

## PREFAZIONE

I progettisti e gli ingegneri strutturali, sia quelli dei cantieri che quelli delle direzioni lavori, sono perfettamente al corrente di quanto sia importante l'installazione della post-tensione per una sicura riuscita dell'opera e per la sua sicurezza e durabilità.

Le ETAG 013, emanate dall'EOTA nel 2002, hanno messo ordine all'anarchia dei sistemi di post-tensione e stabilito criteri unitari europei per la qualificazione della componentistica di sistemi di post-tensione (post-tensioning kits).

Il benessere tecnico Europeo (Technical Agreement) aveva però lasciato ai singoli Paesi della Comunità Europea la responsabilità di definire le norme per l'installazione.

L'evidenza che un sistema tecnologicamente complesso avesse bisogno di regole e norme per la sua messa in opera era così palese che in pochi anni gli organi normativi dei Paesi Europei provvidero a emanare una normativa adeguata anche riferita all'installazione. Nel 2005/2006 sono state emanate le norme relative in Francia e Germania.

L'aicap ha deciso di mettere in esecuzione un Gruppo di Lavoro per supplire a questa mancanza e me ne ha affidato il coordinamento. La decisione è stata quella di far uscire Raccomandazioni complete sulla post-tensione, allo scopo di dare agli Ingegneri che si occupano di calcestruzzo strutturale, alle Imprese e agli Enti appaltanti una panoramica più completa possibile della tecnologia.

Il documento completo, oltre alla prima parte relativa alle regole di installazione e alla qualificazione delle società specialistiche, che è quella già completata e licenziata dal Gruppo di Lavoro nel 2015, ha ora una seconda parte che riguarda le buone regole per l'esecuzione delle varie operazioni relative all'applicazione in opera del sistema, come, per esempio, le caratteristiche, i controlli e la taratura delle attrezzature e anche i dettagli costruttivi e le armature necessarie per sopportare adeguatamente le forze indotte dalla post-tensione nella struttura.

Un altro obiettivo del Gruppo di Lavoro è affrontare tutti i campi di applicazione della tecnologia, come la post-tensione esterna, la post-tensione dielettrica, la post-tensione continua e di definire in tutte queste varianti le buone regole di applicazione.

Settembre 2016

Il Coordinatore del Gruppo  
Cesare Prevedini

## INDICE

DEFINIZIONI .....	8
-------------------	---

### Parte Prima

#### INSTALLAZIONE DEI COMPONENTI DI SISTEMI DI POST-TENSIONE QUALIFICA DELLE ORGANIZZAZIONI SPECIALISTICHE E DEL LORO PERSONALE

1. INTRODUZIONE .....	10
2. SCOPO .....	10
3. RIFERIMENTI NORMATIVI .....	11
4. QUALIFICAZIONE DELLE ORGANIZZAZIONI SPECIALISTICHE DI POST-TENSIONE	
4.1 Requisiti relativi alle OSP .....	11
4.2 Argomenti soggetti a consulenza tecnica e pratica .....	14
4.3 Esperienza, conoscenza, istruzione e qualificazione del personale .....	15
4.4 Personale tecnico .....	15
4.5 Certificazione delle OSP .....	15
5. INSTALLAZIONE DEI SISTEMI PER LA POST-TENSIONE DELLE STRUTTURE	
5.1 Generalità .....	16
5.2 Imballo, trasporto, stoccaggio e manipolazione .....	16
5.3 Attrezzature di messa in tensione .....	16
5.4 Installazione, tesatura ed iniezione dei cavi .....	17
5.5 Applicazioni particolari .....	20

### Parte Seconda

#### REGOLE OPERATIVE DI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE

1. INTRODUZIONE .....	23
2. LA DURABILITA' DEI CAVI DI POST-TENSIONE .....	23
3. TIPOLOGIE DI POST-TENSIONE	
3.1 Post-tensione interna aderente .....	25
3.2 Post-tensione interna scorrevole (non aderente) .....	29
3.3 Post-tensione esterna a cavi sostituibili .....	30
3.4 Post-tensione esterna aderente .....	32
3.5 Post-tensione esterna ancorata su elementi metallici .....	32
3.6 Sistemi di deviazione per cavi di post-tensione esterna .....	33
3.7 Altri sistemi di post-tensione esterna .....	33
4. PROGETTAZIONE	
4.1 Premessa .....	33
4.2 Post-tensione interna .....	34
4.3 Post-tensione esterna .....	42
5. MESSA IN OPERA	
5.1 Posa degli ancoraggi .....	44
5.2 Posa delle guaine .....	45
5.3 Infilaggio dei trefoli .....	46
5.4 Messa in tensione .....	47
5.5 Iniezione dei cavi .....	49
ALLEGATO A Esempio di programma di istruzione teorica e pratica .....	57
ALLEGATO B Contenuto minimo del piano di qualità di cantiere .....	61
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	63

- Armatura di confinamento (spirale e staffe), col compito di aumentare la resistenza a compressione del calcestruzzo nelle zone circostanti l'ancoraggio, parte integrante dello stesso;
- Dado che consente l'afferraggio della barra e l'applicazione della forza di trazione;
- Cappuccio di protezione, che ricopre interamente il dado e il tratto d'estremità della barra;
- Guaina, che realizza il condotto, all'interno della quale la barra è alloggiata.

Per consentire l'accoppiamento di barre è possibile ricorrere all'uso di accoppiatori mobili del tipo rappresentato in figura 7.

Per consentire invece l'accoppiamento di barre posate in fasi successive è possibile ricorrere anche all'uso di accoppiatori fissi del tipo rappresentato in figura 8.

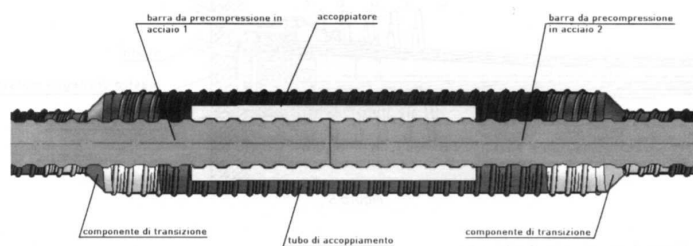


Figura 7

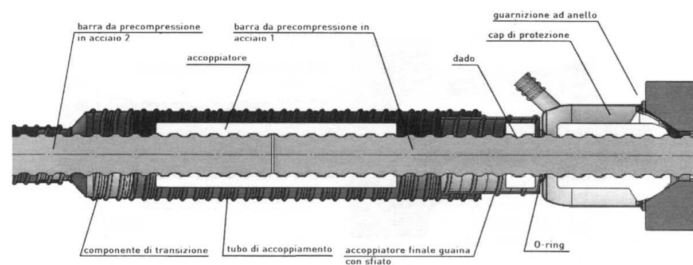


Figura 8

Un esempio di ancoraggio passivo (dal quale non si attua la tesatura e non è accessibile dopo il getto di calcestruzzo) è riportato in figura 9.

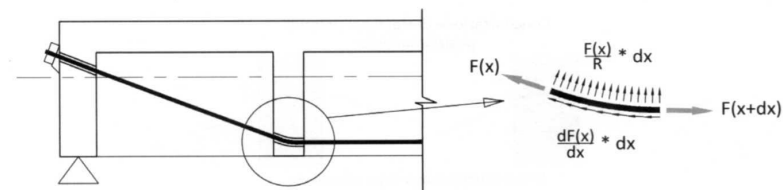
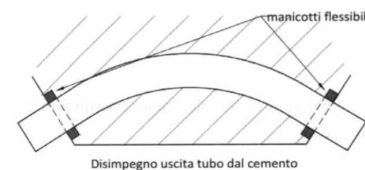


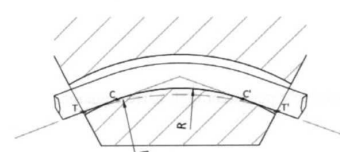
Figura 29

La deviazione angolare tra due tratti consecutivi deve avvenire con un raggio di curvatura adeguato.

A titolo indicativo il raggio minimo deve essere di m 2,0 per cavi da 3 trefoli, valore crescente con il numero di trefoli fino ad arrivare a 4,0 m nel caso di 37 trefoli. I raggi vengono indicati nei rispettivi ETA.



Disimpegno uscita tubo dal cemento



Sovra-curvatura del tubo  
(T, T' punti di tangenza teorica; il  
contatto del cavo avviene sulla  
linea CC')

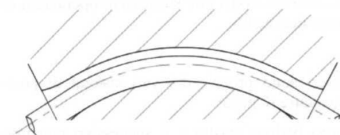


Figura 30

I deviatori sono generalmente costituiti da tubi di acciaio inglobati nel getto di calcestruzzo, conformati in modo da evitare che si formino punti angolosi dovuti ad imperfezioni di montaggio. A questo fine le norme francesi "Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint" Fasc. 65-A richiedono le due condizioni seguenti:

- assicurare il libero passaggio di un tubo ideale di diametro maggiore di almeno 10 mm del diametro esterno della guaina;
- consentire una imperfezione angolare in una qualsiasi direzione, sia in entrata che in uscita, pari almeno a 5/100 di radiante.

Ciò può ottenersi con diversi accorgimenti (figura 30).

I deviatori possono bloccare il cavo oppure consentirne lo scorrimento.

La solidarizzazione tra cavo e calcestruzzo è più favorevole per quanto riguarda il comportamento a rottura ma più complicata da realizzarsi, specie se, come avviene sempre più spesso, si usano trefoli singolarmente viplati e ingrassati.

E' importante valutare attentamente le perdite per attrito, considerando anche un incremento della deviazione angolare dovuto a imperfezioni di montaggio (figura 31).

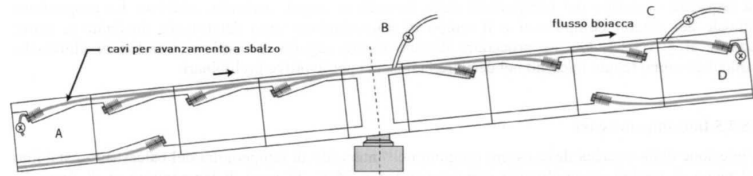


Figura 36

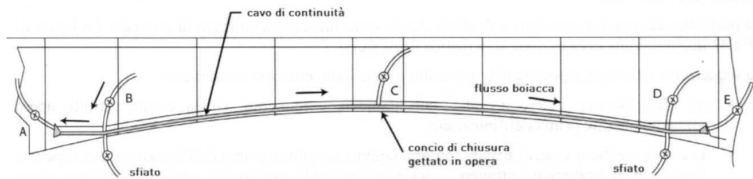


Figura 37

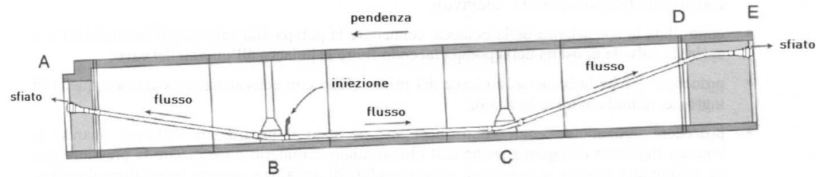


Figura 38

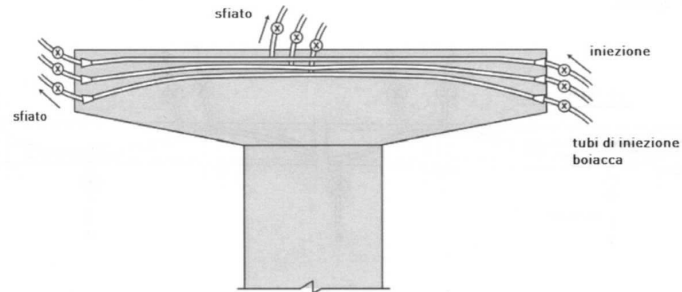


Figura 39

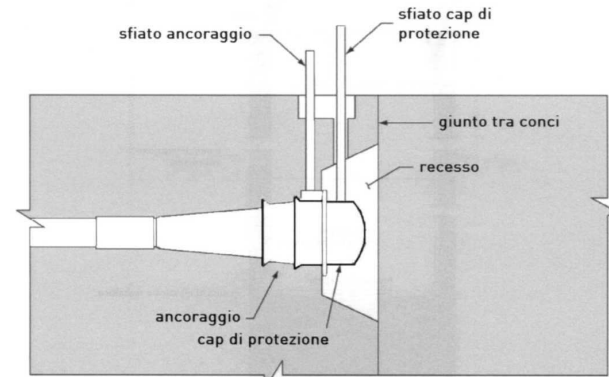


Figura 42

### 5.5.3 Iniezione sottovuoto

Se opportunamente prevista, l'iniezione sottovuoto (*vacuum assisted grouting*) migliora la qualità dell'iniezione.

Durante l'iniezione la guaina del cavo è sottoposta a un vuoto parziale, espellendo per il 75-90% l'aria contenuta. Il vuoto parziale realizzato riduce il rischio che l'aria si mescoli con la boiaccia o che si formino sacche d'aria nei punti alti del condotto.

Per una corretta creazione del vuoto è necessario curare la sigillatura dei raccordi di guaina, tubi, valvole e ancoraggi.

L'attrezzatura aggiuntiva necessaria si compone di una pompa creatrice del vuoto, con serbatoio a tenuta di pressione oltre a particolari tubi e valvole.

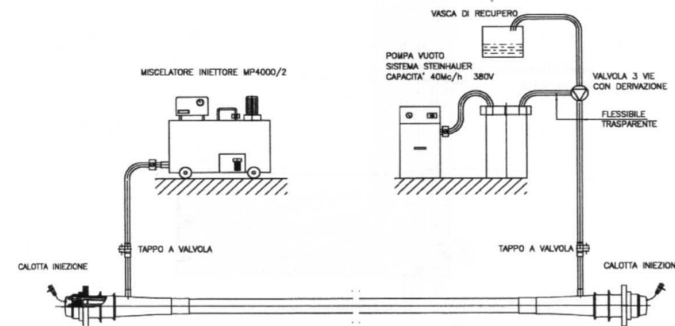


Figura 43