



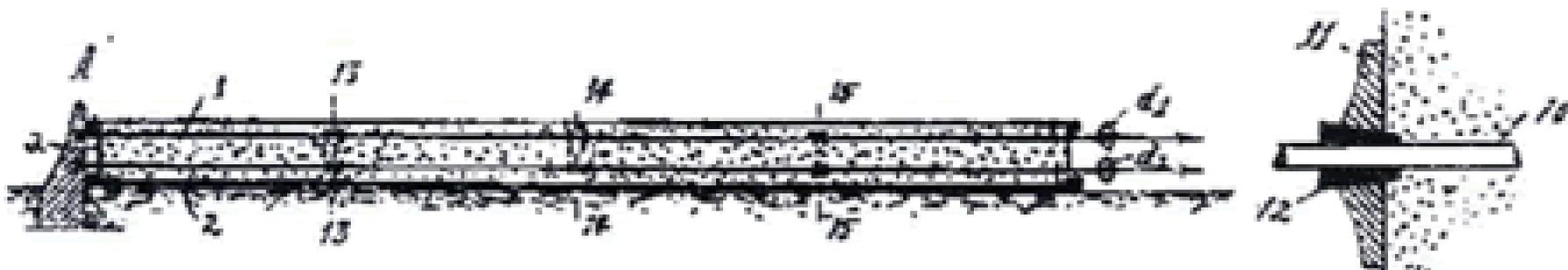
POST TENSIONING

**Where the Creativity meets
the Strength**

DALL'IDEA ALLA PRATICA REALIZZAZIONE



L'idea di Freyssinet consisteva nel pretensionare barre di acciaio di elevate prestazioni ad oltre 4.000 kg/cm^2 , prima di colare il calcestruzzo entro la cassaforma, con sistemi di ancoraggio dei cavi formati da piattello conico e cunei.



E. Freyssinet, J. Seailles, Brevet d'Invention n. 680.547, Procédé de fabrication de pièces en béton armé, 2 ottobre 1929, Parigi, dettaglio del sistema di tensionamento dei cavi e del sistema di ancoraggio con piattello conico e cunei metallici.

Il sistema della post-tensione – con i cavi inseriti in guaine sarà brevettato da Freyssinet solo nel 1940

DALL'IDEA ALLA PRATICA REALIZZAZIONE

Tra i ricercatori che più contribuirono alla diffusione della tecnica si devono ricordare:

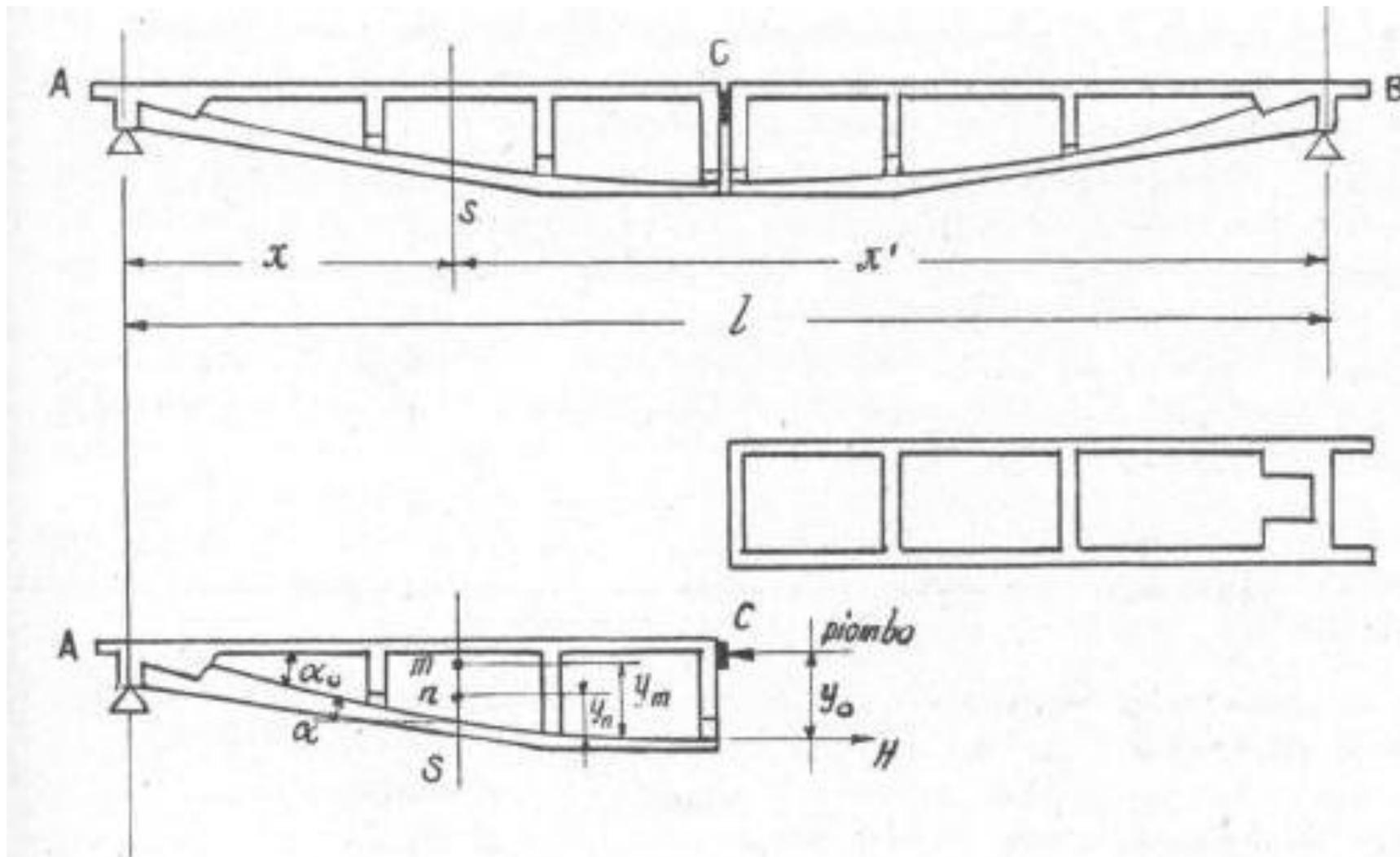
“ in Francia; **Lossier**, **Lebelle** e **Guyon** (di cui si ricorda il *fuso di Guyon*, ancora oggi ampiamente insegnato nelle Accademie) solo per citare i più illustri;

“ in Belgio: **Magnel**, progettista d'importanti opere, che ideò un efficace sistema d'ancoraggio;

“ in Germania: **Hoyer** usò fili di acciaio vincolati per aderenza al calcestruzzo per trasmettere la precompressione all'elemento strutturale, eliminando così il costo degli apparecchi di ancoraggio.

“ in Germania: **Mörsch**, **Dischinger** e **Finsterwalder** applicarono, con nuovi indirizzi, la tecnica ai ponti.

DALL'IDEA ALLA PRATICA REALIZZAZIONE



Trave Finsterwalder in cemento armato precompressa con cavi esterni.

La tecnologia della Post-Tensione nell'Ingegneria moderna

In molte strutture oggi, l'incremento dell'uso della PT ha conferito nuove libertà per concepire forme precedentemente considerate non economiche e infattibili o indebitamente ingombranti per resistere ai carichi. Forme curvilinee hanno prodotto un nuovo vocabolario per l'architettura che nei decenni precedenti sarebbero stati impensabili e impraticabili.



L'uso della precompressione è stato anche un ottimo strumento per conferire alle superfici in cls la proprietà di impermeabilità senza applicare guaine di protezione poiché il cls è tenuto costantemente compresso e resistente alla fessurazione che conduce al deterioramento delle strutture nel tempo.

La tecnologia della Post-Tensione nell'Ingegneria moderna

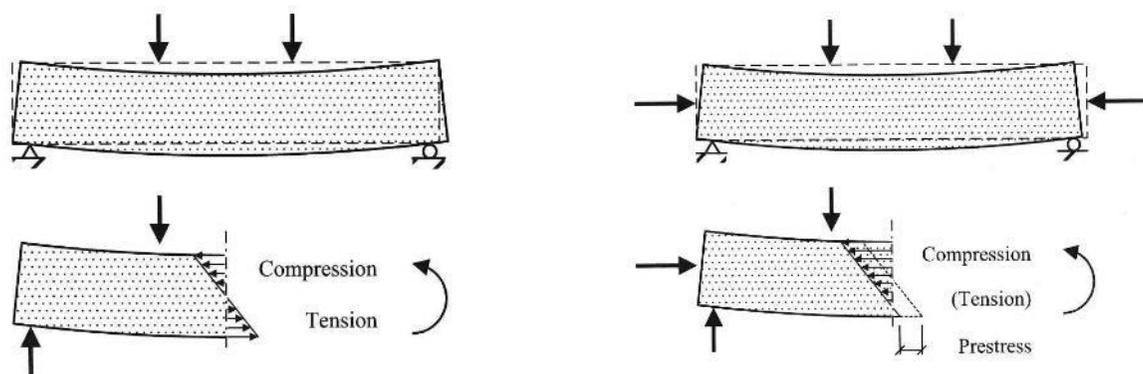


La tecnologia della Post-Tensione nell'Ingegneria moderna

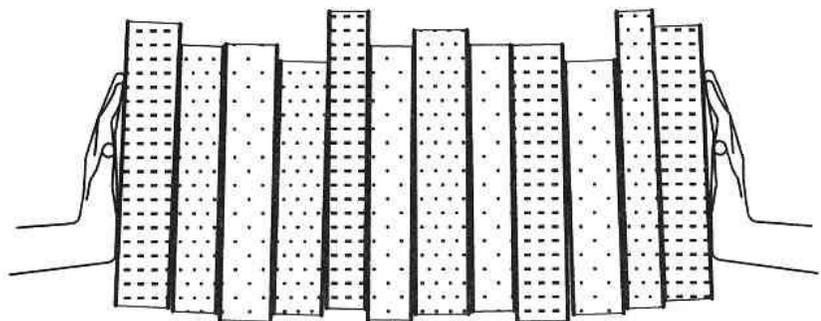
Lo sviluppo della tecnologia della precompressione ha certamente costituito una dei più importanti miglioramenti nel campo dell'ingegneria strutturale e delle costruzioni. Facendo riferimento alla post-tensione, è generalmente riconosciuto come essa apra la possibilità ad ottimizzazioni economiche nella realizzazione delle strutture, che al miglioramento del loro comportamento strutturale ed estetico.



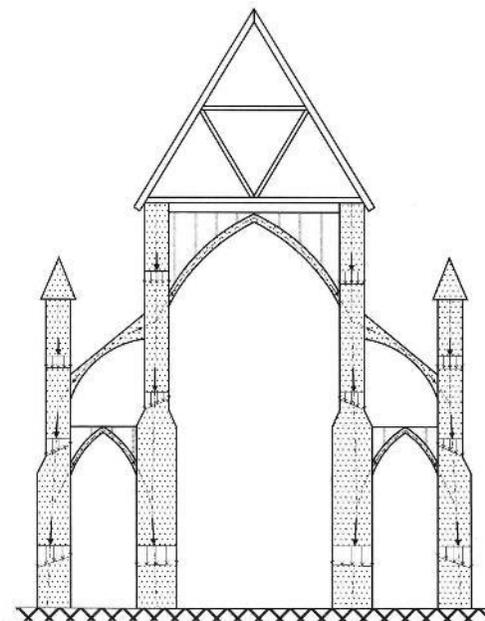
La Post-Tensione negli edifici



Se il materiale ha una bassa resistenza a trazione (murature o calcestruzzo non armato) la capacità portante risulta corrispondentemente bassa. Una via per compensare questa mancanza è quella di applicare una forza di compressione agli elementi. Ciò incrementa le tensioni di compressione da una parte e riduce od elimina quelli di trazione. In questo caso una «struttura» con zero resistenza a trazione si comporta come una trave portando il suo peso proprio.

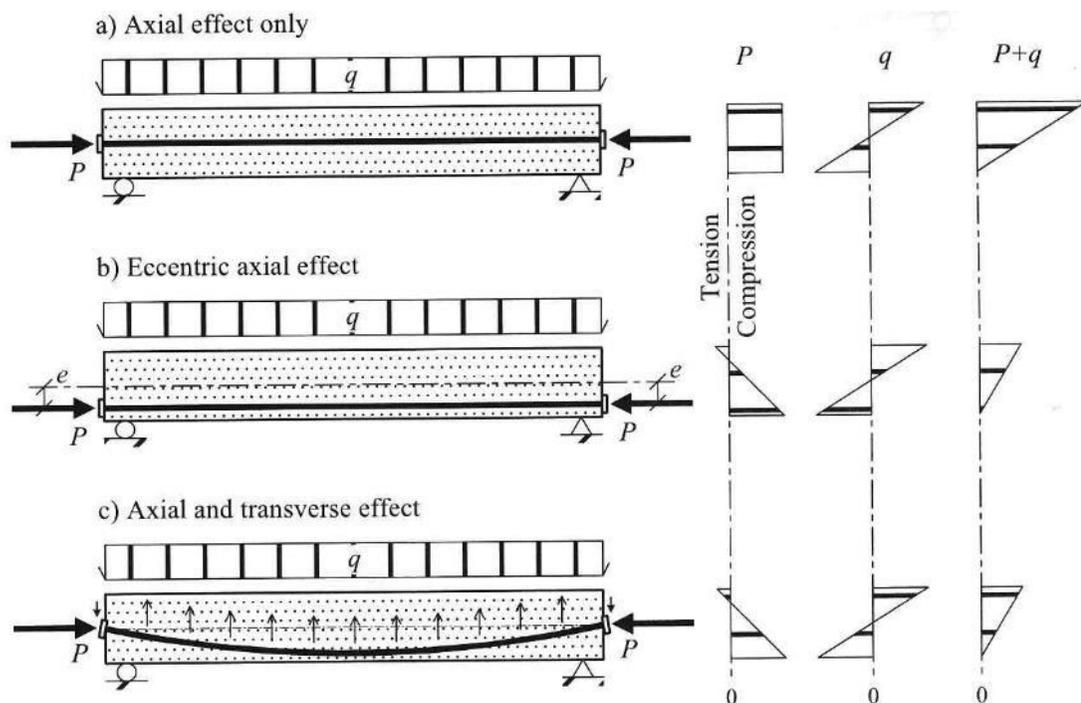


La tecnica di compensare la bassa resistenza a trazione con forze di compressione è stata usata da secoli nelle strutture murarie portanti carichi verticali ed orizzontali provenienti dagli archi. I carichi orizzontali causano flessione nelle colonne. Poiché la resistenza a trazione della muratura è bassa, talvolta è richiesto un incremento di peso sulle colonne per ridurre e eliminare le tensioni di trazione.



La Post-Tensione negli edifici

Nelle moderne strutture in c.a. le tensioni di trazione sono assorbite dalle armature. Tuttavia esse lavorano solo a prezzo di fessurazioni delle sezioni in c.a. Esse possono spesso essere accettate ma per varie ragioni è desiderabile prevenirle o almeno ridurle.



La «pre» o «post» sollecitazione è una via per contrastare gli effetti dei carichi esterni utilizzando dei cavi a trefoli che vengono tesati prima dell'applicazione del carico esterno sulla struttura.

L'effetto dei cavi è duplice, assiale e trasversale. L'effetto assiale crea compressione al cls, generato dagli ancoraggi che bloccano i trefoli. L'eccentricità dei cavi rettilinei causa un effetto flessionale costante, mentre i cavi a profilo parabolico introducono effetti trasversali che possono essere progettati per controbilanciare più o meno i carichi esterni con effetti di flessione taglio e forza assiale. Gli effetti trasversali della post-tensione portano una aliquota dei carichi direttamente sugli appoggi.

Per i carichi rimanenti la struttura avrà incremento di resistenza a:

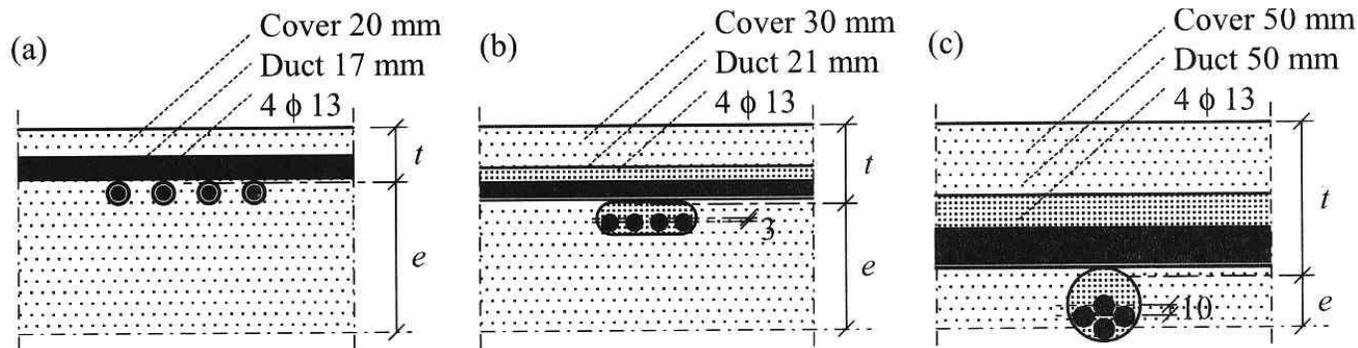
- Taglio
- Torsione
- Punzonamento

La Post-Tensione negli edifici: la scelta tecnologica del tipo di cavo.

Scorrevole o aderente?

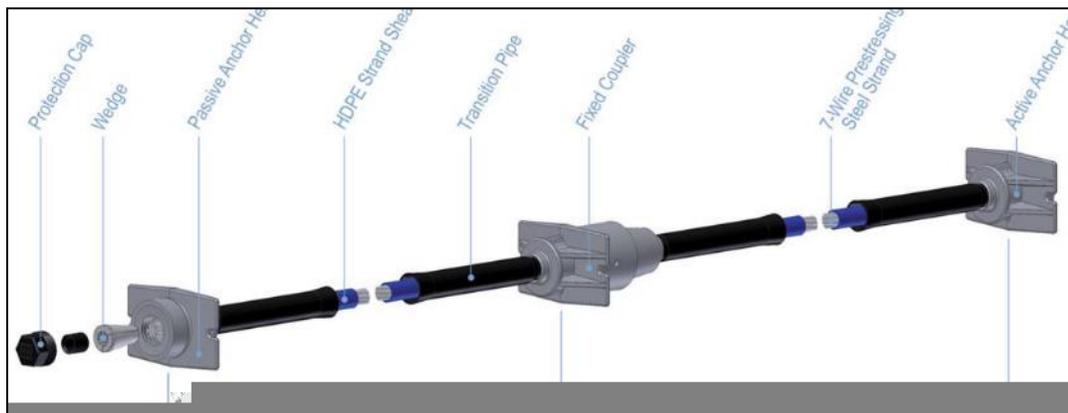
La post-tensione con cavi scorrevoli (Unbonded) offre i seguenti vantaggi:

- I cavi sono ricoperti con una guaina plastica che ha un ingombro minore rispetto ai condotti metallici da iniettare a fine tesatura (generalmente utilizzati per la post-tensione di ponti e viadotti). Essi possono essere installati anche vicino alla superficie del getto.
- Non è richiesto un copriferro per la protezione alla corrosione poiché sono costruiti con doppia protezione corrosiva e oltretutto non richiedono aderenza al cls
- Per la loro tesatura si possono utilizzare martinetti monotrefolo, più leggeri e maneggevoli



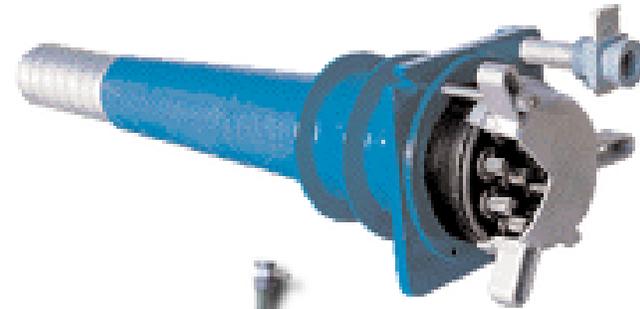
Per una piastra con spessore $h=280\text{mm}$

- $e = h/2 - t = 140 - 20 - 17 = 103\text{mm}$
- $e = h/2 - t = 140 - 30 - 21 - 3 = 86\text{mm}$
- $e = h/2 - t = 140 - 50 - 50 - 10 = 30\text{mm}$



Il sistema di Post-Tensione

MTAI internal postensioning system – live end



MTAIM - dead end



MTG - couplers



MTAIE - external postensioning



MTAID - electrically insulated system



Certificazioni del sistema

<p>Service d'études techniques des routes et autoroutes 46, avenue Aristide Briand BP 100 92 225 BAGNEUX CEDEX Tel : + 33 (0)1 46 11 31 31 Fax : + 33 (0)1 46 11 31 69</p>	 <p>Authorised and notified according to Article 10 of the Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of Member States relating to construction products (88/100/EEC)</p>	 <p>Service d'études techniques des routes et autoroutes</p>
<p>MEMBRE DE L'ETA MEMBER OF EOTA</p>		
<p>Agrément Technique Européen No. ETA-08/0012 (version originale en français) European Technical Approval No. ETA-08/0012 (Original Version in French Language)</p>		
<p>Nom commercial Trade name:</p>	<p>Procédé de précontrainte TENSACCIAI TENSACCIAI Post-tensioning system</p>	
<p>Détenteur de l'ATE Holder of approval:</p>	<p>FINEST S.p.A Via F.Vegazio 15 20149 Milano (Italy)</p>	
<p>Type générique et utilisation prévue du produit de construction Generic type and use of construction product:</p>	<p>Kit de précontrainte de structures par posttension Post-tensioning kit for prestressing of structures</p>	
<p>Valid from: to:</p>	<p>05/03/2008 05/03/2013</p>	
<p>Producteur du procédé: Kit manufacturer</p>	<p>TENSACCIAI S.p.A Via F.Vegazio 15 20149 Milano (Italy)</p>	
<p>Le présent agrément technique européen contient : This European Technical Approval contains:</p>	<p>41 pages comprenant 23 pages d'annexes (dessins) 41 pages including 23 pages of annexes (drawings)</p>	
 <p>Organisation pour l'Agrément Technique Européen European Organisation for Technical Approval</p>		

Tensacciai post-tensioning system
is provided with
European Technical Approval
(E.T.A.)



ETA-08/0012

Certificazioni del sistema

The Approval Body releasing in 2008 the European Technical Approval (E.T.A.) to Tensacciai is the French Authority SETRA (Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) who gave the same approval to almost other European PT Companies.

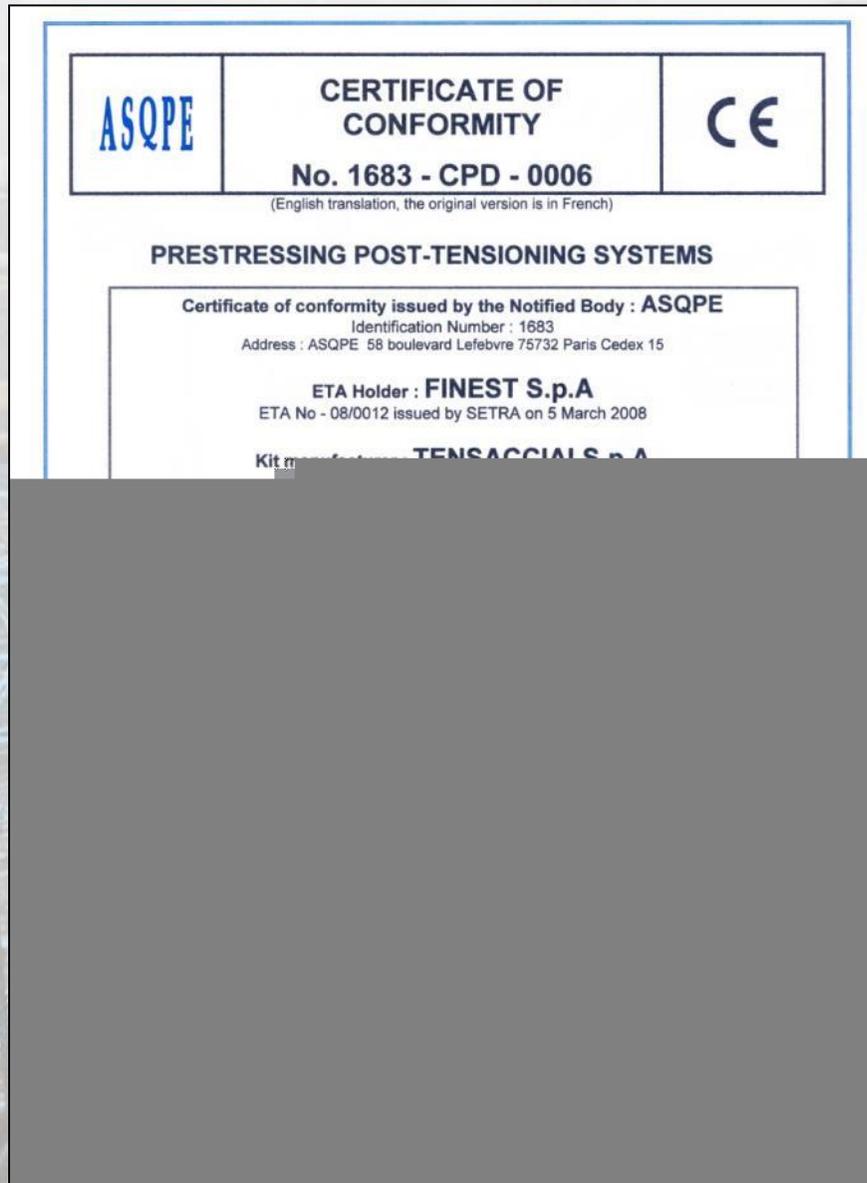


Releasing an E.T.A. **means that the Approval body guaranties that all tests have been satisfactorily performed and acceptance criteria have been met.**

Approval Body keeps copy of all test reports, of technical specifications and construction drawings of products tested.

- Test di fatica
- Test di efficienza
- Test di trasferimento del carico

Certificazioni del sistema



Together with E.T.A.
Tensacciai post-tensioning system
is provided with
certificate of conformity
CE marking

CE

Certificazioni del sistema

The Certification Body releasing in 2008
the CE marking to Tensacciai is

the French Authority ASQPE

(Association pour la Qualification de la
Précontrainte et des Équipements des
Ouvrages de Bâtiment et de Génie Civil)

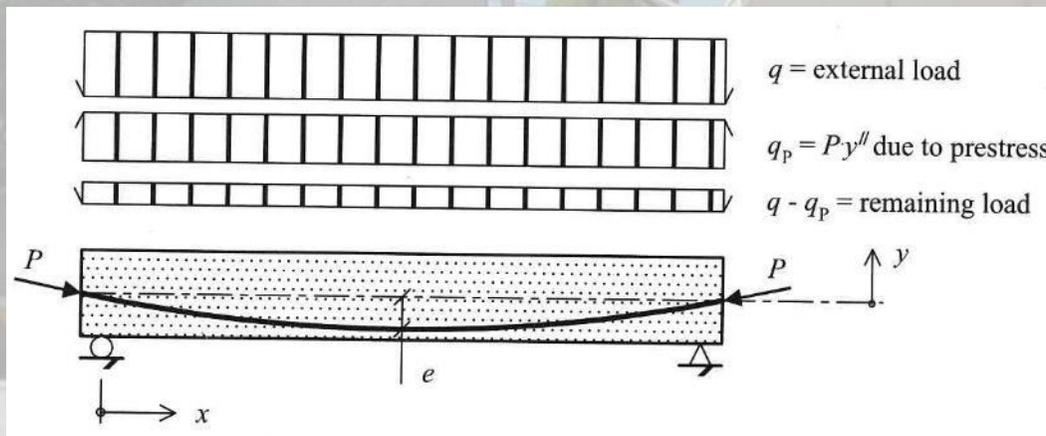
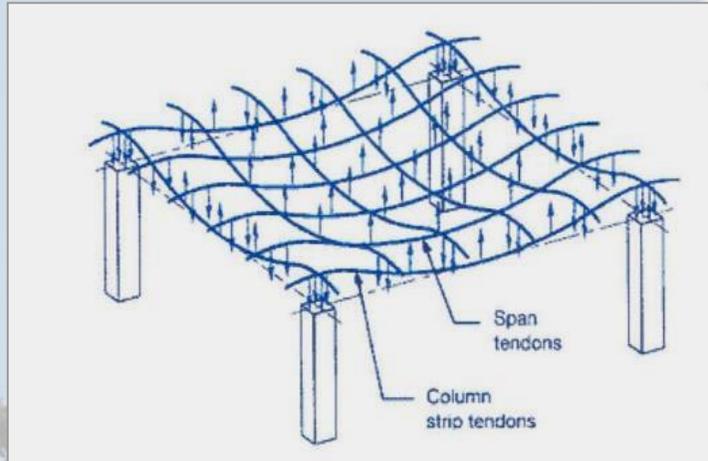
who gave the same certification to
almost other European PT Companies.



Releasing a CE marking certificate **means that the Certification Body guarantees that production and controls are carried out by the company according to ETAG013 requirements.** Certification Body keeps copy of all test reports, of technical specifications and construction drawings of products tested.

La Post-Tensione negli edifici: il bilanciamento dei carichi

E' possibile bilanciare le azioni dei carichi agenti sulla struttura con altre azioni esterne adeguatamente progettate tali da eliminare taglio e flessione, trasformandole in tensione nei cavi e sforzo normale centrato sullo spessore.



$$q_p = \frac{8 P e}{L^2}$$

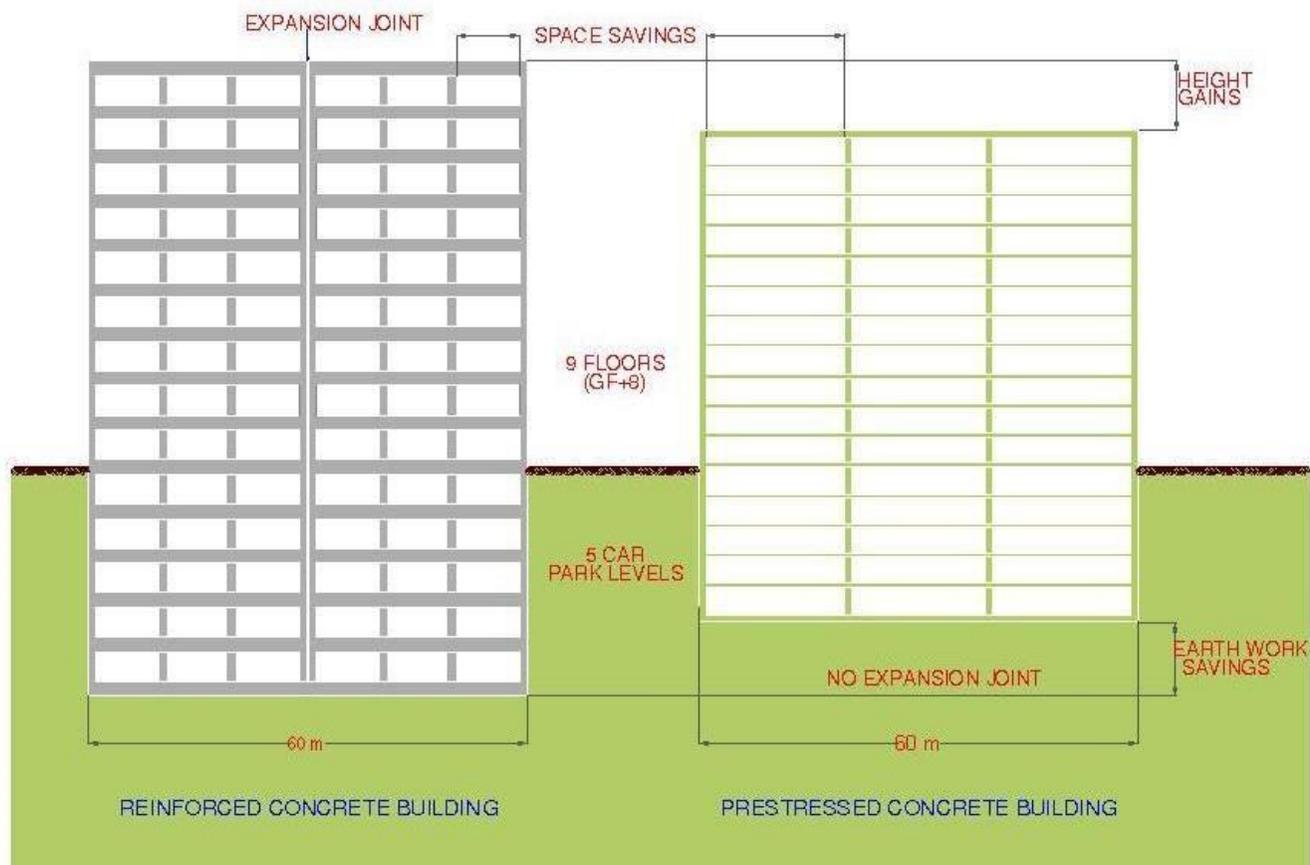
LA STORIA

La Post-Tensione negli edifici: vantaggi



LA STORIA

La Post-Tensione negli edifici: i vantaggi del sistema PT sugli edifici



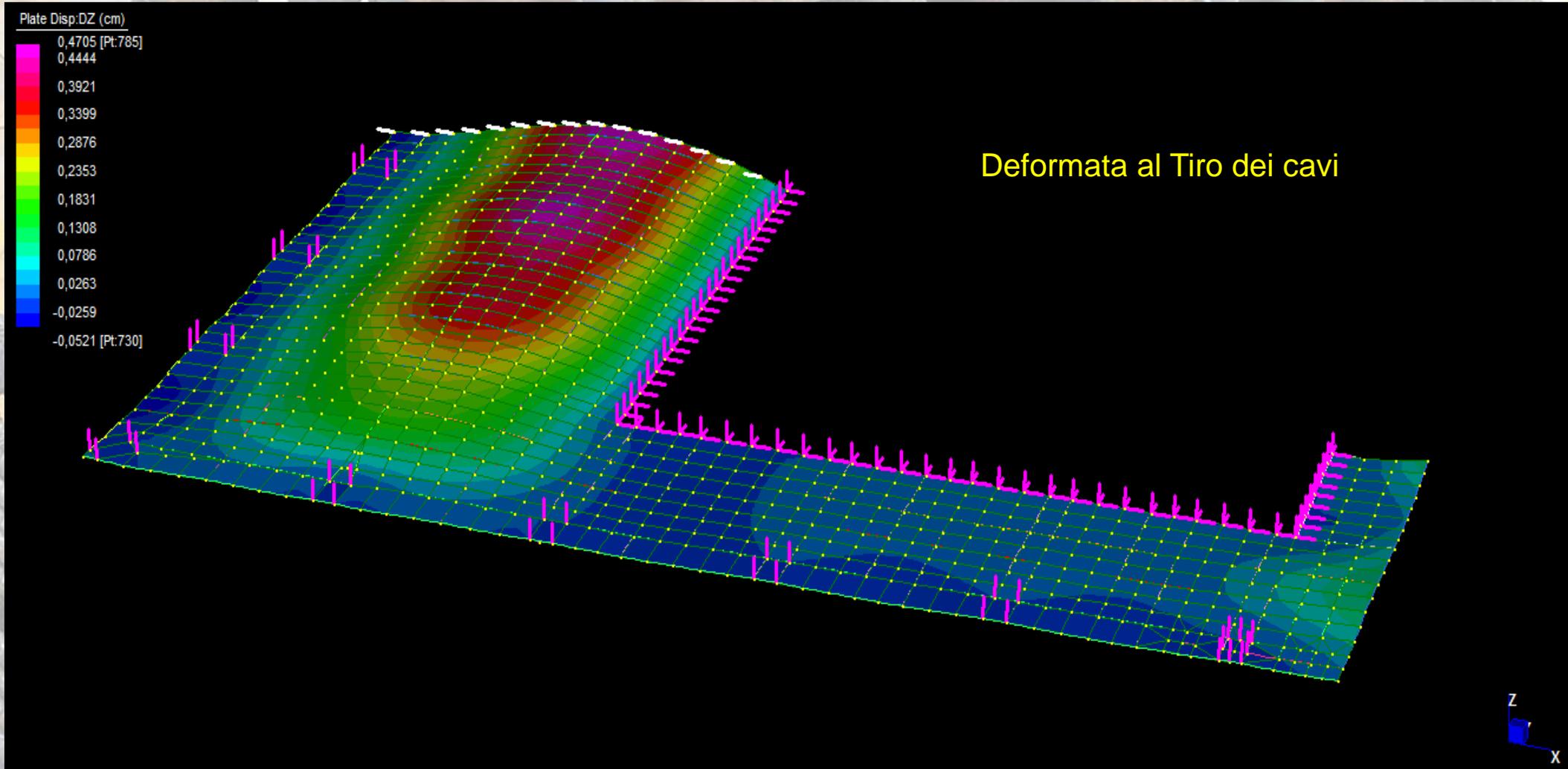
Cantieri: Torre regione Piemonte



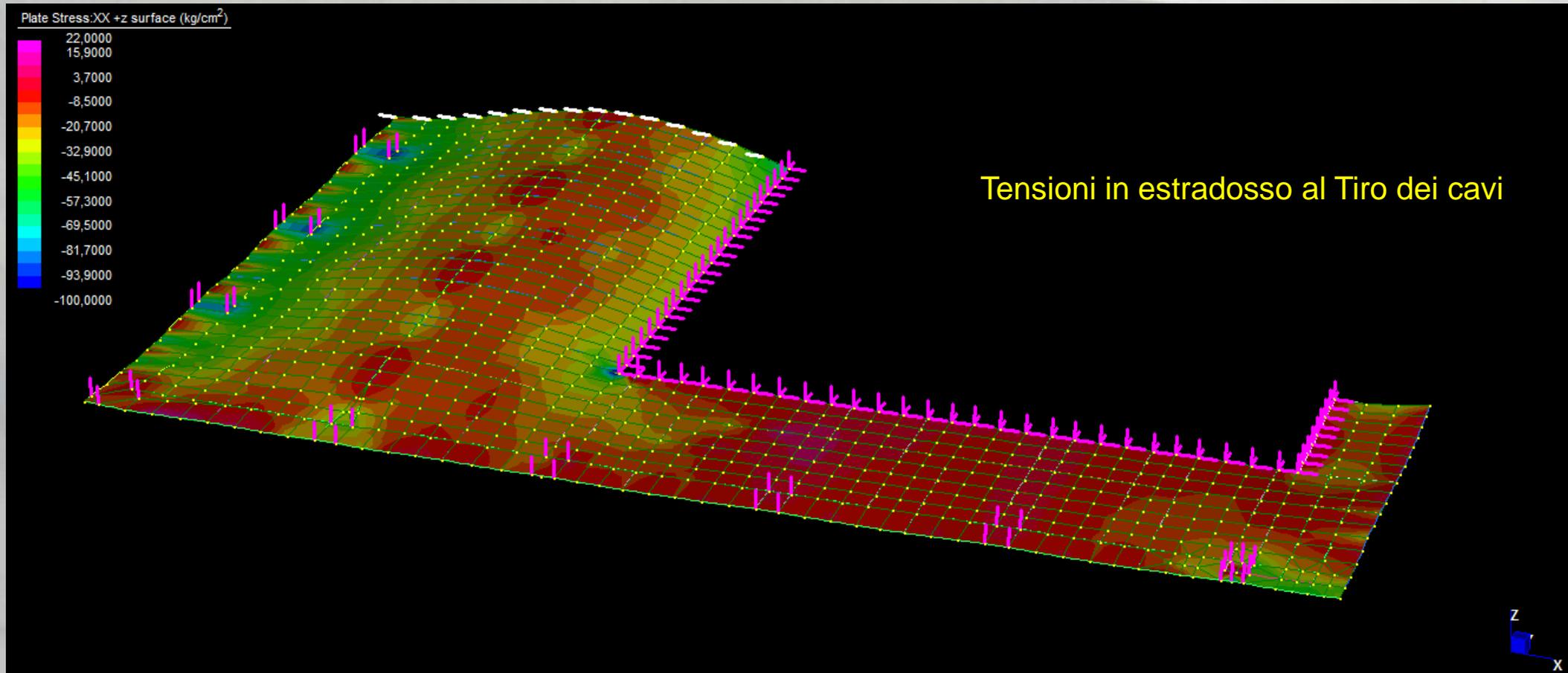
Cantieri: Torre regione Piemonte



Cantieri: Torre regione Piemonte

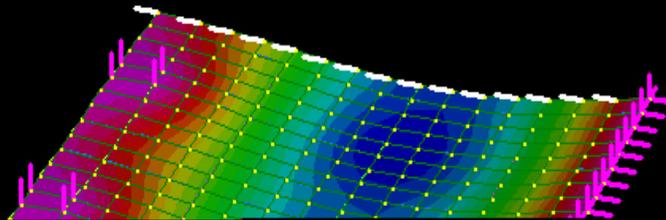
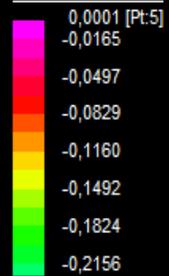


Cantieri: Torre regione Piemonte



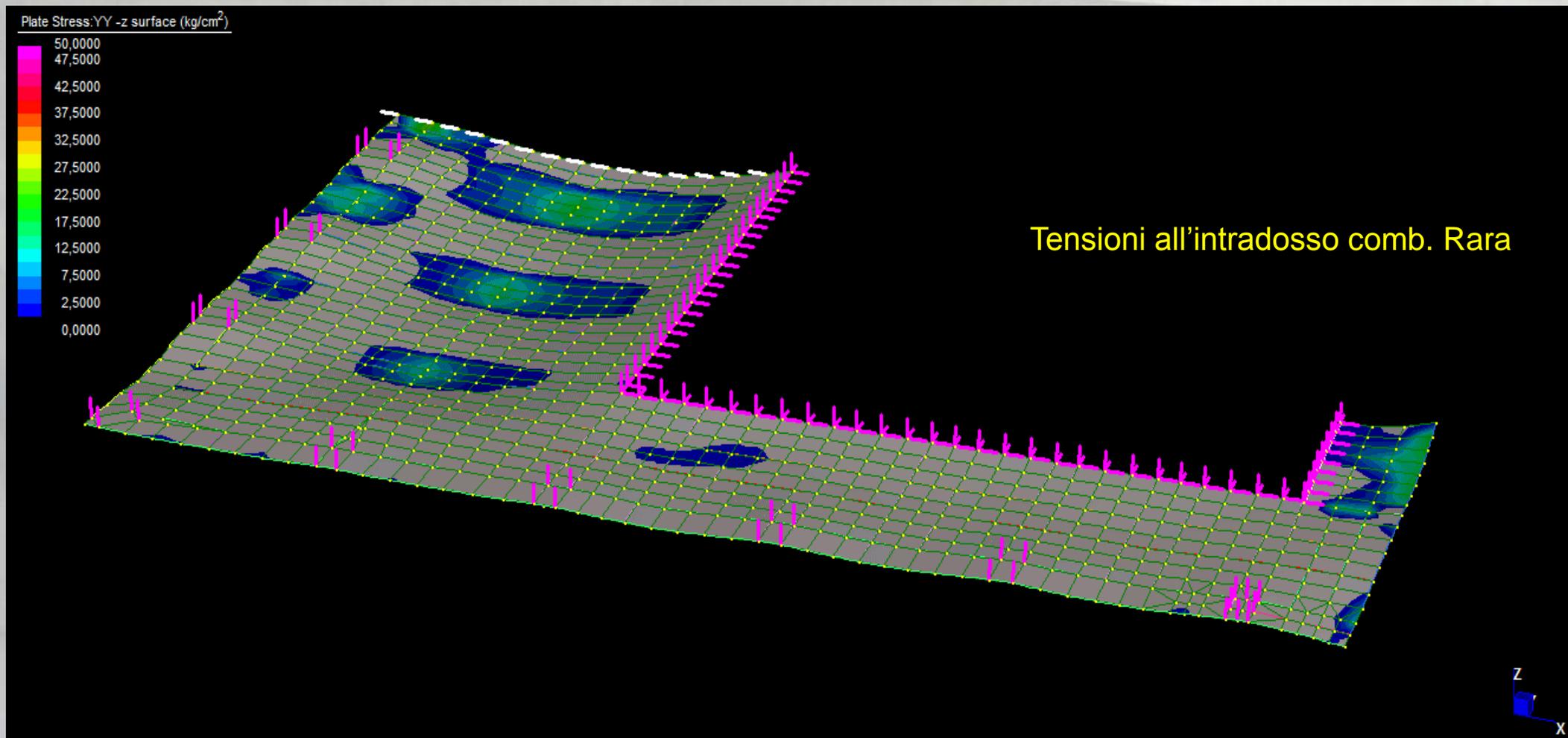
Cantieri: Torre regione Piemonte

Plate Disp:DZ (cm)



Deformazione per combinazione rara

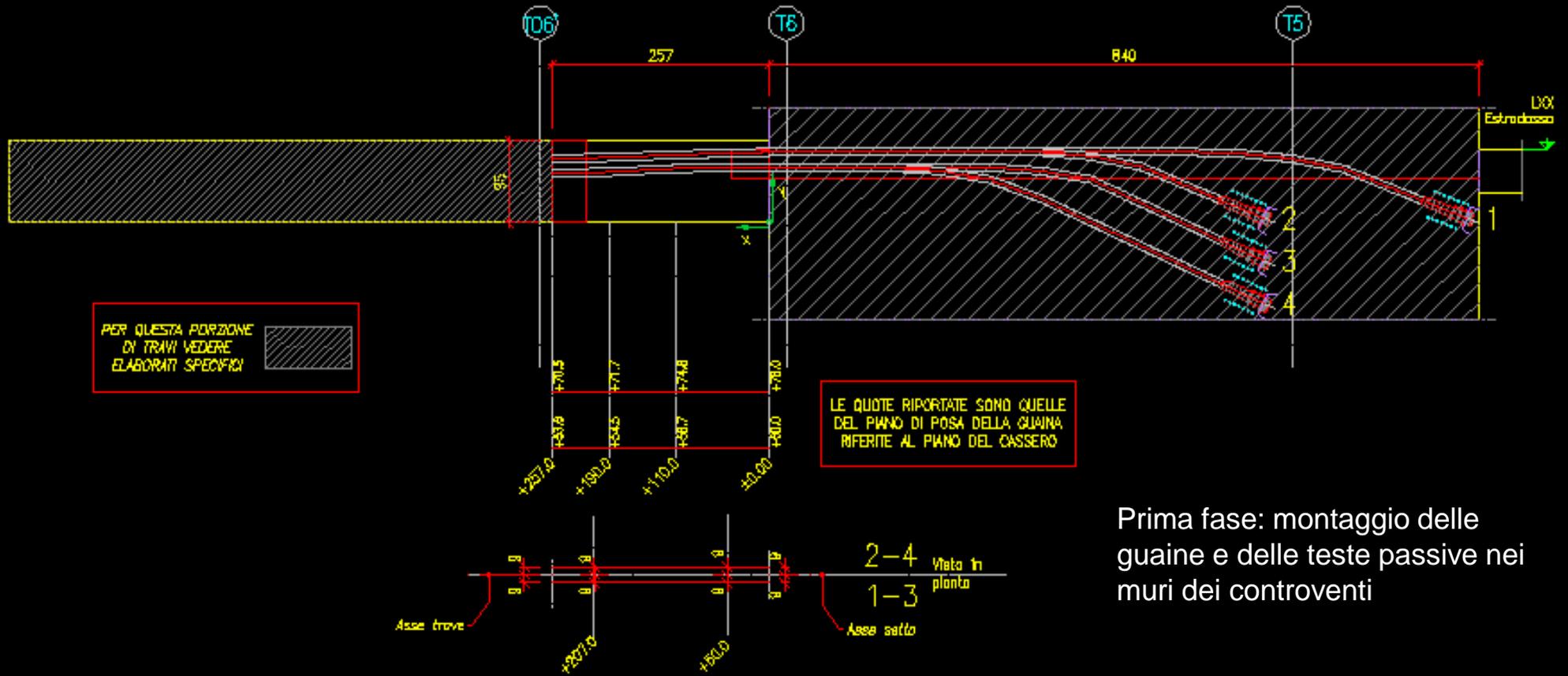
Cantieri: Torre regione Piemonte



Cantieri: Torre regione Piemonte



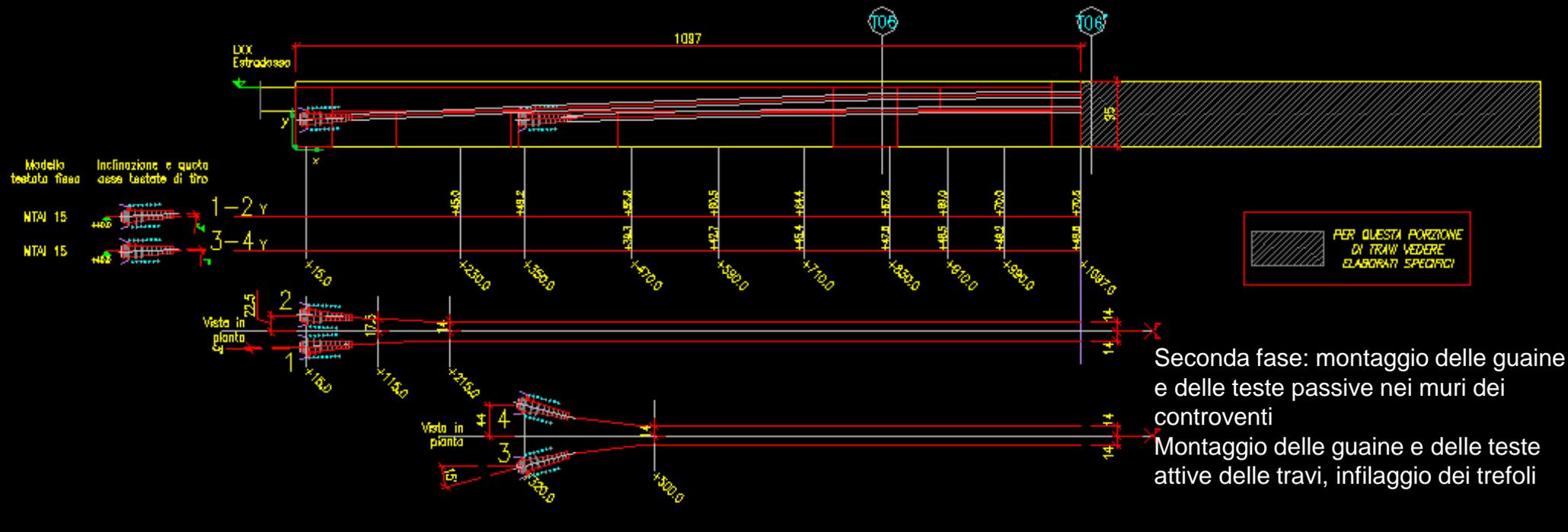
Cantieri: Torre regione Piemonte



Prima fase: montaggio delle guaine e delle teste passive nei muri dei controventi

Cantieri: Torre regione Piemonte

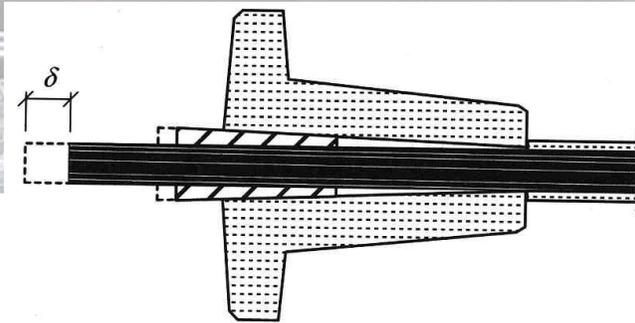
TRAVE TXX-05 -TRACCIATO CAVI- scala 1:50



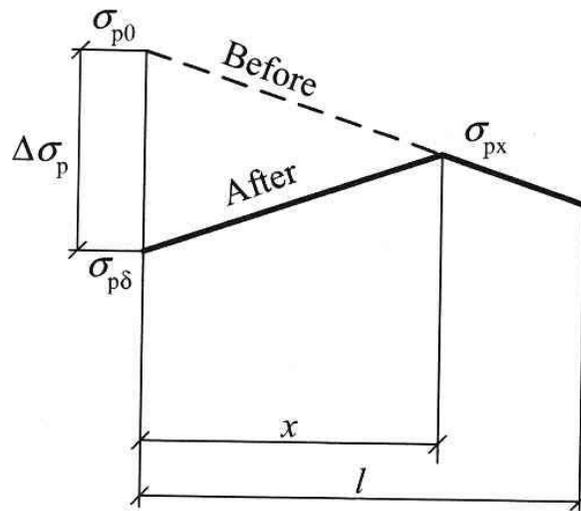
Cantieri: Torre regione Piemonte



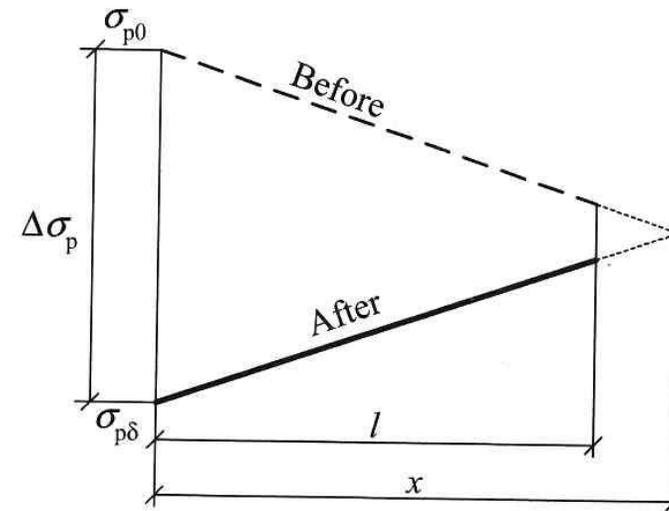
Cantieri: Torre regione Piemonte



a) $x < l$

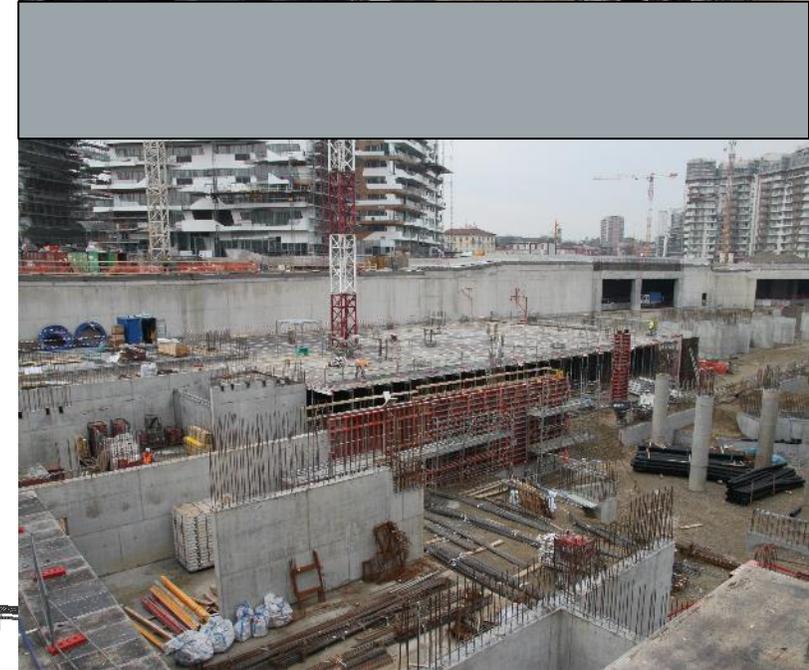


b) $x > l$



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Piastre a liv +122/124



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Descrizione:

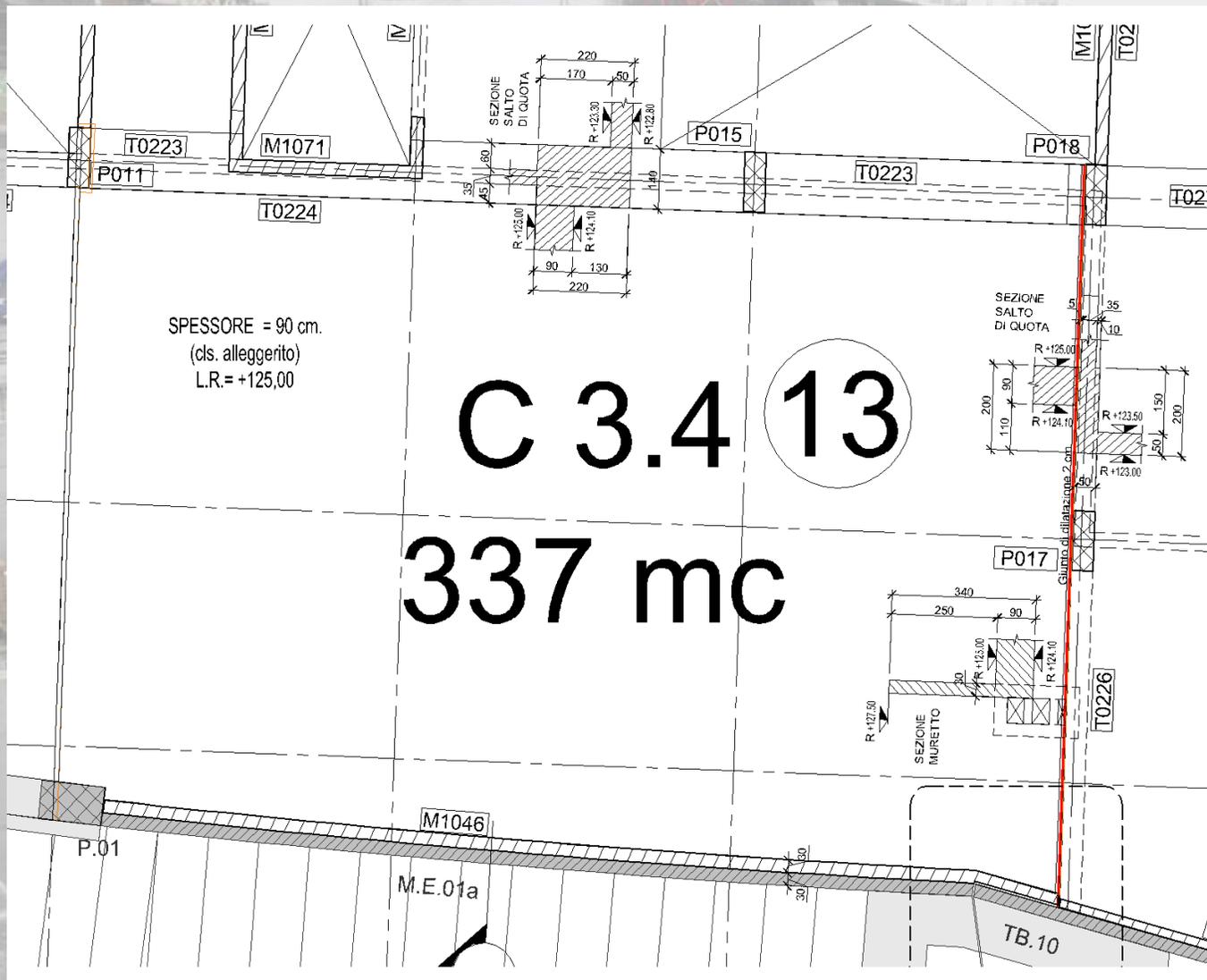
Solai in calcestruzzo post-teso ad alta variabilità in geometria e portata. Presenza di carichi in falso ed aliquote G/Q altamente variabili.

Problemi:

- Notevole variazioni di carico
- Variazioni geometriche (luci/spessori) importanti
- Svincoli perimetrali e di getto
- Sequenze di getto
- Disposizione ottimale giunti e svincoli
- Sequenze di tesatura
- Necessità di mantenere nella maggior parte dei casi i solai non fessurati in combinazione rara.
- Carichi di cantiere a volte superiori ai carichi d'esercizio.

Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 3 – concio 4



Descrizione: Solaio post-teso ad alta portata.

Luce di calcolo: 16,00 m; schema statico appoggio-appoggio

Spessore: 90 cm

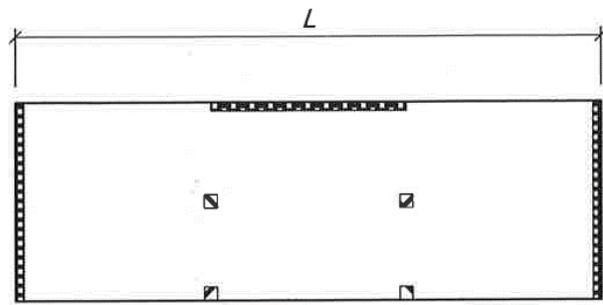
Carichi: perm. Portati = 40 kN/m²,
accidentali = 5,00 kN/m²

Problematiche principali:

- Sistema di svincolo su muro in c.a. esistente
- Sezione non fessurata in combinazione di carico rara
- Ottimizzazione quantitativi (armatura lenta e P.T.)

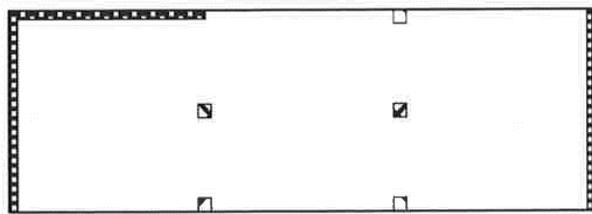
Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Criteri di deformabilità nel piano e relativi svincoli



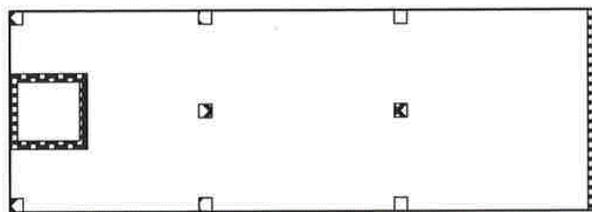
a)

No significant restraint
Max. movement \approx prop. to $L/2$



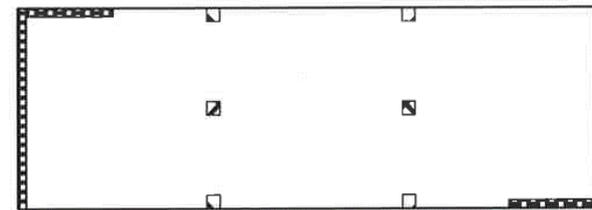
b)

No significant restraint
Max. movements \approx prop. to L



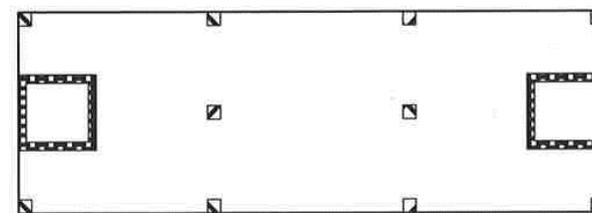
c)

No significant restraint
Max. movement \approx prop. to L



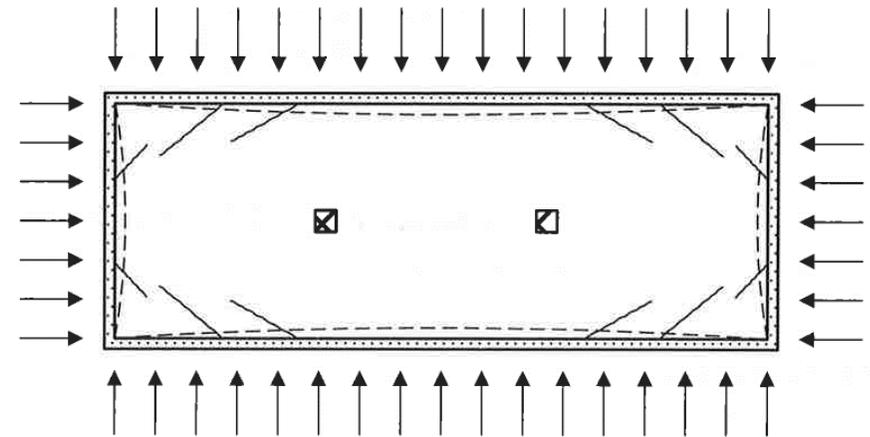
d)

Significant restraint forces
Small movements



e)

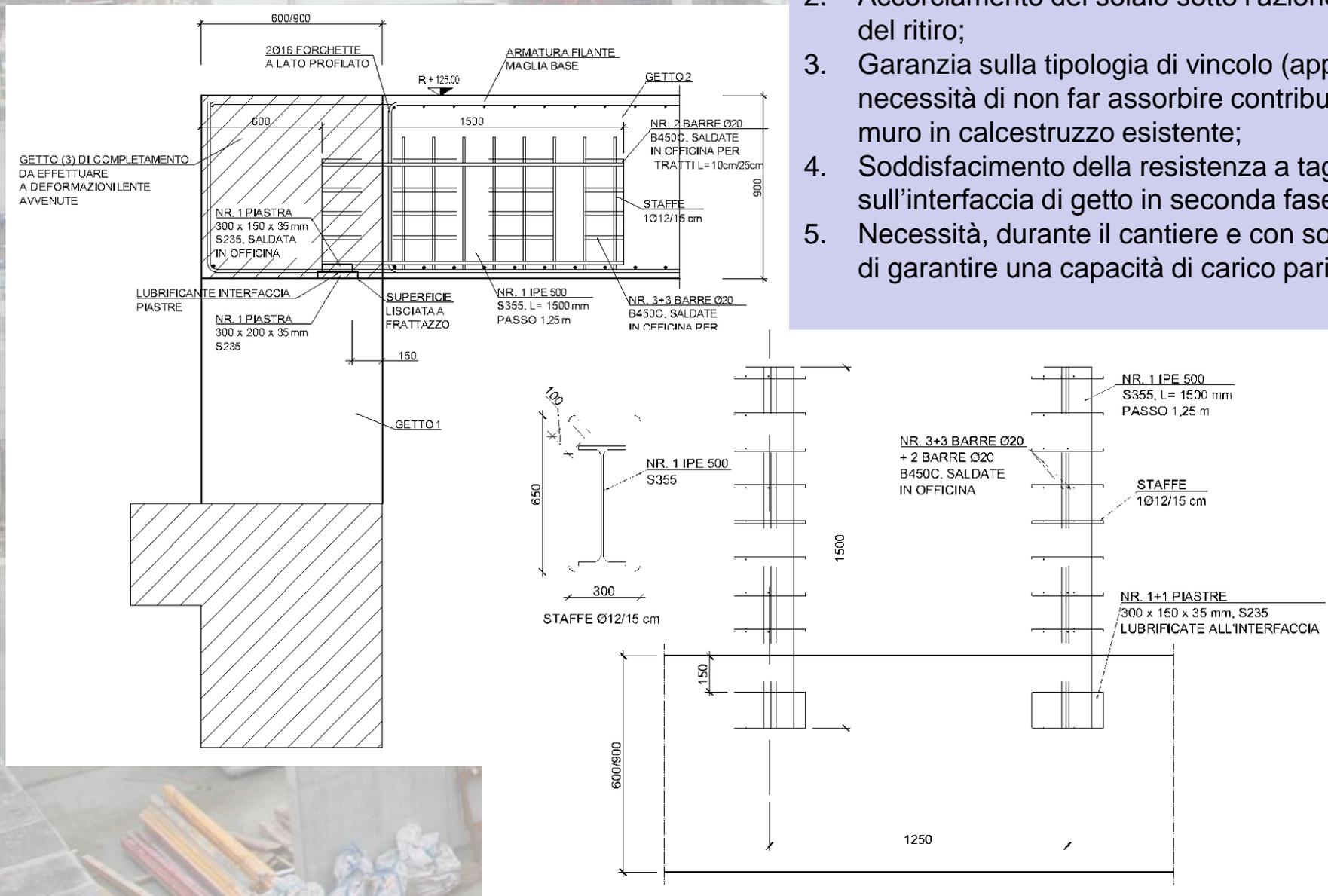
Significant restraint forces
Small movements



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano. Quadrante 3, concio 4 – svincolo solaio muro

Il sistema di svincolo consente :

1. Sicurezza della distribuzione dell'azione da presollecitazione nel solaio;
2. Accorciamento del solaio sotto l'azione della P.T. e del ritiro;
3. Garanzia sulla tipologia di vincolo (appoggio) per necessità di non far assorbire contributi flessionali al muro in calcestruzzo esistente;
4. Soddisfacimento della resistenza a taglio sull'interfaccia di getto in seconda fase;
5. Necessità, durante il cantiere e con solaio svincolato di garantire una capacità di carico pari a $5,00 \text{ kN/m}^2$



Quadrante 3, concio 4: verifiche a SLU e SLE

Verifica sezionale soletta:

Peso proprio = 22,5 kN/m²

Carichi permanenti portati = 40,0 kN/m²

Carichi accidentali = 5,0 kN/m²

Sollecitazione flessionale SLU senza PT
= 2840,0 kNm/m

Sollecitazione flessionale SLE senza PT
= 2170,0 kNm/m

Sollecitazione flessionale SLE con PT =
850,0 kNm/m

Contributo PT = 1320kN/m

PT : Nr. 24 cavi/m (32 kg/m²)

Incidenza armatura lenta: 50 kg/m²
(56 kg/m³)

The screenshot displays a software interface for section verification. It includes a title bar, a table for reinforcement bars, a section type selection panel, a point of application of normal force (N) selection panel, a calculation method selection panel, a results panel with stress and strain values, and a materials panel with material properties.

Titolo : []

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	90	1	7,53	5
			2	23,64	85

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sezio... File

File
[Diagram showing a rectangular section with a central point G and axes xN and yN.]

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

30/37
2 %
3,5
17
0,8 ?
11,5
0,6933
2,029

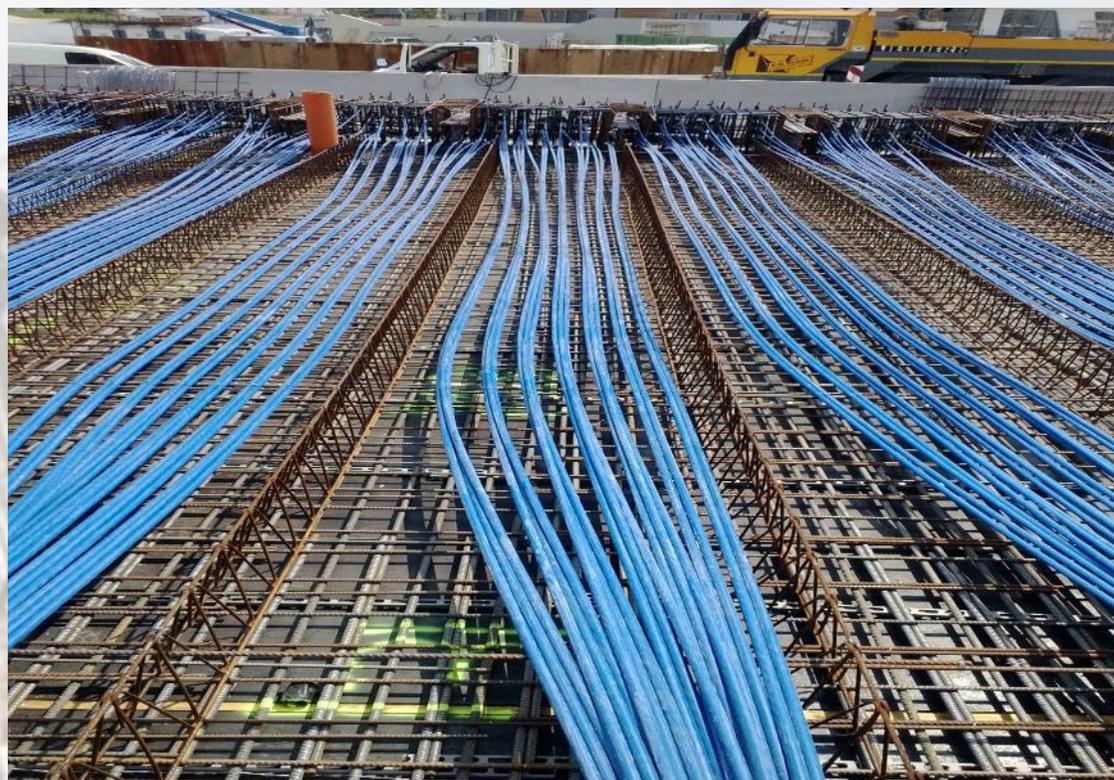
$\sigma_c = -9,905$ N/mm²
 $\sigma_c = 1,822$ N/mm²
 $\epsilon_s = 0,08782$ ‰

Verifica

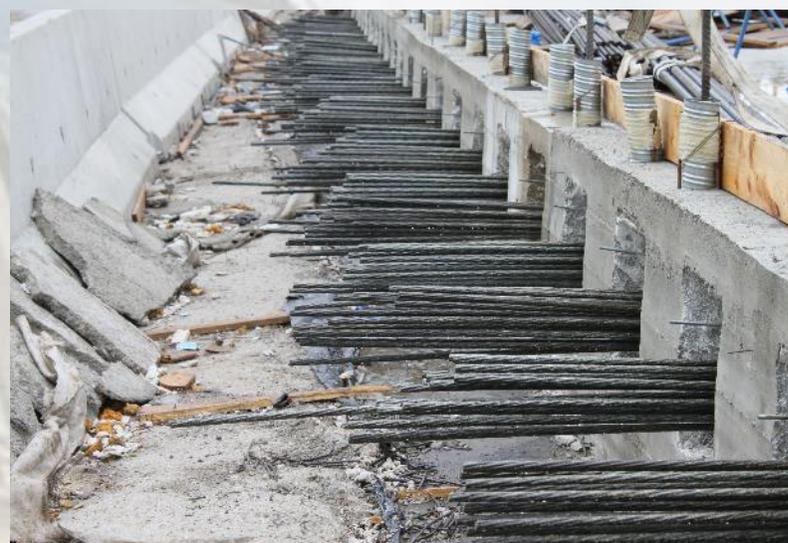
Materiali
B_500 C
 $\epsilon_{su} = 67,5$ ‰ ϵ_{c2}
 $f_{yd} = 434,8$ N/mm² ϵ_{cu}
 $E_s = 200.000$ N/mm² f_{cd}
 $E_s/E_c = 15$ f_{cc}/f_{cd}
 $\epsilon_{syd} = 2,174$ ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm} = 0$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

Precompresso

Quadrante 3, concio 4: verifiche a SLU e SLE

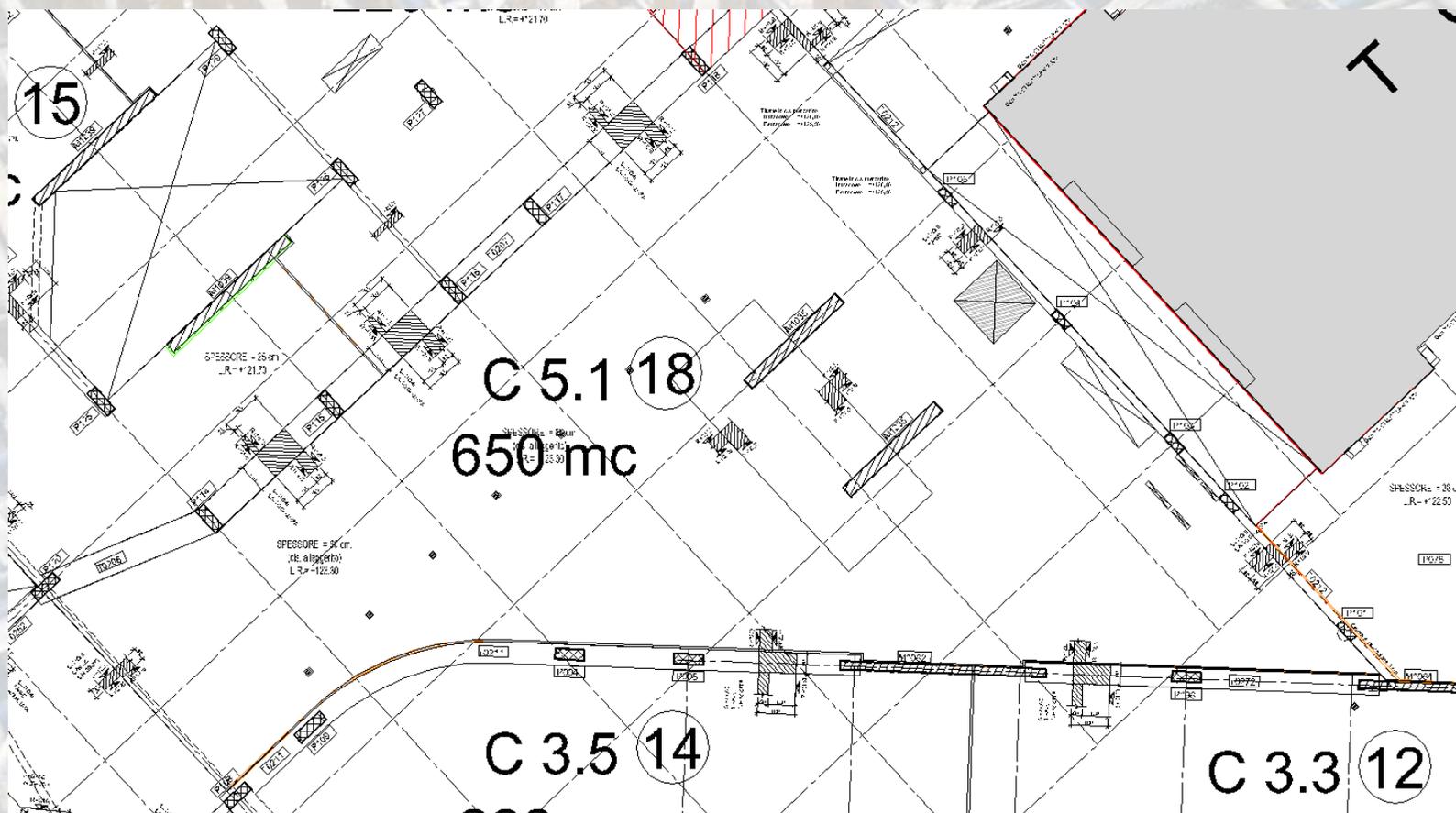


Quadrante 3, concio 4: verifiche a SLU e SLE



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1



Descrizione: Solaio post-teso bi-direzionale ad alta portata.

Luce di calcolo: da 15,00 a 20,0 m

Spessore: 60 cm

Carichi: perm. portati = 4,50 kN/m², accidentali = 30,00 kN/m²

Problematiche principali:

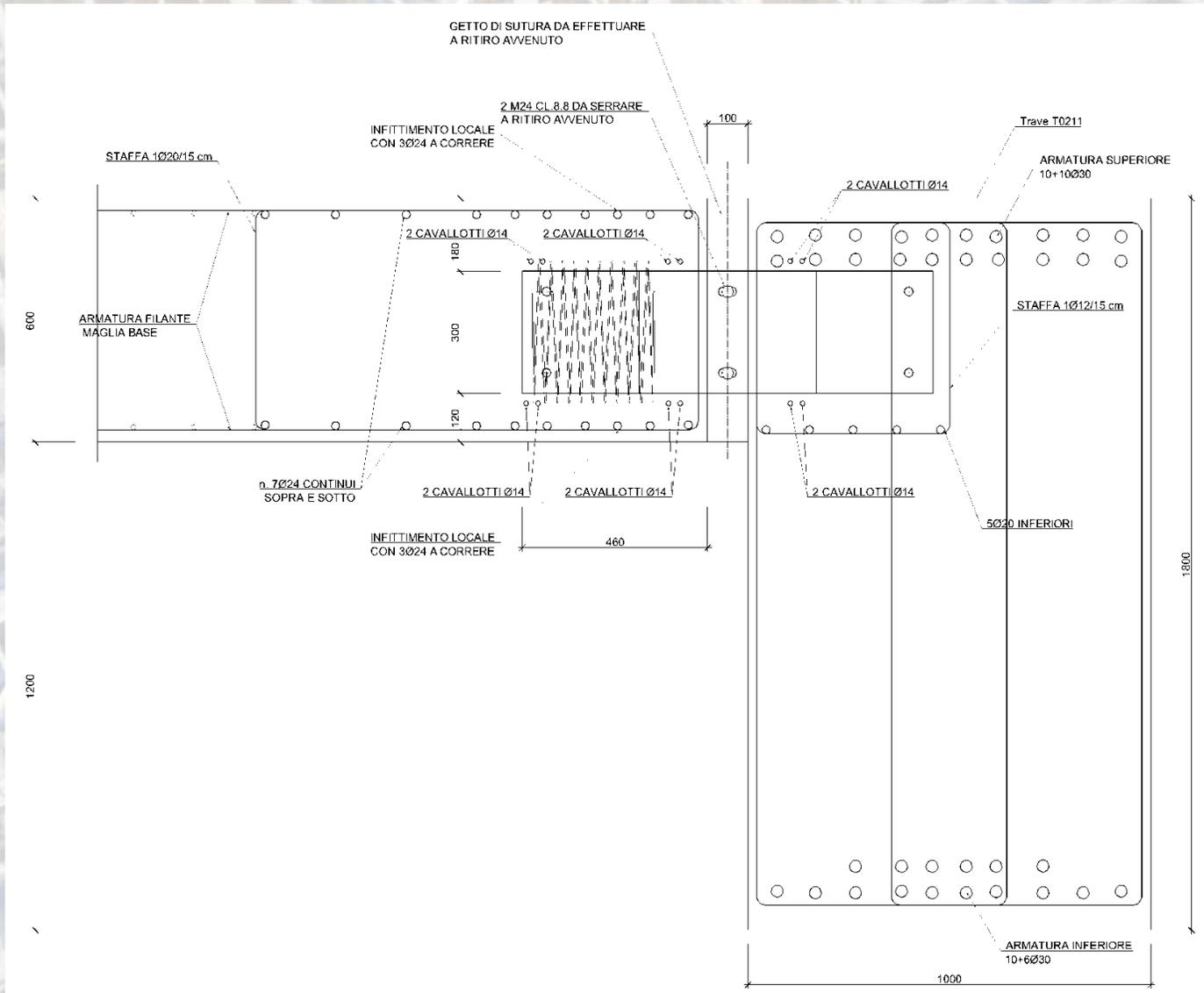
Sistema di svincolo su travi perimetrali

Problemi di punzonamento su teste muro (capitello)

Ottimizzazione quantitativi (armatura lenta e P.T.)

Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1

Problemi di punzonamento sulle teste muro:

Carico agente = 7200,0 kN

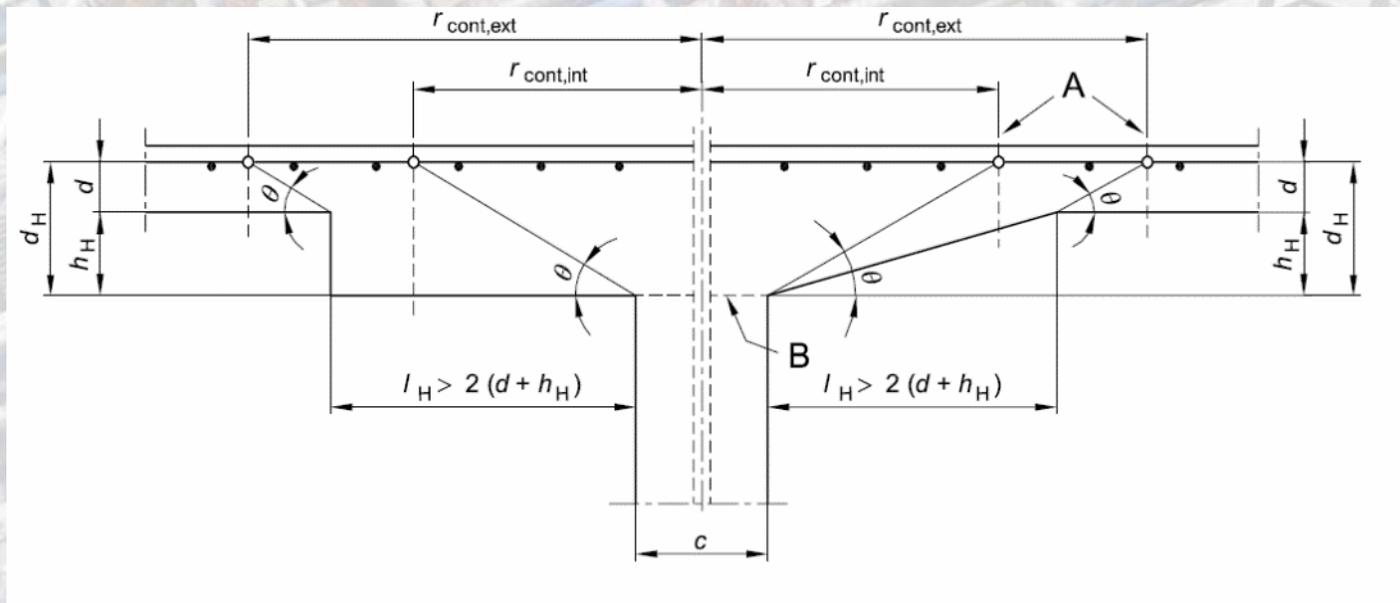
In questo caso esistevano due problemi:

1- tensione tangenziale eccessiva sul bordo testa muro

2- compressione bielle cls eccessiva sul perimetro critico

Soluzione:

Inserimento di un capitello «snello» secondo EC-2

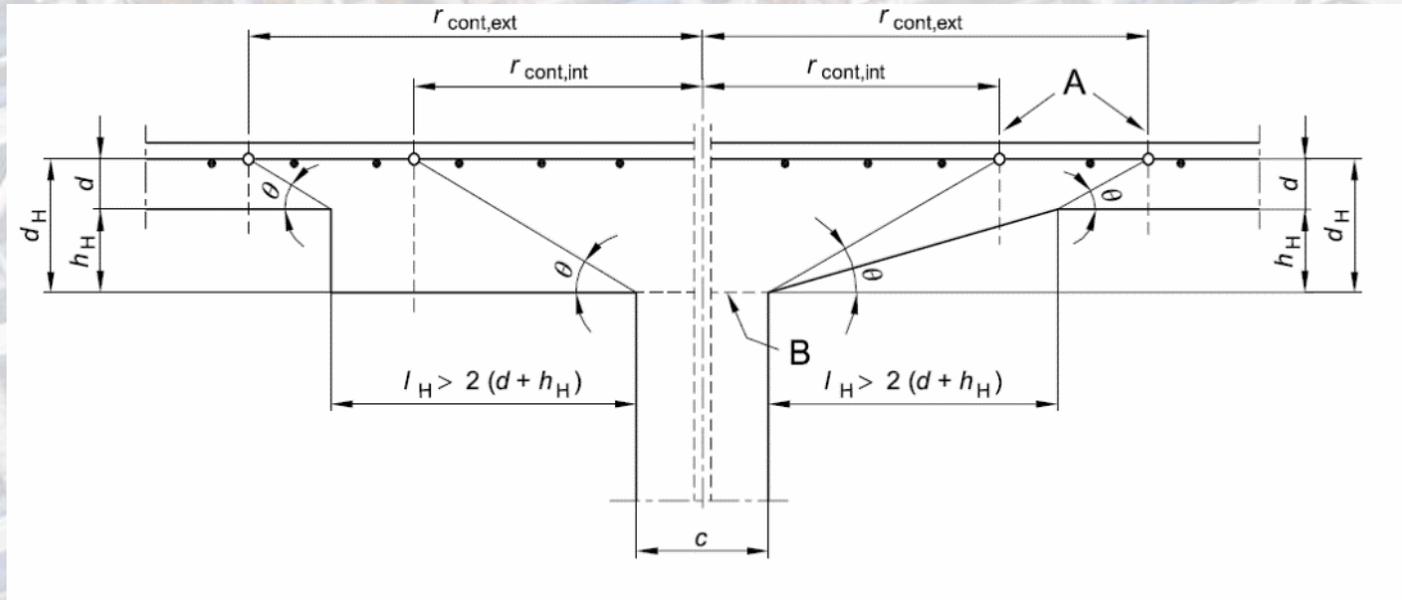


Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1

La soluzione consente di:

- Aumentare area su bordo testa muro per verifica tensione tangenziale
- Aumento perimetro esterno al capitello per verifica bielle compresse calcestruzzo
- Riduzione deformata in campata per aumento rigidezza solaio in appoggio



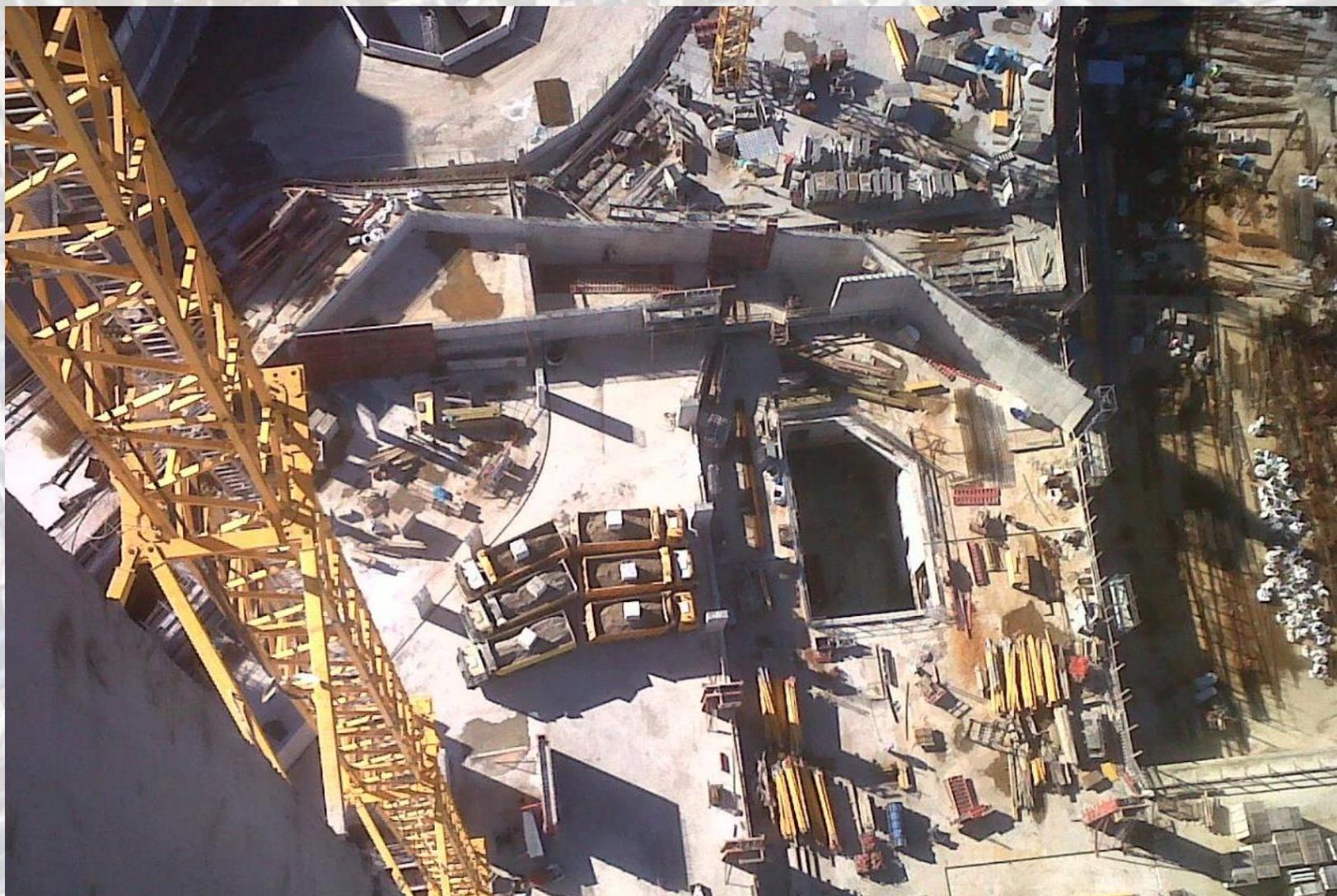
Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1



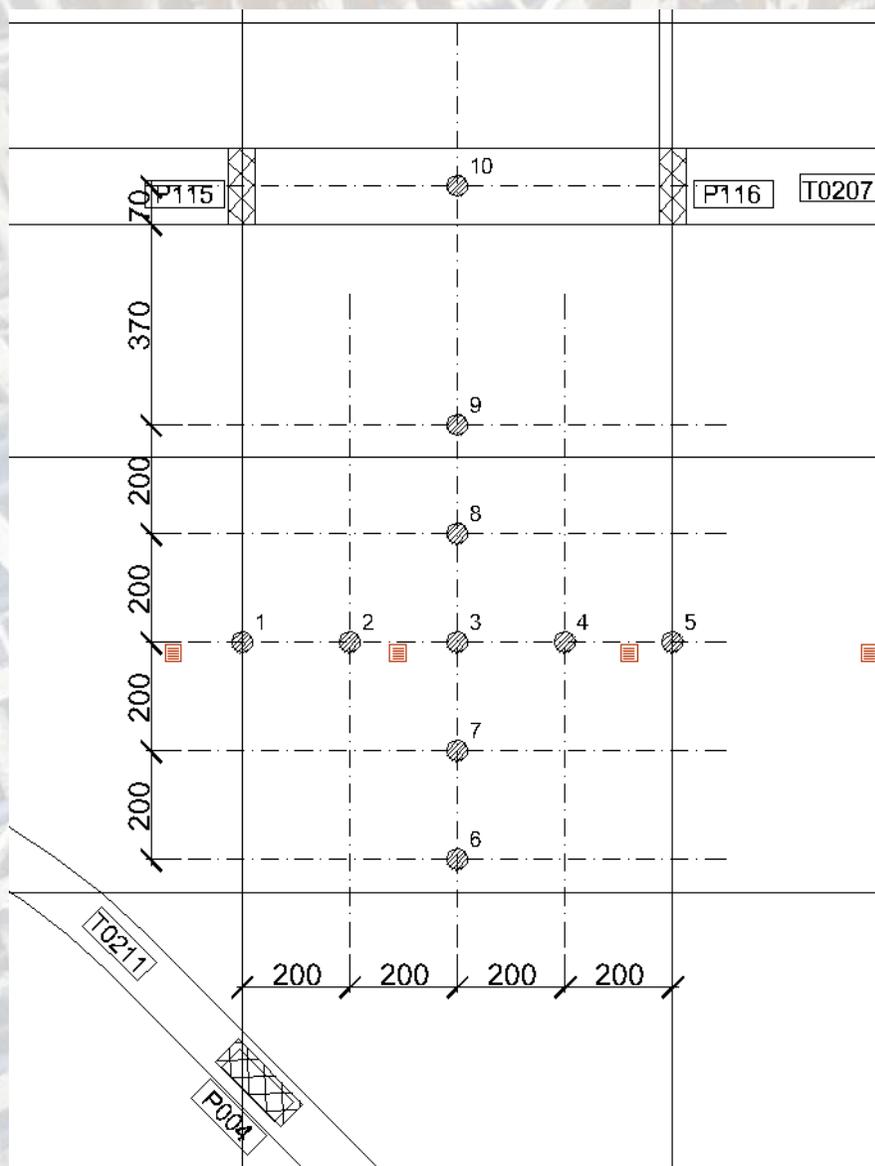
Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

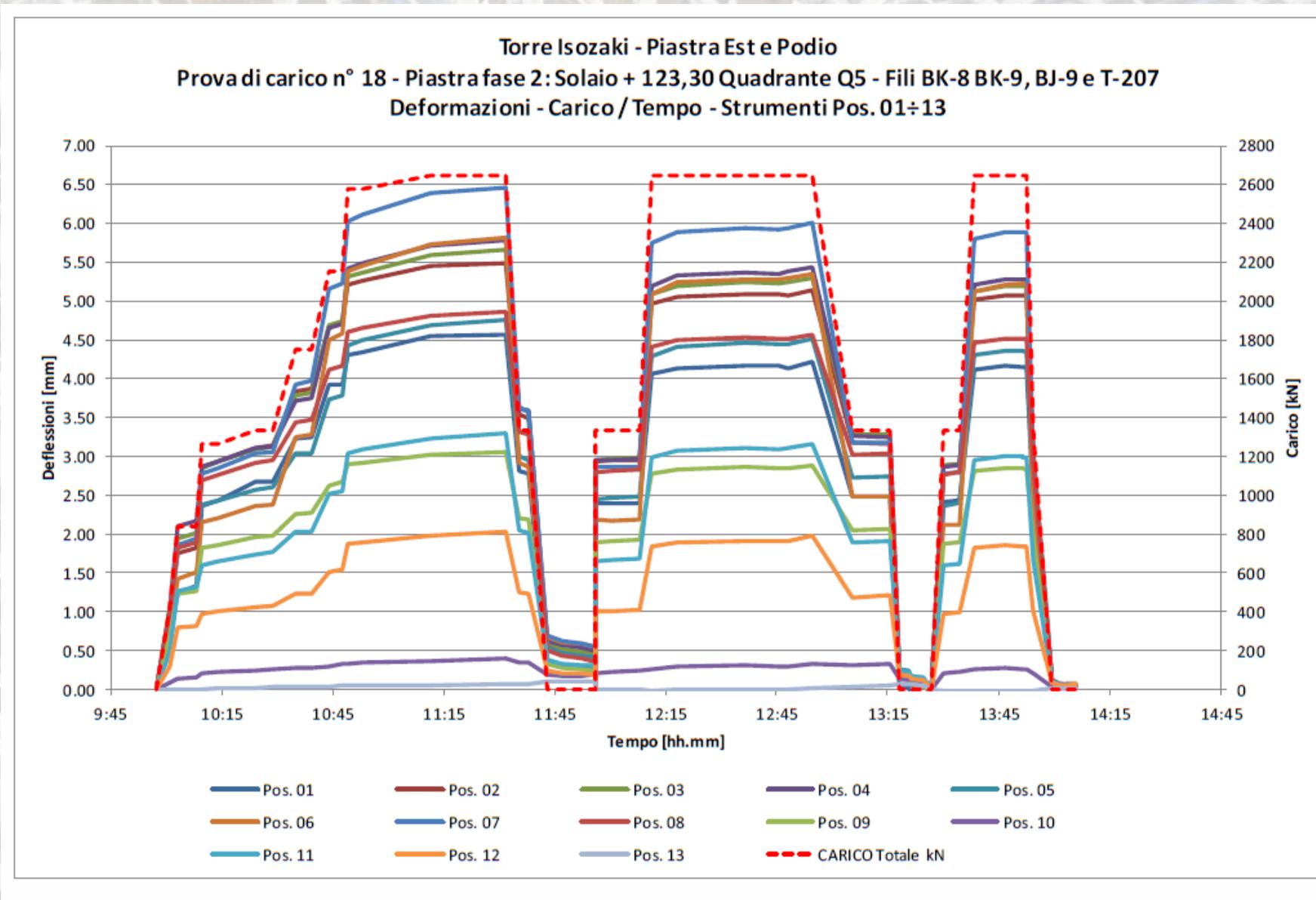
Quadrante 5, concio 1



Punto di misura	Abbassamento [mm]
1	10,85
2	12,75
3	13,55
4	12,85
5	11,40
6	10,90
7	12,85
8	12,90
9	11,20
10	0,40

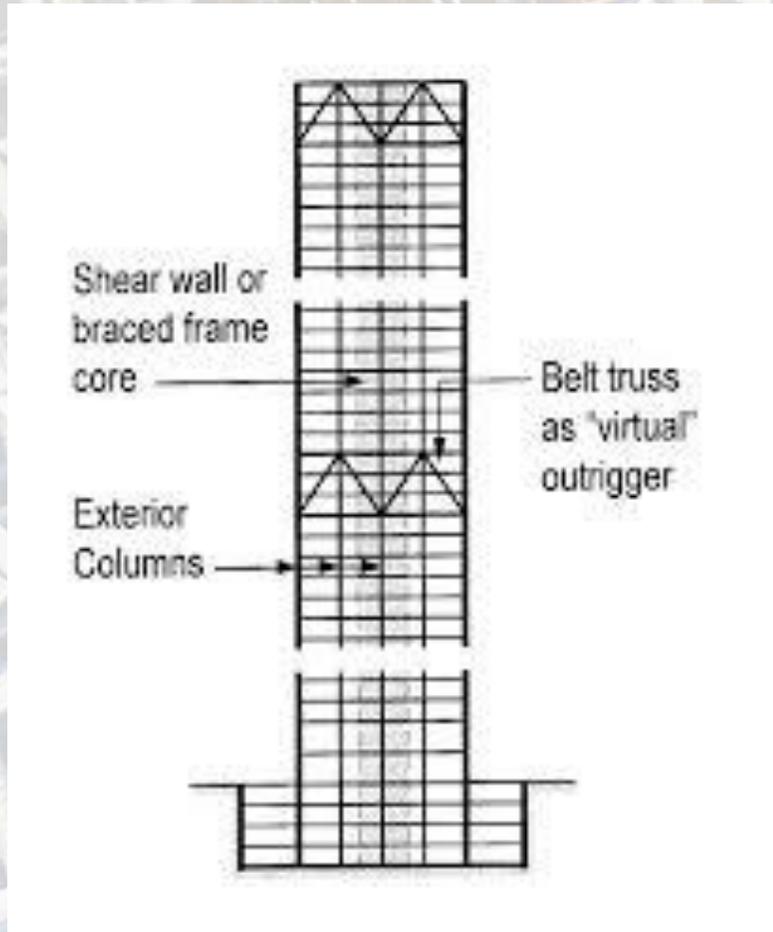
Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Quadrante 5, concio 1



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Montaggio trave Belt Truss



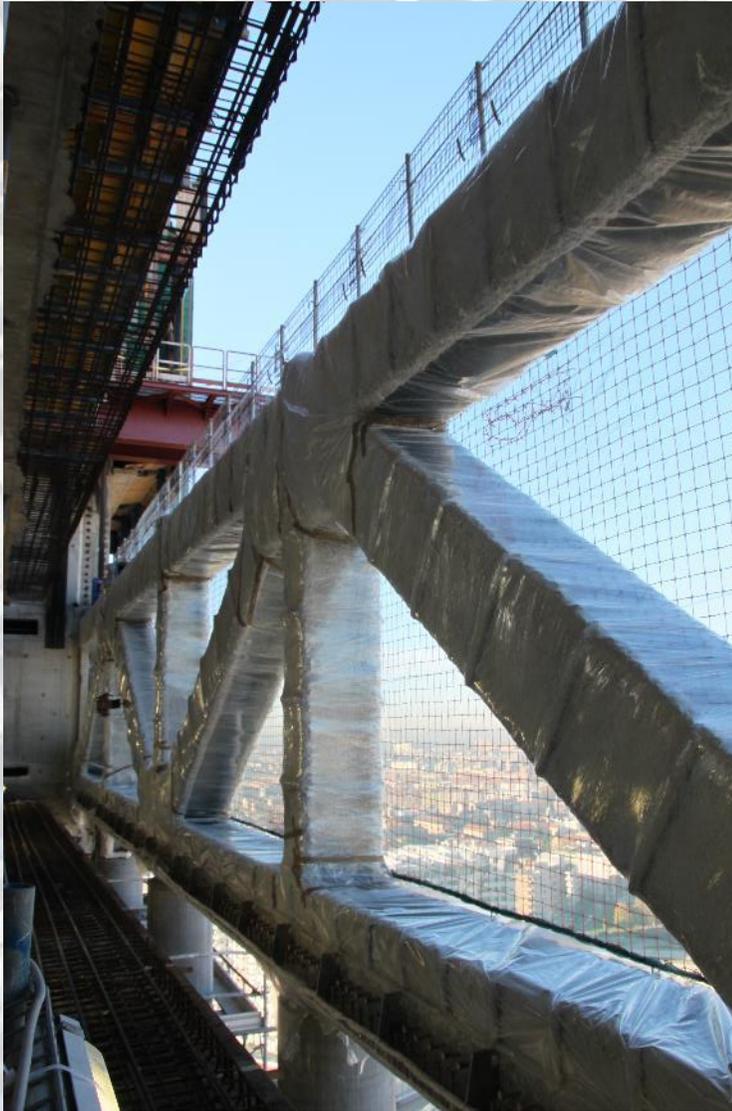
Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Montaggio Trave Belt Truss



Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Tesatura Barre di Fissaggio



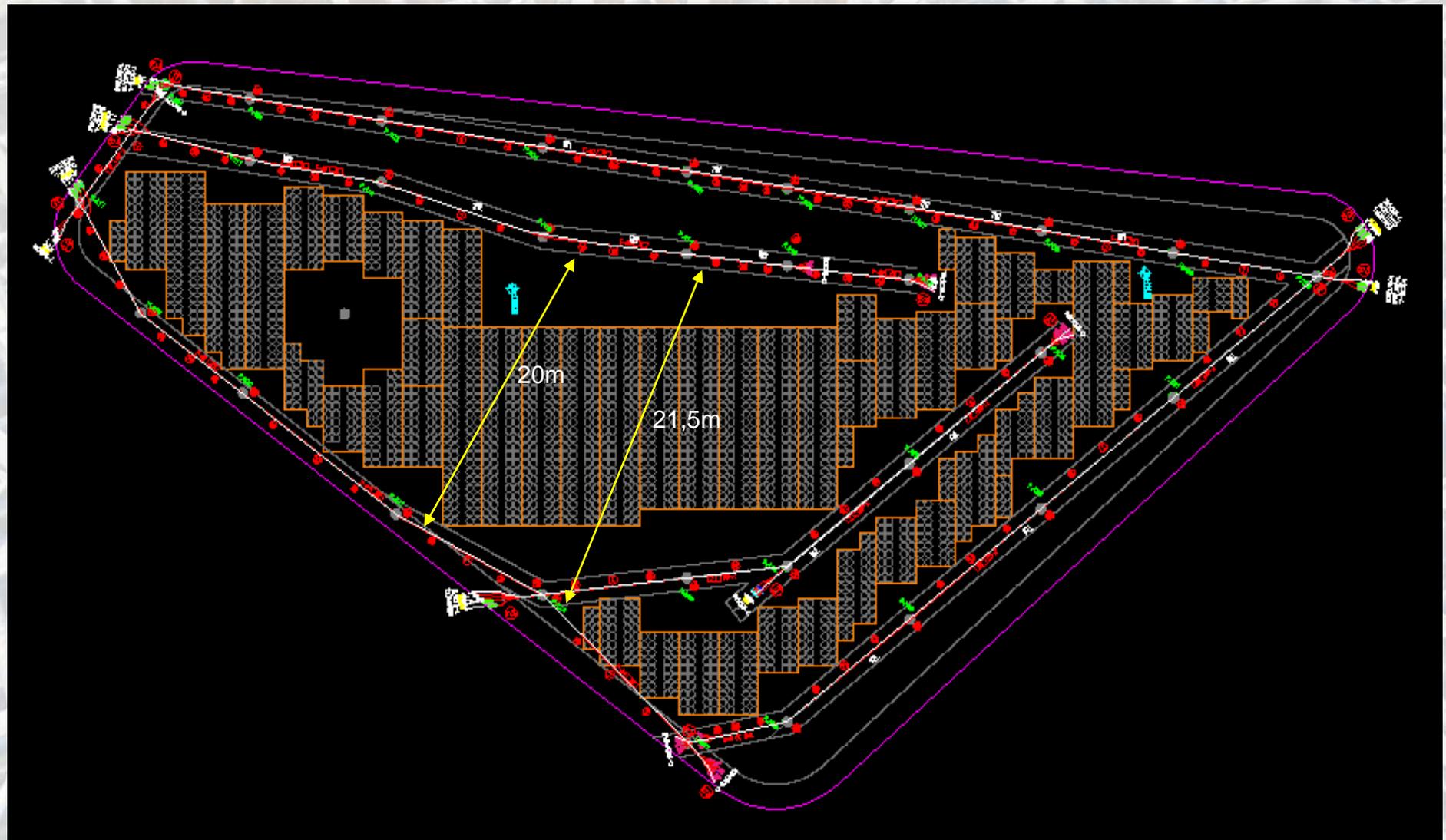
Cantieri: Piastra EST torre Isozaki – Citylife Milano

Realizzazione Belt Truss di sommità in c.a.p.



Cantieri: Parco Acquatico di Rende

Realizzazione della Copertura in c.a.p.



Cantieri: Parco Acquatico di Rende

Realizzazione della Copertura in c.a.p.



Cantieri: Parco Acquatico di Rende

Realizzazione della Copertura in c.a.p.





Via Pordenone, 8
20132 Milano, Italy

T +39 02 4300161
F +39 02 48010726
mail@tensainternational.com