

## Insegnamenti della pratica in materia di cemento armato precompresso

Si compendia brevemente la circolare diramata dal Ministero dei Lavori Pubblici belga sulle opere in cemento armato precompresso. Se ne commentano i criteri ispiratori, specie nei riguardi della severità normativa.

Il numero e l'importanza delle opere in cemento armato precompresso realizzate è tale che questa tecnica di costruzione si può ormai considerare usuale: anche in Italia le applicazioni della precompressione hanno raggiunto un numero ragguardevole, richiamando sempre più l'interesse di progettisti, tecnici e costruttori.

Nel rapido progredire di questo procedimento costruttivo, sono naturalmente apparse di volta in volta difficoltà di vario genere, sia in campo tecnico che in campo applicativo. In tutti i Paesi, per raccogliere i frutti dell'esperienza acquisita, studiare i punti controversi e consigliare le soluzioni migliori sono stati costituiti enti o commissioni con il compito di verificare i progetti, controllare l'esecuzione delle opere, eseguire prove e collaudi.

In particolare in Belgio l'Ufficio di controllo per la sicurezza delle costruzioni ha raccolto un'abbondante materiale che ha costituito la base per una interessante circolare diramata dal Ministero dei Lavori Pubblici: crediamo utile riferire sui punti essenziali da questa messa in luce poiché i vari argomenti si riferiscono ad un Paese nel quale il cemento armato precompresso ha avuto uno sviluppo particolarmente rigoglioso.

Le considerazioni che seguono sono relative a quelle strutture in cemento armato precompresso per le quali lo stato di coazione è indotto mediante fili ancorati alle estremità delle travi, ad esclusione, cioè, di quelle strutture per le quali l'ancoraggio è ottenuto sfruttando l'aderenza dei fili nella massa di calcestruzzo.

I vari argomenti presi in esame si possono raggruppare come segue: Materiali, Dimensionamento delle strutture e operazioni di getto, Prescrizioni relative alla disposizione dei fili, dei cavi e alla loro messa in tensione.

### A. - Materiali e sollecitazioni massime.

A questo riguardo la circolare citata segnala le caratteristiche più interessanti dei materiali da impiegarsi e nel medesimo tempo impone dei limiti alle massime tensioni in essi ammissibili.

Per l'acciaio, che in genere viene impiegato in fili da 7 e 5 mm. di diametro, si hanno i dati seguenti:

- Carico di rottura 135-155 Kg/mm<sup>2</sup>.
- Limite elastico convenzionale superiore a 110 Kg/mm<sup>2</sup>.
- Allungamento minimo alla rottura misurato su 7,2 diametri: 8%.
- Numeri di piegamenti alternati senza

rottura, a 90° e su mandrino da 30 mm.: 8.

Fili da 5 mm.:

- Carico di rottura 140-160 Kg/mm<sup>2</sup>.
- Limite elastico convenzionale superiore a 120 Kg/mm<sup>2</sup>.
- Allungamento minimo alla rottura misurato su 7,2 diametri: 8%.
- Numero di piegamenti alternati senza rottura a 90° e su mandrino da 30 mm.: 8.

Questi tipi di acciaio sono praticamente i medesimi cui si ricorre ovunque, se si escludono alcuni sistemi di precompressione tedeschi.

Sui dati richiesti si può tuttavia rilevare che il limite minimo per l'allungamento sembra molto elevato per gli acciai trafilati: gli acciai di questo tipo comunemente impiegati in Italia presentano degli allungamenti alla rottura dell'ordine del 5%.

Secondo le disposizioni del Min. dei LL. PP. del Belgio, dopo la messa in tensione di tutti i cavi, la massima tensione ammissibile sarà di 95 Kg/mm<sup>2</sup> per i fili con limite elastico superiore a 120 Kg/mm<sup>2</sup>, e di 88 Kg/mm<sup>2</sup> per fili con limite elastico compreso fra 110 e 120 Kg/mm<sup>2</sup>. Non viene però precisato se questi valori siano quelli realizzati all'atto della precompressione o quelli a cui si giunge nel tempo per effetto delle cadute di tensione.

Da informazioni assunte direttamente presso gli organi responsabili belgi, risulterebbe che vengono ammessi per la tensione iniziale (in assenza di caduta) valori massimi che superano del 12% quelli indicati.

La circolare fa riferimento, per quanto riguarda la confezione dei calcestruzzi, ad altra norma regolamentare (525-1) dalla quale risulta che il carico ammissibile viene dedotto dalla resistenza riscontrata nelle prove di schiacciamento su provini cubici, con un coefficiente di sicurezza dell'ordine di 4. Si insiste poi sulla necessità di impiegare soltanto calcestruzzi accuratamente eseguiti. E questa una norma ormai generalmente ammessa e, in linea generale, si possono riassumere come segue le regole di confezione che la pratica ha ormai sancito:

- dosatura in cemento da 350 a 400 Kg., del tipo ad alta resistenza, per metro cubo di getto.
- Composizione granulometrica dell'inerte accuratamente studiata per confronto con curve teoriche (Faury, Bolomey, EMPA)
- minima quantità d'acqua (rapporto acqua/cemento 0,38 ÷ 0,40)
- messa in opera mediante vibrazione.

Si ottengono in tal modo calcestruzzi che a 28 giorni di stagionatura presentano un carico unitario di rottura su provini cubici superiore a 450 Kg/cm<sup>2</sup>.

La massima sollecitazione unitaria di compressione non dovrà superare, secondo le prescrizioni ministeriali belghe, il valore di 130 Kg/cm<sup>2</sup>. Si potranno raggiungere 150 Kg/cm<sup>2</sup> solo quando si possa giustificare questo valore con un controllo continuo, durante il corso della esecuzione, delle qualità del beton.

Le tensioni di trazione sono limitate, nel calcestruzzo, a 10 Kg/cm<sup>2</sup>. Nelle zone della struttura ove queste superano i 5 Kg/cm<sup>2</sup>, occorre predisporre una armatura in acciaio dolce in misura dell'1% della sezione di calcestruzzo tesa.

### B. - Considerazioni relative al dimensionamento delle opere e alle operazioni di getto.

La Circolare contiene un gran numero di prescrizioni di dettaglio a questo riguardo. Non crediamo andare errati affermando che è questo l'aspetto più originale di questo documento in quanto appare chiaro che le osservazioni scaturiscono direttamente dall'esperienza acquisita.

Per ottenere un getto di qualità, occorre aver dimensionato in modo appropriato le opere. Vengono a tale scopo disposte le norme che seguono.

Il minimo spessore degli elementi in calcestruzzo non contenenti cavi deve essere di 10 cm., sia nelle travi « a casone » che in quelle « a doppio T ». In queste l'anima presenta uno spessore tale che il ricoprimento delle guaine dei cavi sia almeno di 5 cm. Gli spigoli vivi sono soppressi nelle giunzioni fra l'anima e le sole: la suola superiore e l'anima sono collegate da un raccordo la cui estensione dipende dalle dimensioni relative degli elementi della trave; nel dimensionare i raccordi tra suola inferiore e anima, occorre tenere conto soprattutto dell'ingombro offerto dai cavi che vengono rialzati e della conseguente necessità di ottenere uno spazio sufficiente per il getto del calcestruzzo. La pendenza dei raccordi sarà dell'ordine di 1/15, 1/20 per la suola superiore, più forte per quella inferiore: in questo caso essa varierà da 1/4 a 1/2 a seconda della fluidità del, beton, della potenza dei mezzi impiegati per la vibrazione e della natura del cassero.

Le guaine contenenti i cavi saranno diligentemente collocate in opera e la loro posizione accuratamente controllata in modo da evitare spostamenti nel corso delle operazioni di getto.

Per evitare la comparsa di fessure occorre disporre in misura adeguata armature in acciaio dolce, verticali e orizzontali, nell'anima delle travi « a casone » e « a doppio T ». Nel caso che intervengano difficoltà nel calcolo, è sufficiente prevedere una armatura di piccolo diametro, equamente ripartita, in misura dello 0,5% della sezione da armare. Sono da adottarsi inoltre precauzioni ed accorgimenti di carattere costruttivo: soppressione degli spigoli vivi fra le varie parti della struttura, irrigidimenti, aperture sagomate a forma circolare e ridotte al minimo indispensabile.

È necessario poi procedere ad uno

studio approfondito dei blocchi di estremità: questo studio riguarderà la ripartizione delle tensioni nel calcestruzzo nella zona di appoggio delle piastre di ancoraggio, al fine di realizzare una distribuzione delle tensioni veramente graduale. Il blocco deve perciò essere armato per resistere in tutte le direzioni alle tensioni di trazione risultanti dagli sforzi di compressione localizzati dovuti all'ancoraggio dei cavi. Questi vengono in seguito iniettati e resi solidali al blocco di ancoraggio per una lunghezza tale che l'aderenza sia sufficiente a mantenere da sola lo sforzo di trazione.

Se le travi sono del tipo ad elementi prefabbricati una speciale attenzione deve essere posta nelle operazioni di getto: è indispensabile possedere casseri metallici molto rigidi, tali da permettere la costruzione di conci di dimensioni costanti.

Sono da scartarsi quegli elementi che presentino nidi di ghiaia o altri difetti gravi: le riparazioni e le riprese sono da ammettersi solo in casi eccezionali e dopo accurato esame delle lesioni.

Per non creare sovrappressioni eccessive nei giunti le facce estreme degli elementi devono essere parallele e regolari. La massima tolleranza nelle dimensioni, sia in altezza che in larghezza è di  $\pm 3$  mm. Nel caso di un elemento prefabbricato a forma di doppio T, la stessa tolleranza non può essere superata tanto nelle dimensioni di ciascuna suola e dell'anima, che nell'eccentricità dell'anima rispetto alle sole.

Oltre al rilievo delle dimensioni e delle tolleranze è opportuno procedere ad un montaggio provvisorio di una trave completa appena siano pronti gli elementi in numero sufficiente. Questo montaggio preventivo non richiede l'applicazione della precompressione: è bene eseguirlo il più presto possibile. Il suo scopo è di verificare la qualità e la forma dei conci e di rimediare eventualmente ad inconvenienti non previsti. Questa operazione permette inoltre di assicurarsi che non si verifichi nessuna deviazione angolare per effetto dell'avvicinamento degli elementi. Tale deviazione è assolutamente inammissibile: essa conduce a compressioni diseguali all'atto della messa in tensione dei cavi, compromette la precompressione, dona un aspetto poco conveniente alla struttura.

Speciali riguardi devono essere adottati per i giunti di malta. Si hanno giunti trasversali tra gli elementi prefabbricati di una stessa trave e giunti longitudinali tra travi da precomprimere trasversalmente. Essi sono colmati a mezzo di una malta secca resa compatta per costipamento. Questa operazione è delicata, la sua efficacia sovente, non è reale che al centro del giunto, non si esercita invece ai bordi dove il riempimento termina con una rigiunzione delle facce laterali. Bisogna mediante qualche accorgimento, come un allargamento locale allo spigolo dei giunti o un allontanamento provvisorio delle due facce degli elementi, far sì che la malta sia costipata su tutta la superficie di contatto.

La precompressione sarà attuata dopo:

- a) un lasso di tempo sufficiente dall'ultimo getto e, in special modo, dopo

aver preso conoscenza dei risultati delle prove sui cubetti regolamentari maturati in condizioni analoghe alle parti della struttura;

- b) avere esaminato accuratamente le travi o gli elementi e riscontrato l'omogeneità del getto e l'assenza di difetti;
- c) essersi assicurati che la malta dei giunti sia sufficientemente resistente.

Durante l'esecuzione e la manipolazione delle travi sono da prevedersi alcune misure precauzionali:

- 1) Le impalcature devono essere notevolmente rigide: nei casi di maggiore importanza esse saranno calcolate con precisione. Occorre inoltre evitare la interposizione, tra la suola inferiore delle travi e la parte superiore delle impalcature, di un accatastamento in legno troppo rilevante, e scartare sempre il legno non stagionato. La centina non dovrà impedire l'accorciamento della ossatura in calcestruzzo che si verifica all'atto della messa in tensione dei fili.

- 2) Le aree di getto (suolo o casseri) devono permettere una ripartizione uniforme dei carichi. Esse sono fissate tenendo conto della natura del suolo e della sua eterogeneità, ed eventualmente, vengono consolidate sotto le estremità al fine di impedire una rottura per flessione nella parte centrale delle travi: questo fatto si verifica, se a causa di cedimenti sotto i blocchi di ancoraggio, l'effetto del peso proprio non si somma all'azione della precompressione.

- 3) Nel trasporto di elementi precompressi è meglio ricorrere a funi abbracciate tutta la trave che ad attacchi metallici sporgenti dal getto. In ogni modo è sempre indispensabile rispettare le ipotesi di calcolo ed evitare ogni sollecitazione per la quale l'impiego delle travi non sia stato previsto.

### C. - Prescrizioni relative alla disposizione dei fili, dei cavi e alla loro messa in trazione.

Anche su questo punto la Circolare Belga elenca un gran numero di accorgimenti di cui si consiglia l'adozione.

— I fili saranno puliti e sgrassati. La loro manipolazione e la loro messa in opera si fanno evitando tutto ciò che può dare luogo a lesioni, come intagli e impronte accidentali, che costituiscono inviti alle rotture.

— I cavi verranno puliti e liberati da corpi estranei (legno, fili di ferro, spruzzi di malta) che potrebbero creare difficoltà nella messa in trazione e falsare la misura dello sforzo.

— Quando i cavi sono disposti in guaine bisogna sorvegliare l'andamento dei fili, questi non possono essere devianti lateralmente e sono previsti dispositivi di distanziamento per assicurarne una separazione efficace ed un allineamento regolare: lo scartamento tra questi distanziatori è al massimo di m. 3,50.

Se i fili sono devianti in certi punti, i dispositivi impiegati devono realizzare un raggio di curvatura superiore a 400 m.

— Il raggio di curvatura da prevedersi per i cambiamenti di direzione dei cavi posti nella massa di calcestruzzo non deve essere inferiore a 6 metri per cavi con fili da 5 mm. di diametro, e a 7 metri per cavi con fili da 7 mm. di

diametro: l'andamento di questi non presenterà punti angolosi ed i cavi verranno rialzati con la minima inclinazione possibile (inferiore a 30°).

— Deve essere controllato il perfetto centraggio delle piastre di appoggio delle travi e dei dispositivi di ancoraggio (ghiere, coni di ancoraggio, sandwich).

È indispensabile che la precompressione prevista dai calcoli sia realizzata effettivamente: è questa la condizione per ottenere un grado di sicurezza elevato nelle opere in precompresso. La messa in trazione è realizzata con una apparecchiatura dotata di un dispositivo che permetta di misurare con precisione lo sforzo realmente applicato. Essa deve effettuarsi misurando simultaneamente lo sforzo applicato e gli allungamenti rilevati.

Il dispositivo di misura deve essere tarato con precisione: questa delicata operazione sarà eseguita in un Laboratorio dotato delle attrezzature necessarie.

Particolare rilievo vien dato al fatto che per la determinazione dello sforzo di precompressione si prende in considerazione solamente la misura dello sforzo applicato.

La misura dell'allungamento è tuttavia indispensabile dato che essa solamente permette di assicurarsi che nessun filo sia bloccato per aderenze o per attrito.

Per uno stesso sforzo, l'allungamento può variare da filo a filo, anche se non si verificano impedimenti. Il suo valore è in effetti influenzato dai movimenti iniziali che il filo può avere prima della sua messa in trazione e per il fatto che il modulo di elasticità dell'acciaio non è costante da un filo all'altro.

Le misure del modulo di elasticità eseguite su fili per precompresso da 5 e 7 mm. di diametro mostrano che lo scarto degli allungamenti dovuto alla variabilità di E, rispetto al valore medio, è dell'ordine di  $\pm 10\%$ .

È consigliabile, all'atto della accettazione del materiale, di determinare il modulo E su parecchi campioni prelevati dalla fornitura destinata a tutta l'opera al fine di meglio conoscere le possibili variazioni del valore di E e i suoi scarti massimi.

L'adozione delle precauzioni sopra menzionate (apparecchi di distanziamento dei fili posti in posizioni e a distanze opportune) permette di ridurre al minimo il movimento iniziale del filo: d'altra parte si nota che questo movimento è pressoché nullo per fili di cavi collocati in guaine. È possibile, in definitiva, accertare la presenza di un filo bloccato o aderente.

Si noti che l'operazione di messa in tensione è relativamente semplice: è però indispensabile segnare tutti i dati ad essa inerenti su un registro di cantiere. Questa documentazione riporterà per ciascun filo lo sforzo raggiunto, gli allungamenti misurati e la indicazione degli incidenti sopravvenuti (rotture o aderenze, slittamento alle chiavette o ai coni di ancoraggio, ecc).

In sede di progetto deve essere studiato il programma di messa in tensione: esso deve venire stabilito in modo da evitare, nel corso delle operazioni, ogni sollecitazione anormale e dissimmetrica dell'opera.

L'aderenza accidentale dei fili prima della loro messa in trazione è meno frequente da quando le guaine metalliche sono sostituite dai mandrini in acciaio o in gomma (1). Ciò nonostante la pratica testimonia che tuttora si hanno aderenze o attrito nei fili e questo fatto solleva dei dubbi circa la messa in tensione del filo su tutta la lunghezza. Non si può tollerare la presenza di fili aderenti se il numero dei fili in un cavo è uguale o inferiore a 16, a meno di avere previsto per questi cavi uno o due fili supplementari al fine di poter ovviare ad eventuali inconvenienti. Se il numero dei fili in un cavo è superiore a 16, la presenza di fili aderenti è tollerata solamente alla condizione che la sovratensione media dei fili messi in trazione dopo la constatazione della presenza del filo aderente non sorpassi di 5 Kg/cmq. il tasso indicato precedentemente. Questa condizione sarà realizzata raramente, specialmente quando l'incidente si produce allorché si tende uno degli ultimi fili.

È bene perciò prevedere per ciascuna trave a doppio T e a cassone un certo numero di fili o di cavi di riserva, situati in posizione opportuna e destinati a compensare le perdite di precompressione accidentali.

Le medesime precauzioni possono annullare gli inconvenienti derivanti dalla rottura di fili durante la messa in tensione.

In numerose opere di importanza rilevante eseguite in Belgio il numero totale dei fili di riserva ha raggiunto il 3-5% del numero dei fili previsti dal calcolo. È bene rilevare che con accorgimenti elementari si possono recuperare i fili o i cavi di riserva che non fossero stati utilizzati.

Per evitare corrosioni o deterioramento dei fili è indispensabile assicurare la impermeabilità dell'impalcato dei ponti in calcestruzzo precompresso.

Inoltre è opportuno adottare i seguenti accorgimenti:

*a) Cavi disposti entro guaine.*

Prima del loro collocamento entro le guaine i fili saranno liberati dalla ruggine non aderente; si provvederà poi ad una energica pulizia delle guaine mediante aria compressa o acqua in pressione.

La malta per l'iniezione non dovrà essere troppo fluida: buoni risultati si sono ottenuti con malte composte di 2/3 di cemento e 1/3 di sabbia.

Tutte le precauzioni possibili verranno adottate al fine di impedire l'imprigionamento di aria o di acqua nelle guaine iniettate: utile indicazione si ha nel riferire il volume delle materie iniettate al volume della cavità da riempire.

*b) Cavi disposti all'esterno degli elementi in calcestruzzo.*

Anche in questo caso, prima del loro rivestimento i fili saranno diligentemente puliti, se necessario a mezzo di aria compressa o di acqua sotto pressione, e liberati dalla ruggine non aderente. I cavi

verranno rivestiti a mezzo di un calcestruzzo compatto, ad elementi fini, ma il cui dosaggio in cemento non deve essere esagerato per ridurre il valore del ritiro. Lo spessore del rivestimento, misurato a partire dalla generatrice esterna dei fili, sarà al minimo di 35 mm.

Nel caso in cui i cavi non siano a contatto con una delle faccie di calcestruzzo della struttura, non potrà sussistere alcun intervallo vuoto inferiore a 5 cm. tra questa superficie e la faccia esterna, vicina, del rivestimento: se questa distanza fosse perciò inferiore a 5 cm. il calcestruzzo di rivestimento dovrà raggiungere la superficie di calcestruzzo della struttura.

Qualora il rivestimento non sia a contatto con il calcestruzzo delle travi, saranno collocati a distanza mai superiore a metri 5 dei supporti in beton al fine di evitare una sollecitazione esagerata nel calcestruzzo di rivestimento.

Quando i fili non sono disposti in guaine i cavi che li costituiscono devono, dopo precompressione, essere resi solidali alla struttura più presto possibile e in modo efficace per far loro seguire le deformazioni di questa.

Se i cavi sono situati all'esterno delle travi si deve tener conto dell'atto della determinazione della tensione di precompressione delle differenze eventuali di temperatura che potrebbero esistere tra

calcestruzzo e i fili, essendo questi ultimi scarsamente protetti.

\*\*\*

L'insieme delle norme sopra riportate può forse sembrare, ad una prima lettura, assai severo. D'altra parte una tale minuzia nel mettere in guardia i costruttori potrebbe far credere ad una diffidenza degli Enti Pubblici Belgi nei riguardi del cemento armato precompresso.

In realtà queste impressioni sono certamente errate. Nel giudicare il tono della Circolare Belga bisogna infatti tener presente che essa è stata redatta nel momento in cui il precompresso, uscito dalla fase sperimentale, stava assumendo l'aspetto di una tecnica di normale impiego. È naturale che in questa fase di transizione le autorità responsabili si siano credute in dovere di porre i costruttori, non tutti necessariamente pratici del nuovo procedimento costruttivo, in guardia contro i pericoli cui essi sarebbero andati incontro misconoscendo alcune regole fondamentali. Più che un atto di diffidenza, tale iniziativa va quindi considerata come un giusto richiamo alla coscienza professionale la quale deve necessariamente essere tanto più attenta quanto più perfezionati sono i mezzi tecnici ai quali si fa appello.

**Chiaffredo Bellero**

## REGOLAMENTAZIONE TECNICA

### Guida nelle pratiche presso gli Uffici Municipali torinesi per opere edilizie

*Si elencano i documenti occorrenti e le pratiche da esperire per ottenere il permesso, per eseguire i lavori e per richiedere il collaudo d'opere edilizie nella Città di Torino.*

Prima di iniziare qualsiasi opera nel territorio del Comune di Torino, interessante il suolo sia pubblico che privato o manufatti esistenti (escluse le manutenzioni, riparazioni, decorazioni, nell'interno dei locali), chi intende eseguirla deve munirsi di un apposito permesso del Sindaco, richiedendolo nelle forme in appresso indicate.

Per le opere ordinate dall'Autorità giudiziaria è però sufficiente la semplice denuncia al Sindaco prima dell'inizio dei lavori.

Le opere eseguite senza permesso sono considerate abusive ed al responsabile saranno comminate le penalità previste dal vigente Regolamento Edilizio, e potrà essere ingiunta la demolizione dell'opera, senza pregiudizio dei maggiori provvedimenti cui debba soggiacere in forza degli artt. 106 del Testo Unico 3-3-1934, n. 383, della Legge Comunale e Provinciale e 32 e 41 della legge Urbanistica 17-8-1942, n. 1150.

Il permesso non esonera dall'obbligo di attenersi alle leggi e regolamenti in vigore e di rispettare i diritti dei terzi, e pertanto potrà essere revocato dal Sindaco in caso di infrazioni.

La validità del permesso è indicata nello stesso; entro tale periodo i lavori

dovranno essere ultimati; in caso contrario saranno considerate opere abusive quelle eseguite dopo la sua scadenza salvo che ne sia stato ottenuto il rinnovo a tempestiva richiesta dell'interessato.

CAPO I.

*Documenti per la richiesta di permesso edilizio*

da presentarsi all'Ufficio accettazione presso la Divisione VIII Edilità, via Bellezia 4 piano 3°; dalle ore 9 alle 12 dei giorni feriali.

- A) *Domanda* in carta da bollo da L. 24 (L. 32 se vi si assume un impegno).
- B) *Progetto* (non occorre per i normali restauri e tinteggi di facciate).
- C) *Fotografie* (non occorrono per opere non visibili da vie o spazi pubblici, da vie o passaggi privati).
- D) *Modulo per le costruzioni* di nuovi edifici, sopraelevazioni, ampliamenti, compresi i bassi fabbricati e le tettoie di notevole importanza; oppure *stampato Mod. 15* per le opere minori per le quali occorre l'assistenza di un tecnico e la vigilanza di un capomastro abilitato; (per le altre opere non occorre modulo).

(1) Con i mandrini in gomma, quasi ignorati in Italia, si realizzano le sedi per i cavi con lunghezze fino a 30 m.