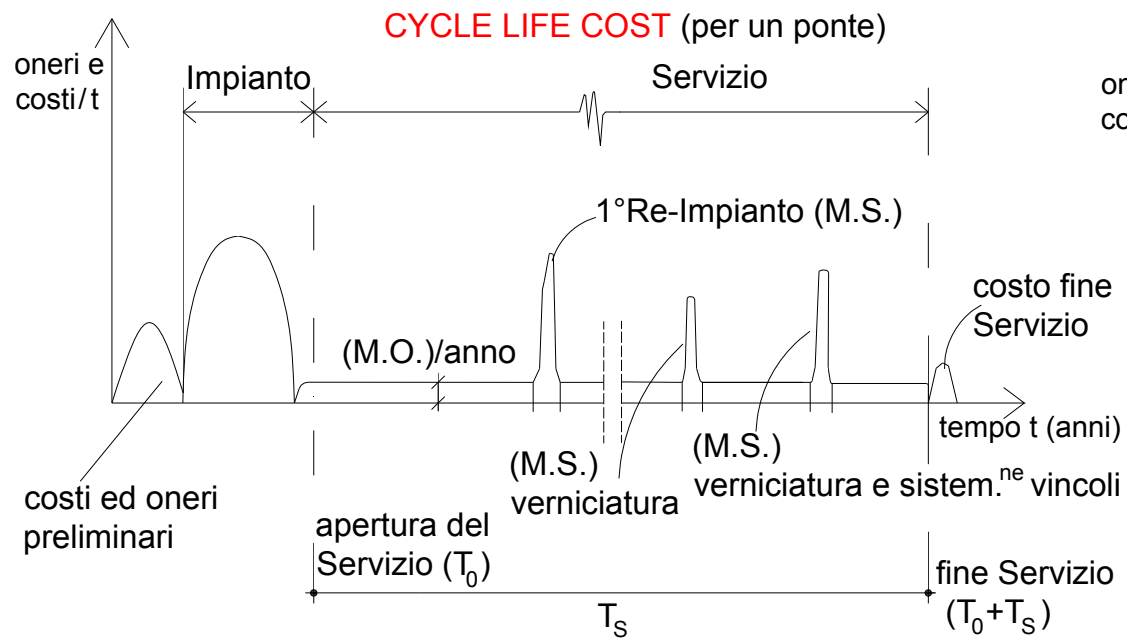
CONCLUSIONI

- nelle situazioni di misura nei riguardi di accelerazioni, spostamenti e distorsioni non vi sono certezze nei valori resistenti di progetto E_{Rd} .

(SEGUE) misura della sicurezza

con tre componenti di sollecitazione





- a = costi ed oneri d'impianto e fine servizio
- b = costi ed oneri d'insuccesso (probabilisticamente)
- c = curva somma (a+b)
- Δ = costi ed oneri di servizio Δ (probabilisticamente)
- d = curva somma (c+ Δ)

Nuovo Ponte sul Ticino a Vigevano, PV (luci \cong 135 m)

Archi binati: $R_{ck}=75$ MPa, $E_c=40\div 42$ GPa

Impalcato e spalle: $R_{ck}=75$ MPa, $E_c=40$ GPa.

Strategie (regolamenti attuativi, ad es. LEED)

Per “muoversi” entro uno Sviluppo Sostenibile occorre:

- Corretta e coerente concezione del progetto (“**Conceptual Design**”)

(con riferimento agli obiettivi precedenti, occorre garantire alle strutture:

resistenza, rigidità, tenacità, robustezza – anche sotto eventi eccezionali- durabilità,

versatilità, ispezionabilità, manutenibilità e risparmio energetico)

- Corretta e coerente concezione esecutiva (“**Efficient Construction**”)

(con materiali, impiego del riciclo, modalità costruttive, prefabbricazione,

cantierizzazione, industrializzazione)

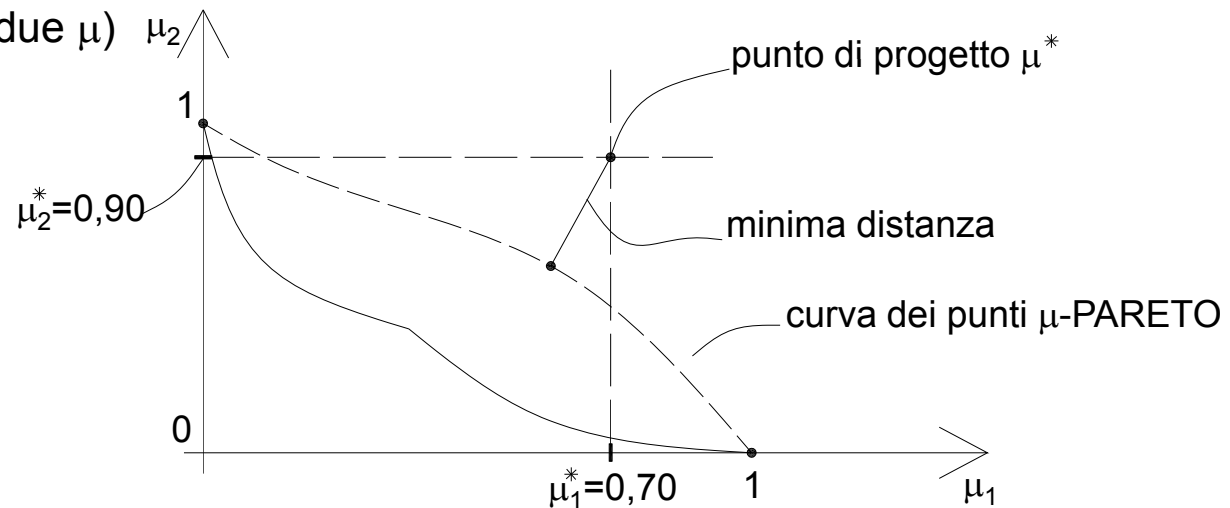
- Consone modalità e garanzie di servizio (“**Consistent Use**”)

(ossia, uso coerente e sostenibile)

(in specie per le OPERE PUBBLICHE, attuale Legge e Regolam.^{to} in Italia)

“la soluzione progettuale fra tutte quelle tecnicamente valide ed ugualmente possibili deve essere quella ottimale nei confronti dei diversi obbiettivi da considerare nel problema” (nel rispetto della SOSTENIBILITA')

teoricamente: problema di ottimizzazione vincolata (alla PARETO) di funzioni obbiettivo f , alle quali si assegnano parametri μ d'importanza ($0 \leq \mu \leq 1$); rappresentazione dell'insieme fuzzy “ μ -PARETO” nello spazio μ , ad esempio con 2 obbiettivi (e quindi due μ)



CONCLUSIONI

- in genere μ^* esterno \curvearrowright problema di minima distanza,
- praticamente, per le difficoltà analitiche, \curvearrowright valutaz.ⁿⁱ soggettive,
- comunque, necessità di individuare degli obbiettivi.

(nel rispetto della **SOSTENIBILITA'**)

“lato” Materiali(*)

- 1- resistenza (meccanica),
- 2- rigidità,
- 3- duttilità e tenacità,
- 4- durabilità,
- 5- resistenza al fuoco.

“lato” Esecuzione,(Impianto)

- 6- semplicità e facilità di esecuzione,
- 7- costi di esecuzione,
- 8- tempo di esecuzione e rispetto dei programmi,
- 9- impatto del cantiere,
- 10- salvaguardia delle preesistenze storico-monumentali.

“lato” Servizio,(Esercizio)

- 11- versatilità della costruzione (adattab.^{tà}, riparab.^{tà}, sostituib.^{tà}),
- 12- costi di servizio (ispezioni, manutenzioni),
- 13- sicurezza di servizio (salvaguardia della vita umana),
- 14- impatti ambientali,
- 15- vincoli, oneri e costi (territoriali o altro).

(*) (n.b. – ulteriori specifici parametri per i terreni fondazionali)

CONCLUSIONI

- alcuni obiettivi sono prioritari, (sicurezza e costi di servizio),
- la soluzione ottimale in genere non ha il minor costo d'Impianto.

CON GLI ORDINARI (NSC)

Il mix-design dei nuovi calcestruzzi impiega meno cemento, sostituito da materiali aventi ad esempio paragonabili attività pozzolaniche (silica fume, loppe d'altoforno, polvere di calcare), rigorosamente con additivi.

- maggiori valori di R_{ck} e resistenze anticipate, maggiore lunghez. ^{za} di resistenza $L_u = R_c / (g\delta)$
- maggiori valori di E_c e anche di ν , ($E_c^* = E_c / (1 - \nu^2)$), maggiore lunghez. ^{za} di deform. ^{ne} $D_u = E_c / (g\delta)$
- pratica impermeabilità
- pratica autocompattazione
- pratica insensibilità alla carbonatazione
- pratica insensibilità ai cicli di gelo e disgelo
- più contenuti, ma in specie controllati, valori di ritiro e parametri di viscosità
- maggiori resistenze a trazione e tenacità, (ad es. con fibre metalliche)
- maggiore resistenza al fuoco, (con fibre polimeriche)
- impiego più favorevole di sostanze fotocatalitiche

(n.b.- va studiato obbligatoriamente il mix-design con i giusti additivi, in relazione alle caratteristiche che si intende privilegiare in cantiere e poi in servizio).

CONCLUSIONI

- i nuovi calcestruzzi, impiegando meno cemento, corrispondono agli scopi della SOSTENIBILITA',
- l'additivo aggiunto non ha doti "universali", ma va finalizzato alle caratteristiche desiderate.

Caratteristiche:

Tipo Acciaio	f_{yk} nominale	f_{tk} nominale
B450C	450 N/mm ²	540 N/mm ²
B500C	550 N/mm ²	620 N/mm ²

Vantaggi:

- aumento di resistenza,
- diminuzione del quantitativo d'acciaio,
- riduzione della congestione dei casseri,
- snervamento superiore,
- pari duttilità tra gli acciai B500C e FeB44K.



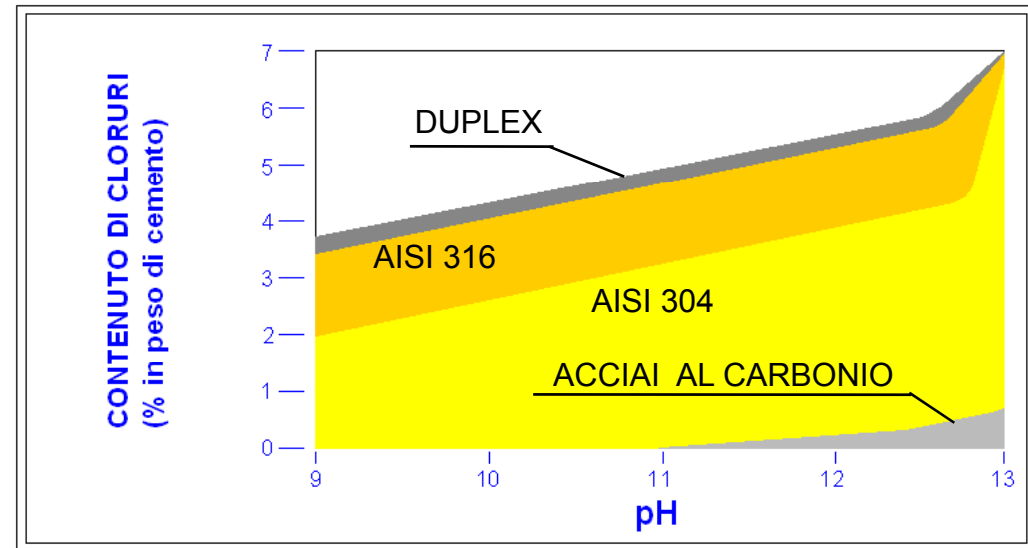
(addirittura, se inossidabili, con vita $T_S = 750$ anni!
GUILD HALL YARD EAST, London)

CONCLUSIONI

- con minore quantitativo d'acciaio si riducono tutti i fattori (energia di produzione, trasporto, tempi costruttivi) che occorrono per l'impiego, corrispondendo agli scopi della SOSTENIBILITA'.

Caratteristiche prestazionali,
confronto con gli acciai al carbonio NS (Normal Steel)

- pari valori di resistenza e duttilità
- assenza di ossidazione
- alta resistenza ai cloruri
- migliore resistenza a fuoco e fiamma
- perfetta saldabilità
- libero accoppiamento con i NS



(n.b. – negli impieghi pratici, per contenere i costi, si raccomanda di non procedere ad un'applicazione generalizzata, ma di limitarla alle zone di accertata pericolosità di aggressione)

CONCLUSIONI

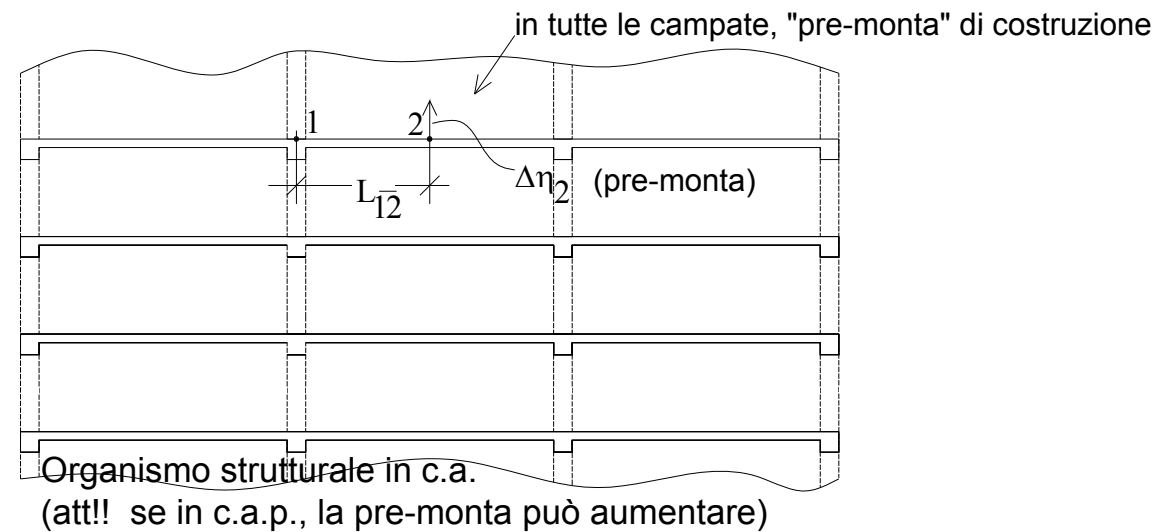
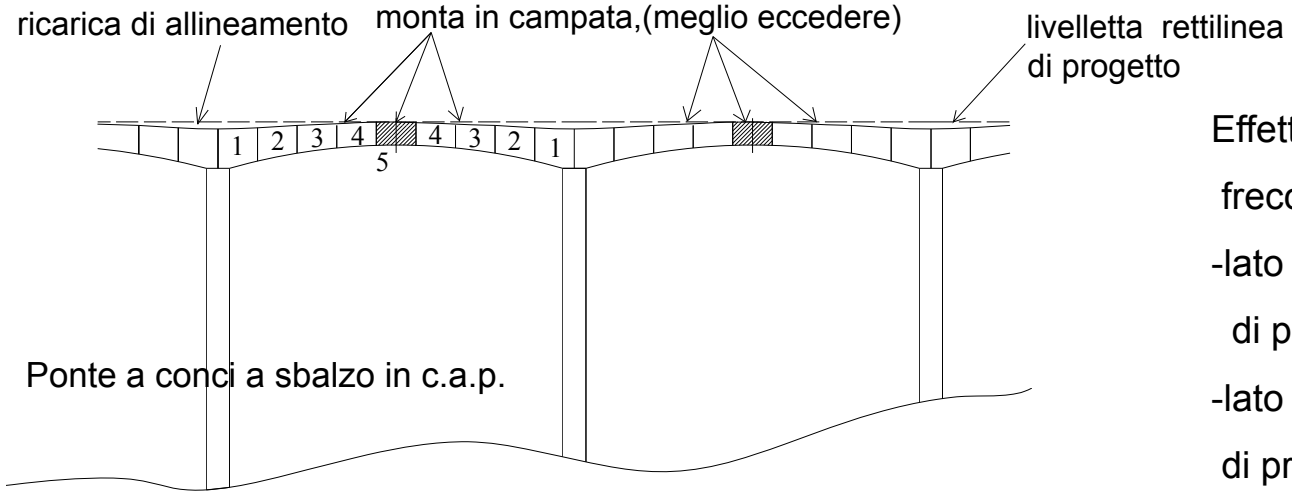
- in determinate circostanze (alta aggressività, carbonatazione e ioni cloro come potrebbe essere in galleria) occorrono acciai inossidabili di qualità (AISI 316),
- garantendo alti valori di T_s (senza oneri di manutenzione) si corrisponde agli scopi della SOSTENIBILITA'.

Un esempio storico



“Progreso”, Messico: nell’immagine si notano, a destra, un pontile costruito 60 anni fa usando 220 tonnellate di barre d’acciaio AISI 304 ed, a sinistra, ciò che rimane di un pontile costruito 30 anni fa usando barre d’acciaio al carbonio.

Geometria strutturale e misure di sicurezza



Effetti particolari:

- frecce, variazioni angolari, distorsioni
- lato sollecitazione S da calcolare il valore di progetto E_{Sd} ,
- lato resistenza R, da assegnare il valore di progetto E_{Rd} ;
- misura di livello 1

$$E_{Sd} \leq E_{Rd}$$

avendosi per l'Affidabilità $Z = (R-S)$,

$$P_f = P \{(R - S) \leq 0\} \leq P_f^*$$

in taluni casi $P_f = 1 - F_U(\beta)$,

con β = indice di sicurezza.

CONCLUSIONI

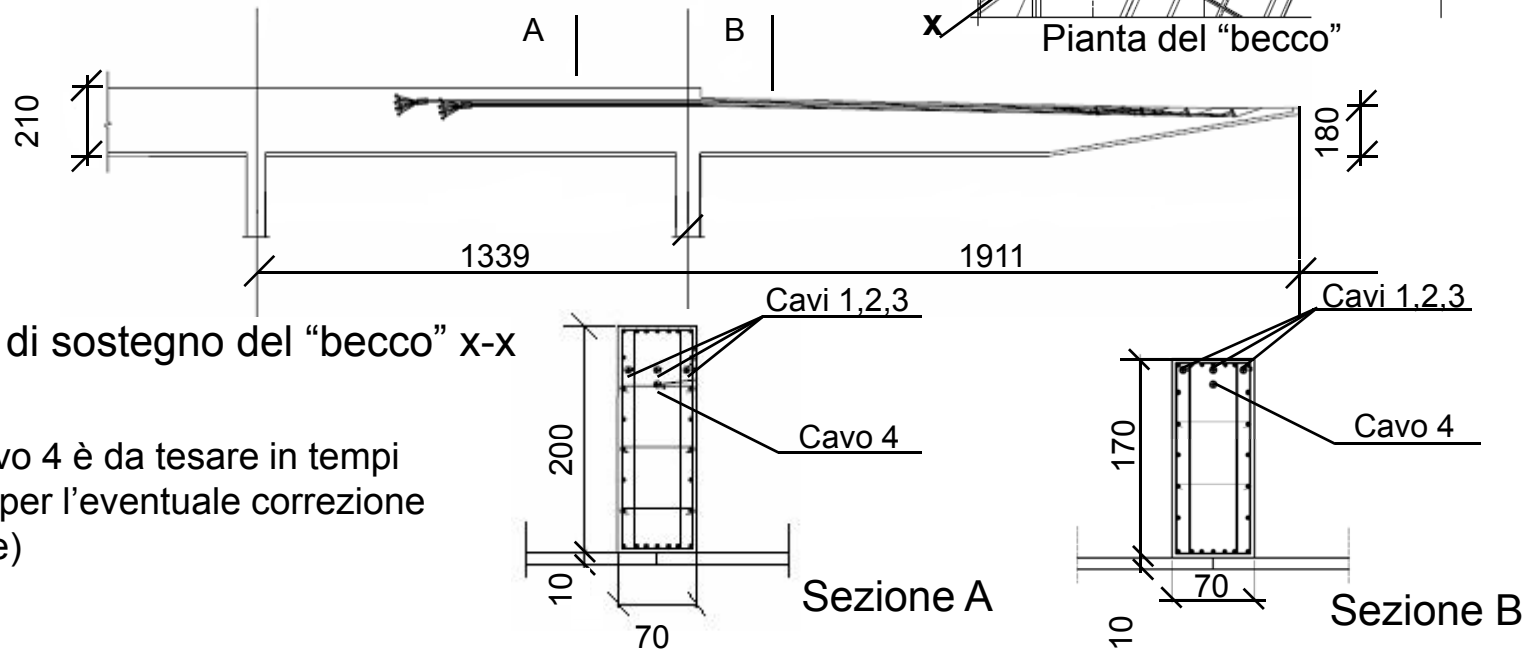
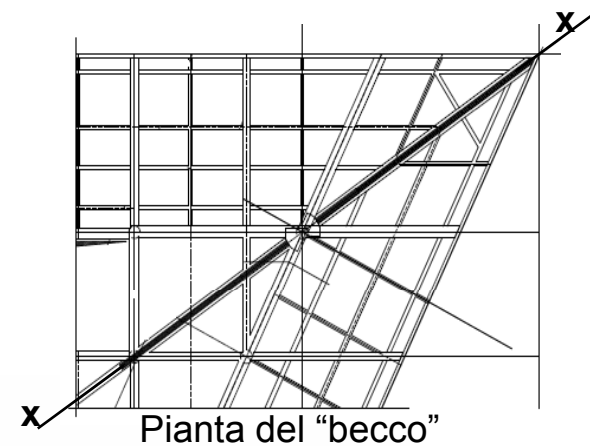
- le misure di sicurezza, oltrechè per i valori (elastici) istantanei E_{Sd} sotto ai carichi variabili, vanno fatte, per la quota dei carichi permanenti, tenendo conto degli accrescimenti viscosi.

“Laboratori” Italcementi a Bergamo, (per inciso, LEED Platinum)

(LEED=Leadership for Energy and Environmental Design)



Vista da Nord

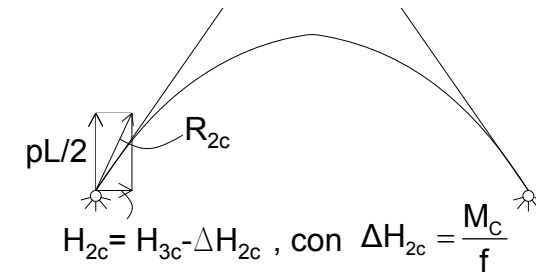
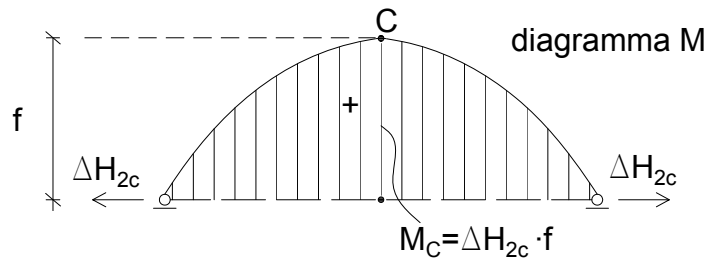
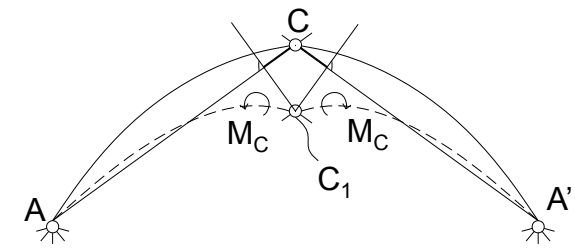
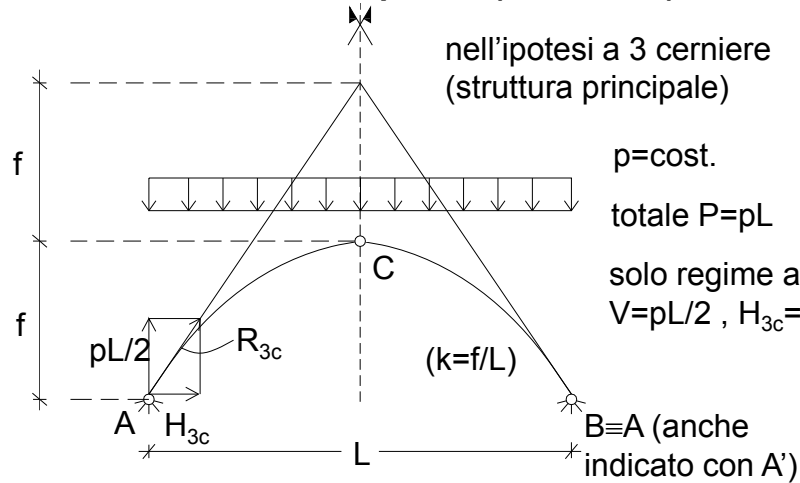


CONCLUSIONI

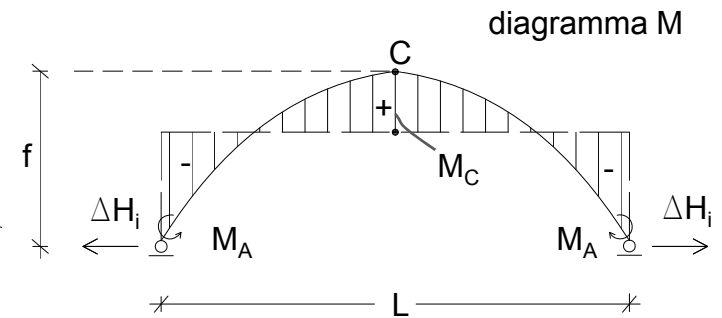
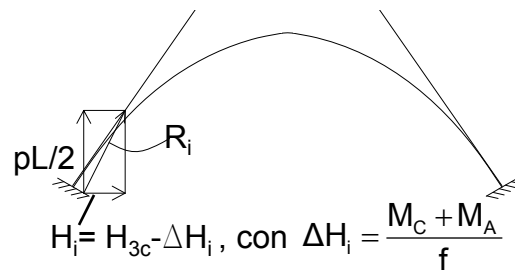
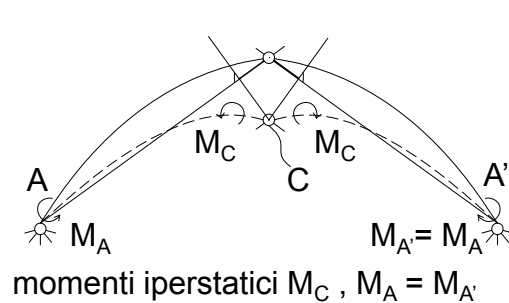
- proprio per le strutture in c.a.p. si potrebbe consigliare di avere cavi “di riserva”.

INTUIZIONI STRUTTURALI

Arco parabolico a 2 cerniere, carico $p=cost$ (sull'orizz.^{le})



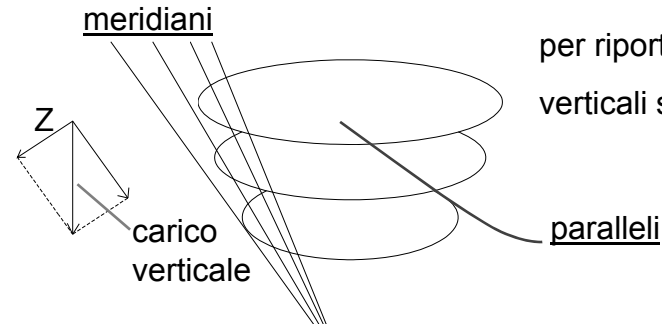
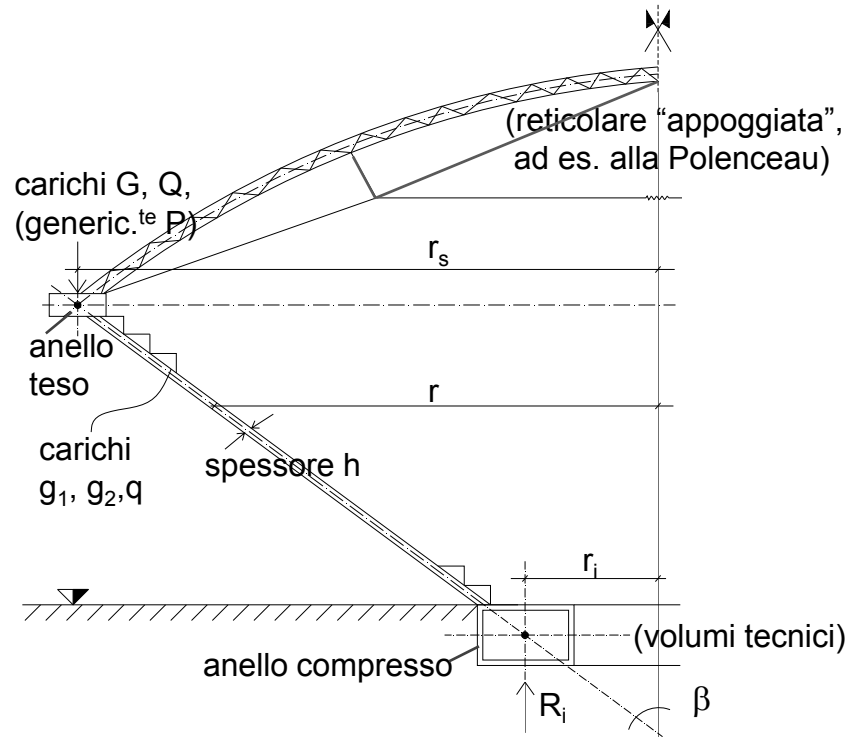
Arco parabolico incastrato, carico $p=const$ (sull'orizz.^{le})



CONCLUSIONI

-passando dall'arco a 3 cerniere, al 2 cerniere e all'incastro, le reazioni d'imposta si verticalizzano sempre di più.

INTUZIONI STRUTTURALI



- i meridiani funzionano come se fossero un fascio di puntoni inclinati, per riportare in basso i carichi verticali soprastanti

- i paralleli funzionano come cerchiature alla Boyle-Mariotte, per deviare lungo i meridiani i carichi verticali soprastanti (ossia per sostenere le componenti Z verso l'esterno), quindi con opportuni tracciati di cavi cerchianti

- gli "anelli" di estremità (il superiore teso, quindi con opportuni cavi cerchianti, l'inferiore compresso, contenuto nei volumi tecnici) hanno il compito: il superiore di deviare lungo i meridiani i carichi soprastanti, l'inferiore di riportare ad essere verticali i carichi che scendono lungo i meridiani.

g_1 , peso proprio strutturale/mq inclinato

$p \begin{cases} g_2, \text{ carichi permanenti/mq orizzontale} \\ q, \text{ carico variabile/mq orizzontale} \end{cases}$

trascurando le deformazioni assiali (per carichi uniformi, radialm. te simmetrici)

solo regime membranale RPM: S_1 sforzi meridiani, S_2 sforzi paralleli

$$\text{per } g_1, S_1 = -\frac{g_1}{\sin 2\beta} r \cdot [(r_s/r)^2 - 1], S_2 = g_1 \cdot r \cdot \tan \beta$$

$$\text{per } p, S_1 = -\frac{p}{2\cos\beta} r \cdot [(r_s/r)^2 - 1], S_2 = p \cdot r \cdot \frac{\sin^2\beta}{\cos\beta}$$

$$\text{per } P, S_1 = -P/2\pi \cdot r \cdot \cos\beta, S_2 = 0 \text{ (essendo nulla } Z)$$

n.b.- positivi gli sforzi di trazione; per il p.p. strutturale $g_1=1 \cdot h \cdot (\delta g)$,

le tensioni $\sigma=S/1 \cdot h$ sono indipendenti da h

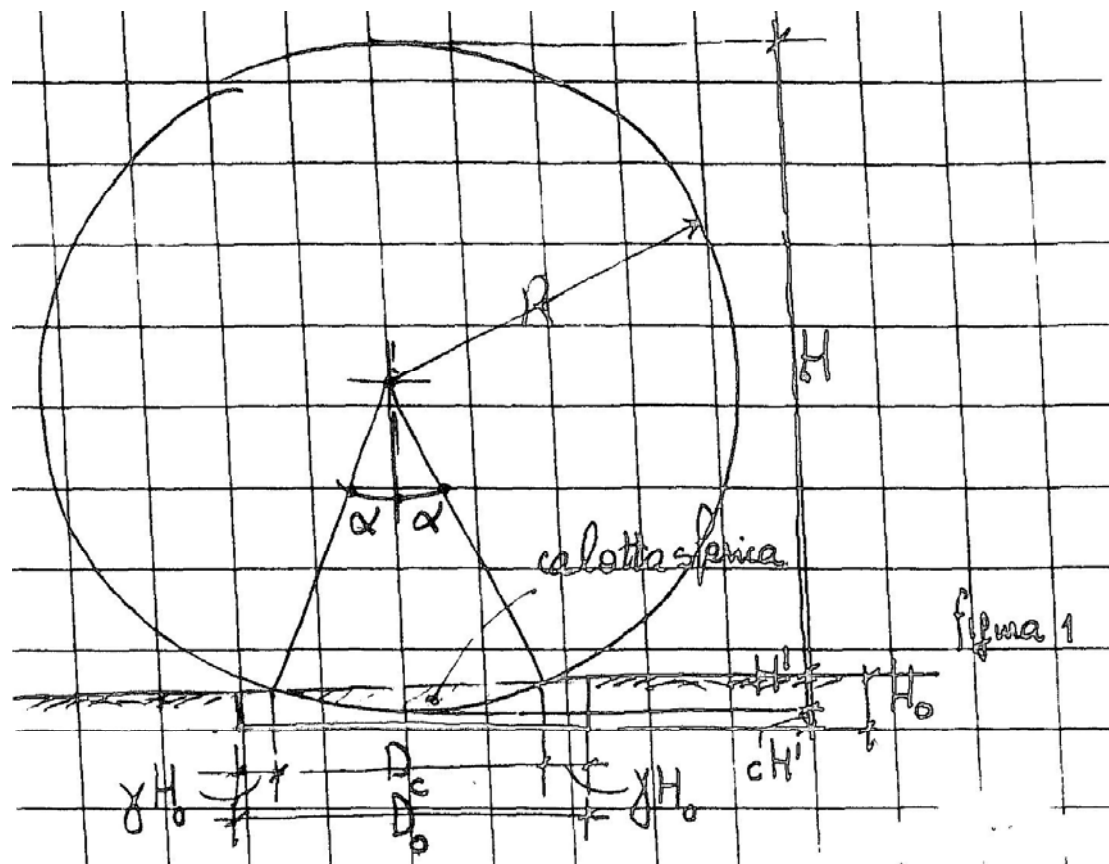
Il caso degli alti edifici

In ogni progetto sono spesso decisive le valutazioni economiche (da non limitare al solo “Impianto”, si ricordi il Cycle Life Cost), eseguite con particolare riguardo circa le scelte dei materiali e delle tecnologie.

In buona sostanza, gli obiettivi dominanti sono:

- la “**robustezza**” **strutturale**, per il contenimento delle dimensioni degli elementi, per il raggiungimento di un migliore rendimento degli impalcati, (coefficienti d'utilizzo maggiori, possibilmente $c = \frac{g+q}{g} \cong 2$), per una migliore risposta della controventatura sotto vento e sisma (sollecitazioni di progetto minori, ad es. accelerazioni $a_{sd} \leq \frac{2}{100}g$, spostamenti d'interpiano $sp_{sd} \leq \frac{1}{600}h$),
- la “**celerità**” **costruttiva**, per il contenimento dei tempi di cantiere (quasi sempre in zone urbane), in virtù dell'efficienza, garanzia e continuità di esecuzione (ad es. con il pompaggio del calcestruzzo in quota senza stazioni intermedie).

Nelle valutazioni economiche gioca un ruolo non indifferente il risparmio energetico contenuto in fase di esecuzione, il quale, sommato agli altri fattori ecologici insiti nelle scelte precedenti, può consentire all'edificio di avvicinarsi a un “LEED platinum” (ossia, verso gli scopi ottimali della SOSTENIBILITA').



Ad esempio per una sfera di 160,00 m di diametro D , (quindi di raggio $R = 80,00\text{m}$) con $\alpha = 30^\circ$, $c = (1/3)$, $\gamma = 1,20$, risulta:

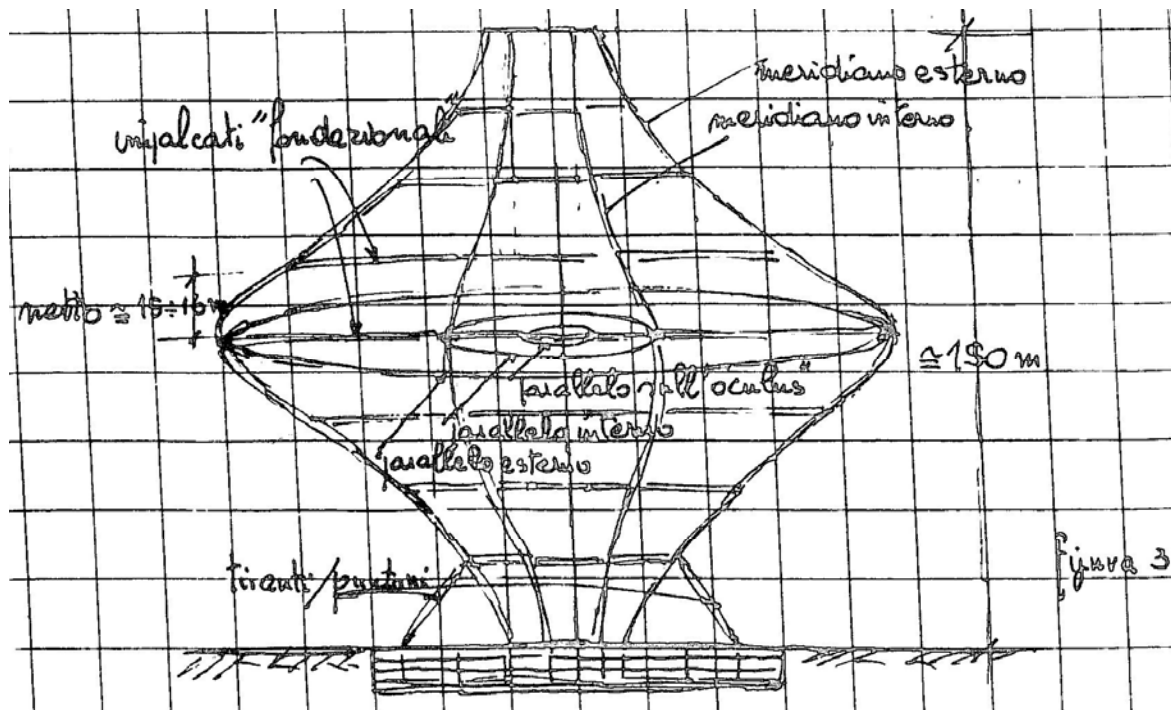
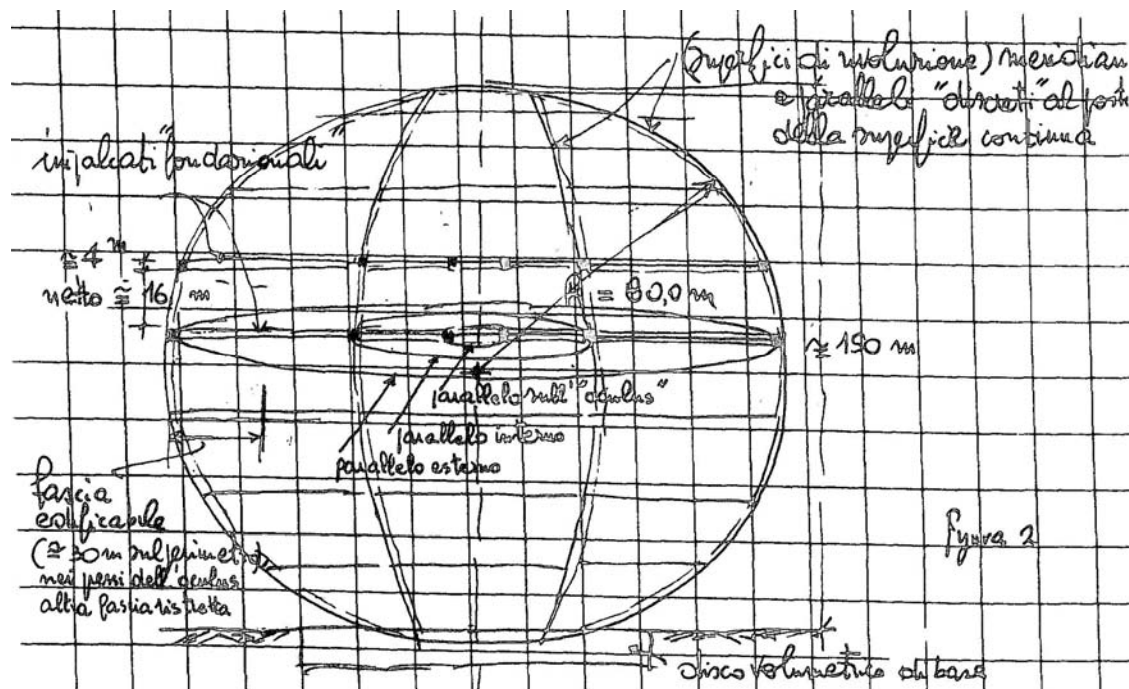
H , altezza edificio fuori terra = 149,28m, (ossia circa 150m),

H_0 , altezza edificio entro terra = 14,29m, (ossia poco più di 14m),

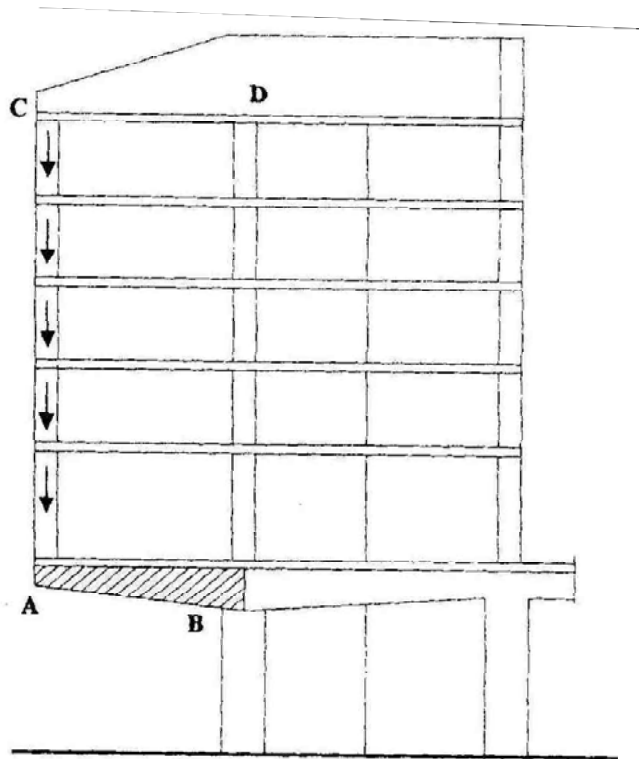
D_0 , diametro del "disco" di base $\cong 114,30\text{m}$, (ossia circa 115m),

Ω_0 , area di appoggio del disco di base $\cong 10.260\text{m}^2$, (ossia circa 1 ettaro),

V_{tot} , volume totale fuori ed entro terra, $\cong 2.300.000 \text{ mc}$.



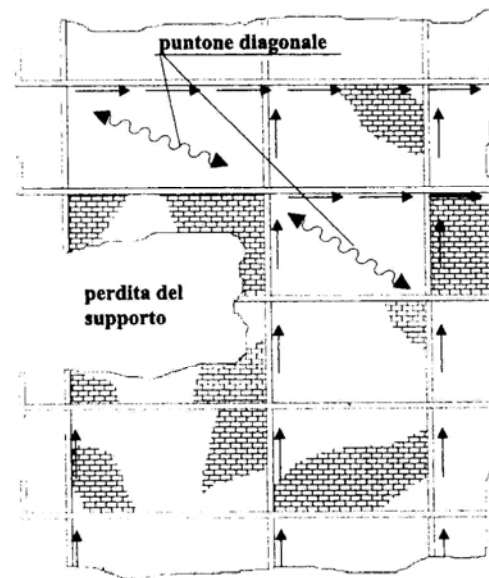
Il caso di C.^{so} Vittorio Emanuele a Milano



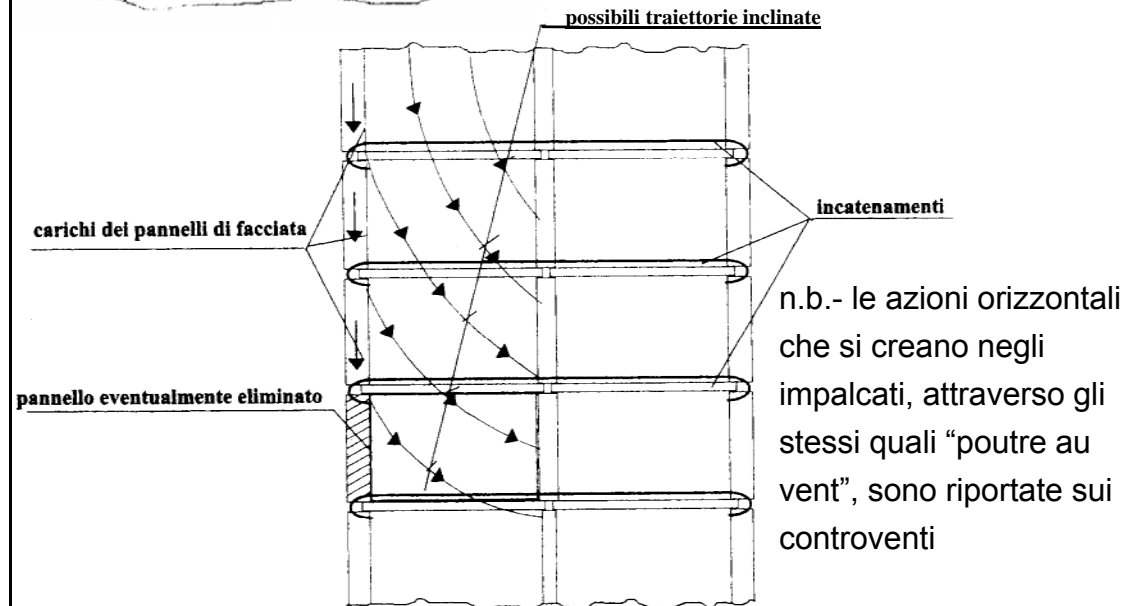
Sistema di presidio strutturale adottato per l'edificio in C.^{so} Vittorio Emanuele a Milano

$P_f < \min P_{fi}$, (dalla Teoria della Probabilità, per i Sistemi in parallelo)

Il crollo di Ronan Point a Londra



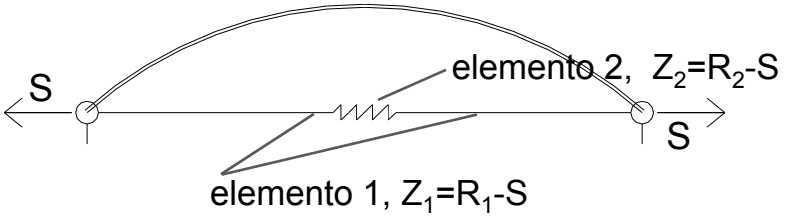
Collasso nell'edificio di Ronan Point a Londra



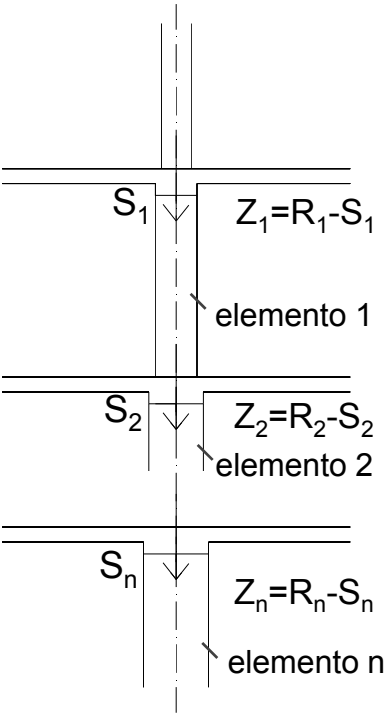
Sistema predisposto per evitare il collasso in "cascata"

(esempi)

in serie

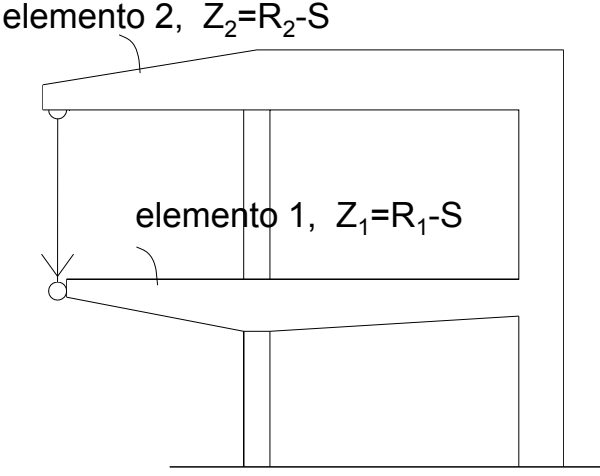


$P_f > P_{f1}$, anche con P_{f2}
molto molto piccola



(“colonna” di pilastri)

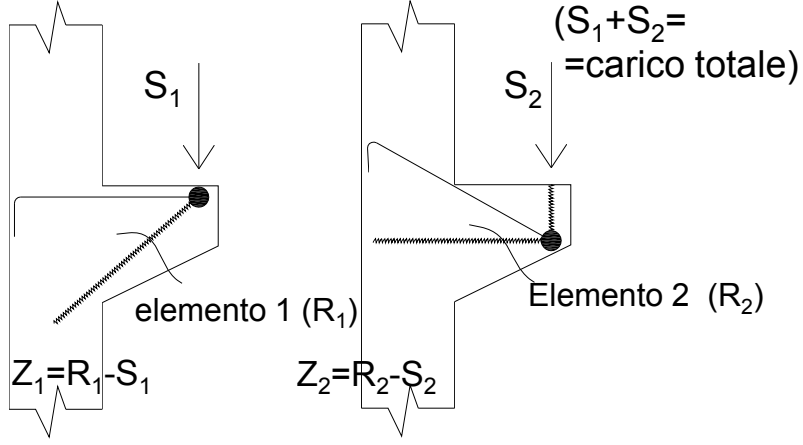
in parallelo



$P_f < P_{f1}$, anche con P_{f2}
molto molto grande

(oppure)

(oppure)



(meccanismi resistenti)