

# Lezione

COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI

*Prof. Pier Paolo Rossi*

*Università degli Studi di Catania*

# IL CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO PRECOMPRESSO

Perché il c.a.p ?

# Perché il c.a.p. ?

---

A causa della bassa resistenza a trazione del calcestruzzo, nelle opere in c.a. :

- si sviluppano fessure anche per valori bassi del carico applicato
- le fessure producono un aumento della deformabilità degli elementi rispetto al caso degli stessi non fessurati.

**Nota:** la presenza di armature lente non può eliminare la fessurazione



per strutture di elevate dimensioni o con esigenze estetiche e funzionali particolari (ad es. serbatoi per liquidi o gas) si individuano soluzioni in c.a. non vantaggiose economicamente

# Perché il c.a.p. ?

---

Per aumentare il campo di applicabilità (economicamente valido) del c.a. si può applicare una forza di compressione centrata o eccentrica in grado di ridurre lo stato tensionale di trazione, o addirittura annullarlo del tutto.

La tecnica con cui si applicano queste forze va sotto il nome di

**PRECOMPRESSIONE**

# Perché il c.a.p. ?

---

Mediante la precompressione si induce uno stato di coazione, ovvero uno stato di sollecitazione interno al quale non corrisponde alcun sistema di forze esterno.

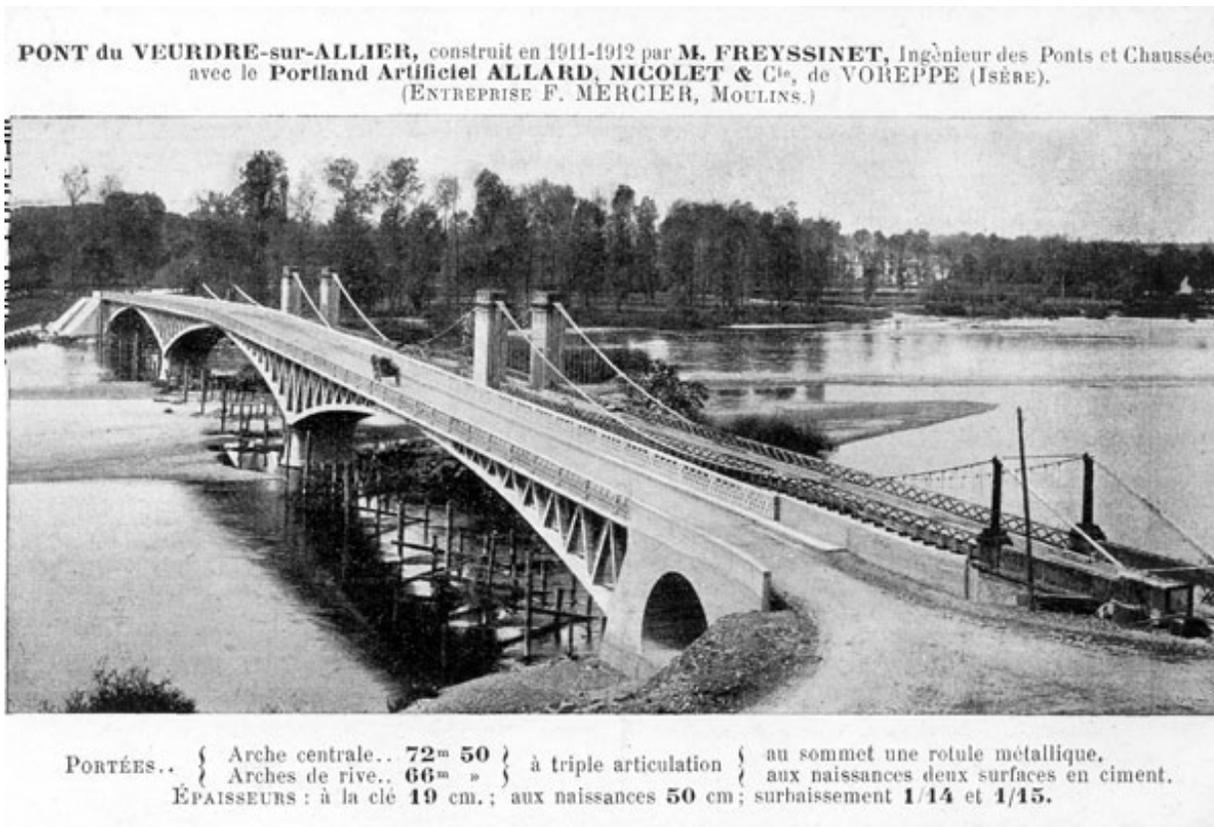


*Analogia con la botte di legno*

Gli inizi

# Precompressione

Gli inizi



Pont du Veurdre-sur-Allier (Francia)



Eugène Freyssinet  
(1879-1962)

# Precompressione

## Vantaggi

---

- uso razionale dei materiali
- conferimento di maggiore capacità di carico
- riduzione delle sezioni e delle armature
- riduzione o annullamento dello stato di fessurazione
- riduzione delle tensioni principali di trazione dovute al taglio
- aumento della rigidezza in virtù di sezioni completamente reagenti

# I campi di applicazione

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Travetti precompressi*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Pannelli precompressi*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Travi precomprese a sezione aperta*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Travi precomprese a sezione aperta*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Travi precomprese  
a sezione chiusa*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Soletta precompressa*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Silos precompressi*

# Precompressione

## Campi di applicazione



*Tubazioni precomprese*

# I cavi da precompressione

# Acciaio da precompresso

## Prodotti

L'acciaio per armature da precompressione è prodotto in forma di :

- **Filo** : prodotto trafilato di sezione piena che possa fornirsi in rotoli o in fasci (usuali diametri 4-8 mm)

*La trafilatura è un processo di formatura che induce un cambiamento nella forma del materiale grezzo di partenza attraverso la deformazione plastica dovuta all'azione di forze impresse da attrezzature e matrici.*



# Acciaio da precompresso

## Prodotti

L'acciaio per armature da precompressione è prodotto in forma di :

- **Treccia** : prodotto formato da 2 o 3 fili trafilati dello stesso diametro nominale avvolti ad elica intorno al loro comune asse longitudinale fornito in rotolo o bobine;



# Acciaio da precompresso

## Prodotti

L'acciaio per armature da precompressione è prodotto in forma di :

- **Trefolo** : prodotto formato da 6 o 18 fili trafilati avvolti ad elica intorno ad un filo trafilato rettilineo completamente ricoperto dai fili elicoidali, fornito in bobine.

Usualmente, il diametro nominale del trefolo a 7 fili oscilla tra 7-15.2 mm mentre quello del trefolo a 19 fili oscilla tra 17-22

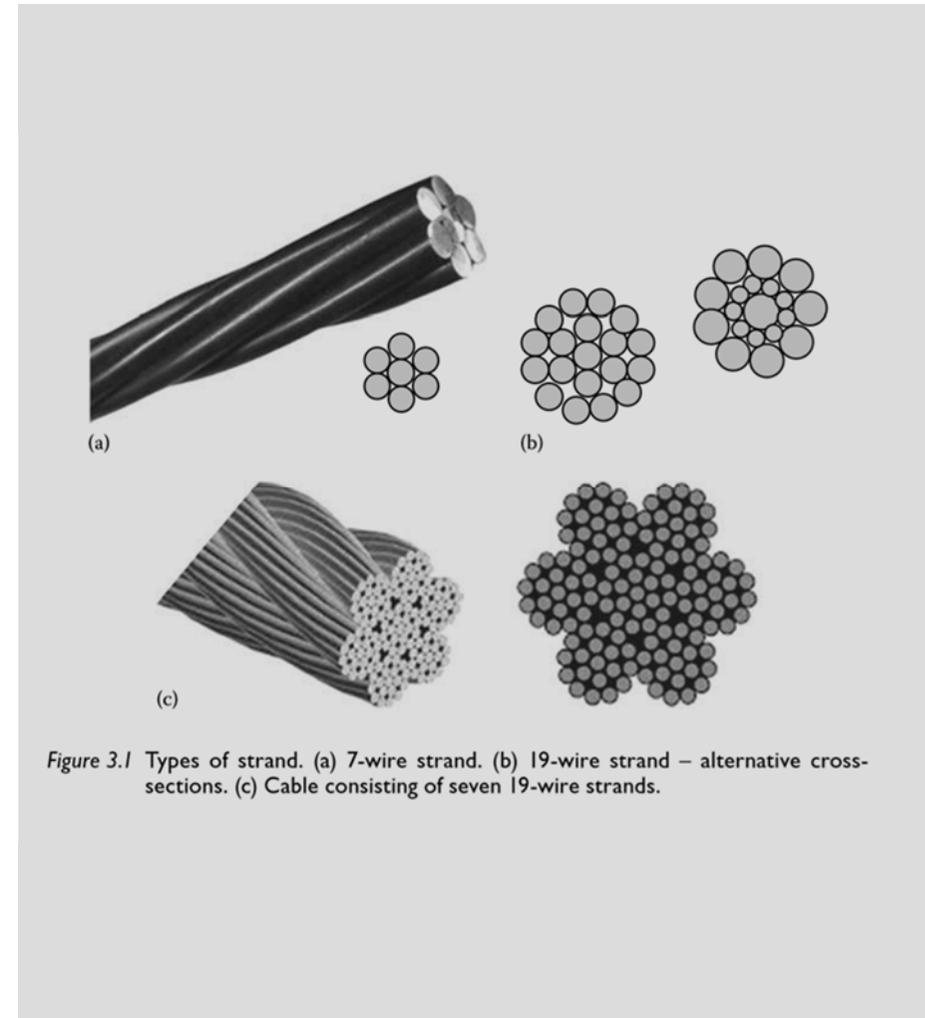


Figure 3.1 Types of strand. (a) 7-wire strand. (b) 19-wire strand – alternative cross-sections. (c) Cable consisting of seven 19-wire strands.

# Acciaio da precompresso

## Prodotti

L'acciaio per armature da precompressione è prodotto in forma di :

- **Barra** : prodotto laminato di sezione piena che possa fornirsi soltanto in forma di elementi rettilinei;

Usualmente, il diametro nominale oscilla tra 20-50 mm

Per quanto non specificato nel presente paragrafo riguardo fili, trecce e trefoli si deve fare riferimento alle norme UNI 7675:2016 ed UNI 7676:2016.



# Acciaio da precompresso

## Prodotti

---

Si intende per

### **CAVO**

un filo, una treccia, un trefolo o una barra  
(o un gruppo di fili, trecce, trefoli o barre)

che è progettato per essere utilizzato per la realizzazione di elementi precompressi

# Le tecniche di precompressione (a cavi pretesi o post-tesi)

# Precompressione

## Tecniche di precompressione

---

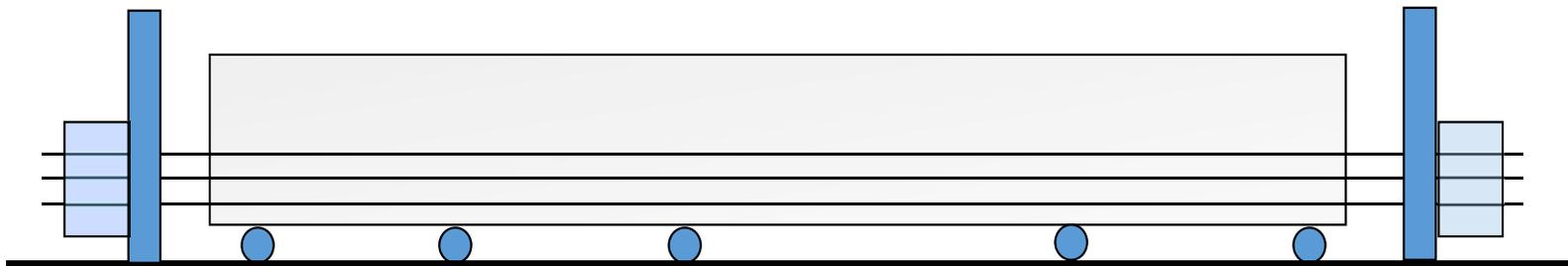
La precompressione interna  
può essere realizzata utilizzando due metodi :

- **precompressione a fili pre-tesi**
- **precompressione a cavi post-tesi**

# Precompressione con cavi pretesi

## Concetto

La precompressione a cavi pretesi prevede la tesatura di cavi e successivamente il getto del calcestruzzo.

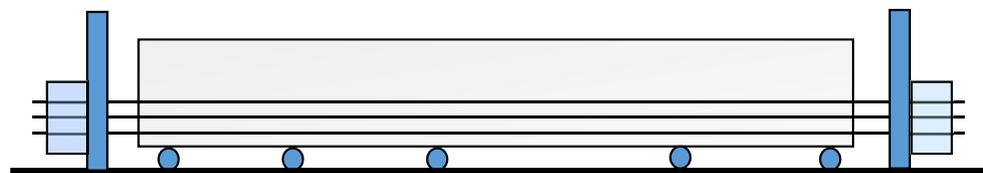


# Precompressione con cavi pretesi

## Elementi distintivi

Gli elementi distintivi della precompressione a cavi pretesi sono :

- fili, trecce o trefoli
- cavi dritti (usualmente)
- pista di tesatura
- testate di tiro e rilassamento
- martinetti



# Precompressione con cavi pretesi

## Realizzazione

---

La realizzazione di elementi mediante precompressione a cavi pre-tesi consta delle seguenti fasi :

1. disposizione dei casseri e delle armature
2. disposizione delle testate di tiro e rilassamento
3. distribuzione del calcestruzzo
4. maturazione del getto
5. taglio delle armature precomprese
6. sformatura
7. stoccaggio

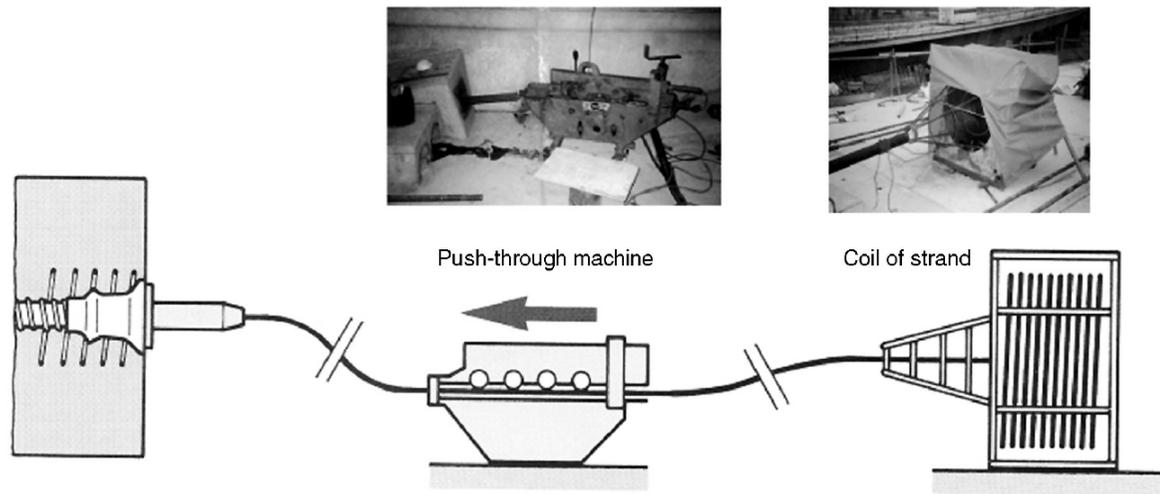
# Precompressione con cavi pretesi

Pista di tesatura

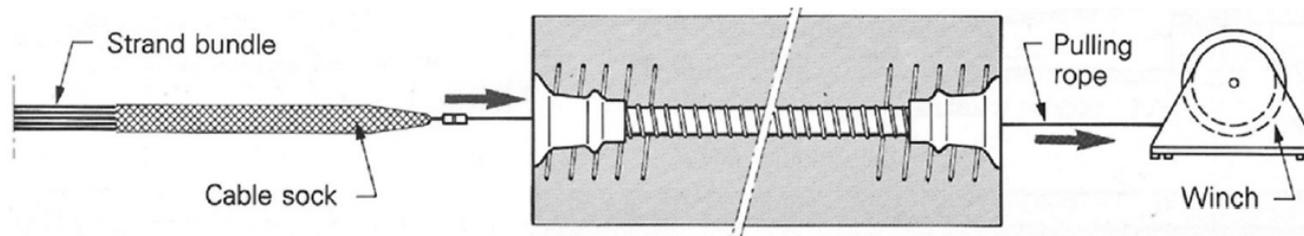


# Precompressione con cavi pretesi

## Tecniche di posizionamento dei cavi



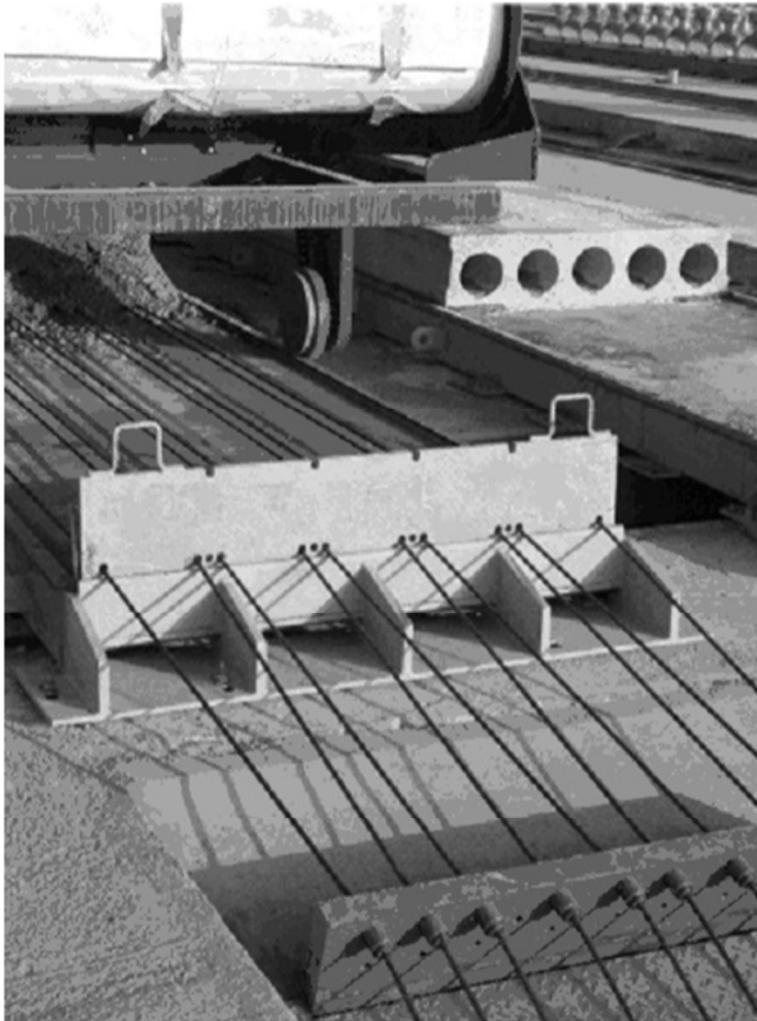
Posizionamento a spinta



Posizionamento a tiro

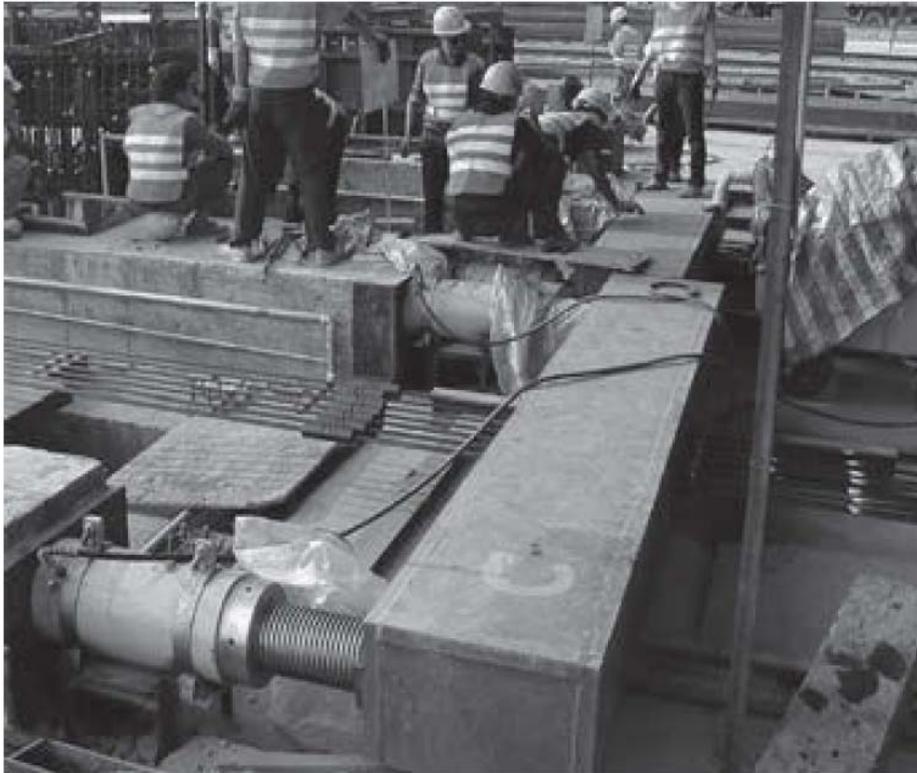
# Precompressione con cavi pretesi

Testata



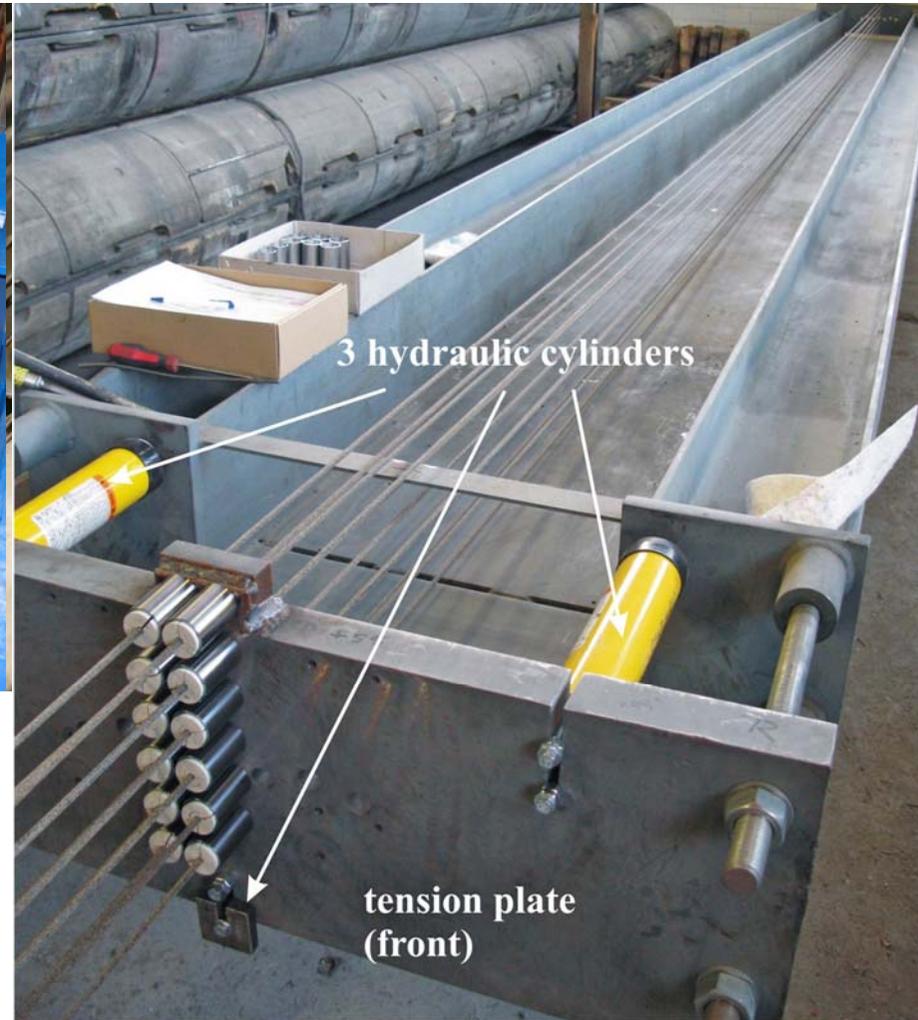
# Precompressione con cavi pretesi

Testata



# Precompressione con cavi pretesi

Testata



# Precompressione con cavi pretesi

Disposizione del calcestruzzo



# Precompressione con cavi pretesi

## Taglio dei cavi di precompressione



I taglio dei fili di precompressione è effettuato mediante la macchina taglierina, dopo il loro rilassamento e senza la rimozione dei casseri dal getto

# Precompressione con cavi pretesi

Sformatura e stoccaggio

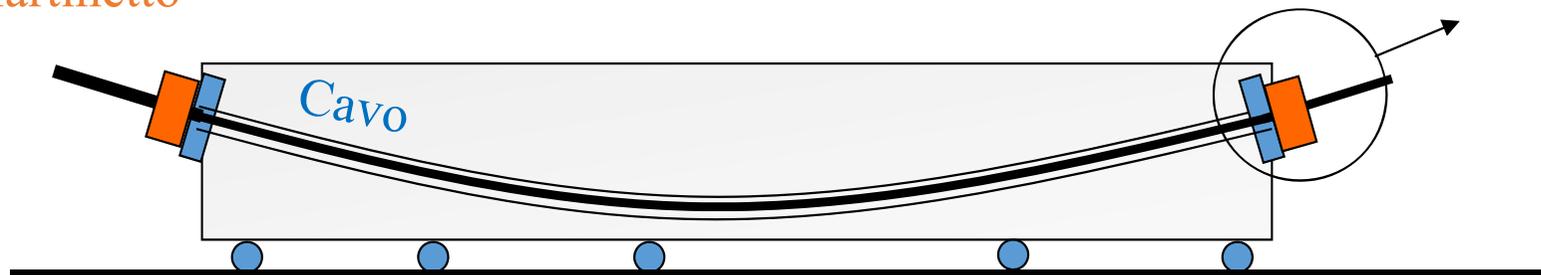


# Precompressione con cavi post-tesi

## Concetto

La precompressione a cavi post-tesi prevede il getto del calcestruzzo e successivamente la tesatura di cavi all'interno di guaine preventivamente disposte.

Martinetto

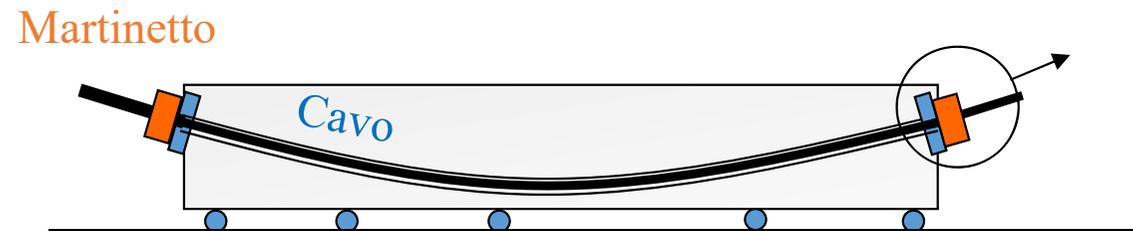


# Precompressione con cavi post-tesi

## Elementi distintivi

Gli elementi distintivi della precompressione a cavi post-tesi sono :

- cavi e guaine con tubi di sfiato
- cavi curvi
- post-tesatura anche in più fasi
- piastre di ancoraggio
- ancoraggi attivi e passivi
- iniezioni di boiaccia
- accoppiatori



# Precompressione con cavi post-tesi

## Fasi di realizzazione

---

La realizzazione di elementi mediante precompressione a cavi post-tesi consta delle seguenti fasi :

1. disposizione dei casseri e delle armature
2. disposizione delle guaine e dei cavi
3. getto del calcestruzzo
4. maturazione del getto
5. post tensione delle armature precomprese
6. iniezione di boiacca
7. sformatura
8. stoccaggio

# Precompressione con cavi post-tesi

## Approntamento delle gabbie d'armatura



# Precompressione con cavi post-tesi

## Guaine in metallo

Le guaine metalliche corrugate rappresentano il sistema più economico per creare i condotti di alloggiamento dei cavi.

Le guaine in lamierino corrugato (spessore 0.25 - 0.60 mm) forniscono una barriera secondaria alla corrosione con eccellente aderenza al calcestruzzo. La protezione primaria è fornita dalla boiaccia alcalina iniettata all'interno della guaina nonché dal calcestruzzo.



# Precompressione con cavi post-tesi

## Guaine in plastica

Le guaine in plastica polietilene/polipropilene assicurano una protezione secondaria di lungo termine, particolarmente in ambiente aggressivo quale impianti di depurazione delle acque, serbatoi per acidi, silos o strutture esposte a sali antigelo.



# Precompressione con cavi post-tesi

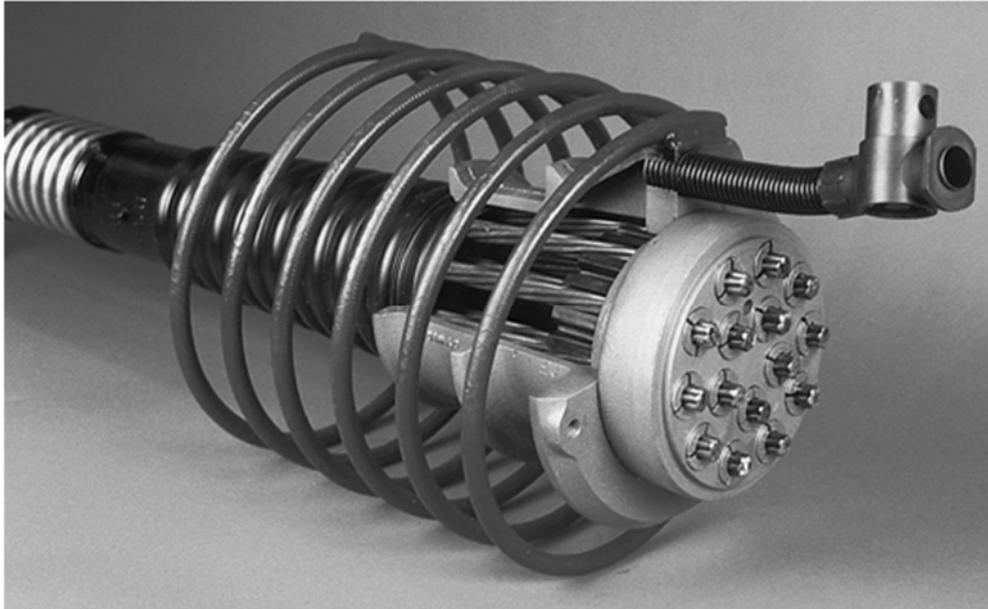
## Guaine

	Trefolo 13 mm (0.5 ")				Trefolo 15 mm (0.6 ")			
	min forza rottura (kN)		diam. guaina int/ext		min forza rottura (kN)		diam. guaina int/ext	
No. trefoli	Euronorm 138-79	ASTM A416-85	acciaio mm	plastica mm	Euronorm 138-79	ASTM A416-85	acciaio mm	plastica mm
1	186	184	25/30		265	261	25/30	
2	372	367	40/45		530	521	40/45	
3	558	551	40/45		795	782	40/45	
4	744	735	45/50		1060	1043	50/55	
6	1116	1102	50/55		1590	1564	60/67	
7	1302	1286	55/60		1855	1825	60/67	59/73
12	2232	2204	65/72	59/73	3180	3128	80/87	76/91
18	3348	3307	80/87		4770	4693	95/102	
19	3534	3490	80/87	76/91	5035	4953	95/102	100/116
22	4092	4041	85/92		5830	5735	110/117	110/116

Tratto da: N. Hewson. Prestressed concrete bridges, ICE Publishing, 2011

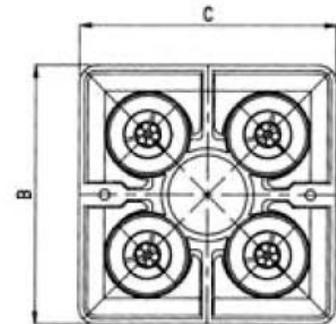
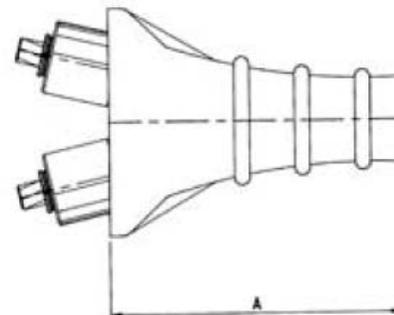
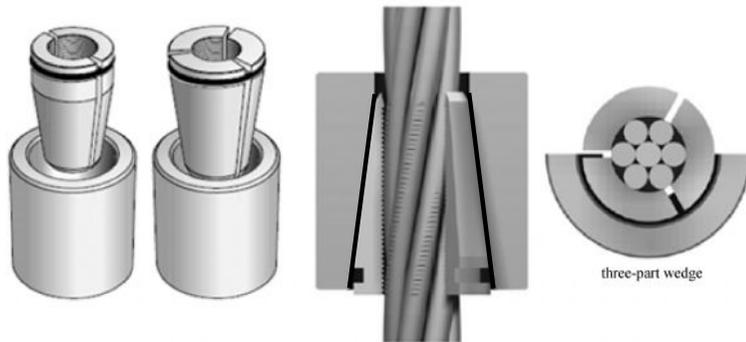
# Precompressione con cavi post-tesi

Ancoraggi attivi



# Precompressione con cavi post-tesi

## Ancoraggi attivi

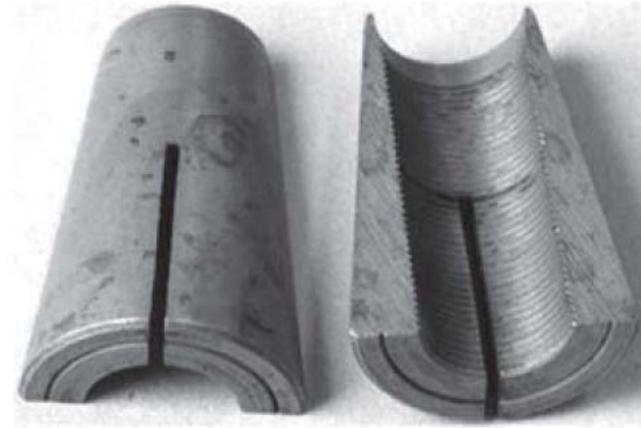


# Precompressione con cavi post-tesi

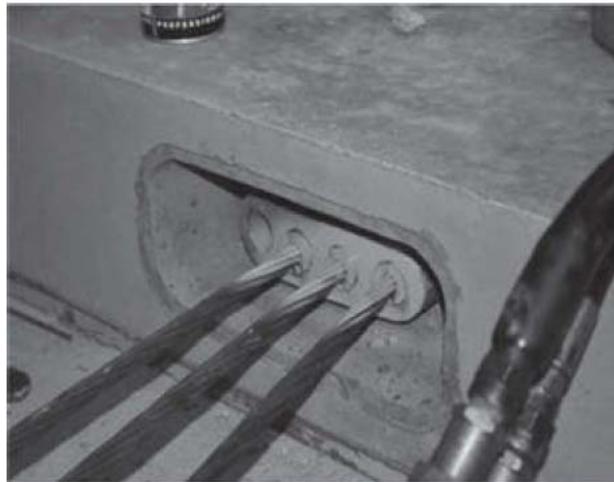
## Ancoraggi attivi in elementi piani



(a)



(b)



(c)



(d)

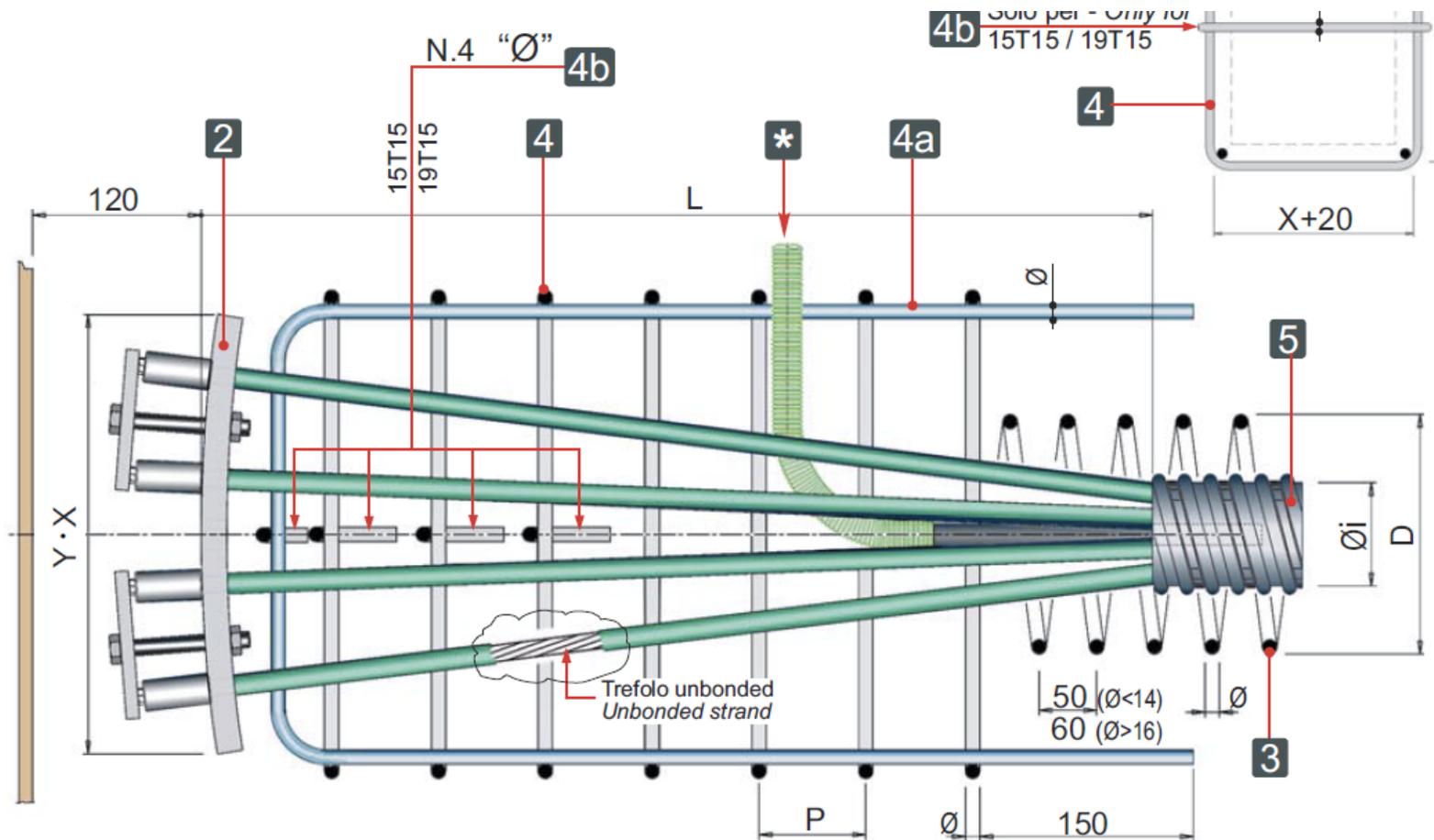
# Precompressione con cavi post-tesi

## Ancoraggi passivi



# Precompressione con cavi post-tesi

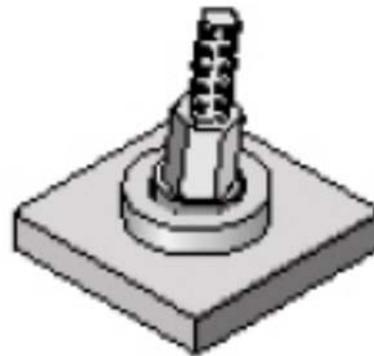
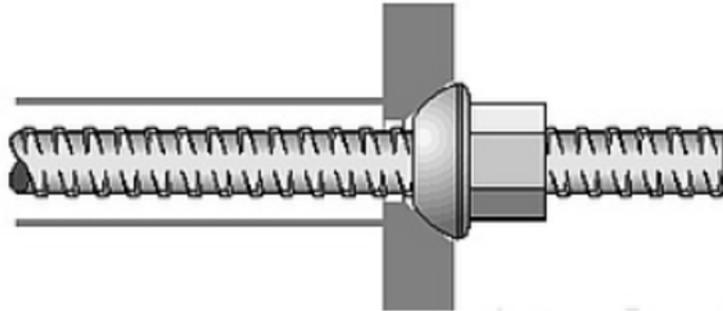
## Ancoraggi passivi



Ancoraggi passivi

# Precompressione con barre

## Tipi di ancoraggio per barre



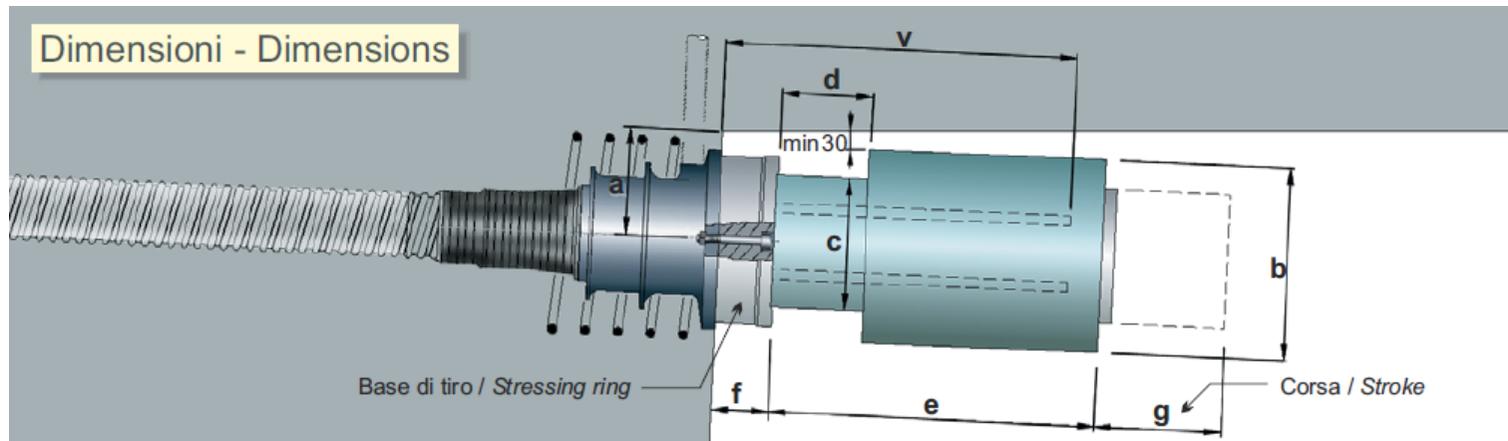
# Precompressione con cavi post-tesi

Martinetti



# Precompressione con cavi post-tesi

## Martinetti

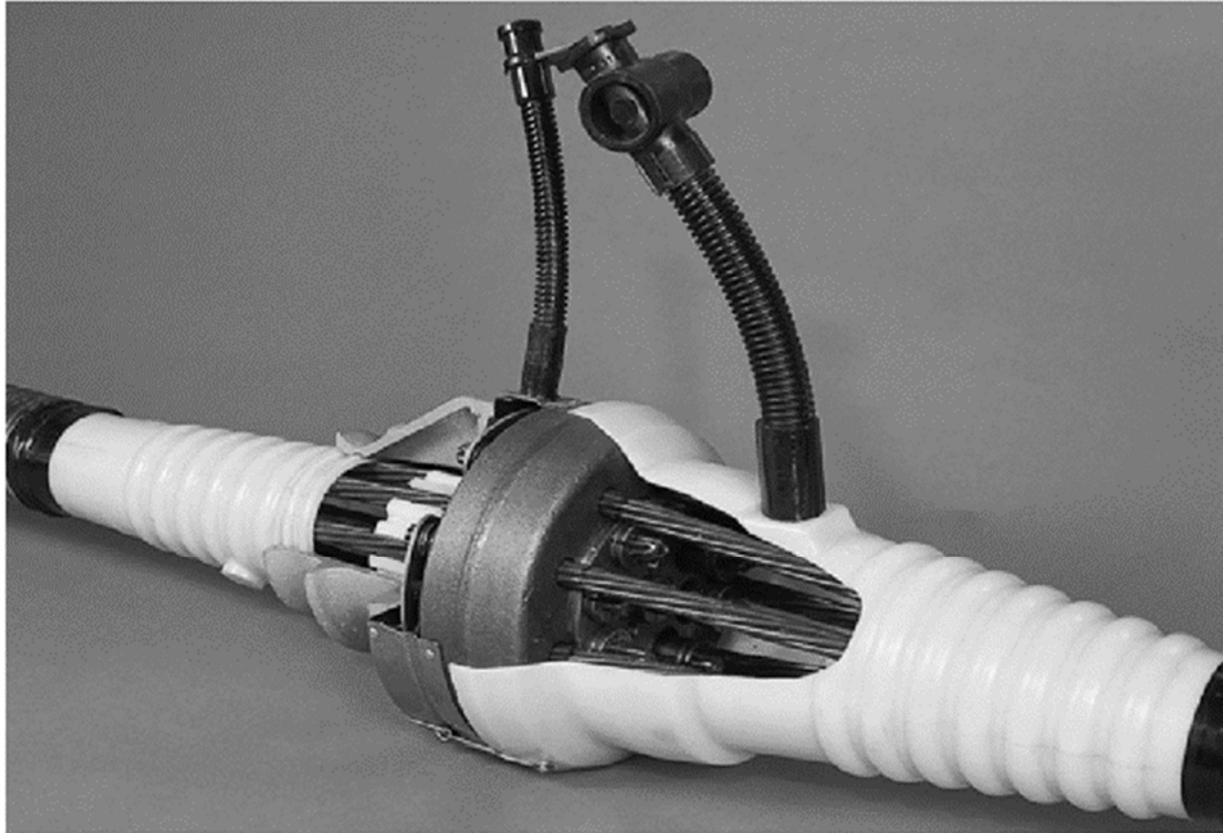


Tab. B

Martinetto tipo L / L type jack	L4.6	L7.6	L12.6	L15.6	L19.6	L22.6	L27.6	L31.6	
per / for	4T15	7T15	12T15	15T15	19T15	22T15	27T15	31T15	
Tiro max / Capacity max	[kN]	900	1600	2700	3400	4300	5000	6100	7000
Dimensioni - [mm] Dimensions	<b>a</b>	90	110	130	150	160	180	190	200
	<b>b</b>	Ø175	Ø220	Ø285	Ø320	Ø360	Ø385	Ø435	Ø455
	<b>c</b>	Ø140	Ø175	Ø220	Ø250	Ø270	Ø295	Ø320	Ø340
	<b>d</b>	155	155	160	165	160	180	180	180
	<b>e</b>	435	445	470	495	490	525	535	550
	<b>f</b>	75	75	85	90	100	100	115	120
Corsa / Stroke	<b>g</b>	125	125	125	125	125	125	125	
Frusta di tiro / Overlength	<b>v</b>	450	460	490	520	540	580	630	650
Sezione utile / Main section	[cm]	158,92	252,39	437,49	549,02	707,20	791,71	1019,97	1118,72
Peso / Weight	[kg]	55	90	145	200	255	320	410	470

# Precompressione con cavi post-tesi

Accoppiatori



# Precompressione con cavi post-tesi

## Iniezione di boiacca

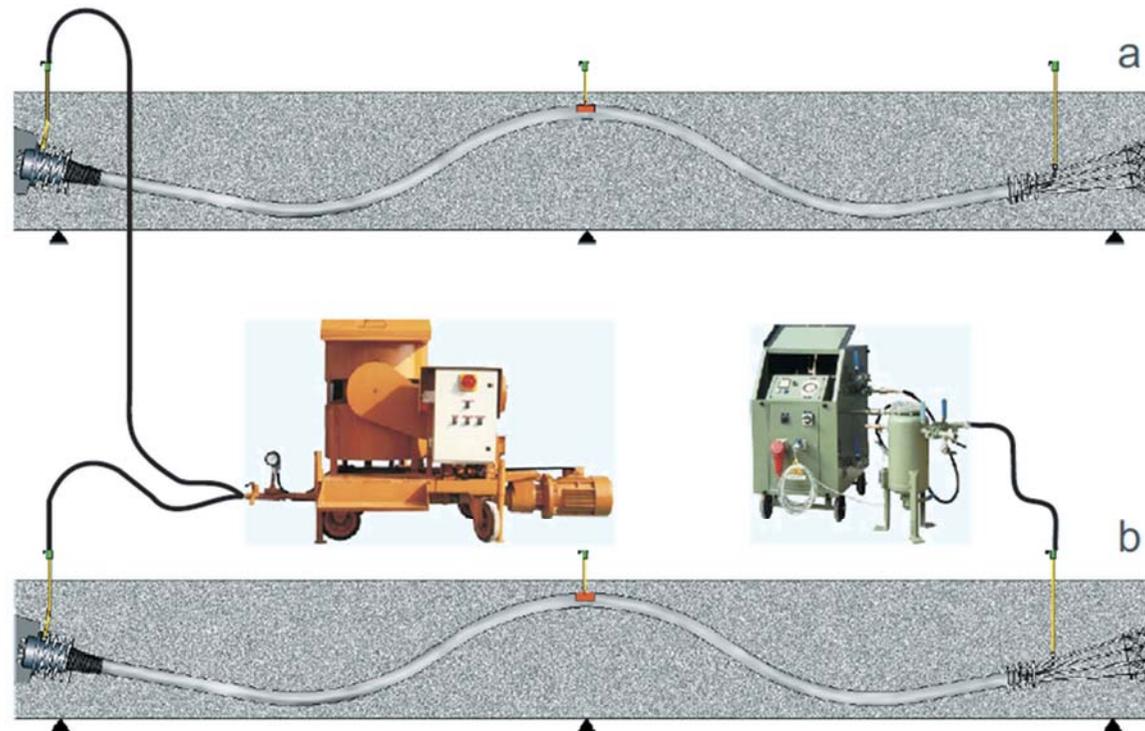
---

Nell'applicazione della precompressione interna, al fine di rendere i trefoli solidali con il calcestruzzo della trave, viene iniettata boiacca di cemento all'interno della guaina.

# Precompressione con cavi post-tesi

## Tecniche d'iniezione

Per garantire che la guaina si riempia di boiaccia, vengono predisposti tubi di ventilazione in diverse parti della struttura (usualmente nei punti di sommità e di ancoraggio esterni) e la boiaccia viene iniettata sotto pressione



# Precompressione con cavi post-tesi

## Test e caratteristiche della boiaccia

### **Test di viscosità**

- Scopo: Assicurare proprietà di viscosità (flow time) della boiaccia per iniezioni all'interno di guaine. Possono essere utilizzate diversi coni per misurare il tempo di scorrimento della boiaccia.
- Test: minimo 2 test per ogni mix di boiaccia, eseguiti prima e durante l'iniezione.
- Richieste: limiti del tempo di scorrimento da 13 a 18 secondi. Stabilità del tempo di scorrimento in periodi di tempo fino a 2 ore e più.

### **Test di resistenza a compressione**

- Scopo: valutazione della resistenza a compressione, usualmente dopo 7 e 28 giorni.
- Test: prove su cubi di 50, 70 or 100 mm di lato, o prismi di 40x40x160 mm.
- Richieste: resistenze di 75 MPa and 90 MPa a 7 giorni e 28 giorni, rispettivamente.

# Precompressione con cavi post-tesi

## Test e caratteristiche della boiaccia

### **Mud balance test**

- Scopo: verifica della densità della boiaccia (peso / volume).
- Richieste: densità di circa  $2.050 \text{ kg/m}^3$  a causa del loro basso contenuto di acqua e della loro bassa porosità.

### **Bleed test**

- Scopo: verifica del bleeding e del cambio di volume.
- Test: colonna di boiaccia con 1 trefolo al centro.
- Richieste: meno del 0.3% di acqua di bleeding e meno di 1% di cambio di volume.

### **Inclined tube test**

- Scopo: verifica del bleeding e della stabilità volumetrica.
- Test: 2 PVC tubi trasparenti in PVC, ognuno con 12 trefoli da 0.6''.
- Richieste: meno del 0.3% di acqua di bleeding e nessun segno di segregazione.

# Precompressione con cavi post-tesi

## Cavi aderenti e non aderenti

---

Vantaggi dei cavi aderenti :

- elevata protezione dalla corrosione
- possibilità di attingere alla piena capacità resistente dell'acciaio da precompresso
- capacità di salvaguardare l'integrità della struttura all'atto della rottura del sistema di ancoraggio o del cavo
- buon controllo dell'ampiezza di fessurazione

# Precompressione con cavi post-tesi

## Cavi aderenti e non aderenti

---

### Vantaggi dei cavi non aderenti :

- possibilità di modificare la forza di tensione dell'acciaio da precompresso durante tutta la vita della struttura
- possibilità di ispezionare e sostituire i trefoli del cavo
- distribuzione pressoché costante delle deformazioni del cavo lungo lo sviluppo longitudinale della struttura

### Svantaggi dei cavi non aderenti :

- impossibilità di attingere alla piena capacità resistente dell'acciaio da precompresso
- incapacità di salvaguardare l'integrità della struttura all'atto della rottura del sistema di ancoraggio o del cavo
- minor controllo dell'ampiezza di fessurazione

# Le tecniche di precompressione (interna o esterna)

# Precompressione

## Tecniche di precompressione

---

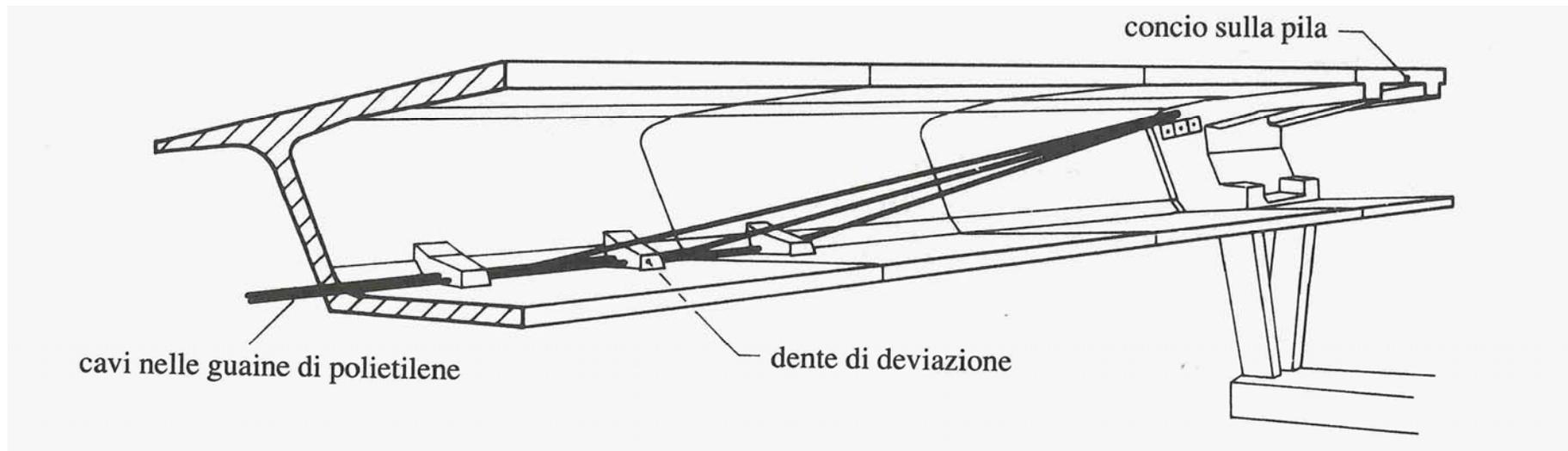
La precompressione può essere effettuata utilizzando essenzialmente due metodi :

- **precompressione interna** (cavi interni alla sezione)
- **precompressione esterna** (cavi esterni alla sezione)

# Precompressione esterna

## Vantaggi

La tecnica di precompressione esterna ha il vantaggio di avere cavi sempre ispezionabili e, se è il caso, ritirati o addirittura sostituiti. Si evita inoltre di avere getti difficoltosi, normalmente tali per le esigue dimensioni delle nervature. I cavi esterni hanno però lo svantaggio di non avere riserve dovuta all'aderenza e di essere soggette maggiormente alla corrosione.



# Precompressione esterna

## Applicazione



# Precompressione esterna

## Applicazione



Il grado di precompressione

# Precompressione

## Grado di precompressione

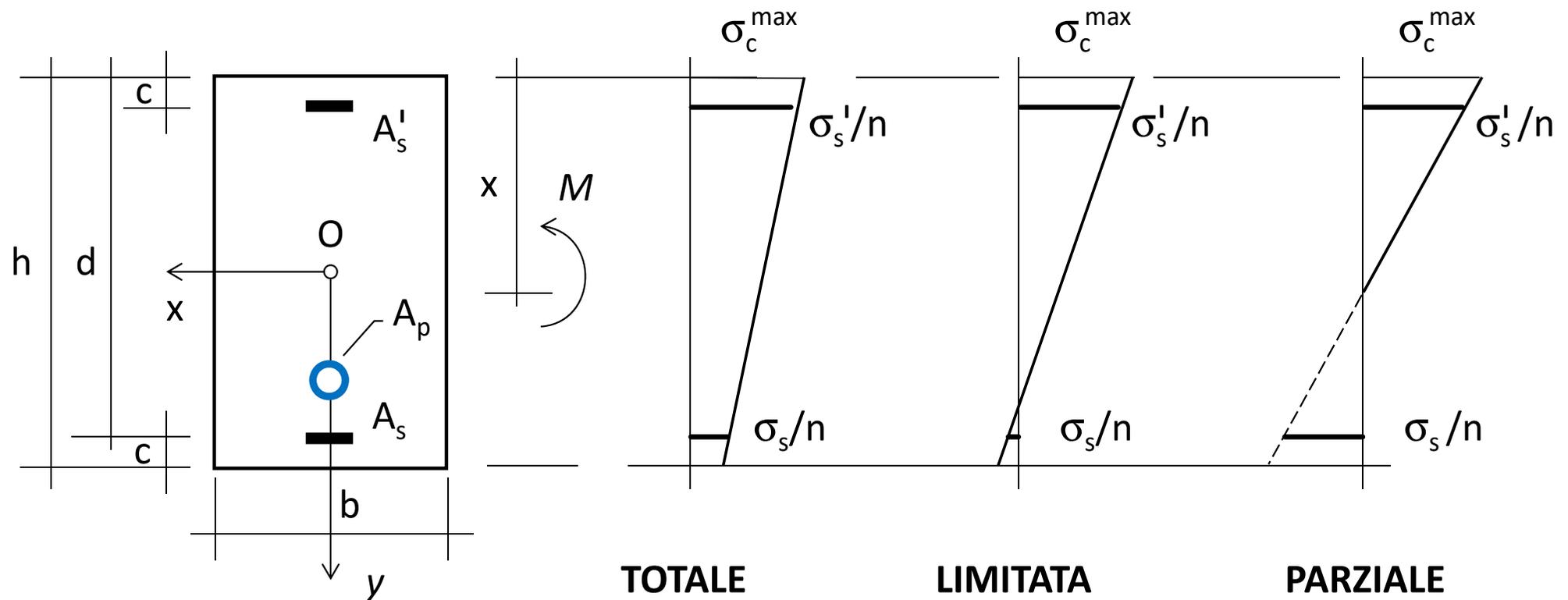
---

La precompressione può essere utilizzata nel cemento armato per annullare totalmente o parzialmente le tensioni di trazione originando :

- **precompressione totale**
- **precompressione limitata**
- **precompressione parziale**

# Tipologie di precompressione

## Precompressione totale, limitata e parziale



Precompressione totale -- sezione totalmente compressa.

Precompressione limitata -- presenza di tensioni di trazione entro i limiti della fessurazione

Precompressione parziale -- fessurazione dell'elemento

# Tipologie di precompressione

## Precompressione totale, limitata e parziale

### Precompressione totale o limitata

- consente la riduzione delle dimensioni della sezione rispetto al caso di c.a. con evidenti conseguenze sulla economicità dell'opera.
- ciò viene realizzato a prezzo di elevati sforzi di precompressione, i quali provocano in genere considerevoli cadute di tensione nei cavi ed elevate deformazioni a lungo termine.

### Precompressione parziale

- riduce i costi dell'opera
- riduce gli sforzi di precompressione ammettendo inevitabilmente la fessurazione della sezione.
- la possibilità di utilizzo della precompressione parziale è ammessa solo in ambienti non aggressivi

FINE