

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.

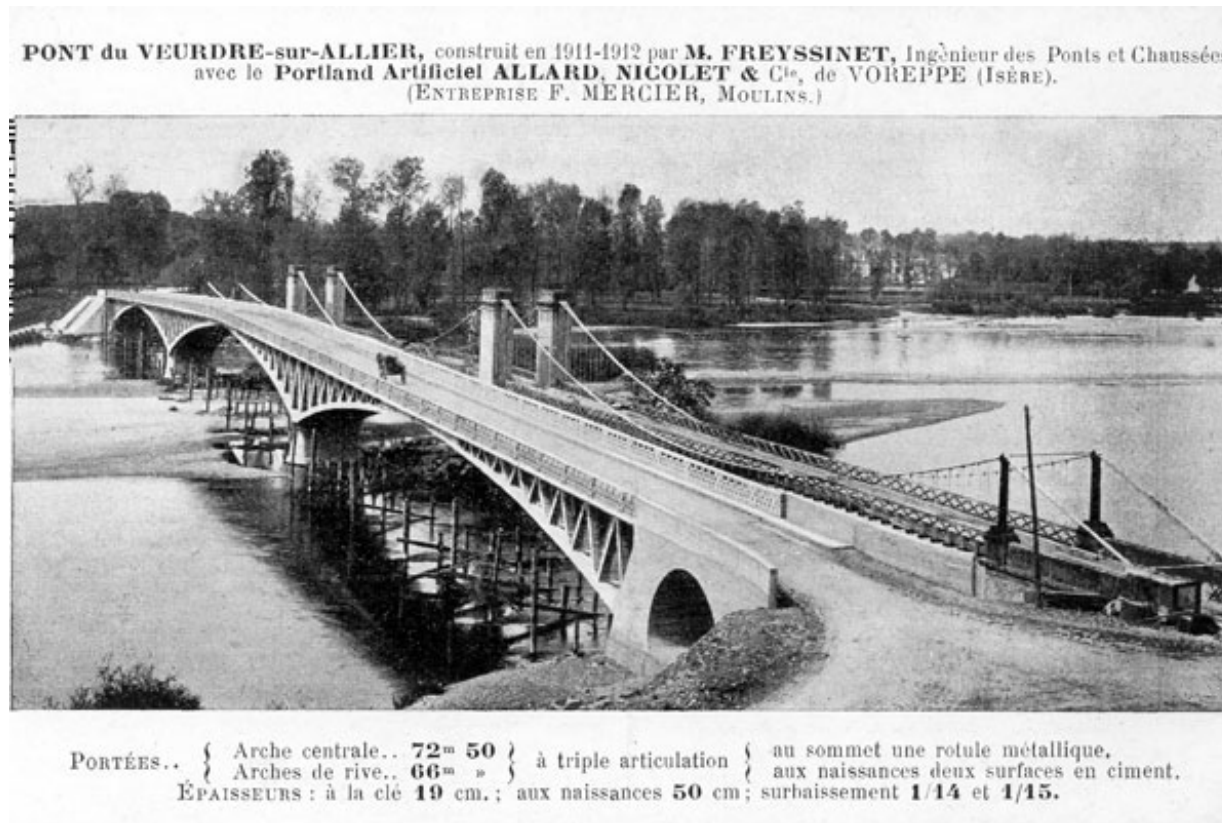


Analogia con la botte di legno

Gli inizi

Precompressione

Gli inizi



Pont du Veudre-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;



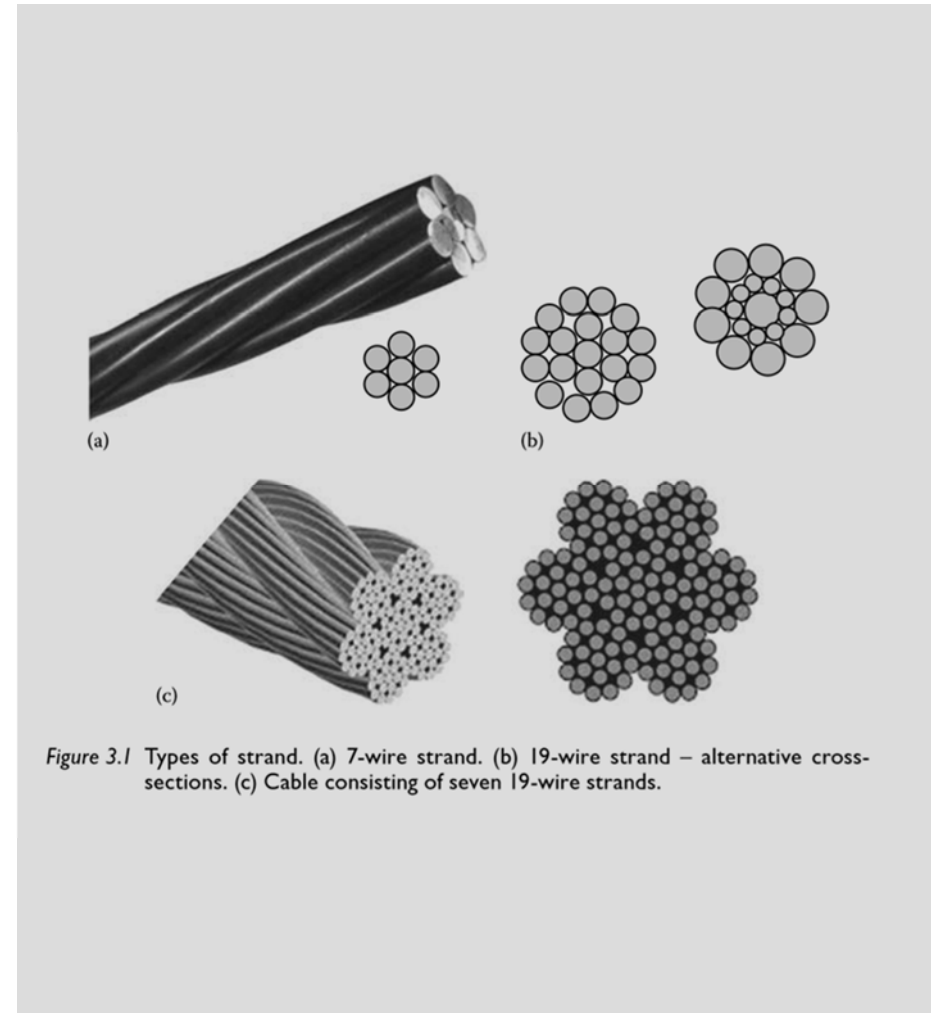
Acciaio da precompresso

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



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

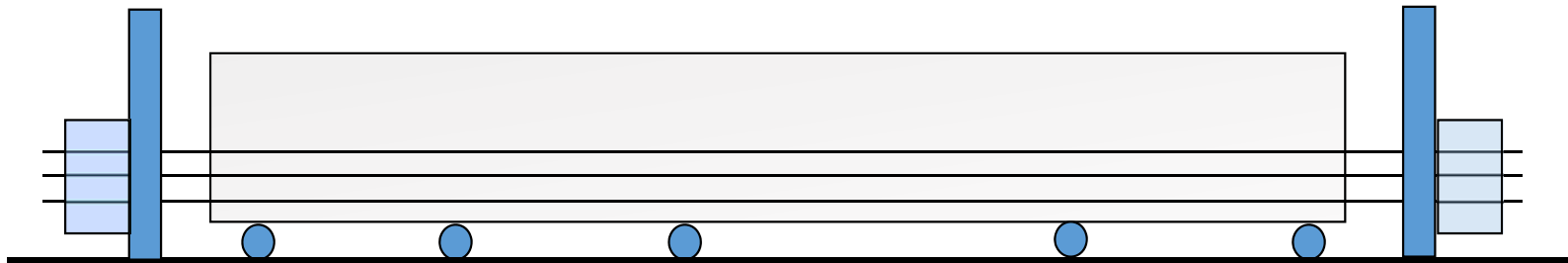
La precompressione interna
può essere realizzata utilizzando due metodi :

- **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.

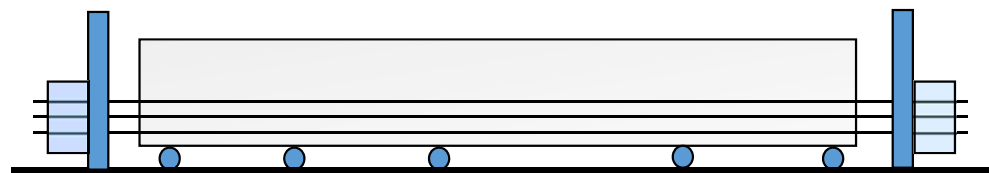


Precompressione con cavi pretesi

Elementi distintivi

Gli elementi distintivi della precompressione a cavi pretesi sono :

- fili, trecce o trefoli
- cavi diritti (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

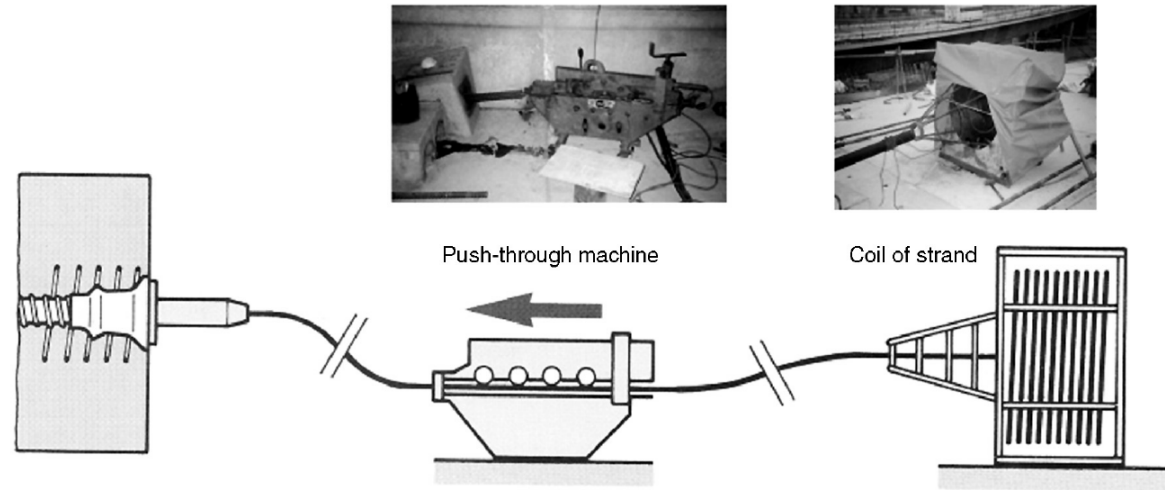
Precompressione con cavi pretesi

Pista di tesatura

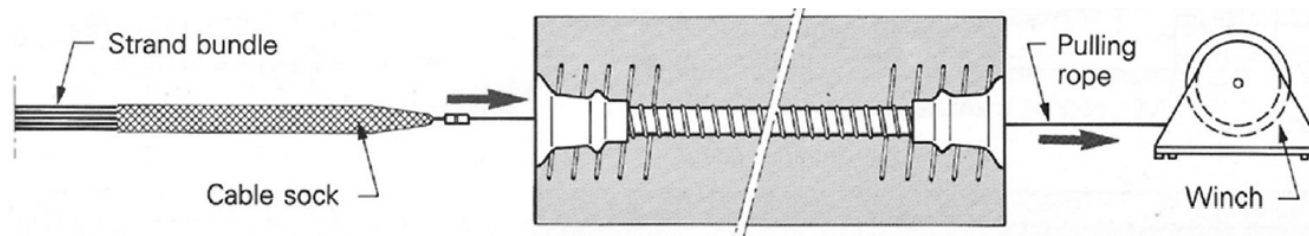


Precompressione con cavi pretesi

Tecniche di posizionamento dei cavi



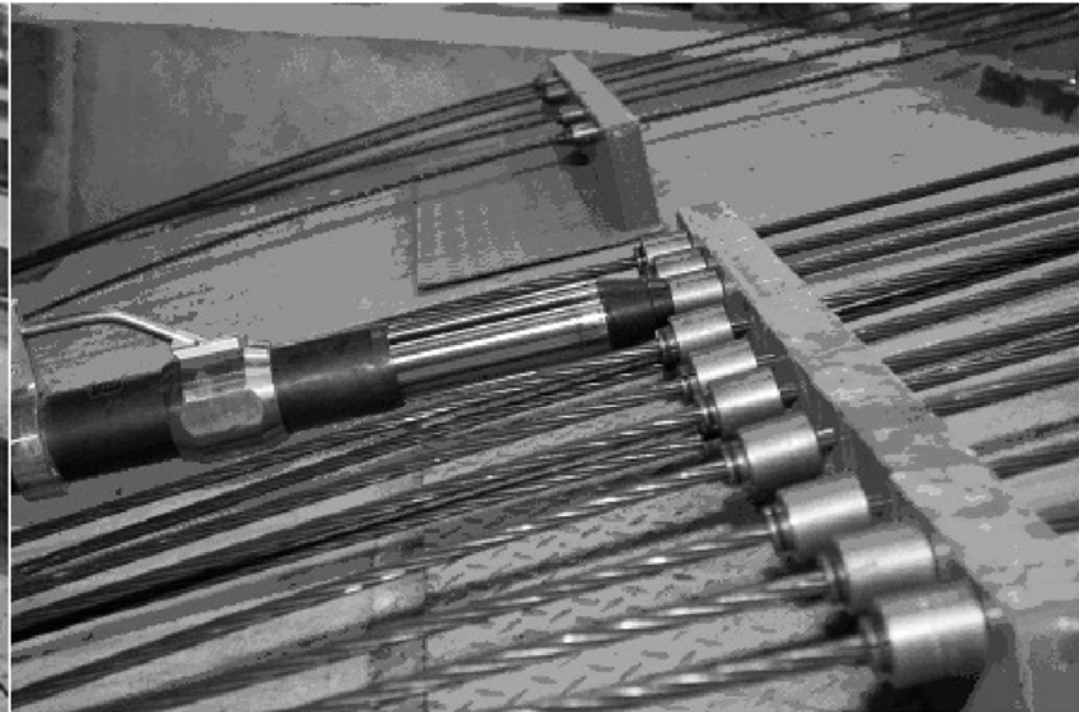
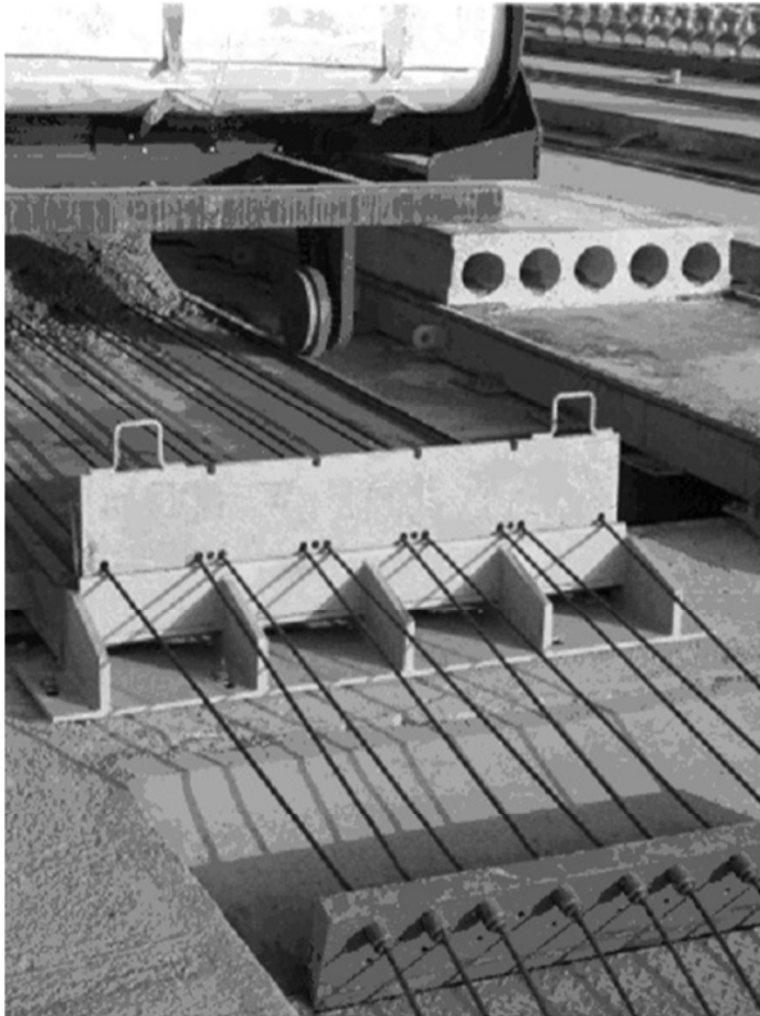
Posizionamento a spinta



Posizionamento a tiro

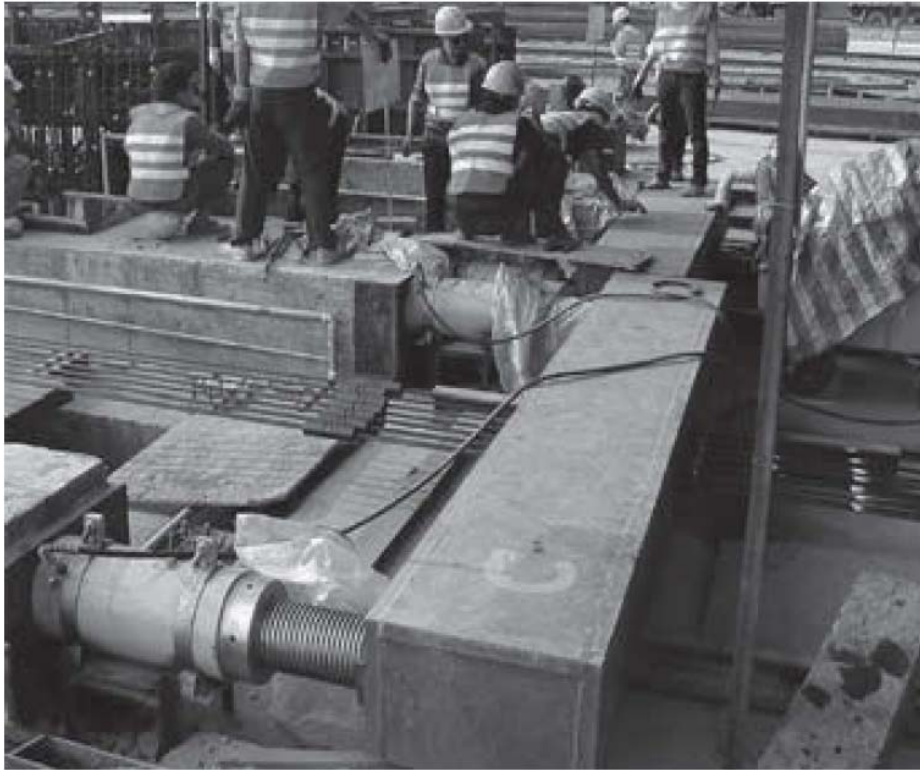
Precompressione con cavi pretesi

Testata



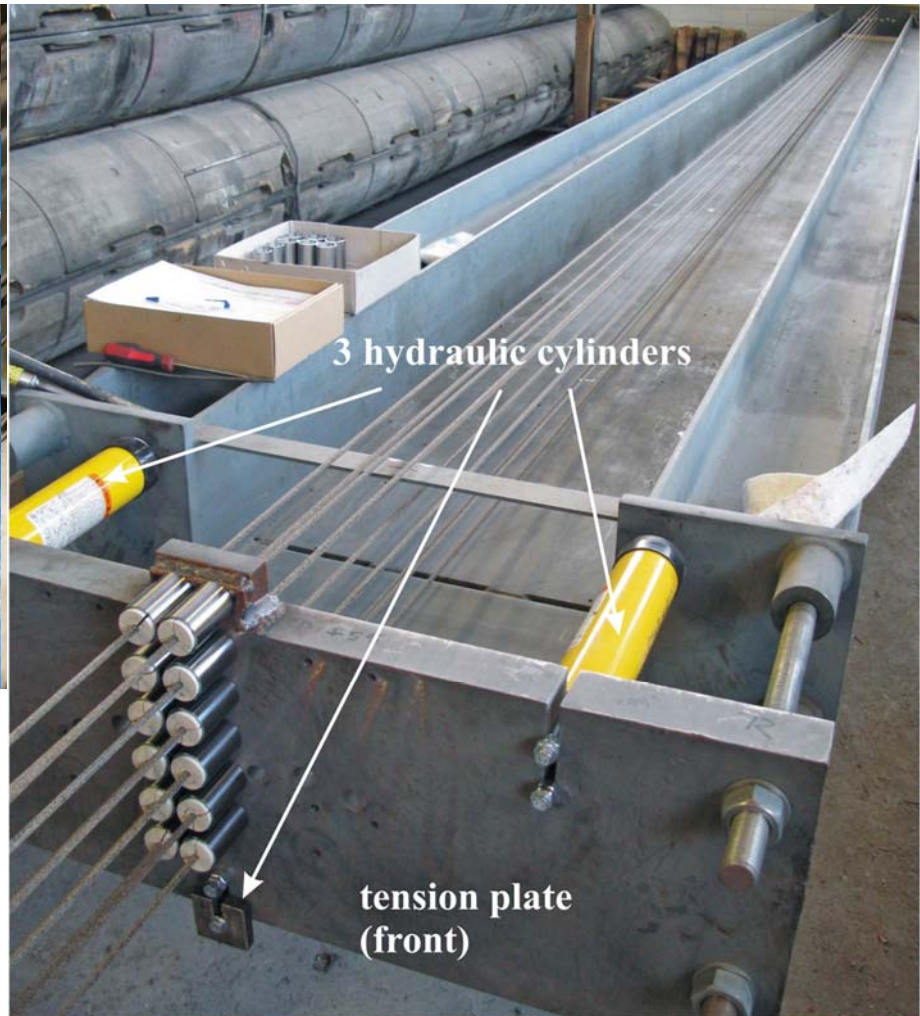
Precompressione con cavi pretesi

Testata



Precompressione con cavi pretesi

Testata



Precompressione con cavi pretesi

Disposizione del calcestruzzo



Precompressione con cavi pretesi

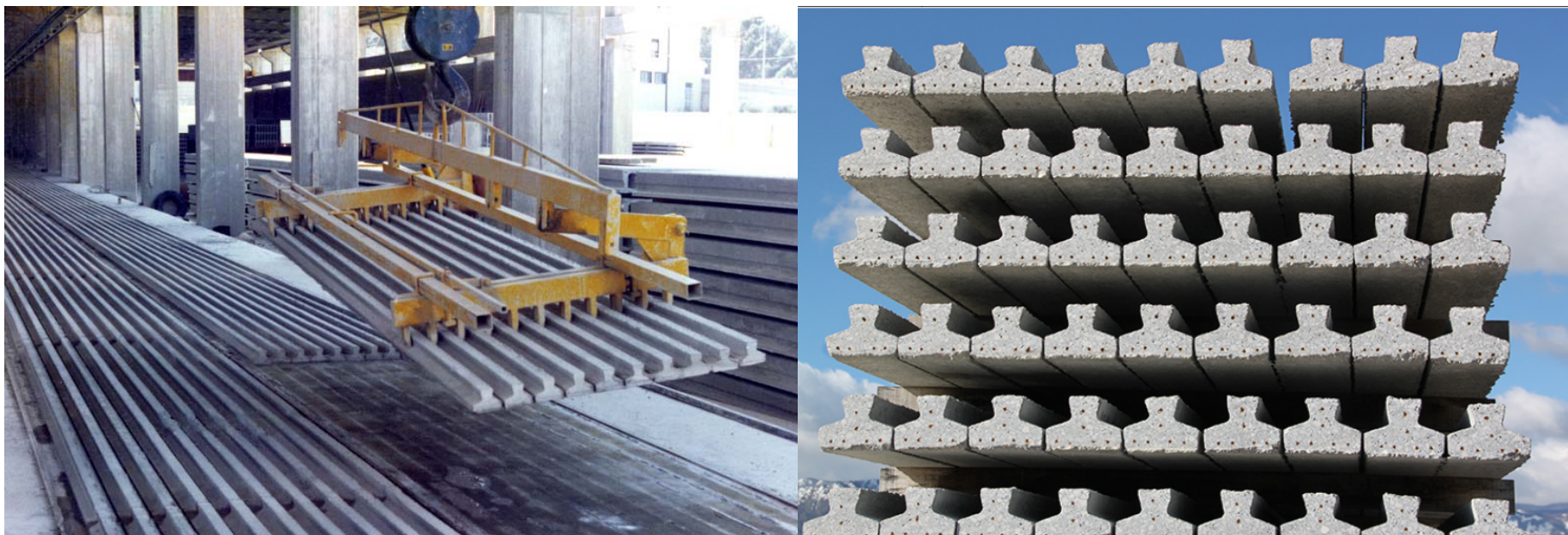
Taglio dei cavi di precompressione



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

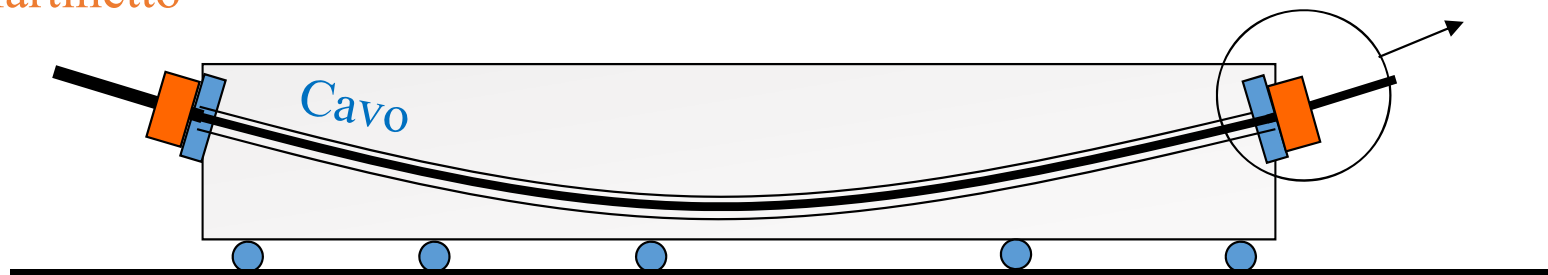


Precompressione con cavi post-tesi

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

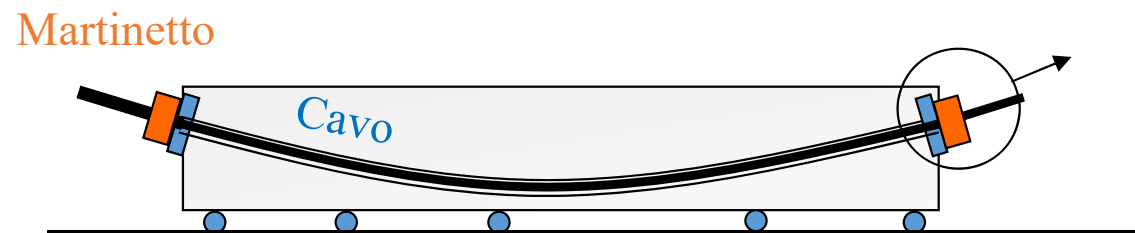


Precompressione con cavi post-tesi

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 boiacca
- 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

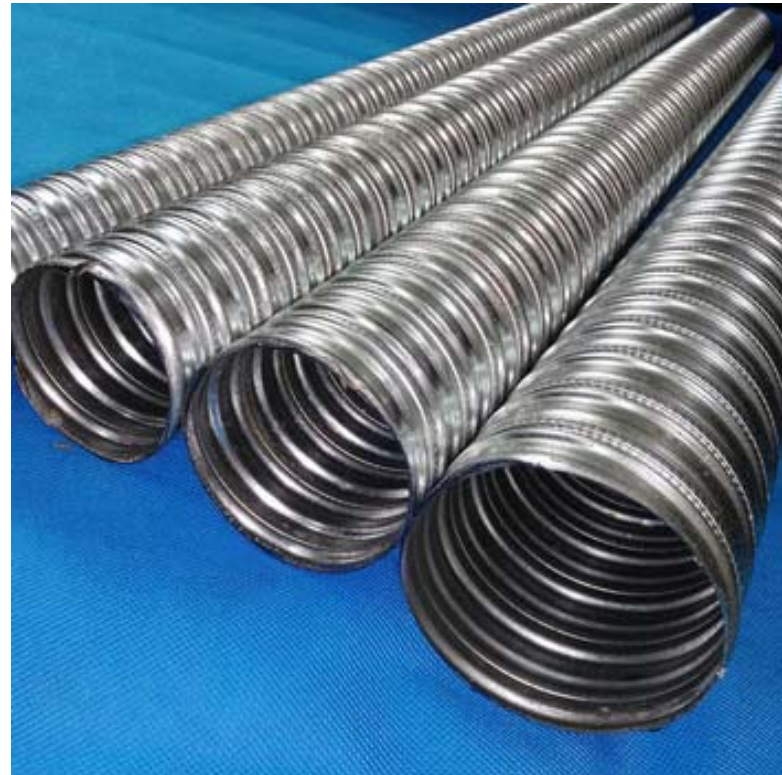


Precompressione con cavi post-tesi

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

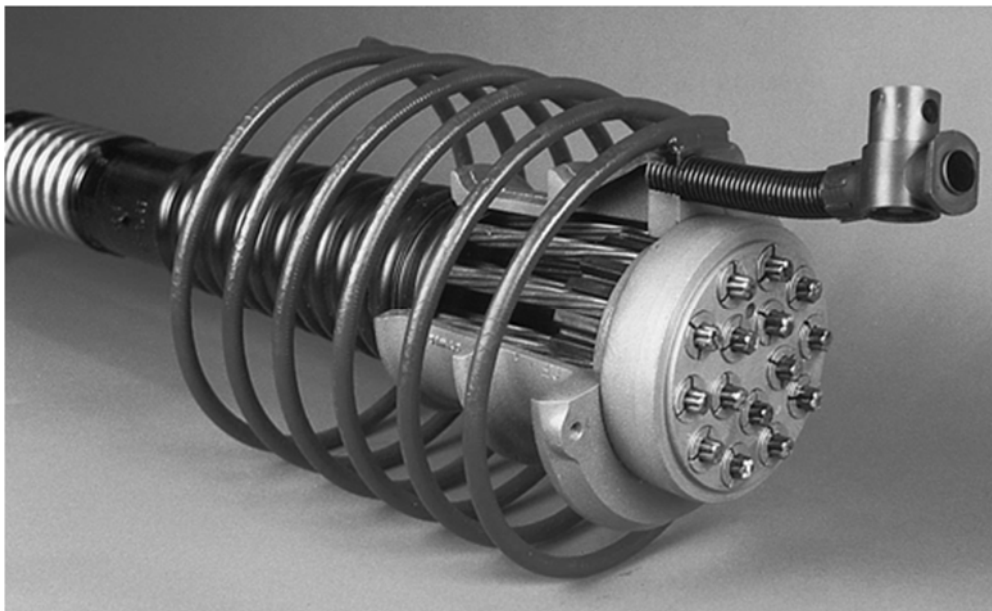
Guaine

	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

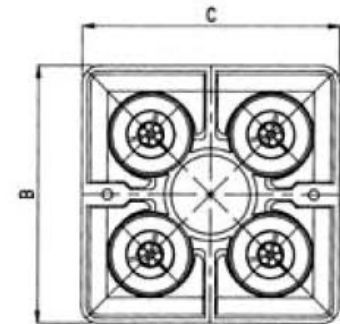
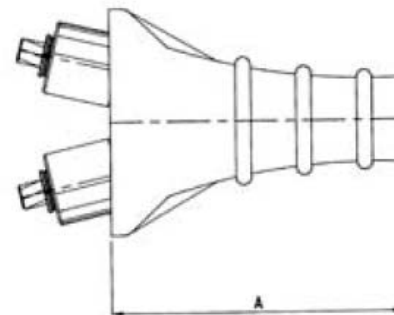
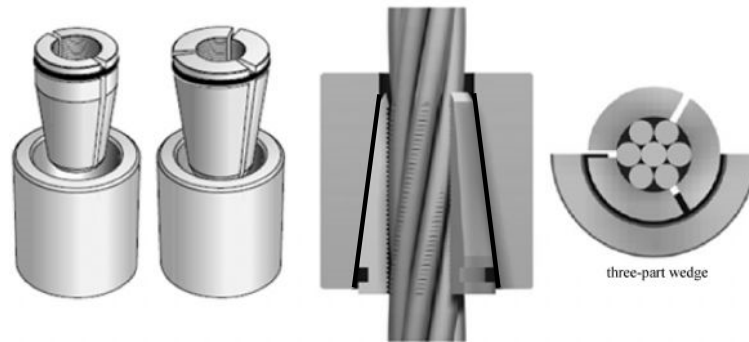
Precompressione con cavi post-tesi

Ancoraggi attivi



Precompressione con cavi post-tesi

Ancoraggi attivi

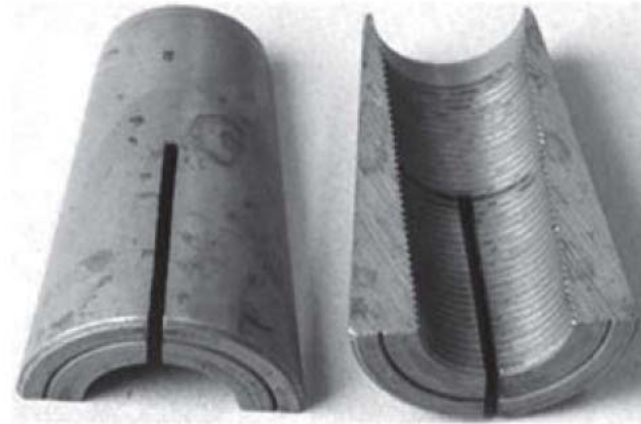


Precompressione con cavi post-tesi

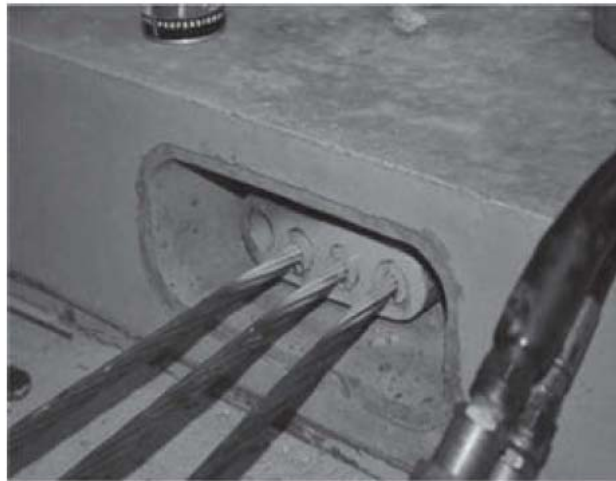
Ancoraggi attivi in elementi piani



(a)



(b)



(c)



(d)

Precompressione con cavi post-tesi

Ancoraggi passivi

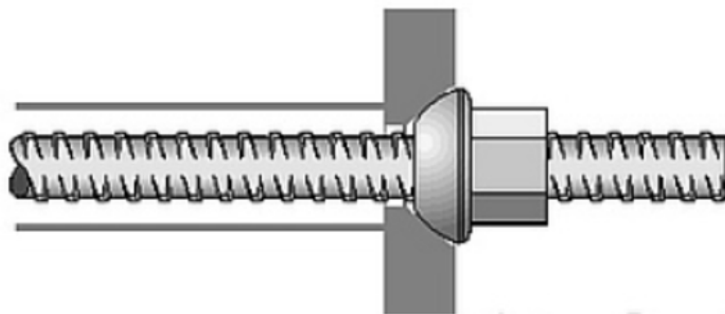


Ancoraggi passivi



Precompressione con barre

Tipi di ancoraggio per barre



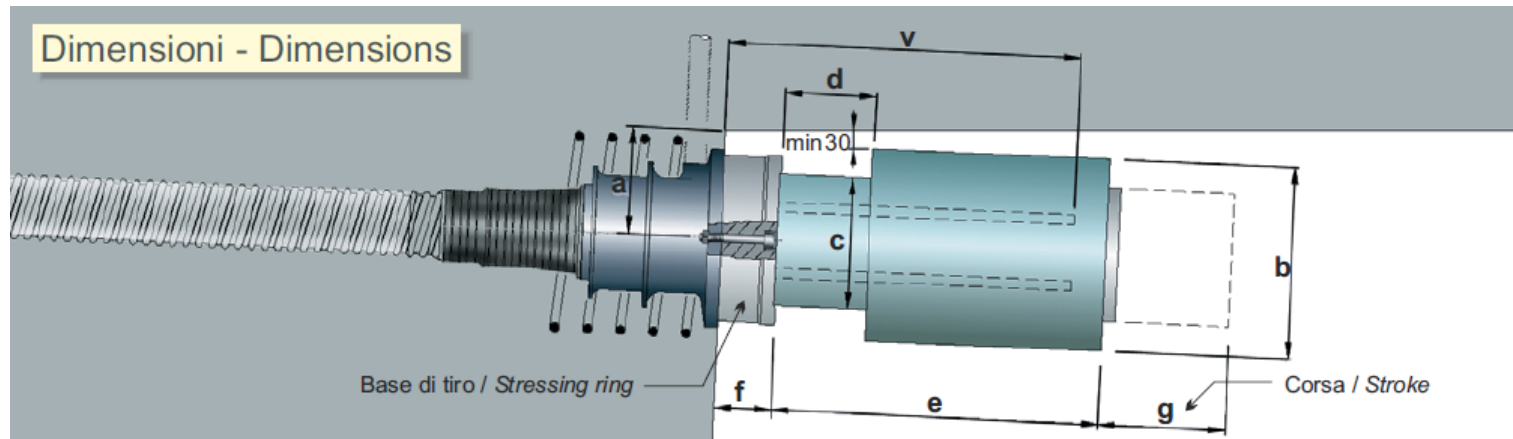
Precompressione con cavi post-tesi

Martinetti



Precompressione con cavi post-tesi

Martinetti

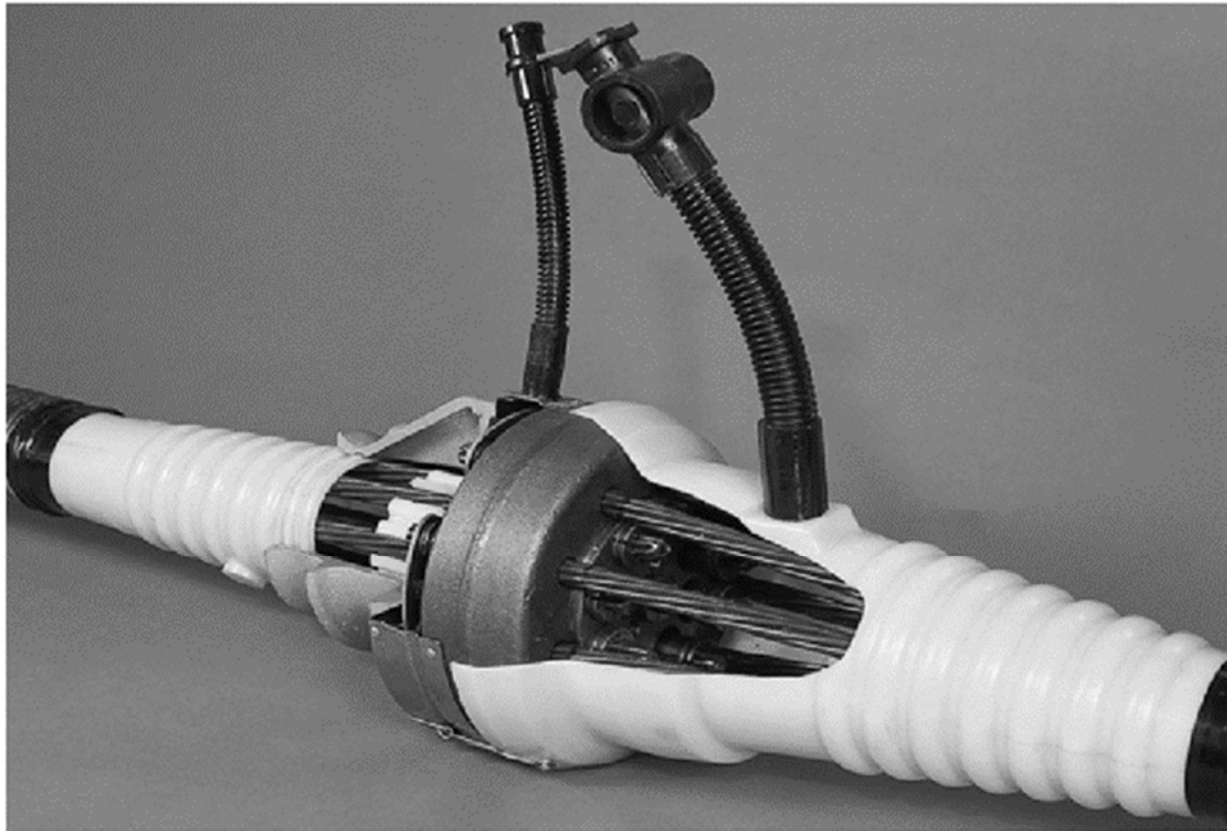


Tab. B

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	a	90	110	130	150	160	180	190	200
	b	Ø175	Ø220	Ø285	Ø320	Ø360	Ø385	Ø435	Ø455
	c	Ø140	Ø175	Ø220	Ø250	Ø270	Ø295	Ø320	Ø340
	d	155	155	160	165	160	180	180	180
	e	435	445	470	495	490	525	535	550
	f	75	75	85	90	100	100	115	120
Corsa / Stroke	g	125	125	125	125	125	125	125	125
Frusta di tiro / Overlength	v	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

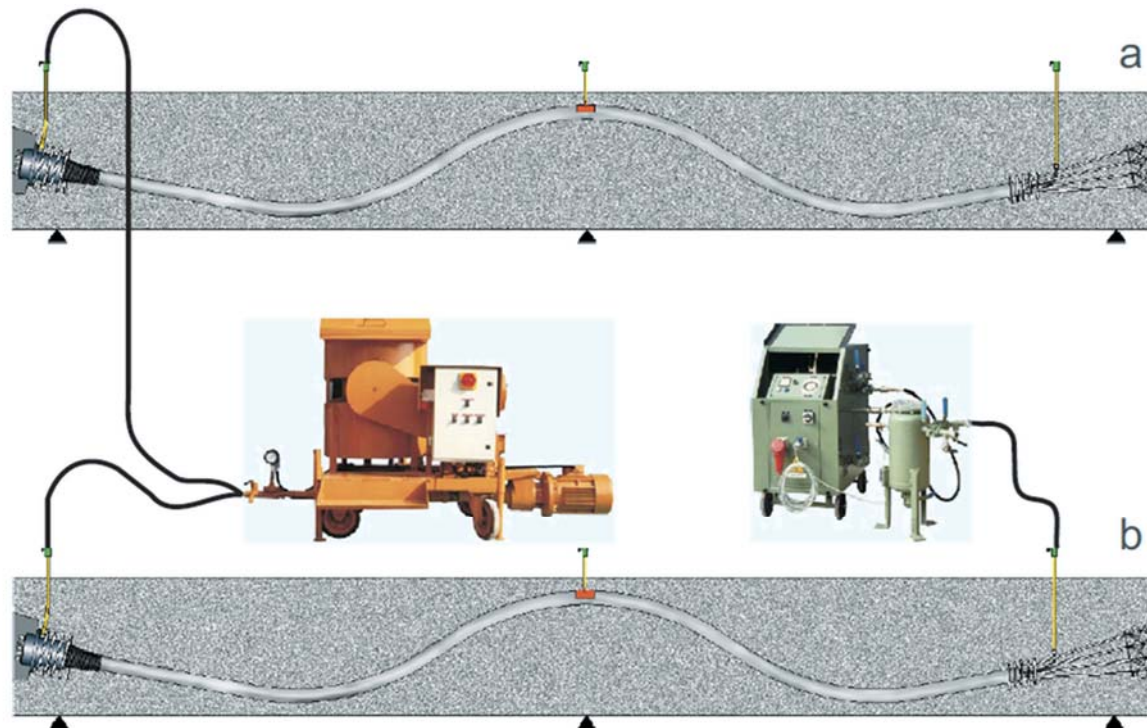
Iniezione di boiacca

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 boiacca, vengono predisposti tubi di ventilazione in diverse parti della struttura (usualmente nei punti di sommità e di ancoraggio esterni) e la boiacca viene iniettata sotto pressione



Precompressione con cavi post-tesi

Test e caratteristiche della boiacca

Test di viscosità

- Scopo: Assicurare proprietà di viscosità (flow time) della boiacca per iniezioni all'interno di guaine. Possono essere utilizzate diversi coni per misurare il tempo di scorrimento della boiacca.
- Test: minimo 2 test per ogni mix di boiacca, 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 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

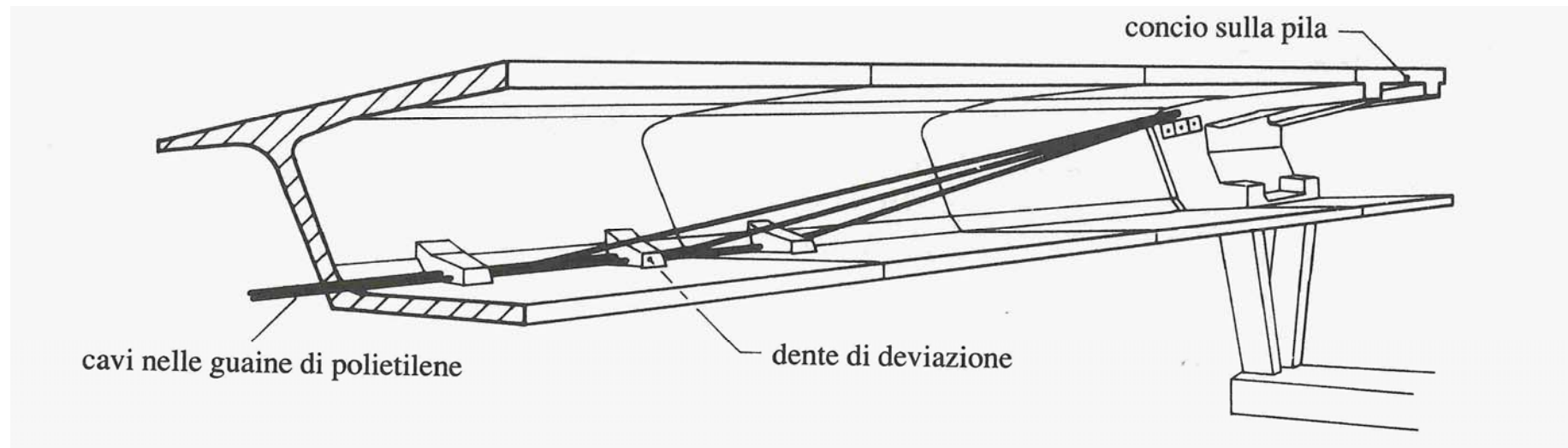
La precompressione può essere effettuata utilizzando essenzialmente due metodi :

- **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

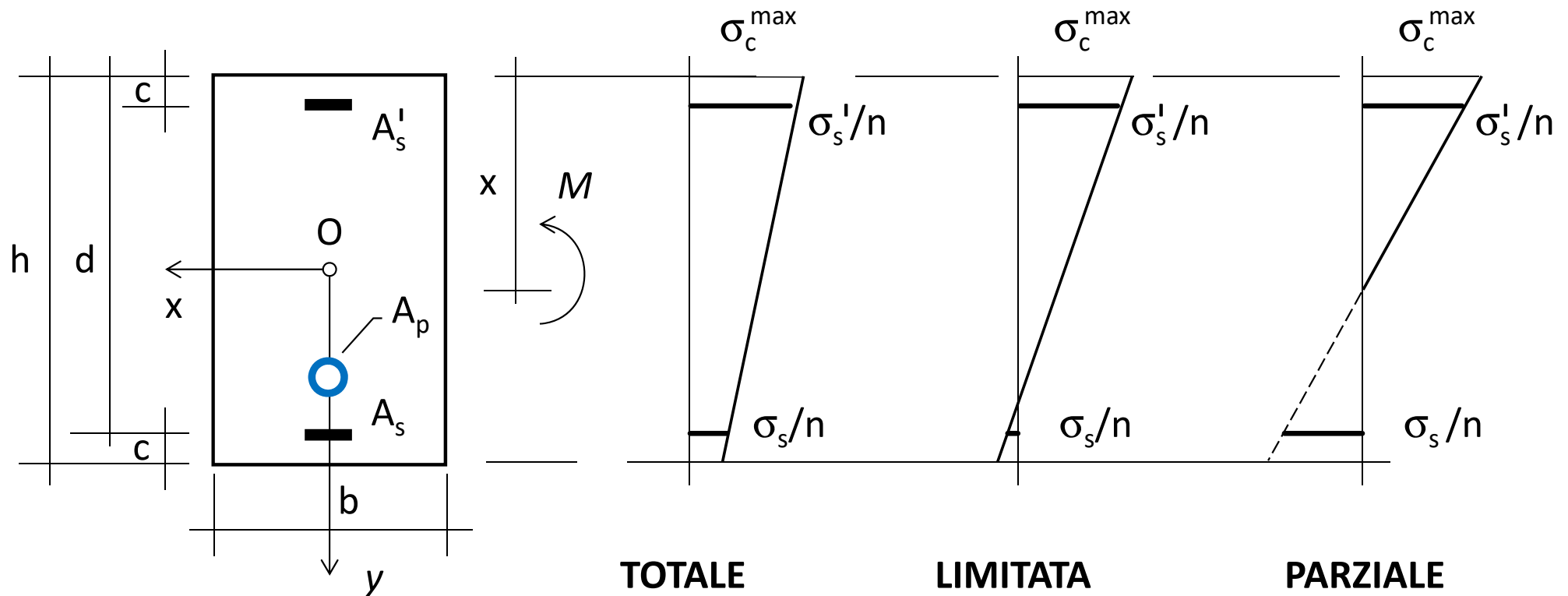
Grado di precompressione

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