



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA

Adeguamento sismico di edificio con struttura
portante in cemento armato mediante la
tecnologia dell'isolamento sismico:
il caso dell'ex Pretura di Pescia

Pescia, 15 Marzo 2014

Prof. Ing. Enrico Mangoni

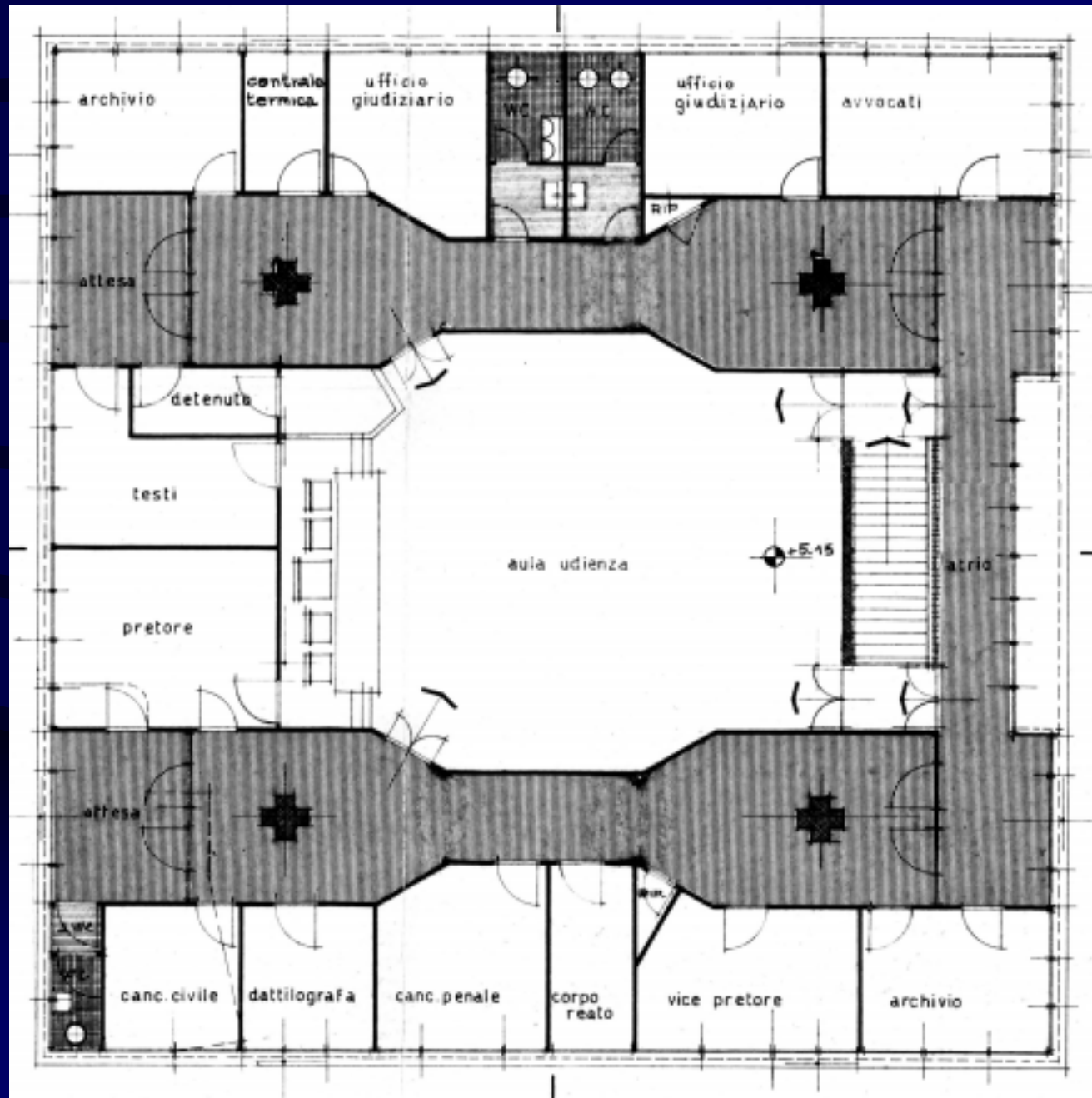
Docente di "**Progetto e Riabilitazione delle Strutture**"

presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze

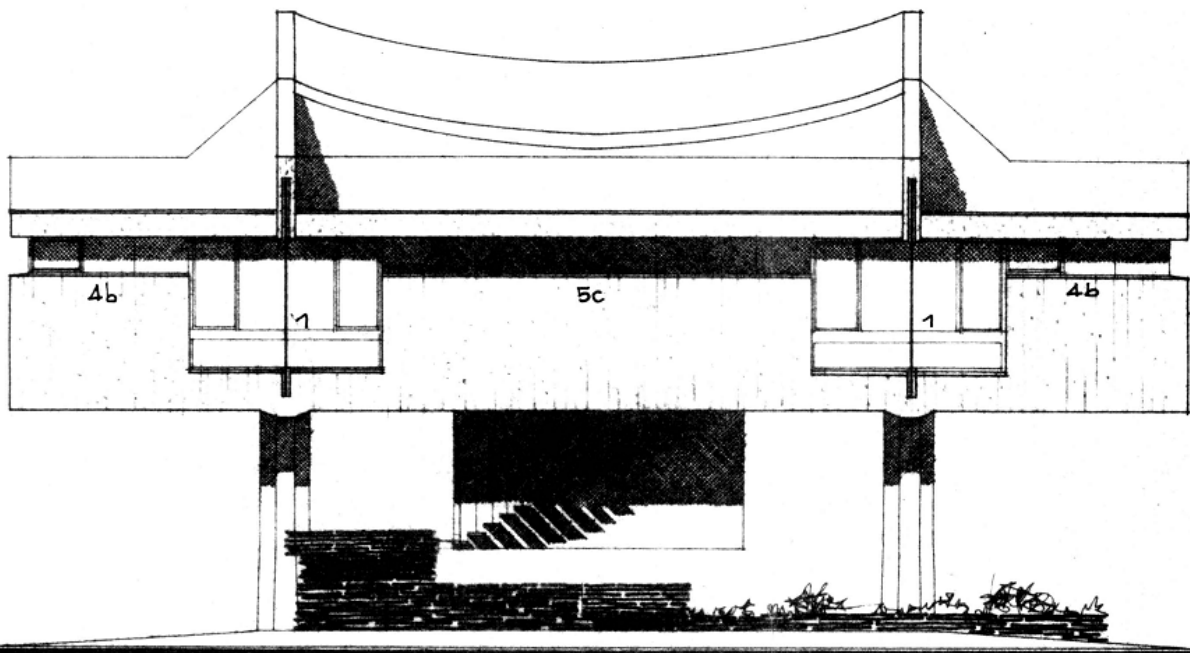
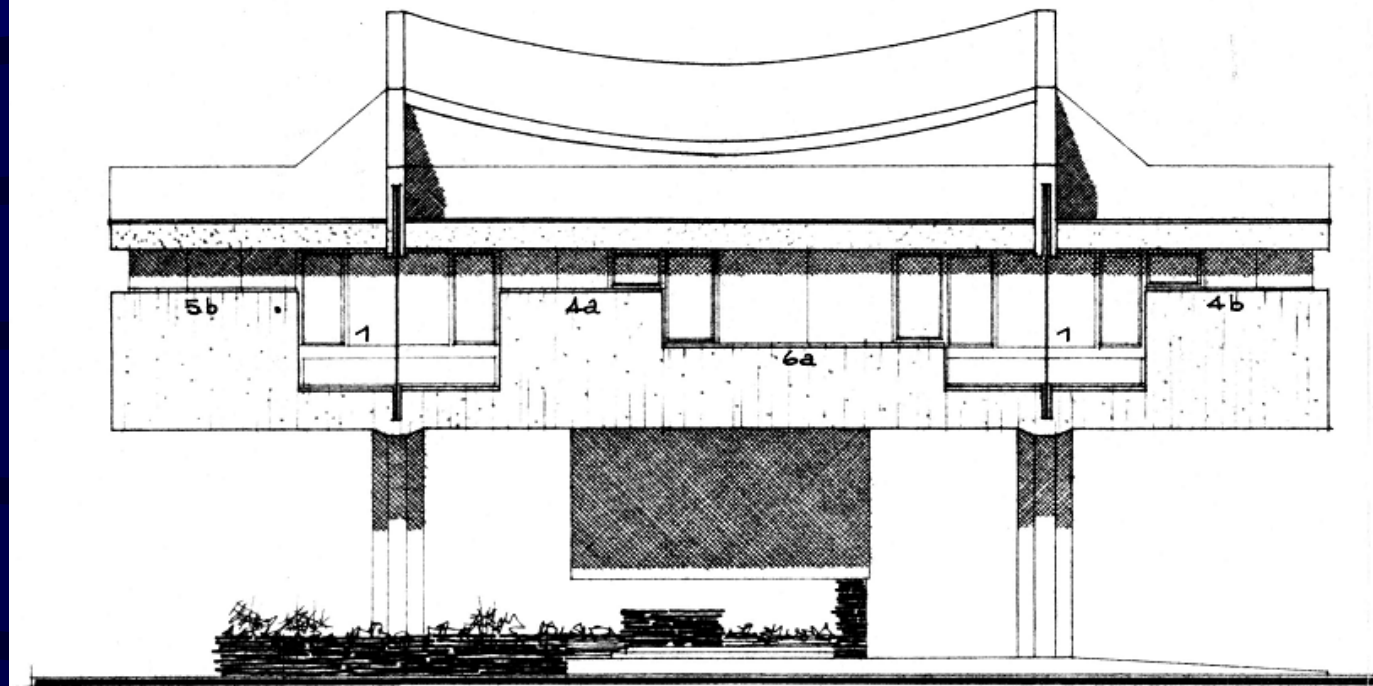
Email: emangoni@dicea.unifi.it, ing.enrico@studiomangoni.it

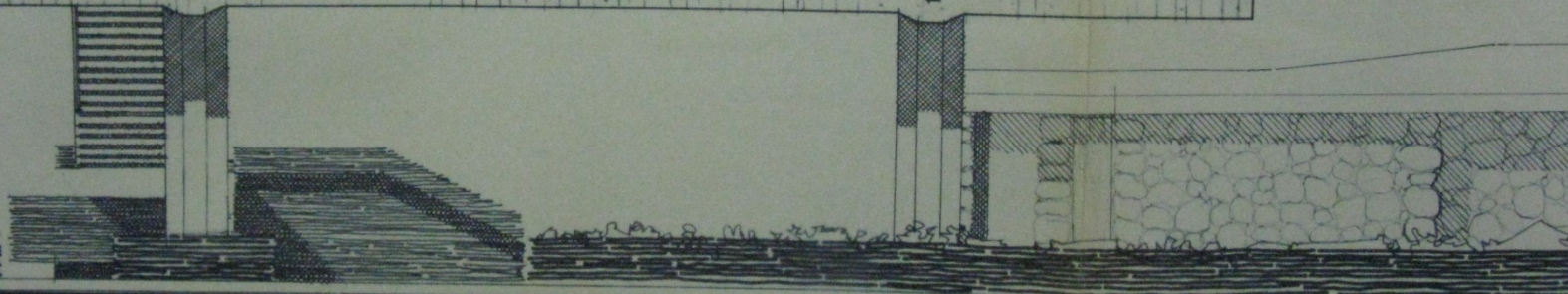
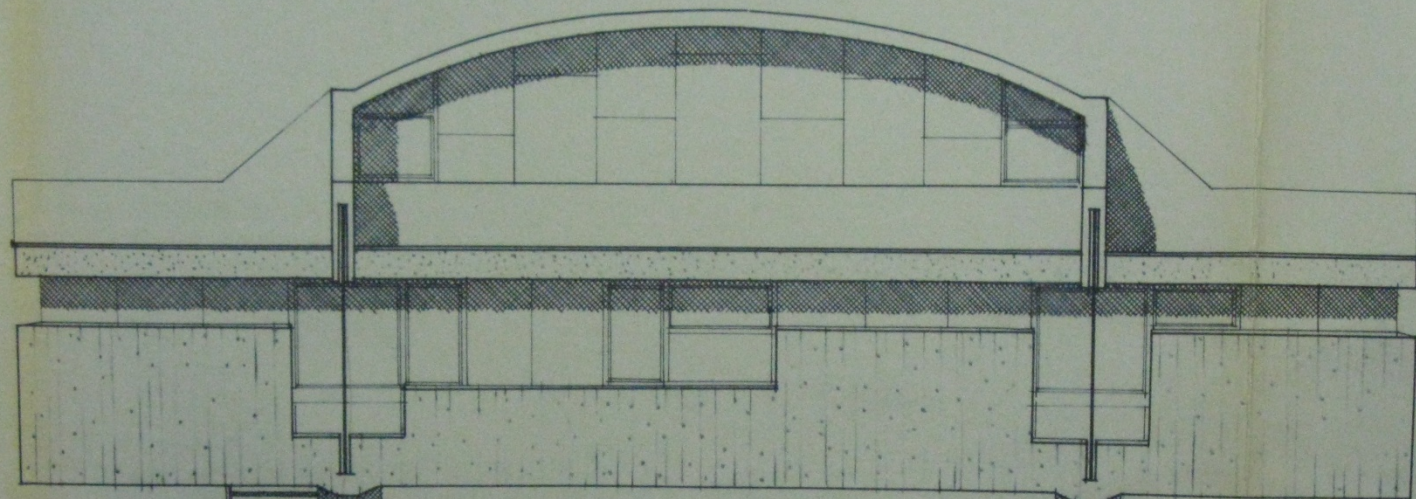
ALCUNI DOCUMENTI D'EPOCA

Pianta
architettonica



Prospetti





Sezioni

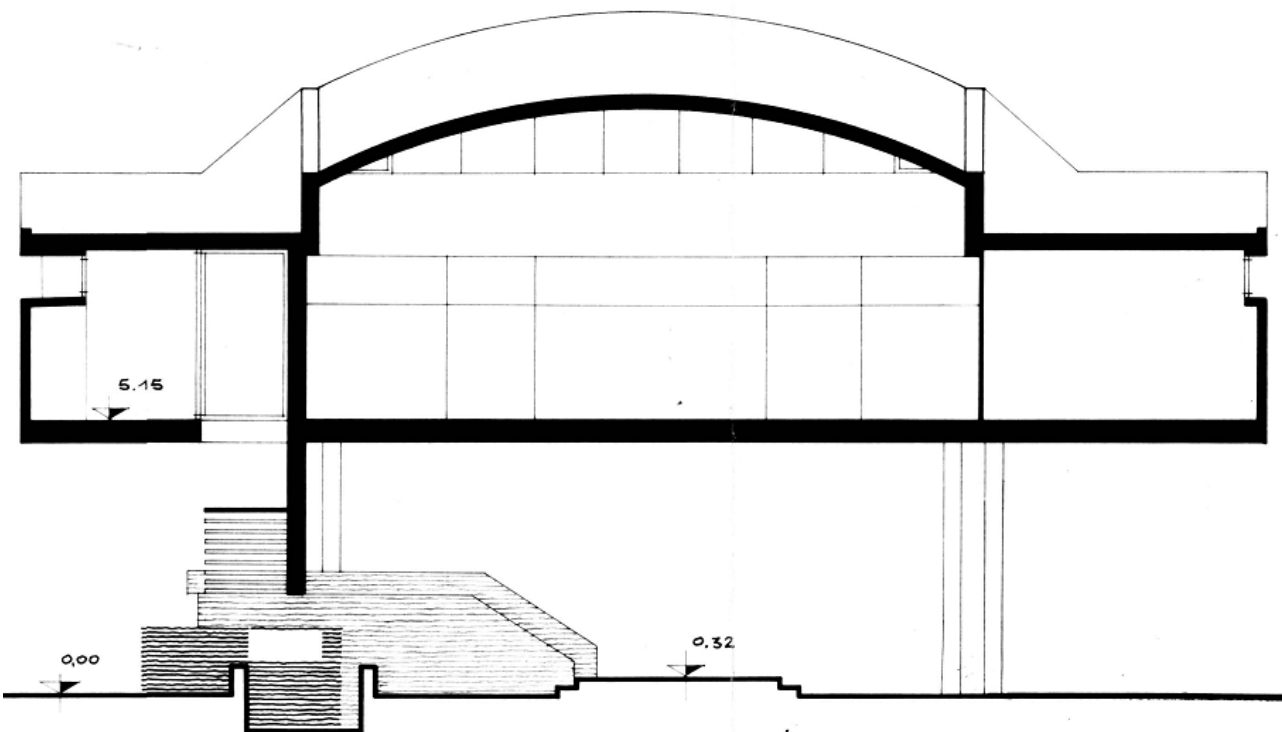
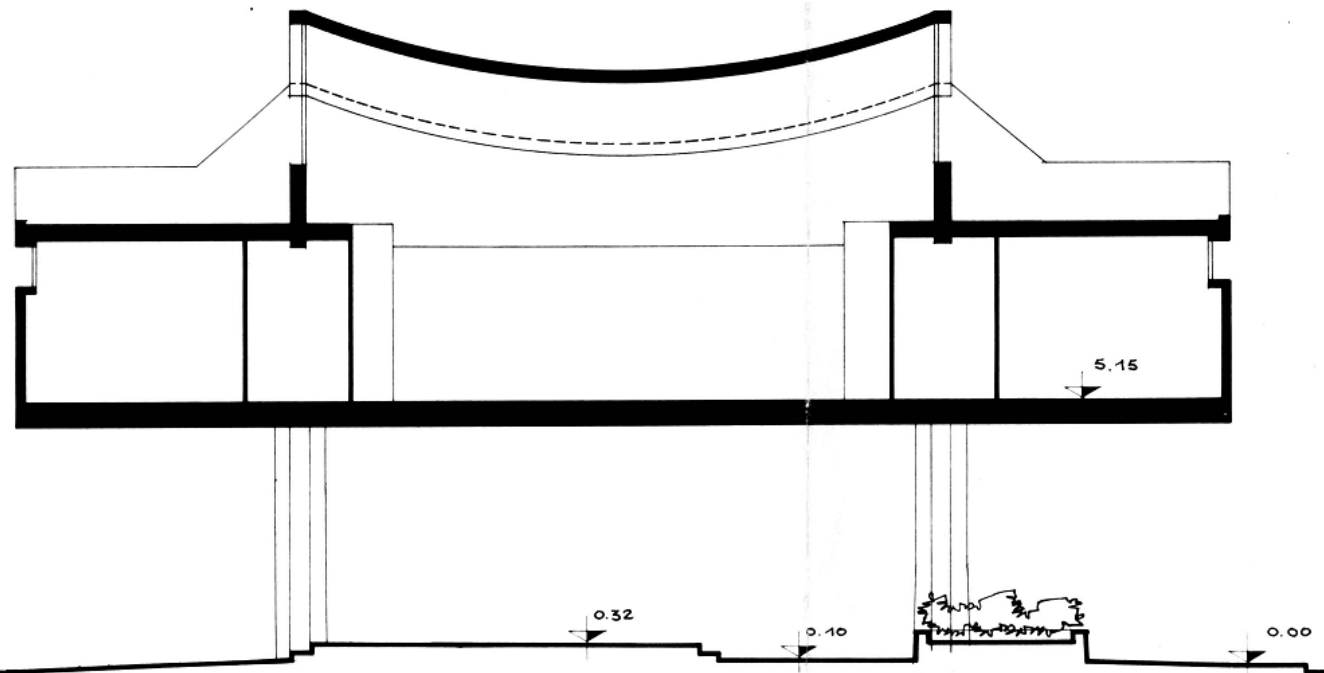


Tavola strutturale con indicazione delle armature

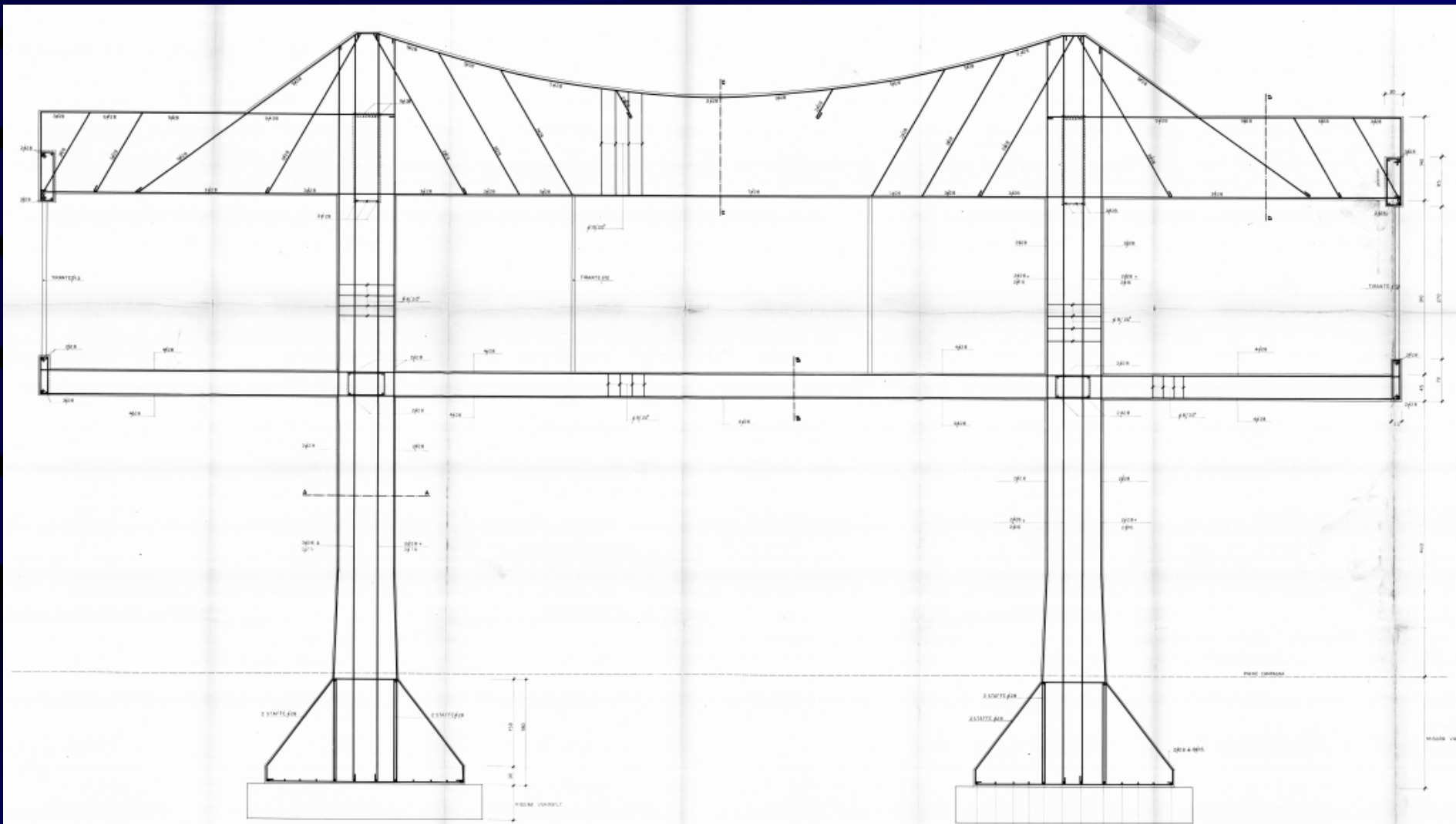
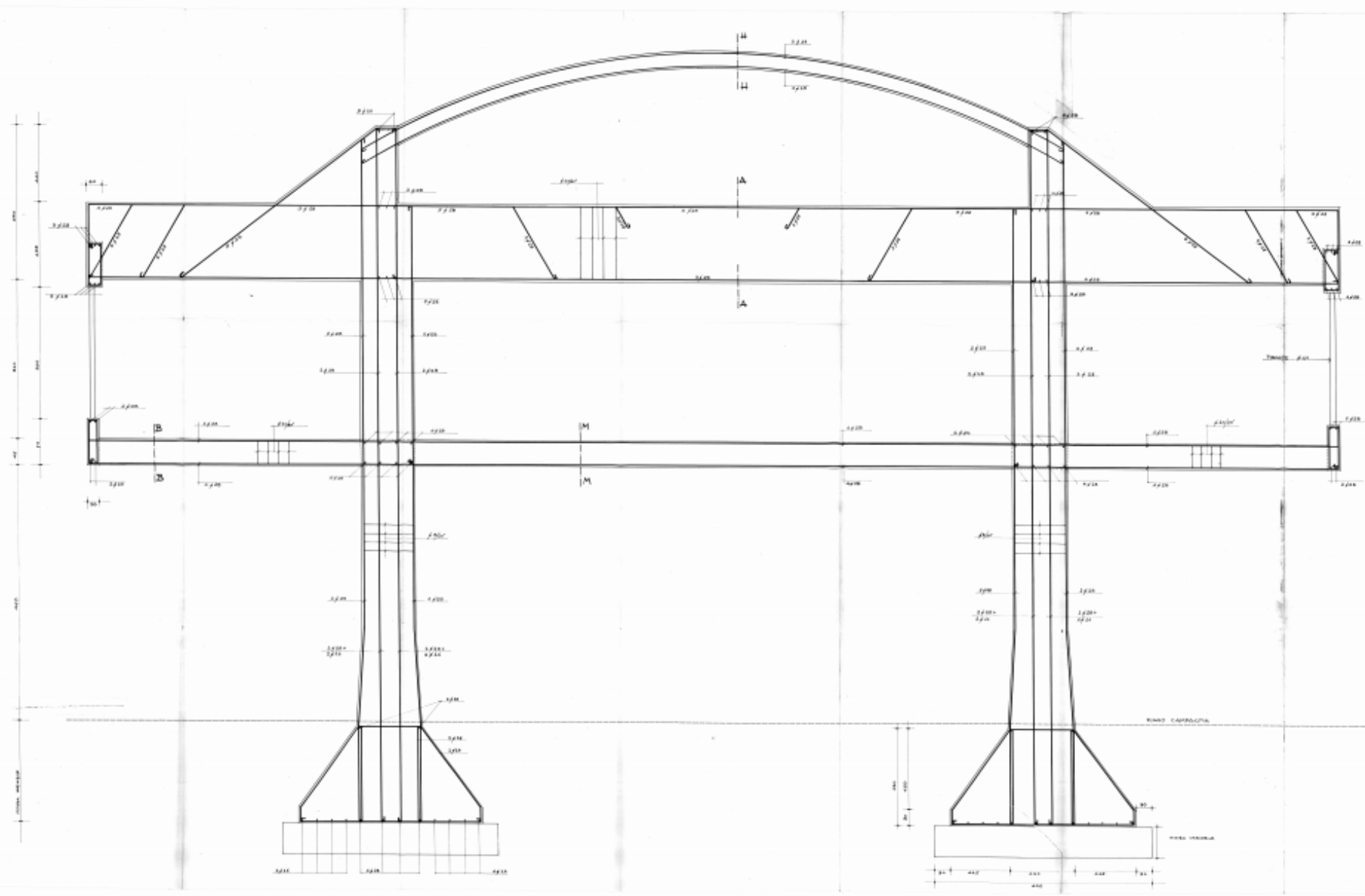


Tavola strutturale con indicazione delle armature



Non esistono relazioni tecniche originali, se non il certificato di collaudo.

Le opere sono state progettate e realizzate da:

- Arch. Giuseppe Gori → **Progetto architettonico**

-Ing. M. Cammelli → **Progetto strutturale**

-Ing. M. Michelagnoli

- Arch. Giuseppe Gori → **Direzione Lavori**

-Ing. A Benedetti

-Cooperativa Muratori e Sterratori → **Ditta esecutrice**

di Montecatini Terme

-Ing. Renato Natalini → **Collaudatore**

Caratteristiche dei materiali impiegati (dal certificato di collaudo):

-Valore minimo resistenza cubica a compressione cubetti ≈ 550
kg/cm²

-Acciaio GS4400 ad alto limite di elasticità

Tensione di snervamento minima dalle prove ≈ 4350 kg/cm²

Materiali assunti per le verifiche di resistenza:

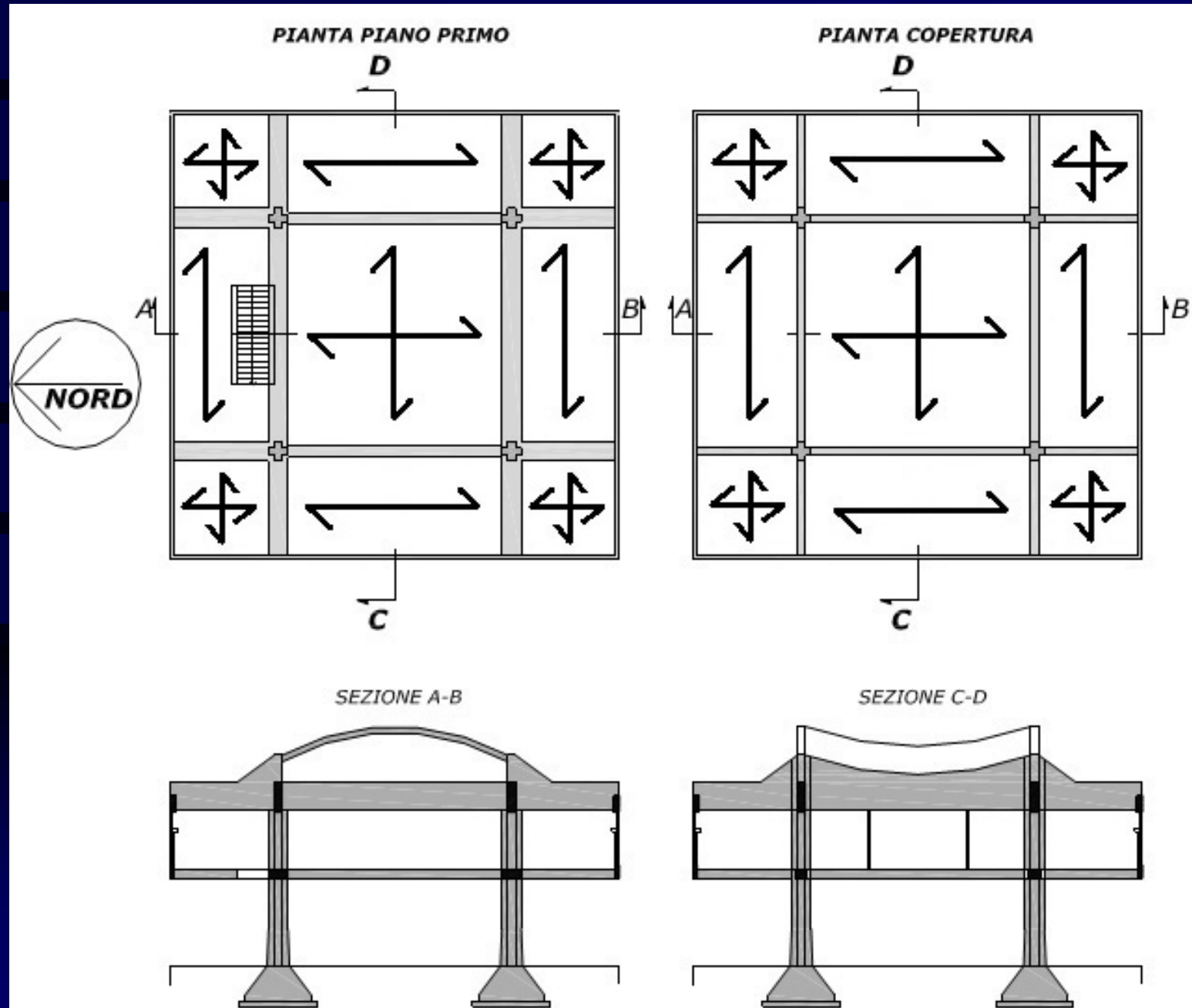
-Calcestruzzo C28/35 *(Prove sclerometriche 450 kg/cm²)

-Acciaio equiparabile ad Fe B44K

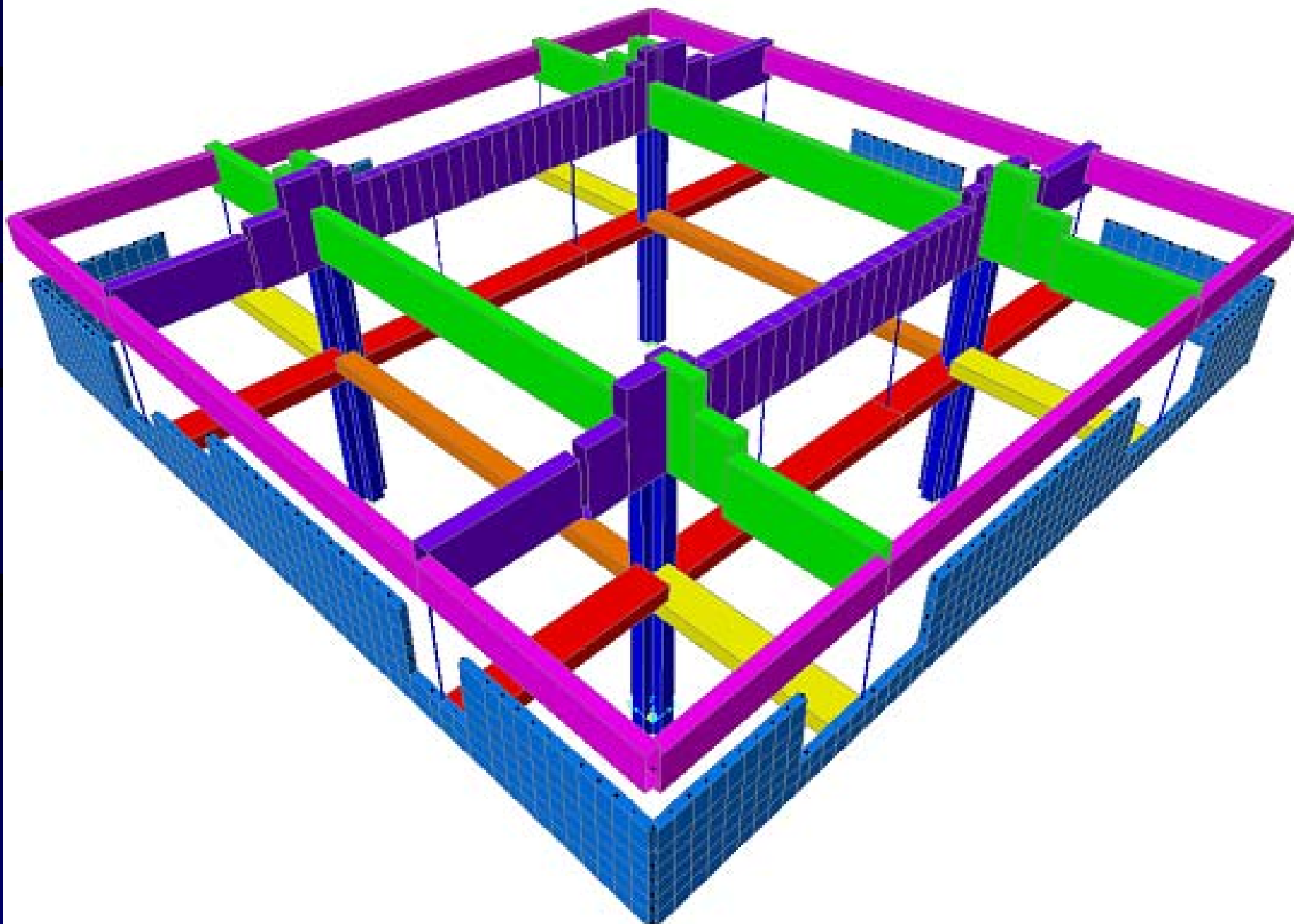
-Fattore di confidenza FC=1,35 (*FC=1)

-Tensione ammissibile lato terreno (progetto) ≈ 1.7 kg/cm²

IL COMPORTAMENTO STATICO DELLA STRUTTURA



Schema strutturale tridimensionale di calcolo



LO STATO DELL'EDIFICIO PRE-ESISTENTE ALL'INTERVENTO

Viste generali
dell'edificio





Vista dei pilastri con sezione
cruciforme



Particolare scale





Le strutture di calcestruzzo a faccia-vista, in stato di degrado avanzato



PRIME INDICAZIONI SULLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E RIGIDEZZA DELL'EDIFICIO

Sulla base delle assunzioni fatte, è stata fatta una prima analisi statico-sismica della struttura. I carichi di piano considerati sono i seguenti (come da collaudo)

-Piano primo

-P.P. Solaio 370 kg/m²

-Permanenti 100 kg/m²

-Accidentali 400 kg/m²

-Copertura

-P.P. Solaio 200 kg/m²

-Permanenti 100 kg/m²

-Accidentali 150 kg/m²

DATI GEOMETRICI ESSENZIALI

- Altezza massima = **12.50 m**
- Altezza pilastri di piano terra = **4.70 m**
- Dimensioni in pianta = $23.0 \text{ m} \times 23.0 \text{ m} = \mathbf{529 \text{ mq}}$
- Peso complessivo edificio \approx **900 t**
- Carico verticale trasferito in fondazione da ciascun pilastro all'SLU \approx **330 t**

Le caratteristiche assunte per la determinazione dell'azione sismica sono:

- Vita nominale $V_N = 50$ anni
- Classe d'uso III $c_u = 1.5$
- Vita di riferimento $V_R = V_N \times C_u = 75$ anni
- Categoria di sottosuolo = B
- Categoria topografica = T1

Parametri sismici per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,161 g
F_g	2,398
T_C	0,301 s
S_S	1,200
C_C	1,399
S_T	1,000
q	1,225

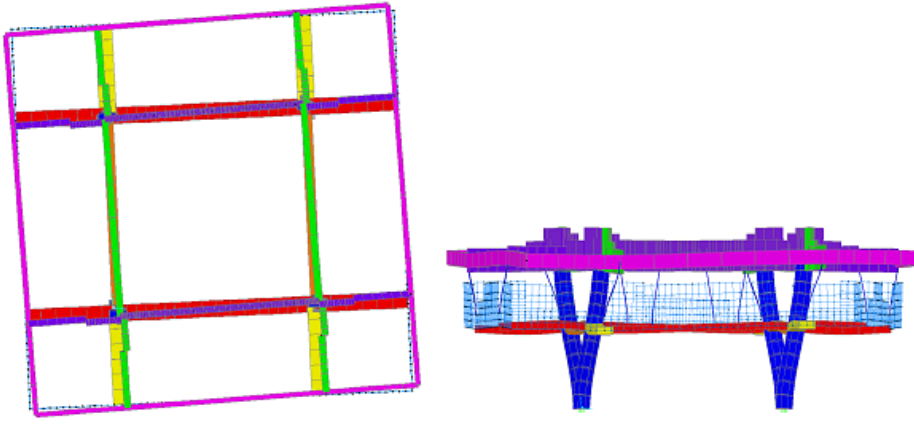
Parametri e punti dello spettro di risposta verticale

Parametri indipendenti

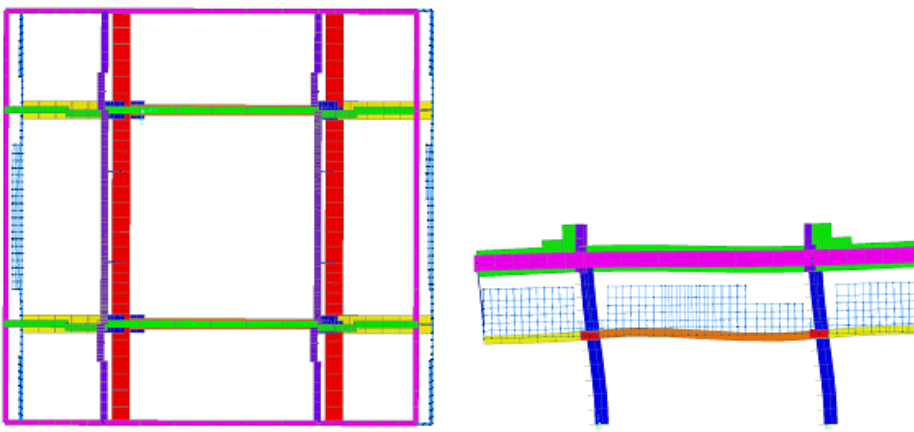
STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,087 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Dall'analisi sismica modale, risulta:

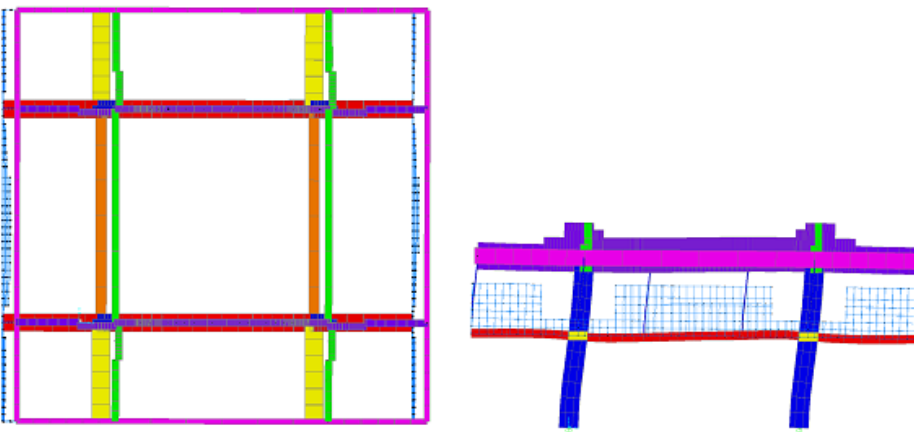
Prima forma modale $T = 0.842$ sec



Seconda forma modale $T = 0.781$ sec

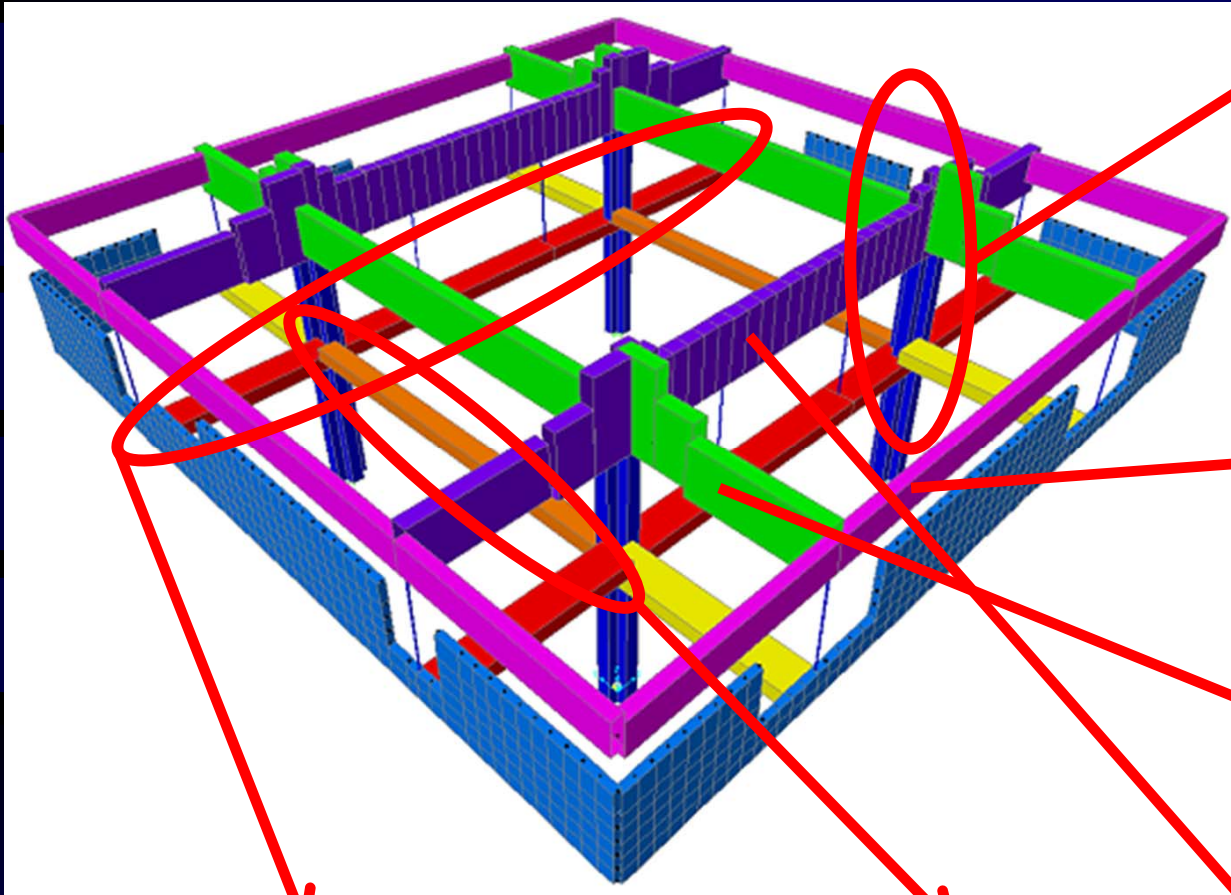


Terza forma modale $T = 0.702$ sec



Coefficienti di sicurezza

per flessione e taglio o pressoflessione e taglio
con i fattori di confidenza FC=1,35 e (*FC=1)



Pilastro a croce:

Sez. base

Prex-flex = 2.18 (*1.52)

Taglio = 3.06 (*2.26)

Sez. testa

Prex-flex = 1.36 (*1.09)

Taglio = 3.28 (*2.43)

Trave perimetrale (20*70):

Flessione = 0.95 (*0.70)

Taglio = 1.32 (*1.02)

Trave copertura (30*85):

Flessione = 0.69 (*0.51)

Taglio = 1.04 (*0.77)

Trave piano primo (100*45):

Flessione = 3.90 (*2.89)

Taglio = 1.36 (*1.10)

Trave piano primo

(60*45):

Flessione = 9.02 (*6.69)

Taglio = 3.51 (*2.60)

Trave copertura (40*140):

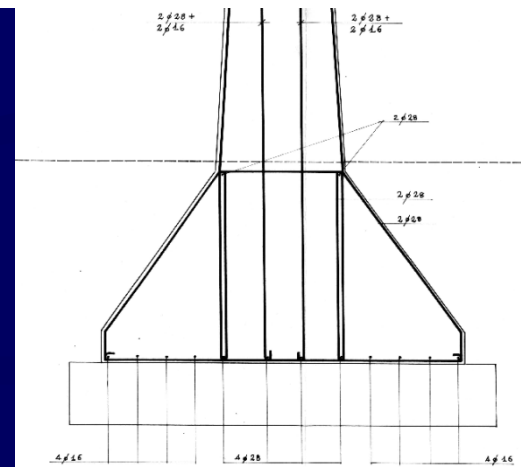
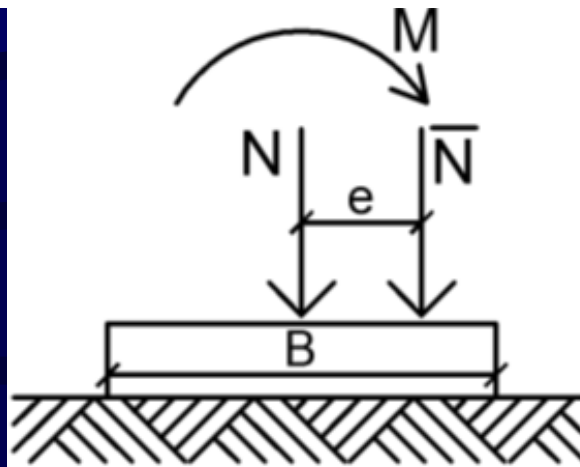
Flessione = 3.92 (*2.95)

Taglio = 2.59 (*1.92)

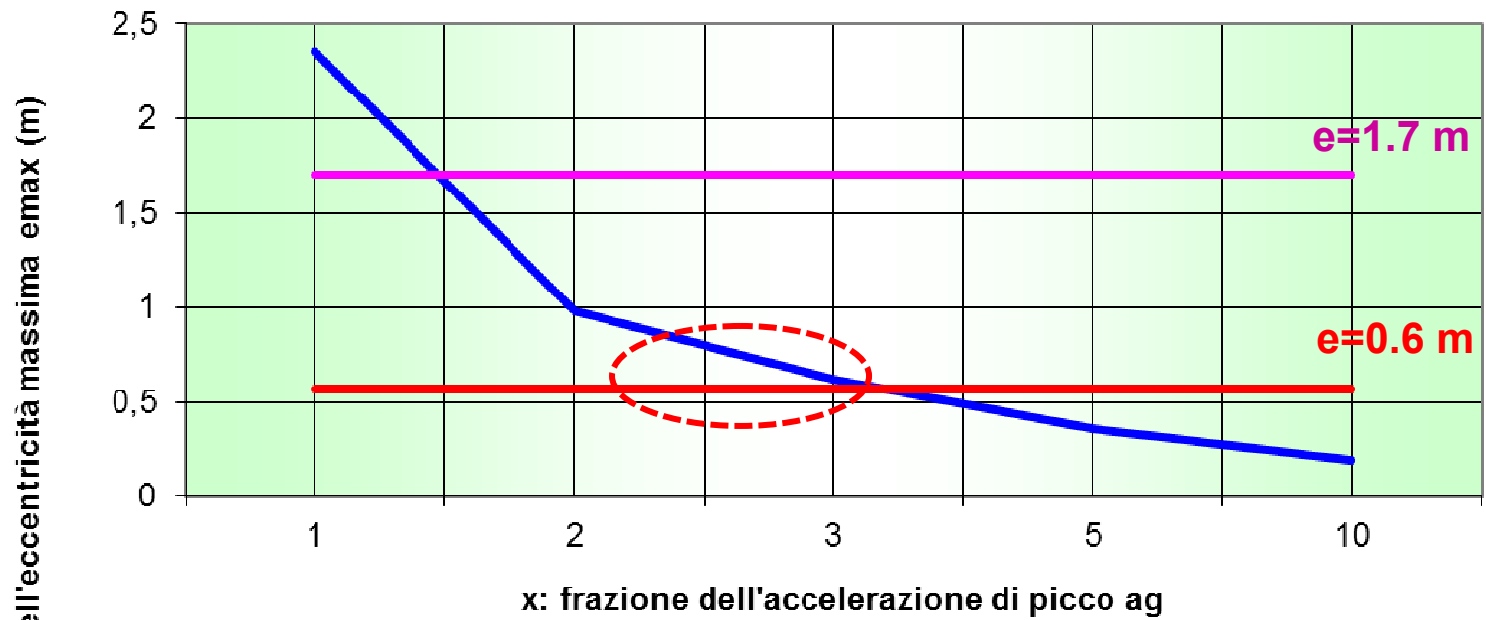
Dall'analisi dinamica lineare con spettro di risposta, risulta:

StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,841753	0,00006056	0,00007974	1,887E-10	0,00006056	0,00007974	1,887E-10
2	0,780663	3,611E-08	0,8672	0,000003788	0,00006059	0,86728	0,000003788
3	0,701917	0,91283	3,012E-09	4,158E-07	0,91289	0,86728	0,000004203
4	0,354427	0,000003345	0,00586	0,23661	0,91289	0,87314	0,23661
5	0,344264	0,000008901	0,05321	0,0503	0,9129	0,92635	0,28691
6	0,325718	0,00002168	0,00513	0,06654	0,91292	0,93148	0,35344
7	0,308397	0,00916	0,00009048	0,00096	0,92208	0,93157	0,35441
8	0,301586	0,00696	0,00025	0,0002	0,92904	0,93182	0,35461
9	0,300164	0,00004602	0,00001237	0,00001133	0,92909	0,93183	0,35462
10	0,283964	0,00216	0,000007654	0,00621	0,93125	0,93184	0,36082
11	0,259164	0,00105	0,000008351	0,00334	0,93231	0,93185	0,36417
12	0,249244	0,00003739	0,00179	0,00208	0,93234	0,93364	0,36625

Le problematiche più grandi insorgono però a livello di fondazione.



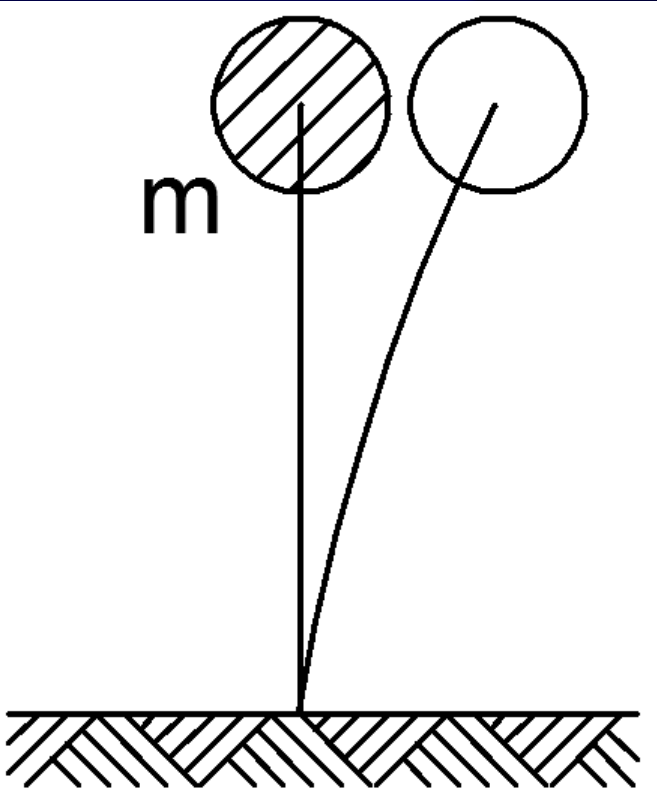
Variazione dell'eccentricità e della risultante verticale degli sforzi in funzione di ag/x



valori dell'eccentricità massima e_{max} (m)

- eccentricità limite a cui corrisponde una sez. di base del plinto NON parzializzata
- eccentricità limite a cui corrisponde una sez. di base del plinto parzializzata con $e=h/2$

Alcune valutazioni elementari



$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi\sqrt{m}}{\sqrt{k}}$$

Nel nostro caso:

Rigidezza totale del sistema

(ipotesi di doppio incastro per i pilastri)

$$k = 702042 \text{ kN/mm}$$

Periodo di vibrazione

$$T = 0.74 \text{ sec}$$

Massa totale del sistema

$$m = 10500 \text{ kN}$$

Azione sismica totale

$$F_s \approx 200 \text{ t}$$

RICHIESTE DI PROGETTO

- Adeguamento sismico edificio
- Realizzare interventi poco invasivi per tener conto delle prescrizioni

Soprintendenza

ALCUNE IPOTESI DI PROGETTO

1) Incremento di resistenza strutturale ed adeguamento fondazioni.

(es. rinforzo C.A. e allargamento fondazioni)



Costoso
ed invasivo

2) Inserimento strutture ausiliarie per "scaricare" la struttura esistente.

(es. controventi metallici e nuove fondazioni)

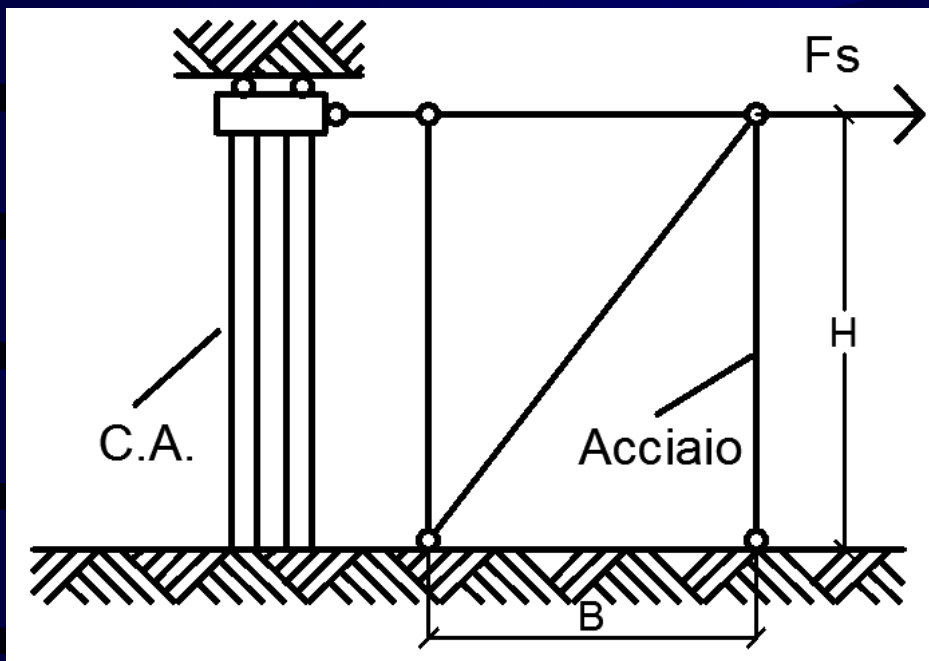


Costoso
(meno del precedente)
ed invasivo

3) Riduzione dell'azione sismica sul C.A. a circa un terzo di quella originaria.



Costoso
(meno dei precedenti)
e non invasivo

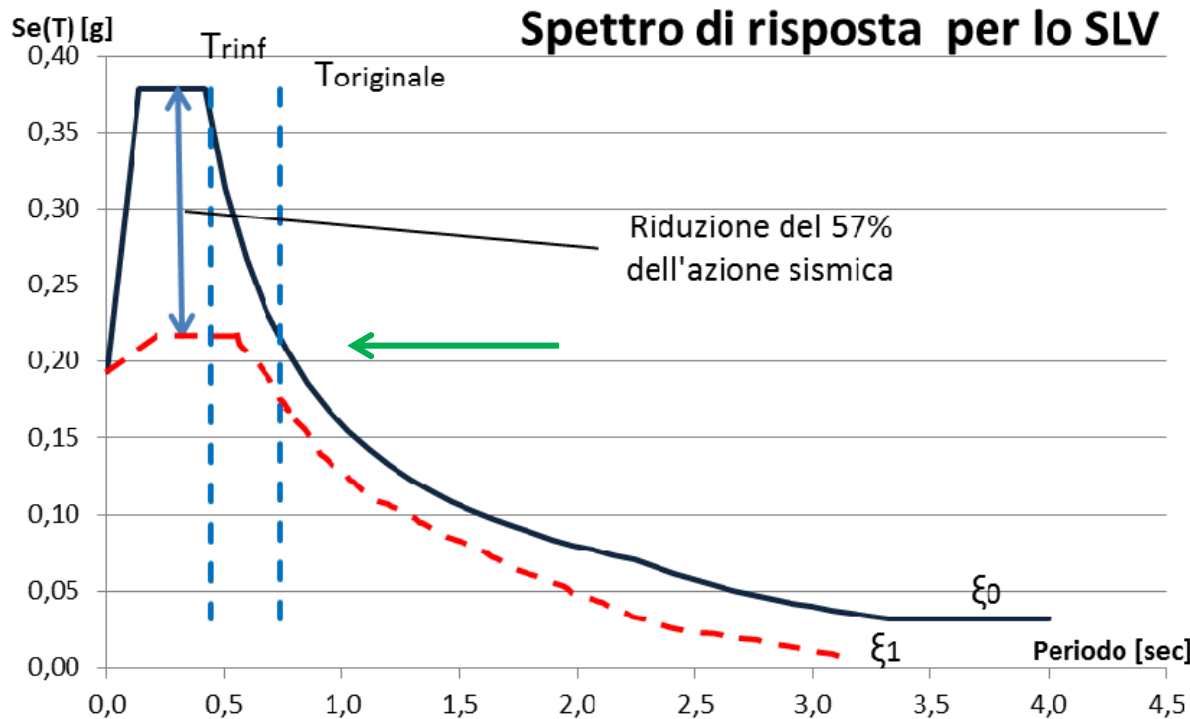


Analisi dell'intervento 2:

$$F_{CA} \cong \frac{F_S}{3} \quad F_{CA} \cong \frac{k_{CA}}{k_{CA} + k_{AC}} F_S$$

$$k_{AC} \cong 2 k_{CA} \rightarrow k_{tot} \cong 3 k_{CA}$$

$$T_{rinf} \cong 0.6 T_{originale}$$



NB: Necessita di incrementare lo smorzamento!!

Ipotizziamo $B=H$

$$F_S \cong 2000 \text{ kN}$$

$$A_{diag} \text{ da resistenza} \cong 5042 \text{ mm}^2$$

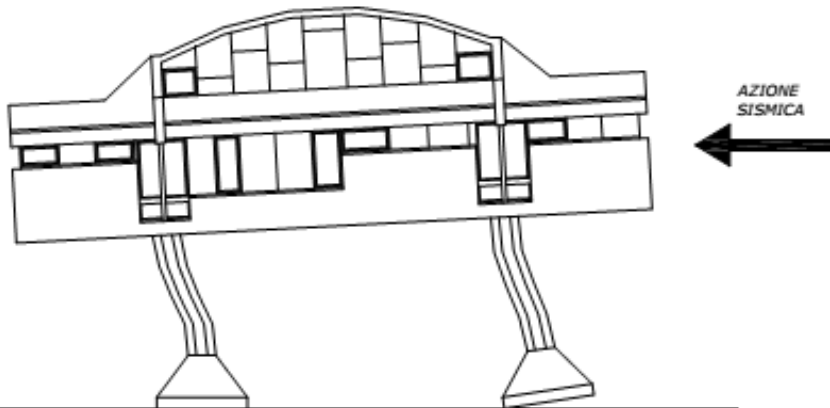
$$A_{diag} \text{ da rigidezza} \cong 18282 \text{ mm}^2$$

CARATTERISTICHE ISOLATORI

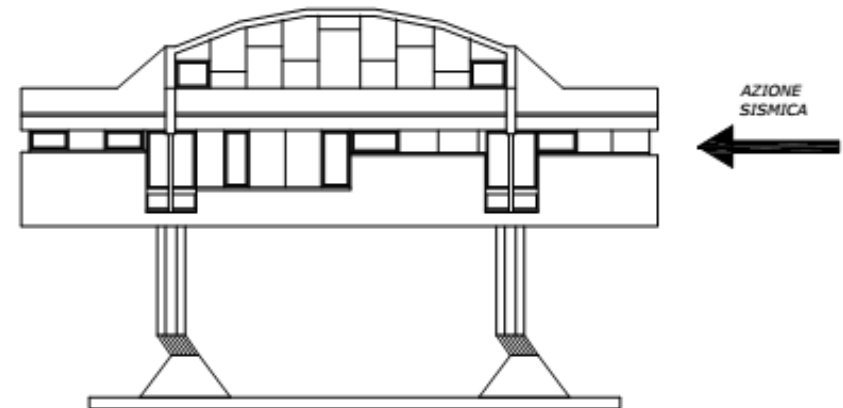
Abbiamo pensato quindi di inserire degli isolatori alla base dell'edificio.

In questo modo il funzionamento sismico dell'edificio cambia radicalmente.

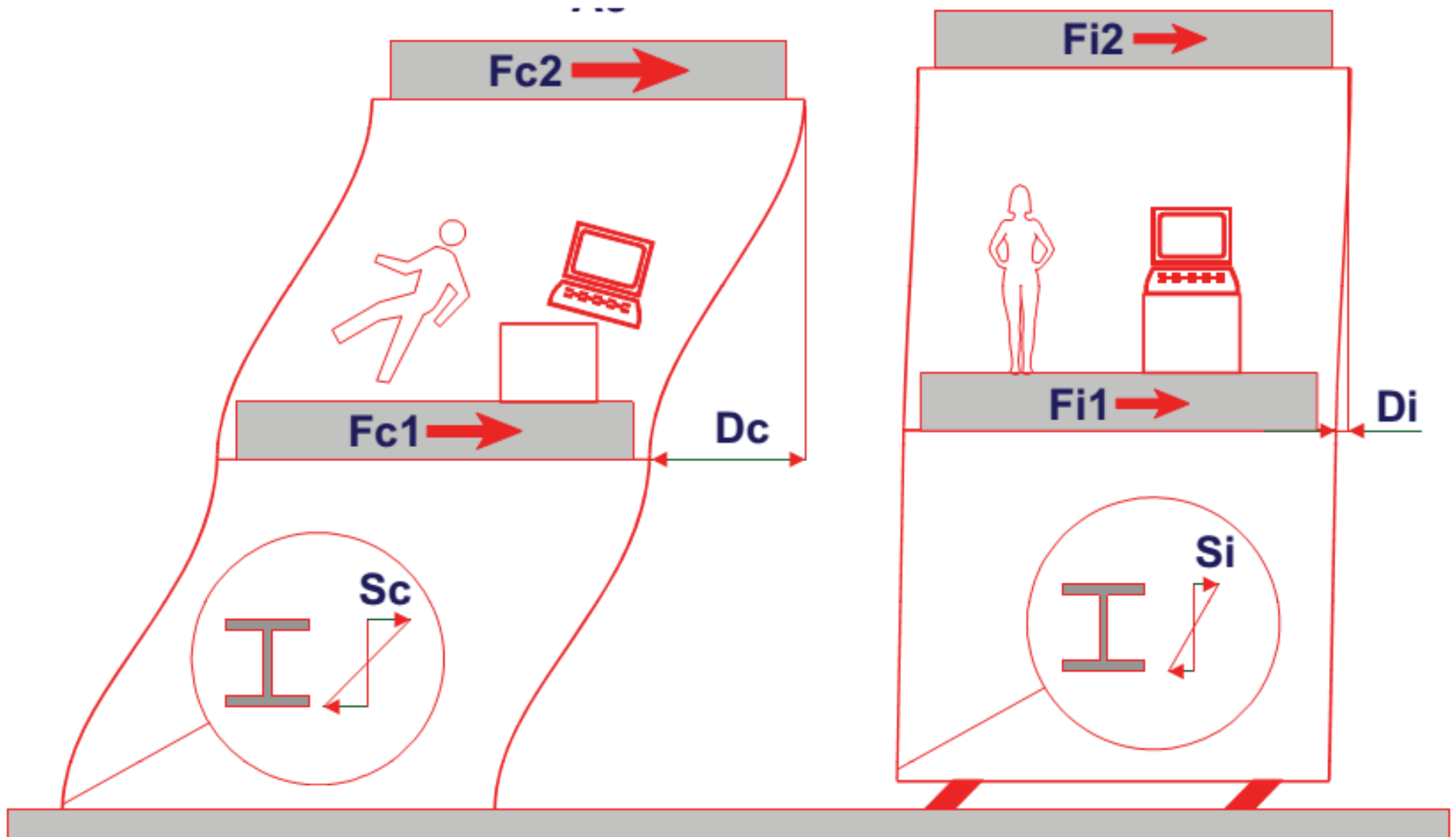
COMPORTAMENTO SISMICO ALLO STATO ATTUALE

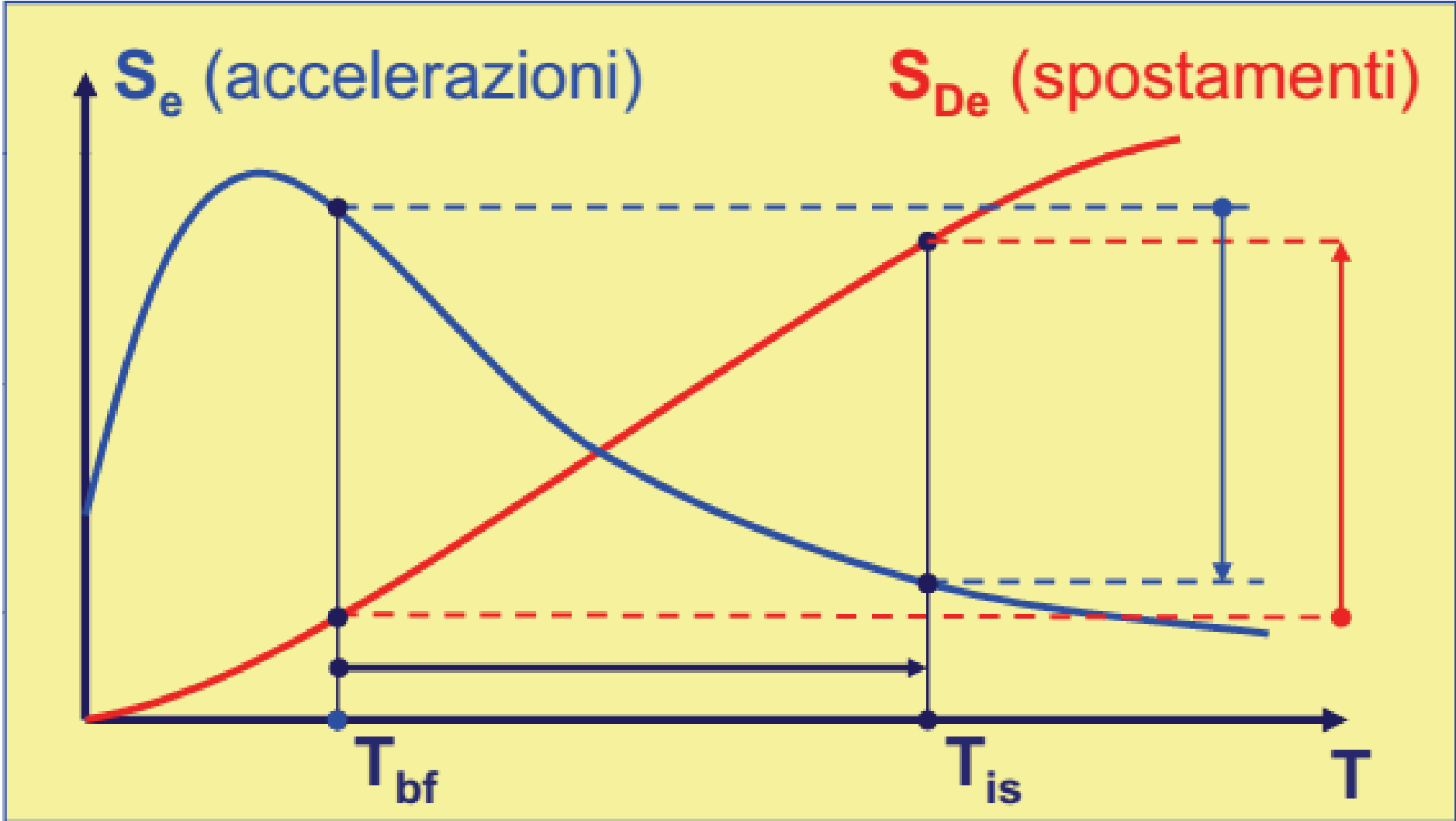


COMPORTAMENTO SISMICO ALLO STATO DI PROGETTO



Le principali differenze fra il comportamento dell'edificio non isolato alla base, e quello di un edificio isolato, sono riassunte nelle figure seguenti:





$T_{bf} = 0 \div 1 \text{ s}$

$T_{is} \geq 2 \text{ s}$

**Edificio
Convenzionale**

Fc2 >> Fc1

Ac >> Ai

Fc >> Fi

Dc >> Di

Sc >> Si

**Edificio con
Isolamento alla base**

Fi2 \cong Fi1

Ac

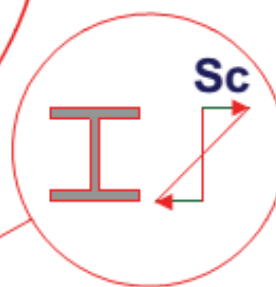
Fc2 →



Fc1 →

Dc

Sc



Ai

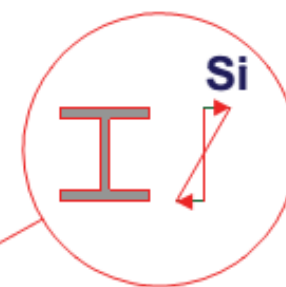
Fi2 →



Fi1 →

Di

Si



L'idea di sconnettere una costruzione dal terreno in corrispondenza della base, per difendersi dal terremoto, come è noto, non è nuovissima.



Tempio di Heraion-Samo

VI Secolo A.C.

(Fondazioni su strati alterni
di carbone e velli di lana)

Edificio in Algeri



Abbiamo confrontato due tipi di isolatori.

Isolatori elastomerici ed isolatori a scorrimento.

Isolatori
elastomerici

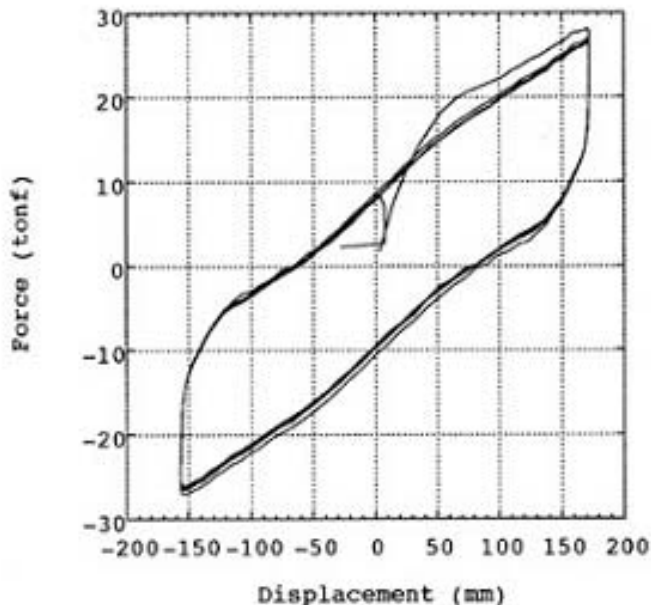


Isolatori a
scorrimento

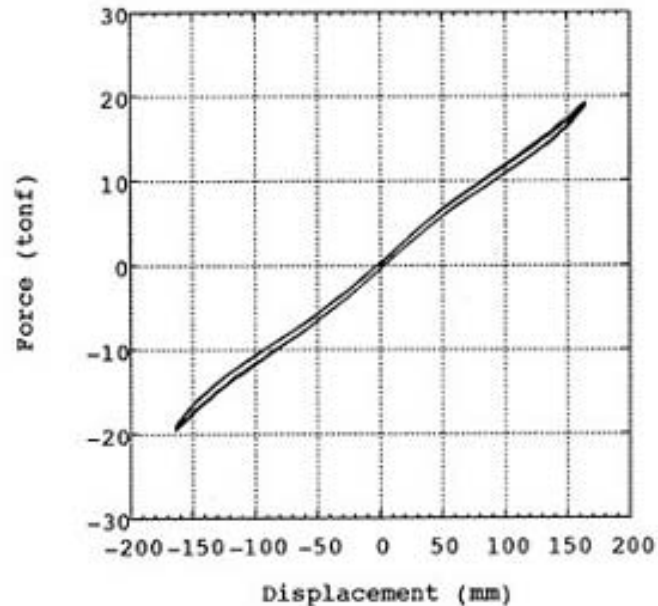


ISOLATORI ELASTOMERICI

- Gli isolatori elastomerici sono costituiti da strati alterni di lamierini in acciaio ed elastomero e possono avere al loro interno un nucleo in piombo.
- Hanno scarsa rigidezza orizzontale, indipendente dal carico verticale, ed elevata rigidezza verticale.
- Il nucleo in piombo ha la funzione di limitare gli spostamenti sotto vento ed incrementare la dissipazione.



Isolatore in gomma e piombo



Isolatore in gomma

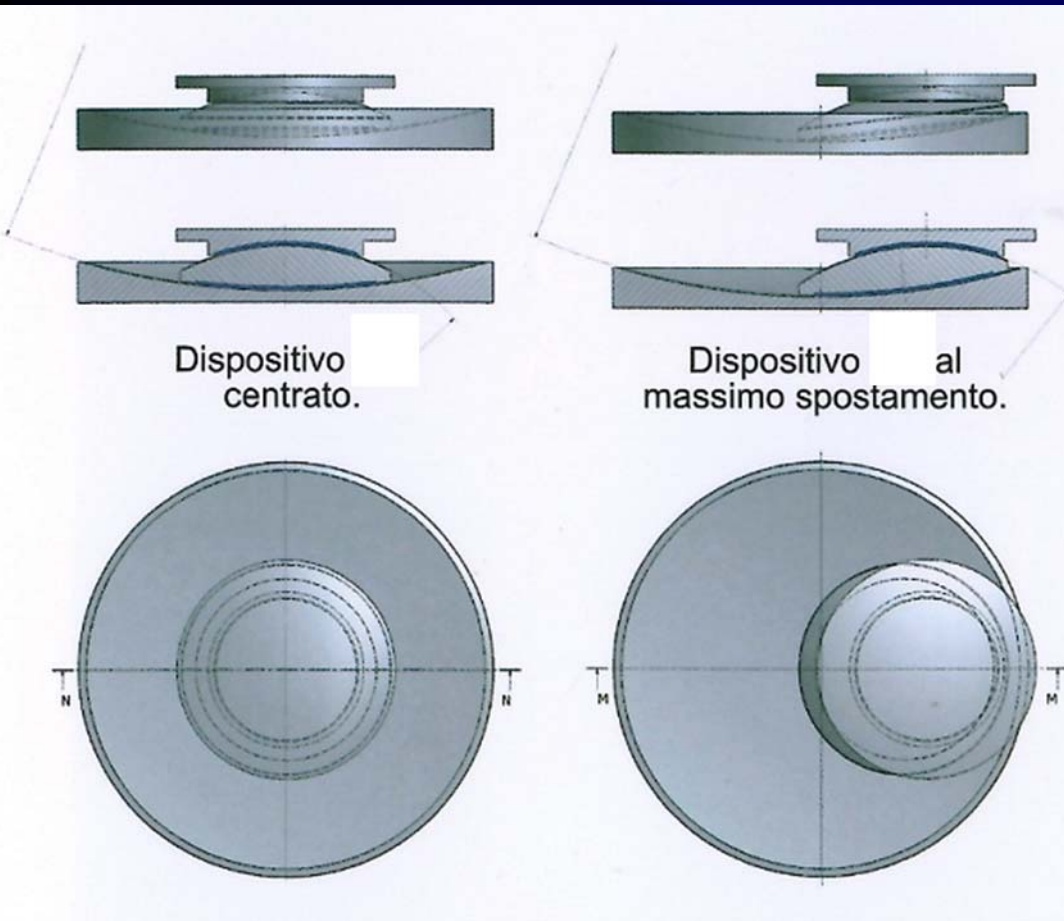
ISOLATORI ELASTOMERICI

- Richiedono ispezioni periodiche per la funzionalità.
- Devono essere associati spesso ad altri appoggi per limitare gli spostamenti sotto vento.
- Dopo un sisma possono essere danneggiati con spostamenti residui. L'edificio va "ricentrato " e gli isolatori sostituiti.

ISOLATORI A SCORRIMENTO

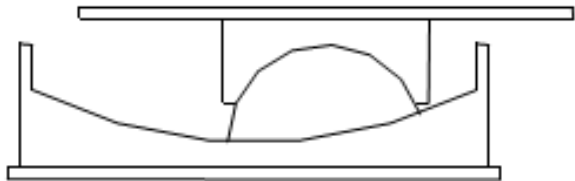
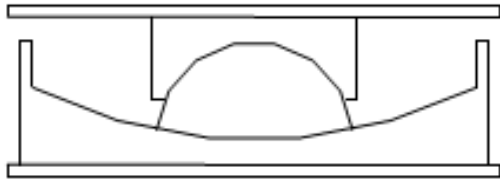
Gli isolatori a scorrimento (friction pendulum) sono costituiti da parti in acciaio essenzialmente riconducibili a tre:

- Una base concava superiormente;
- Una rotula centrale biconvessa;
- Una guida superiore.

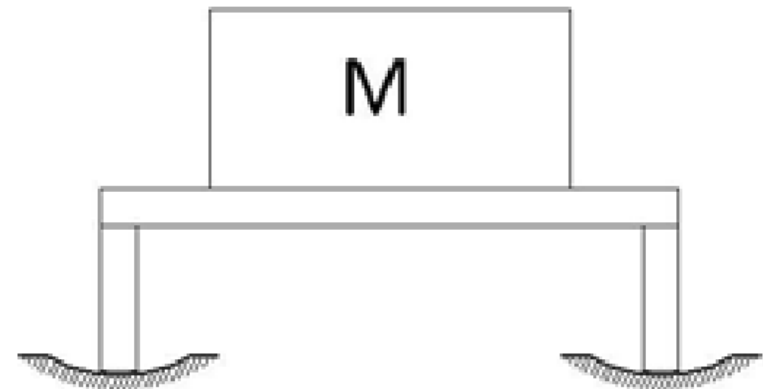
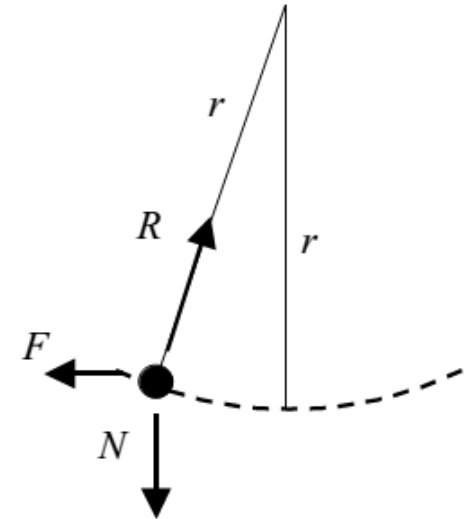
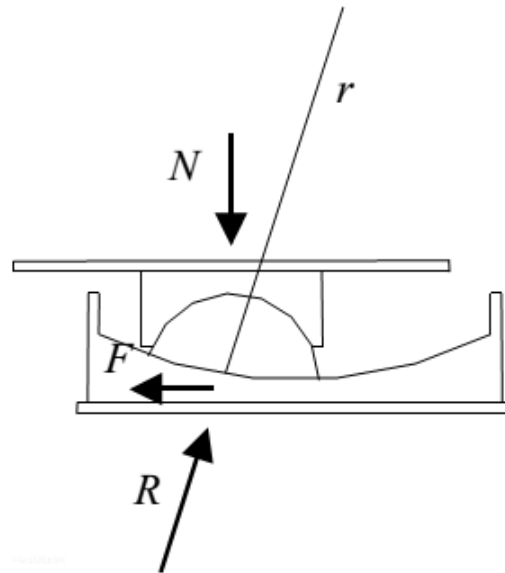


ISOLATORI A SCORRIMENTO

- Sfruttano la legge del "pendolo" per allungare il periodo della struttura, e dissipano energia in virtù di una superficie non lubrificata (attrito).



Isolatore a curvatura semplice



ISOLATORI A SCORRIMENTO

-Il periodo è indipendente dalla massa della struttura (pendolo).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

-La forza di richiamo e quindi la rigidezza orizzontale dipendono dal carico applicato.

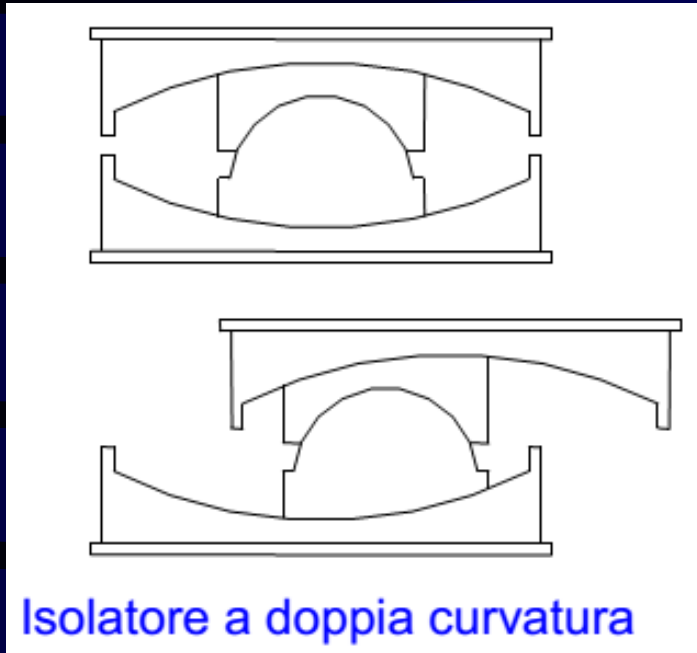
$$k_e = N \left(\frac{1}{R} \frac{\mu}{X} \right)$$

- Richiedono limitate ispezioni periodiche per verificarne la funzionalità.

- L'edificio si ricentra spontaneamente.

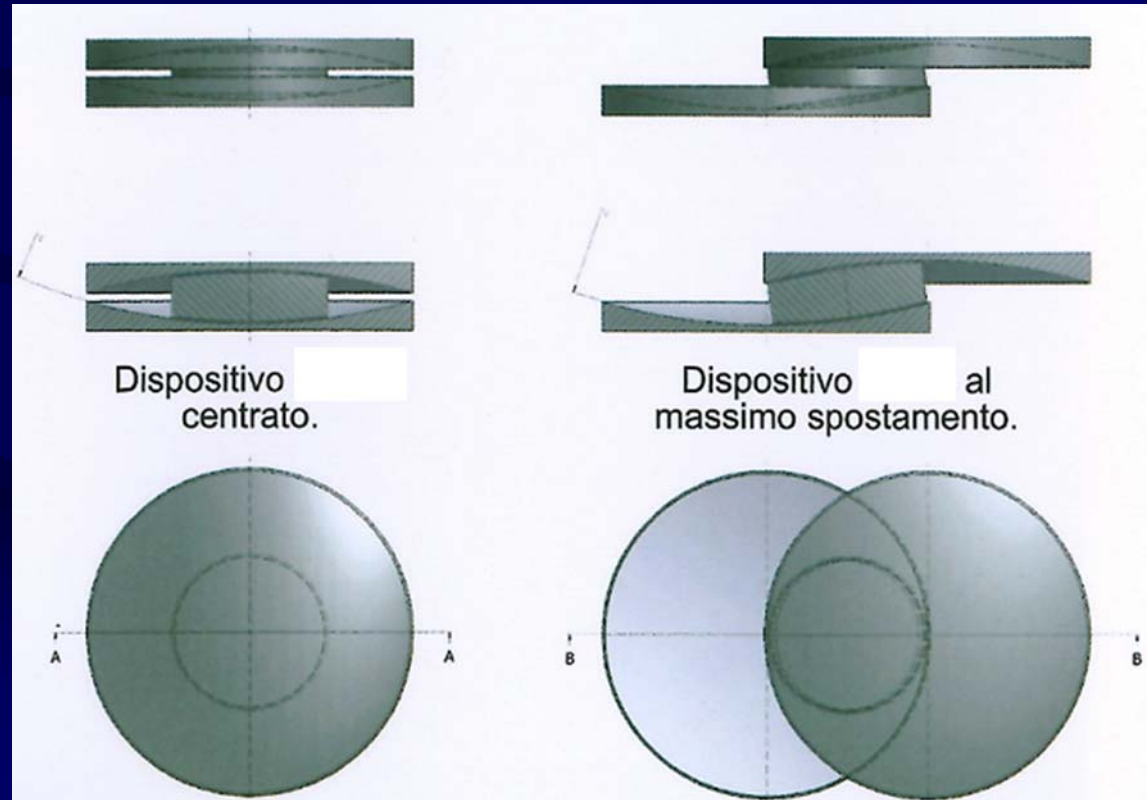
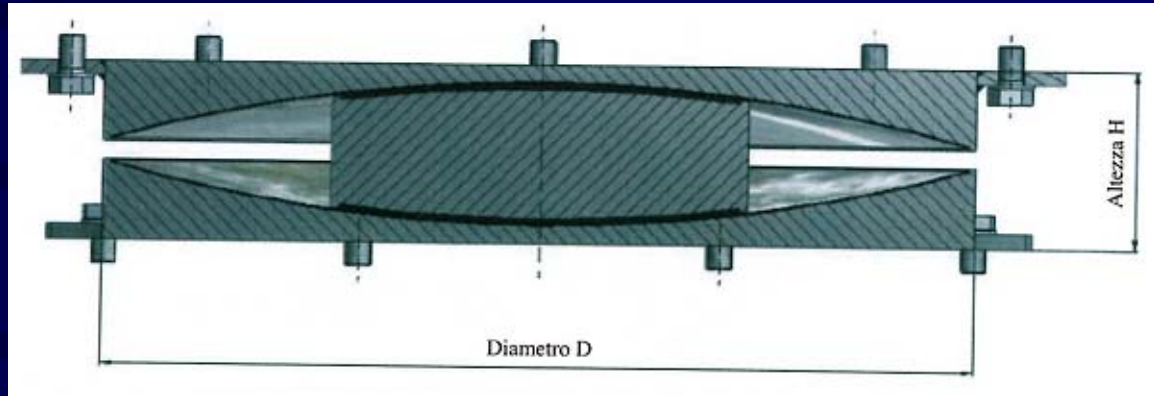
ISOLATORI A SCORRIMENTO

Con lo stesso principio possono impiegarsi isolatori a doppia superficie di scorrimento.

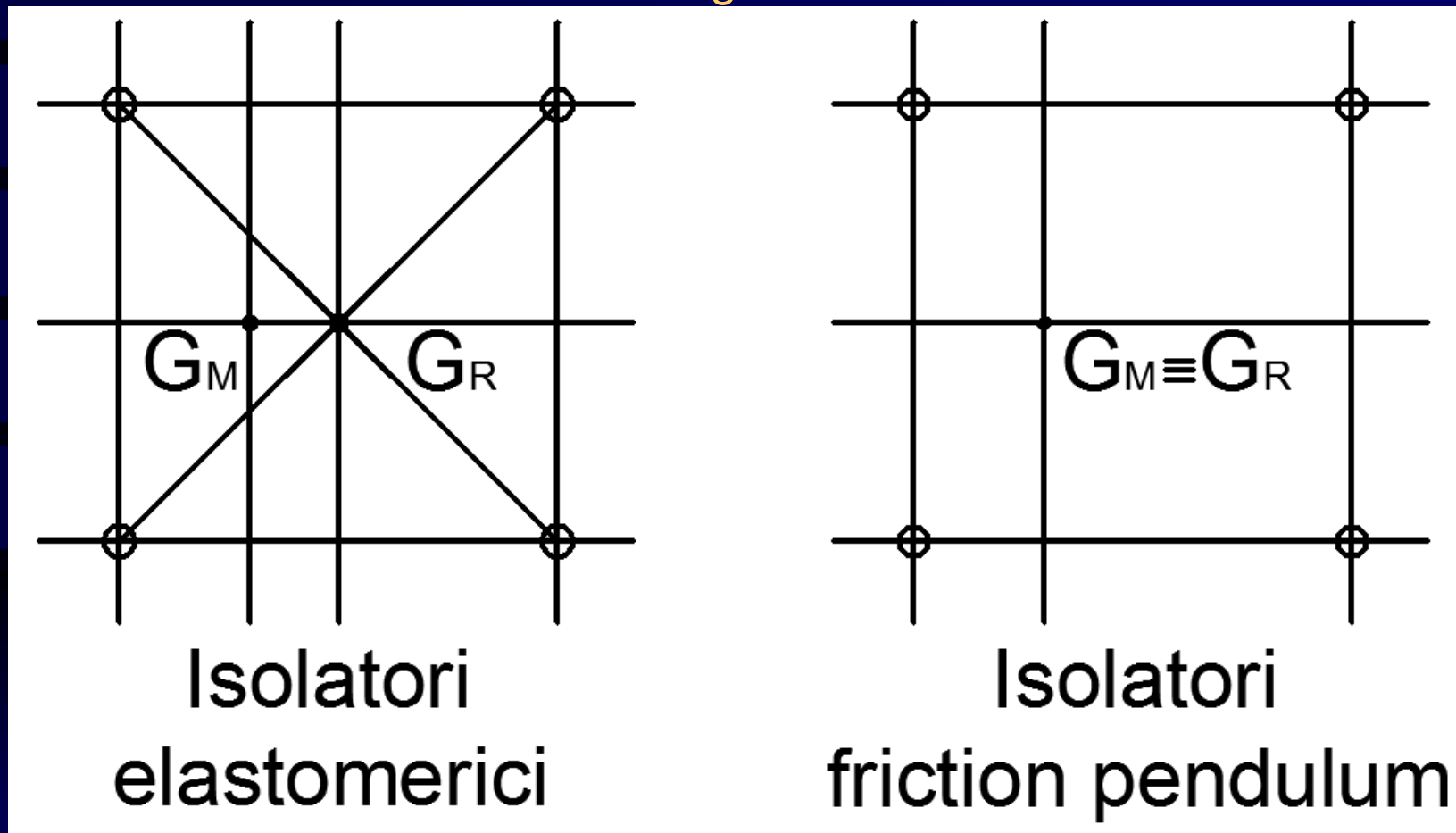


Isolatore a doppia curvatura

Esplicano la stessa funzione di un isolatore a superficie semplice, ma con spostamento metà.



La situazione dell'Ex-Pretura, a causa della disposizione di un archivio, su porzione limitata del piano superiore, in corrispondenza della base è la seguente:

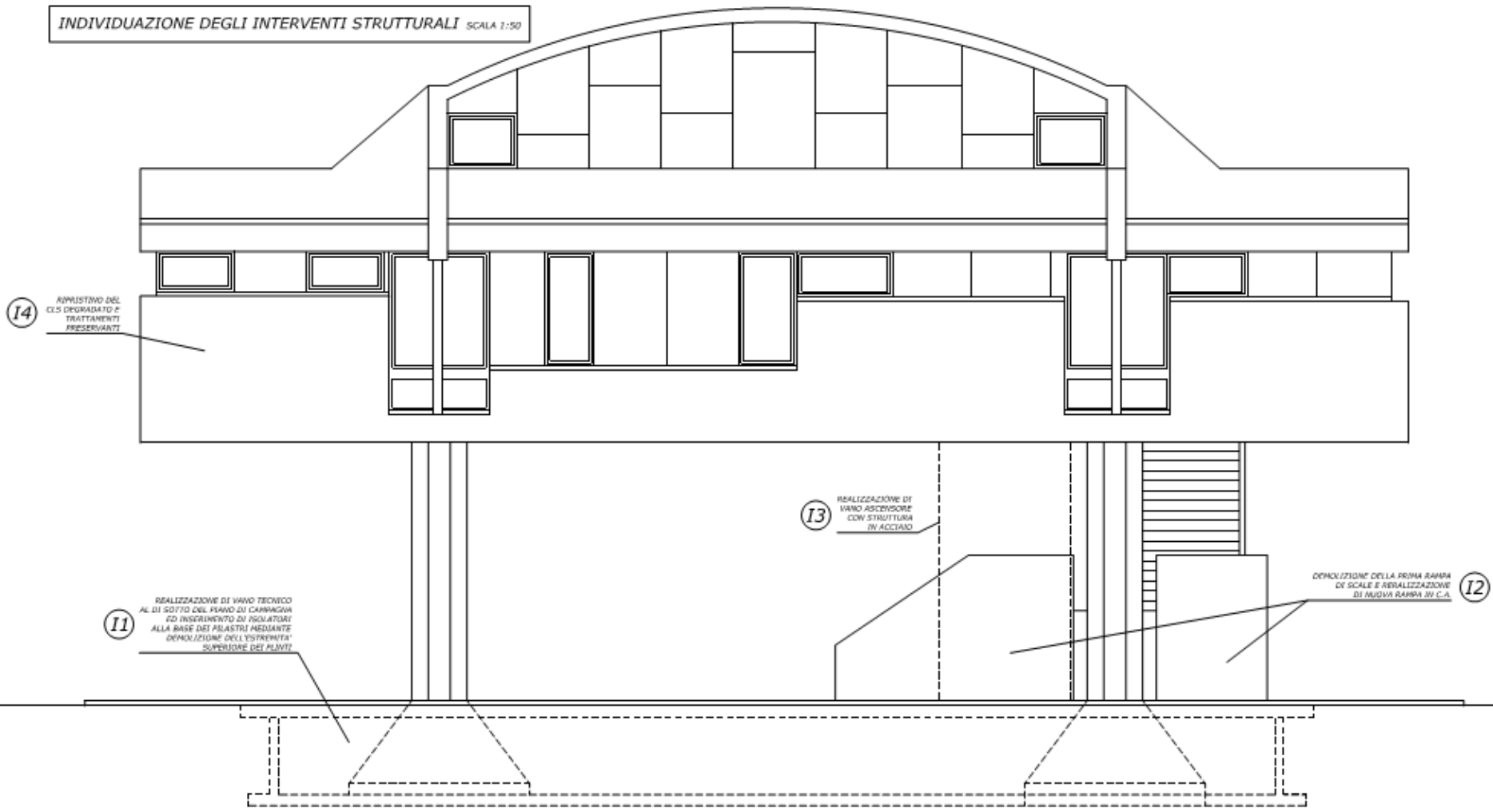


Anche per questo, la nostra scelta è ricaduta su isolatori di tipo friction pendulum!!!

IPOSTESI DI PROGETTO N°1

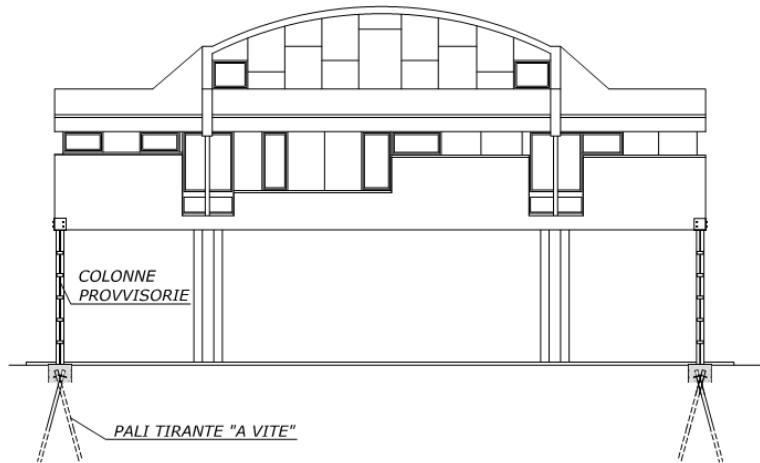
La prima ipotesi di progetto, di isolamento dell'edificio, ha preso spunto dall'idea di realizzare un vano interrato sotto al piano terra, di servizio per impiantistica e deposito per la nuova destinazione.

INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI SCALA 1:50

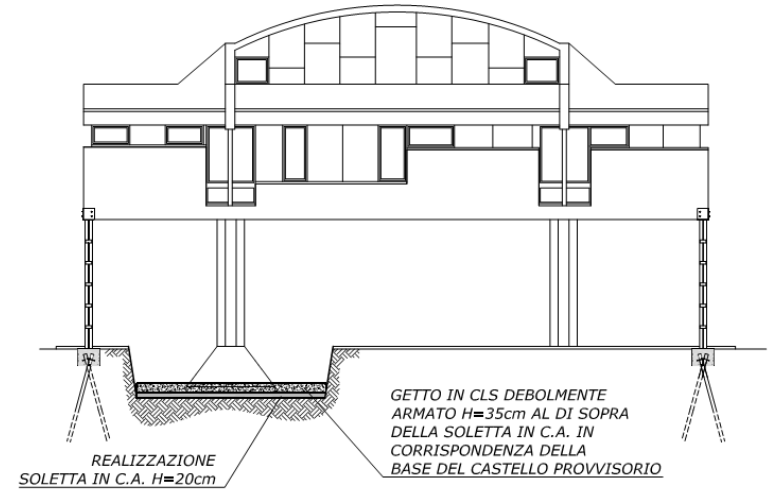


FASI DI LAVORO PROGETTO N°1

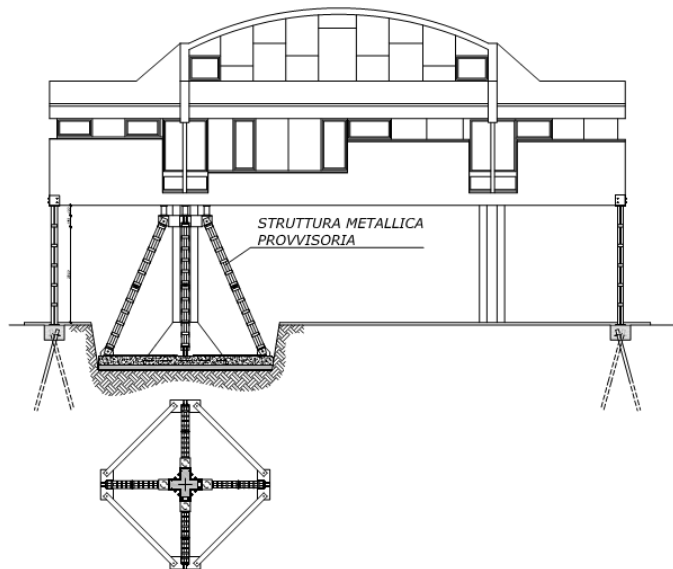
FASE 1) STABILIZZAZIONE DELLA STRUTTURA PER AZIONI ORIZZONTALI MEDIANTE DISPOSIZIONE DI COLONNE IN ACCIAIO AI QUATTRO ANGOLI DELL'EDIFICIO ANCORATE A TERRA MEDIANTE PALI TIRANTI "A VITE" E BASAMENTO IN CLS



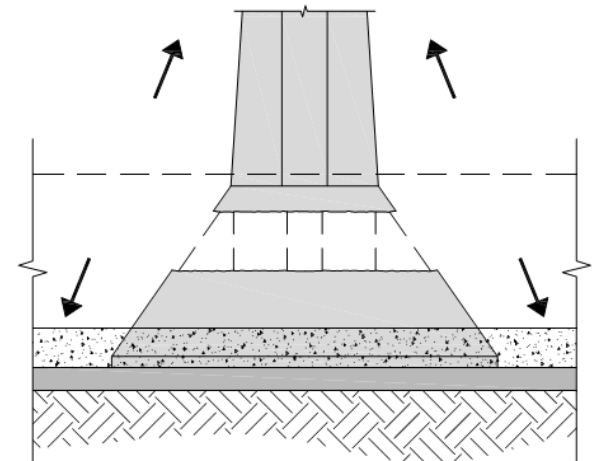
FASE 2) SCAVO DI UNA PRIMA ZONA ATTORNO AI PILASTRI 1 E 2 DI DIMENSIONI PARI A CIRCA 7m X 19m E REALIZZAZIONE DELLA SOLA SOLETTA DI FONDAZIONE



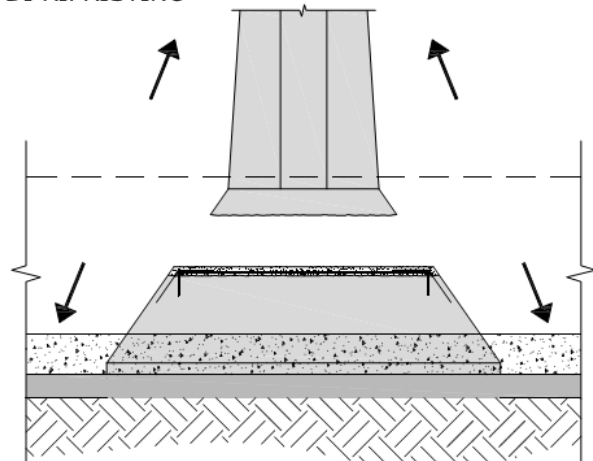
FASE 3) "IMBRACATURA" DEL PILASTRO MEDIANTE STRUTTURA METALLICA PROVVISORIA



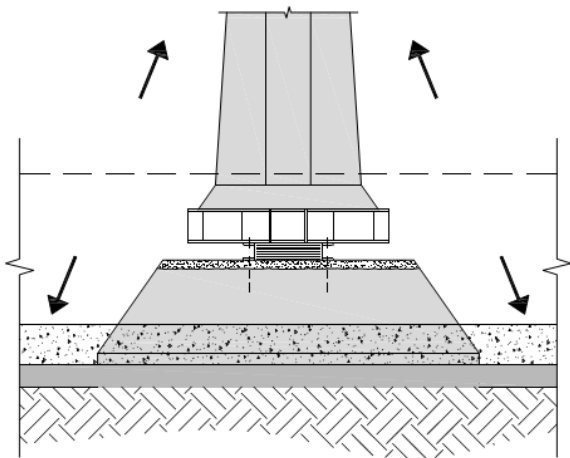
FASE 4) TAGLIO DEL C.A. CON UTENSILE APPOSITO ALLA BASE DEL PILASTRO. DEMOLIZIONE DEL PLINTO DALLA BASE PER UN'ALTEZZA DI 50-55 cm



FASE 5) TAGLIO DEI FERRI DI BORDO DEL PLINTO. DISPOSIZIONE DI MAGLIA Ø16/25cm CON ESTREMITA' RIPIEGATE PER 15cm ED INSERITE CON RESINA NEL CLS SOTTOSTANTE; REGOLARIZZAZIONE DEL CLS POSTO SOTTO AL PILASTRO; CONTROLLO DELL'ORIZZONTALITA' DELLE SUPERFICI DI RIPRISTINO

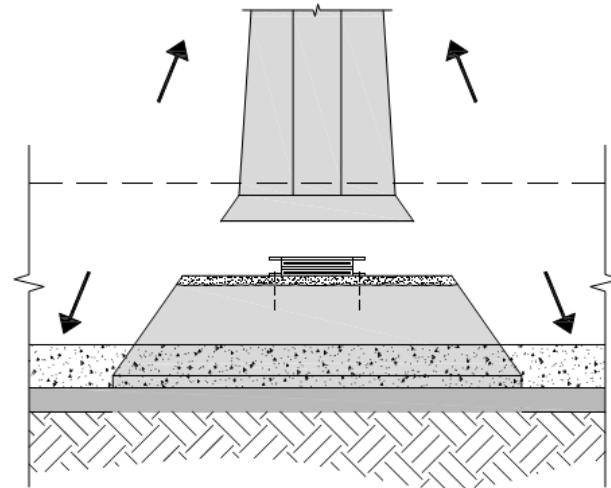


FASE 7) INSERIMENTO "SCATOLA" IN ACCIAIO DI RIPARTIZIONE E SUO FISSAGGIO ALL'ESTRADOSSO DELL'ISOLATORE. EVENTUALE INSERIMENTO DI PIATTI IN ACCIAIO DI PICCOLO SPESSORE FRA IL PILASTRO IN C.A. E LA "SCATOLA" IN ACCIAIO

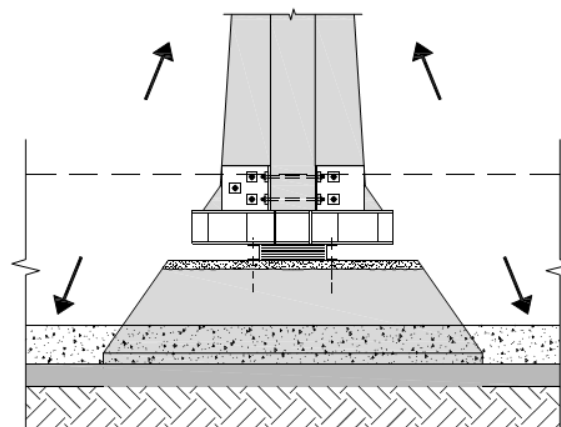


FASE 9) RIPETERE LE PRECEDENTI FASI 3-8 ANCHE PER IL PLINTO N°2, PREVIO SMONTAGGIO E RIMONTAGGIO DELLA STRUTTURA PROVVISORIA

FASE 6) INSERIMENTO DELL'ISOLATORE E RELATIVO FISSAGGIO SUL PLINTO ESISTENTE



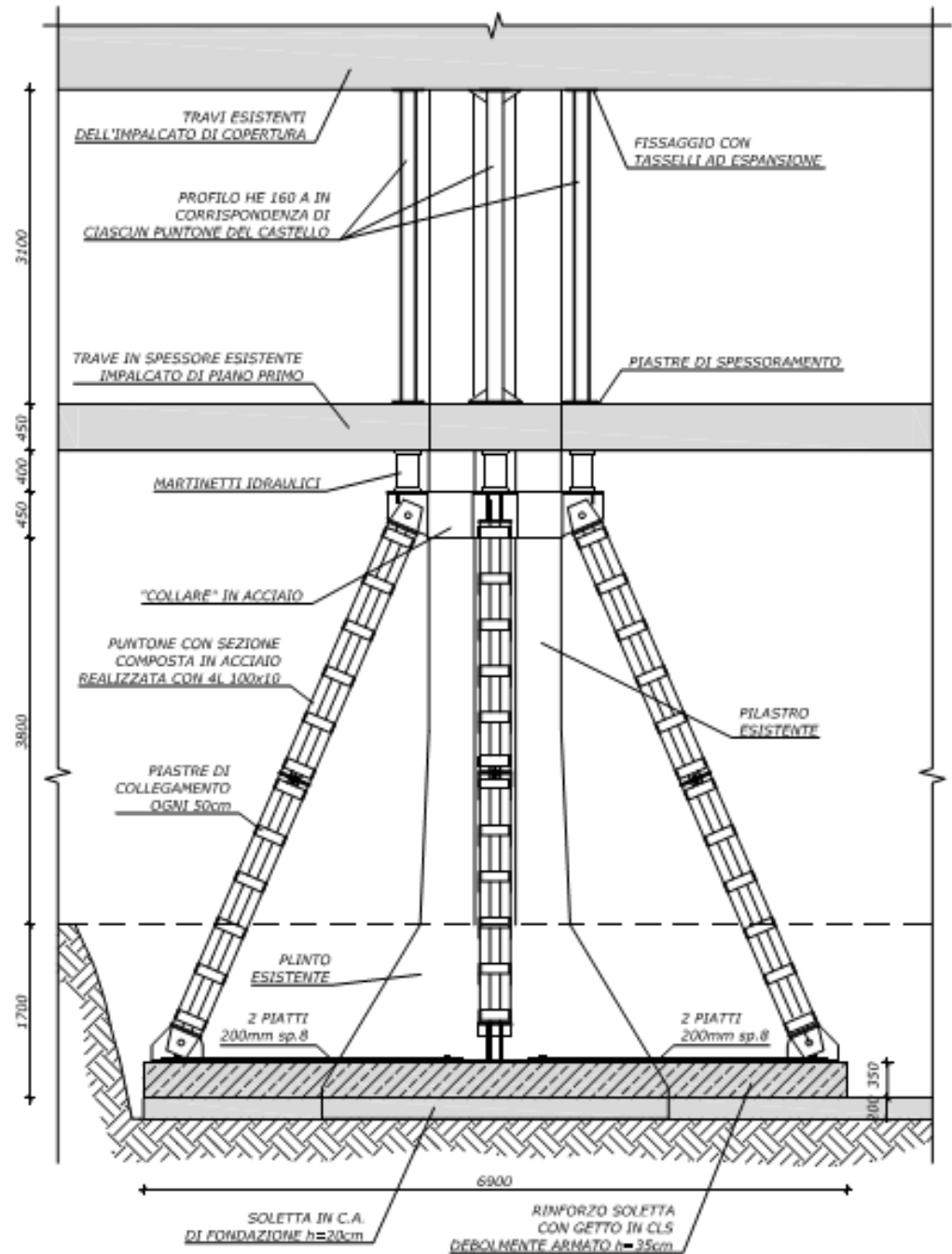
FASE 8) FISSAGGIO DEL PILASTRO ALLA "SCATOLA" DI RIPARTIZIONE IN ACCIAIO MEDIANTE ANGOLARI IN ACCIAIO REALIZZATI PER COMPOSIZIONE SALDATA ED UTILIZZO DI BARRE PASSANTI TIPO DYWIDAG

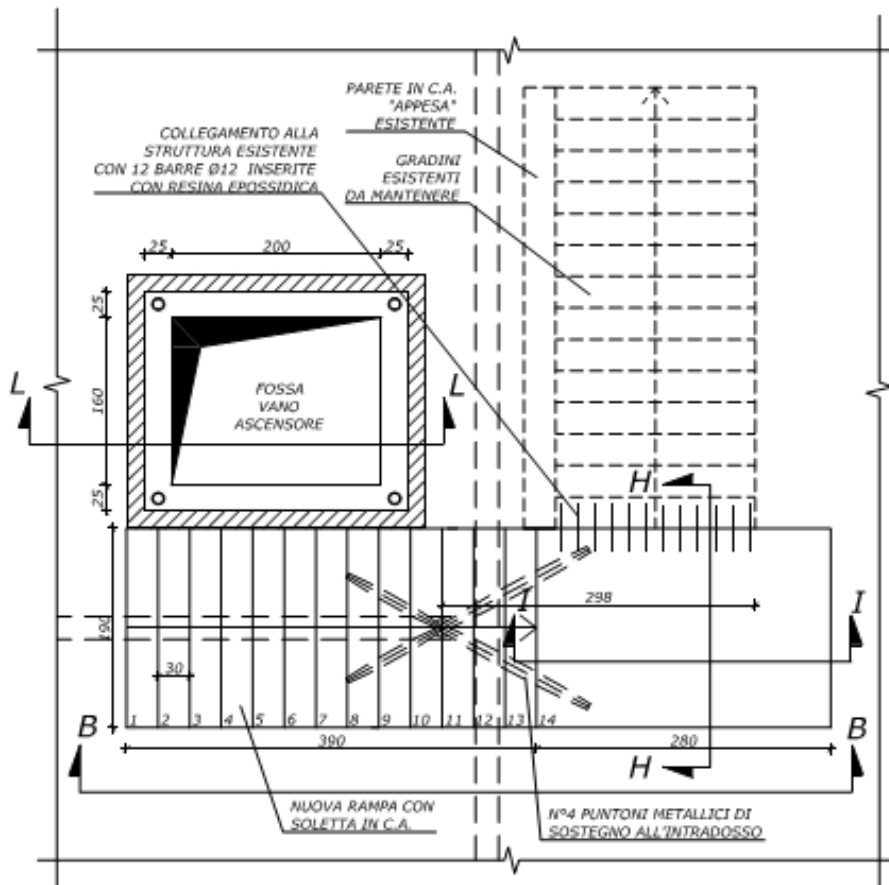


FASE 10) RIPETERE LE PRECEDENTI FASI 2-9 ANCHE PER I PLINTI 3 E 4 E SUCCESSIVAMENTE COMPLETARE LA REALIZZAZIONE DELLA SOLETTA E DELLE ALTRE STRUTTURE DI FONDAZIONE PER LE PARTI RIMANENTI

Prospetto del castello di sostegno

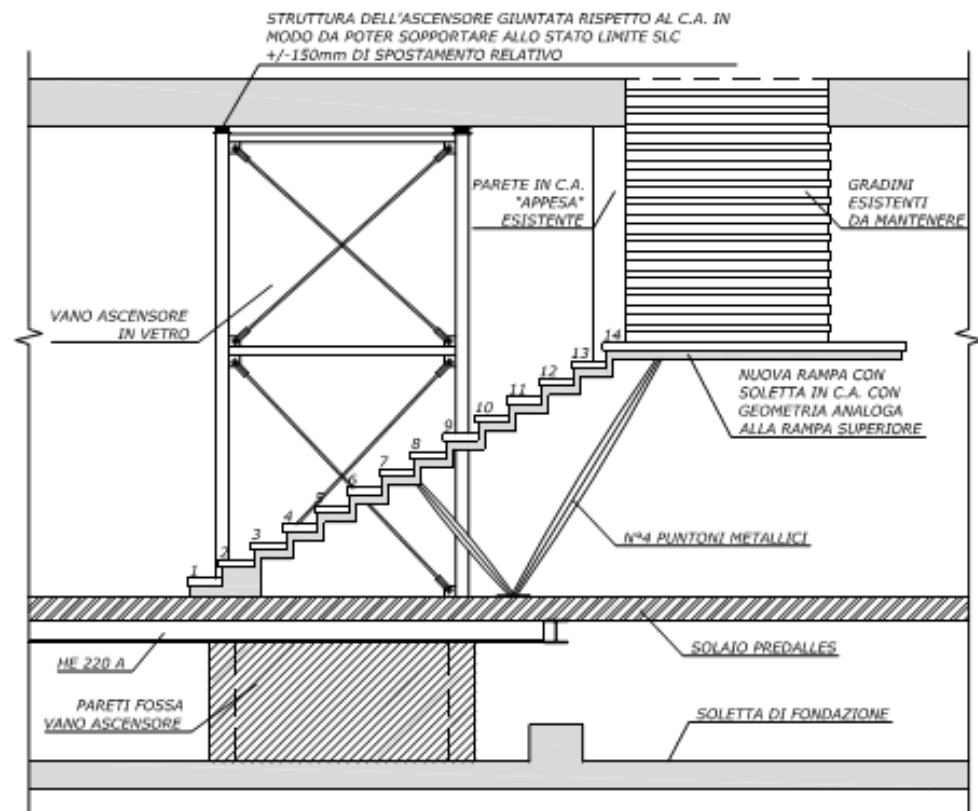
PROSPETTO DEL "CASTELLO" DI SOSTEGNO PROVVISORIO SCALA 1:50





Particolare zona scale-ascensore

SEZIONE B-B: PARTICOLARE ZONA SCALE - ASCENSORE SCALA 1:50



In sostanza con l'intervento in esame si realizzava:

- Ampliamento e irrigidimento delle fondazioni;
- Realizzazione di vano interrato con nuovo solaio di pianoterra;
- La sconnessione delle scale rispetto al terreno;
- Realizzazione di un nuovo vano tecnico per l'ascensore;
- La sconnessione della sovrastruttura dal terreno.

Nelle fasi di scavo abbiamo trovato, in verità, che i plinti erano di forma un po' diversa rispetto a quelli riportati sui documenti tecnici. Per tale motivo la sommità del plinto non era sufficientemente larga e rassicurante per l'appoggio dell'isolatore!!!!.

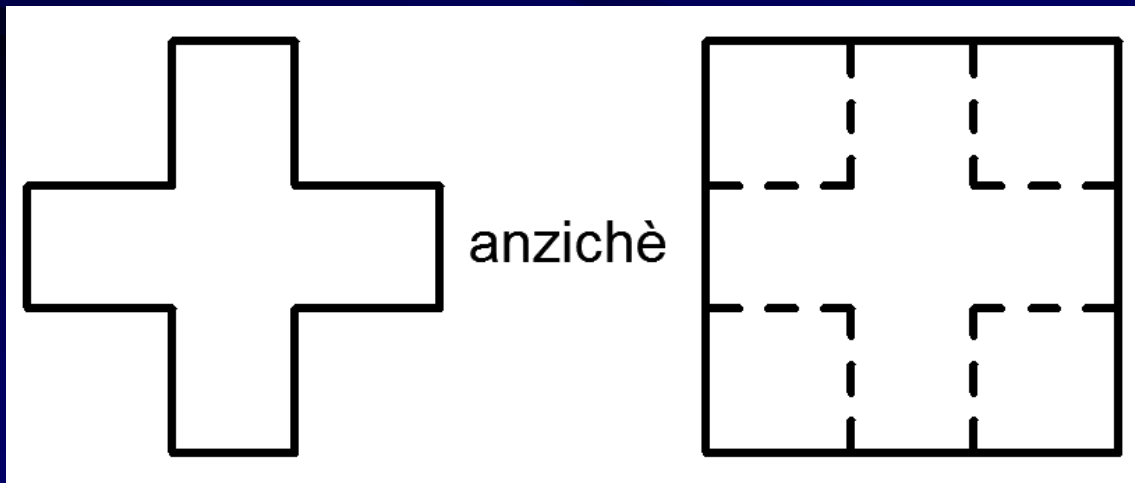


Foto plinti esistenti





ATTENZIONE
SPUNTO SULLA SPASTICA
PASSIONE
NO SCOPPI

IPOTESI DI PROGETTO N°2

Abbiamo deciso di mutare quindi progetto.

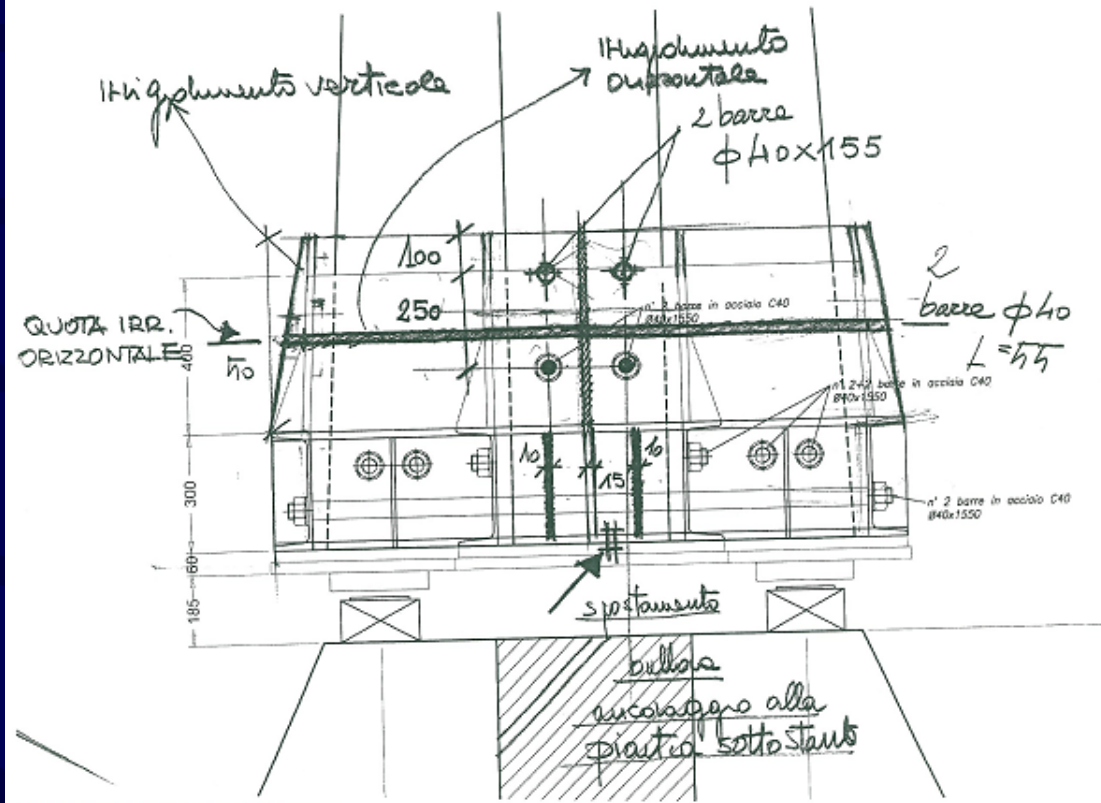
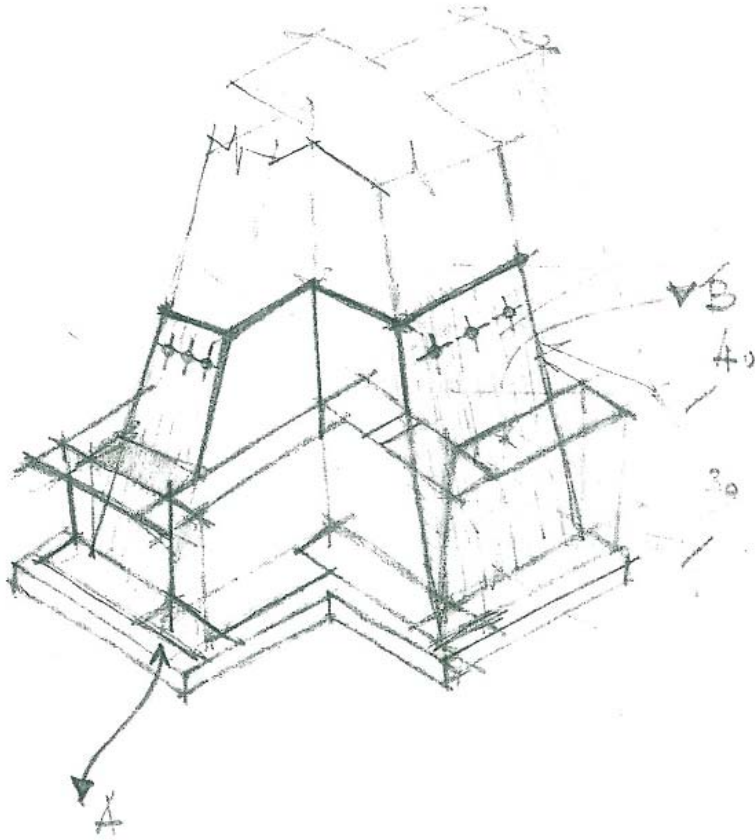
Nel frattempo era anche venuta meno l'esigenza di avere un vero e proprio vano per l'impiantistica di tipo interrato.

L'idea è stata quindi quella di rinforzare i plinti realizzando una soletta in C.A. appoggiata su terreno, in testa ai plinti, e collegare quest'ultima ai cordoli in C.A. esistenti

→ modifica e semplificazione sistema di sostentamento provvisorio.

In sostanza l'idea è stata quella di tagliare i pilastri esistenti con sostentamento provvisorio a livello di base e non di piano primo.

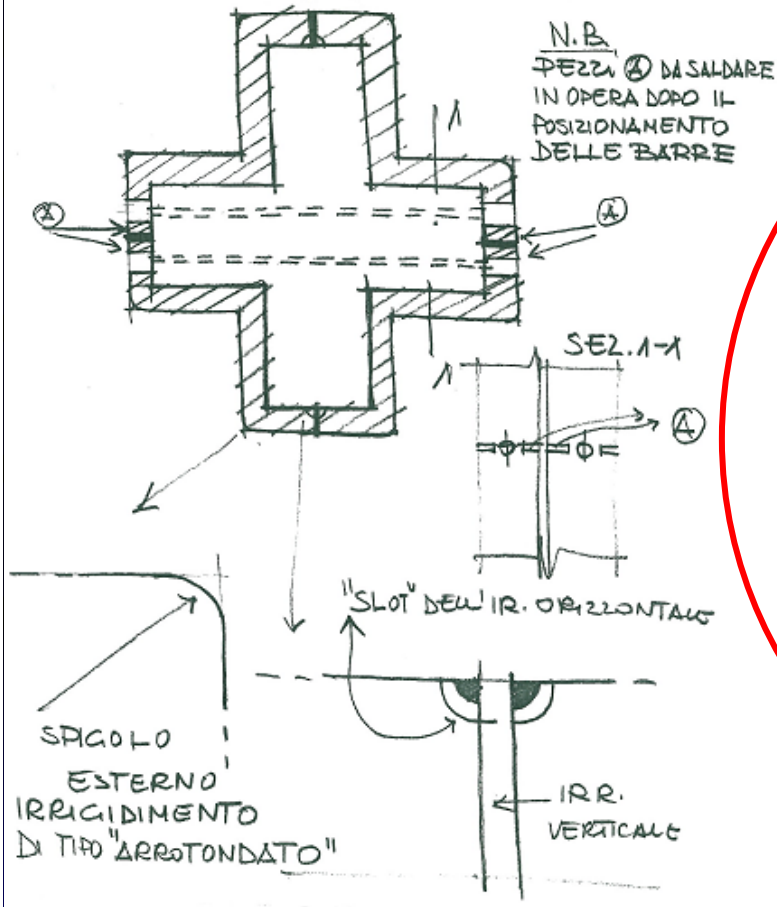
Studio effettuato per rinforzo plinti



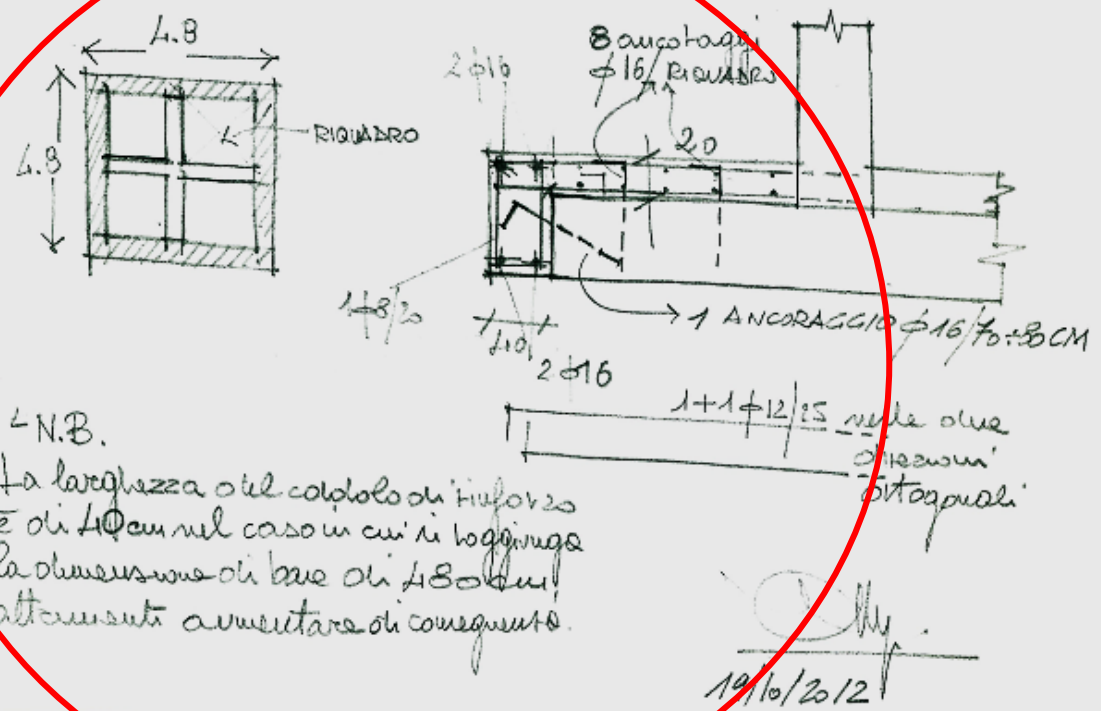
Studio effettuato per rinforzo plinti

ANDAMENTO IRRIGIDIMENTI ORIZZONTALI

AL LIVELLO "QUOTA IRD. ORIZZONTALE" VEDI
DI SEGNO SCATOLA ALLEGATO



SCHEMA TIPICO PER RINFORZO PLINTI

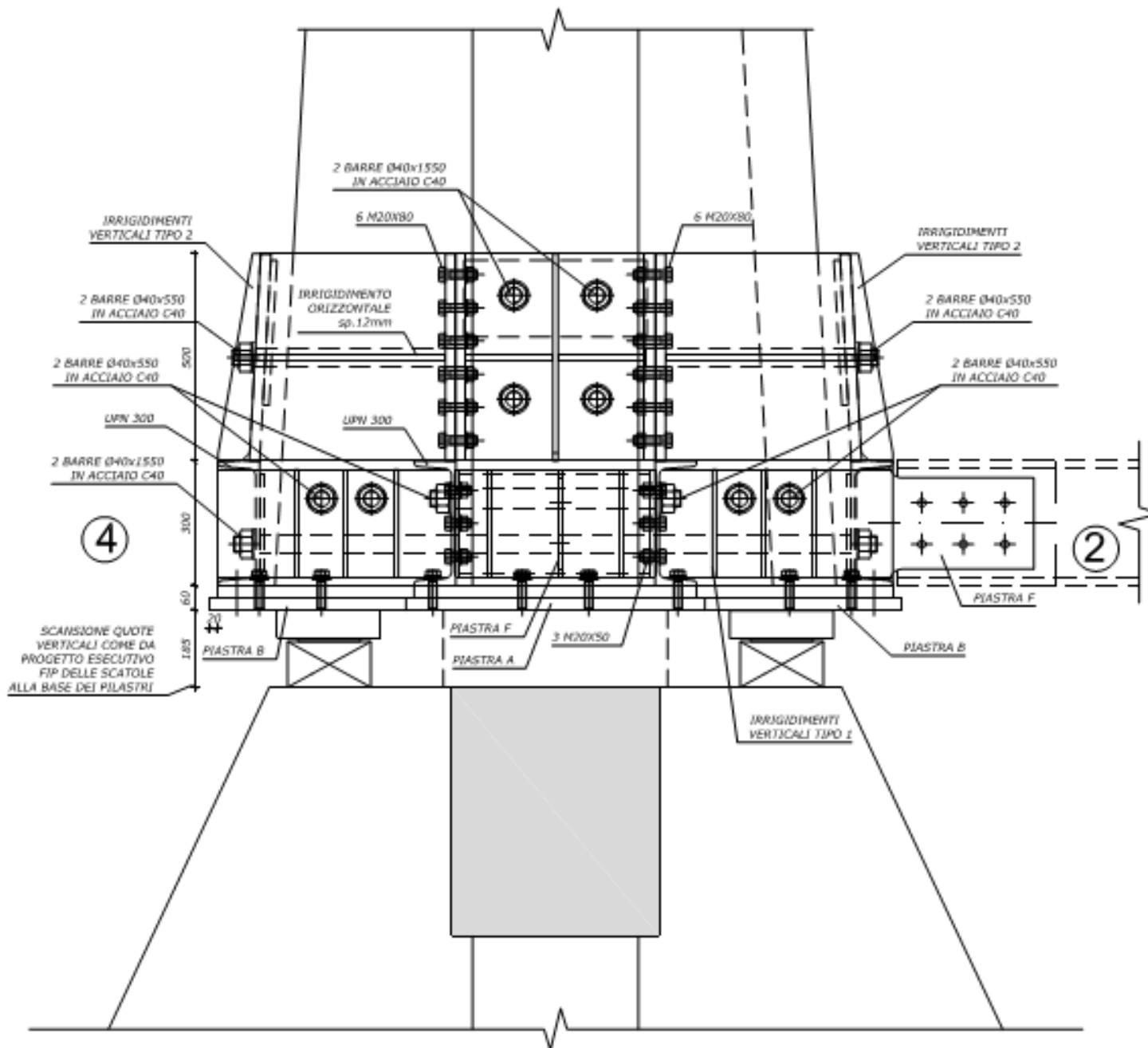


Rinforzo tipico di un plinto alla base



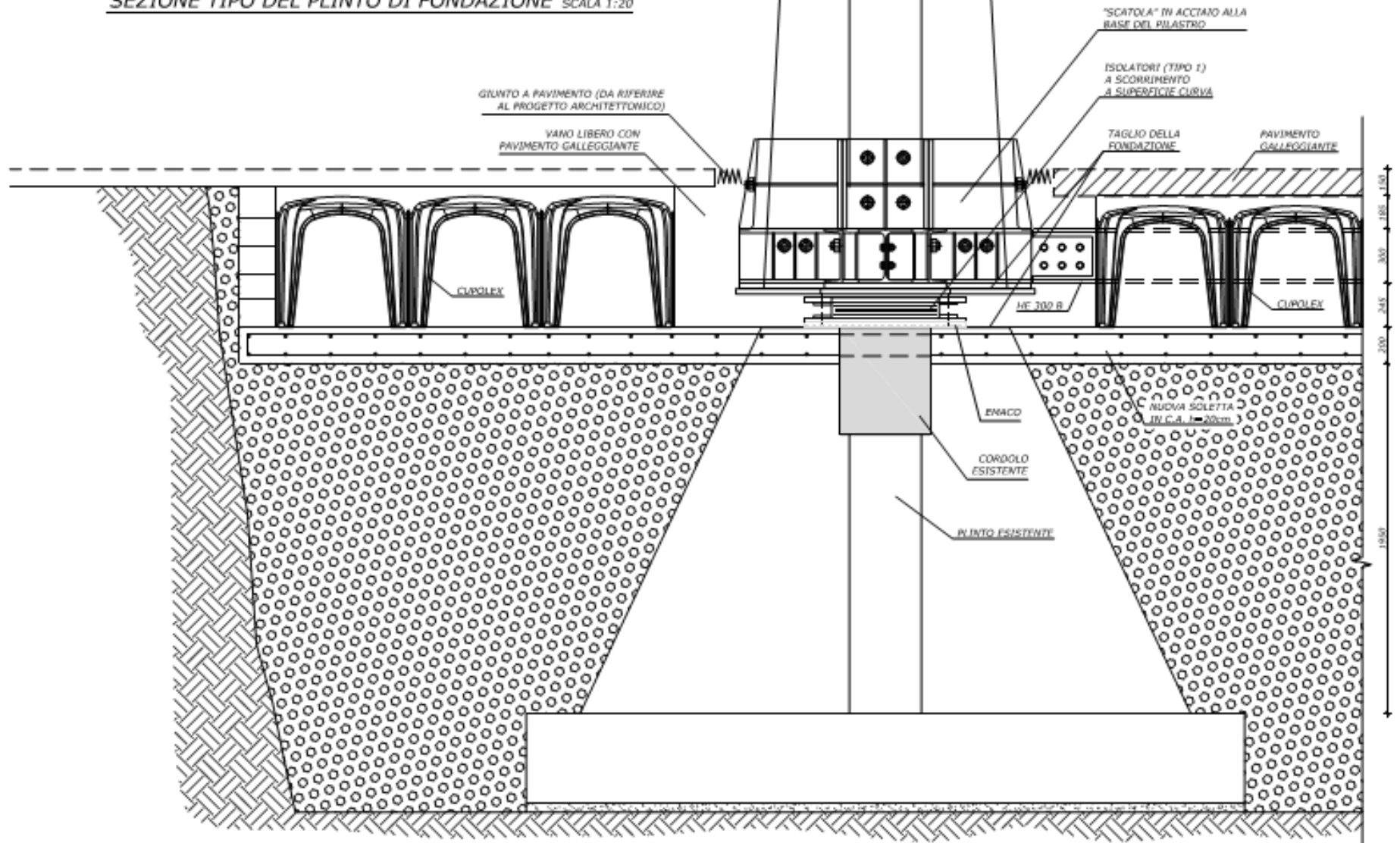
Elaborati
di progetto

SEZIONE A-A SCALA 1:10



Elaborati di progetto

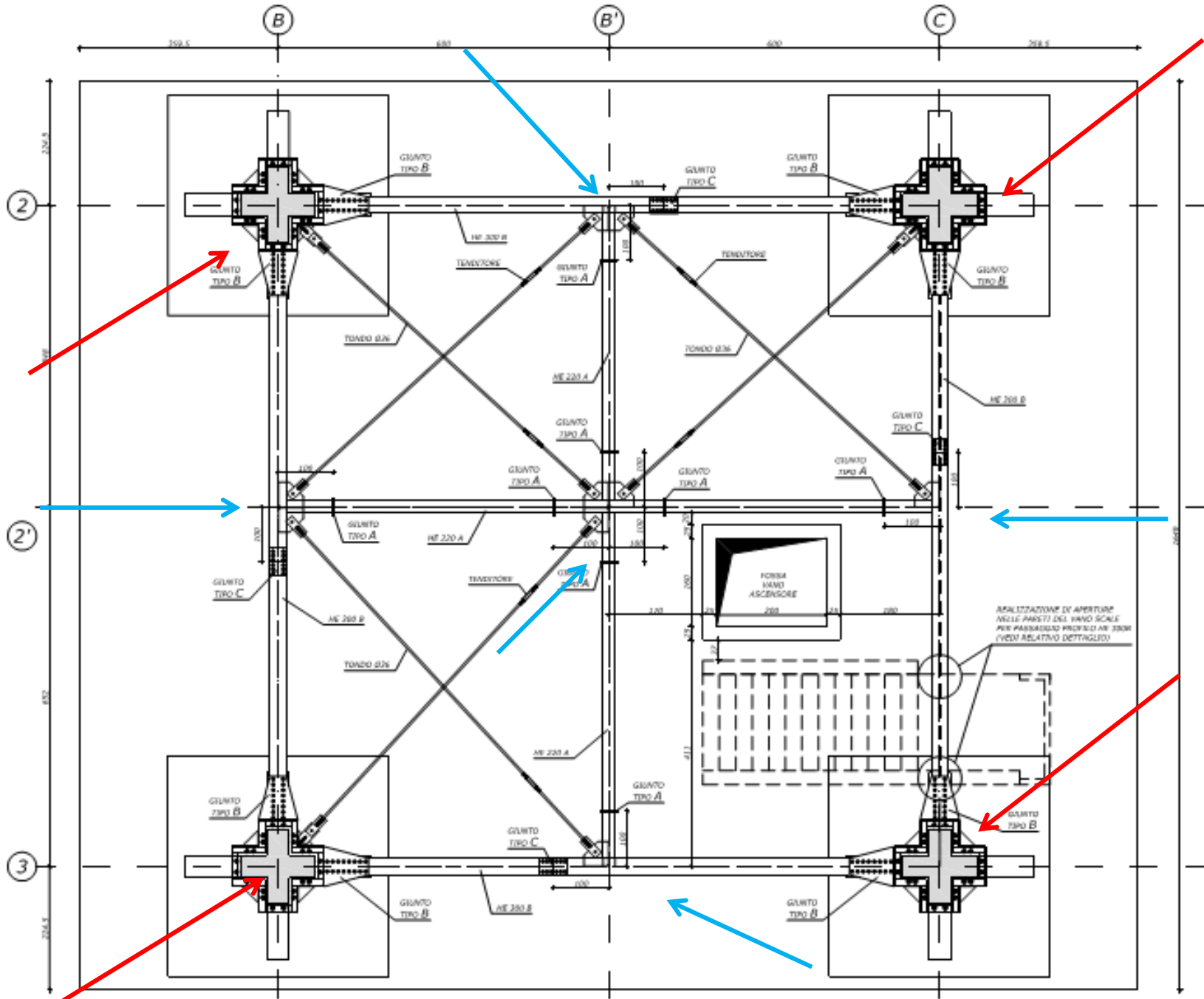
SEZIONE TIPO DEL PLINTO DI FONDAZIONE SCALA 1:20



Elaborati di progetto

Isolatori a scorrimento

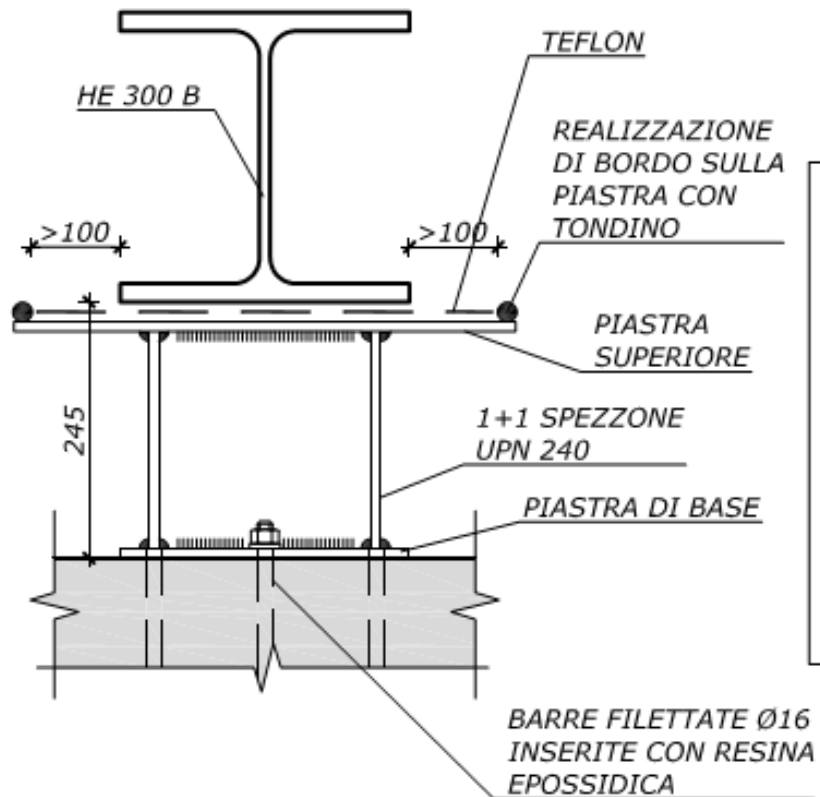
Appoggi scorrevoli in teflon



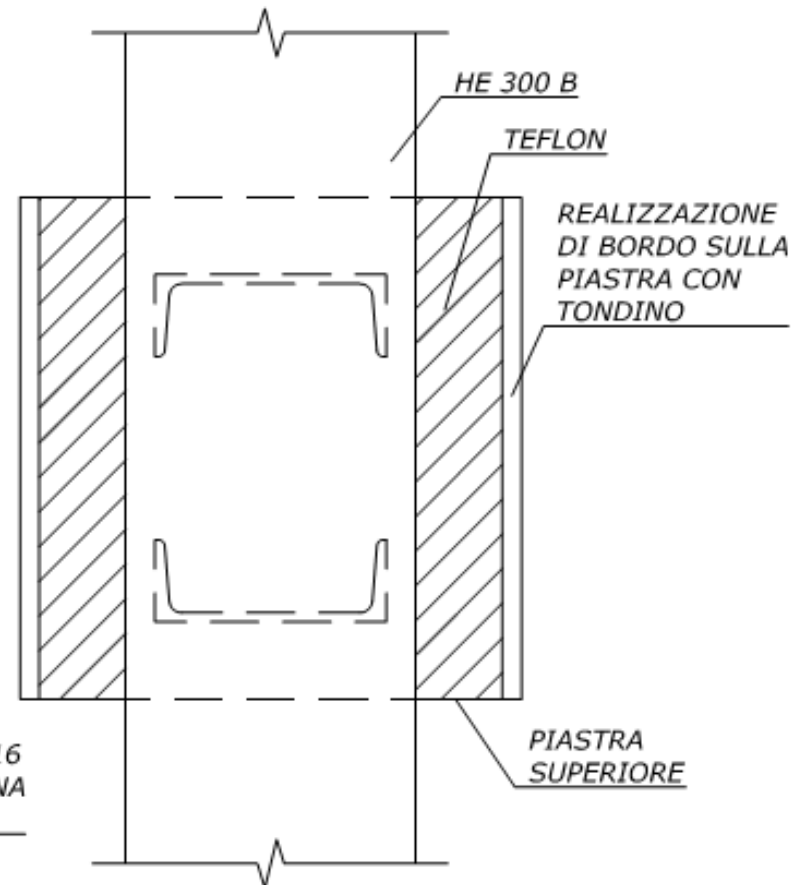
Elaborati di progetto

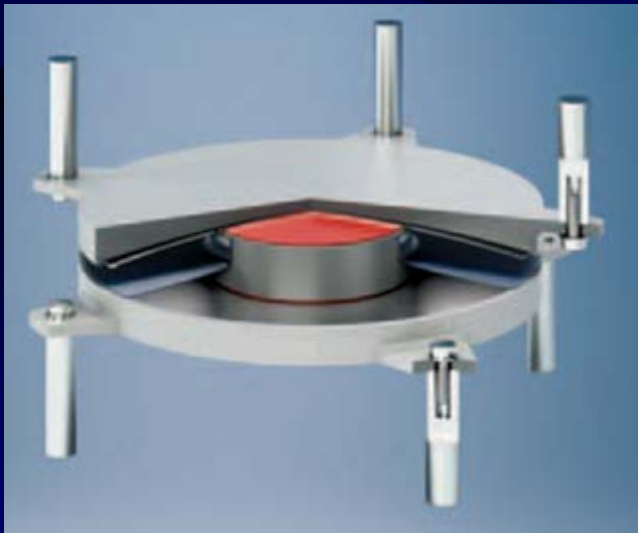
DETTAGLIO DEGLI APPOGGI A TERRA DELLA STRUTTURA METALLICA SCALA 1:10

SEZIONE



PIANTA























7.10.2 REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO

Il sistema d'isolamento è composto dai dispositivi d'isolamento, ciascuno dei quali espleta una o più delle seguenti funzioni:

- sostegno dei carichi verticali con elevata rigidità in direzione verticale e bassa rigidità o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- dissipazione di energia, con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, con adeguata rigidità, sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

Fanno parte integrante del sistema d'isolamento gli elementi di connessione, nonché eventuali vincoli supplementari disposti per limitare gli spostamenti orizzontali dovuti ad azioni non sismiche (ad es. vento).

Detta "interfaccia d'isolamento" la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema d'isolamento, si definiscono:

- "sottostruttura", la parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia del sistema d'isolamento e che include le fondazioni, avente in genere deformabilità orizzontale trascurabile e soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno;
- "sovrastuttura", la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata.

La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere sostanzialmente in campo elastico. Per questo la struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi della zona 4, con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto al § 7.4.6.

Un'affidabilità superiore è richiesta al sistema d'isolamento, formato dall'insieme dei dispositivi d'isolamento, per il ruolo critico che esso svolge. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema d'isolamento è progettato e verificato sperimentalmente secondo quanto stabilito nel § 11.9.

7.10.5.2 Modellazione

La sovrastruttura e la sottostruttura sono modellate come sistemi a comportamento elastico lineare. Il sistema di isolamento può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. La deformabilità verticale degli isolatori dev'essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} è inferiore a 800.

Se viene utilizzato un modello lineare, si deve adottare una rigidezza equivalente riferita allo spostamento totale di progetto per lo stato limite in esame, di ciascun dispositivo facente parte del sistema di isolamento. La rigidezza totale equivalente del sistema di isolamento, K_{esi} , è pari alla somma delle rigidezze equivalenti dei singoli dispositivi. L'energia dissipata dal sistema

308

Il comportamento del sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

- a) la rigidezza equivalente del sistema d'isolamento è almeno pari al 50% della rigidezza secante per cicli con spostamento pari al 20% dello spostamento di riferimento;
- b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento, come definito in precedenza, è inferiore al 30%;
- c) le caratteristiche forza-spostamento del sistema d'isolamento non variano di più del 10% per effetto di variazioni della velocità di deformazione, in un campo del $\pm 30\%$ intorno al valore di progetto, e dell'azione verticale sui dispositivi, nel campo di variabilità di progetto;
- d) l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti tra $0,5d_{dc}$ e d_{dc} , essendo d_{dc} lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura.

Nel caso in cui si adotti un modello non lineare, il legame costitutivo dei singoli dispositivi del sistema d'isolamento deve riprodurre adeguatamente il loro comportamento nel campo di deformazioni e velocità che si verificano durante l'azione sismica, anche in relazione alla corretta rappresentazione dell'energia dissipata nei cicli di isteresi.

7.10.5.3.1 *Analisi lineare statica*

Per le strutture dotate di isolamento alla base, il metodo dell'analisi statica lineare può essere applicato se la struttura isolata soddisfa i requisiti seguenti:

- a) il sistema d'isolamento può essere modellato come lineare, in accordo con il precedente § 7.10.5.2;
- b) il periodo equivalente T_{is} della costruzione isolata ha un valore compreso fra $3 \cdot T_{br}$ e 3,0 s, in cui T_{br} è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa, stimato con un'espressione approssimata;
- c) la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v è almeno 800 volte più grande della rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento K_{csi} ;
- d) il periodo in direzione verticale T_v , calcolato come $T_v = 2\pi\sqrt{M/K_v}$, è inferiore a 0,1 s;
- e) nessuno isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali;
- f) il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta, come è definita al § 7.2.2.

Ai requisiti da a) ad f) si aggiungono, per le costruzioni civili e industriali, i seguenti:

- la sovrastruttura ha altezza non maggiore di 20 metri e non più di 5 piani.
- la sottostruttura può essere considerata infinitamente rigida ovvero il suo periodo proprio è non maggiore di 0,05s.
- la dimensione maggiore in pianta della sovrastruttura è inferiore a 50 m;
- in ciascuna delle direzioni principali orizzontali l'eccentricità totale (esclusa quella accidentale) tra il centro di rigidezza del sistema di isolamento e la proiezione verticale del centro di massa non è superiore al 3% della dimensione della sovrastruttura trasversale alla direzione orizzontale considerata.

7.10.5.3.2 *Analisi lineare dinamica*

Per le costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica lineare è ammessa quando risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento, nel rispetto delle condizioni di cui al § 7.10.5.2. Per il sistema complessivo, formato dalla sottostruttura, dal sistema d'isolamento e dalla sovrastruttura, si assume un comportamento elastico lineare. Il modello deve comprendere sia la sovrastruttura che la sottostruttura, qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni. L'analisi può essere svolta mediante analisi modale con spettro di risposta o mediante integrazione al passo delle equazioni del moto, eventualmente previo disaccoppiamento modale, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.

Nel caso si adotti l'analisi modale con spettro di risposta questa deve essere svolta secondo quanto specificato in § 7.3.3.1, salvo diverse indicazioni fornite nel presente paragrafo. Le due componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente, adottando, ai fini della combinazione degli effetti, le regole riportate in § 7.3.3.1. La componente verticale deve essere messa in conto nei casi previsti in § 7.2.1 e, in ogni caso, quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa.

Lo spettro elastico definito in § 3.2.3.2 va ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0,8 T_{is}$, assumendo per il coefficiente riduttivo η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_{esi} del sistema di isolamento.

Nel caso di analisi lineare con integrazione al passo, la messa in conto del corretto valore del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ si ottiene, quando si opera sulle singole equazioni modali disaccoppiate, assegnando a ciascuna equazione il corrispondente valore modale di ξ o, quando si opera sul sistema completo, definendo in maniera appropriata la matrice di smorzamento del sistema.

7.10.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

7.10.6.2.1 Verifiche allo *SLV*

Lo *SLV* della sottostruttura e della sovrastruttura deve essere verificato con i valori di γ_M utilizzati per le costruzioni non isolate.

Gli elementi della sottostruttura devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni ottenute direttamente dall'analisi, quando il modello include anche la sottostruttura. In caso contrario, essi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze trasmesse dal sistema d'isolamento combinate con le sollecitazioni prodotte dalle accelerazioni del terreno direttamente applicate alla sottostruttura. Nel caso in cui la sottostruttura possa essere assunta infinitamente rigida (periodo proprio inferiore a 0,05s) le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno a_g . La combinazione delle sollecitazioni può essere effettuata mediante la regola della radice quadrata della somma dei quadrati.

Le condizioni di resistenza degli elementi strutturali della sovrastruttura possono essere soddisfatte considerando gli effetti dell'azione sismica divisi del fattore $q=1,50$ combinati con le altre azioni secondo le regole del § 3.2.4.

7.10.6.2.2 Verifiche allo *SLC*

I dispositivi del sistema d'isolamento debbono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2 , valutati per un terremoto avente probabilità di superamento pari a quella prevista per lo *SLC*. Nel caso di sistemi a comportamento non lineare, allo spostamento ottenuto con l'azione sismica detta, occorre aggiungere il maggiore tra lo spostamento residuo allo *SLD* e il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo *SLD*.

In tutte le costruzioni, le connessioni del gas e di altri impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione debbono essere progettate per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema d'isolamento.

C7.10 COSTRUZIONI E PONTI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

C7.10.1 SCOPO

Nel caso in cui l'isolamento venga utilizzato per interventi su costruzioni esistenti, occorre in generale rispettare i criteri e le regole del Cap.8 delle NTC e del Cap.C8 della presente circolare, per tutti gli aspetti di non stretta pertinenza dell'applicazione dell'isolamento sismico, per le quali, invece, si applica il § 7.10 ed i relativi commenti riportati nel presente testo.

Considerando una porzione di struttura che, a base fissa, avrebbe un periodo fondamentale di oscillazione T_{bf} in una data direzione, l'isolamento alla base di questa porzione deve produrre uno dei seguenti effetti:

- a) l'incremento del periodo grazie all'adozione di dispositivi con comportamento d'insieme approssimativamente lineare. Si ottiene un buon "disaccoppiamento" quando il periodo della struttura isolata T_{IS} risulta $T_{IS} \geq 3 \cdot T_{bf}$. Maggiore è l'incremento di periodo (generalmente $T_{IS} > 2,0$ s) maggiore è la riduzione delle accelerazioni sulla sovrastruttura (spettro in accelerazioni) e l'incremento degli spostamenti (spettro in spostamenti), che si concentrano essenzialmente nel sistema di isolamento;

C7.10.2 REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO

Il sistema d'isolamento deve consentire elevati spostamenti orizzontali garantendo, al contempo, le previste condizioni di vincolo sotto le azioni di servizio. Per garantire quest'ultima condizione, qualora i dispositivi d'isolamento non siano in grado di garantire la condizione di vincolo necessaria, possono essere anche utilizzati dispositivi di vincolo temporaneo, del tipo "a fusibile" (v. § 11.9 delle NTC), che cessano di essere efficaci quando l'azione sismica supera una prefissata intensità. Quando si utilizzano dispositivi di vincolo temporaneo occorre valutare gli effetti che hanno sul movimento della struttura isolata anche per azioni sismiche che eccedono questo livello prefissato.

C7.10.3 CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

Un sistema di isolamento può essere costituito unicamente da isolatori elastomerici, eventualmente realizzati con elastomeri ad alta dissipazione o comprendenti inserti di materiali dissipativi (ad es. piombo), oppure unicamente da isolatori a scorrimento o rotolamento, che inglobano funzioni dissipative o ricentranti per capacità intrinseca o per presenza di elementi capaci di svolgere tali funzioni, oppure da un'opportuna combinazione di isolatori e dispositivi ausiliari, questi ultimi generalmente con funzione dissipativa, ricentrante e/o di vincolo.

C7.10.4 INDICAZIONI PROGETTUALI

C7.10.4.1 Indicazioni riguardanti i dispositivi

La salvaguardia della costruzione isolata dai terremoti è garantita dal corretto funzionamento del sistema d'isolamento. Malfunzionamenti del sistema possono sopraggiungere, durante la sua vita utile, per invecchiamento dei materiali, come gli elastomeri degli isolatori o le guarnizioni di tenuta dei dispositivi oleodinamici, o, più in generale, per il loro deterioramento o per un eccessivo accumulo di deformazioni plastiche a seguito di un terremoto.

Occorre quindi prevedere la possibilità di sostituzione, e dunque predisporre la struttura in modo che sia possibile trasferire temporaneamente alla sottostruttura, attraverso martinetti

C7.10.4.2 Controllo di movimenti indesiderati

Gli effetti torsionali d'insieme del sistema strutturale, ossia di rotazione intorno ad un asse verticale, determinano spostamenti diversi nei dispositivi e, nel caso di forti non linearità, differenze di comportamento che possono ulteriormente accentuare la torsione. Occorre pertanto evitare o limitare quanto più possibile le eccentricità massa-rigidezza, cosa peraltro facilmente ottenibile attraverso una corretta progettazione degli isolatori e dei dispositivi ausiliari, e incrementare la rigidezza e/o resistenza torsionale del sistema d'isolamento.

Nel caso di sistemi di isolamento costituiti unicamente da isolatori elastomerici, quest'ultimo obiettivo viene conseguito maggiorando, rispetto alla rigidezza derivante da un dimensionamento basato sulle tensioni verticali di compressione, gli isolatori in gomma disposti lungo il perimetro. Nel caso di sistemi con dispositivi ausiliari che conferiscano rigidezza e/o resistenza al sistema, è opportuno disporre questi ultimi lungo il perimetro in modo da massimizzare la rigidezza e/o resistenza torsionale del sistema d'isolamento.

Sistemi d'isolamento che combinano isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento possono fornire ottime prestazioni in relazione alla necessità di conseguire un elevato periodo di vibrazione in presenza di bassi carichi verticali, e quindi di piccole masse da isolare. È opportuno in tal caso, in relazione alle suddette problematiche, collocare gli isolatori elastomerici lungo il perimetro e quelli a scorrimento nella zona centrale.

Si sottolinea, inoltre, la necessità di valutare i possibili effetti sulla struttura legati alla deformabilità verticale degli isolatori elastomerici, funzione delle caratteristiche geometriche dell'isolatore e meccaniche dell'elastomero, e a quella pressoché nulla degli isolatori a scorrimento. Si possono avere spostamenti differenziali significativi sia nella fase elastica di caricamento, sia nella fase successiva, di deformazioni lente (creep della gomma), sia, infine, sotto l'azione del terremoto.

Gli isolatori soggetti a forze di trazione o a sollevamento durante l'azione sismica dovranno essere in grado di sopportare la trazione o il sollevamento senza perdere la loro funzionalità strutturale.

C7.10.5.3 Analisi

L'analisi dinamica non lineare può essere svolta in ogni caso. Essa è obbligatoria quando il sistema d'isolamento non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente. In tal caso si farà riferimento ad un modello in cui gli elementi della struttura operano in campo elastico lineare mentre gli elementi del sistema d'isolamento operano in campo non lineare, riproducendone al meglio il suo comportamento ciclico (V. 7.10.5.2).

C7.10.6 VERIFICHE

C7.10.6.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

Il requisito del sostanziale mantenimento in campo elastico della struttura nelle verifiche allo SLU fornisce ampie garanzie rispetto alla sicurezza nei confronti dello SLD. **NB Esistenti**

C7.10.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

C7.10.6.2.1 Verifiche allo SLV

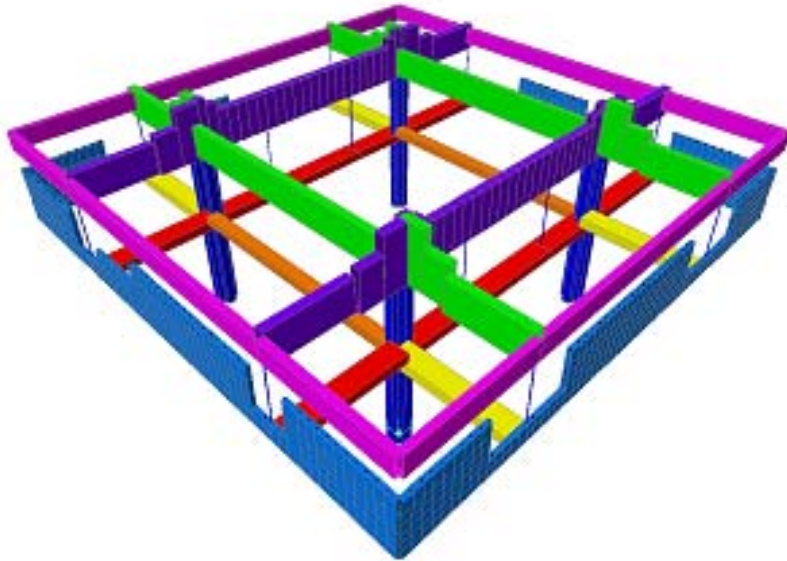
Per un corretto funzionamento del sistema di isolamento, occorre che la sottostruttura rimanga in campo sostanzialmente elastico, sotto l'effetto delle azioni sismiche di progetto. Le forze d'inerzia rispetto alle quali occorre verificare gli elementi della sottostruttura saranno quelle trasmesse dalla sovrastruttura, attraverso il sistema di isolamento, e quelle direttamente agenti su di essa. Queste ultime, nel caso in cui la sottostruttura sia estremamente rigida ed abbia modi di vibrare con periodo di oscillazione inferiore a 0,05 s, dunque in sostanziale assenza di amplificazioni, potranno essere calcolate applicando direttamente la massima accelerazione del terreno alle masse della sottostruttura. In virtù della bassa probabilità che i massimi delle sollecitazioni indotte nella sottostruttura dalle forze d'inerzia sulla sovrastruttura e dalle forze d'inerzia direttamente applicate alla sottostruttura siano contemporanei, si può applicare la regola di combinazione della radice quadrata della somma dei quadrati, anche nel caso in cui le sollecitazioni prodotte dai due sistemi di forze d'inerzia (sulla sovrastruttura e sulla sottostruttura) siano calcolate separatamente mediante analisi statiche. Per evitare danneggiamenti significativi della sovrastruttura, le sollecitazioni di progetto degli elementi strutturali della sovrastruttura possono essere determinate a partire da quelle ottenute dal calcolo, nell'ipotesi di comportamento perfettamente elastico lineare, utilizzando un fattore di struttura pari ad 1,5.

C7.10.6.2.2 Verifiche allo SLC

La verifica allo SLC dei dispositivi del sistema d'isolamento realizza il requisito enunciato in precedenza, riguardante il livello superiore di sicurezza richiesto al sistema d'isolamento. Lo spostamento d_2 , che definisce lo spostamento di riferimento per la verifica dei dispositivi di isolamento, è prodotto da un terremoto di intensità superiore all'intensità del terremoto per il quale vengono progettate le strutture allo SLV e forma spettrale diversa. Ciò implica la necessità di ripetere il calcolo, anche in caso di analisi dinamica lineare

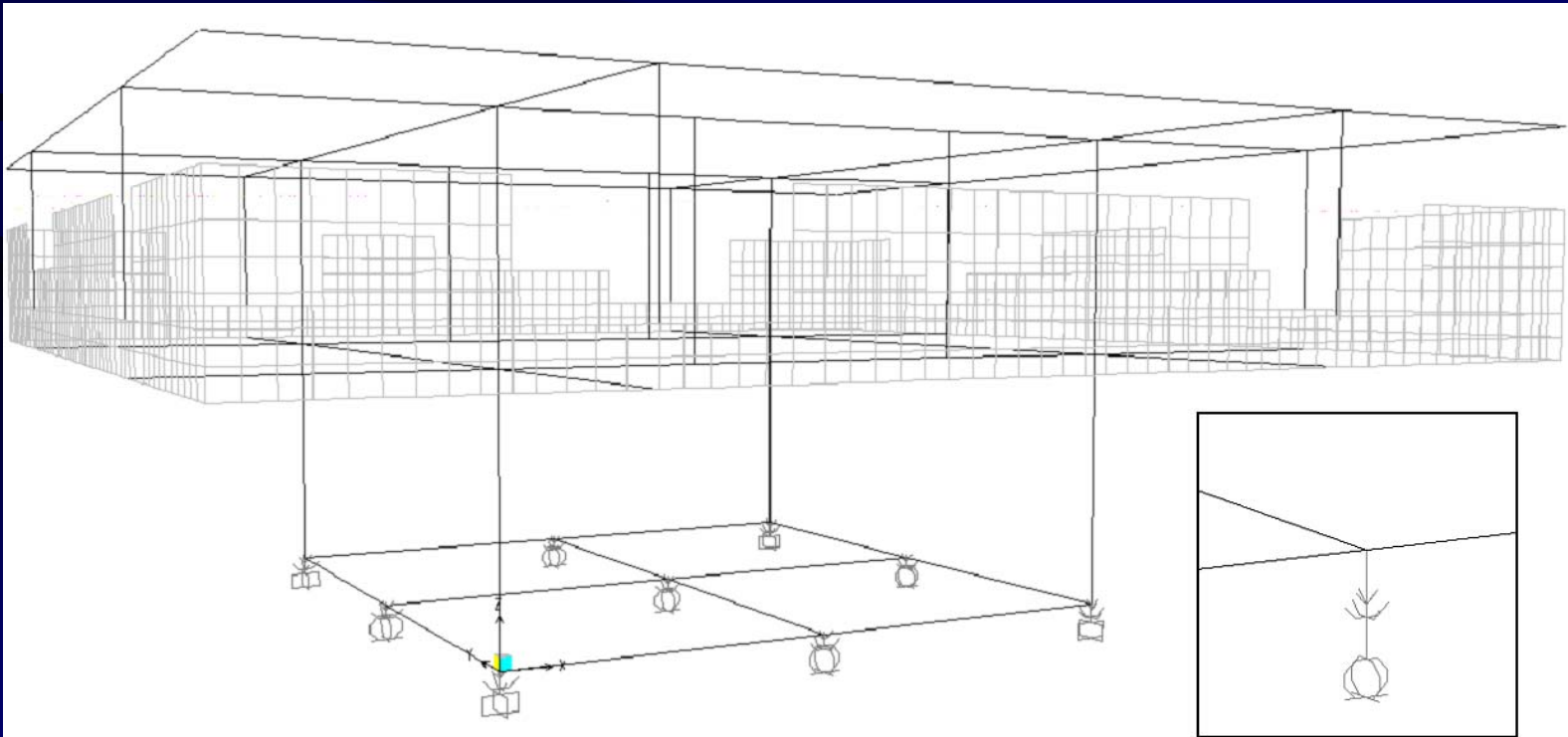
Per gli impianti pericolosi, in particolare per le condutture del gas, la verifica delle capacità delle giunzioni di sopportare senza danno (e dunque senza perdite di fluidi) gli spostamenti relativi va obbligatoriamente riferita alle azioni sismiche relative allo SLC, in relazione all'alto rischio che essi implicano e che, in caso di rottura, può portare la struttura al collasso o creare condizioni di pericolo per la vita umana.

VERIFICHE SULLA STRUTTURA ISOLATA



Modello di
calcolo utilizzato

Particolare della modellazione
degli isolatori a scorrimento



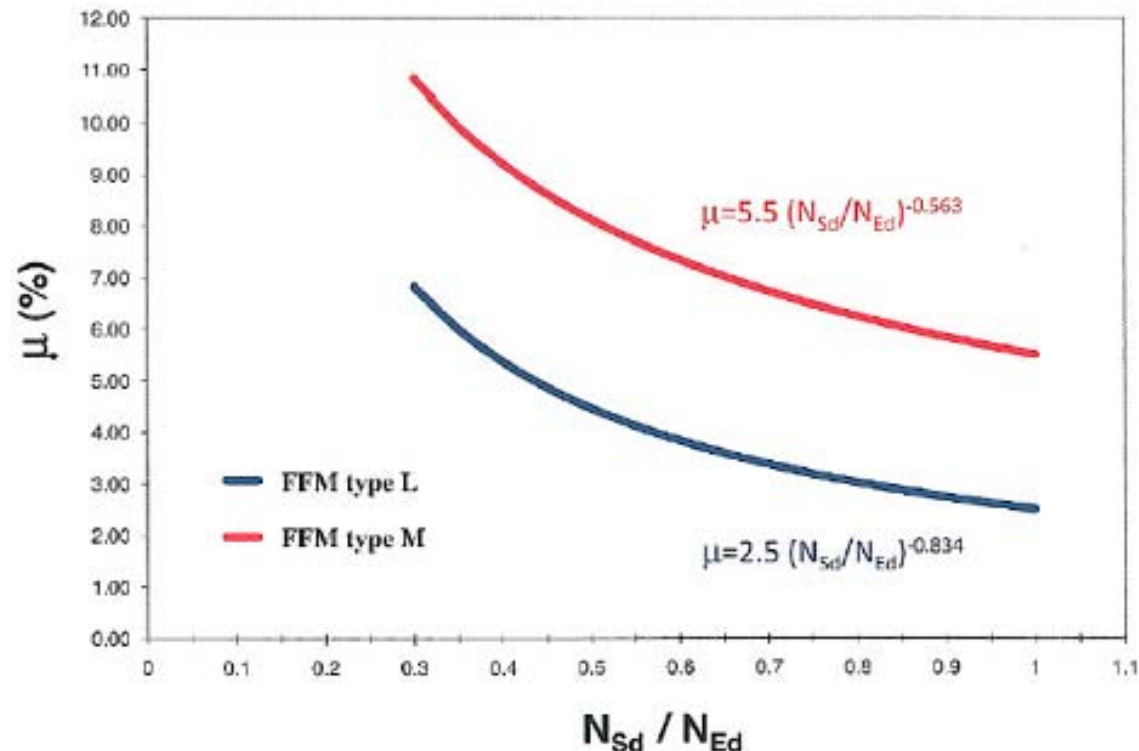
Calcolo del coefficiente d'attrito degli isolatori a scorrimento

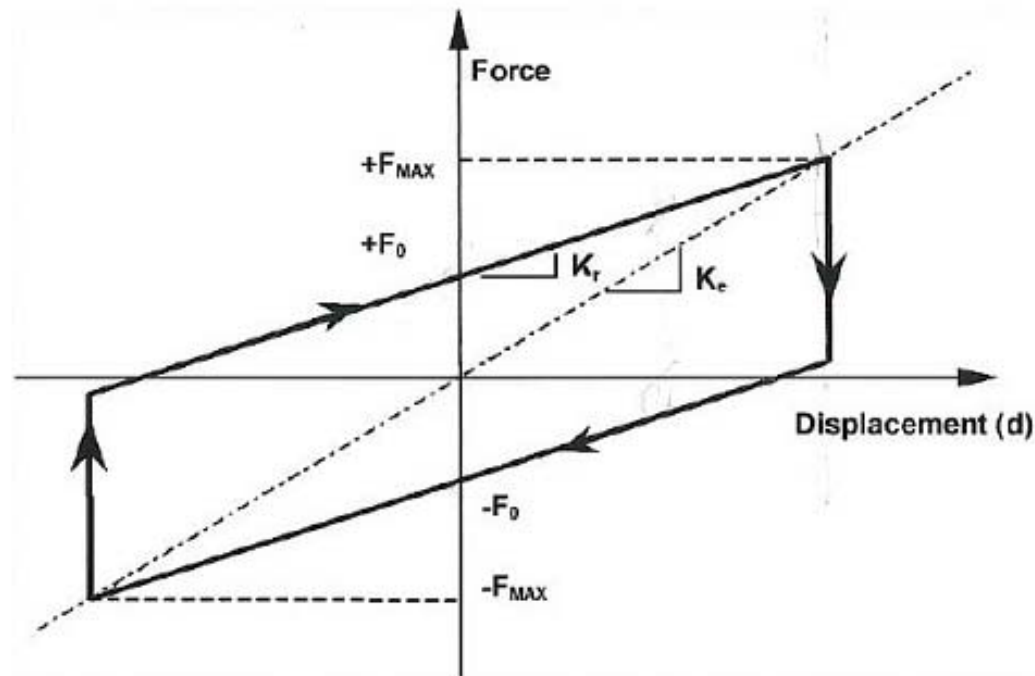
$$\mu = 2.5 \cdot (N_{Sd} / N_{Ed})^{-0.834}$$

dove:

N_{Sd} è il carico verticale quasi permanente agente sul singolo isolatore;

N_{Ed} è il carico verticale massimo in presenza di sisma che può essere sopportato dal tipo di isolatore utilizzato.





Rigidezza elastica
dell'isolatore a scorrimento

$$K_e = N_{sd} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

Smorzamento
dell'isolatore a scorrimento

$$\zeta = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$

dove:

R è il raggio di curvatura dell'isolatore;
 d è lo spostamento;

Caratteristiche degli isolatori a scorrimento scelti

Tipo 1) Isolatori principali pilastri esistenti in c.a. (tipo 760/300 (2500) L; spostamento max SLC +/- 150mm)

$$R = 2500\text{mm}; d_{\max} = \pm 150\text{mm}; N_{Ed} = 4000\text{kN}; N_{Sd} = 2738\text{kN};$$

$$\mu = 3.429\%; K = 1721\text{kN/m}; \zeta = 0.231;$$

Caratteristiche degli isolatori a scorrimento ai vari stati limite

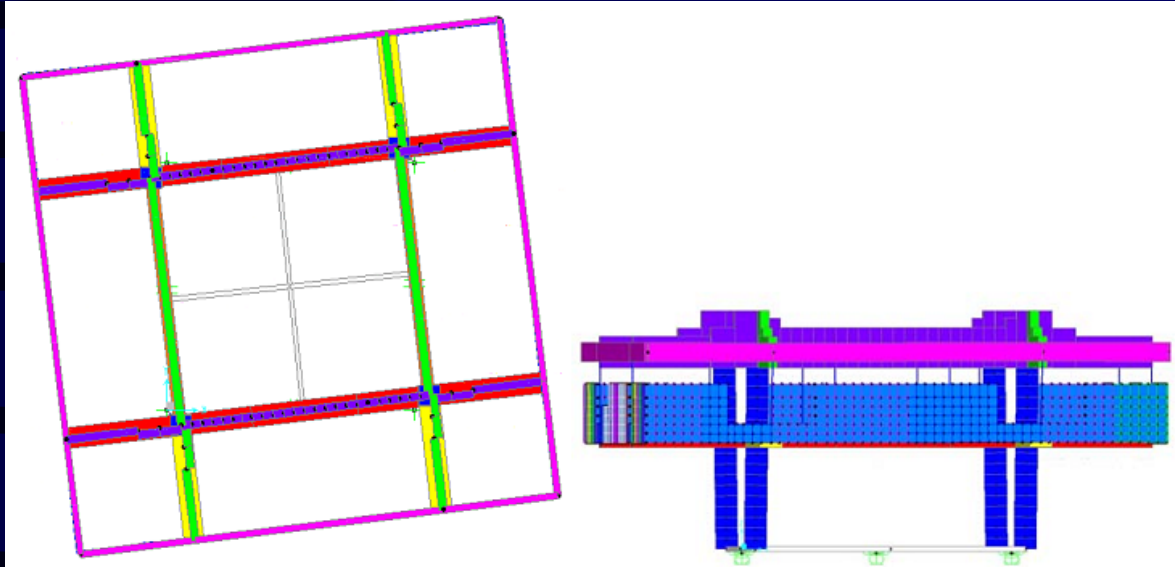
<u>SLC</u>			
isolatore	d (mm)	K (kN/m)	ζ
Tipo1	82	2660	0.37

<u>SLV</u>			
isolatore	d (mm)	K (kN/m)	ζ
Tipo1	47	3092	0.41

<u>SLD</u>			
isolatore	d (mm)	K (kN/m)	ζ
Tipo1	10	10484	0.57

N.B. La scelta delle caratteristiche finali di rigidità e smorzamento degli isolatori, non può che derivare da un processo iterativo!!!!

Risultati dell'analisi modale dell'edificio isolato.



Prima forma
modale
 $T = 2.545 \text{ sec}$

Si riportano in tabella i risultati dell'analisi modale condotta sul modello:

StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	2.545254	0.001045	0.0000635	1.026E-10	0.001045	0.0000635	1.026E-10
2	2.100306	0.00001627	0.998	4.229E-08	0.001061	0.998	4.24E-08
3	2.079598	0.998	0.00001426	2.385E-09	0.999	0.998	4.478E-08
4	0.389122	4.09E-09	0.001225	0.001962	0.999	0.999	0.001962
5	0.345311	1.115E-07	3.545E-07	0.21	0.999	0.999	0.212
6	0.323156	0.000001781	0.00001671	0.123	0.999	0.999	0.335
7	0.312891	0.0003118	3.67E-08	0.001918	0.999	0.999	0.337
8	0.307287	0.00001139	5.453E-07	0.00009766	0.999	0.999	0.337
9	0.29811	0.0000284	0.000001986	0.001502	0.999	0.999	0.339
10	0.286279	7.672E-07	2.519E-07	0.00003748	0.999	0.999	0.339
11	0.276819	0.0000199	2.578E-08	0.003219	0.999	0.999	0.342
12	0.262058	0.000003285	0.0001516	0.00009447	1	1	0.342
13	0.257487	0.00002221	0.00001156	0.005926	1	1	0.348
14	0.248352	0.000002462	3.623E-07	0.001783	1	1	0.35
15	0.234517	0.000324	6.573E-08	0.000008505	1	1	0.35

Terza forma
modale
 $T = 2.08 \text{ sec}$

Utilizzando ad esempio il periodo corrispondente alla prima forma modale, può determinarsi l'azione sismica totale F .

$$F = S_d(T_1) \cdot W \cdot \frac{\lambda}{g}$$

La risultante dell'azione sismica che si ottiene in tal modo, è ridotta di circa il 70% rispetto all'azione sismica determinata dal modello dell'edificio esistente!!

VERIFICHE DEGLI SPOSTAMENTI

Verifica degli spostamenti allo SLD

$$d_r < \frac{2}{3} \cdot 0,01 \cdot h$$

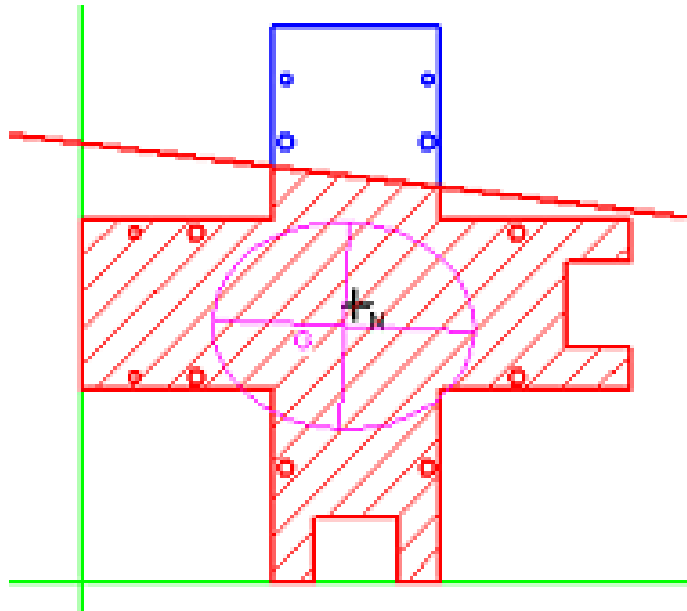
	d_r	h	$2/3 \cdot 0,01 \cdot h$	<i>Esito verifica</i>
<i>Piano terra</i>	3,9 mm	4750 mm	31,6 mm	OK
<i>Piano primo</i>	3,1 mm	4100 mm	27,3 mm	OK

d_r = spostamento relativo

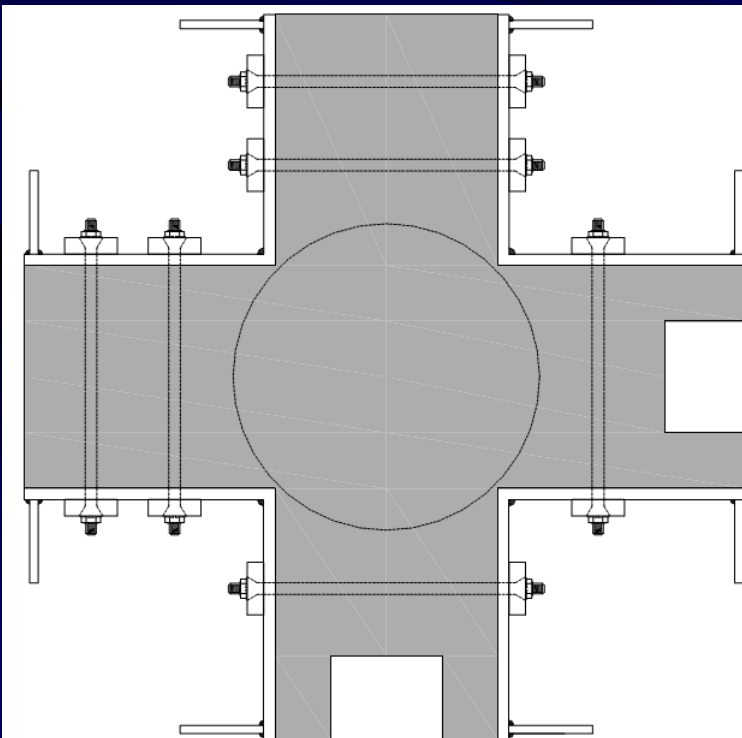
Verifica degli spostamenti allo SLC

I dispositivi del sistema di isolamento devono sopportare gli spostamenti relativi a tale stato limite, a cui va sommato il maggior valore tra lo spostamento residuo allo SLD e il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo SLD (indicato con d'_{SLC}). Questo spostamento deve risultare inferiore allo spostamento massimo consentito dall'isolatore (in questo caso 150 mm).

$$d'_{SLC} = 82mm < 150mm$$



Parzializzazione della
sezione del pilastro a croce

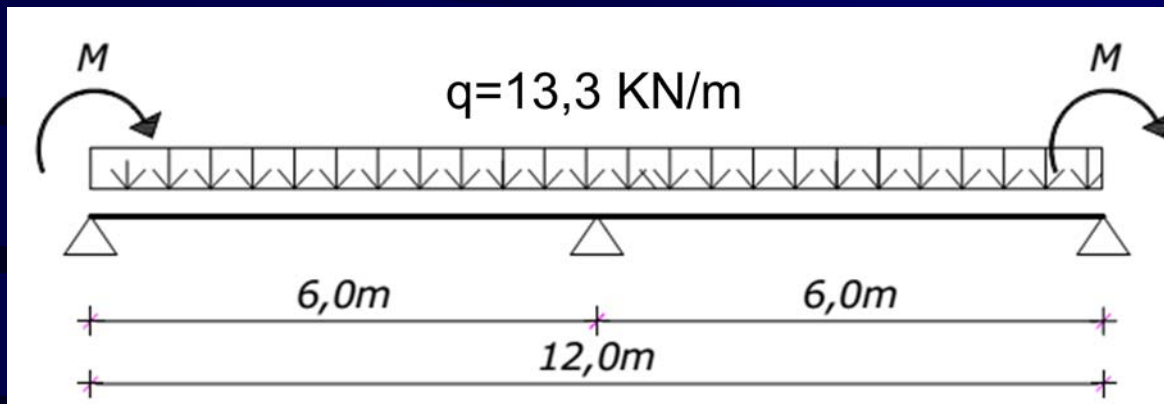


Particolare collegamento del
pilastro alla scatola metallica
con barre passanti

VERIFICA DELLE TRAVI COMPOSTE DI ACCIAIO-CLS CHE COLLEGANO I PILASTRI ALLA BASE

Il momento alla base dei pilastri in C.A. viene fatto assorbire dalle travi metalliche dell'impalcato di piano terra.

Quindi all'isolatore viene trasferito solo uno sforzo normale proveniente dalla sovrastruttura, più un incremento di sforzo normale dovuto all'azione dei momenti flettenti, calcolato secondo questo schema:



	N (kN) su isolatori	Mx (kNm)	My (kNm)
SLV	2748	574	159
SLC	2804	724	201
SLE (quasi perm.)	2597	0	0

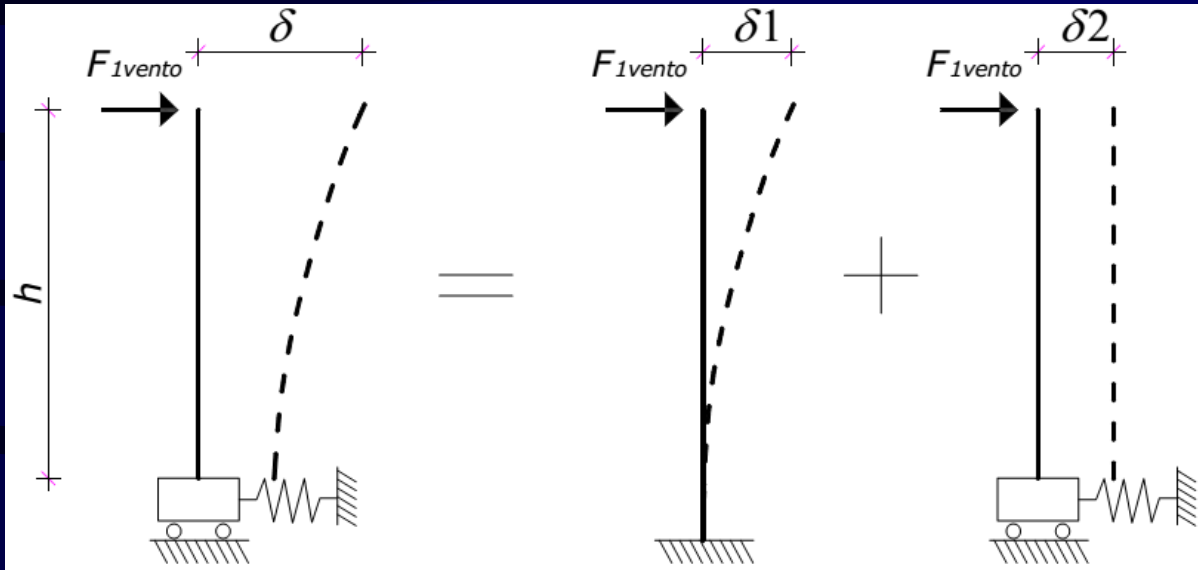
VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI MASSIMI SOTTO AZIONE DEL VENTO

$$F_{tot_vento} = 284kN$$

Si ripartisce sui 4 pilastri

$$F_{1_vento} = 71kN$$

Schema
statico



$$\delta_1 = \frac{F_{1,vento} \cdot h^3}{3EJ} = 0,54mm; \quad \delta_2 = \frac{F_{tot_vento}}{K_{tot_isol}} = 22,4mm; \quad \delta = \delta_1 + \delta_2 = 22,94mm$$

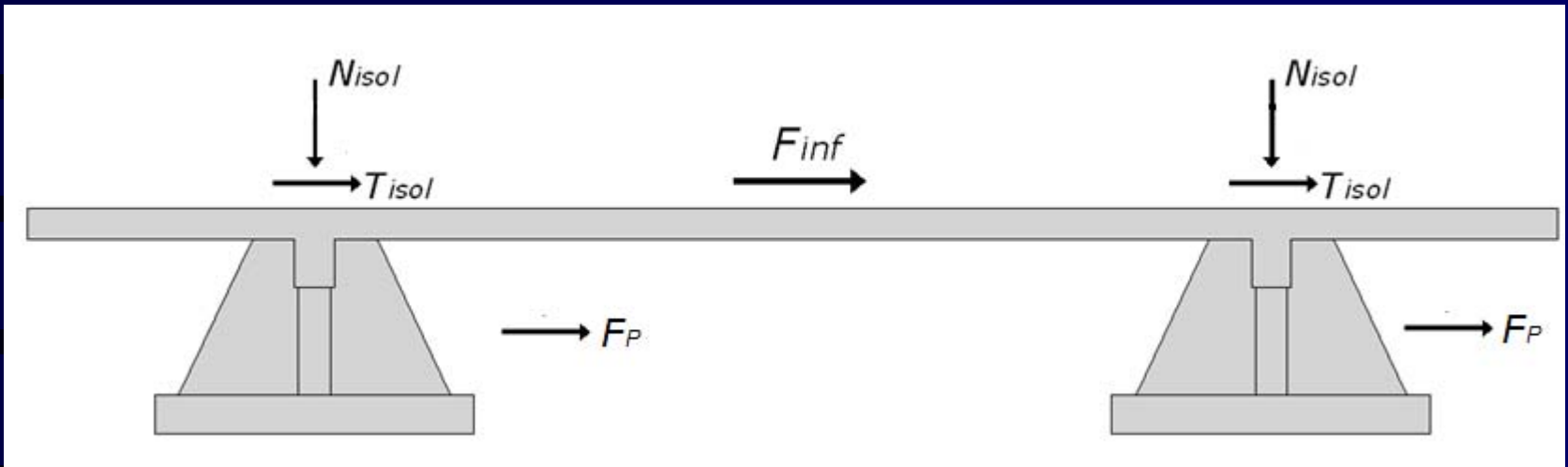
Lo spostamento δ_2 relativo all'isolatore a scorrimento si verifica solo se la forza di scorrimento è superiore alla forza resistente data dall'attrito dell'isolatore stesso.

Nel nostro caso ipotizziamo che lo sforzo normale che genera attrito sia dato dai soli pesi propri permanenti.

$$F_{res} = \mu \cdot N = 77,1kN > F_{1,vento}$$

Nel nostro caso non si ha spostamento dell'isolatore sotto l'azione del vento.

VERIFICA DELLA SOTTOSTRUTTURA



Le forze d'inerzia sui plinti e sulla soletta si determinano considerando tali elementi come infinitamente rigidi e quindi come $accelerazione \times massa$!

ANALISI NON-LINEARE

REXEL v 3.5 (beta)

File Database Output About References

REXEL v 3.5 (beta)

Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures
(c) Iunio Iervolino, Carmine Galasso and Eugenio Chioccarelli, 2008-2013
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy.

1. Target Spectrum

Italian Building Code 2008

ag [g] 0.17

Longitude [°] 10.688219

Latitude [°] 43.899826

Map

Site class EC8 B

Topographic category T1

Nominal life 50 yea...

Functional type III

Limit state SLV (...)

Horizontal Vertical

Disaggregation for (Italian sites) Sa(1s)...

Conditional hazard for (Italian sites) IDPGA

3. Spectrum matching

Lower tolerance [%] 10

Upper tolerance [%] 30

T1 [s] 0.15

T2 [s] 3

Plot spectral bounds

4. Analysis options

Scaled records
(PGA-normalized records' search)

I'm feeling lucky
(Returns only the first combination found)

Set size

Individual record

7 records

30 records

1 component

2 components

3 components

NEW SEARCH EXIT

2. Preliminary database search

Based on M, R

M minimum 4.5 M maximum 6.5

R minimum [km] 0 R maximum [km] 30

T [s] 1

Epsilon minimum -3 Epsilon maximum 3

Database European Strong-motion Data...

Site class Same as target spectrum

records: 2x 250

events: 153

Check database Preliminary plot

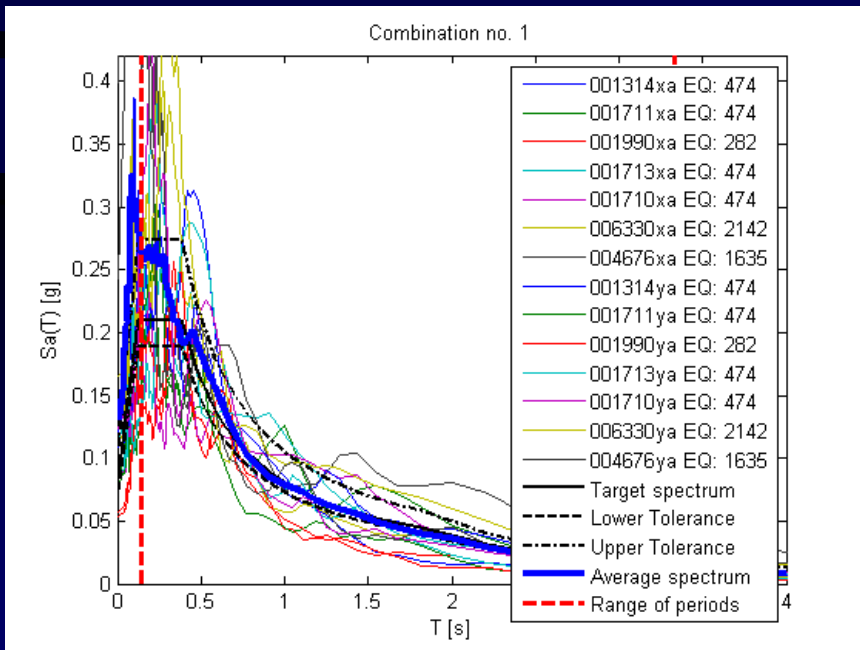
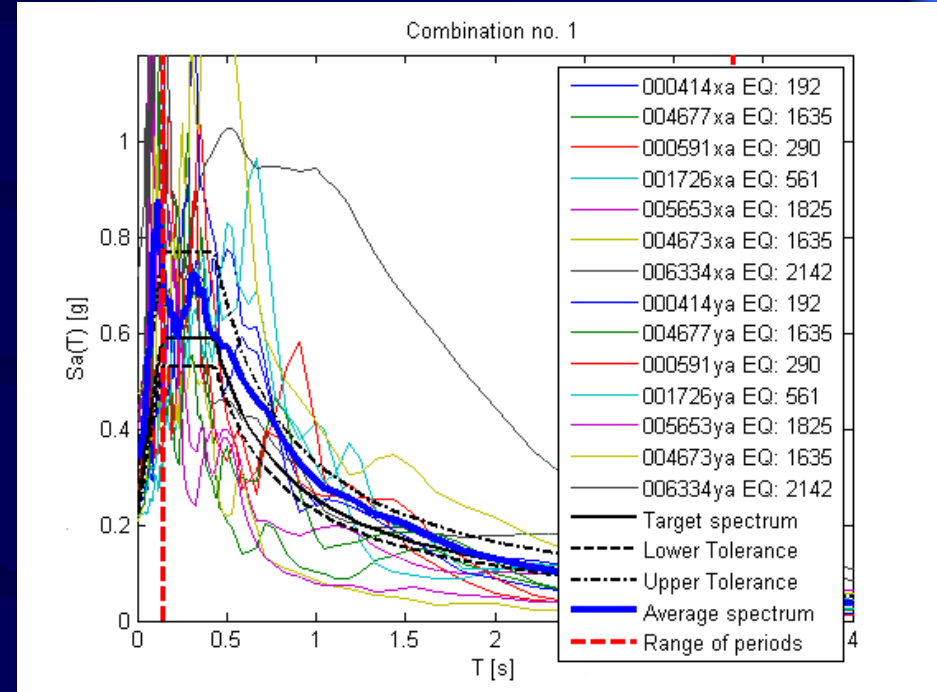
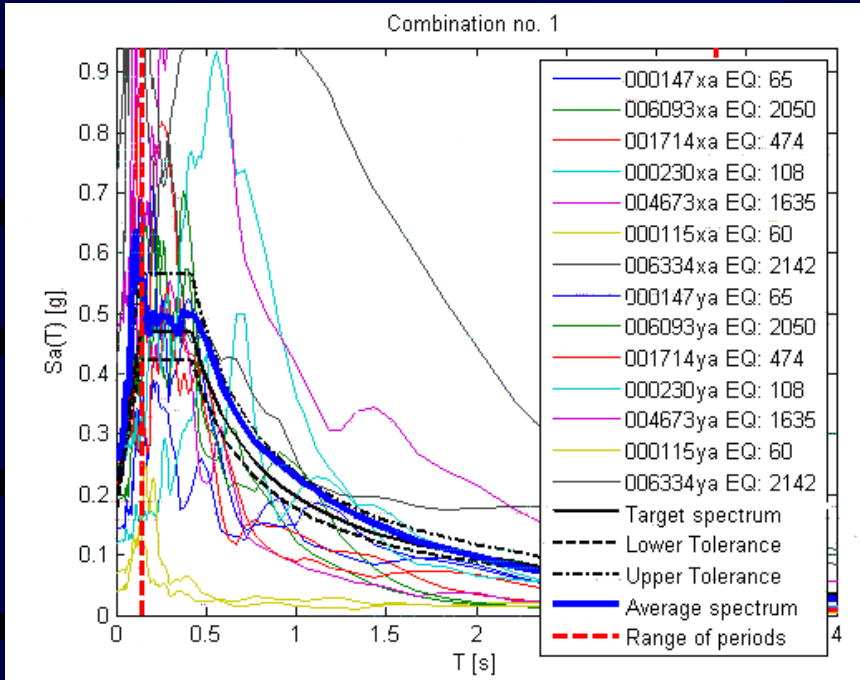
Acceleration elastic response spectrum

Sa(T) [g]

T [s]

horizontal component, $T_R = 712$ years, $\xi = 5\%$

SLV



SLC

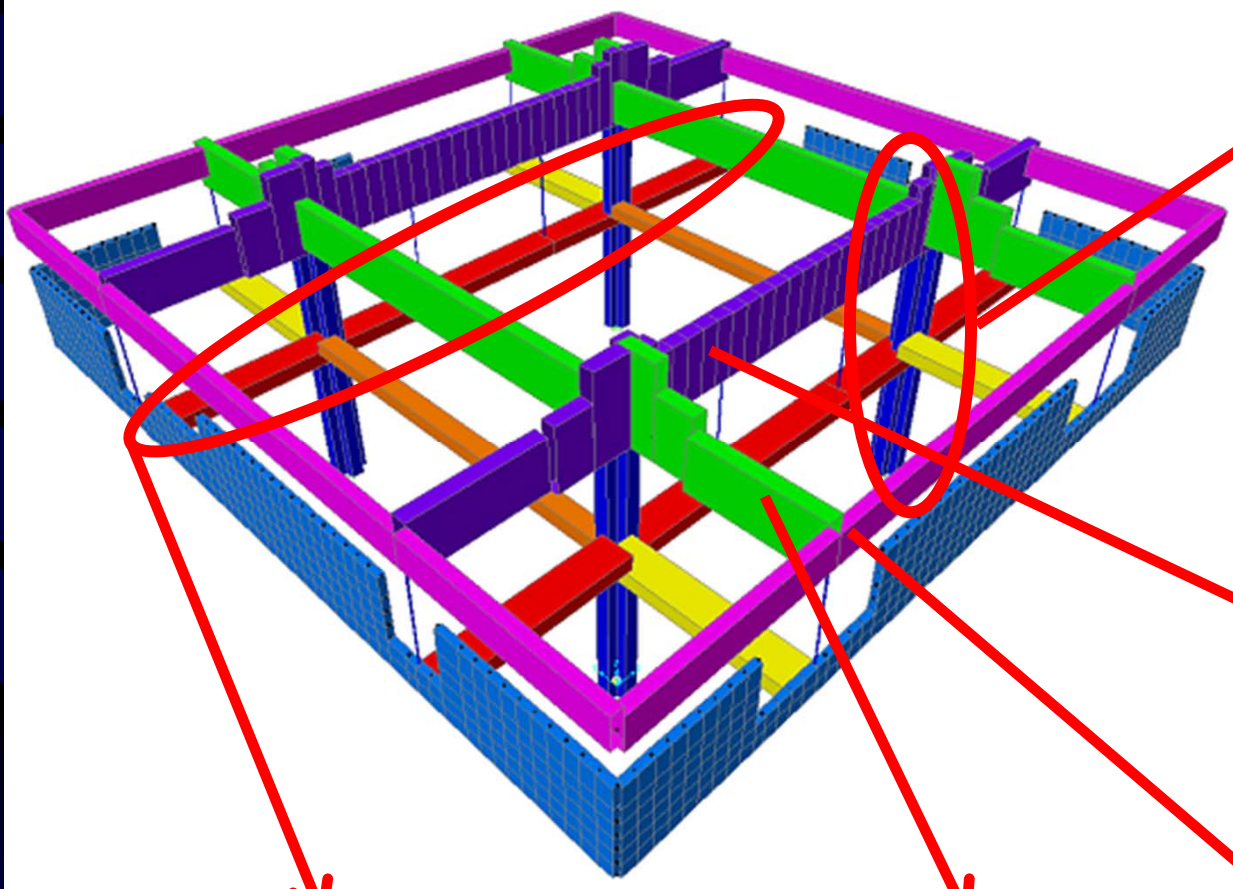
SLD

Analisi con accelerogrammi: sollecitazioni elementi principali

	N_{Ed} (kN)	$M_{X,Ed}$ (kNm)	$M_{Y,Ed}$ (kNm)	V_{Ed} (kN)
<i>Pilastro piano terra</i>	2666 (2696)	<u>631</u> (574)	<u>244</u> (159)	<u>235</u> (192)
<i>Pilastro piano primo</i>	<u>1934</u> (1818)	<u>776</u> (667)	<u>381</u> (321)	226 (232)
<i>Trave piano primo (100x45)</i>		<u>143</u> (135)		<u>204</u> (193)
<i>Trave copertura (40x180 mezzeria)</i>		168 (199)		
<i>Trave copertura (40x280 estremità)</i>		1122 (1239)		603 (607)
<i>Trave copertura (30x85)</i>		187 (197)		89 <u>(88)</u>
<i>Trave perimetrale (20x70)</i>		110 (114)		210 <u>(195)</u>

I valori (...) sono i corrispondenti ottenuti con l'analisi dinamica lineare

Coefficienti di sicurezza per flessione e taglio o
pressoflessione e taglio della struttura con isolatori
sismici (fra par.si i risultati da analisi dinamica li.re)



Pilastro a croce:

Piano terra

Prex-flex = 0.38 (0.42)

Taglio = 0.52 (0.43)

Piano primo

Prex-flex = 0.70 (0.74)

Taglio = 0.51 (0.53)

Trave copertura:

Sez. mezzeria (40*180)

Flessione = 0.07 (0.10)

Sez. estremità (40*280)

Flessione = 0.28 (0.22)

Taglio = 0.47 (0.48)

Trave piano primo (100*45):

Flessione = 0.34 (0.48)

Taglio = 0.58 (0.56)

Trave copertura (30*85):

Flessione = 0.54 (0.45)

Taglio = 0.23 (0.24)

Trave perimetrale (20*70):

Flessione = 0.44 (0.34)

Taglio = 0.89 (0.83)

Verifica degli spostamenti allo SLD

	<i>Analisi dinamica</i> d_r	<i>Analisi con accelerogrammi</i> d_r	h	$2/3 \cdot 0,01 \cdot h$	<i>Esito verifica</i>
<i>Piano terra</i>	3,9 mm	3.7 mm	4750 mm	31,6 mm	OK
<i>Piano primo</i>	3,1 mm	1,7 mm	4100 mm	27,3 mm	OK

Verifica degli spostamenti allo SLC

$$d'_{SLC} = 82\text{mm} < 150\text{mm}$$

con analisi dinamica lineare

$$d'_{SLC} = 141\text{mm} < 150\text{mm}$$

con analisi dinamica non lineare

CERTIFICAZIONE

MARCATURA CE E RELATIVE INFORMAZIONI (EN 15129 ALLEGATO ZA.3)

CONFOR
Opera: RECUPERO E CONSOLIDAMENTO
DELL'EX
PRETURA DI PESCIA (PT)



1835 - CPD - 0013

UNI EN 15129:2009

Isolatore a pendolo per utilizzo in edifici e opere di
ingegneria civile nei quali i requisiti sui singoli dispositivi
sono critici

Isolatore a pendolo

Caratteristiche come da Allegati Costruttivi Generici-
e norme nazionali applicabili

ELEMENTO DI SCORRIMENTO

Geometria (come nei disegni o nella descrizione allegati)

N°	TIPO	DISEGNO	Numeri Seriali
	<i>Type</i>	<i>Drawings</i>	<i>Serial numbers</i>
4	L 760/300	A37219	2193854/857

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le normative utilizzate come linee guida per la stesura della presente istruzione sono le seguenti:

CNR 10018	ed. 1998	Apparecchi d'appoggio per le costruzioni
UNI EN 1337-11	Luglio 1999	Appoggi strutturali - Trasporto, immagazzinamento ed installazione
UNI EN 15129	Dic. 2009	Dispositivi antisismici
DM 14/01/2008		Norme Tecniche per le Costruzioni

I

ISPEZIONE DEGLI ISOLATORI

La condizione degli isolatori di una struttura deve essere controllata visivamente, almeno con la frequenza dell'ispezione periodica della struttura. Gli isolatori devono essere puliti, se necessario, per consentire a un ispettore di svolgere tale compito.

Gli isolatori devono essere ispezionati dopo eventuali collisioni accidentali con la struttura, per esempio qualora un veicolo di altezza superiore vada a collidere con l'impalcato di un ponte, oppure in seguito ad un evento eccezionale come un terremoto, un'alluvione, una frana, etc.

ISPEZIONE PERIODICA

La frequenza delle ispezioni indicate nell'Allegato 1 si riferisce ad attività di *Ispezione Principale*. *Ispezioni Periodiche* più frequenti dovrebbero essere eseguite dall'Autorità che cura la manutenzione ogni qual volta sia possibile (per esempio contemporaneamente alle attività di ordinaria manutenzione).

ISPEZIONE PRINCIPALE

Le ispezioni principali devono essere effettuate agli intervalli definiti in Allegato 1, meno frequenti rispetto alle ispezioni periodiche e generalmente sostituiscono una di esse. Tali ispezioni devono avere come risultato una registrazione precisa della condizione dell'isolatore e, se adeguatamente interpretate e rispettate, assicurano che l'isolatore conservi la sua funzionalità fino alla successiva ispezione principale.

L'ispezione principale deve includere tutti i punti specificati per l'ispezione periodica ma in modo più dettagliato e preciso. I punti particolarmente importanti da ispezionare sono riportati in Allegato 1, nel quale sono indicate anche le dimensioni principali da registrare per questo tipo di isolatore. Esse devono essere misurate con il solo peso proprio agente sulla struttura. Qualora ciò non sia possibile devono essere forniti i dettagli del carico accidentale nel modo più preciso possibile.

VITA UTILE

In accordo con la normativa europea EN 1990:2002 (E), § 2.3, Table 2.1, la vita utile di progetto degli isolatori è specificata pari a 25 anni. Al termine della vita utile, si consiglia di ripetere le prove di accettazione effettuate al momento della fornitura su almeno una coppia di isolatori, previa loro sostituzione provvisoria. Sulla base dei risultati di tali prove, in confronto con i risultati delle prove iniziali, sarà stabilito se la vita utile può essere prolungata (ed in tal caso di quanto), se sono necessarie prove su un numero maggiore di isolatori, o se è necessaria la sostituzione degli isolatori stessi.

SOSTITUZIONE DI UN ISOLATORE

La sostituzione degli isolatori o di parti di essi deve essere effettuata in modo da evitare qualsiasi danno alla struttura. La sostituzione di un isolatore è un'operazione che richiede il trasferimento temporaneo delle azioni verticali agenti sul dispositivo. Tali azioni possono essere trasferite direttamente dai martinetti alla sottostruttura o indirettamente, disponendo i martinetti su un'opportuna struttura provvisoria di contrasto.

ALLEGATO 1. ATTIVITÀ DI ISPEZIONE

COSA ISPEZIONARE?	FREQUENZA	COSA CERCARE	ATTREZZATURA	LIVELLO DI ACCETTABILITA'	AZIONI NEL CASO DI NON CONFORMITA'	NOTE
Protezione parapolvere	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Danneggiamenti	Controllo visivo	Nessun danneggiamento	Sostituire la protezione danneggiata	
Spostamento	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Scala di misura / Posizione relativa tra la piastra superiore ed inferiore	Controllo visivo / metro	1) movimenti di traslazione indicati dal progettista 2) nessuna anomalia nella posizione reciproca	Verificare con l'ufficio tecnico dell'ente gestore dell'opera	
Rotazione	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Spazio libero di rotazione	calibro	Rotazioni indicate dal progettista	Verificare con l'ufficio tecnico dell'ente gestore dell'opera	
Sporgenza del PTFE (solo isolatori con superficie di scorrimento piana)	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Spazio libero tra l'appoggio e l'acciaio inox	Calibro	Maggiore di 0,5 mm	Ispezioni più frequenti	Se si riscontra un contatto tra sede in acciaio del PTFE e la lamiera di scorrimento inox, allora bisogna provvedere alla sostituzione del foglio di PTFE
Lamiera di acciaio inox	prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	1) Rigature della superficie 2) Pulizia 3) Planarità (solo se piana)	1) Controllo visivo 2) Controllo visivo 3) Livella	1) Nessuna rigatura 2) è accettabile un leggero e facilmente rimovibile deposito di polvere, non delle incrostazioni indurite 3) 0,5 %	1) Sostituzione della lamiera inox 2) Pulizia della lamiera inox 3) Sostituire piano di scorrimento	Spesso problemi di planarità dell'elemento di scorrimento sono causati da danneggiamento e/o degrado delle strutture adiacenti (per es.: presenza di vespai nel baggiolo, etc.)

COSA ISPEZIONARE?	FREQUENZA	COSA CERCARE	ATTREZZATURA	LIVELLO DI ACCETTABILITA'	AZIONI NEL CASO DI NON CONFORMITA'	NOTE
Protezione anticorrosiva	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Macchie di ruggine	Controllo visivo	Estensione del difetto inferiore al 5% della superficie totale	Ritoccare la verniciatura	L'obiettivo è quello di riparare qualsiasi difetto della verniciatura prima dell'innesco di una sostanziale corrosione del supporto metallico
Viti ed elementi di fissaggio	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Serraggio delle viti (se previsto)	Chiavi opportune	Nessun elemento di fissaggio o viti non ben fissato	Rifissare / ripristinare il serraggio dinamometrico	Qualsiasi forma di ancoraggio deve essere controllata per impedire che diventi lasca o addirittura inattiva
Danni alle parti metalliche	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni quattro anni	Distorsioni / qualsiasi danneggiamento generale	Controllo visivo	Nessun danno	1) Riparare / sostituire le parti danneggiate 2) Ispezioni più frequenti della struttura per possibili anomalie	Tutte le parti di acciaio devono essere controllate evidenziando qualsiasi segno di distorsione dovuto a sovraccarico e per qualsiasi altro segnale di danneggiamento
Condizioni degli elementi strutturali adiacenti	Prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Fessure nel materiale di allettamento / cedimenti	Controllo visivo		Ispezioni più frequenti della struttura per possibili anomalie	In parecchi casi la prima indicazione del malfunzionamento di un isolatore è l'insorgere di danni alle strutture adiacenti. È pertanto importante controllare anche le strutture adiacenti ad ogni ispezione degli isolatori e riportarne lo stato

COSA ISPEZIONARE?	FREQUENZA	COSA CERCARE	ATTREZZATURA	LIVELLO DI ACCETTABILITA'	AZIONI NEL CASO DI NON CONFORMITA'	NOTE
Varie	prima ispezione dopo un anno, poi ogni due anni	Rumori non preventivati, sporcizia, etc.	Controllo visivo		Ispezioni più frequenti della struttura per possibili anomalie	Qualsiasi condizione di interesse non richiamata da una specifico capoverso deve comunque essere segnalata e registrata. Un rumore non preventivato associato con il passaggio del traffico o anomalie similari ne possono essere un esempio. Si dovrebbero anche fare dei commenti, qualora questi possano aiutare nell'interpretazione dei dati raccolti nell'ispezione o, nel momento in cui è stata eseguita un'ispezione successiva, guidare l'ispettore verso i possibili punti di debolezza.

COSTI

Il costo del solo intervento strutturale è stato pari a circa

€ 140'000.00

Incidenza al mq → c.a. €/m² 130.00

Incidenza al mc → c.a.€/m³ 20

Grazie per l'attenzione!!!