D17

# LA PRECOMPRESSIONE SISTEMA MORANDI M5

## PRONTUARIO AD USO DEI PROGETTISTI

a cura di Bruno Morandi

CENTRO PER LO STUDIO E LE APPLICAZIONI DELLA PRECOMPRESSIONE S.p.A.

# SOMMARIO


## 1 - GENERALITÀ

pagina

1.1 - Contenuto e limiti del presente prontuario 7
1.2 - Il sistema « Morandi » 7
1.3 - Il modello M5 7
1.4 - Norme vigenti 8

## 2 - CARATTERISTICHE DEI CAVI

2.1 - Norme di capitolato per i trefoli e caratteristiche commerciali 8
2.2 - Tensioni massime ammissibili 9
2.3 - Portata ed ingombro dei cavi M5 10
2.4 - Limitazioni e suggerimenti per la scelta dei cavi 11
2.5 - Caratteristiche dei terminali 11
2.6 - Estremità morte e cappi 11

## 3 - DISPOSIZIONE DEI CAVI E DIMENSIONAMENTO DELLE TESTATE

3.1 - Interasse delle guaine e copriferro minimo 23
3.2 - Tracciato dei cavi e paretina di protezione 23
3.3 - Interasse delle estremità dei cavi e larghezza delle testate 23
3.4 - Spazio longitudinale minimo per la tesatura 24

## 4 - ARMATURE SECONDARIE E FRETTAGGIO

4.1 - Caratteristiche minime del calcestruzzo e stagionatura 24
4.2 - Caratteristiche generali del frettaggio 27
4.3 - Staffatura standard valida per qualsiasi testata 28
4.4 - Spezzoni trasversali variabili e loro determinazione 28
4.5 - Spirali, staffatura ordinaria ed esempio riassuntivo 31
4.6 - Frettaggio dei cappi 33

## - MODALITÀ DI TESATURA, CADUTE DI TENSIONE E CALCOLO DEGLI ALLUNGAMENTI


1 - Numero delle fasi di tesatura e ritaratura 37
2 - Piano di tesatura e controllo degli allungamenti 38
3 - Calcolo della tensione di tiro e deformazioni lente 39
4 - Cadute per attrito 40
5 - Assestamento degli ancoraggi 41
6 - Calcolo degli allungamenti 41
7 - Formule pratiche per travi semplicemente appoggiate 42


## - APPLICAZIONI PARTICOLARI


1 - Generalità 43
2 - Elemento di giunzione per cavi 43
3 - Costruzione a conci 45
4 - Cerchiatura di serbatoi e silos 46


## APPENDICE


Norme per l'approvvigionamento dei trefoli 47


## INDICE ANALITICO

PINOTTO

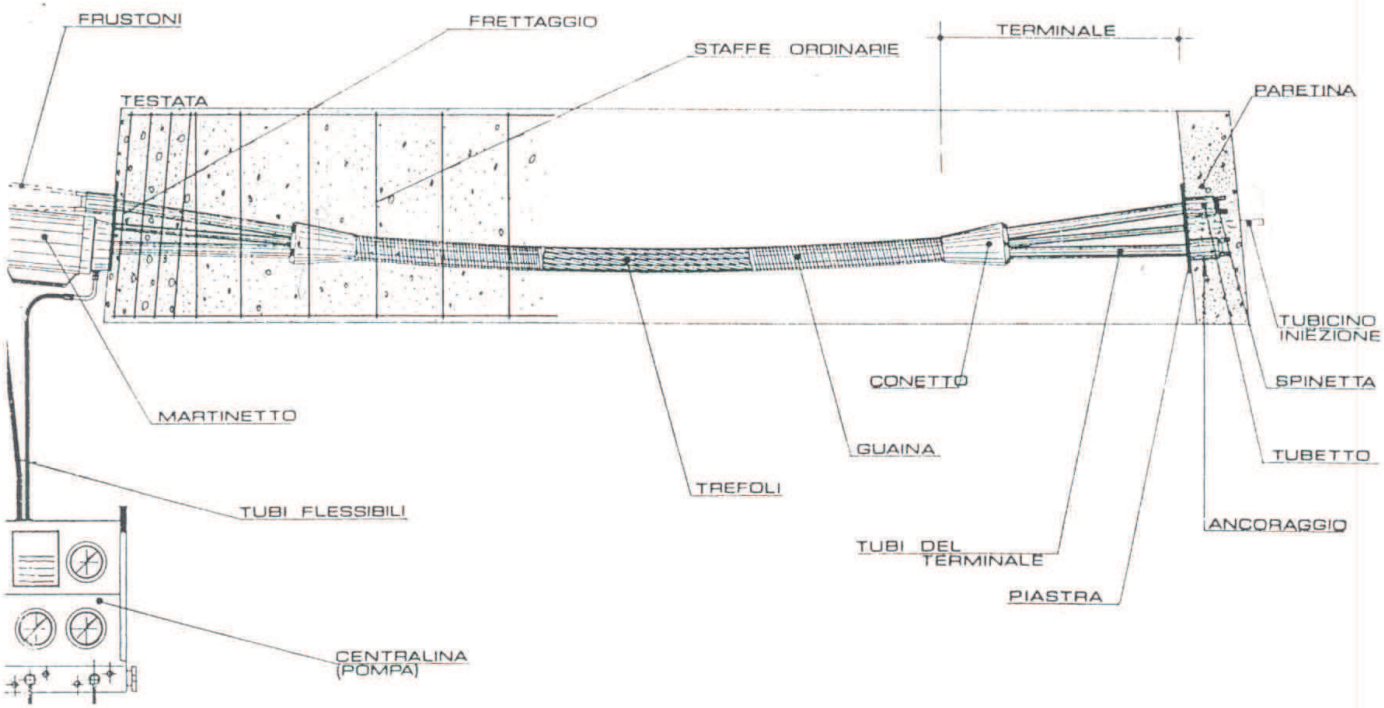



figura n. 1

# 1 - GENERALITÀ

## 1.1 - Contenuto e limiti del presente prontuario

Questo opuscolo contiene tutti e soltanto i dati necessari al progettista per impiegare i cavi di precompressione tipo M5 (a trefoli), o per adattare a tale sistema un progetto già eseguito. Ne restano quindi escluse, in quanto non interessano direttamente il progettista, la descrizione particolareggiata delle attrezzature e le istruzioni per il loro impiego; inoltre l'esigenza di fornire un prontuario maneggevole e di uso corrente ha suggerito di escludere anche una particolareggiata esposizione dei vantaggi del sistema, come ogni altra documentazione (certificati ufficiali, opere eseguite) che sia sufficiente conoscere una volta per tutte. Per tutti questi argomenti si rinvia a pubblicazioni separate.

Nell'ordinamento e stesura dei dati si è tenuto soprattutto presente l'impiego di gran lunga più comune del sistema, e cioè la precompressione di travi; alcune altre applicazioni sono citate sommariamente nel testo, e molte estensioni dei dati qui riportati sono del tutto ovvie. In ogni caso i tecnici del CeSAP potranno fornire direttamente ai progettisti tutte le delucidazioni necessarie.

## 1.2 - Il sistema « Morandi »

Il sistema « Morandi » concerne la precompressione a cavi scorrevoli (o post-tesatura); esso fa parte cioè della classe di sistemi di precompressione in cui i cavi sono messi in tensione dopo il getto e l'indurimento del calcestruzzo, e vengono ancorati a questo con bloccaggi che restano poi annegati nella struttura. Durante il getto i cavi sono generalmente già collocati entro le casseforme con la protezione di guaine metalliche flessibili; è possibile però anche impiegare conci prefabbricati nei quali i cavi vengono infilati in appositi canali dopo la posa in opera dei conci stessi. In ogni caso durante la tesatura i cavi scorrono liberamente nelle guaine o nei canali; al termine delle operazioni una iniezione di pasta o malta di cemento provvede a renderli solidali con la restante massa del calcestruzzo, mentre gli ancoraggi restano annegati nel getto di una paretina di protezione.

La tesatura viene ordinariamente effettuata da ambedue le estremità del cavo (ma può avvenire anche da una parte sola); la possibilità di sbloccare e ribloccare indefinitamente gli ancoraggi consente di effettuare tale tesatura in quante fasi si vuole, ed anche di ritarare le tensioni a distanza di tempo. È anche possibile controllare in qualsiasi momento la tensione dei cavi senza sbloccare gli ancoraggi, oppure in casi di emergenza riannullare completamente la tensione di un cavo già tesato.

Nella fig. 1 è citata la nomenclatura relativa alle varie parti del cavo che verrà impiegata nel seguito.

## 1.3 - Il modello M5

Il modello M5 a trefoli permette, rispetto ai tipi che impiegano fili, di realizzare cavi di maggiore portata e di effettuare più velocemente le operazioni di tesatura; per ambedue questi motivi è particolarmente adatto per strutture di grandi dimensioni o per impieghi in forti quantità, anche

se può essere impiegato in ogni circostanza in cui vengono usati i tipi a fili. Nel modello M5 viene usato un solo tipo di trefolo, quello ormai internazionalmente standardizzato come trefolo da ½", costituito da 7 fili di cui uno centrale rettilineo e 6 elicoidali; ogni ancoraggio blocca 4 trefoli, che sono quindi indivisibili; i cavi vengono realizzati riunendo una o più (fino a 6) quaterne di trefoli in un'unica guaina.

Sia la tesatura che il bloccaggio avvengono idraulicamente, mediante un doppio martinetto azionato da una pompa elettrica; le tensioni vengono misurate mediante tre manometri, uno dei quali serve di controllo ed è normalmente escluso. Tutta l'attrezzatura è manovrabile a mano e non richiede quindi ponteggi diversi da quelli atti a sostenere gli uomini.

### 1.4 - Norme vigenti

I cavi e le attrezzature sistema Morandi, nonché tutti i dati contenuti in questo prontuario soddisfano i requisiti prescritti in Italia dalle « Norme per l'impiego delle strutture in cemento armato precompresso » approvate dal Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici in data 22 ottobre 1964; ad esse si farà riferimento nell'edizione italiana di questo opuscolo con l'abbreviazione N 64/ seguita dal paragrafo per le Norme propriamente dette, ed N 64 C/ seguita dal paragrafo per il « Commento sulle Norme » emanato contemporaneamente.
Il sistema soddisfa anche quanto prescritto dai principali regolamenti stranieri; nei casi in cui le Norme italiane erano carenti (soprattutto nei riguardi dei trefoli) sono state tenute particolarmente presenti le « Tentative Recommendations for Prestressed Concrete » americane del 1958. Ad esse si farà talvolta riferimento con l'abbreviazione RA/ seguita dal paragrafo.
Il CeSAP è comunque a disposizione dei progettisti impegnati in lavori all'estero per fornire particolari sul regolamento vigente in ogni singolo paese.
Tutti i progetti di strutture totalmente o parzialmente precompresse da realizzare in Italia devono essere inviati in triplice copia al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per l'approvazione.

## 2 - CARATTERISTICHE DEI CAVI

### 2.1 - Norme di capitolato per i trefoli e caratteristiche commerciali

Il trefolo impiegato deve soddisfare ai requisiti prescritti dal Capitolato Americano A.S.T.M. - A 416/57 per il trefolo a 7 fili del diametro nominale di ½", nonché alle norme italiane.
I requisiti principali previsti dal Capitolato Americano, tradotti nel sistema metrico, sono:

| | |
|---|---|
| Diametro nominale | ½" = 12,7 mm |
| Sezione nominale | = 92,90 mm² |
| Peso nominale | = 0,734 Kg/m |
| Carico di rottura minimo | = 16.329 Kg |
| Minimo carico all'1% di allungamento | = 13.880 Kg |
| Allungamento a rottura minimo (base 610 mm) | = 3,5% |

Il trefolo non deve essere né oliato né ingrassato.
Le norme italiane precisano poi le tolleranze ammesse sulla sezione e sul diametro (N 64/ 2.41), stabiliscono la frequenza e le modalità dei controlli imposti al produttore (N 64/2.31 e

2.4), ed aggiungono il requisito che la tensione corrispondente all'1% di allungamento totale sia $\geqslant 0{,}80\ \sigma_{sr}$ e $\leqslant 0{,}95\ \sigma_{sr}$, dove $\sigma_{sr}$ è la tensione di rottura (N 64/2.46).

L'attuale produzione commerciale di trefolo italiano e straniero si basa in genere sulle norme A.S.T.M. citate, e supera largamente i requisiti minimi, con una tendenza a realizzare sezioni in eccesso; poiché una sezione troppo grande disturba fortemente il funzionamento degli ancoraggi, è particolarmente importante che venga rispettata la tolleranza del + 4% sulla sezione, imposta dalle norme. Si può inoltre osservare che ciò è conveniente anche per motivi economici, perché il trefolo viene pagato secondo il suo peso reale, mentre la sua utilizzazione è basata sulle caratteristiche minime garantite; per questa ragione è opportuno fra l'altro che eventuali confronti dei prezzi offerti dai vari produttori siano basati sul prezzo al metro e non su quello al chilo.

Le tensioni indicate nel seguito sono quindi basate sulla sezione nominale e sulle caratteristiche minime; gli eventuali margini addizionali disponibili nella realtà vengono sfruttati essenzialmente per migliorare la sicurezza (la rottura accidentale di trefoli in cantiere risulta infatti molto più rara di quella di fili) e per consentire eventuali incrementi della tensione qualora al momento della tesatura gli allungamenti risultassero troppo scarsi (cfr. § 5.2).

## 2.2 - Tensioni massime ammissibili

Applicando ai carichi minimi del capitolato A.S.T.M. divisi per la sezione nominale i coefficienti ed i limiti previsti dalle norme italiane (N 64/2.7) ed arrotondando i risultati si ottiene:

— Tensione ammissibile di esercizio (tensione iniziale depurata di tutte le perdite per ritiro e viscosità del conglomerato, rilassamento acciaio, attrito nei cavi, rientro ancoraggi, effetto mutuo)

$$\bar{\sigma}_s \leqslant 100\ \text{Kg/mm}^2$$

— Tensione ammissibile iniziale di tiro (tensione all'estremità del cavo subito dopo la tesatura e il bloccaggio, cioè tensione di tiro depurata dell'assestamento degli ancoraggi)

$$\bar{\sigma}_{si} \leqslant 130\ \text{Kg/mm}^2 \qquad \text{(tollerata)}$$

Poiché la tensione iniziale ammissibile appare piuttosto elevata, con insufficienti margini per lo sbloccaggio, per la sovratensione che compensa l'assestamento ancoraggi, nonché per eventuali incrementi in caso di allungamento insufficiente, e considerato che le Raccomandazioni americane prescrivono un valore inferiore (RA/207.1.1) (cfr. anche N 64C/2.6) si consiglia vivamente di non superare per la tensione iniziale di tiro a bloccaggio effettuato (dopo l'assestamento degli ancoraggi) il valore:

$$\bar{\sigma}_{si} = 120\ \text{Kg/mm}^2 \qquad \text{(consigliata)}$$

I precedenti limiti non sono validi nei casi in cui il cavo è soggetto a variazioni di tensione frequenti e di notevole entità (in particolare nel suo impiego come tirante o catena): sono allora indispensabili apposite prove a fatica (N 64C/2.723) e l'adozione di tensioni che garantiscano adeguati margini di sicurezza (N 64C/2.31). Tali prove possono essere imposte dalle norme di capitolato in ogni caso.

## 2.3 - Portata ed ingombro dei cavi M5

| (Vedi al § 2.4 le limitazioni per i tipi S) | Cavo tipo | M5/4 | M5/8<br>M5/8 S | M5/12 | M5/16 | M5/20 S | M5/24 S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Numero trefoli da ½" | | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| Sezione nominale | $cm^2$ | 3,716 | 7,432 | 11,148 | 14,864 | 18,580 | 22,296 |
| Peso teorico netto (soli trefoli) | Kg/m | 2,94 | 5,87 | 8,81 | 11,75 | 14,68 | 17,62 |
| Portata massima di esercizio ($\sigma$ = 100 $Kg/mm^2$) | t | 37,16 | 74,32 | 111,48 | 148,64 | 185,80 | 222,96 |
| Portata iniziale consigliata ($\sigma$ = 120 $Kg/mm^2$) | t | 44,59 | 89,18 | 133,78 | 178,37 | 222,96 | 267,55 |
| Portata iniziale massima ($\sigma$ = 130 $Kg/mm^2$) | t | 48,31 | 96,62 | 144,92 | 193,23 | 241,54 | 289,85 |
| Dimensioni della piastra | cm | 14 × 14 | 14 × 27 | 25,5 × 27 | 27 × 27 | 34 × 35 | 36,5 × 40 |
| Lunghezza del terminale | cm | 7 | 56,5 | 60 | 74 | 89 | 105 |
| Diametro interno guaina | mm | 38 | 50 | 63 | 72 | 80 | 90 |
| Area del foro (da detrarre dalla sezione del calcestruzzo) | $cm^2$ | 11,9 | 20,5 | 32,1 | 41,9 | 51,6 | 65 |
| Larghezza minima testata | cm | 22 | 22 | 32 | 35 | 42 | 45 |

## 2.4 - Limitazioni e suggerimenti per la scelta dei cavi

I tipi M5/20 S e M5/24 S possono essere impiegati soltanto se il tracciato del cavo è completamente rettilineo: essi sono appositamente studiati per grandi tiranti e catene.
Il cavo tipo M5/4, non avendo diramazioni, può essere impiegato anche nel caso di infilaggio dei trefoli dopo il getto (generalmente in trasversi di ponti le cui travi siano state prefabbricate). Il cavo tipo M5/8 S ha le stesse caratteristiche del tipo M5/8, ma è dotato di un terminale speciale privo di diramazioni: esso deve essere impiegato nel solo caso in cui occorra infilare i trefoli dopo il getto e d'altra parte la portata del cavo M5/4 risulti insufficiente.
Con gli altri tipi di cavo l'infilaggio dei trefoli dopo il getto non è impossibile, ma rende necessario praticare in corrispondenza di una delle testate dei fori laterali (da riempire successivamente) attraverso i quali sia possibile raggiungere al termine della guaina ogni quaterna ed infilarla a mano nel corrispondente tubo che si dirama dal conetto del terminale (figura 2).
Salve restando le limitazioni precedenti, va segnalato che i cavi più grandi risultano economicamente convenienti rispetto a quelli più piccoli, sia per il costo intrinseco che per il fatto che un minor numero di cavi semplifica la confezione dell'armatura ed il getto.

## 2.5 - Caratteristiche dei terminali

In fig. 2 sono riportati i dettagli dei terminali standard per tutti i tipi di cavi; le offerte redatte dal CeSAP si riferiscono, salvo precisazione contraria, esclusivamente all'impiego di questi terminali.
Tipi speciali di terminali per particolari esigenze possono essere a richiesta studiati dal CeSAP, ma va tenuto presente che l'abbandono della produzione di serie comporta un forte aggravio dei costi; in ogni caso le dimensioni delle piastre sono le minime ammesse sia dalle norme (N 64 C/1.3) che dalle esigenze di ingombro del martinetto e non possono essere ridotte in nessun modo.
I disegni qui riportati contengono soltanto i dati che interessano il progettista e non sono atti alla costruzione dei terminali; qualora si desiderassero maggiori particolari il CeSAP potrà a richiesta fornire i disegni esecutivi dei terminali stessi.

## 2.6 - Estremità « morte » e cappi

Nei casi in cui, per la scarsa lunghezza del cavo, per mancanza di spazio o per altre esigenze, la tesatura viene effettuata da una sola parte, risulta poco conveniente impiegare dalla parte opposta (estremità « morta ») i precedenti terminali ed i relativi ancoraggi, sia per motivi economici che per il meno perfetto funzionamento di un ancoraggio bloccato a mano invece che con il martinetto: è invece opportuno far descrivere ai trefoli una curva (« cappio »), fino a farli rientrare nella stessa guaina, oppure fino a costituire con essi il cavo attiguo. Poiché possono presentarsi esigenze differenti di ingombro, sono stati studiati tre tipi diversi di cappio: la denominazione di ogni tipo indica la caratteristica che si è cercato di esaltare modificando anche il meccanismo di trasmissione delle forze dal cavo al calcestruzzo.

**Cappio «stretto»** (Fig. 3) - È il tipo meno ingombrante e meno costoso. I trefoli restano scoperti a partire dalla fine della guaina, in quanto una parte della resistenza viene affidata all'aderenza diretta fra trefoli e calcestruzzo; la guaina viene resa stagna all'estremità con una fasciatura di tela gommata. Lunghezza e diametro del cappio *sono uguali per tutti i cavi*; a seconda del tipo di cavo varia soltanto l'ingombro in senso normale al piano del cappio, determinato imponendo che tutti i trefoli debbano trovarsi sulla stessa superficie cilindrica e distanziati fra loro di almeno un centimetro; l'ingombro risultante è indicato nella tabella in fig. 3 a per ogni tipo di cavo, nel caso in cui i trefoli rientrano nella stessa guaina.
La figura 3 b mostra l'analoga soluzione per il caso in cui i trefoli non rientrano nella stessa guaina ma vanno a costituire il cavo attiguo; viene indicata la porzione dei trefoli che deve restare scoperta e gli ingombri trasversali per ogni tipo di cavo. Per i cavi M5/20 S e M5/24 S l'ingombro eccessivo rende sconsigliabile questo tipo di soluzione.

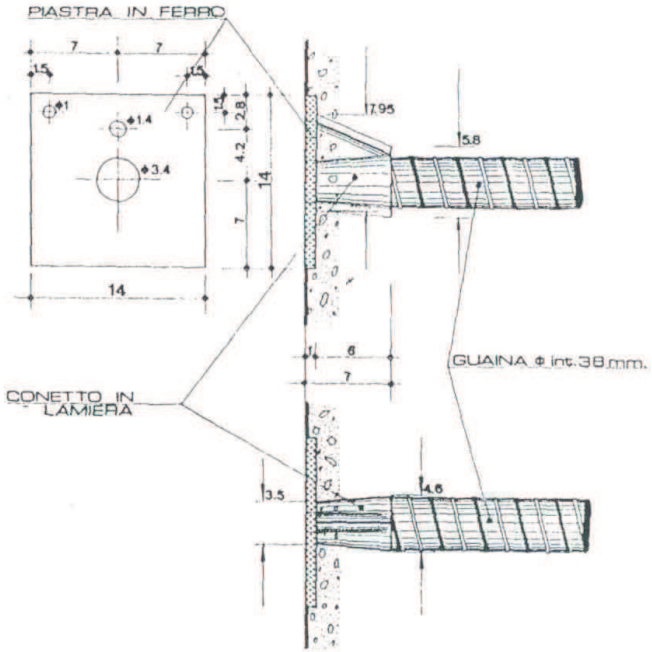
**Cappio « scorrevole »** (Fig. 4) - In ambedue i tipi precedenti di estremità morte si può assumere che all'inizio del semicerchio (sez. A - A' in fig. 3) giunga una tensione eguale a 2/3 di quella all'uscita della guaina. Ciò può contrastare con esigenze statiche (assorbimento del taglio presso l'appoggio in una trave); è allora possibile far pervenire alla sezione A - A' tutta la tensione rivestendo fino a tale sezione il cavo con un apposito ventaglio in lamiera (la cui lunghezza è indicata nella tabella in fig. 4) e compensando la mancata trasmissione di forze per aderenza in uno dei seguenti modi:

a) aumentando il diametro del semicerchio a 60 cm. (fig. 4 a); gli ingombri trasversali restano quelli indicati nelle tabelle in fig. 3;
b) disponendo sotto i trefoli una piastra curva semicircolare dello spessore di 10 mm. (figura 4 b); il diametro del semicerchio può restare di 40 cm. e la larghezza della piastra è ancora data dalle tabelle per h e h' in figura 3.

La fig. 4 illustra queste soluzioni per il caso di ritorno su cavo diverso (in cui trovano maggiore applicazione); perfettamente analoga è la situazione nel caso di ritorno nella stessa guaina.

**Cappio « piatto »** (fig. 5) - Per cavi che non raggiungono la testata opposta della trave, ma terminano entro l'anima di questa può risultare eccessivo l'ingombro trasversale prescritto, mentre può essere desiderabile una maggiore diffusione delle forze trasmesse nella massa del calcestruzzo.
Nel cappio « piatto » i trefoli restano raggruppati come all'interno della guaina e parte della trasmissione delle forze è affidata a 4 ÷ 10 forchette del tipo indicato in figura. Il numero e il diametro delle forchette viene determinato imponendo che la loro sezione complessiva (ciascuna lavora con due sezioni) assorba, lavorando al carico di sicurezza normale per il tipo di acciaio impiegato, una forza uguale alla metà della tensione totale del cavo (o dei due cavi nel caso di ritorno in guaine diverse); in ogni caso il loro numero non dovrà essere inferiore a 4.
La lunghezza delle forchette dovrà essere almeno di 30 diametri; le dimensioni del cappio (uguali per tutti i tipi) sono riportate in fig. 5; è necessario che i trefoli restino scoperti a partire dall'uscita della guaina. Per i cavi maggiori questa soluzione richiede una notevole quantità di ferro.
Per le armature secondarie di tutti i tipi di cappio (spirali, frettaggio) vedi il § 4.6.

# TIPO M5/4




**TERMINALI**

La scala è 1 : 5 ; le quote sono in cm.

figura n. 2a

# TIPO M5/8

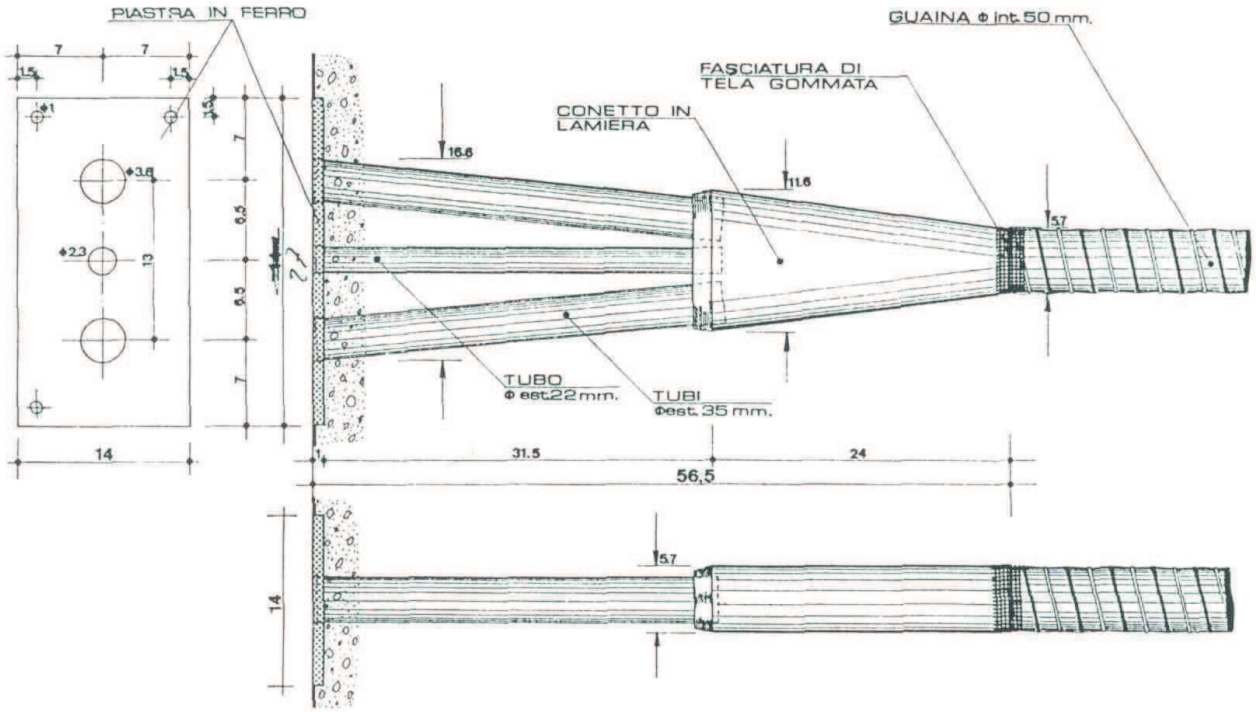



figura n. 2b

# TIPO M5/12

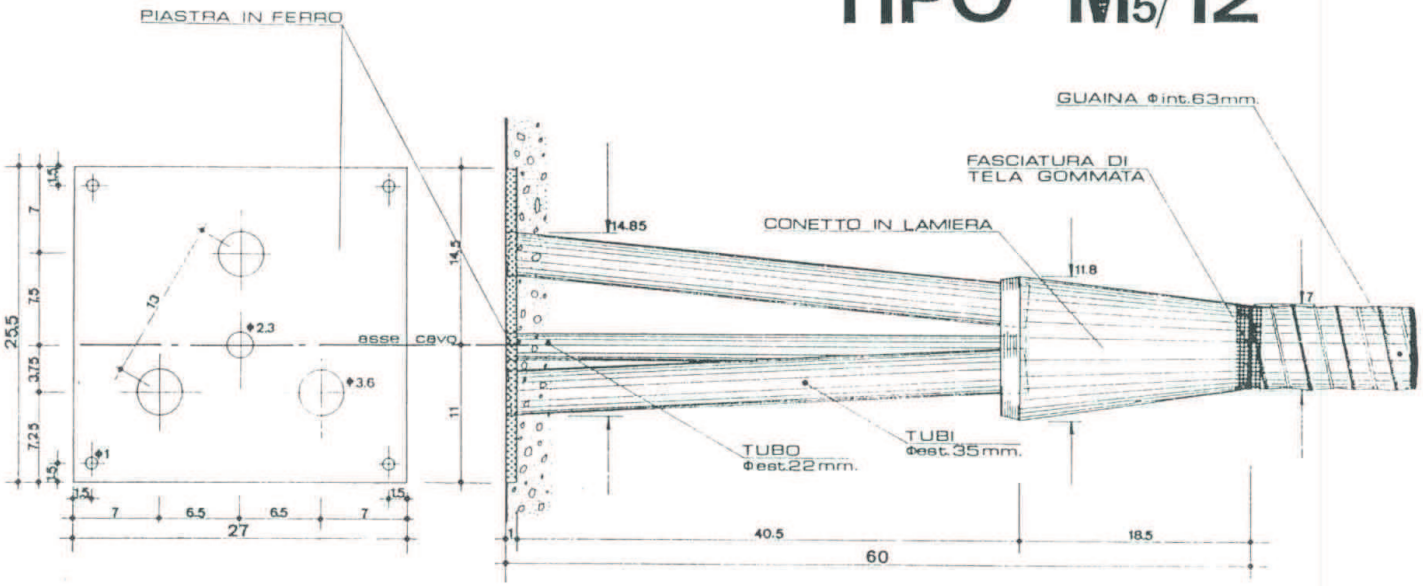



figura n. 2c

# TIPO M5/16

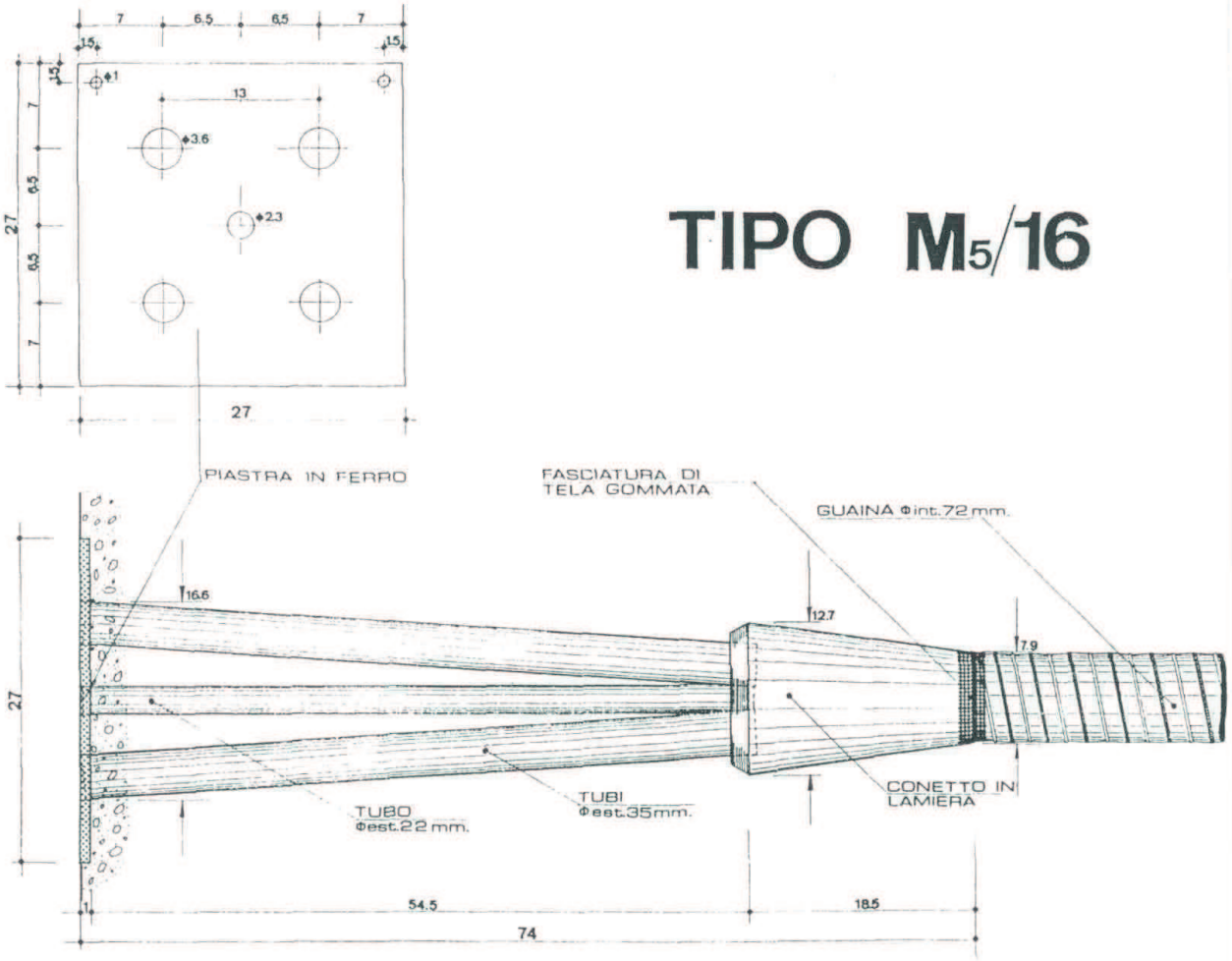



figura n. 2d

# TIPO M5/20S

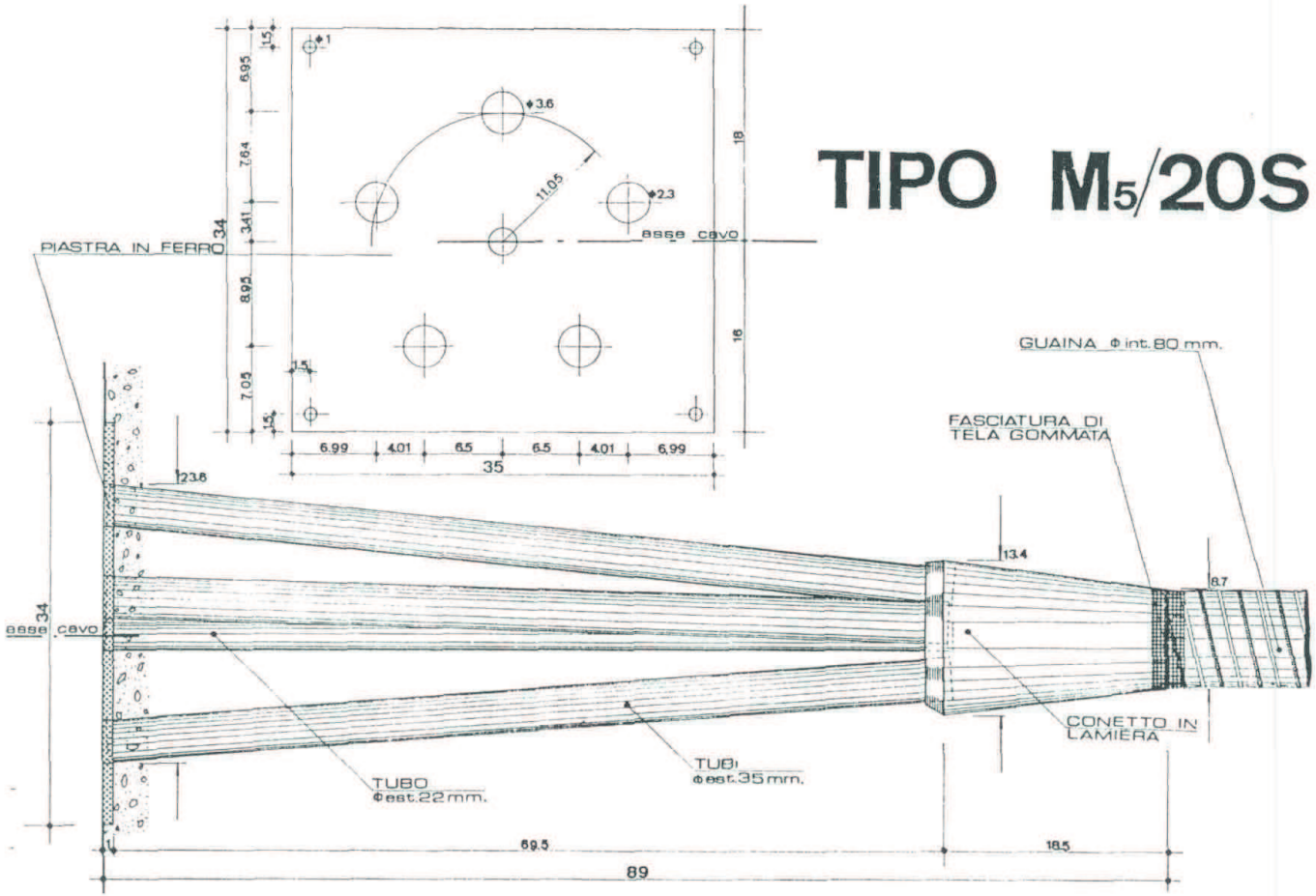



figura n. 20

# TIPO M5/24S

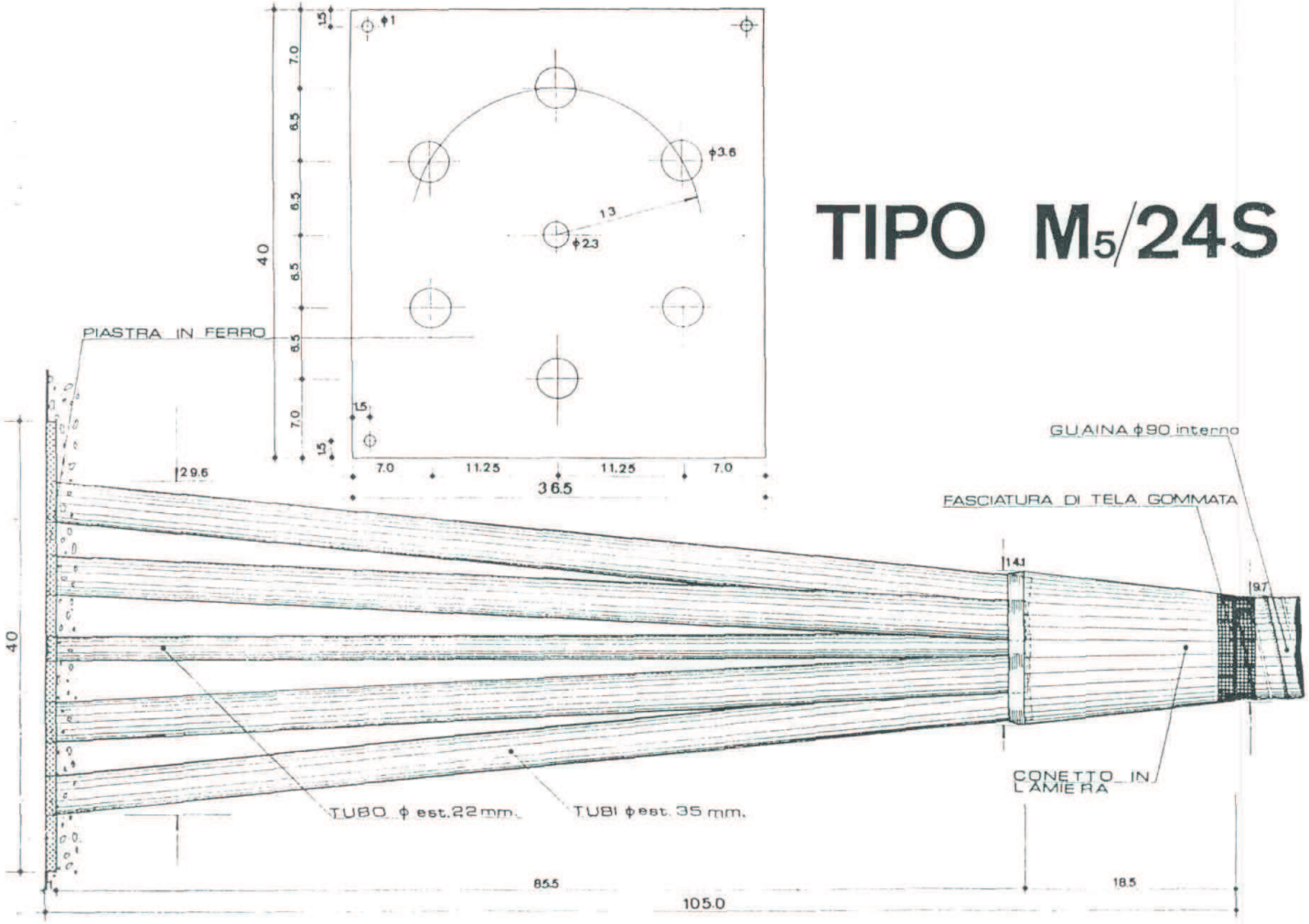



figura n. 21

# TIPO M5/8S

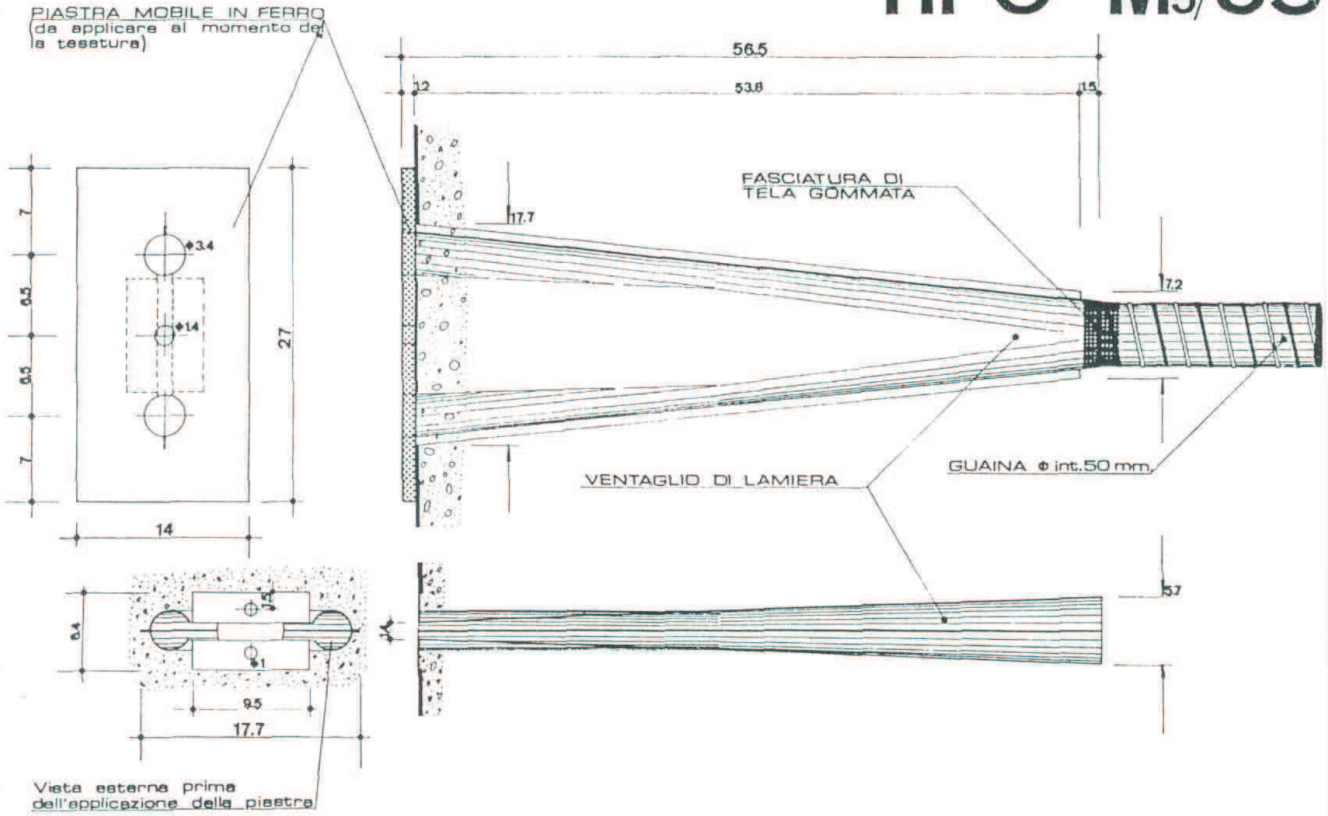
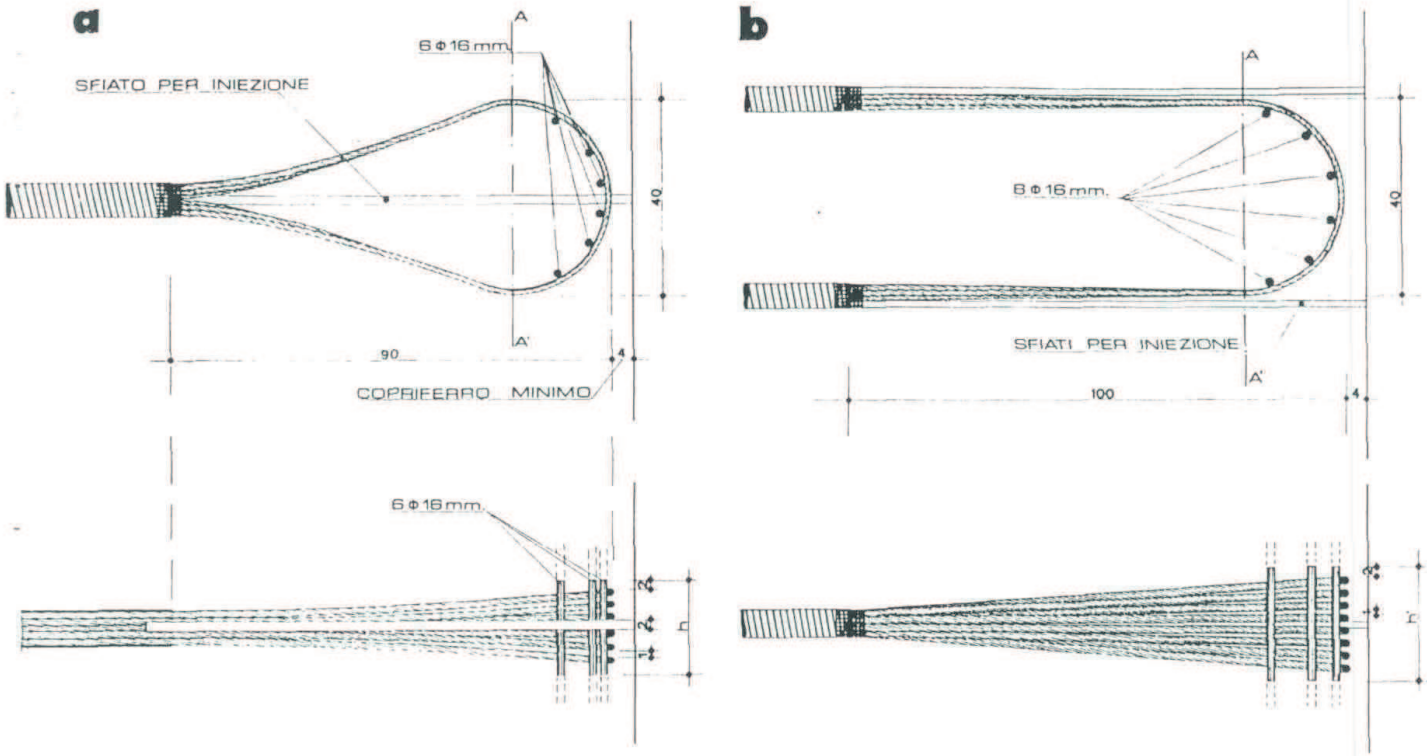


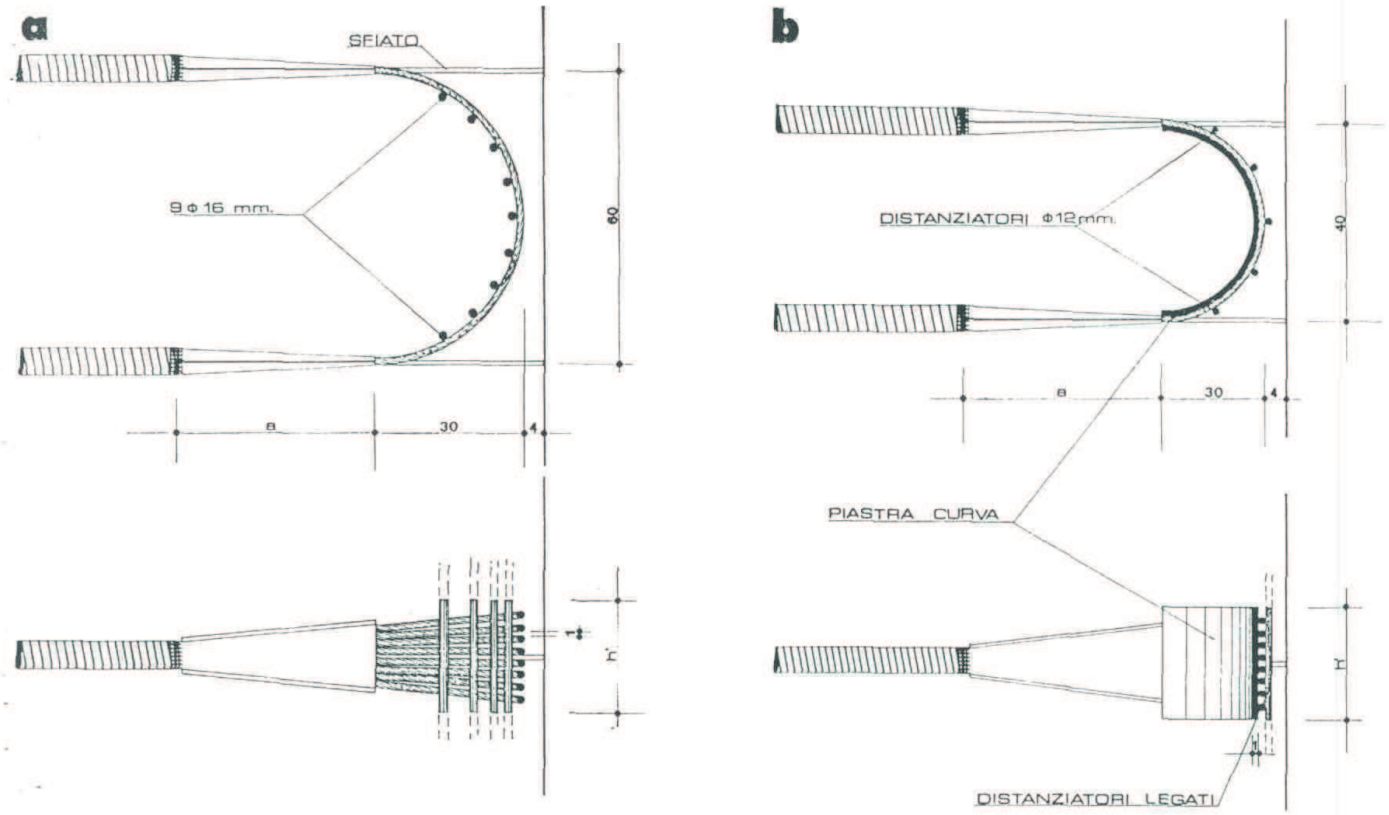

figura n. 2g




| CAVO | Ms/4 | Ms/8 | Ms/12 | Ms/16 | Ms/20S | Ms/24S |
|---|---|---|---|---|---|---|
| h | 8,5 | 13 | 18 | 22,5 | 27 | 31,5 |

| CAVO | Ms/4 | Ms/8 | Ms/12 | Ms/16 |
|---|---|---|---|---|
| h' | 12 | 21,5 | 30,5 | 40 |

figura n. 3




| CAVO | Ms/4 | Ms/8 | Ms/12 | Ms/16 | Ms/20 | Ms/24 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |

figura n. 4

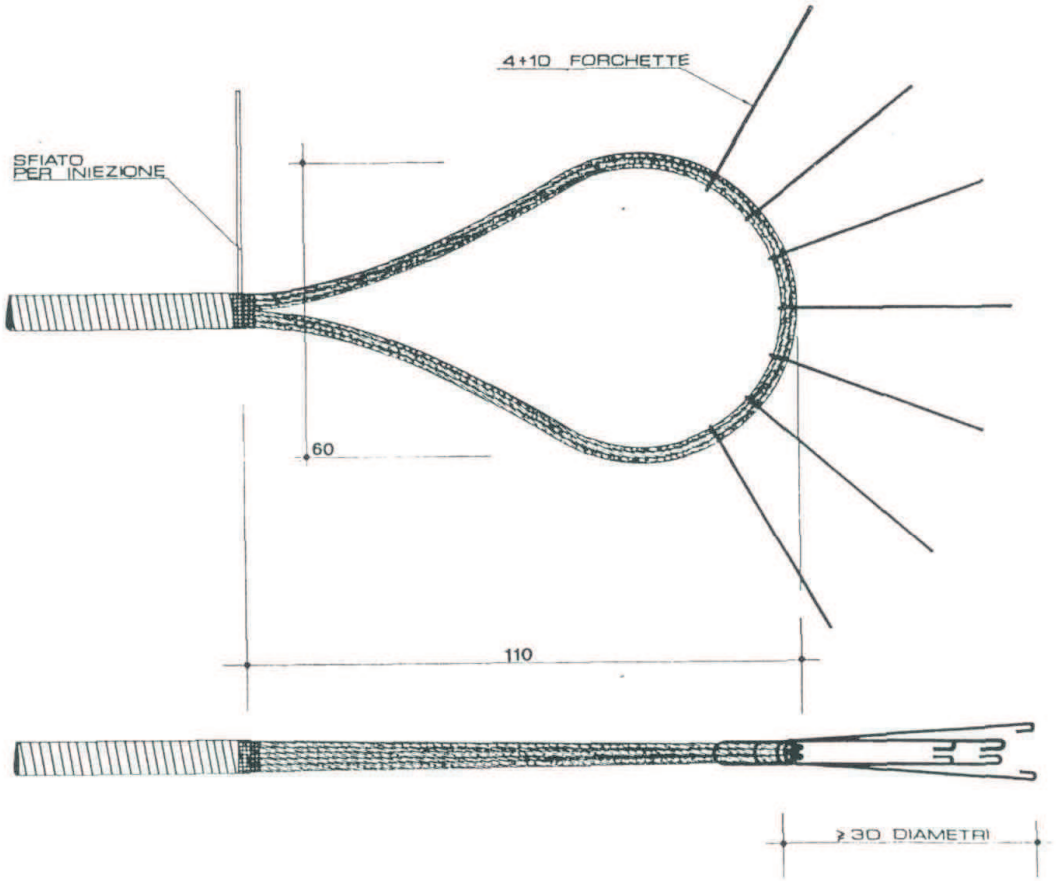



figura n. 5

## 3. - DISPOSIZIONE DEI CAVI E DIMENSIONAMENTO DELLE TESTATE

### 3.1 - Interasse delle guaine e copriferro minimo

Le norme italiane (e buona parte dei regolamenti stranieri) consentono, a sufficiente distanza dalla testata, di disporre i cavi a contatto fra loro, e non limitano neanche il numero di cavi che possono essere raggruppati insieme. È comunque preferibile prevedere qualche centimetro di calcestruzzo fra un cavo e l'altro; quando è indispensabile disporre le guaine a contatto è consigliabile farlo soltanto nel terzo medio della lunghezza del cavo (RA/216.3) e lasciare ogni due cavi o colonne di cavi a contatto orizzontalmente uno spazio di 3 cm. per la discesa del calcestruzzo.

Il copriferro minimo per i cavi è di 25 mm. in condizioni nomali e di 35 mm. in zone marine o in presenza di agenti chimici aggressivi (N 64 C/1.3); è però consigliabile assumere in ogni caso un copriferro di 4 cm. (cfr. RA/216.1). La normale presenza, all'esterno dei cavi, dell'ordinaria staffatura con relativo copriferro rende generalmente questo requisito automaticamente soddisfatto.

Nella valutazione dell'interasse e del copriferro di cui sopra il diametro esterno del cavo va assunto uguale al diametro interno della guaina (cfr. § 2.3) aumentato di 2 mm.

### 3.2 - Tracciato dei cavi e paretina di protezione

È consigliabile adottare nel tracciato dei cavi raggi di curvatura non inferiori a 6 m. e deviazioni totali non superiori a 30° (N 64 C/2.6), ed evitare per quanto possibile inversioni di curvatura (curva e controcurva); per travi continue a molti luci, ove l'inversione è indispensabile, può essere impiegato il metodo delle giunzioni successive descritto al § 6.2.

Nei disegni esecutivi il tracciato dei cavi dovrà essere precisato indicando ogni 2 m. di ascissa le ordinate dell'asse di ciascun cavo; tali ordinate corrispondono materialmente ai cavalletti in ferro che sostengono i cavi e che vengono appunto disposti ogni 2 metri.

Il piano di appoggio degli ancoraggi (piano delle piastre dei terminali) dovrà risultare normale all'asse dei cavi (N 64 C/1.3) con l'approssimazione di qualche grado; nei casi più comuni di travi è sufficiente disporre tutte le piastre su un unico piano, inclinato rispetto alla verticale e normale al cavo medio (fig. 6 b) ma può essere necessario collocarle su piani diversi (fig. 6 c). Prima della tesatura i trefoli sporgono di 35 ÷ 40 cm. dalle piastre, per poter essere afferrati dal martinetto; questi « frustoni » vengono tagliati al termine delle operazioni, e gli ancoraggi con le relative estremità dei trefoli vengono annegati in una paretina di protezione dello spessore di 16 cm. (a partire dal piano delle piastre); gli stessi ancoraggi e trefoli fungono da armatura di questa paretina, un esempio della quale è riportato in figura 6 a assieme ai dati di ingombro degli ancoraggi.

### 3.3 - Interasse delle estremità dei cavi e larghezza delle testate

Tutte le piastre, di qualsiasi tipo, possono essere disposte a contatto fra loro. L'interasse minimo dei cavi in corrispondenza delle testate è quindi determinato soltanto dalle dimensioni delle pia-

stre stesse, riportate al § 2.5 (tenere presente che i tipi M5/12 e M5/20 S non sono simmetrici rispetto all'asse del cavo).
La distanza minima del bordo di qualsiasi piastra dal bordo della testata è di 4 cm. (fig. 7 a); in base a questa distanza è stata indicata al § 2.3 la larghezza minima della testata per ogni tipo di cavo.
L'ingombro del martinetto richiede inoltre che il bordo della piastra disti almeno 3 cm. da una parete normale alla piastra stessa (fig. 7 b), da ogni risalto che sporga dal piano delle piastre e dal piano ortogonale alla piastra che lascia al di fuori eventuali ostacoli laterali (fig. 7 c).
Se la piastra è circondata da pareti su più di tre lati e la profondità della cavità risultante è $\leqslant$ 30 cm., valgono le limitazioni in fig. 7 d; per profondità maggiori è necessario uno spazio molto più grande, tale da
operaio di lavorare.
Circa l'interasse dei cavi e
testate in corrispondenza dei
vato che l'ingombro di questi
male al piano del cappio è
alla dimensione minima dell
piastra (fig. 3), mentre l'ingombro sul piano del cappio è maggiore di quello delle piastre; se si ha ad esempio dal lato della tesatura una sola fila verticale di piastre a contatto, ed una testata larga almeno 50 cm. si può dal lato dei cappi mantenere lo stesso interasse dei cavi disponendo i cappi orizzontalmente.
Dato il gran numero di combinazioni possibili, il problema dell'ingombro dei cappi va comunque risolto caso per caso.

### 3.4 - Spazio longitudinale minimo per la tesatura

In figura 8 è indicata la distanza minima fra i piani delle piastre nel caso di due testate affacciate (è il caso dei ponti a più luci) e la distanza minima del piano delle piastre da una parete (è ad esempio il caso di un paraghiaia). Sono state anche indicate le paretine di protezione di 16 cm. con le corrispondenti distanze minime per le testate finite.
Dai dati riportati appare evidente il limitatissimo ingombro del martinetto; ciò ha particolare importanza per i ponti a più luci in cui lo spazio necessario alla tesatura determina la larghezza delle pile.
Ulteriori piccole riduzioni di tale spazio possono essere esaminate in casi eccezionali; le condizioni disagiate che ne risultano per gli operatori incidono però sul costo della tesatura, e quindi tali soluzioni esulano dalle offerte ordinarie redatte dal CeSAP.

## 4. - ARMATURE SECONDARIE E FRETTAGGIO

### 4.1 - Caratteristiche minime del calcestruzzo e stagionatura

I calcestruzzi impiegati nelle strutture precompresse devono avere resistenza cubica a 28 giorni non inferiore a 350 Kg/cm² (N 64/1.2). Poiché i calcestruzzi normalmente impiegati hanno caratteristiche molto superiori e per evitare quindi sprechi di materiale, tutti i dati riportati nel seguito per il frettaggio sono stati calcolati nell'ipotesi di una resistenza cubica del calcestruzzo uguale a 400 Kg/cm²; su tale valore è stato anche basato il dimensionamento delle piastre terminali riportate in fig. 2 (N 64 C/1.3).

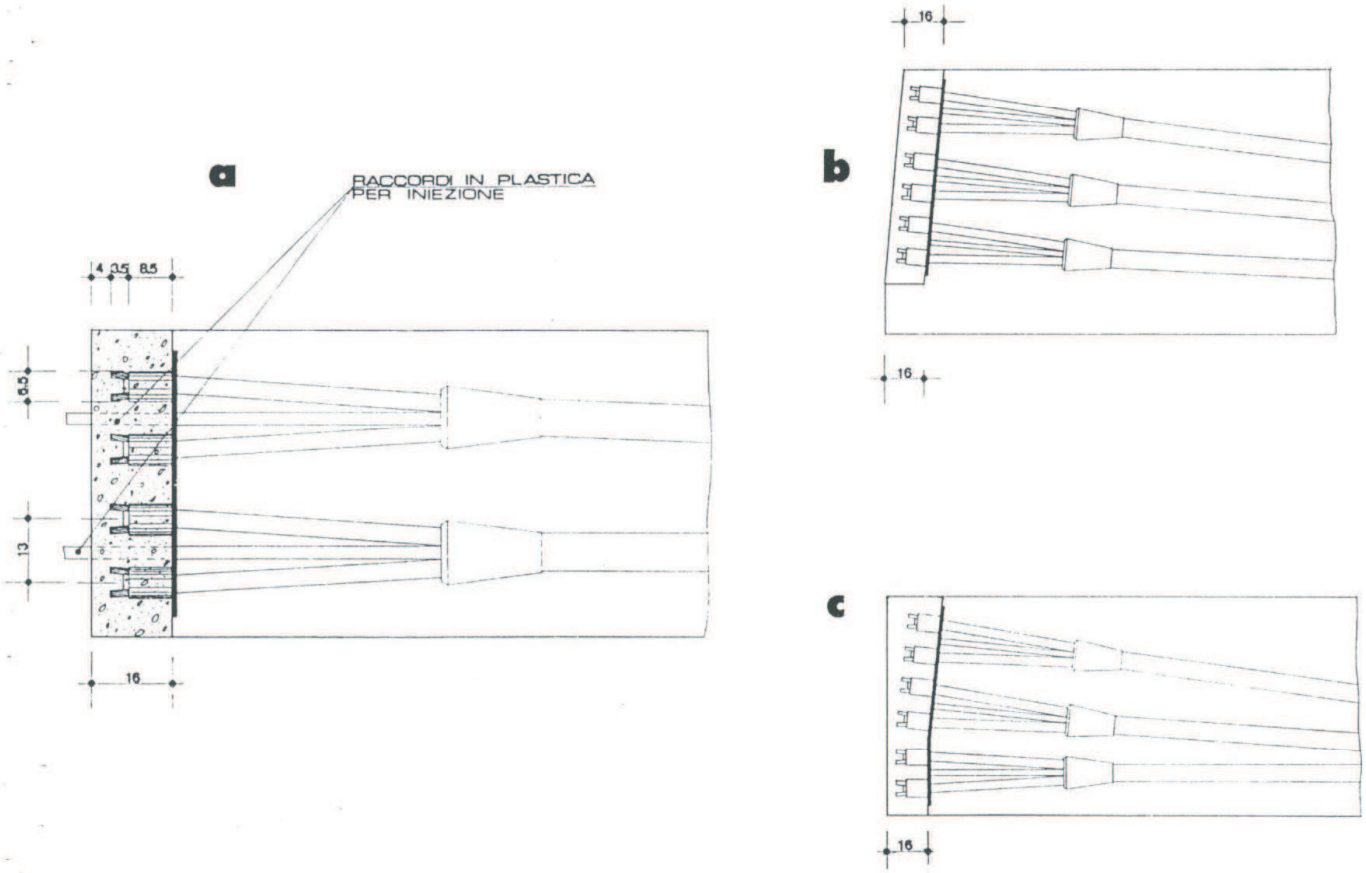

a
RACCORDI IN PLASTICA
PER INIEZIONE
4
3,5
8,5
6,5
13
16
b
16
16
c
16

figura n. 6

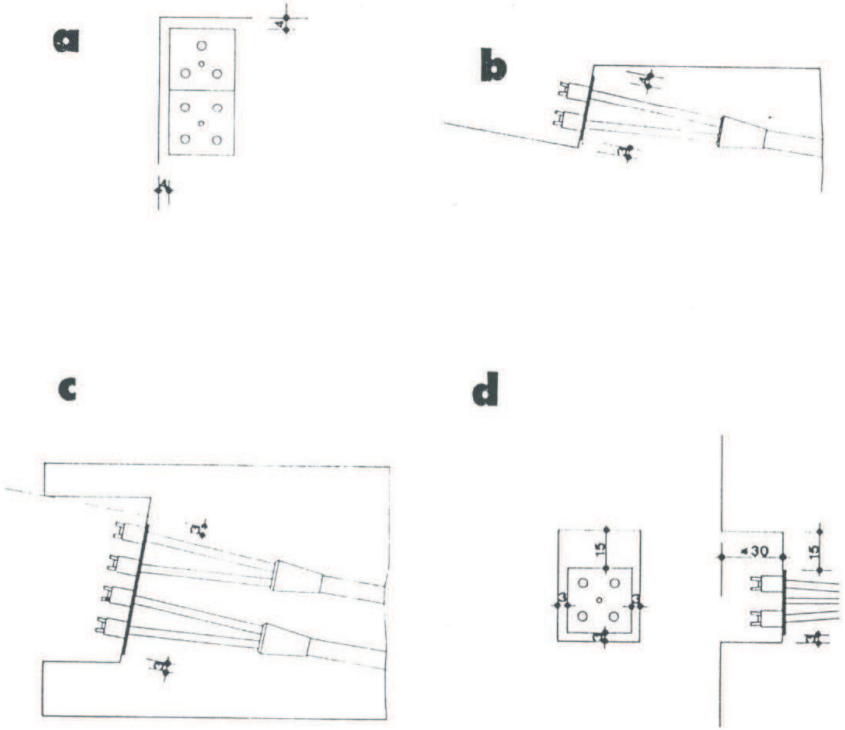



figura n. 7

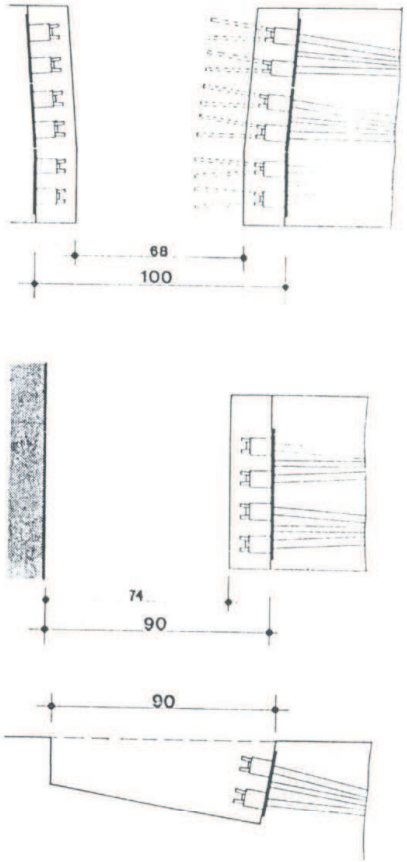



figura n. 8

Il tempo che deve intercorrere fra il getto e l'inizio delle operazioni di tesatura, sia con stagionatura naturale che con stagionatura accelerata (vapore) può essere soltanto determinato in cantiere mediante provini. Per ciò che riguarda le testate, e salvo maggiori esigenze dovute alle tensioni di esercizio assunte nel calcolo generale della struttura, la tesatura può iniziare quando il calcestruzzo ha la resistenza:

$R = 400$ Kg/cm² se la tesatura è quella finale ($\sigma \simeq 120$ Kg/mm²) anche per qualche cavo soltanto; nei casi più comuni occorrono 20 ÷ 28 giorni per raggiungere questo valore;

$R = 300$ Kg/cm² se la tesatura è parziale ($\leqslant 70$ Kg/mm²) come avviene spesso per travi da ponte che devono essere successivamente varate; normalmente occorrono 8 ÷ 10 giorni per raggiungere questo valore.

Qualunque sia la resistenza raggiunta, va comunque segnalata la preminente importanza della perfetta esecuzione del getto in corrispondenza delle testate: eventuali inconvenienti in occasione della tesatura (incurvamento delle piastre) sono quasi sempre dovuti alla presenza di vuoti sotto alle piastre piuttosto che ad insufficiente stagionatura del calcestruzzo.

## 4.2 - Caratteristiche generali del frettaggio

Si intende per frettaggio l'armatura speciale che deve essere disposta in corrispondenza delle testate per assorbire gli sforzi derivanti dalla diffusione dei carichi concentrati costituiti dagli ancoraggi dei cavi di precompressione; tali forze tenderebbero a fare « scoppiare » la testata e devono quindi essere assorbite con armature essenzialmente trasversali.

Le norme italiane non specificano i dettagli di questa armatura né i metodi di calcolo, limitandosi ad esigere che essa sia costituita da cerchiature e griglie di ripartizione atte ad assorbire gli sforzi di cui sopra (N 64 C/1.3); trattandosi di stati di tensione triassiali tale armatura non può essere determinata con i metodi ordinari della Scienza delle Costruzioni ma richiede il ricorso ai metodi generali della teoria dell'elasticità o a formule empiriche determinate sperimentalmente.

Nel seguito viene illustrato un tipo di frettaggio standardizzato, i cui pochi elementi variabili sono sinteticamente tabellati; esso è basato sui risultati dell'analisi teorica di Guyon (*), radicalmente semplificati mediante determinazioni sperimentali.

Tale tipo di frettaggio è costituito da una staffatura standard, uguale per ogni tipo di testata (§ 4.3) e da una serie di spezzoni normali all'asse della trave che attraversano la massa del calcestruzzo e si agganciano alle staffe di cui sopra, costituendo una specie di griglia; il numero e la posizione di questi spezzoni varia a seconda dei cavi e delle dimensioni della testata (§ 4.4).

Inoltre in corrispondenza delle brusche deviazioni corrispondenti all'imbocco del terminale deve essere collocata una spirale di contenimento (§ 4.5). I ferri longitudinali servono soltanto a fissare l'armatura di frettaggio e la loro sezione non ha importanza per quest'ultimo.

I dati che seguono si riferiscono per semplicità di consultazione al caso di una trave ordinaria, con testata più alta che non larga. Nei casi di travi in cui questo requisito non è soddisfatto quanto segue resta valido sostituendo alla parola « orizzontale » le parole « secondo la dimensione minore della testata » e a « verticale » le parole « secondo la dimensione maggiore della testata ».

I casi di strutture non assimilabili a travi non sono qui trattati; alcune estensioni di questo metodo sono intuitive, altre potranno essere a

richiesta esaminate caso per caso dal CeSAP. Va comunque rilevato che ad un allontanarsi delle forme della struttura dalla prevalente unidimensionalità (e quindi dalla validità dei presenti dati) corrisponde generalmente una minore importanza del problema del frettaggio. È opportuno infine precisare che le armature prescritte nel seguito sono determinate in vista della sola ripartizione entro la massa del calcestruzzo degli sforzi concentrati costituiti dall'ancoraggio dei cavi; benché esse possano essere utilizzate anche per contribuire ad assorbire sforzi derivanti dal taglio e dalle reazioni vincolari della struttura, il metodo descritto appresso non intende in nessun modo entrare nel merito della determinazione di quest'ultimo tipo di armatura.

### 4.3 - Staffatura standard valida per qualsiasi testata

È costituita da una serie di staffe ordinarie del diametro di 12 mm. se si impiega acciaio dolce ($\sigma_0$ = 1400 Kg/cm²) o della sezione equivalente nei riguardi del carico di sicurezza se si impiegano acciai più resistenti. Il numero e la posizione di queste staffe sono indicati in fig. 9 e sono immutabili.

La numerazione delle posizioni indicata in figura è quella che verrà poi usata per indicare la collocazione degli spezzoni di rinforzo; le distanze vanno prese a partire dal filo esterno delle piastre (piano del calcestruzzo).

Se le testate sono inclinate, smussate o a denti di sega, le staffe devono adattarsi alla forma della testata nel seguente modo:

— le staffe posizione 1-2-3-4 devono seguire l'andamento delle piastre, risultando inclinate o addirittura piegate in modo tale che le distanze indicate sopra siano rispettate nei confronti delle singole piastre con una approssimazione di $\pm$ 4 cm;

— le staffe in posizione da 5 in poi possono essere disposte normalmente all'asse della trave assumendo le distanze di fig. 9 come distanze medie dalle piastre.

Tale staffatura deve essere prolungata verso l'interno della trave per una lunghezza uguale alla massima dimensione trasversale della testata ed in ogni caso non inferiore a 120 cm. In tale zona essa può entrare a far parte delle armature necessarie per assorbire gli sforzi di taglio e quelli locali prodotti dalle reazioni vincolari, la cui determinazione non riguarda il presente prontuario.

### 4.4 - Spezzoni trasversali variabili e loro determinazione

Tre delle staffe precedenti vengono rinforzate con spezzoni dello stesso diametro normali all'asse della trave ed agganciati o saldati alle staffe stesse; precisamente una staffa è rinforzata con spezzoni orizzontali (« rinforzo A ») e due con spezzoni verticali (« rinforzo B » e « rinforzo C »).

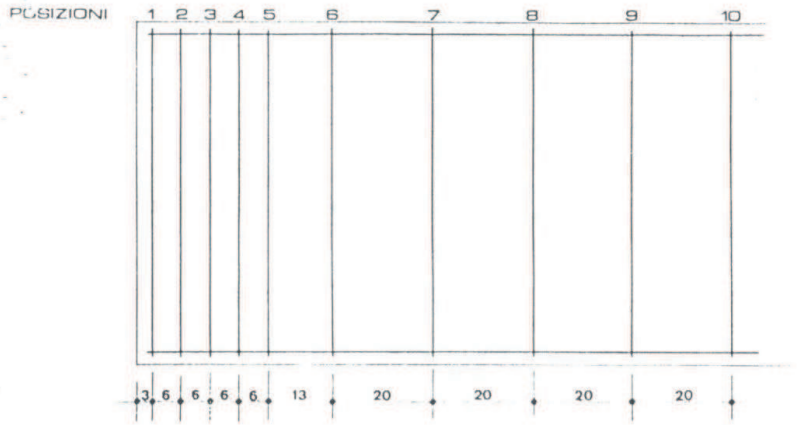
Gli elementi variabili caso per caso secondo le modalità specificate appresso sono soltanto:

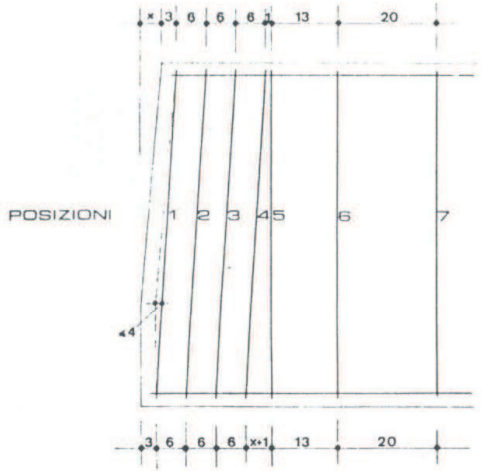
1) quali fra le staffe (la cui posizione è immutabile) devono essere rinforzate. Questo dato dipende dalla distanza delle piastre dai bordi della testata;
2) il numero di spezzoni che va agganciato alle staffe da rinforzare. Questo dato dipende dal numero e dal tipo dei cavi impiegati.

#### 1) Scelta delle staffe da rinforzare

La scelta delle posizioni di staffe sulle quali vanno applicati i rinforzi A, B e C dipende ri-

figura n. 9



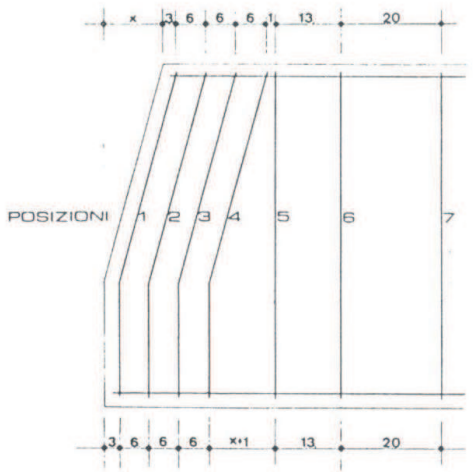




figura n. 10

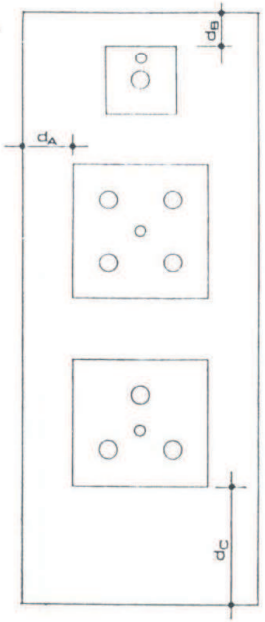



figura n. 11

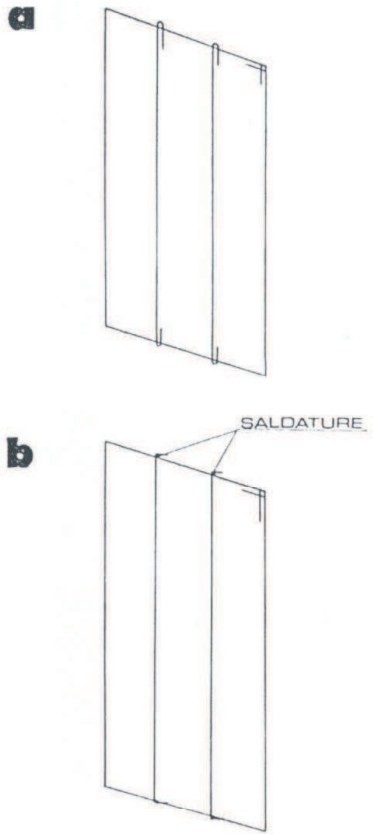



figura n. 12

spettivamente dalle seguenti distanze di piastre dai bordi della testata (fig. 11):

$P_A = f(d_A)$ dove $d_A$ è la minima distanza di una piastra dal bordo verticale della testata.

$P_B = f(d_B)$ dove $d_B$ è la minima distanza di una piastra da un bordo orizzontale della testata.

$P_C = f(d_C)$ dove $d_C$ è la massima distanza di una piastra di estremità dal corrispondente bordo orizzontale della testata; cioè se $d_B$ era la distanza della piastra superiore dal bordo superiore, $d_C$ è la distanza della piastra inferiore dal bordo inferiore e viceversa.

Le tabelle seguenti forniscono, in funzione dei tre parametri $d_A$, $d_B$, $d_C$, la posizione $P_A$, $P_B$, $P_C$ a cui va applicato rispettivamente il rinforzo A, B e C; i numeri si riferiscono alle posizioni numerate e quotate nelle figure 9 e 10.

| $d_A$ | $P_A$ |
|---|---|
| $d_A < 8$ cm. | 2 |
| $8 \leqslant d_A < 25$ | 3 |
| $d_A \geqslant 25$ | 4 |

| $d_B$ | $P_B$ |
|---|---|
| $d_B < 8$ cm. | 2 |
| $8 \leqslant d_B < 25$ | 3 |
| $25 \leqslant d_B \leqslant 40$ | 4 |
| $d_B > 40$ | 5 |

| $d_C$ | $P_C$ |
|---|---|
| $d_C \leqslant 40$ cm. | 4 |
| $40 < d_C \leqslant 70$ | 5 |
| $d_C > 70$ | 6 |

Se non risulta $P_A \neq P_B \neq P_C$ tali posizioni vanno corrette come segue:

— Se $P_A = P_B$ (qualunque sia $P_C$) si assegna questa posizione al rinforzo corrispondente al minore fra $d_A$ e $d_B$ e si sposta l'altro rinforzo sulla posizione immediatamente seguente.

Esempio: $d_A = 6$ cm.; $d_B = 7$ cm.
Risulterebbe $P_A = P_B = 2$
Si assume $P_A = 2$; $P_B = 3$.

— Se $P_C$ coincide con una o due delle altre

posizioni, la si sposta sulla prima posizione successiva libera dopo avere soddisfatto il requisito precedente per $P_A$ e $P_B$. Quindi dopo gli adattamenti può risultare $P_A \gtrless P_B$, ma è sempre $P_C > P_A, P_B$; nessun rinforzo può inoltre capitare sulla posizione 1 ed oltre la posizione 6.

Esempio: $d_A = 40$, $d_B = 30$, $d_C = 35$
Risulterebbe: $P_A = P_B = P_C = 4$.
Si assume: $P_B = 4$, $P_A = 5$, $P_C = 6$.

**2) Costituzione dei rinforzi**

Tutti i rinforzi sono costituiti da spezzoni ∅ 12 (se $\sigma_0 = 1400$ Kg/cm²) o di sezione proporzionalmente ridotta per acciai più resistenti, che vanno agganciati alla corrispondente staffa dalla parte della testata (cioè con i ganci rivolti verso l'interno della trave).
Si possono a scelta o usare ganci di tipo normale senza nessun'altra particolare giunzione (fig. 12 a) oppure ganci piegati soltanto ad angolo retto e fissati alla staffa con saldatura (figura 12 b); la seconda soluzione facilita il montaggio dell'armatura.

RINFORZO A

Gli spezzoni sono disposti orizzontalmente, accanto e in mezzo ai tubi del terminale (fig. 13) in numero di:

Due per ogni piastra o fila orizzontale di piastre M5/4 ed M5/8 (se quest'ultima è disposta orizzontalmente).
Tre (di cui uno in mezzo ai tubi) per ogni piastra o fila orizzontale di piastre M5/8 (se disposta verticalmente), M5/12 ed M5/16.
Quattro (di cui due in mezzo ai tubi) per ogni piastra (o fila orizzontale di piastre) M5/20 S e M5/24 S.

RINFORZO B

Gli spezzoni sono disposti verticalmente accanto ed in mezzo ai tubi del terminale e sono in numero di due moltiplicato il massimo numero di ancoraggi (non di cavi) che si trovano su una stessa fila orizzontale, indipendentemente dal numero di file (fig. 14 a).

RINFORZO C

Gli spezzoni sono disposti verticalmente accanto ai tubi del terminale e sono in numero eguale al massimo numero di ancoraggi che si trovano su una stessa fila orizzontale (cioè sono la metà di quelli del rinforzo B) (fig. 14 b).

Nel terminale tipo M5/8 S lo spezzone che dovrebbe passare fra i tubi del terminale sarà invece sostituito da due spezzoni supplementari a fianco del ventaglio.

## 4.5 - Spirali, staffatura ordinaria ed esempio riassuntivo

Ad eccezione del cavo M5/4, che non presenta deviazioni, in tutti gli altri tipi è necessario disporre intorno al conetto del terminale una spirale in tondino di ferro (fig. 15) ∅ 6 o ∅ 8, con passo 3 cm., costituita da:

| Cavo | Spire e ∅ tondino |
|---|---|
| M5/8 - M5/12 | 7 spire ∅ 6 |
| M5/16 | 5 spire ∅ 8 |
| M5/20 S - M5/24 S | 7 spire ∅ 8 |

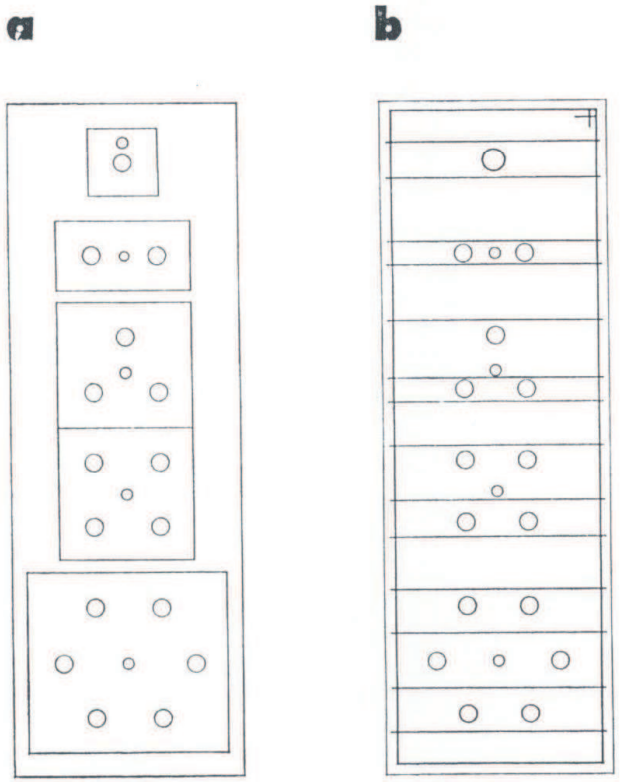



figura n. 13

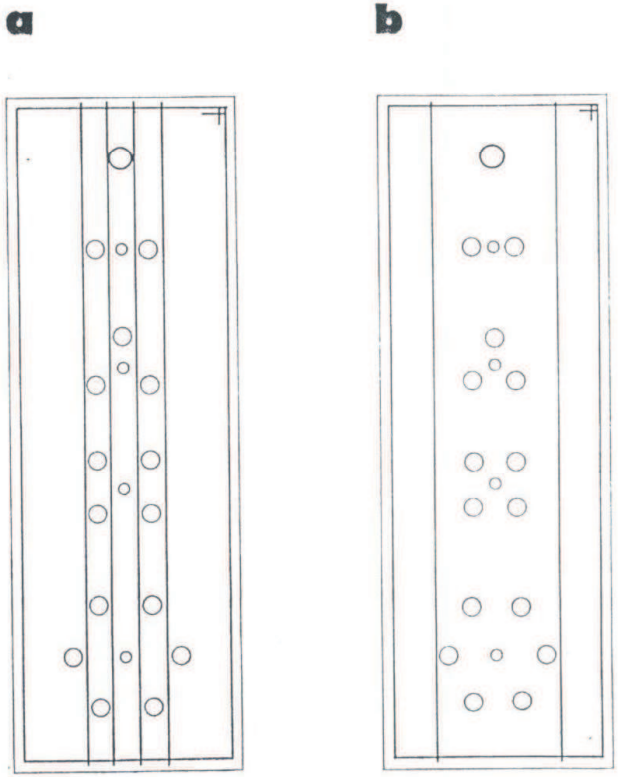



figura n. 14

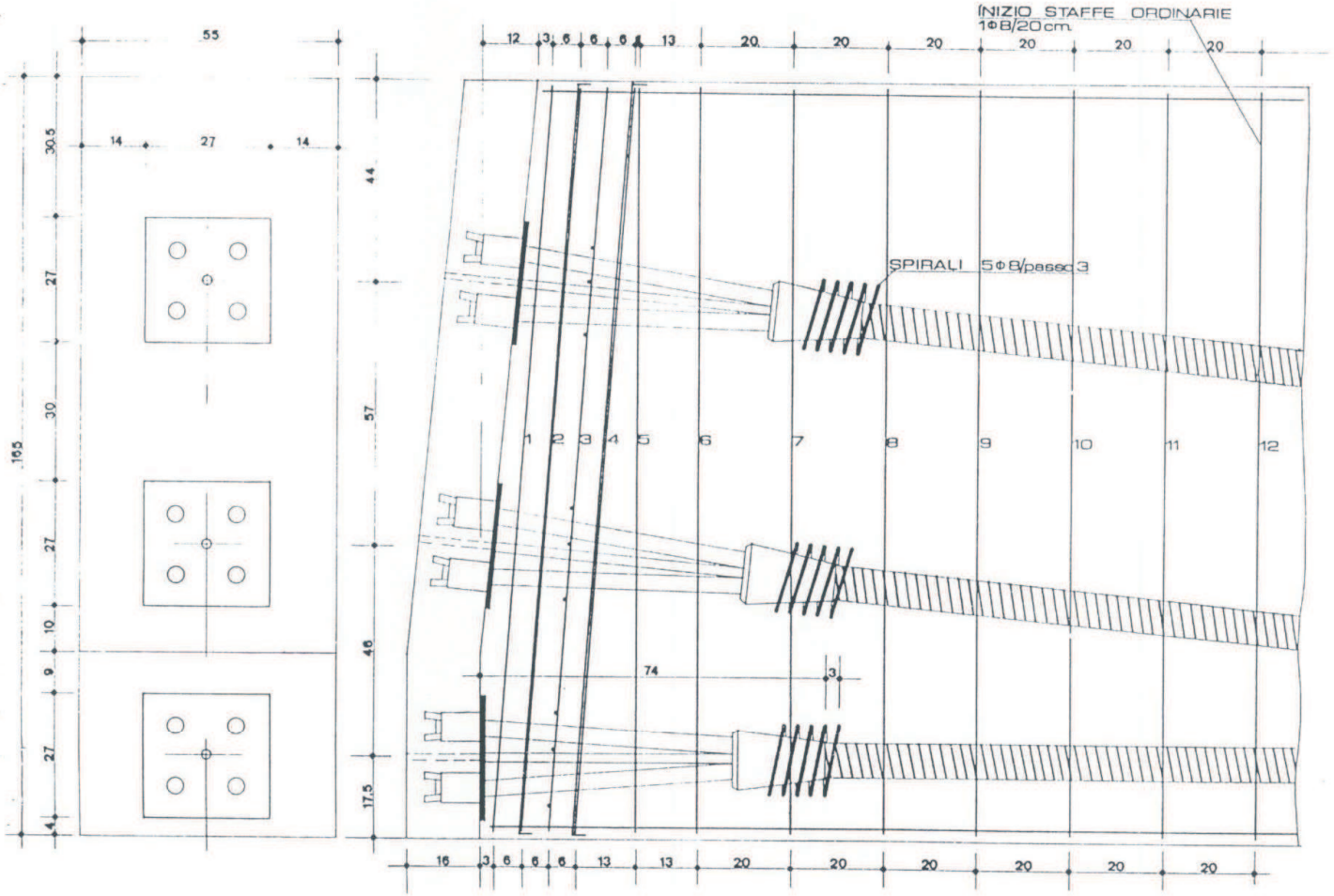
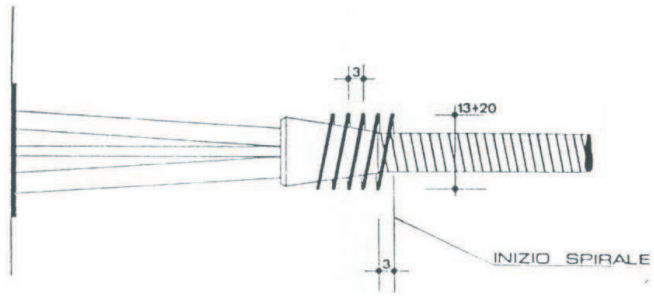

INIZIO STAFFE ORDINARIE
1Φ8/20cm
SPIRALI 5Φ8/passo 3
55
14
27
14
30,5
27
30
27
10
9
27
4
165
44
57
46
17,5
12
3
6
6
6
13
20
20
20
20
20
20
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
74
3
16
3
6
6
6
13
13
20
20
20
20
20
20

figura n. 17



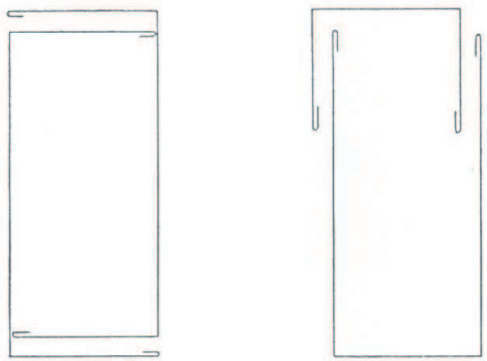



figura n. 16

In figura 15 è anche indicata la posizione di tale spirale; i diametri di tondino indicati si riferiscono ad un carico di sicurezza $\sigma_0 = 1400$ Kg/cm² e possono essere proporzionalmente ridotti per acciai più resistenti.
Quanto sopra esaurisce le prescrizioni particolari per l'armatura delle testate la cui staffatura, proseguendo verso l'interno della trave, si salda con continuità a quella ordinaria.
È consigliabile che quest'ultima, la cui entità non interessa qui, venga realizzata mediante staffe « aperte » (fig. 16): tale scomposizione delle staffe facilita grandemente la confezione dell'armatura e la posa in opera dei cavi.
Essa non si applica alle staffe che fanno parte dell'armatura di frettaggio.
In figura 17 e 18 è riportato un esempio di applicazione di tutte le prescrizioni di cui sopra alla testata di una trave ordinaria di luce 32 m., realizzata in un viadotto dell'Autostrada del Sole; tale esempio mostra che l'armatura delle testate determinata con il metodo precedente risulta in realtà di entità molto modesta.
I dati caratteristici dei rinforzi (§ 4.4) sono:

$d_A = 14$ cm., $d_B = 4$ cm., $d_C = 30{,}5$ cm.
$P_A = 3$ $P_B = 2$ $P_C = 4$

L'armatura è stata realizzata con acciaio dolce ordinario.

## 4.6 - Frettaggio dei cappi

In generale, poiché i cappi comportano minori concentrazioni di forze sul calcestruzzo delle testate rispetto a quelle che si verificano sotto gli ancoraggi, il frettaggio riveste per i primi minore importanza.
Inoltre nella direzione in cui esso è più necessario, cioè quella normale al piano del cappio, sono disponibili i tondi ∅ 16 di ripartizione indicati nelle figure 3 e 4: tali tondi vanno quindi prolungati fino alle pareti della struttura, agganciandoli alle eventuali staffe incontrate.
La staffatura è ancora quella standardizzata del § 4.3; le posizioni delle staffe saranno ora riferite, invece che al piano delle piastre, al piano passante per il vertice dell'ansa del cappio.
Per maggiore sicurezza si può anche controllare che gli spezzoni ∅ 16 di cui sopra costituiscano approssimativamente, in direzione normale al piano del cappio, i rinforzi che si otterrebbero con il metodo del § 4.4, assumendo come larghezza convenzionale della piastra le massime dimensioni di ingombro dei cappi, e come numero fittizio di ancoraggi quello che si avrebbe se la testata non fosse « morta » ma avesse i terminali normali. Si potranno allora applicare gli spezzoni ∅ 12 di rinforzo a quelle staffe che non risultassero adeguatamente rinforzate dal prolungamento dei tondi ∅ 16.
Anche per i cappi è necessaria una spirale in corrispondenza della deviazione dei trefoli all'uscita della guaina.
Per i cappi veri e propri (fig. 3 a e 5) tale spirale avrà un passo di 4 cm., il minimo diametro compatibile con quello del tondino, e la posizione indicata in fig. 19; essa sarà costituita come segue:

| Cavo | Spire e ∅ tondino |
|---|---|
| M5/4 | 7 spire ∅ 8 |
| M5/8 | 7 » ∅ 10 |
| M5/12 | 7 » ∅ 12 |
| M5/16 | 7 » ∅ 14 |
| M5/20 S | 8 » ∅ 14 |
| M5/24 S | 8 » ∅ 16 |

Per il semplice allargamento dei trefoli all'uscita della guaina, con ritorno su altro cavo (fig. 3 b e 4), la spirale sarà invece uguale a quella per i terminali indicata al § 4.5.

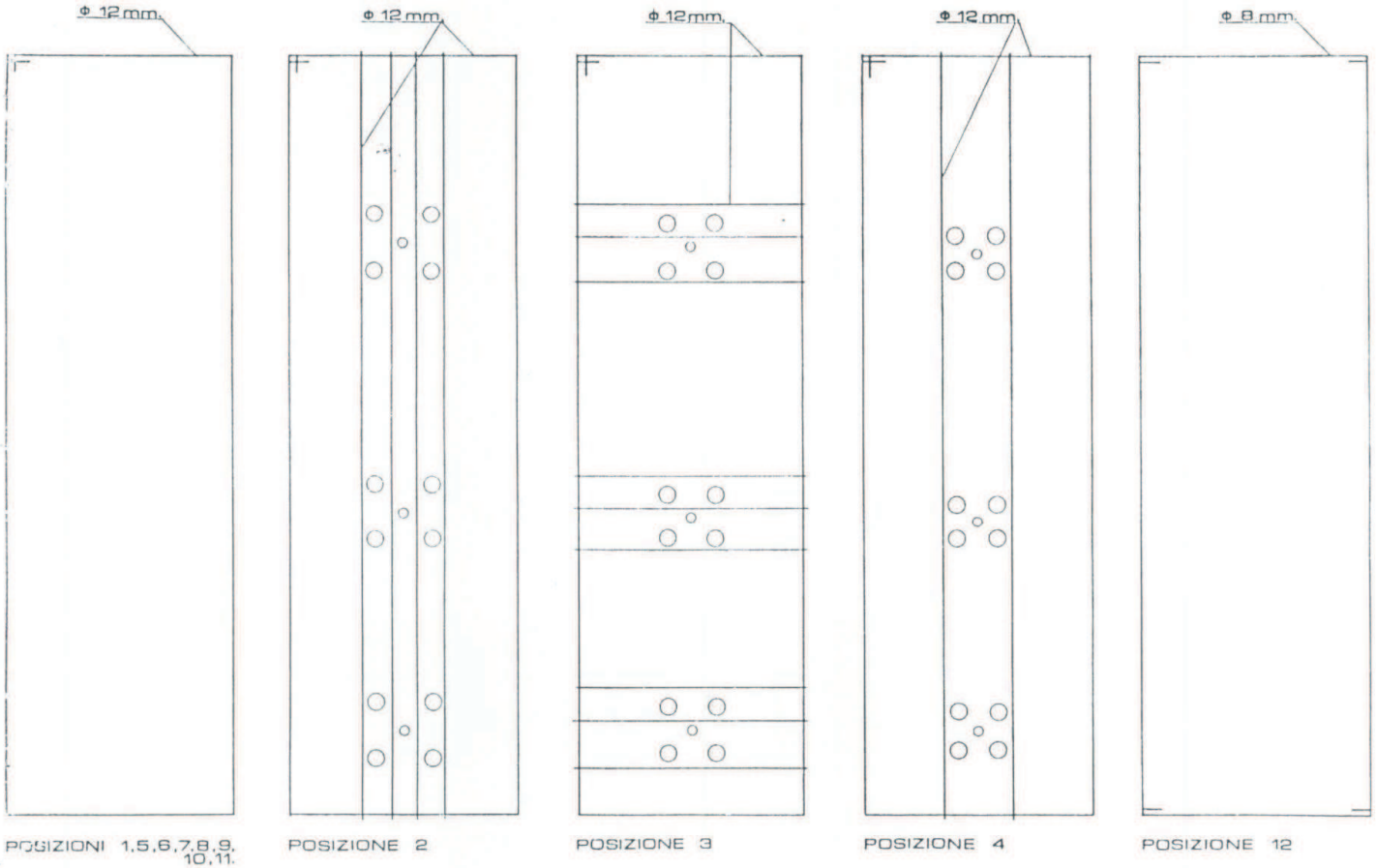

Φ 12 mm.
Φ 12 mm.
Φ 12 mm.
Φ 12 mm.
Φ 8 mm.
POSIZIONI 1,5,6,7,8,9, 10,11.
POSIZIONE 2
POSIZIONE 3
POSIZIONE 4
POSIZIONE 12

figura n. 18

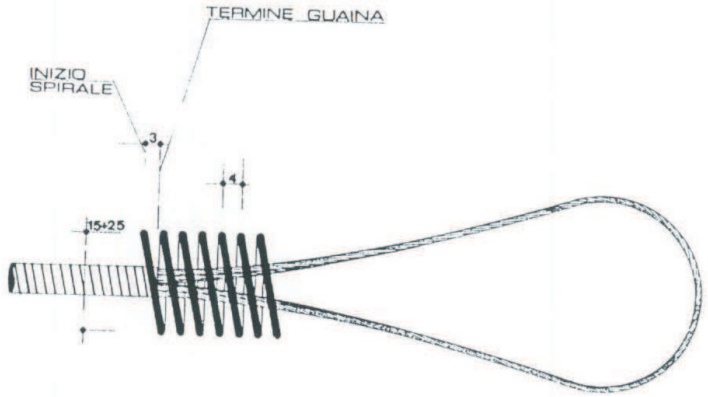



figura n. 19

## 5. - MODALITÀ DI TESATURA, CADUTE DI TENSIONE E CALCOLO DEGLI ALLUNGAMENTI

### 5.1 - Numero delle fasi di tesatura e ritaratura

Poiché gli ancoraggi sistema Morandi possono essere sbloccati con facilità quante volte si vuole (almeno per tensioni iniziali non superiori al valore massimo consigliato di 120 Kg/mm²), il progettista può prevedere una tesatura in più fasi, corrispondenti a diverse situazioni statiche che si verificano durante l'esecuzione delle strutture.

L'esempio più comune di tale esigenza è costituito dalle travi da ponte prefabbricate e varate, in cui è necessaria una tesatura parziale prima del varo per mettere la trave in grado di sostenere il peso proprio, ed una seconda tesatura dopo la posa in opera ed il completamento dell'impalcato, perché solo a quel punto la sezione della trave è completa ed in grado quindi di sopportare le sollecitazioni dovute all'intero sforzo di precompressione.

La prima fase può essere anche realizzata (come è d'uso con i sistemi che non permettono lo sbloccaggio) tesando completamente soltanto una parte dei cavi; ma la tesatura parziale di tutti i cavi appare vantaggiosa sia perché evita nella struttura distorsioni e distribuzioni di tensioni diverse da quelle previste in fase di esercizio, sia perché può essere effettuata dopo una stagionatura molto più breve (§ 4.1).

Anche nei casi in cui deve essere raggiunta subito la tensione massima, è utile procedere in più di una fase per ridurre gli effetti della contrazione elastica della struttura sulla tensione dei primi cavi tesati (a meno che di questa non si tenga conto esplicitamente), per evitare distorsioni prodotte dalla momentanea asimmetria dello sforzo di precompressione, e perché in una seconda fase è già possibile correggere

eventuali insufficienze negli allungamenti verificatisi nella prima fase (§ 5.2).
Per questi motivi gli operatori del CeSAP, anche quando il progettista prescrive una sola tesatura, la scompongono in genere nelle seguenti fasi:

— Tesatura da due parti: 1) metà tensione testata A; 2) tensione intera testata B; 3) tensione intera testata A.

— Tesatura da una sola parte: 1) metà tensione; 2) tensione intera.

È anche possibile effettuare una ripresa supplementare delle tensioni a distanza di tempo per compensare una parte delle cadute per deformazioni lente (ritaratura); la convenienza o meno dell'operazione deve essere valutata caso per caso ed è diversa nei vari paesi, perché dipende anche da quanta parte della deformazione lenta può essere considerata come già avvenuta al momento della ritaratura secondo i regolamenti vigenti. In Italia la ritaratura deve essere effettuata non prima di 21 giorni dopo la messa in tiro (N 64/1.53) e non oltre 28 giorni se non si usano particolari accorgimenti per evitare la corrosione dell'acciaio (N 64 C/1.53); le cadute previste per ritiro e deformazione lenta del conglomerato sotto carico (vedi al § 5.3) possono essere ridotte del 15% (N 64/1.53) e quelle per rilassamento dell'acciaio possono essere ridotte del 30% (N 64/2.8). Prima della ritaratura, e dopo di essa finché non siano state eseguite e maturate le iniezioni (cioè per circa 1 mese dal termine della tesatura iniziale) l'opera non può essere messa in servizio (N 64/2.8).

### 5.2 - Piano di tesatura e controllo degli allungamenti

Tutti i regolamenti prescrivono che in occasione della tesatura vengano misurati i corrispondenti allungamenti (N 64/2.6) per controllare le perdite per attrito e, si può aggiungere, per verificare il complesso delle operazioni, ottenendo ad esempio una conferma della buona taratura dei manometri.
Anche se sarebbe possibile — e ciò avviene realmente con qualche sistema di precompressione — invertire il ruolo delle pressioni e degli allungamenti, tesando fino a raggiungere gli allungamenti calcolati ed usando le letture ai manometri come un controllo, con il sistema Morandi si effettua invece sempre la tesatura fino a raggiungere la pressione calcolata, confrontando poi per controllo gli allungamenti misurati con quelli teorici; ciò non solo perché tale procedimento è quello suggerito esplicitamente dalle norme (N 64 C/2.6), ma perché si ritiene che il calcolo degli allungamenti teorici contenga approssimazioni più grossolane di quelle impiegate nel calcolo delle tensioni.
In caso di discordanza eccessiva fra gli allungamenti misurati e quelli teorici, gli operatori del CeSAP provvedono direttamente (senza cioè necessità di un intervento del progettista) a sbloccare nuovamente gli ancoraggi apportando le correzioni prescritte dalle norme (N 64 C/2.6); nel caso, di gran lunga più frequente, di allungamenti inferiori a quelli teorici, tali correzioni consisteranno in un aumento della tensione fino ai massimi consentiti, o eccezionalmente in provvedimenti di emergenza quali la lubrificazione del cavo o addirittura il suo sbloccaggio totale con successiva ritesatura. Lo sbloccaggio degli ancoraggi per effettuare le correzioni può essere garantito solo se la tensione massima non supera il valore consigliato di 120 Kg/mm$^2$.
Il progettista dovrà fornire agli operatori un piano di tesatura in cui siano indicati per ogni cavo le eventuali fasi della tesatura, la tensione

iniziale di tiro (la sua traduzione in pressioni alla pompa con relative perdite nell'attrezzatura riguarda il CeSAP) e gli allungamenti.
Poiché in questi ultimi figurano i moduli elastici apparenti del calcestruzzo e dell'acciaio, ed il secondo, essendo le tensioni riferite alla sezione nominale, varia anche con la sezione reale del trefolo (§ 5.6), è opportuno che il progettista non compili il piano di tesatura assieme ai calcoli statici delle strutture, ma fornisca questo al momento della tesatura, quando può ottenere dal cantiere (cfr. N 64/2.6) dati sul calcestruzzo eseguito e sulle partite di acciaio messe in opera; tali dati andranno utilizzati come indicato al § 5.6.
I moduli elastici sono necessari anche per la determinazione della tensione di tiro (che deve figurare nei calcoli statici iniziali) perché servono per calcolare le cadute dovute alle deformazioni lente; ma la minore incidenza sui risultati di tale calcolo di eventuali errori di valutazione dei moduli elastici permette in quest'ultimo caso di adottare moduli e rapporti convenzionali (§ 5.3).

### 5.3 - Calcolo della tensione di tiro e deformazioni lente

La tensione iniziale di tiro viene calcolata aggiungendo alla tensione di esercizio nella sezione più significativa le cadute per deformazioni lente (ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio), quelle per attrito lungo il cavo fino all'estremità da cui si tesa, ed eventualmente quelle dovute all'assestamento degli ancoraggi.
Le modalità di valutazione delle cadute per deformazioni lente sono generalmente prescritte dai regolamenti; per comodità del progettista si riportano le norme italiane, che si accordano perfettamente con molti regolamenti esteri.
Per il caso di ritaratura vedi il § 5.1.

a) Caduta per ritiro calcestruzzo. Corrispondente ad un ritiro di $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ (N 64/1.51).
b) Caduta per viscosità calcestruzzo. Corrispondente ad una deformazione della struttura uguale a 2 volte la deformazione elastica; per stagionature brevi o artificiali vedi le norme (N 64/1.52).
c) Caduta per rilassamento acciaio. Assunta del 7% della tensione di tiro; per determinazioni sperimentali vedi le norme (N 64/2.8).

Per il modulo elastico dell'acciaio che determina la caduta per ritiro, e per quello del calcestruzzo che assieme al primo determina la caduta per viscosità si potranno, in mancanza di dati diretti, assumere i seguenti valori convenzionali:

$E_a = 21.000$ Kg/mm² $\qquad E_b = 380.000$ Kg/cm²

Tali valori sono giustificati al § 5.6 assieme al suggerimento di modalità per valutazioni più precise; essi non sono citati nelle norme e vengono soltanto suggeriti dal CeSAP in quanto è noto che al momento del calcolo delle deformazioni lente il progettista non dispone in genere di altre informazioni. Nel calcolo degli allungamenti (che viene effettuato più tardi) i moduli andranno invece valutati con le modalità del § 5.6.
Poiché la caduta di tensione per deformazioni lente varia assai poco da caso a caso, le norme americane suggeriscono anche, per sole travi rettilinee, una sua valutazione globale (RA/208.3) che, pur non essendo ammessa da quelle italiane, è molto utile per un primo orientamento o per controllo; viene cioè assunto per la somma a) + b) + c) il valore costante:

$$\Delta \sigma = 17{,}6 \text{ Kg/mm}^2$$

## 5.4 - Cadute per attrito

È ben noto che, se $\sigma_{al}$ è la tensione iniziale del cavo all'estremità cui è applicato il martinetto, $\sigma'_a$ la tensione iniziale nella sezione di ascissa L rispetto alla prima, $\alpha$ la deviazione angolare complessiva dell'asse del cavo fra le due sezioni misurata in radianti, la tensione $\sigma'_a$ può essere valutata con l'espressione:

$$\sigma'_a = \sigma_{al}\ e^{-(KL+\mu\alpha)}$$

dove $\mu$ è il coefficiente di attrito (« in curva ») e K è un coefficiente convenzionale (« di attrito in retto ») che tiene conto delle ondulazioni parassite del cavo per imperfezioni di lavorazione, che vengono assunte proporzionali alla sua lunghezza. Va precisato che $\alpha$ è la deviazione totale dell'asse del cavo e non comprende le deviazioni delle singole quaterne all'imbocco del terminale; le modalità di tesatura (vedi § 5.5) annullano infatti le conseguenze dell'attrito su tali deviazioni, invertendone il senso.

Se l'esponente è piccolo rispetto all'unità, cioè sempre per le travi normali ma non per travi molto lunghe, volte o cavi di cerchiatura (ciò può essere verificato subito calcolando effettivamente l'esponente) l'espressione precedente o il suo inverso $\sigma_{al} = \sigma'_a\ e^{(KL+\mu\alpha)}$ possono essere sviluppate in serie e sostituite dai primi due termini (N 64 C/2.6) ottenendo rispettivamente:

$$\sigma_{al} - \sigma'_a = \sigma_{al}\ (KL + \mu\alpha);$$
$$\sigma_{al} - \sigma'_a = \sigma'_a\ (KL + \mu\alpha).$$

Queste due espressioni coinciderebbero se l'approssimazione ai primi due termini dello sviluppo in serie fosse rigorosamente valida; un modo per migliorare l'approssimazione è costituito dalla scomposizione del cavo in tronchi suggerita dalle norme (N 64/2.6), consigliabile in particolare quando il cavo consta sia di tratti rettilinei che tratti curvi. Poiché nei casi più comuni di travi con cavi di curvatura poco variabile si tende in genere a non effettuare questa scomposizione e ad usare una delle due espressioni precedenti per valutare la caduta globale, va tenuto presente che in tal caso sono diversi i valori dei coefficienti da impiegare nell'una o nell'altra espressione.

I valori dei coefficienti suggeriti qui appresso e l'esempio riportato al § 5.7 sono basati sulla seconda espressione, sia perché essa è più comoda nei calcoli pratici ($\sigma'_a$ in genere è noto mentre nella prima $\sigma_{al}$ andrebbe assunto per tentativi) sia perché ad essa fanno riferimento i valori dei coefficienti forniti dai principali regolamenti stranieri.

Le norme italiane si basano invece sulla prima espressione, ma ciò ha poca importanza perché esse non precisano i valori dei coefficienti per i trefoli (i valori ivi suggeriti sono ripresi dai dati sui fili contenuti nelle norme precedenti) e consigliano comunque determinazioni dirette dei coefficienti di attrito (N 64 C/2.6).

Sulla base dell'esperienza diretta del CeSAP e dei valori suggeriti dai regolamenti stranieri (cfr. RA/208.2.1), si suggerisce di adottare, finché non siano disponibili maggiori dati o non appaiano nuove norme, i seguenti coefficienti di attrito fra trefolo e guaina metallica flessibile:

$$\Delta\ \sigma = \sigma'_a\ (KL + \mu\alpha)$$

$K = 4 \cdot 10^{-3}\ m^{-1}$; $\mu = 0{,}25\ rad^{-1}$

In assenza di guaina, cioè nel caso di attrito fra trefoli e calcestruzzo (come può avvenire nella costruzione a conci) ambedue i coefficienti dovranno essere maggiorati del 50%.

Non è consigliabile prevedere una particolare lubrificazione sia perché essa influenza sfavorevolmente la successiva aderenza fra trefoli e iniezione finale (ed è perciò vietata da alcuni

regolamenti stranieri), sia perché una iniezione di lubrificante può costituire invece un provvedimento di emergenza in qualche caso in cui gli attriti riscontrati al momento della tesatura risultassero molto maggiori di quelli previsti nei calcoli (N 64 C/2.6).

### 5.5 - Assestamento degli ancoraggi

Grazie alla possibilità offerta dal sistema Morandi di leggere rapidamente la tensione dei cavi senza sbloccare gli ancoraggi, la tesatura viene sempre effettuata facendo riferimento non ai valori indicati dal manometro normale durante la tesatura, ma a quelli indicati da un apposito manometro di controllo in occasione di una lettura delle tensioni effettuata sul cavo già bloccato, avendo quindi già scontato la caduta di tensione per assestamento degli ancoraggi (e, fra l'altro, anche quella per attrito nel terminale, per inversione del senso degli attriti durante l'assestamento stesso).
Ne segue che nessuna caduta di tensione per assestamento degli ancoraggi deve essere introdotta nel calcolo della tensione iniziale di tiro; per evitare obiezioni da parte degli organi di controllo sarà opportuno specificare nel calcolo che la tensione iniziale indicata è intesa ad assestamento degli ancoraggi già avvenuto.
La tesatura verrà quindi in realtà effettuata ad un valore leggermente superiore a quello indicato dal progettista, e tale valore sarà determinato a cura del CeSAP; le norme italiane precisano anche che tale sovratensione temporanea può andare al di là delle tensioni massime indicate al § 2.2 (N 64/2.71) e non deve figurare nella tensione di tiro introdotta al § 5.3 c nel calcolo del rilassamento (N 64 C/3.12).
Poiché anche gli allungamenti vengono valutati soltanto a bloccaggio effettuato (misurando lo spostamento rispetto alla testata di appositi riferimenti praticati sui fili) l'assestamento degli ancoraggi non dovrà apparire neanche nel calcolo degli allungamenti; anche questa volta sarà opportuno precisare nel calcolo il motivo della sua assenza. Nel caso eccezionale di tesatura da una sola parte senza uso di cappi, cioè con presenza di ancoraggi da ambedue le parti, sarà opportuno prescrivere esplicitamente nel piano di tesatura di detrarre dagli allungamenti misurati gli assestamenti dell'estremità morta.

### 5.6 - Calcolo degli allungamenti

L'allungamento apparente teorico, da confrontare con quello misurato in cantiere rispetto alle testate, è costituito dal vero allungamento elastico dell'acciaio e dalla contrazione elastica del calcestruzzo; nel nostro caso esso non comprenderà l'assestamento degli ancoraggi, per i motivi esposti al § 5.5, e l'assestamento iniziale del cavo per le ragioni esposte più avanti.

a) **Allungamento acciaio.** Le norme italiane parlano di controllo del reale diagramma sforzi - allungamenti (N 64/2.6), e questo può essere ogni volta effettivamente impiegato; ma sulla base dei diagrammi forniti da vari fabbricanti si vede che esso non varia molto (20.000 ÷ 20.300 Kg/mm²) e quindi un valore di 20.200 Kg/mm² può anche essere assunto a priori (altri regolamenti suggeriscono però valori più bassi).
Una indeterminazione più grave è prodotta dal fatto che le tensioni impiegate nel calcolo sono riferite alla sezione nominale di 92,9 mm², mentre quella reale può variare fra il — 1% e il + 4% (§ 2.1); essa è quasi sempre maggiore di quella nominale, ed il modulo elastico appa-

rente risulta anch'esso maggiore di quello reale. Se è nota la sezione reale A in mm² del tipo di trefolo impiegato si suggerisce per il modulo elastico apparente il valore:

$$E_a = 20.200 \frac{A}{92,9} \quad \text{Kg/mm}^2$$

Il valore convenzionale di $E = 21.000$ Kg/mm² suggerito per il calcolo delle deformazioni lente (da impiegare anche per gli allungamenti solo se non sono disponibili dati sulla sezione dei trefoli) è stato valutato considerando che generalmente gli acciai in commercio hanno sezioni intorno all'estremo superiore dell'intervallo tollerato (+ 4%) ed è quindi uguale a 20.200 · 1,04. Nei casi in cui è lecito usare per il calcolo delle cadute per attrito l'approssimazione lineare (§ 5.4), la tensione da considerare nel calcolo degli allungamenti è quella media $\frac{\sigma'_a + \sigma_{al}}{2}$; negli altri casi occorre integrare analiticamente o graficamente l'esponenziale che dà l'andamento della tensione lungo il cavo.

b) **Contrazione elastica calcestruzzo.** Poiché il modulo elastico del calcestruzzo viene raramente misurato direttamente, mentre è sempre nota la resistenza dei provini, tale modulo elastico può essere valutato con la formula (N 64 C/1.5):

$$E_b = 19.000 \sqrt{\sigma'_{br}} \quad \text{Kg/cm}^2$$

dove $\sigma'_{br}$ è la resistenza cubica. Il valore suggerito al § 5.3 $E_b = 380.000$ Kg/cm² corrisponde ad una resistenza $\sigma'_{br} = 400$ Kg/cm².
La tensione nel calcestruzzo da considerare è la media lungo la trave delle medie sulle sezioni trasversali, già note dai calcoli statici; per travi isostatiche esse possono anche essere ricavate dallo sforzo globale di precompressione, mediato tenendo conto degli attriti, diviso per la sezione media della trave.

c) **Assestamento iniziale del cavo.** Secondo le norme (N 64 C/2.6) esso deve essere valutato sperimentalmente e non va quindi introdotto nel calcolo dell'allungamento, specificando però chiaramente (soprattutto per gli operatori) che l'allungamento calcolato non comprende l'assestamento iniziale.

## 5.7 - Formule pratiche per travi semplicemente appoggiate

Si riassumono qui per comodità del progettista le espressioni per il calcolo delle cadute e degli allungamenti valide nel caso particolare di una trave semplicemente appoggiata alle estremità, simmetrica rispetto alla mezzeria, di lunghezza non superiore a 50 m., tesata da ambo le parti; per la motivazione dei coefficienti adottati ed i loro limiti di applicabilità vedi i paragrafi precedenti.

a) **Tensione iniziale di tiro dopo l'assestamento degli ancoraggi** (da includere nei calcoli statici)
Se $\sigma_a$ è la tensione di esercizio dell'acciaio ($\leq 100$ Kg/mm²), la tensione iniziale di tiro dopo assestamento degli ancoraggi $\sigma_{al}$ sarà:

$$\sigma_{al} = \sigma_a + \Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_4$$

— Caduta per ritiro $\Delta\sigma_1$:

$$\Delta\sigma_1 = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1 \cdot 10^6 = 525 \quad \text{Kg/cm}^2$$

— Caduta per viscosità calcestruzzo $\Delta\sigma_2$:

$$\Delta\sigma_2 = 2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^6}{3,8 \cdot 10^5} \bar{\sigma}_b = 11,06 \; \bar{\sigma}_b \quad \text{Kg/cm}^2$$

dove $\bar{\sigma}_b$ è a tensione media di compressione del calcestruzzo (nella fase di tiro) in Kg/cm²

Caduta per rilassamento acciaio $\Delta\sigma_r$:

$\Delta\sigma_r = 0{,}07\ \sigma_{el}$ Kg/cm²

dove per $\sigma_{el}$ si introduce un valore presunto, da verificare alla fine; per $\sigma_{el} = 12{,}000$ Kg/cm², $\Delta\sigma_r = 840$ Kg/cm².

Caduta per attrito $\Delta\sigma_a$ (unica diversa da cavo a cavo):

Ponendo $\sigma'_e = \sigma_a + \Delta\sigma_r + \Delta\sigma_a + \Delta\sigma_{ab}$ si ha,

$\Delta\sigma_a = \sigma'_e\ (4\ L + 4{,}36\ \alpha^\circ)\ 10^{-3}$ Kg/cm²

dove L è la semilunghezza della trave in m e $\alpha^\circ$ è l'inclinazione sull'orizzontale della tangente all'asse del cavo in corrispondenza della testata espressa in gradi.

b) **Allungamento teorico del cavo escluso l'assestamento iniziale** (da fornire al momento della tesatura)

Se $l = 2L$ è la lunghezza totale del cavo in metri, $\sigma'_e$ la tensione iniziale in mezzeria, $\Delta\sigma_a$ la caduta per attrito, $\sigma_b$ la tensione media di compressione nel calcestruzzo (tutte in Kg/cm² e già calcolate), l'allungamento totale apparente $\delta$ del cavo (somma degli allungamenti misurati rispetto alle due testate) in mm. è dato da:

$$\delta = \left( \frac{\sigma'_e + \Delta\sigma_a/2}{E_e} + \frac{\sigma_b}{E_b} \right) l \cdot 10^{-3}\ \text{mm}$$

dove:

$E_e = 2{,}02 \cdot 10^6 \dfrac{A}{92{,}9}$ Kg/cm² se è nota la sezione A in mm² del trefolo impiegato; altrimenti si assumerà $E_e = 2{,}1 \cdot 10^6$ Kg/cm²

$E_b = 19{,}000 \sqrt{\sigma'_{br}}$ Kg/cm² dove $\sigma'_{br}$ è la resistenza cubica a 28 giorni del calcestruzzo impiegato

## 6. - APPLICAZIONI PARTICOLARI

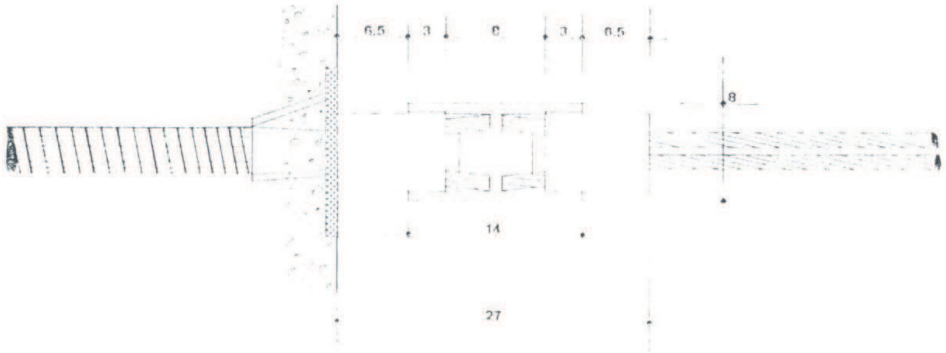
### 6.1 - Generalità

Le applicazioni particolari che seguono, di uso non frequente ma tutte già sperimentate dal CeSAP, non esauriscono in nessun modo gli impieghi possibili per il sistema, ma possono anzi valere a suggerirne altri.

A differenza dei capitoli precedenti, che aspirano a fornire tutti i dati necessari al progettista, i paragrafi che seguono non comprendono, per non appesantire eccessivamente il presente prontuario, tutti i dati relativi ad ogni singola applicazione; è quindi consigliabile che il progettista interessato ad applicazioni del genere di quelle qui riportate (e ad altre da esse suggerite) si rivolga al CeSAP per informazioni più complete.

### 6.2 - Elemento di giunzione per cavi

Un cavo tipo M5/4 (o anche ogni quaterna appartenente ad un cavo più grande) può essere unito ad un altro attraverso uno speciale elemento di giunzione costituito da un manicotto filettato accoppiato con ancoraggi eguali a quelli normali ma filettati esternamente (fig. 20 a); la resistenza della giunzione è maggiore di quella del cavo. Fra le varie circostanze in cui può trovare applicazione tale elemento di giunzione (travi continue, grandi tiranti, procedimenti di



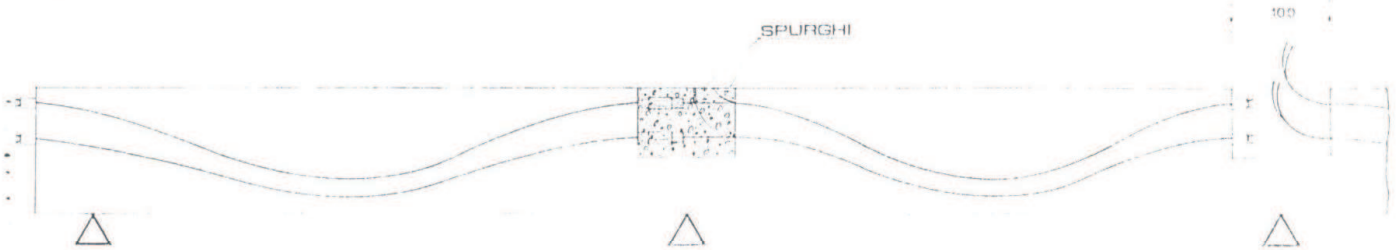




figura n. 29

costruzione a sbalzo dalle pile, ecc.) illustreremo brevemente soltanto il caso delle travi continue. Poiché in una trave continua a più di due o tre luci le ondulazioni dei cavi corrispondenti alle inversioni di segno dei momenti provocano tali cadute di tensione per attrito da rendere spesso irrealizzabile la tesatura di tali cavi dalle sole estremità, è possibile scomporre i cavi stessi in segmenti corrispondenti ad una sola luce, che vengono tesati attraverso cavità provvisorie praticate in corrispondenza degli appoggi (fig. 20b); dopo la tesatura di un segmento, ai corrispondenti ancoraggi (filettati) vengono agganciati i cavi della campata successiva, la cavità impiegata per la tesatura viene riempita e si passa dopo l'opportuna stagionatura a tesare dalla cavità successiva il nuovo segmento di cavo. Naturalmente il tipo di cavo più adatto a tale uso è il cavo M5/4; è possibile anche l'impiego di cavi più grandi con i relativi terminali nonostante qualche complicazione. Si può ancora osservare che in quest'ultimo caso la piastra di ripartizione è realmente necessaria solo per gli ancoraggi ai quali viene applicato il martinetto; l'ancoraggio « aggiuntato » non esercita pressioni sul calcestruzzo, perché la tensione che gli giungerà al momento della tesatura del segmento successivo sarà sempre inferiore (a causa degli attriti) a quella che agisce sull'ancoraggio con cui è accoppiato, e quindi la giunzione non si sposterà longitudinalmente.

### 6.3 - Costruzione a conci

a) È possibile nella realizzazione di strutture precompresse l'impiego di conci prefabbricati, che vengono successivamente posti in opera distanziati riempiendo gli interspazi con giunti gettati in opera che assicurano un perfetto contatto fra le superfici dei conci stessi. Tale tecnica, che deve soddisfare particolari requisiti (cfr. N64 C/3.12) ha avuto largo impiego nelle prime realizzazioni di strutture precompresse, mentre ha avuto applicazioni meno frequenti negli ultimi anni.

I canali per il passaggio dei cavi possono essere realizzati introducendo nelle casseforme dei tubi da sfilare dopo il getto, lasciando privi di rivestimento i canali oppure impiegando dei segmenti di guaina che inizialmente rivestono il tubo e restano quindi annegati nel calcestruzzo; anche in questo caso i tubi sono necessari perché la guaina vuota può schiacciarsi durante il getto.

L'impiego o meno della guaina dipende dal bilancio fra il costo della guaina stessa e l'onere costituito dalla maggiorazione dei coefficienti di attrito (§ 5.4) necessaria in assenza della guaina stessa.

I trefoli vengono infilati dopo la posa in opera dei conci e prima del getto dei giunti, rivestendo con lamierino il tratto di cavo scoperto ($\approx$ 12 cm) in corrispondenza dei giunti stessi; le testate con i relativi terminali vengono generalmente armate e gettate in opera.

Sono stati anche realizzati talvolta giunti molto più piccoli riempiti con materie plastiche.

b) Nella costruzione a conci (non prefabbricati) per sbalzi successivi a partire da ogni pila, affermatasi in questi ultimi anni, il sistema M5 può sostituire vantaggiosamente le barre filettate impiegate originariamente; la flessibilità del trefolo evita di impiegare un gran numero di giunzioni, che comunque possono essere realizzate con il manicotto di cui al § 6.2.

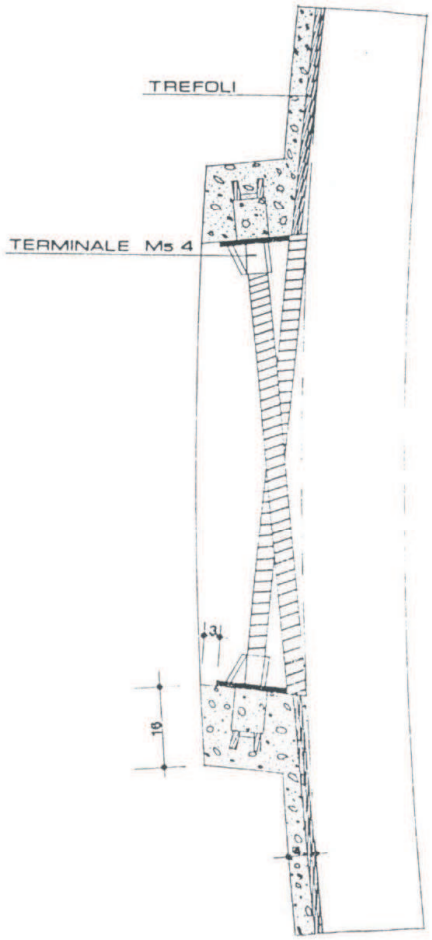



figura n. 21

## 6.4 - Cerchiatura di serbatoi e silos

L'impiego della precompressione per la cerchiatura di tubi o piccoli serbatoi comporta generalmente l'adozione di procedimenti particolari, già industrializzati, ed esula dal campo di applicazione di un sistema a cavi scorrevoli (cfr. RA/103.1).

Quest'ultimo ha trovato invece talvolta impiego nella cerchiatura di recipienti (grandi serbatoi e silos, contenitori per centrali termonucleari) con diametri superiori ai 15 ÷ 20 m., tali cioè che la scomposizione della circonferenza e dei relativi cavi in segmenti dell'estensione di 60° ÷ 90° (necessaria per limitare le perdite per attrito) non conduca a cavi troppo corti con eccessiva incidenza del costo degli ancoraggi.

I cavi sono generalmente di tipo singolo (M5/4) e vengono disposti esternamente (senza canali o guaine); dopo la tesatura essi sono ricoperti da uno strato di calcestruzzo di protezione. È consigliabile interporre fra i trefoli e la superficie del calcestruzzo un foglio di lamiera da 1 ÷ 2 mm.; ciò evita di assumere per i coefficienti di attrito le maggiorazioni relative all'attrito fra trefoli e calcestruzzo (§ 5.4).

Per ancorare le estremità dei cavi vengono realizzate delle apposite costole (fig. 21); tale sistema risulta più conveniente dell'impiego dei manicotti di giunzione (§ 6.2) che presumono la tesatura dei segmenti di cavo da una sola parte.

Nel calcolo degli attriti deve essere impiegata l'espressione esponenziale rigorosa e non l'approssimazione lineare; i coefficienti restano quelli indicati al § 5.4 per il caso delle guaine, purché venga impiegato il lamierino di cui sopra.

## APPENDICE

### Norme per l'approvvigionamento dei trefoli

In considerazione del fatto che talvolta il trefolo non è fornito dal CeSAP ma viene approvvigionato direttamente dalle imprese, si riassumono qui per comodità alcuni suggerimenti per l'ordinazione del trefolo stesso:

a) **Quantità**

Poiché le sezioni e quindi i pesi variano entro un intervallo del 5% (cfr. § 2.1) si consiglia di effettuare il calcolo, l'ordinazione ed il confronto fra i diversi fornitori riferendosi ai metri e non ai chilogrammi di trefolo.
Alla lunghezza netta dei trefoli valutata fra i piani delle piastre occorre aggiungere:

— 40 cm di frustoni necessari alla tesatura, per ogni estremità alla quale sia possibile applicare il martinetto (cioè per ogni estremità da cui si effettui la tesatura ed anche per qualche eventuale estremità morta che sia fornita di ancoraggi e di spazio sufficiente per una tesatura di emergenza);

— maggiorazione del 3% per sfrido con cavi di lunghezza normale; per cavi molto lunghi sarà opportuno valutare più esattamente lo sfrido chiedendo al fabbricante il contenuto esatto di ciascuna bobina (generalmente qualche migliaio di metri).

b) **Qualità**

L'ordine deve concernere:

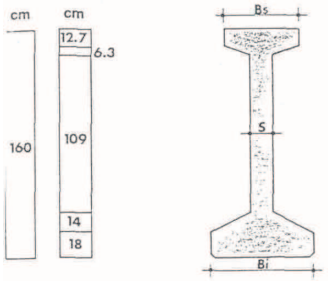
— trefolo di acciaio a 7 fili per cemento armato precompresso del diametro nominale di ½";

— caratteristiche secondo il Capitolato Americano ASTM - A 416/57;

— tolleranze, controlli, garanzie ed ogni altro requisito secondo le « Norme per l'impiego delle Strutture in Cemento Armato Precompresso » approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1964; in particolare dovrà essere rispettata tassativamente la tolleranza — 1%, + 4% sulla sezione nominale di 92,9 mm², prescritta dalle norme stesse.

## ALFA A160r

Bulbo superiore ristretto

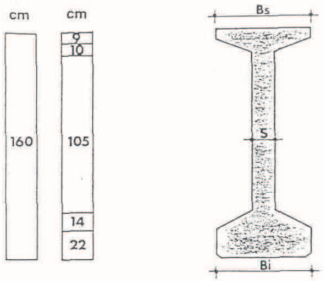



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 r 14 | 68 | 14 | 48 | 1,032 | 4,4449 |
| A 160 r 16 | 70 | 16 | 50 | 1,112 | 4,4649 |
| A 160 r 18 | 72 | 18 | 52 | 1,192 | 4,4849 |
| A 160 r 20 | 74 | 20 | 54 | 1,272 | 4,5049 |

| TRAVE | AREA cm² | Yg cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 r 14 | 4129 | 67,4 | 13102600 | 141543 | 194313 |
| A 160 r 16 | 4449 | 68,3 | 13832190 | 150898 | 202419 |
| A 160 r 18 | 4769 | 69,1 | 14555480 | 160157 | 210591 |
| A 160 r 20 | 5089 | 69,8 | 15273660 | 169334 | 218816 |

## ALFA A160np

Bulbo inferiore pesante

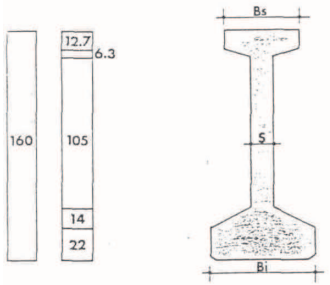



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 np 14 | 68 | 14 | 68 | 1,141 | 4,5841 |
| A 160 np 16 | 70 | 16 | 70 | 1,221 | 4,6041 |
| A 160 np 18 | 72 | 18 | 72 | 1,301 | 4,6241 |
| A 160 np 20 | 74 | 20 | 74 | 1,381 | 4,6441 |

| TRAVE | AREA cm² | Yg cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 np 14 | 4562 | 69,7 | 15085640 | 166988 | 216560 |
| A 160 np 16 | 4882 | 70,3 | 15800270 | 176221 | 224633 |
| A 160 np 18 | 5202 | 70,9 | 16510970 | 185376 | 232770 |
| A 160 np 20 | 5522 | 71,5 | 17218420 | 194466 | 240959 |

## ALFA A160rp

Bulbo superiore ristretto - Bulbo inferiore pesante

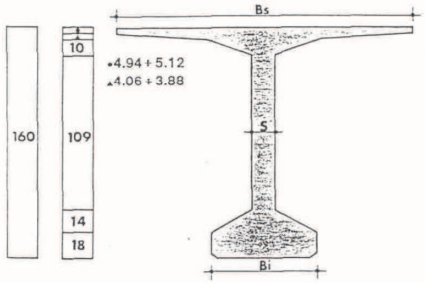



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 rp 14 | 68 | 14 | 48 | 1,086 | 4,4449 |
| A 160 rp 16 | 70 | 16 | 50 | 1,166 | 4,4649 |
| A 160 rp 18 | 72 | 18 | 52 | 1,246 | 4,4849 |
| A 160 rp 20 | 74 | 20 | 54 | 1,326 | 4,5049 |

| TRAVE | AREA cm² | Yg cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 rp 14 | 4345 | 65,4 | 13441940 | 142123 | 205470 |
| A 160 rp 16 | 4665 | 66,4 | 14187960 | 151614 | 213608 |
| A 160 rp 18 | 4985 | 67,3 | 14925850 | 160999 | 221807 |
| A 160 rp 20 | 5305 | 68,1 | 15657070 | 170294 | 230052 |

## ALFA A160l

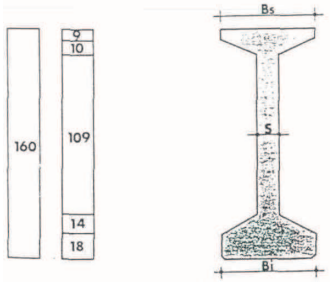
Ala larga superiore




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 l 14 | 68 | 14 | 200 | 1,317 | 5,8254 |
| A 160 l 16 | 70 | 16 | 200 | 1,394 | 5,8266 |
| A 160 l 18 | 72 | 18 | 200 | 1,472 | 5,8278 |
| A 160 l 20 | 74 | 20 | 200 | 1,549 | 5,8290 |

| TRAVE | AREA cm² | Yg cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 l 14 | 5266 | 86,6 | 20112540 | 273892 | 232333 |
| A 160 l 16 | 5576 | 86,1 | 20757540 | 280751 | 241187 |
| A 160 l 18 | 5886 | 85,6 | 21399430 | 287675 | 249957 |
| A 160 l 20 | 6196 | 85,2 | 22038550 | 294651 | 258655 |

## ALFA A160n

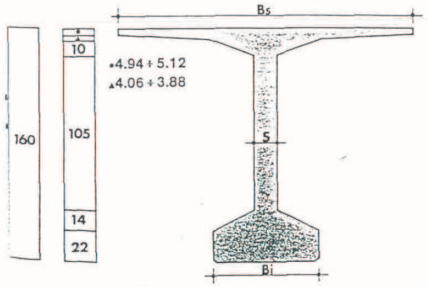



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 n 14 | 68 | 14 | 68 | 1,087 | 4,5841 |
| A 160 n 16 | 70 | 16 | 70 | 1,167 | 4,6041 |
| A 160 n 18 | 72 | 18 | 72 | 1,247 | 4,6241 |
| A 160 n 20 | 74 | 20 | 74 | 1,327 | 4,6441 |

| TRAVE | AREA cm² | Yg cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 n 14 | 4346 | 71,8 | 14669180 | 166281 | 204361 |
| A 160 n 16 | 4666 | 72,3 | 15371980 | 175368 | 212483 |
| A 160 n 18 | 4986 | 72,8 | 16072200 | 184390 | 220664 |
| A 160 n 20 | 5306 | 73,3 | 16770300 | 193357 | 228890 |

## ALFA A160lp

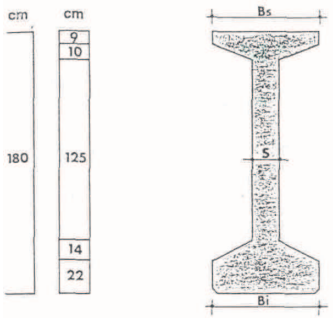
Ala larga superiore - Bulbo inferiore pesante




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 lp 14 | 68 | 14 | 200 | 1,371 | 5,8254 |
| A 160 lp 16 | 70 | 16 | 200 | 1,448 | 5,8266 |
| A 160 lp 18 | 72 | 18 | 200 | 1,526 | 5,8278 |
| A 160 lp 20 | 74 | 20 | 200 | 1,603 | 5,8290 |

| TRAVE | AREA cm² | Yg cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 160 lp 14 | 5482 | 84,2 | 20852590 | 275174 | 247595 |
| A 160 lp 16 | 5792 | 83,9 | 21486800 | 282207 | 256217 |
| A 160 lp 18 | 6102 | 83,5 | 22119030 | 289280 | 264779 |
| A 160 lp 20 | 6412 | 83,2 | 22749480 | 296386 | 273288 |

## SERIE ALFA A180np

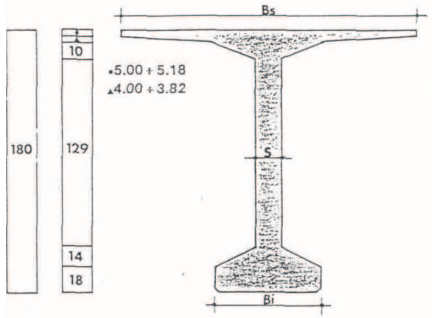



Bulbo inferiore pesante

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 np 16 | 70 | 16 | 70 | 1,301 | 5,0041 |
| A 180 np 18 | 72 | 18 | 72 | 1,391 | 5,0241 |
| A 180 np 20 | 74 | 20 | 74 | 1,481 | 5,0441 |
| A 180 np 22 | 76 | 22 | 76 | 1,571 | 5,0641 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 np 16 | 5202 | 79,4 | 21357560 | 212250 | 269070 |
| A 180 np 18 | 5562 | 80,1 | 22367570 | 223817 | 279374 |
| A 180 np 20 | 5922 | 80,7 | 23372950 | 235299 | 289746 |
| A 180 np 22 | 6282 | 81,2 | 24374520 | 246711 | 300171 |

## SERIE ALFA A180I

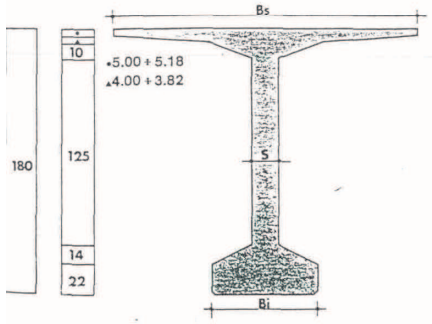



Ala larga superiore

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 I 16 | 70 | 16 | 200 | 1,474 | 6,2266 |
| A 180 I 18 | 72 | 18 | 200 | 1,561 | 6,2278 |
| A 180 I 20 | 74 | 20 | 200 | 1,649 | 6,2290 |
| A 180 I 22 | 76 | 22 | 200 | 1,736 | 6,2302 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 I 16 | 5896 | 96,3 | 27650050 | 330228 | 287214 |
| A 180 I 18 | 6246 | 95,8 | 28568310 | 339201 | 298277 |
| A 180 I 20 | 6596 | 95,3 | 29483080 | 348237 | 309254 |
| A 180 I 22 | 6945 | 94,9 | 30394750 | 357324 | 320154 |

## SERIE ALFA A180Ip

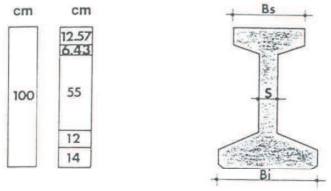



Ala larga superiore - Bulbo inferiore pesante

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 Ip 16 | 70 | 16 | 200 | 1,528 | 6,2266 |
| A 180 Ip 18 | 72 | 18 | 200 | 1,616 | 6,2278 |
| A 180 Ip 20 | 74 | 20 | 200 | 1,703 | 6,2290 |
| A 180 Ip 22 | 76 | 22 | 200 | 1,790 | 6,2302 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 Ip 16 | 6112 | 93,8 | 28653670 | 332494 | 305405 |
| A 180 Ip 18 | 6462 | 93,5 | 29559730 | 341647 | 316219 |
| A 180 Ip 20 | 6812 | 93,2 | 30463590 | 350839 | 326970 |
| A 180 Ip 22 | 7161 | 92,9 | 31365440 | 360062 | 337667 |

## SERIE BETA B100r

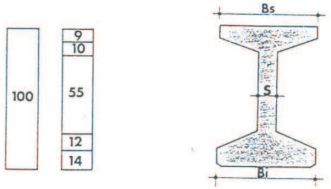



Bulbo superiore ristretto

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| B 100 r 12 | 68 | 12 | 48 | 0,722 | 3,3029 |
| B 100 r 14 | 70 | 14 | 50 | 0,772 | 3,3229 |
| B 100 r 16 | 72 | 16 | 52 | 0,822 | 3,3429 |
| B 100 r 18 | 74 | 18 | 54 | 0,872 | 3,3629 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| B 100 r 12 | 2888 | 42,9 | 3677379 | 64367 | 85783 |
| B 100 r 14 | 3088 | 43,3 | 3853559 | 68000 | 88935 |
| B 100 r 16 | 3288 | 43,7 | 4028583 | 71601 | 92112 |
| B 100 r 18 | 3488 | 44,1 | 4202646 | 75175 | 95309 |

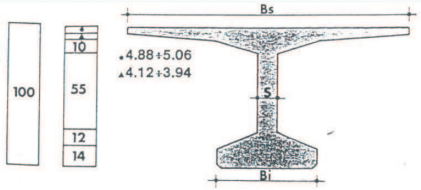
## SERIE BETA B100n




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| B 100 n 12 | 68 | 12 | 68 | 0,776 | 3,4439 |
| B 100 n 14 | 70 | 14 | 70 | 0,826 | 3,4639 |
| B 100 n 16 | 72 | 16 | 72 | 0,876 | 3,4839 |
| B 100 n 18 | 74 | 18 | 74 | 0,926 | 3,5039 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| B 100 n 12 | 3104 | 46,5 | 4215917 | 78745 | 90741 |
| B 100 n 14 | 3304 | 46,7 | 4384938 | 82231 | 93946 |
| B 100 n 16 | 3504 | 46,9 | 4553689 | 85700 | 97166 |
| B 100 n 18 | 3704 | 47,1 | 4722215 | 89156 | 100400 |

## SERIE BETA B100I

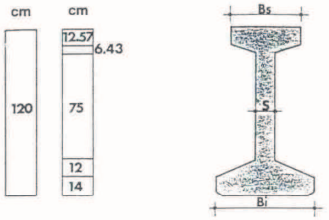



Ala larga superiore

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| B 100 I 12 | 68 | 12 | 200 | 1,006 | 4,6852 |
| B 100 I 14 | 70 | 14 | 200 | 1,054 | 4,6864 |
| B 100 I 16 | 72 | 16 | 200 | 1,101 | 4,6876 |
| B 100 I 18 | 74 | 18 | 200 | 1,148 | 4,6888 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| B 100 I 12 | 4024 | 57,9 | 5991458 | 142259 | 103509 |
| B 100 I 14 | 4214 | 57,4 | 6153994 | 144514 | 107183 |
| B 100 I 16 | 4404 | 57,0 | 6314672 | 146810 | 110808 |
| B 100 I 18 | 4594 | 56,6 | 6473686 | 149141 | 114389 |

## SERIE BETA B120r

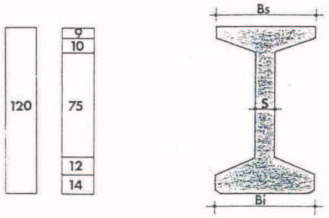



### Bulbo superiore ristretto

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| B 120 r 12 | 68 | 12 | 48 | 0,782 | 3,7029 |
| **B 120 r 14** | 70 | 14 | 50 | 0,842 | 3,7229 |
| **B 120 r 16** | 72 | 16 | 52 | 0,902 | 3,7429 |
| **B 120 r 18** | 74 | 18 | 54 | 0,962 | 3,7629 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| B 120 r 12 | 3128 | 51,7 | 5869686 | 85879 | 113640 |
| **B 120 r 14** | 3368 | 52,2 | 6173219 | 91113 | 118155 |
| **B 120 r 16** | 3608 | 52,8 | 6474690 | 96296 | 122714 |
| **B 120 r 18** | 3848 | 53,2 | 6774477 | 101435 | 127307 |

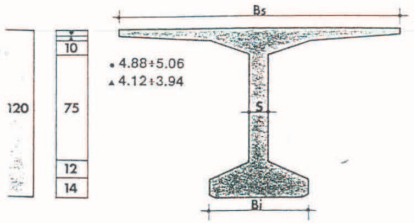
## SERIE BETA B120n




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| B 120 n 12 | 68 | 12 | 68 | 0,836 | 3,8439 |
| **B 120 n 14** | 70 | 14 | 70 | 0,896 | 3,8639 |
| **B 120 n 16** | 72 | 16 | 72 | 0,956 | 3,8839 |
| **B 120 n 18** | 74 | 18 | 74 | 1,016 | 3,9039 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| B 120 n 12 | 3344 | 55,7 | 6670510 | 103757 | 119736 |
| **B 120 n 14** | 3584 | 56,0 | 6962631 | 108787 | 124339 |
| **B 120 n 16** | 3824 | 56,2 | 7254232 | 113789 | 128967 |
| **B 120 n 18** | 4064 | 56,5 | 7545410 | 118770 | 133618 |

## SERIE BETA B120I

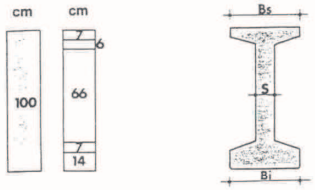



### Ala larga superiore

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| B 120 I 12 | 68 | 12 | 200 | 1,066 | 5,0852 |
| **B 120 I 14** | 70 | 14 | 200 | 1,124 | 5,0864 |
| **B 120 I 16** | 72 | 16 | 200 | 1,181 | 5,0876 |
| **B 120 I 18** | 74 | 18 | 200 | 1,238 | 5,0888 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| B 120 I 12 | 4264 | 68,8 | 9334070 | 182340 | 135651 |
| **B 120 I 14** | 4494 | 68,2 | 9615592 | 185742 | 140928 |
| **B 120 I 16** | 4724 | 67,7 | 9894124 | 189210 | 146129 |
| **B 120 I 18** | 4954 | 67,2 | 10170020 | 192733 | 151266 |

## SERIE BETA D100p

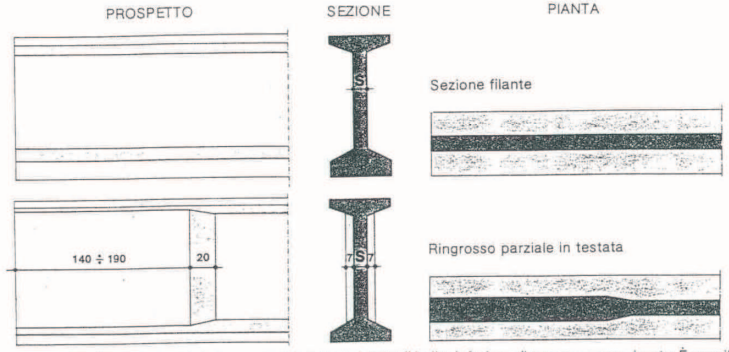



### Bulbo inferiore pesante

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| D 100 p 10 | 44 | 10 | 44 | 0,484 | 2,9083 |
| D 100 p 12 | 46 | 12 | 46 | 0,534 | 2,9283 |
| **D 100 p 14** | 48 | 14 | 48 | 0,584 | 2,9483 |
| **D 100 p 16** | 50 | 16 | 50 | 0,634 | 2,9683 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| D 100 p 10 | 1935 | 45,2 | 2499706 | 45642 | 55264 |
| D 100 p 12 | 2135 | 45,7 | 2670494 | 49161 | 58462 |
| **D 100 p 14** | 2335 | 46,1 | 2840574 | 52651 | 61686 |
| **D 100 p 16** | 2535 | 46,4 | 3010117 | 56118 | 64928 |

### Particolari delle testate delle travi




Nelle sigle che identificano le travi la lettera **p** indica le travi dotate di bulbo inferiore di spessore maggiorato. È possibile realizzare travi con spessore dell'anima avente valori diversi da quelli indicati nelle precedenti tabelle, fino al valore massimo di cm 24. **Le travi indicate in grassetto sono conformi alla circolare A.N.A.S. N. 43/84 del 18.6.84.**

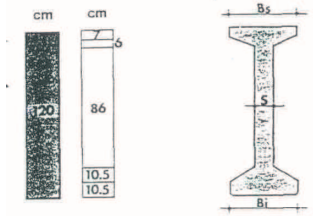
### Tabelle interasse-luce

Le tabelle seguenti sono state ricavate facendo riferimento ad un impalcato da ponte stradale di media larghezza prendendo in conto i carichi mobili previsti dal D.M. 2.8.1980 per i ponti di 1ª categoria.
Nelle tabelle sono riportate indicazioni di larga massima per l'utilizzo delle travi in condizioni usuali.

| TRAVE TIPO D 120 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | |
| 2 | 17 |
| 1,7 | 18,5 |
| 1,5 | 19,5 |

| TRAVE TIPO D 100 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | |
| 2 | 14,5 |
| 1,7 | 16 |
| 1,5 | 16,5 |

## SÉRIE DELTA D120

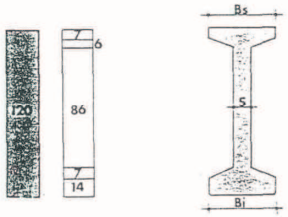



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| D 120 10 | 44 | 10 | 44 | 0,519 | 3,2702 |
| D 120 12 | 46 | 12 | 46 | 0,579 | 3,2902 |
| D 120 14 | 48 | 14 | 48 | 0,639 | 3,3102 |
| D 120 16 | 50 | 16 | 50 | 0,699 | 3,3302 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| D 120 10 | 2076 | 55,6 | 3878476 | 60236 | 69742 |
| D 120 12 | 2316 | 56,1 | 4170618 | 65234 | 74387 |
| D 120 14 | 2556 | 56,4 | 4461982 | 70197 | 79063 |
| D 120 16 | 2796 | 56,7 | 4752768 | 75133 | 83761 |

## SÉRIE DELTA D120p

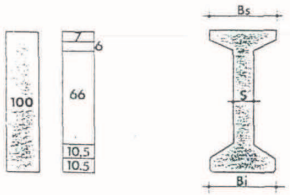
Bulbo inferiore pesante




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| D 120 p 10 | 44 | 10 | 44 | 0,534 | 3,3083 |
| D 120 p 12 | 46 | 12 | 46 | 0,594 | 3,3283 |
| D 120 p 14 | 48 | 14 | 48 | 0,654 | 3,3483 |
| D 120 p 16 | 50 | 16 | 50 | 0,714 | 3,3683 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| D 120 p 10 | 2135 | 54,5 | 3973376 | 60648 | 72927 |
| D 120 p 12 | 2375 | 55,0 | 4267941 | 65703 | 77540 |
| D 120 p 14 | 2615 | 55,5 | 4561299 | 70715 | 82190 |
| D 120 p 16 | 2855 | 55,9 | 4853757 | 75693 | 86867 |

## SÉRIE DELTA D100

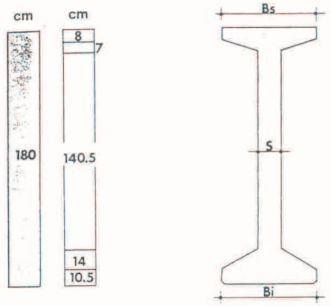



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| D 100 10 | 44 | 10 | 44 | 0,469 | 2,8702 |
| D 100 12 | 46 | 12 | 46 | 0,519 | 2,8902 |
| D 100 14 | 48 | 14 | 48 | 0,569 | 2,9102 |
| D 100 16 | 50 | 16 | 50 | 0,619 | 2,9302 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| D 100 10 | 1876 | 46,2 | 2443932 | 45415 | 52915 |
| D 100 12 | 2076 | 46,6 | 2613227 | 48894 | 56134 |
| D 100 14 | 2276 | 46,9 | 2782061 | 52350 | 59374 |
| D 100 16 | 2476 | 47,1 | 2950544 | 55787 | 62630 |

## SÉRIE GAMMA G180

1

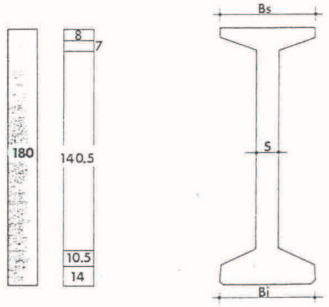



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| G 180 16 | 65 | 16 | 65 | 1,075 | 4,9040 |
| G 180 18 | 67 | 18 | 67 | 1,165 | 4,9240 |
| G 180 20 | 69 | 20 | 69 | 1,255 | 4,9440 |
| G 180 22 | 71 | 22 | 71 | 1,345 | 4,9640 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| G 180 16 | 4301 | 84,9 | 17279480 | 181715 | 203506 |
| G 180 18 | 4661 | 85,3 | 18260080 | 192825 | 214064 |
| G 180 20 | 5021 | 85,6 | 19239470 | 203892 | 224658 |
| G 180 22 | 5381 | 85,9 | 20217860 | 214925 | 235281 |

## SÉRIE GAMMA G180p

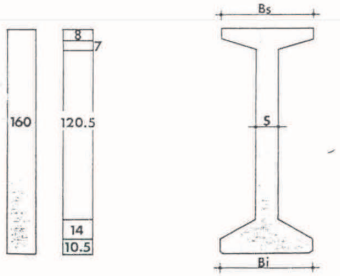
Bulbo inferiore pesante




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| G 180 p 16 | 65 | 16 | 65 | 1,097 | 4,9427 |
| G 180 p 18 | 67 | 18 | 67 | 1,187 | 4,9627 |
| G 180 p 20 | 69 | 20 | 69 | 1,277 | 4,9827 |
| G 180 p 22 | 71 | 22 | 71 | 1,367 | 5,0027 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| G 180 p 16 | 4387 | 83,6 | 17675610 | 183297 | 211511 |
| G 180 p 18 | 4747 | 84,1 | 18661370 | 194503 | 222011 |
| G 180 p 20 | 5107 | 84,5 | 19645190 | 205655 | 232556 |
| G 180 p 22 | 5467 | 84,8 | 20627460 | 216764 | 243136 |

## SÉRIE GAMMA G160

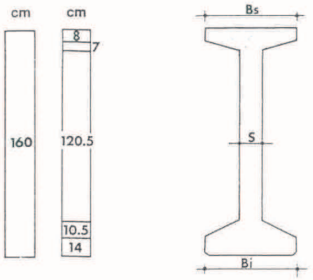



| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| G 160 14 | 63 | 14 | 63 | 0,915 | 4,4840 |
| G 160 16 | 65 | 16 | 65 | 0,995 | 4,5040 |
| G 160 18 | 67 | 18 | 67 | 1,075 | 4,5240 |
| G 160 20 | 69 | 20 | 69 | 1,155 | 4,5440 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| G 160 14 | 3661 | 74,8 | 12104640 | 142110 | 161779 |
| G 160 16 | 3981 | 75,2 | 12795200 | 150955 | 170063 |
| G 160 18 | 4301 | 75,6 | 13484580 | 159756 | 178385 |
| G 160 20 | 4621 | 75,9 | 14173030 | 168521 | 186739 |

## GAMMA G160p

②

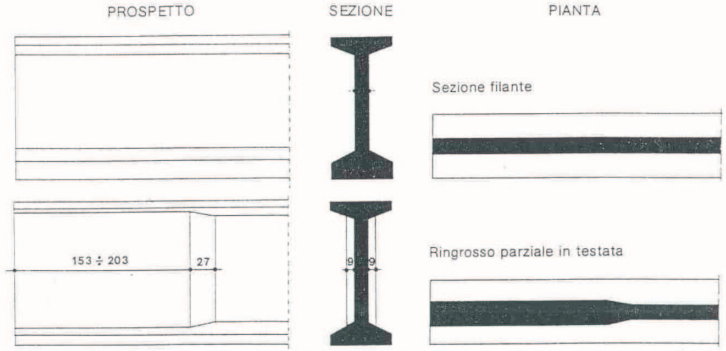



**Bulbo inferiore pesante**

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| G 160 p 14 | 63 | 14 | 63 | 0,937 | 4,5227 |
| G 160 p 16 | 65 | 16 | 65 | 1,017 | 4,5427 |
| G 160 p 18 | 67 | 18 | 67 | 1,097 | 4,5627 |
| G 160 p 20 | 69 | 20 | 69 | 1,177 | 4,5827 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| G 160 p 14 | 3747 | 73,5 | 12392030 | 143233 | 168637 |
| G 160 p 16 | 4067 | 74,0 | 13087220 | 152170 | 176864 |
| G 160 p 18 | 4387 | 74,4 | 13780580 | 161052 | 185138 |
| G 160 p 20 | 4707 | 74,8 | 14472480 | 169890 | 193450 |

**Particolari delle testate delle travi**




Nelle sigle che identificano le travi la lettera **p** indica le travi dotate di bulbo inferiore di spessore maggiorato. È possibile realizzare travi con spessore dell'anima avente valori diversi da quelli indicati nelle precedenti tabelle, fino al valore massimo di cm 24. **Le travi indicate in grassetto sono conformi alla circolare A.N.A.S. N. 43/84 del 18.6.84.**

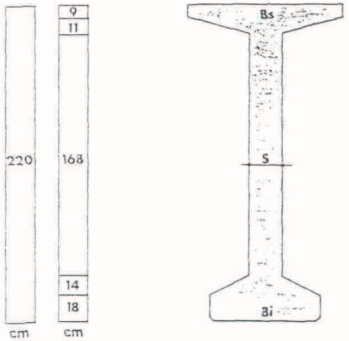
**Tabelle interasse-luce**

Le tabelle seguenti sono state ricavate facendo riferimento ad un impalcato da ponte stradale di media larghezza prendendo in conto i carichi mobili previsti dal D.M. 2.8.1980 per i ponti di 1ª categoria.
Nelle tabelle sono riportate indicazioni di larga massima per l'utilizzo delle travi in condizioni usuali.

| TRAVE TIPO G 180 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | 27 |
| 2 | 29,5 |
| 1,7 | 31 |
| 1,5 | 32,5 |

| TRAVE TIPO G 160 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | 24 |
| 2 | 26 |
| 1,7 | 27,5 |
| 1,5 | 29 |

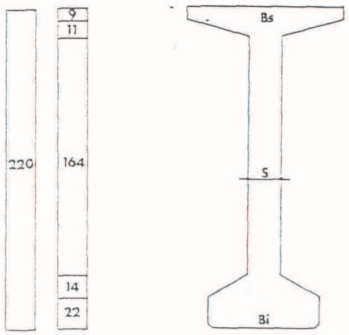
## ALFA A220n




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 220 n 18 | 72 | 18 | 102 | 1,632 | 6,0966 |
| A 220 n 20 | 74 | 20 | 104 | 1,742 | 6,1166 |
| A 220 n 22 | 76 | 22 | 106 | 1,852 | 6,1366 |
| A 220 n 24 | 78 | 24 | 108 | 1,962 | 6,1566 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 220 n 18 | 6528 | 109,0 | 41593960 | 374757 | 381559 |
| A 220 n 20 | 6968 | 109,1 | 43369030 | 390970 | 397614 |
| A 220 n 22 | 7408 | 109,1 | 45144040 | 407174 | 413679 |
| A 220 n 24 | 7848 | 109,2 | 46919020 | 423369 | 429751 |

## ALFA A220np

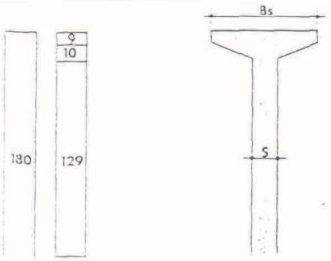



**Bulbo inferiore pesante**

| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 220 np 18 | 72 | 18 | 102 | 1,686 | 6,0966 |
| A 220 np 20 | 74 | 20 | 104 | 1,796 | 6,1166 |
| A 220 np 22 | 76 | 22 | 106 | 1,906 | 6,1366 |
| A 220 np 24 | 78 | 24 | 108 | 2,016 | 6,1566 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 220 np 18 | 6744 | 106,4 | 43004000 | 378503 | 404234 |
| A 220 np 20 | 7184 | 106,6 | 44784070 | 394941 | 420092 |
| A 220 np 22 | 7624 | 106,8 | 46563520 | 411344 | 435982 |
| A 220 np 24 | 8064 | 107,0 | 48342430 | 427718 | 451900 |

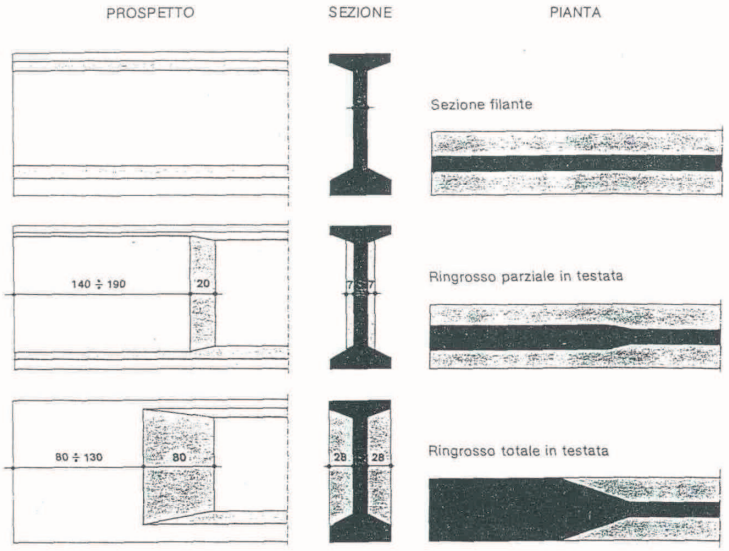
## ALFA A180n




| TRAVE | Bi | S | Bs | PESO t / m | CASSERO m² / m |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 n 16 | 70 | 16 | 70 | 1,247 | 5,0041 |
| A 180 n 18 | 72 | 18 | 72 | 1,337 | 5,0241 |
| A 180 n 20 | 74 | 20 | 74 | 1,427 | 5,0441 |
| A 180 n 22 | 76 | 22 | 76 | 1,517 | 5,0641 |

| TRAVE | AREA cm² | YG cm | J cm⁴ | Ws cm³ | Wi cm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| A 180 n 16 | 4986 | 81,6 | 20735550 | 210822 | 253974 |
| A 180 n 18 | 5346 | 82,2 | 21730990 | 222214 | 264345 |

## Particolari delle testate delle travi




Nelle sigle che identificano le travi la lettera **r** indica le travi con bulbo superiore ristretto; la lettera **n** indica le travi con bulbo superiore ed inferiore di pari larghezza; la lettera **l** indica le travi dotate di ala larga superiore (di larghezza variabile in maniera continua fino a cm 200). È possibile realizzare travi con spessore dell'anima avente valori diversi da quelli indicati nelle precedenti tabelle, fino al valore massimo di cm 24.
**Le travi indicate in grassetto sono conformi alla circolare A.N.A.S. n. 43/84 del 18.6.84.**

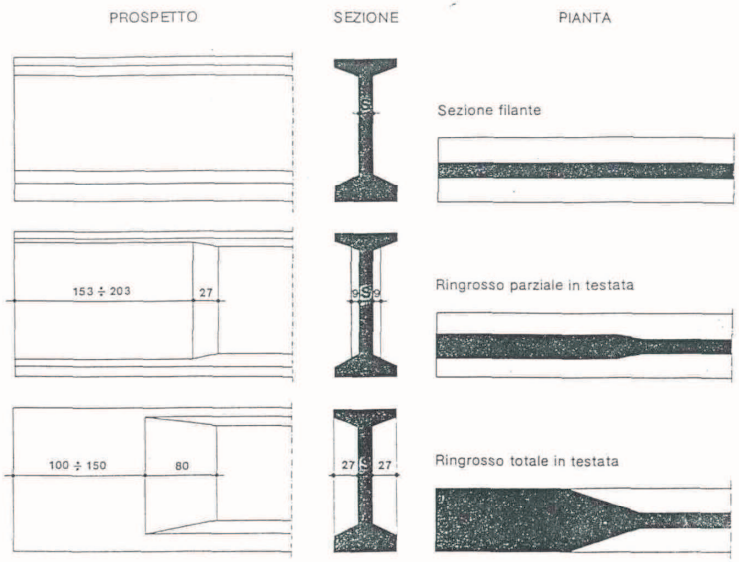
### Tabelle interasse-luce

Le tabelle seguenti sono state ricavate facendo riferimento ad un impalcato da ponte stradale di media larghezza prendendo in conto i carichi mobili previsti dal D.M. 2.8.1980 per i ponti di 1ª categoria.
Nelle tabelle sono riportate indicazioni di larga massima per l'utilizzo delle travi in condizioni usuali.

| TRAVE TIPO B 120 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | |
| 2 | 20,5 |
| 1,7 | 22 |
| 1,5 | 23 |

| TRAVE TIPO B 100 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | |
| 2 | 18 |
| 1,7 | 19 |
| 1,5 | 20 |

## Particolari delle testate delle travi




Nelle sigle che identificano le travi la lettera **r** indica le travi con bulbo superiore ristretto; la lettera **n** indica le travi con bulbo *superiore ed inferiore di pari larghezza* (ad eccezione della A 220); la lettera **l** indica le travi dotate di ala larga superiore (di larghezza variabile in maniera continua fino a cm 200).
La lettera **p** indica le travi dotate di bulbo inferiore di spessore maggiorato. È possibile realizzare travi con spessore dell'anima avente valori diversi da quelli indicati nelle precedenti tabelle, fino al valore massimo di cm 24.
**Le travi indicate in grassetto sono conformi alla circolare A.N.A.S. n. 43/84 del 18.6.84.**

### Tabelle interasse-luce

Le tabelle seguenti sono state ricavate facendo riferimento ad un impalcato da ponte stradale di media larghezza prendendo in conto i carichi mobili previsti dal D.M. 2.8.1980 per i ponti di 1ª categoria.
*Nelle tabelle sono riportate indicazioni di larga massima per l'utilizzo delle travi in condizioni usuali.*

| TRAVE TIPO A 220 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | 32,5 |
| 2,4 | 35,5 |
| 2 | 38 |
| 1,7 | 40,5 |
| 1,5 | |

| TRAVE TIPO A 180 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | 29,5 |
| 2 | 31,5 |
| 1,7 | 33 |
| 1,5 | 35 |

| TRAVE TIPO A 160 | |
|---|---|
| int. m | luce m |
| 3 | |
| 2,4 | 26,5 |
| 2 | 28,5 |
| 1,7 | 30 |
| 1,5 | 32 |