



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma

Seminario del 26 ottobre 2015

**Controllo e manutenzione delle opere
d'arte stradali e ferroviarie**

**MANUTENZIONE STRAORDINARIA
SU TRAVI IN C.A.P.**

Ing. Achille Devitofranceschi

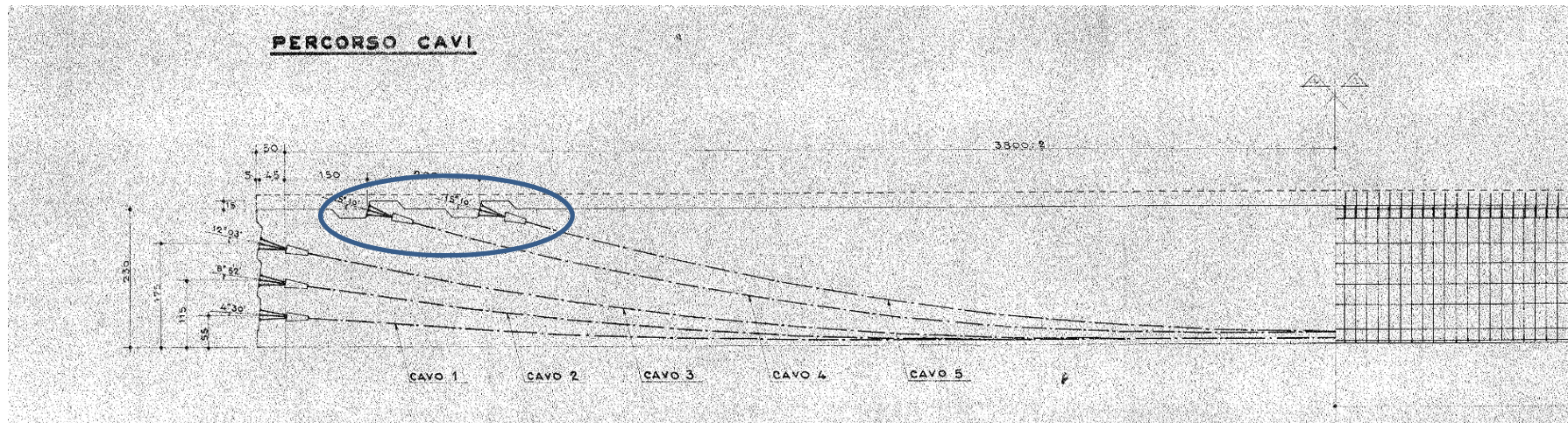
ANAS S.p.A.



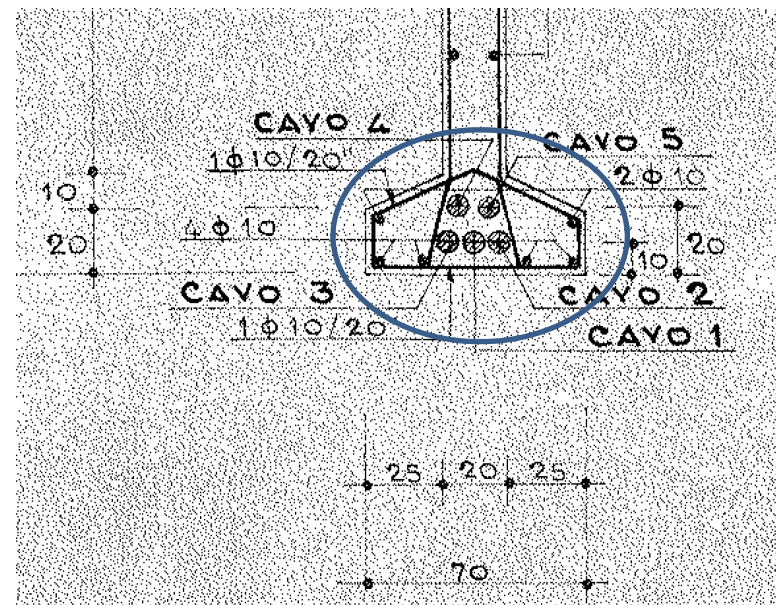
Il caso: il crollo di una campata del viadotto Petrulla in Sicilia (luglio 2014)



Prima fase: recupero degli elaborati di archivio.



n.b. alcuni ancoraggi sono in soletta

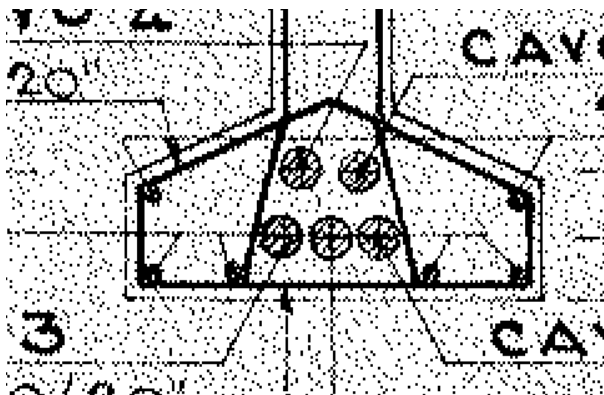
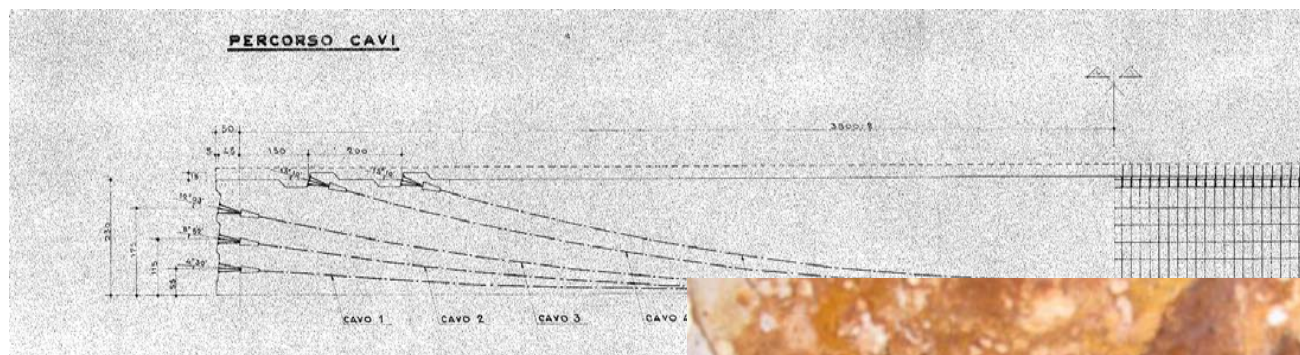


n.b. cavi in mezzeria addensati sotto l'anima

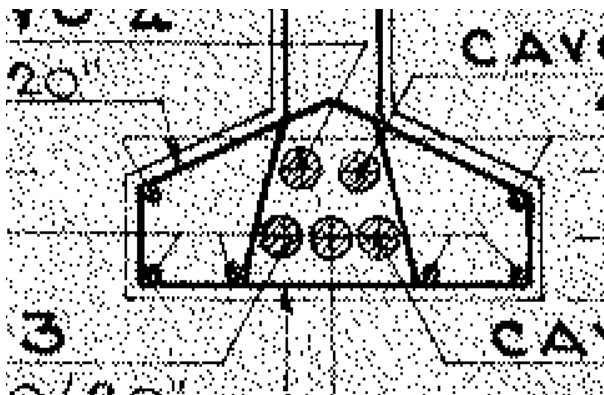
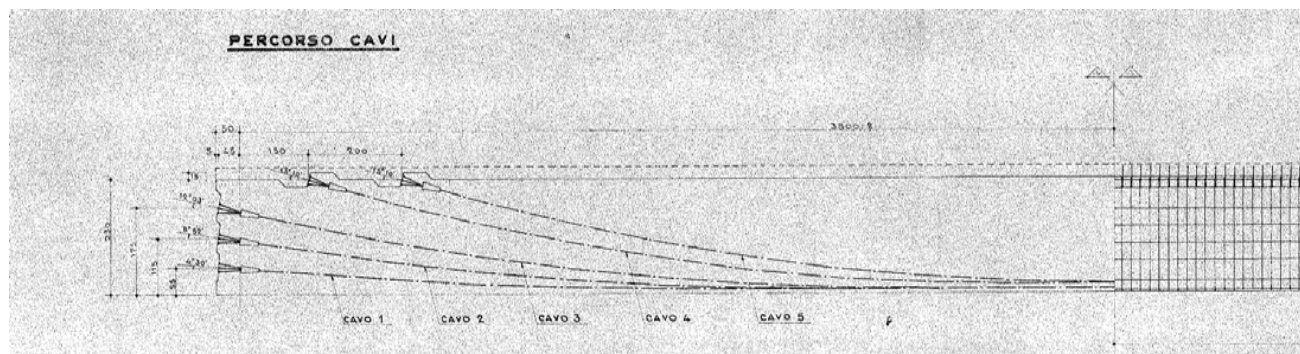
Seconda fase: indagini soprattutto di tipo distruttivo



La prima PRINCIPALE patologia: guaine ben iniettate, ma con distanza mutua e dal fondo insufficiente per il corretto passaggio del cls; mancata aderenza cavo-cls



La seconda PRINCIPALE patologia: guaine non iniettate; passaggio di acqua dalle testate ubicate in soletta; perdita di sezione dei trefoli + mancata aderenza cavo-cls.



La cura:

- ***I difetti riscontrabili nelle indagini sono stati riuniti in 4 Classi di Difettosità TIPOLOGICHE: Cd1; Cd2; Cd3 e Cd4.***
- ***Per ogni Classe di Difettosità è stato previsto un intervento progettuale TIPOLOGICO.***

In altre parole si è cercato di INDUSTRIALIZZARE una procedura da estendere in tempi brevi e con risultati certi sull'intera rete ANAS.

Classe di Difettosità 1 – Intervento tipologico 1

Ammaloramenti che non riducono attualmente le prestazioni statiche dell'impalcato, ma si ritiene necessario intervenire per evitare che il degrado superficiale del calcestruzzo progredisca.

Gli interventi proposti, applicati sistematicamente a tutte le travi e trasversi di tutti gli impalcati, sono quelli tradizionali che prevedono la pulitura delle superfici delle travi, il ripristino delle porzioni di calcestruzzo ammalorate e delle eventuali armature lente scoperte, per poi procedere all'applicazioni di protettivi superficiali finalizzati ad impermeabilizzare il cls.



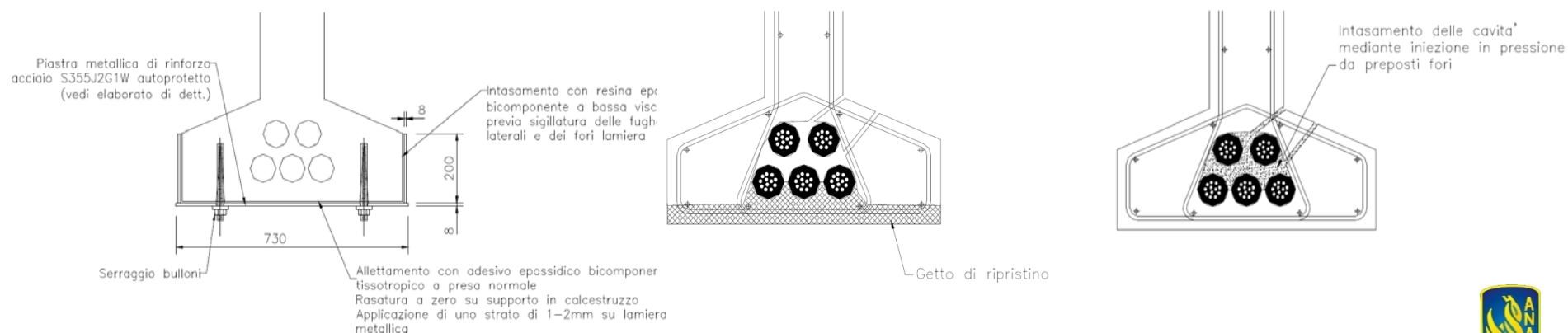
Classe di Difettosità 2 – Intervento tipologico 2

In questo caso i cavi non sono aderenti al calcestruzzo a causa di imperfezioni nel getto dello stesso, ma le quaine sono internamente ben iniettate. Ne consegue che non sono più soddisfatte le verifiche a rottura per flessione, pur rimanendo le tensioni di esercizio coerenti con quelle ipotizzate nel progetto originale.

Per ripristinare il coefficiente di sicurezza a rottura richiesto dalle norme si aggiungono rinforzi passivi, ovvero piastre metalliche esterne al bulbo inferiore delle travi e ad esso rese solidali mediante connettori metallici opportunamente inghisati nel calcestruzzo.

Per garantire la perfetta aderenza tra piastre e calcestruzzo questo verrà preventivamente scarificato per essere poi ricostituito con idonee malte. In tal modo si andrà a ricostruire la porzione inferiore del martello riempiendo in parte anche le cavità rilevate intorno ai cavi di precompressione per poi iniettarle con resine a bassissima viscosità.

In uno con questi interventi, si effettueranno i trattamenti superficiali indicati per la CdD1.



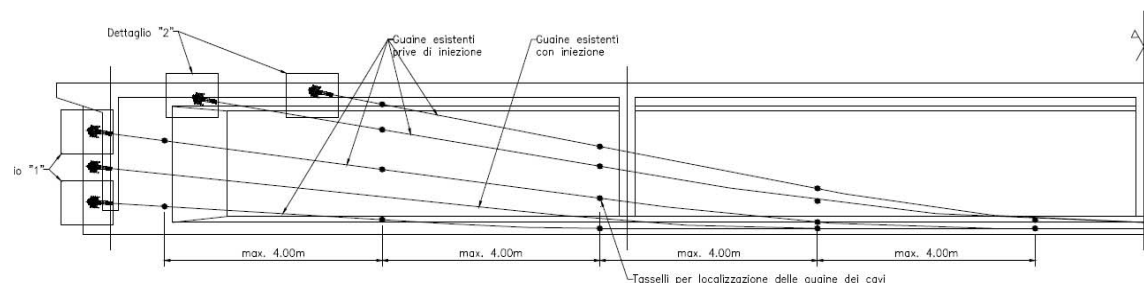
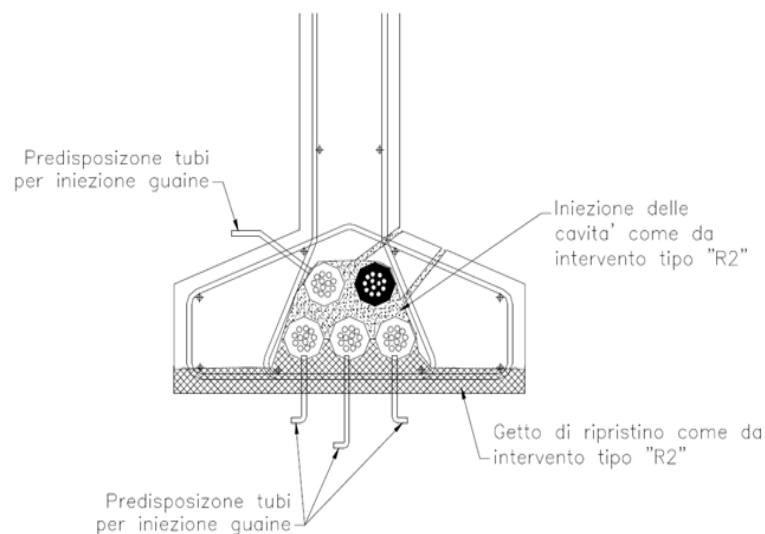
Classe di Difettosità 3 – Intervento tipologico 3

Dal punto di vista statico questo caso è simile al precedente, ma l'individuazione di guaine NON iniettate (con trefoli sostanzialmente intatti) implica anche il ripristino della iniezione delle guaine dei cavi di precompressione.

Ciò verrà fatto mediante iniezione con metodi tradizionali (non sottovuoto) di resine a bassissima viscosità attraverso tubicini da installare:

- in parte utilizzando l'accesso ai cavi fornito dalle cavità esistenti ubicate sotto il martello della trave;*
- per la restante parte del cavo mediante preposte tassellature da praticare sulla trave e nelle testate di ancoraggio così come indicato nella seguente figura.*

In uno con questi interventi, si effettueranno i trattamenti indicati per la CdD1 e la CdD2.



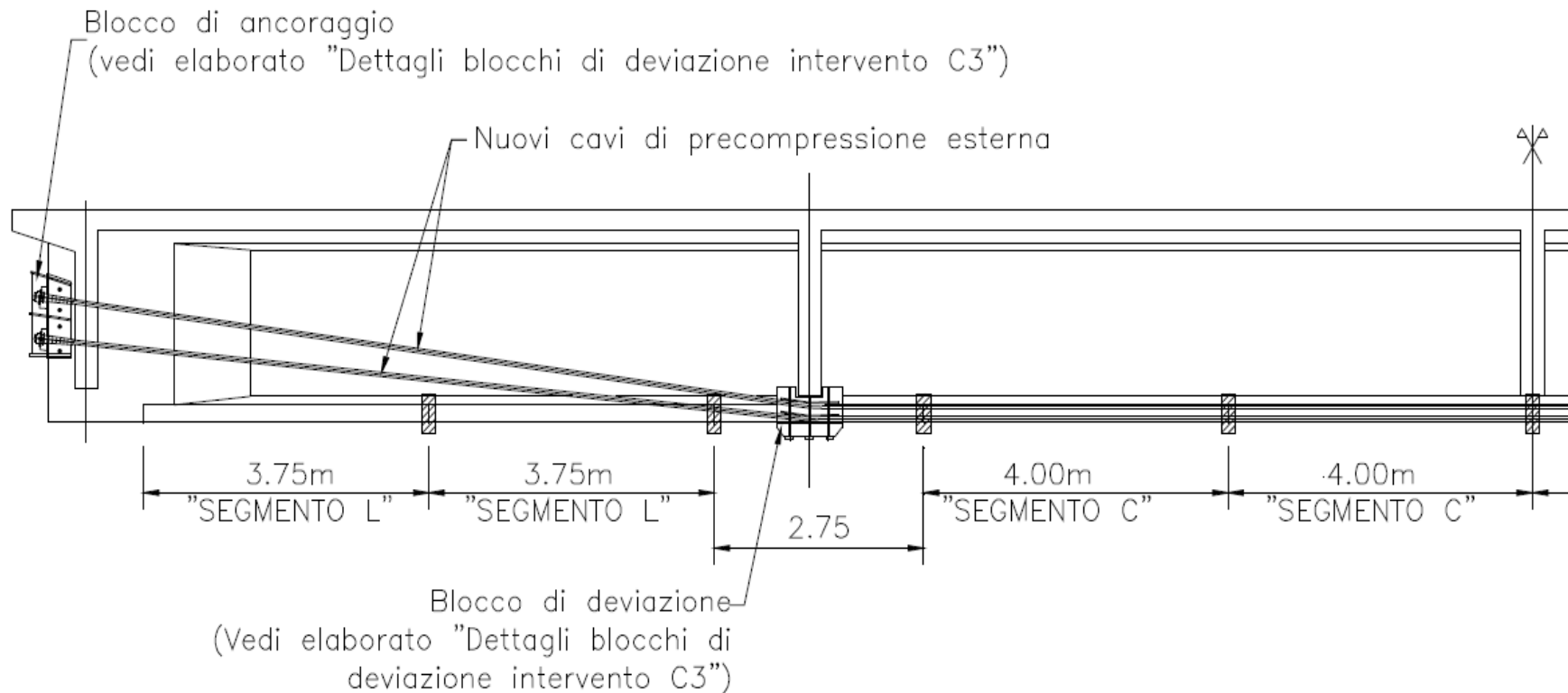
Iniezione delle guaine dei cavi di precompressione

Classe di Difettosità 4 – Intervento tipologico 4

Guaine non aderenti e non iniettate (meccanismo resistente scadente) + trefoli corrosi (perdita di sezione)

Vengono aggiunti cavi di precompressione esterna per ripristinare coefficienti di sicurezza compatibili con le norme vigenti.

Poiché sia i nuovi e sia i vecchi cavi sono non aderenti, anche in questo caso sarà necessario aggiungere lamiere di acciaio inghisate al bulbo inferiore delle travi su cui si interviene e prevedere gli interventi descritti per le CdD già viste.



*Alcune questioni «di dettaglio» sulla riparazione strutturale delle travi in
c.a.p.*

Vediamo gli aspetti semplici:

- Ricostruzione delle carpenterie e della geometria.
- Caratterizzazione chimica e meccanica dei cls.
- Rilievo e catalogazione del degrado «a vista».

..... per gli aspetti meno semplici andiamo alle slide successive

Quali sono le resistenze dei materiali esistenti?

Le resistenze di progetto sono date dalle resistenze medie dei materiali esistenti divise per 2 coefficienti: il gamma di sicurezza e il FATTORE DI CONFIDENZA “FC”.

Quanto vale il FC per l'acciaio armonico esistente?

La circolare alle NTC è molto chiara su tale aspetto.

Il FC dipende sia dalle conoscenza dei materiali e sia dalla conoscenza della disposizione dei rinforzi esistenti (tipo: i 4-6 cavi esistenti, come sono disposti nella mezzeria? Sono 3 allineati nel bulbo e gli altri impilati centralmente a salire in anima? Ecc.. ecc..... Sono tutti quesiti che, se non risolti tramite indagine e/o tramite gli as built alzano lo FC dei trefoli esistenti).

IN SINTESI: IN ASSENZA DI DISEGNI «AS BUILT» SIAMO IN GRADO DI RICOSTRUIRE IL TRACCIATO DI TUTTI I CAVI E LA LORO SEZIONE RESISTENTE ORIGINALE?

Se non si ha accesso a tutte le testate in uno con gli as built, si deve ricorrere ad un progetto simulato e quindi adottare FC maggiore di 1,00.

Quanto vale la tensione residua nei cavi da precompressione ?

Quali sono le caratteristiche meccaniche dell'acciaio armonico?

Si può effettuare una prova DISTRUTTIVA di rilascio tensionale sui fili/trefoli o riprodurre un progetto simulato. Per opere sane, costruite negli anni '60-'70 del secolo scorso la "sigma,00" dovrebbe essere intorno a 800-900MPa.

La prova distruttiva fornisce anche gli spezzoni per le prove di laboratorio di caratterizzazione del materiale.



I cavi di precompressione esistenti sono aderenti o meno ?

Dalle indagini si deve capire se **le guaine non sono iniettate** o meno, ovvero se **tra le guaine ed intorno ad esse c'è aria** e non cls.

Solo le indagini dirette e distruttive possono dare indicazioni (che spesso sono intuizioni del progettista) su tale aspetto.

Nel caso in cui non ci sia l'aderenza occorre fare 2 cose:

- Prevedere a progetto le iniezioni di riparazione (all'interno delle guaine o tra le guaine).
- Considerare che i cavi esistenti si comportano nella meccanica a rottura per flessione come fossero cavi esterni (ovvero la loro tensione non si discosta dai circa 700-900MPa attuali e non riesce a raggiungere la tensione di rottura di progetto). Infatti le iniezioni di riparazione non sono considerate come affidabili al punto di ripristinare la perfetta aderenza, ma solo per migliorare la protezione chimica ai trefoli/fili esistenti.

Ho capito che i cavi non sono aderenti e che ho perso sezione per corrosione dei trefoli/fili, ma quanta precompressione esterna devo aggiungere?

La cosa normale sarebbe avere una stima ragionevole della perdita di sezione per corrosione dei fili/trefoli esistenti.

Noto tale dato si deve aggiungere precompressione esterna e, se del caso, anche rinforzi passivi, al fine di ripristinare i livelli di sicurezza (bastano i soli SLU) richiesti dalle NTC08 con i carichi e i coefficienti delle NTC08. È vietato ripristinare i livelli di sicurezza con le azioni originarie.

Nel caso non si abbia una stima ragionevole di tale perdita di sezione si può operare con il criterio «della forchetta», ovvero individuare quanta precompressione esterna aggiungere (in uno con eventuali rinforzi passivi) ipotizzando che il contributo dei trefoli/fili esistenti possa agire sulla sezione secondo 2 scenari plausibili, ma tra loro diametralmente opposti.
(vedi slide successiva)

Scenario dell'estremo superiore.

Si ipotizza che i cavi esistenti siano nelle seguenti condizioni:

- Siano NON aderenti.
- Non abbiano perso sezione.
- Stiano lavorando alla tensione prevista in origine (circa 800-900MPa).

Si aggiunge quindi precompressione esterna (eventualmente in uno con rinforzi passivi) evitando di portare la trave in condizioni di equilibrio limite (SLU, tensionale e di fessurazione) sotto i soli carichi permanenti strutturali (evitare cioè che la trave esploda verso l'alto durante le operazioni di tesatura della precompressione esterna).

Scenario dell'estremo inferiore.

Si ipotizza che i cavi esistenti siano nelle seguenti condizioni:

- Siano NON aderenti.
- Abbiano perso sezione e siano quindi ridotti a un numero tale da garantire un coefficiente di sicurezza unitario della verifica SLU con i soli carichi permanenti non fattorizzati (condizione di crollo incipiente).
- Stiano lavorando alla tensione prevista in origine (circa 800-900MPa).

Si aggiunge quindi precompressione esterna (eventualmente in uno con rinforzi passivi) fino a garantire il rispetto delle verifiche SLU delle NTC.

Come agisce la precompressione esterna aggiuntiva sul sistema iperstatico dell'impalcato?

Spesso si aggiunge precompressione alle soli travi di bordo, che essendo ubicate all'interno della curva o della falda (lato in cui scola l'acqua piovana) sono state maggiormente offese dal degrado.

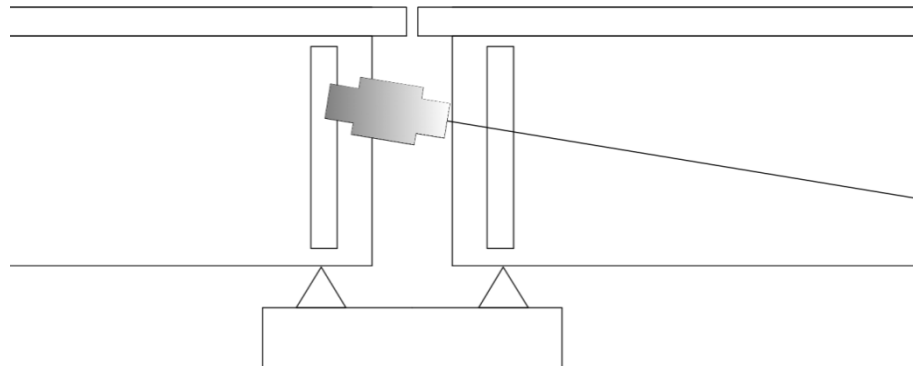
In tal caso ricordare che il sistema di precompressione agente su una sola trave (ad esempio su una sola trave di 3 travi totali) lavora su un problema iperstatico e quindi molta precompressione (sia in termini di N e sia di M) si “perde” nelle altre travi passando attraverso i trasversi intermedi.

Questo ha alcune implicazioni:

- Che trattasi di un problema iperstatico e come tale va affrontato. In tale ambito la precompressione su una sola trave di bordo porta a peggiorare le condizioni di lavoro della trave ubicata sul bordo opposto e le condizioni di lavoro dei trasversi intermedi.
- Che vanno verificati anche i trasversi e, se del caso, rinforzati con ulteriore precompressione con barre.

Nel dubbio e/o nell'ignoranza, si precomprimono tutte le “ n ” travi dell'impalcato allo stesso modo, verificando che non accadano situazioni in cui la precompressione sulle travi più sane porti «ad un eccesso di precompressione», come prima detto relativamente allo scenario dell'estremo superiore.

Stare attenti che ci sia spazio per i martinetti “in condizione di massima estensione” dietro le testate di tiro.



Come aggiungere eventuali rinforzi passivi in acciaio?

La precompressione esterna non sempre è sufficiente a ridare la sicurezza SLU attesa dalle NTC.

Ciò accade soprattutto quando la precompressione esistente non si può ritenere “aderente”.

In tal caso occorre aggiungere rinforzo passivo a mezzo di beton plaque.

Punti di forza dei rinforzi in beton plaque:

- Elevata resistenza specifica se paragonata a quella del «competitor» FRP.
- Semplice algoritmo di calcolo.
- Facile integrazione con la carpenteria dei blocchi di deviazione dei cavi esterni aggiuntivi.

Punti di debolezza dei rinforzi in beton plaque:

- Difficoltà di movimentazione (a causa del peso dei conci) nei cantieri di rinforzo di travi da ponte esistente.
- Difficoltà di posa a causa delle saldature trasversali dei vari spezzoni.
- Criticità intrinseca (rischio di danneggiare i cavi esistenti) connessa con l'inghisaggio dei tasselli di vincolo al supporto in cls.
- Non semplici calcoli dei tasselli di vincolo al supporto in cls.

Come aggiungere eventuali rinforzi passivi in FRP?

In alternativa al beton plaque è possibile utilizzare fasciature in FRP.

Punti di debolezza dei rinforzi in FRP:

- Bassa resistenza specifica (max circa 2mm di S355 equivalente).
- Complesso algoritmo di calcolo, che penalizza le armature esistenti.
- Difficile integrazione costruttiva con la carpenteria dei blocchi di deviazione dei cavi esterni aggiuntivi.
- Necessità di rifare, quasi sempre, il copriferro del bulbo inferiore e disporre staffe a «U wrap».

Punti di forza dei rinforzi in FRP:

- Facilità di posa in opera.
- Assenza di interazione con i cavi esistenti.

**Grazie per
l'attenzione!**