

*Centro Internazionale
di Aggiornamento
Sperimentale -
Scientifico*

*e
Collegio degli Ingegneri della Toscana*

organizzano la
GIORNATA DI AGGIORNAMENTO

**"DEGRADO E CONSOLIDAMENTO
DELLE STRUTTURE
IN CEMENTO ARMATO"**



Con il patrocinio:

Federazione degli Ordini degli Ingegneri della Toscana
Federazione degli Ordini degli Architetti della Toscana
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze
Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e
Conservatori della Provincia di Firenze
Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani
Comitato Regionale Toscano Geometri
Collegio dei Geometri della Provincia di Firenze

sponsor:

4 EMME Service Spa
Tecnocem Italiana Spa

Auditorium dell'Ente Cassa di Risparmio di Firenze
Via Folco Portinari 5, Firenze

Firenze, venerdì 30 novembre 2007



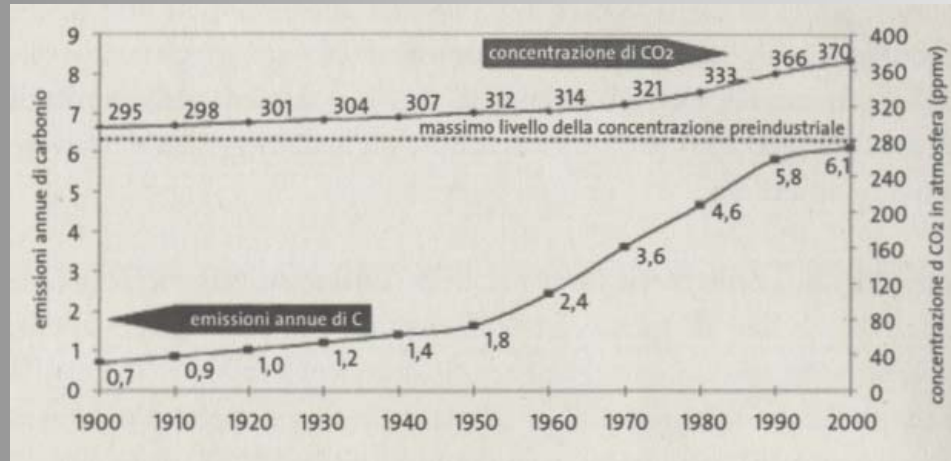
***CRITERI PER IL PROGETTO DEL CONSOLIDAMENTO DI
STRUTTURE IN C.A.***

Relatore: Prof. Ing. Paolo Spinelli

Firenze, 30 novembre 2007

INTRODUZIONE

Introduzione



“La verità scomoda” di Al Gore che mette in luce i pericoli per l’ambiente in cui viviamo dall’aumento dell’anidride carbonica che porta a un “global warming” è una “inconvenient truth” anche per il cemento armato.

Il materiale che nasce nell’idea di Freyssinet e poi di Nervi e di Morandi come il materiale - pietra artificiale, eterno nella durata, mostra le sue debolezze nel confronto di un ambiente sempre più aggressivo.

**Aspetti fondamentale
degli interventi di
consolidamento**

**Esempio di verifica di
trave in c.a.
consolidata**

Esempi applicativi

Aspetti normativi

Introduzione

Nel gergo dello strutturista troppo spesso si utilizzano parole diverse che indicano più o meno lo stesso significato. Si parla di

- *restauro strutturale,*
- *consolidamento,*
- *riabilitazione strutturale*
- *recupero*
- *rinforzo* strutturale

più o meno indicando gli stessi significati.

Recupero Strutturale

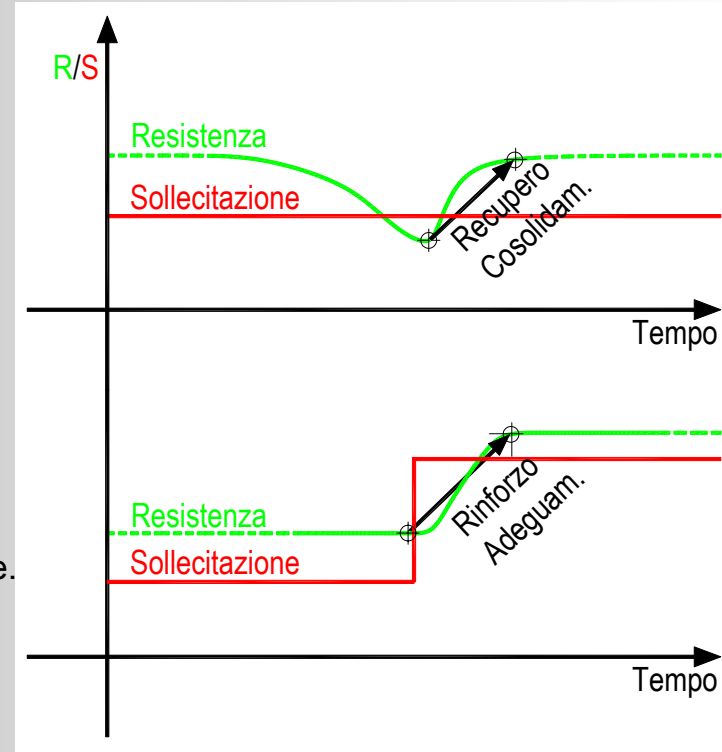
Consolidamento Strutturale

Rinforzo

Adeguamento

Si interviene sulla struttura fornendo una resistenza almeno uguale a quella iniziale.

Si interviene sulla struttura fornendo una resistenza almeno uguale a quella iniziale.



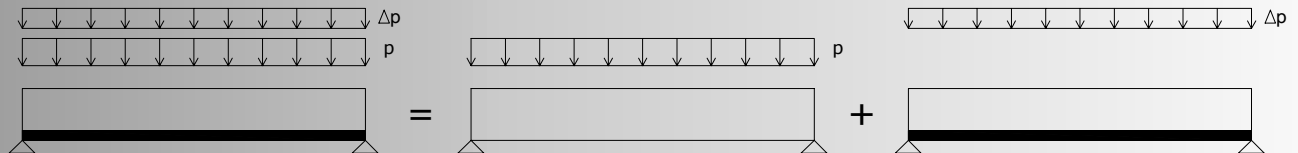
Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Se si intervenisse invece nel caso di una struttura deteriorata da consolidare, ci accorgeremmo come, in assenza di particolari azioni quali puntellamento e scarico della trave, le azioni non vanno a interessare il rinforzo che resta solo una sorta di applicazione successiva, di maquillage “estetico”, non strutturale alla trave.

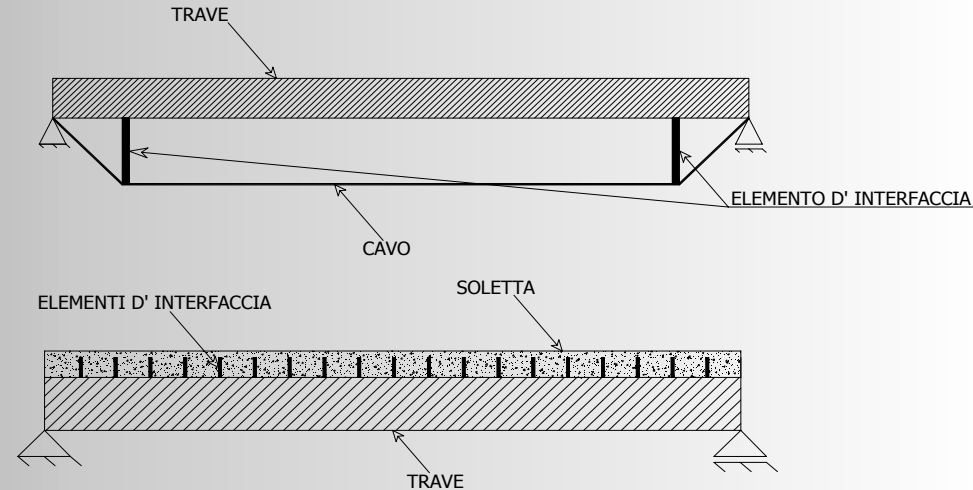
Aspetti normativi



Introduzione

Tema centrale: la nascita, con gli interventi di rinforzo o consolidamento di un "composito strutturale".

Due materiali separati, distinti sono tra loro legati da qualcosa (da un' interfaccia strutturale) costituita da collanti, resine, ovvero barre o elementi trasversali di cucitura, che prendono carico non sempre nello stesso istante ma in istanti in genere differenti.



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

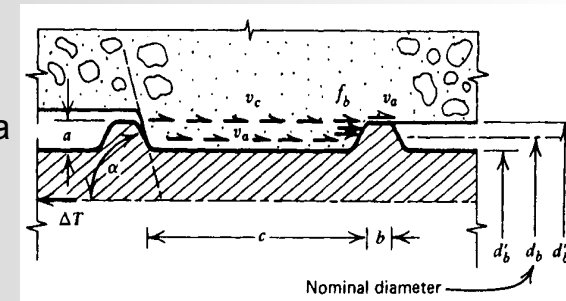
Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Questo tipo di strutture differisce dalle travi in c.a. perché

1. non esiste nel cemento armato struttura di connessione così evidente, se si vuole soggiacere la pressione di interfaccia svolta dalle costolature dei perni ad aderenza migliorata
2. La struttura che si viene a creare non può essere considerata una trave alla De Saint Venant. Vanno dunque verificati stati limiti diversi da quelli della trave in c.a. classica.

Esempi applicativi

Aspetti normativi

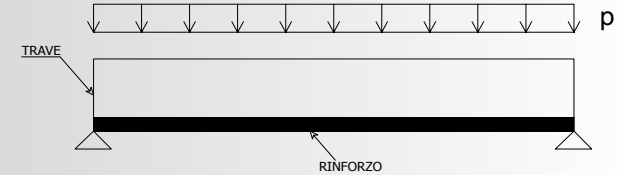


Introduzione

ASPETTI FONDAMENTALI DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO (1/2)

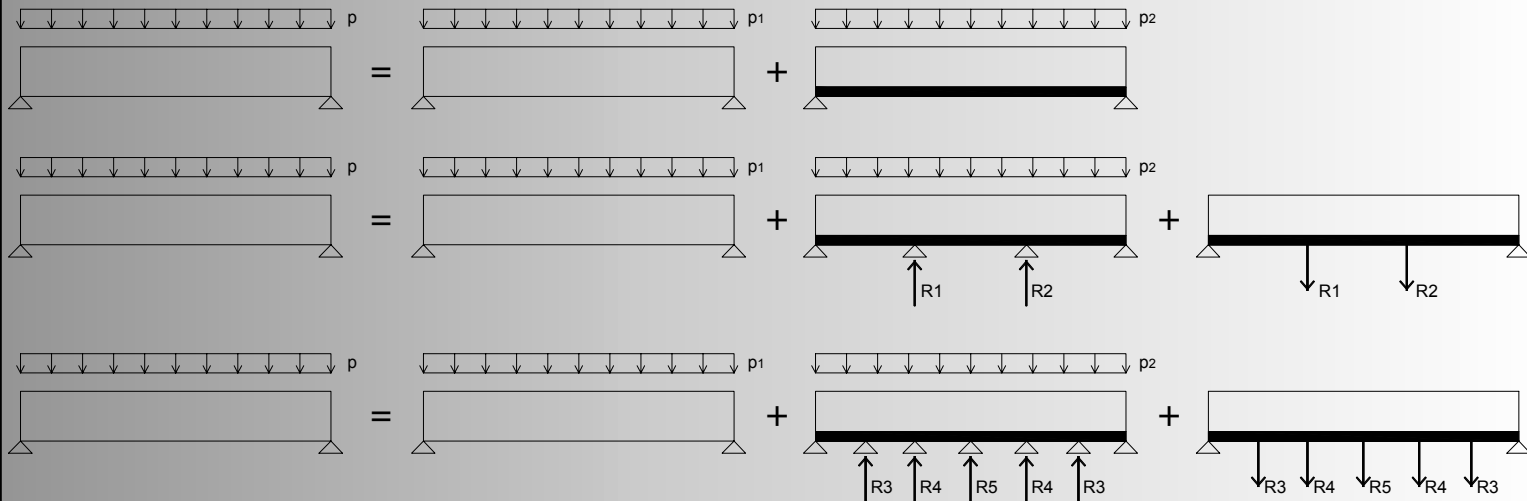
1) ATTENZIONE ALLA STORIA DI CARICO E ALLA TECNICA DI MONTAGGIO

L'esercizio: trovare lo stato tensionale nei 2 elementi
 Non ammette soluzione univoca. Infatti diversi sono
 tutti i casi sottostanti:



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata



Esempi applicativi

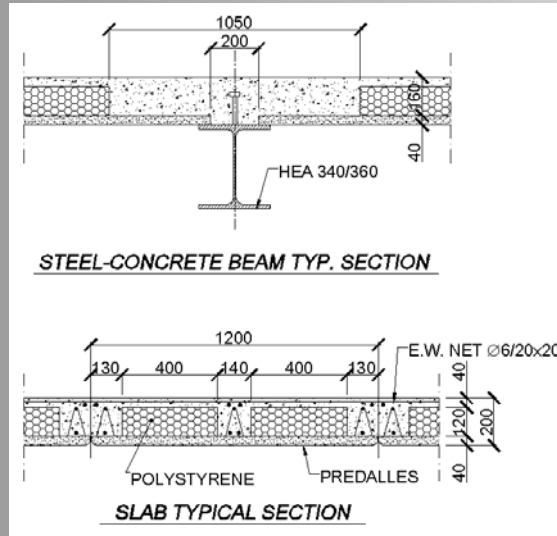
Aspetti normativi

Introduzione

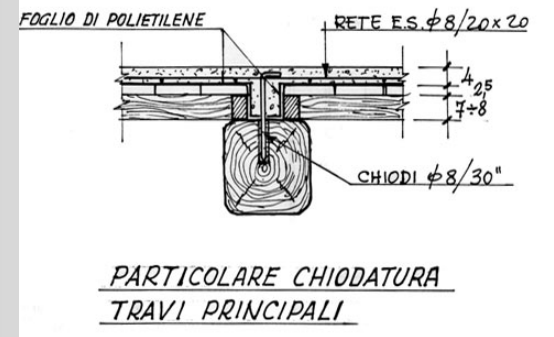
ASPETTI FONDAMENTALI DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO (2/2)

2) IL MATERIALE E LA STRUTTURA STESSA SONO COMPOSITI

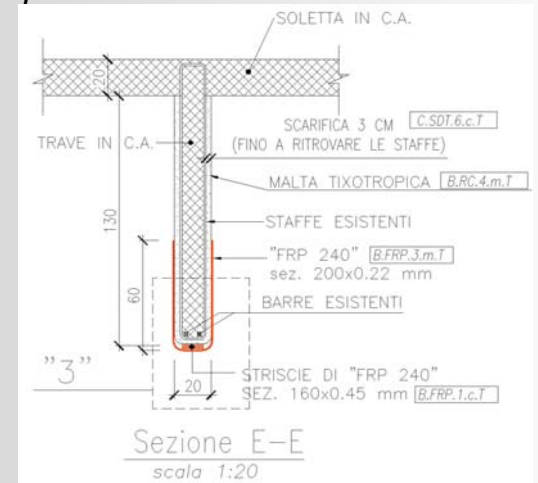
Esempi di strutture composte



A) Travi miste acciaio calcestruzzo.



B) Travi miste legno calcestruzzo
Sezione tipica dell'intervento di restauro



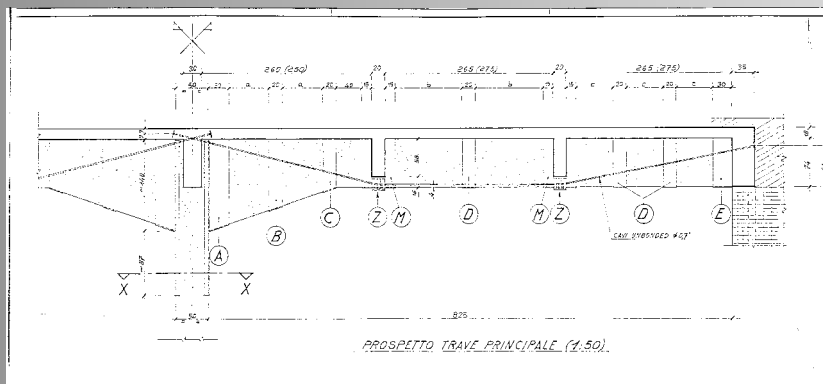
D) Rinforzo mediante uso di FRP

Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi



C) Rinforzo di travi in c.a. mediante uso di cavi.

ESEMPIO DI VERIFICA DI TRAVE IN C.A. CONSOLIDATA

VERIFICA CON TENSIONI IN ESERCIZIO
(TENSIONI AMMISSIBILI):

CASO A) TRAVE NON CONSOLIDATA

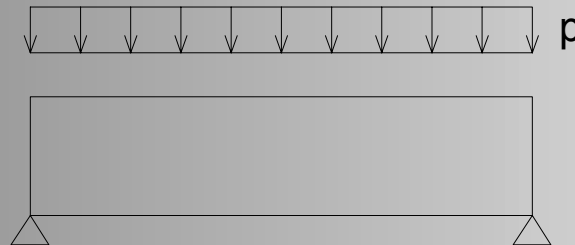
CASO B) TRAVE CONSOLIDATA CON PUNTELLI PERFETTAMENTE IN FORZA

CASO C) TRAVE CONSOLIDATA SENZA PUNTELLI

VERIFICA ALLO SLU

PROBLEMA:

Verificare la trave sottostante consolidata con una soletta in cls ad alta resistenza in aggiunta



Dati geometrici

$B = 30 \text{ cm}$

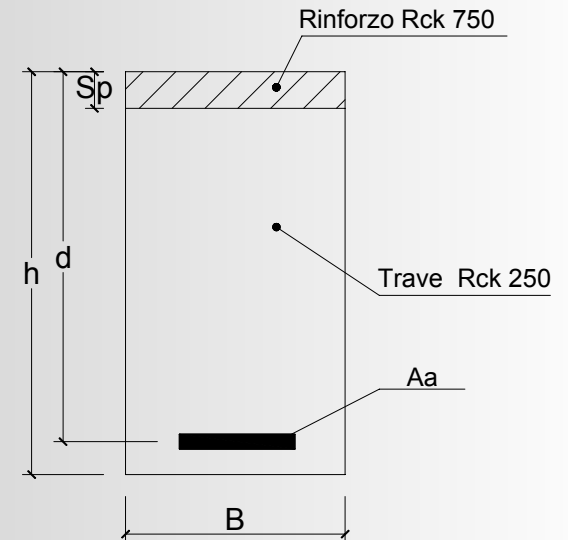
$h = 55 \text{ cm}$

$S_p = 5 \text{ cm}$

$n_1 = 21.68$

$n_2 = 12.52$

Luce trave = 6 m



Introduzione

Aspetti fondamentale
degli interventi di
consolidamento

Esempio di verifica di
trave in c.a.
consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi

Introduzione

CASO A) TRAVE NON CONSOLIDATA



$$q = pp_{SOLAIO} + pp_{TRAVE} = 1875 \text{ kg/m}$$
$$MS = 8438 \text{ kgm}$$

$$s_{c1sup} = 61.68 \text{ kg/cm}^2$$
$$ss = 1369 \text{ kg/cm}^2$$

Imponendo $s_{c1sup} = S_{AMM}$

Si ottiene che il momento massimo che porta la trave è
 $M_{MAX} = 11625 \text{ kgm}$

Che corrisponde ad un aggiunta di carico di
 $q_{EXTRA} = 708 \text{ kg/m}$

La trave può sopportare:
 $q_{MAX} = 2583 \text{ Kg/m}$

Aspetti fondamentale
degli interventi di
consolidamento

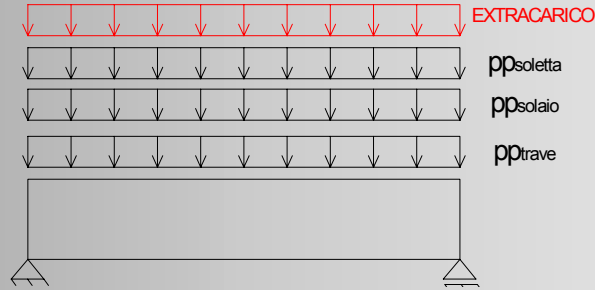
Esempio di verifica di
trave in c.a.
consolidata

Esempi applicativi

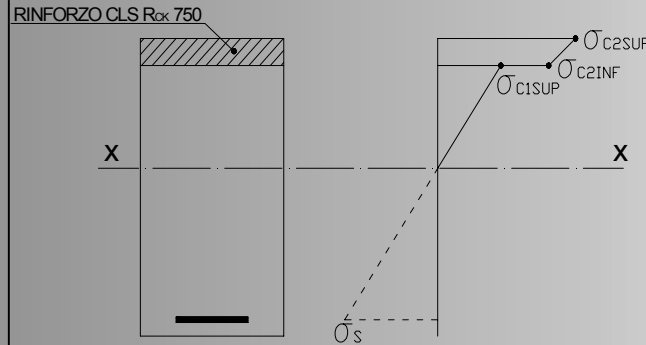
Aspetti normativi

CASO B) TRAVE CONSOLIDATA CON PUNTELLI PERFETTAMENTE IN FORZA

Introduzione



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento



Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

$$q = pp \text{ SOLAIO} + pp \text{ TRAVE} + pp \text{ SOLETTA} = 1912.5 \text{ kg/m}$$

$$M_s = 8606 \text{ kgm}$$

$$Sc_{2sup} = 71.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$Sc_{2inf} = 56.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$Sc_{1sup} = 32 \text{ kg/cm}^2$$

$$SS = 1004 \text{ kg/cm}^2$$

Esempi applicativi

Imponendo $sc_{1sup} = S_{AMM}$

Si ottiene che il momento massimo che porta la trave è

$$M_{MAX} = 22405 \text{ kgm}$$

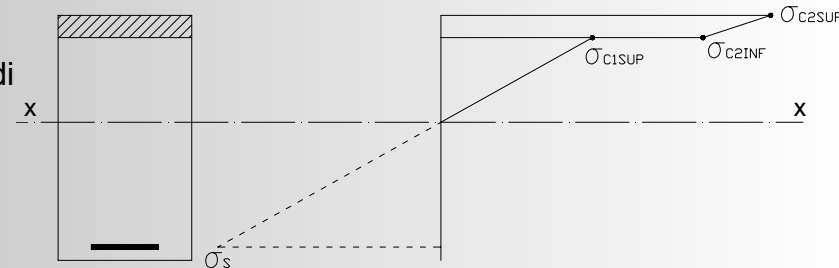
Che corrisponde ad un aggiunta di carico di

$$q_{EXTRA} = 3029 \text{ kg/m}$$

Aspetti normativi

La trave può sopportare:

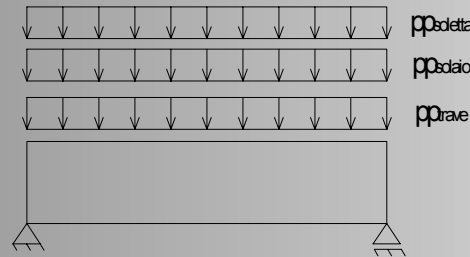
$$q_{MAX} = 4941 \text{ Kg/m}$$



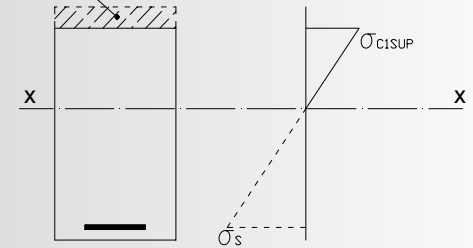
CASO C) TRAVE CONSOLIDATA SENZA PUNTELLI

Introduzione

Fase 1: soletta non collaborante



RINFORZO CLS R_{ck} 750
NON COLLABORANTE

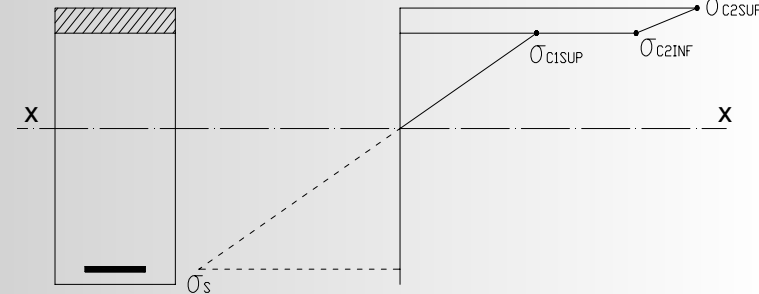
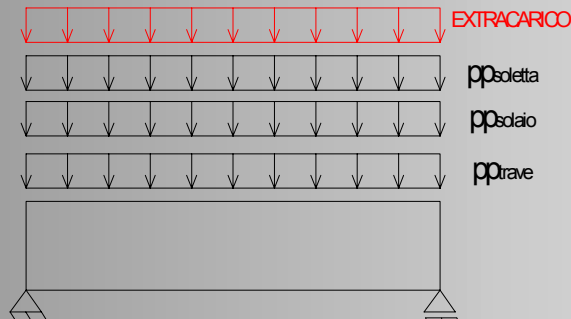


$$q = pp_{\text{SOLAIO}} + pp_{\text{TRAVE}} + pp_{\text{SOLETTA}} = 1912.5 \text{ kg/m}$$

$$M_s = 8606 \text{ kgm}$$

$$s'_{c1sup} = 63 \text{ kg/cm}^2 \text{ ss} = 1396 \text{ kg/cm}^2$$

Fase 2: soletta collaborante



$$\text{Imponendo } s_{c1sup} = s_{AMM} - s'_{c1sup} = 32 \text{ kg/cm}^2$$

Si ottiene che il momento massimo che porta la trave è

$$M_{MAX} = 14594 \text{ kgm}$$

Che corrisponde ad un aggiunta di carico di

$$q_{EXTRA} = 1293 \text{ kg/m}$$

La trave può sopportare:

$$q_{MAX} = 3205 \text{ Kg/m}$$

Aspetti fondamentale
degli interventi di
consolidamento

Esempio di verifica di
trave in c.a.
consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi

CONFRONTO

Introduzione

**Aspetti fondamentale
degli interventi di
consolidamento**

**Esempio di verifica di
trave in c.a.
consolidata**

Esempi applicativi

Aspetti normativi

	<i>Massimo azione variabile che può sopportare la trave kg/m</i>	<i>Massimo carico sopportabile kg/m</i>
<i>A) Trave non consolidata</i>	708	2583
<i>B) Trave consolidata con puntelli perfettamente in forza</i>	3026	4941
<i>C) Trave consolidata senza puntelli</i>	1293	3205

COMPORTAMENTO DI TRAVI RINFORZATE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

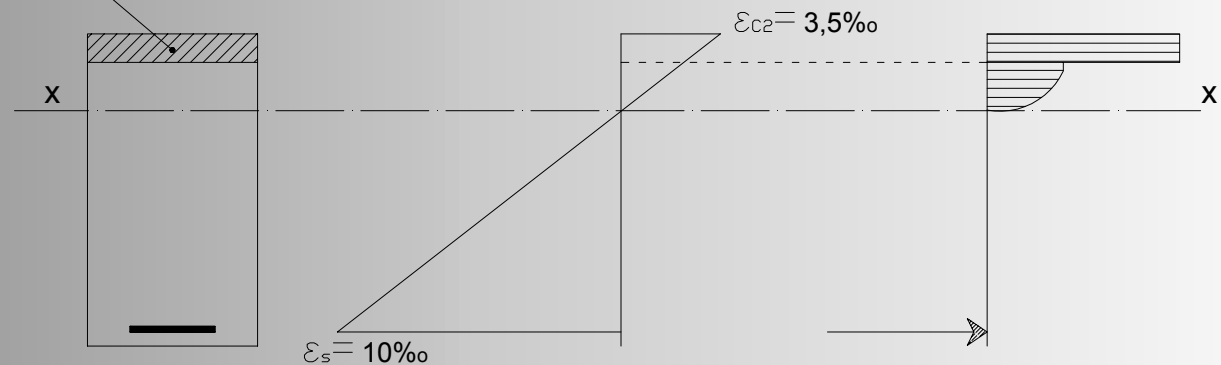
Introduzione

1) Trave Rinforzata con puntelli perfettamente in forza

Potendo sfruttare le proprietà del calcestruzzo la sezione raggiunge il momento massimo quando il calcestruzzo R_{ck} 750 raggiunge una deformazione pari a $\varepsilon_{c2} = 3,5\text{‰}$

Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

RINFORZO CLS R_{ck} 750



Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi

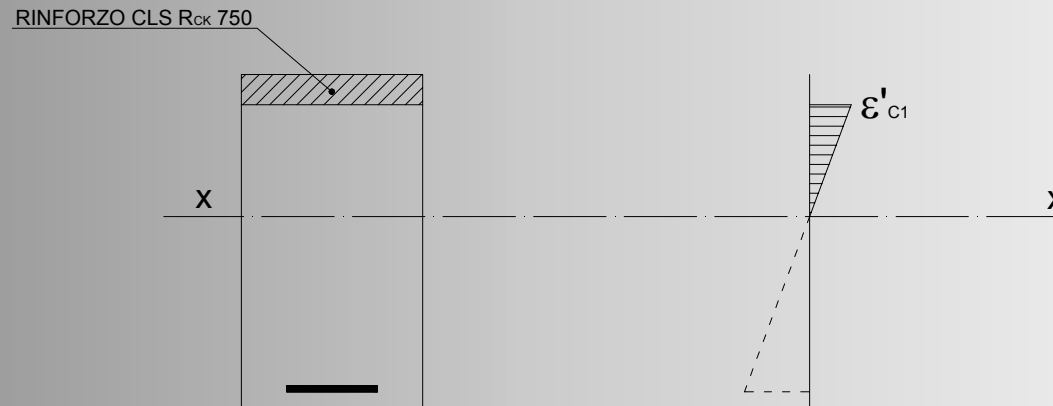
COMPORTAMENTO DI TRAVI RINFORZATE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Introduzione

2) Trave non puntellata (FASE I)

La soletta non è ancora collaborante.

La trave di calcestruzzo R_{ck} 250 ha una sua deformazione iniziale ε'_{c1}



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

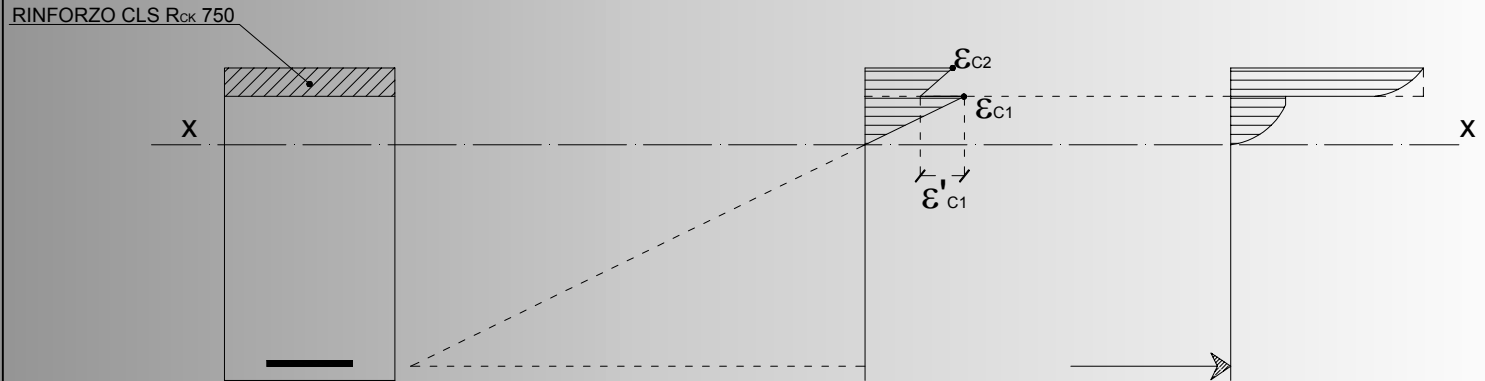
Esempi applicativi

Aspetti normativi

COMPORTAMENTO DI TRAVI RINFORZATE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Introduzione

2) Trave non puntellata (FASE II)



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Lo scalino ε'_{c1} della figura (ovvero la deformazione iniziale del calcestruzzo $R_{ck} 250$) si mantiene anche a rottura, quando cioè si raggiunge la massima elongazione (3,5‰) nel calcestruzzo $R_{ck} 250$ o la massima elongazione (usualmente posta anch'essa pari 3,5‰) nella malta $R_{ck} 750$.

Esempi applicativi

In generale quindi il diagramma delle tensioni della trave non puntellata può avere un andamento differente da quello della trave rinforzata con puntelli perfettamente in forza, dato che, nel caso che si rompa prima il calcestruzzo $R_{ck} 250$, una zona della soletta può non aver raggiunto il limite plastico.

Aspetti normativi

E' da osservare però che, con usuali altezza delle travi e usuali spessori di solette di rinforzo, tale differenza non c'è in quanto il raggiungimento dell'elongazione massima arriva quasi contemporaneamente nella soletta $R_{ck} 250$ e $R_{ck} 750$ o addirittura prima nella soletta $R_{ck} 750$.

Introduzione



AUTOSTRADA SERRAVALLE-MILANO

PONTE SUL TICINO

IMPRESA I.C.R.F.S.-BOLOGNA

A) LE SOLETTE DELL'IMPALCATO

1) LE MASSIME PRESSIONI ACCIDENTALI

Si confrontano le pressioni relative alla ruota di un rullo e alle ruote del traino militare schema III. Viene adottato il coefficiente dinamico $c_d = 1 + 1b_1(1+40) = 1,37$.

Per il rullo, si tiene conto che la zona di contatto con la ruota anteriore sia di $0,5 \times 0,1$ mq, ammettendo quindi che il contatto, per gli inevitabili schiacciamenti, avvenga su un'area estesa longitudinalmente per 10 cm. Il carico è applicato ad una superficie rettangolare avente i lati

$$a(\text{trav.}) = 50 + 2 \cdot 10(\text{massicc.}) = 70 \text{ cm},$$

$$b(\text{long.}) = 10 + 2 \cdot 10 + 30C/3 = 130 \text{ cm}.$$

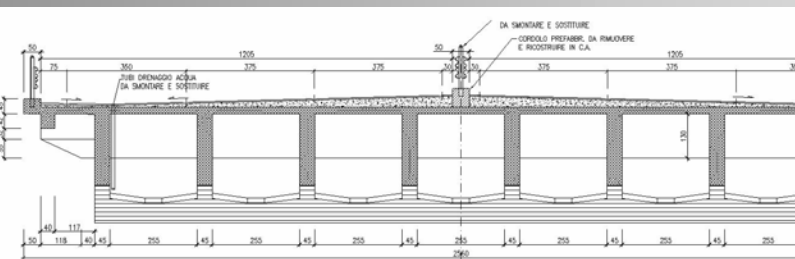
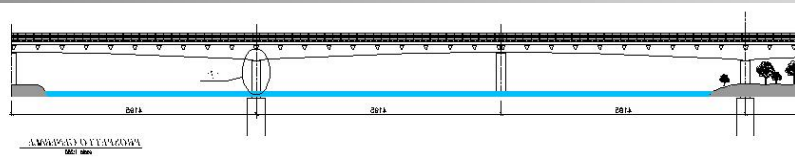
La pressione dovuta al rullo vale pertanto

$$p = 6 \cdot 1,37 / (0,7 \cdot 1,3) = 9 \text{ t/mq}.$$

Ing. Piero Manzoni

Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

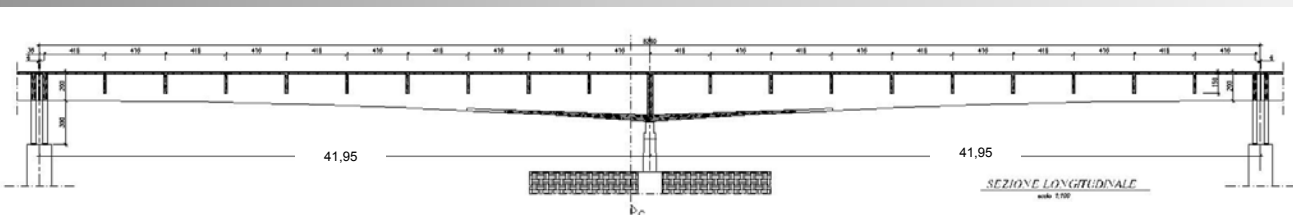
Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata



SEZIONE TRASVERSALE A-A
STATO ATTUALE
scala 1:50

Esempi applicativi

Aspetti normativi



SEZIONE LONGITUDINALE
scala 1:500

Introduzione

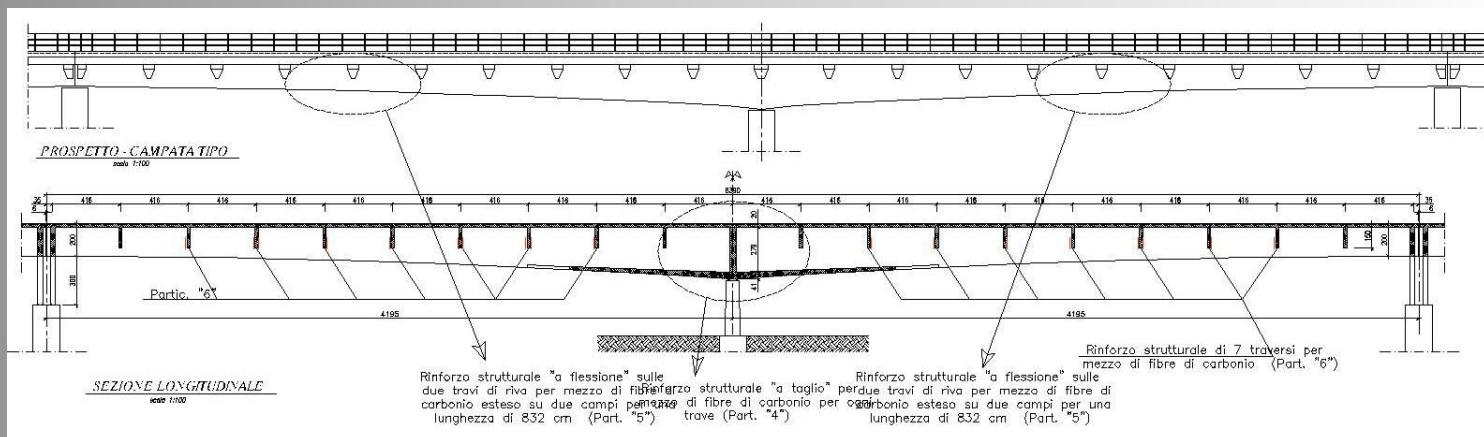


Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

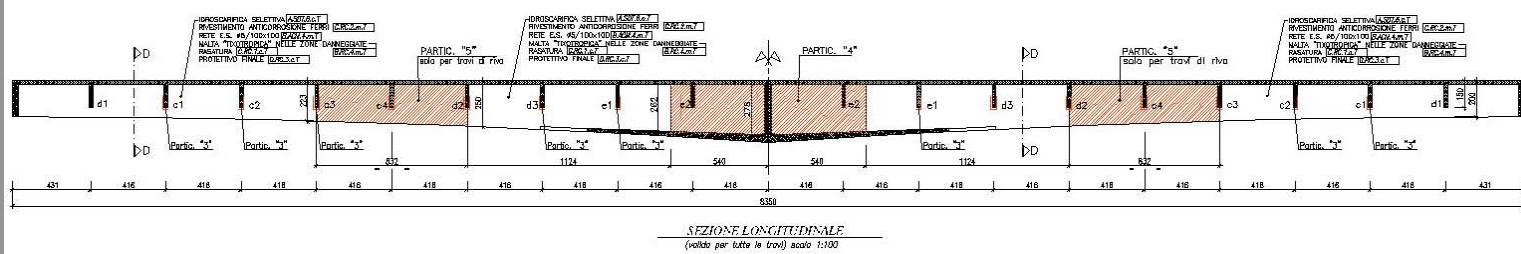
Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

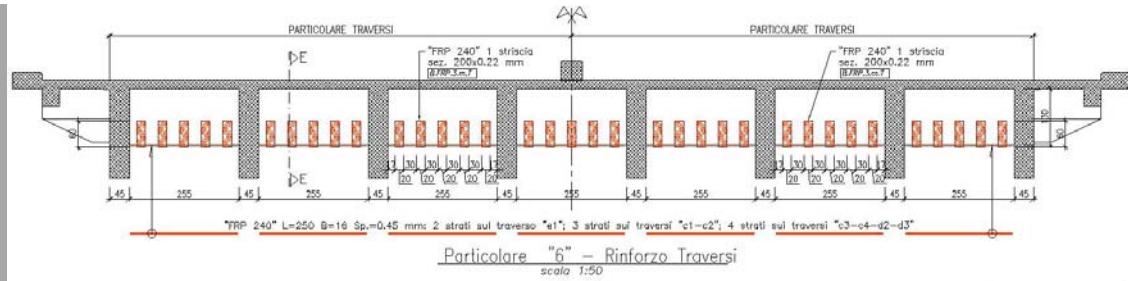
Aspetti normativi



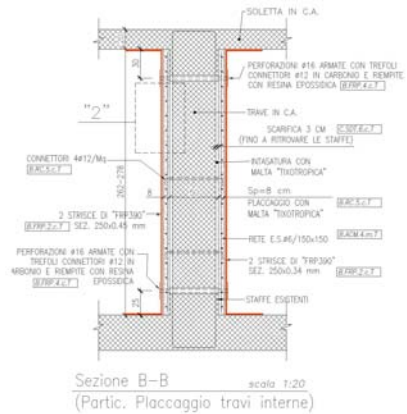
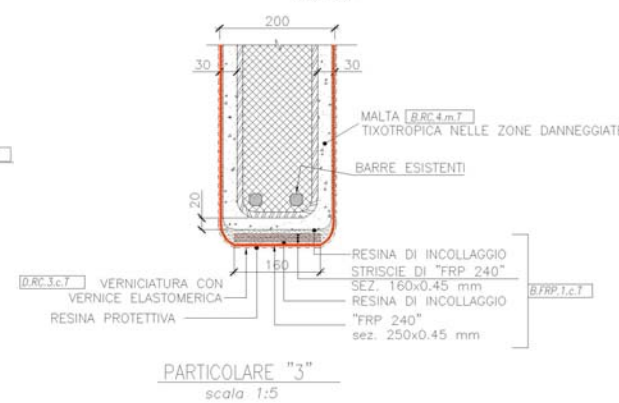
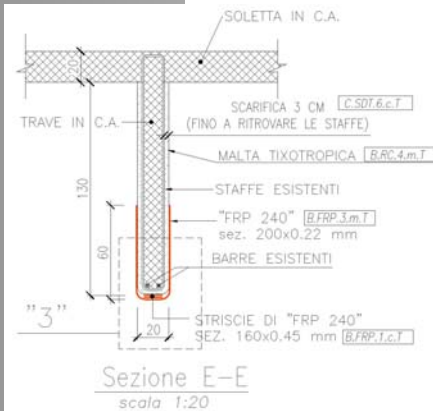
Introduzione



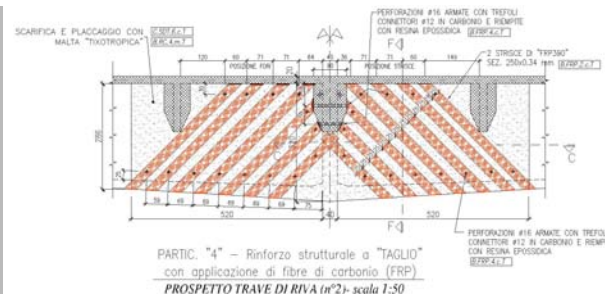
Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento



Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata



Esempi applicativi



Aspetti normativi

Introduzione

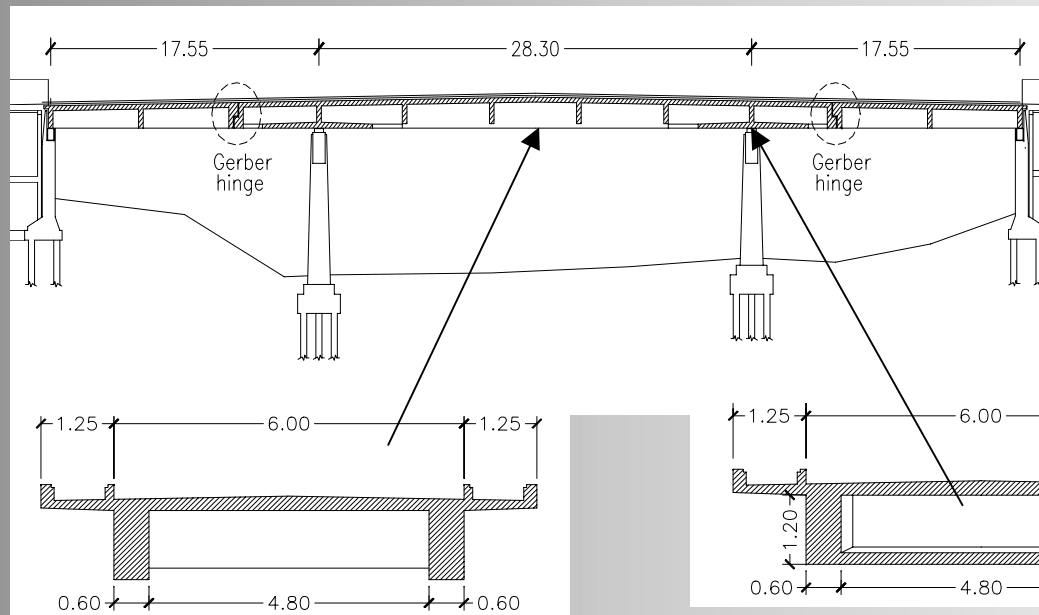


Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi



TRAVE GERBER
Luce: 63.40m

STATO DI CONSERVAZIONE

Introduzione

- 1) Fessurazione di vari elementi strutturali
- 2) Rotazione interna

INTERVENTI

- 1) Installazione di 4 cavi di diametro ciascuno 15mm per prevenire ulteriori rotazioni; rinforzo fondazioni con micropali 20 cm di diametro
- 2) Installazione di 11 travi a T a interasse 5.65 m per dimezzare la luce delle travi in c.a.



- 3) Getto soletta 10 cm

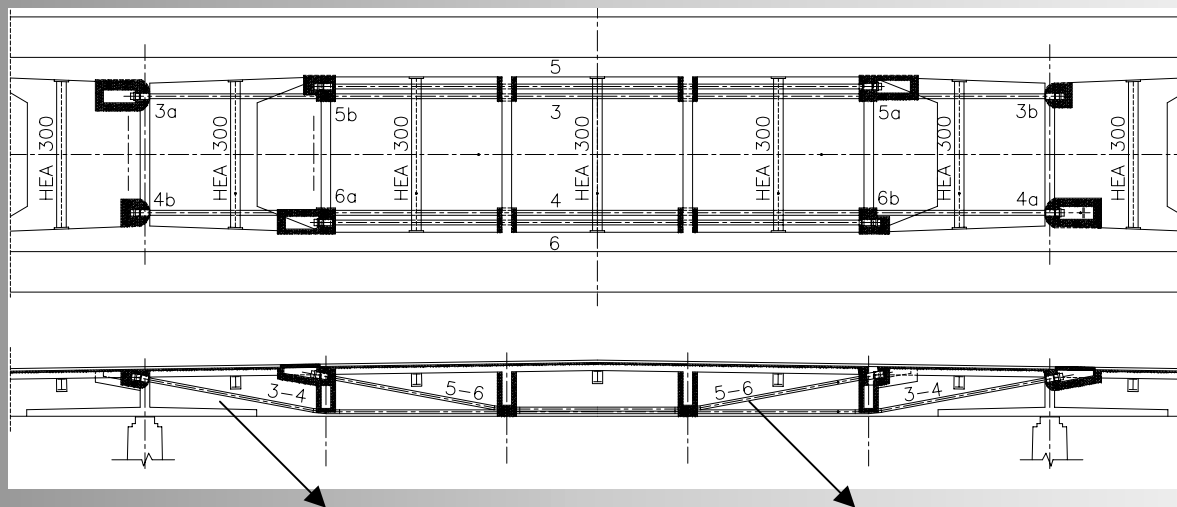
Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi

Introduzione

4)Precompressione esterna delle travi



Cavo formato da 12 trefoli 15 mm di diametro;
F prec.=1200 kN

Cavo formato da 12 trefoli 15 mm di diametro;
F prec.=1700 kN



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi

Introduzione

5) Aggiunta fibre CFRP per incrementare resistenza a taglio sugli appoggi



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Densità: 1820 kg/mc

Modulo elasticità E_f : 230000 MPa

Resistenza ultima a trazione f_{tk} : 3430 MPa

Deformazione ultima a trazione ϵ_u : 1.5%

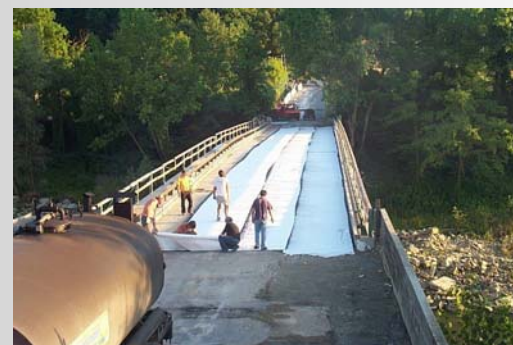


Esempi applicativi

RISULTATI DOPO L'INTERVENTO

Aspetti normativi

Rigidezza flessionale aumentata del 20%



Introduzione

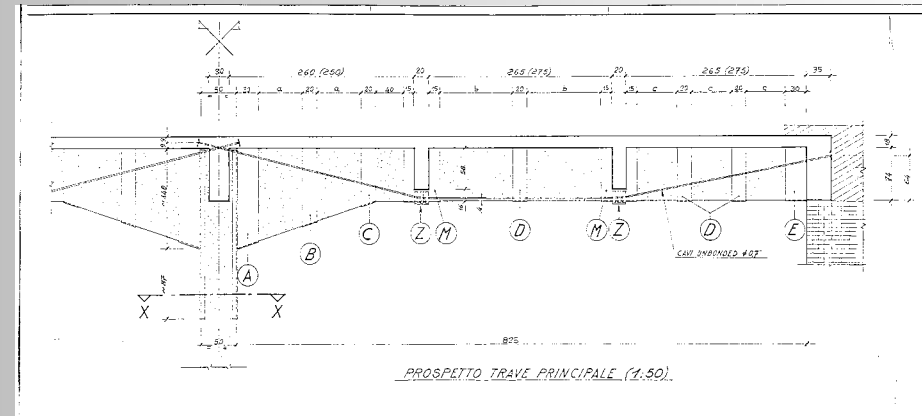
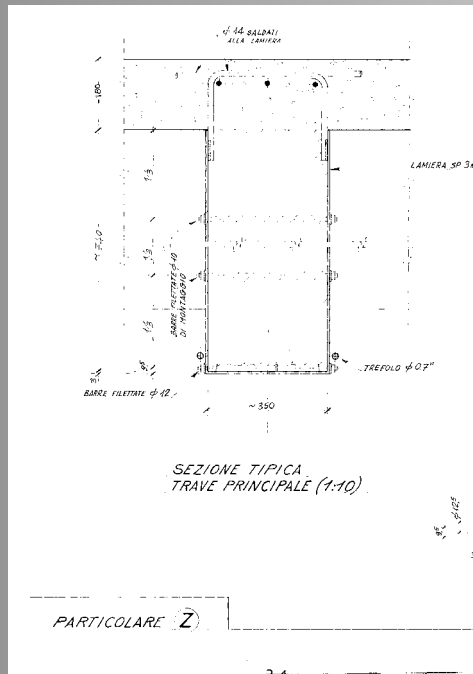
1. aumento dello spessore della soletta da 10 cm a 15 cm mediante calcestruzzo ad alta resistenza con potere adesivo al calcestruzzo ed all'acciaio
2. Rinforzo a taglio delle travi principali e secondarie realizzato mediante incollaggio con resine epossidiche di due lamiere aventi sezione aL sui fianchi e sulla base della trave.
3. Rinforzo a momento negativo delle travi principali e secondarie con aggiunta di ferri all' estradosso della trave
4. Rinforzo a momento positivo delle travi principali e secondarie mediante incollaggio con sigillanti epossidici di piastre d'acciaio all'intradosso della trave.

Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi



3. ASPETTI NORMATIVI

Introduzione

C.N.R. DT 200/2004

"Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie"

Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Verifiche da effettuare:

1. Valutazione della resistenza nei confronti della delaminazione
2. Rinforzo a flessione
3. Rinforzo a taglio

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

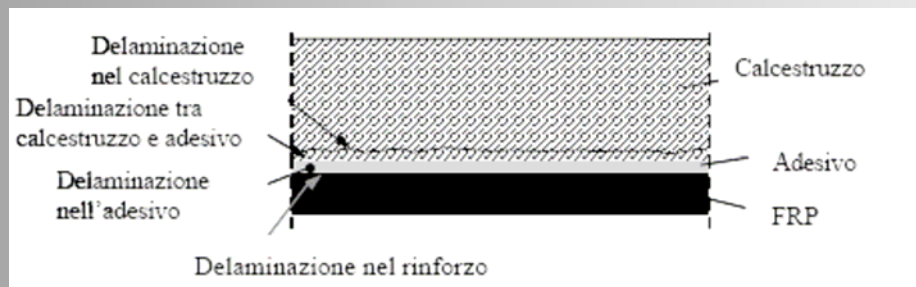
Esempi applicativi

Aspetti normativi

RESISTENZA NEI CONFRONTI DELLA DELAMINAZIONE

Introduzione

Poiché la resistenza dell'adesivo è in genere molto più elevata di quella a trazione del calcestruzzo, la delaminazione avviene sempre all'interno di quest'ultimo con l'asportazione di uno strato di materiale



Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

I modi di collasso per delaminazione possono essere classificati nelle seguenti quattro categorie:

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

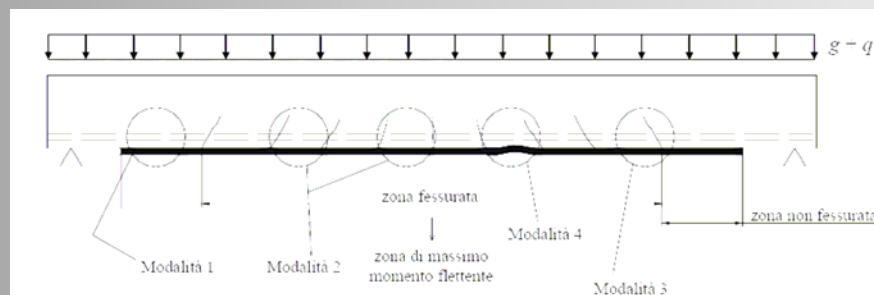
Modalità 1 (Delaminazione di estremità);

Modalità 2 (Delaminazione intermedia, causata da fessure per flessione nella trave);

Modalità 3 (Delaminazione causata da fessure diagonali da taglio);

Modalità 4 (Delaminazione causata da irregolarità e rugosità della superficie di calcestruzzo).

Esempi applicativi



Aspetti normativi

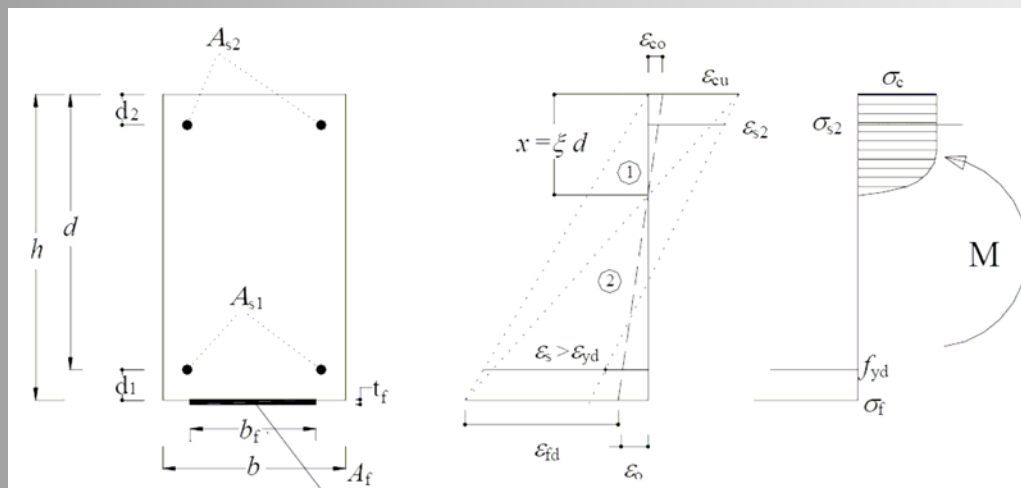
RINFORZO A FLESSIONE

Introduzione

SLU

$M_{Sd} < M_{Rd}$

Con riferimento alla situazione esemplificativa rappresentata in Figura, si possono distinguere due tipi di rottura, a seconda che si raggiunga la massima dilatazione del rinforzo di FRP (zona 1) o la massima contrazione del calcestruzzo (zona 2).



SLE

Limitazione delle tensioni
Controllo dell'inflessione
Controllo della fessurazione

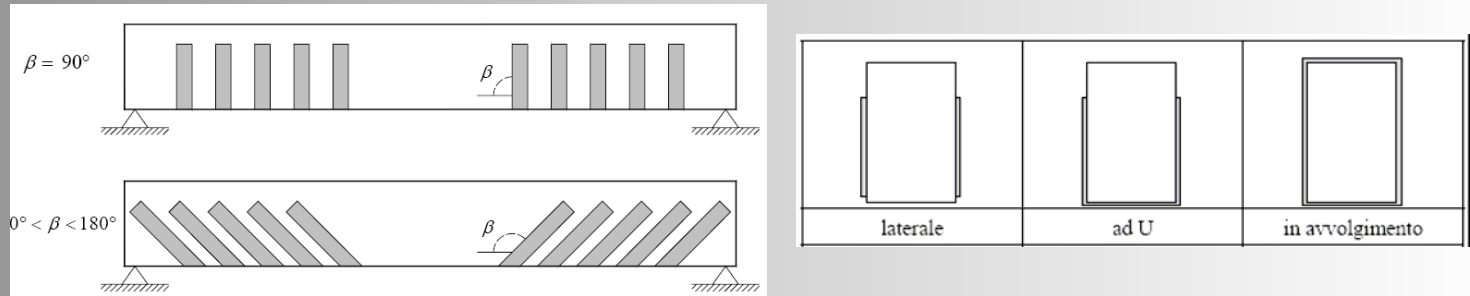
Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi

RINFORZO A TAGLIO



$$V_{RD} = \min \{ V_{RD,ct} + V_{Rd,s} + \underline{V_{Rdf}}, V_{Rd \max} \}$$

Contributo alla resistenza resistenza dato dalla fibra.

Nel caso di disposizione ad U o in avvolgimento su una sezione rettangolare, il contributo del rinforzo di FRP, $V_{Rd,f}$, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Moersch e risulta pari a:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{RD}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ED} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{w_f}{p_f}$$

γ_{RD} deve essere assunto pari a 1.20,

d è l'altezza utile della sezione,

f_{ED} è la resistenza efficace di calcolo del rinforzo f_t è lo spessore del rinforzo di FRP,

β è l'angolo di inclinazione delle fibre rispetto all'asse dell'elemento,

θ è l'angolo di inclinazione delle fessure da taglio rispetto all'asse dell'elemento (in mancanza di determinazione più accurata, si può assumere $\theta = 45^\circ$),

w_f e p_f sono, rispettivamente, la larghezza e il passo delle strisce

Introduzione

Aspetti fondamentale degli interventi di consolidamento

Esempio di verifica di trave in c.a. consolidata

Esempi applicativi

Aspetti normativi