

CONVEGNO AICO SAIE 2002

APPLICAZIONE DELLE FIBRE DI CARBONIO PER IL
RINFORZO DI UN SOLAIO LATEROCEMENTIZIO NELLA
SEDE DELLA F.A.O. IN ROMA

RELATORI:

Ing. Dario D'INNOCENZO Libero professionista

Ing. Susanna Gara Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Marco Cucculelli ECT S.r.l.

**APPLICAZIONE DELLE FIBRE DI CARBONIO PER IL RINFORZO DI
UN SOLAIO LATEROCEMENTIZIO NELLA SEDE DELLA F.A.O.
A ROMA**

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. MOTIVO DELL'INTERVENTO DI RINFORZO	4
3. SCELTA DEL TIPO DI RINFORZO	4
4. CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA OGGETTO D'INTERVENTO.....	5
5. PROGETTAZIONE DELL'INTERVENTO – SPERIMENTAZIONI PRELIMINARI	6
6. MATERIALE UTILIZZATO	16
7. PREPARAZIONE DEI TRAVETTI.....	17
8. VARIANTE CON RISANAMENTO DI TRAVETTI LESIONATI.....	19
9. PROTEZIONE AL FUOCO	21
10. CONCLUSIONI	22
<i>RINGRAZIAMENTI</i>	22

APPLICAZIONE DELLE FIBRE DI CARBONIO PER IL RINFORZO DI UN SOLAIO LATEROCEMENTIZIO NELLA SEDE DELLA F.A.O. A ROMA

1. INTRODUZIONE

Il complesso della F.A.O. (Food and Agriculture Organization of the United Nations) in viale Aventino a Roma, è uno degli immobili demaniali di cui il Provveditorato alle Opere Pubbliche per il Lazio, ufficio periferico ed operativo del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, è responsabile per gli interventi di manutenzione straordinaria.

Il complesso è costituito da edifici costruiti a partire dal 1930 che sono stati negli anni modificati e ampliati, richiedendo interventi di carattere impiantistico, architettonico e strutturale di notevole importanza, eseguiti dal Provveditorato.

In particolare, l'edificio B, oggetto dell'intervento in esame, è stato realizzato negli anni 1938-40 come parte di quella che doveva essere la sede del Ministero dell'Africa Italiana, poi destinato, dopo la seconda guerra mondiale, a sede della F.A.O, dopo aver subito negli anni 1951-52 pesanti ristrutturazioni.

L'edificio è stato oggetto, nello scorso anno, di indagini strutturali mirate ad analizzare le sue condizioni statiche: queste hanno messo in luce uno stato di sovraccarico del solaio dell'8° piano, ove sono collocate la mensa, il bar e le cucine a servizio dei dipendenti e dei visitatori del compendio, tale da rendere necessario un immediato intervento di consolidamento, atto a sanare tale situazione in un'area dove, in occasione di conferenze o importanti eventi pubblici o internazionali, si può determinare la presenza contemporanea di numerose centinaia di persone.

I vincoli imposti per l'efficacia dell'intervento erano di due tipi: il vincolo temporale, determinato dalle improcrastinabili scadenze legate agli eventi internazionali previsti, e la complessità dell'organizzazione funzionale dei piani 7° e 8° in relazione alla loro destinazione d'uso, alla presenza di occupanti negli ambienti, alla impossibilità di provocare danneggiamenti in alcuni locali all'8° piano, che presentano finiture raffinatissime e di pregio ed alla presenza, al 7° piano, di una fitta rete di impianti interferenti con qualsiasi tipo di intervento di consolidamento.

In relazione a tali vincoli è stato necessario articolare l'intervento di consolidamento, tramite tecniche differenziate a seconda delle diverse situazioni presenti nelle varie zone, ma tutte con struttura portante in c.a., e solai latero-cementizi tessuti sulla considerevole luce di circa 8,75 metri.

Il progetto strutturale, quindi, ha dovuto confrontarsi con la necessità di utilizzare tecniche di consolidamento minimamente invasive: da ciò la scelta delle fibre di carbonio.

Il progetto strutturale è stato redatto dall'ing. Dario D'Innocenzo su incarico del Provveditorato alle OO.PP. per il Lazio; i lavori sono stati eseguiti dalla ditta S.I.T.E.R.S.

S.r.l. di Roma, che si è avvalsa, nell'applicazione del rinforzo in fibre di carbonio, della collaborazione della ditta E.C.T. di S.r.l. di Osimo; la direzione dei lavori è stata svolta dall'ing. Susanna Gara del Provveditorato alle Opere Pubbliche per il Lazio.

Per l'intervento il Direttore Generale della FAO, Jacques Diouf, ha espresso i suoi più vivi rallegramenti alle autorità italiane, ed in particolare al Provveditorato alle OO.PP. per il Lazio, in quanto, iniziato nell'agosto 2001, è stato ultimato alla fine di maggio di quest'anno e i locali sono stati immediatamente consegnati alla FAO per consentire lo svolgimento dei servizi di accoglienza per il World Food Summit di giugno e per espletare successivamente, a regime, il servizio di mensa e bar per i dipendenti e visitatori del compendio.

2. MOTIVO DELL'INTERVENTO DI RINFORZO

A seguito della caduta di una porzione d'intonaco dall'intradosso del solaio si è appurato – con saggi distruttivi – che la stessa struttura orizzontale era stata considerevolmente sovraccaricata nel tempo, probabilmente a seguito dell'importante ristrutturazione degli anni '50, quando è stata introdotta la presenza della mensa e cucine a quel piano.

Tale trasformazione implicava l'adozione di un livello del pavimento notevolmente più alto della struttura rustica del solaio: necessità risolta all'epoca tramite l'esecuzione di un nuovo, pesante impalcato, poggiante sul vecchio solaio, e formato da muretti, tavelloni, un consistente massetto ed una doppia pavimentazione sovrapposta.

Nel modo suddetto ne risultava un sovraccarico permanente (oltre il peso proprio del solaio) valutabile in circa 800 Kg/mq.

Operando quindi le consuete verifiche statiche, nell'ipotesi che la sezione resistente fosse solo quella del travetto di c.a., si ricavano valori di tensione nei materiali assolutamente non compatibili, tali da essere prossimi – in particolare – allo snervamento dell'acciaio teso.

3. SCELTA DEL TIPO DI RINFORZO

Nella scelta del tipo di rinforzo da adottare è stata determinante la presenza di ambienti con elementi di finitura di pregio (pavimenti, rivestimenti): tale circostanza ha indotto lo scrivente a ricercare una soluzione che prevedesse detto rinforzo operando solo all'intradosso, senza cioè demolire alcunché all'estradosso – e quindi dovendo necessariamente conservare l'improprio sovraccarico preesistente.

Oltre a ciò ha influito su tale scelta la presenza anche di un consistente apparato di impianti presenti appena sotto l'intradosso del solaio da rinforzare, motivo per il quale si sono escluse altre soluzioni più tradizionali (quali –ad esempio- l'esecuzione di un rinforzo con travi d'acciaio o con "beton-plaqué").

L'insieme di tali elementi ha indirizzato quindi verso l'utilizzo di lamine in fibra di carbonio, da applicarsi sulla faccia inferiore di ogni singolo travetto di solaio, previa preparazione dello stesso.

4. CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA OGGETTO D'INTERVENTO

Il solaio oggetto d'intervento è del tipo laterocementizio a "camera d'aria", formato cioè da una doppia tavella che forma un'intercapedine aerata. Le sue caratteristiche sono:

- travetti, posti ad interasse di 80 cm., gettati all'interno di due pezzi speciali prefabbricati in laterizio;
- due tavelline che formano una camera d'aria con funzione di alleggerimento;
- una caldana di cls. (non armata), con funzione sia collaborante sia di migliore ripartizione del carico.

I travetti sono dotati di allargamenti "a coda di rondine" nei 50 cm. terminali, prima di incastrarsi nelle travi, queste ultime di altezza pari a quella del solaio (= 46 cm.).

Sulla struttura rustica appena descritta sono stati – nel tempo – eseguiti due sovrapposti strati di finitura; si è quindi determinata la presenza dei seguenti carichi permanenti:

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| • peso proprio del solaio | 400 Kg/mq. |
| • sovraccarico permanente di 1 ^a edificazione (intonaco + massetto + impermeabilizzazione + pavimento) | 400 Kg/mq. |
| • sovraccarico permanente di 2 ^a edificazione (muretti + tavelloni + massetti + pavimento) | 400 Kg/mq. |
| Totale permanenti | <u>1.200 Kg/mq.</u> |

Nella figura che segue si riporta la sezione tipica trasversale del solaio in argomento, con i due strati di rifinitura sovrapposti in tempi diversi.

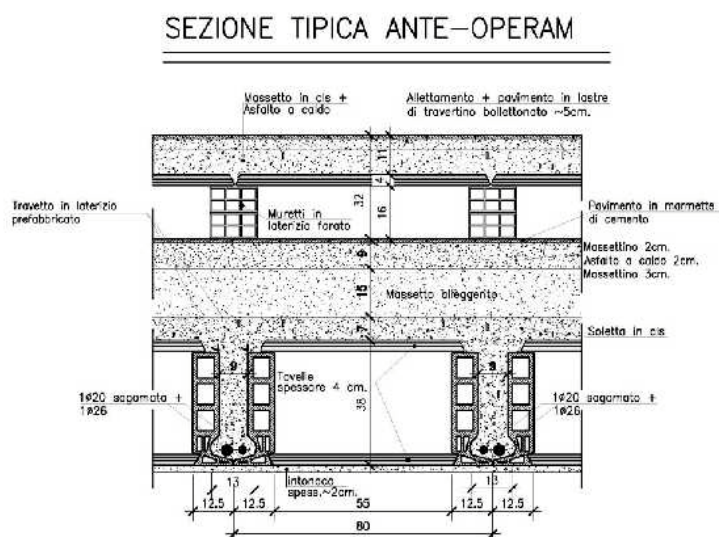


Fig. n°1: Solaio laterocementizio a camera d'aria. Si noti il permanente, di seconda edificazione, poggiato su muretti e tavelloni.

5. PROGETTAZIONE DELL'INTERVENTO – SPERIMENTAZIONI PRELIMINARI

Il progetto in esame è stato redatto con la collaborazione dell'ing. Marco Arduini di Reggio Emilia. Successivamente all'appalto le piccole varianti esecutive sono state redatte con la collaborazione dell'applicatore E.C.T. S.r.l. di Osimo.

Entrando nel merito dell'iter progettuale percorso si sottolinea come uno dei problemi più significativi incontrati in questo lavoro è consistito nel livello tensionale molto alto presente nell'acciaio inferiore teso, già solo per l'azione dei carichi permanenti.

Si è quindi reso necessario cercare un modo per scaricare parzialmente il solaio all'atto della posa in opera della fibra di carbonio, ottenendo così una sua collaborazione statica nel resistere all'azione già di una parte dei carichi permanenti, oltreché di quelli accidentali futuri.

L'operazione di “scarico” del solaio presupponeva la conoscenza della sua resistenza e deformabilità sotto l'azione di una o più spinte dirette verso l'alto, oltre che della compartecipazione laterale delle zone non caricate. Per tale motivo sono state organizzate due prove di carico, operando una spinta verso l'alto con uno e con due martinetti e misurando le relative deformazioni.



Foto n°1: Apparecchio di sollevamento atto a “scaricare” parzialmente il travetto da rinforzare.

Un'altra sperimentazione, finalizzata a verificare l'efficacia della metodologia di rinforzo nel suo complesso (cioè compresa la procedura di posa in opera, applicazione della resina, limite di adesione della fibra) è consistita nell'esecuzione di tre travetti in c.a. gettato in opera, lunghi 4,50 metri e con una sezione a T analoga a quella dei travetti del solaio da rinforzare. Questi tre travetti, armati tutti nello stesso modo, sono stati sottoposti ad una prova a flessione fino a rottura, differenziandoli nel modo seguente:

1. il primo travetto è rimasto nella sua configurazione originaria, cioè solo in calcestruzzo armato;

2. un secondo travetto è stato rinforzato con una semplice lamina inferiore in fibra di carbonio, formata da quattro "pelli" di tessuto monodirezionale;
3. un terzo travetto è stato rinforzato con una lamina inferiore in fibra di carbonio formata da sette "pelli" di tessuto monodirezionale.

I due travetti rinforzati sono stati dotati di fasce trasversali (sempre in carbonio) di ancoraggio in corrispondenza delle testate.

Per misurare le deformazioni nelle varie componenti strutturali sono stati disposti degli estensimetri sul cls., sulla lamina di carbonio e sulle barre d'acciaio inferiore (questi ultimi estensimetri sono stati applicati prima del getto del travetto).

Nel seguito si riportano i diagrammi azione/deformazione relativi alle tre prove, attraverso i quali può essere apprezzato l'aumento di capacità portante nei travetti; l'incremento percentuale del valore del momento flettente ultimo è valutabile nell'ordine del 30% e 37,5% nel caso dei due rinforzi esaminati, rispetto al comportamento del travetto semplice in c.a.

La prova è stata effettuata presso il Laboratorio Sperimentale dell'ISTEDIL di Guidonia Montecelio (RM).

SCHEMA ARMATURA TRAVETTI SACRIFICALI IN C.A.

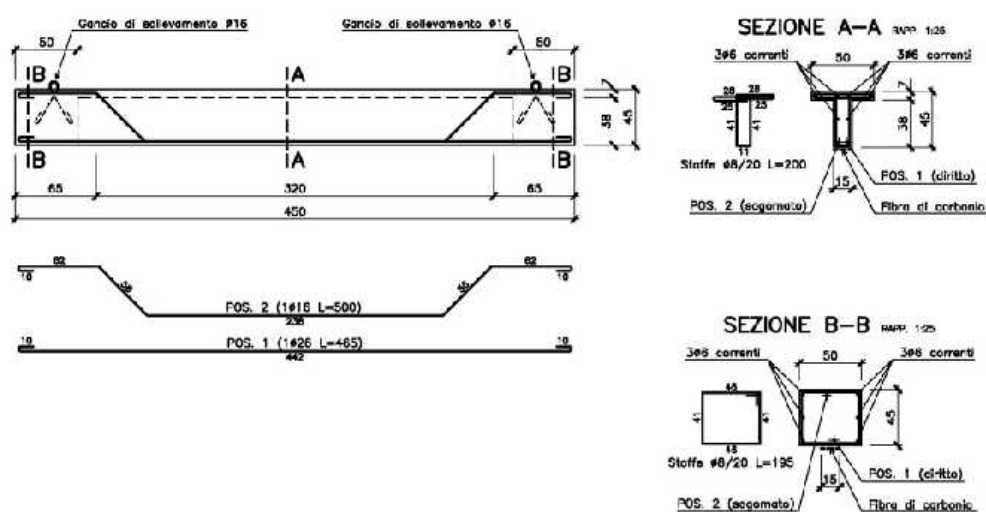
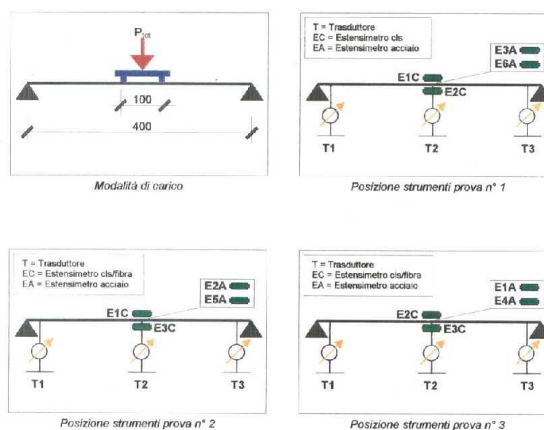


Fig. n°2: armatura dei travetti sacrificali

Foto n°2: realizzazione dei travetti sacrificali. Particolare dell'installazione degli estensimetri sulle barre d'armatura prima del getto di calcestruzzo



Fig. n°3: Prova effettuata all'ISTEDIL sui tre travetti sacrificali: schemi di carico e posizionamento degli estensimetri e dei trasduttori di spostamento.



Prova n° 1 – Deformazioni

DATA PROVA	ORA	CARICO (Kg)	Letture agli estensimetri ($\mu\text{m/m}$)				CICLI
			E1C	E2C	E3A	E6A	
30/10/01	8.53	0	0	0	0	0	1° CICLO - $T_i = 17.5^\circ\text{C}$
30/10/01	8.57	1895	-56	11	182	230	
30/10/01	9.00	3990	-118	16	361	469	
30/10/01	9.03	5985	-176	25	566	707	
30/10/01	9.06	7980	-247	25	790	953	
30/10/01	9.08	3990	-167	-8	452	562	
30/10/01	9.12	0	-14	-1	4	45	2° CICLO - $T_f = 18.8^\circ\text{C}$
30/10/01	9.29	1995	-88	-11	126	233	
30/10/01	9.31	3980	-151	-6	350	478	
30/10/01	9.33	5985	-210	-4	559	724	
30/10/01	9.35	7980	-276	-1	760	967	
30/10/01	9.38	9975	-344	-2	972	1218	
30/10/01	9.41	11970	-410	-10	1168	1400	
30/10/01	9.41	12768	-475	-18	1201	1408	
30/10/01	9.45	13699	COLLASSO				

DIAGRAMMA CARICHI - DEFORMAZIONI

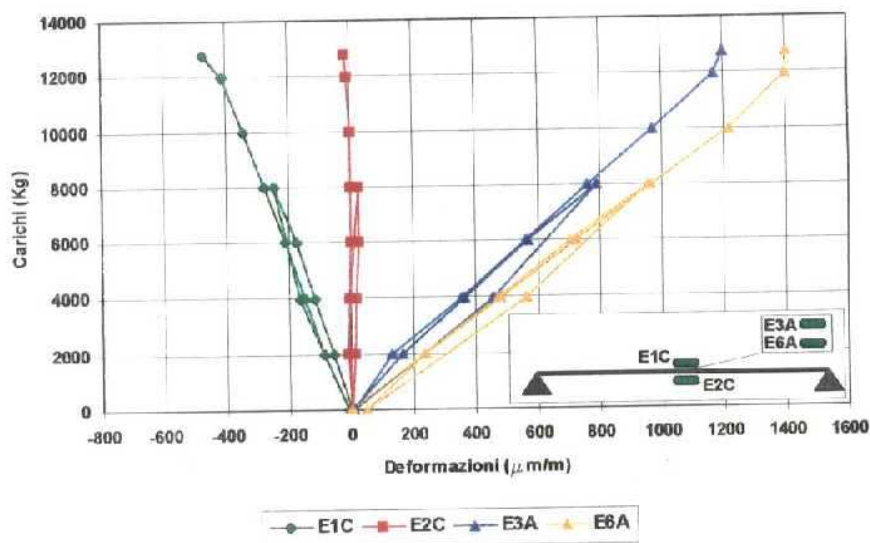


Fig. n°4: PROVA ISTEDIL: Diagramma carichi-deformazioni per il travetto sacrificale non rinforzato con fibre di carbonio.

Prova n° 1 – Spostamenti verticali

DATA PROVA	ORA	CARICO (Kg)	Letture ai trasduttori (mm)			CICLI
			T1	T2	T3	
30/10/01	8.53	0	0.00	0.00	0.00	1° CICLO - T _r = 17,6 °C
30/10/01	8.57	1995	0.16	1.00	0.20	
30/10/01	9.00	3990	0.33	2.11	0.38	
30/10/01	9.03	5985	0.55	3.43	0.57	
30/10/01	9.06	7980	0.77	5.18	0.75	
30/10/01	9.08	3990	0.53	2.52	0.55	
30/10/01	9.12	0	0.15	0.61	0.08	
30/10/01	9.29	1995	0.30	1.61	0.30	2° CICLO - T _r = 17,7 °C
30/10/01	9.31	3990	0.48	2.87	0.48	
30/10/01	9.33	5985	0.63	4.10	0.64	
30/10/01	9.35	7980	0.79	5.43	0.77	
30/10/01	9.38	9975	0.97	7.11	0.93	
30/10/01	9.41	11970	1.16	9.73	1.10	
30/10/01	9.41	12768	Trasduttori rimossi			
30/10/01	9.45	13699	COLLASSO			

DIAGRAMMA CARICHI - SPOSTAMENTI VERTICALI

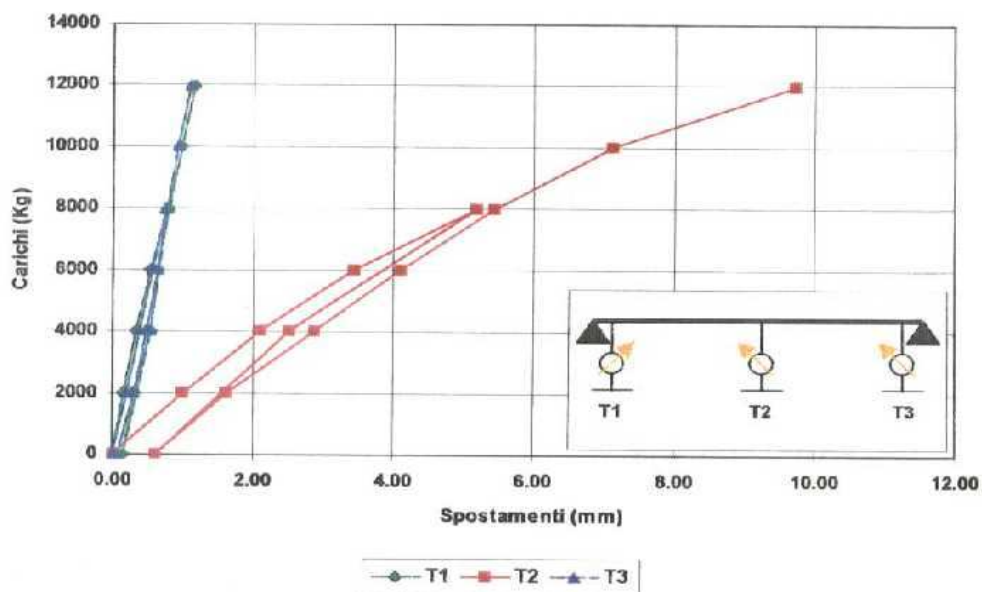


Fig. n°5: PROVA ISTEDIL: Diagramma carichi-spostamenti verticali per il travetto sacrificale non rinforzato con fibre di carbonio.

Prova n° 2 – Deformazioni

DATA PROVA	ORA	CARICO (Kg)	Letture agli estensimetri ($\mu\text{m/m}$)				CICLI
			E1C	E3C	E2A	E5A	
30/10/01	11.15	0	0	0	0	0	1° CICLO - $T_1 = 19.0^\circ\text{C}$
30/10/01	11.17	1995	-52	214	166	154	
30/10/01	11.19	3990	-101	468	362	342	
30/10/01	11.21	5985	-149	725	567	520	
30/10/01	11.22	7980	-212	925	750	694	
30/10/01	11.25	9975	-277	1147	960	879	
30/10/01	11.27	5985	-205	783	656	605	
30/10/01	11.30	0	-7	3	42	17	
30/10/01	11.38	3990	-107	424	396	349	2° CICLO - $T_2 = 21.5^\circ\text{C}$
30/10/01	11.40	7980	-224	914	771	702	
30/10/01	11.42	9975	-287	1134	965	881	
30/10/01	11.44	11970	-354	1381	1171	1056	
30/10/01	11.46	13965	-424	1600	1406	1229	
30/10/01	11.48	14896	-461	1649	1490	1302	
30/10/01	11.50	15960	-532	1804	1523	1378	
30/10/01	11.52	17024	-657	2585	1607	1334	
30/10/01	11.56	17995	-741	3443	1583	1318	
30/10/01	11.59	19019	-817	4293	1581	1327	
30/10/01	12.03	19684	COLLASSO - PEELING FIBRA ALL'APPOGGIO				

DIAGRAMMA CARICHI - DEFORMAZIONI

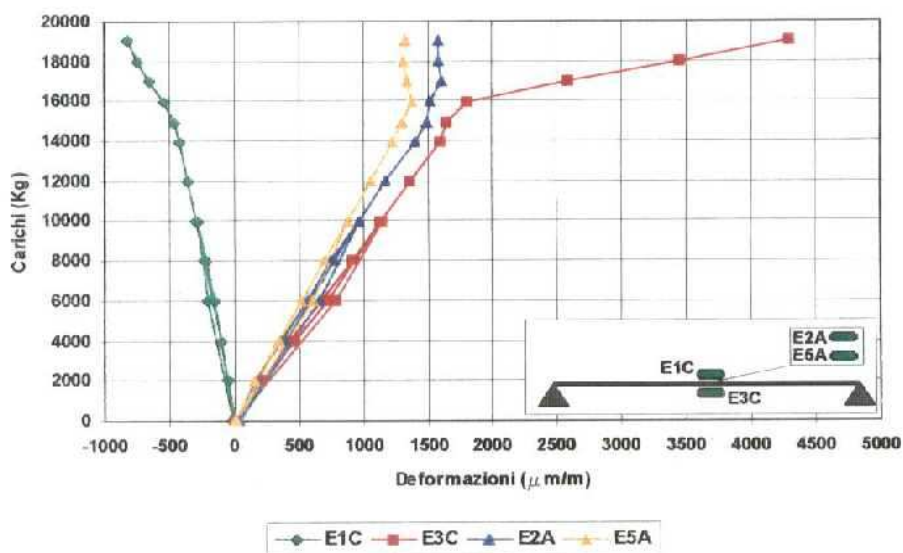


Fig. n°6: PROVA ISTEDIL: Diagramma carichi-deformazioni per il travetto sacrificale rinforzato con una lamina inferiore formata da quattro "pelli" di tessuto.

Prova n° 2 – Spostamenti verticali

DATA PROVA	ORA	CARICO (Kg)	Letture ai trasduttori (mm)			CICLI
			T1	T2	T3	
30/10/01	11.15	0	0.00	0.00	0.00	1° CICLO – T _r = 18.0 °C
30/10/01	11.17	1995	0.21	0.93	0.19	
30/10/01	11.19	3990	0.47	2.15	0.39	
30/10/01	11.21	5985	0.70	3.48	0.58	
30/10/01	11.22	7980	0.89	4.78	0.74	
30/10/01	11.25	9975	1.11	6.30	0.93	
30/10/01	11.27	5985	0.90	4.89	0.77	
30/10/01	11.30	0	0.31	1.13	0.27	
30/10/01	11.38	3990	0.66	3.20	0.56	2° CICLO – T _r = 21.5 °C
30/10/01	11.40	7980	0.98	5.33	0.81	
30/10/01	11.42	9975	1.14	6.47	0.93	
30/10/01	11.44	11970	1.34	7.96	1.09	
30/10/01	11.46	13965	1.56	9.67	1.26	
30/10/01	11.48	14896	1.66	10.69	1.34	
30/10/01	11.50	15960	1.81	12.49	1.47	
30/10/01	11.52	17024	1.99	15.59	1.67	
30/10/01	11.56	17995	Trasduttori rimossi			
30/10/01	11.59	19019				
30/10/01	12.03	19684	COLASSO – PEELING FIBRA			

DIAGRAMMA CARICHI - SPOSTAMENTI VERTICALI

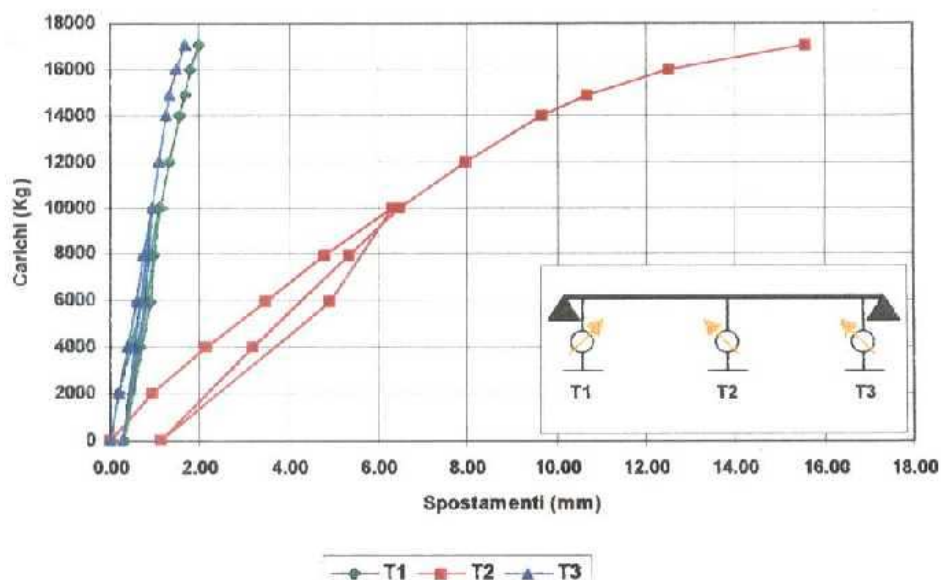


Fig. n°7: PROVA ISTEDIL: Diagramma carichi-spostamenti verticali per il travetto sacrificale rinforzato con una lamina inferiore formata da quattro “pelli” di tessuto.

Prova n° 3 – Deformazioni

DATA PROVA	ORA	CARICO (Kg)	Letture agli estensimetri (µm/m)				CICLI
			E2C	E3C	E1A	E4A	
30/10/01	14.33	0	0	0	0	0	1° CICLO – T _r = 22,0 °C
30/10/01	14.35	1995	-41	156	161	146	
30/10/01	14.37	3990	-98	355	348	319	
30/10/01	14.40	5985	-152	578	543	509	
30/10/01	14.41	7980	-206	804	726	697	
30/10/01	14.42	9975	-270	1049	933	880	
30/10/01	14.44	5985	-197	723	601	591	
30/10/01	14.46	0	-16	57	24	17	
30/10/01	14.50	3990	-122	433	366	350	2° CICLO – T _r = 22,8 °C
30/10/01	14.52	7980	-224	860	759	722	
30/10/01	14.55	9975	-283	1070	944	885	
30/10/01	14.58	11970	-344	1304	1145	1062	
30/10/01	15.01	13965	-407	1535	1350	1229	
30/10/01	15.04	15029	-443	1662	1455	1323	
30/10/01	15.06	15960	-477	1834	1471	1410	
30/10/01	15.08	17024	-519	2198	1502	1433	
30/10/01	15.11	17955	-580	2693	1528	1400	
30/10/01	15.13	19019	-646	3253	1452	1377	
30/10/01	15.15	19950	-710	3731	1423	1382	
30/10/01	15.18	21014	-798	4240	1378	1372	
30/10/01	15.20	21945	COLLASSO – PEELING FIBRA ALL'APPOGGIO				

DIAGRAMMA CARICHI - DEFORMAZIONI

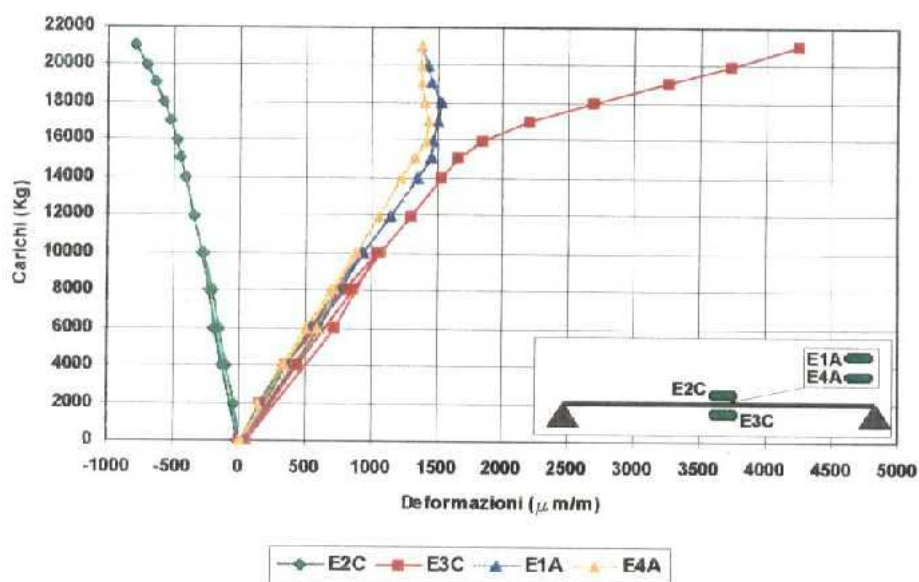


Fig. n°8: PROVA ISTEDIL: Diagramma carichi-deformazioni per il travetto sacrificale con lamina inferiore formata da sette “pelli” di tessuto.

Prova n° 3 – Spostamenti verticali

DATA PROVA	ORA	CARICO (Kg)	Letture ai trasduttori (mm)			CICLI
			T1	T2	T3	
30/10/01	14.33	0	0.00	0.00	0.00	1° CICLO – T _i = 22.0 °C
30/10/01	14.35	1995	0.34	0.98	0.25	
30/10/01	14.37	3990	0.65	2.05	0.43	
30/10/01	14.40	5985	0.97	3.29	0.62	
30/10/01	14.41	7980	1.29	4.72	0.84	
30/10/01	14.42	9975	1.57	6.25	1.06	
30/10/01	14.44	5985	1.38	4.69	0.83	
30/10/01	14.46	0	0.51	0.86	0.11	
30/10/01	14.50	3990	1.15	3.16	0.60	2° CICLO – T _i = 22.8 °C
30/10/01	14.52	7980	1.55	5.38	0.93	
30/10/01	14.55	9975	1.72	6.52	1.08	
30/10/01	14.58	11970	1.93	7.97	1.28	
30/10/01	15.01	13965	2.16	9.57	1.47	
30/10/01	15.04	15029	2.29	10.58	1.59	
30/10/01	15.06	15960	2.43	11.73	1.70	
30/10/01	15.08	17024	Trasduttori rimossi			
30/10/01	15.11	17955				
30/10/01	15.13	19019				
30/10/01	15.15	19950				
30/10/01	15.18	21014				
30/10/01	15.20	21945	COLLASSO – PEELING FIBRA			

DIAGRAMMA CARICHI - SPOSTAMENTI VERTICALI

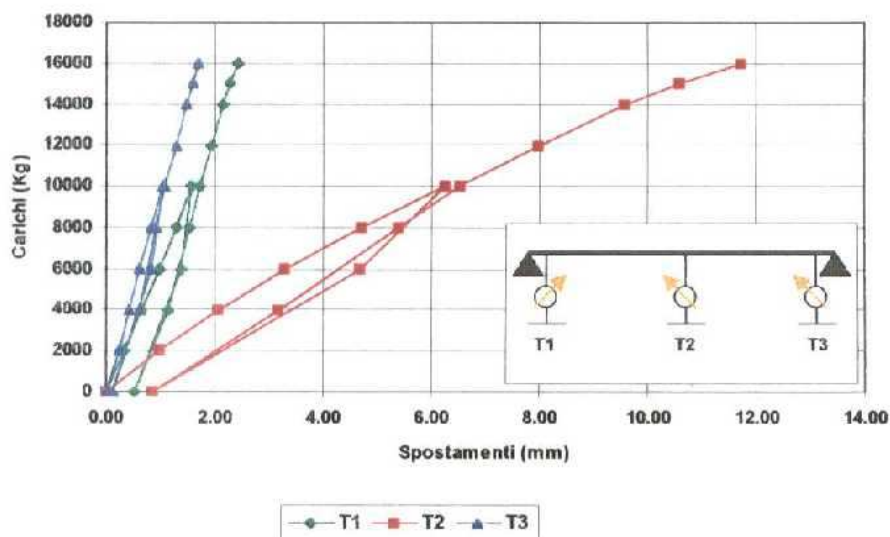


Fig. n°9: PROVA ISTEDIL: Diagramma carichi-spostamenti verticali per il travetto sacrificale con lamina inferiore formata da sette “pelli” di tessuto.

Durante il corso dei lavori si è poi realizzata una tradizionale prova di carico, nell'ambito delle operazioni di collaudo statico, sottoponendo a prova un singolo travetto rinforzato, ricavandone un buon comportamento elastico.

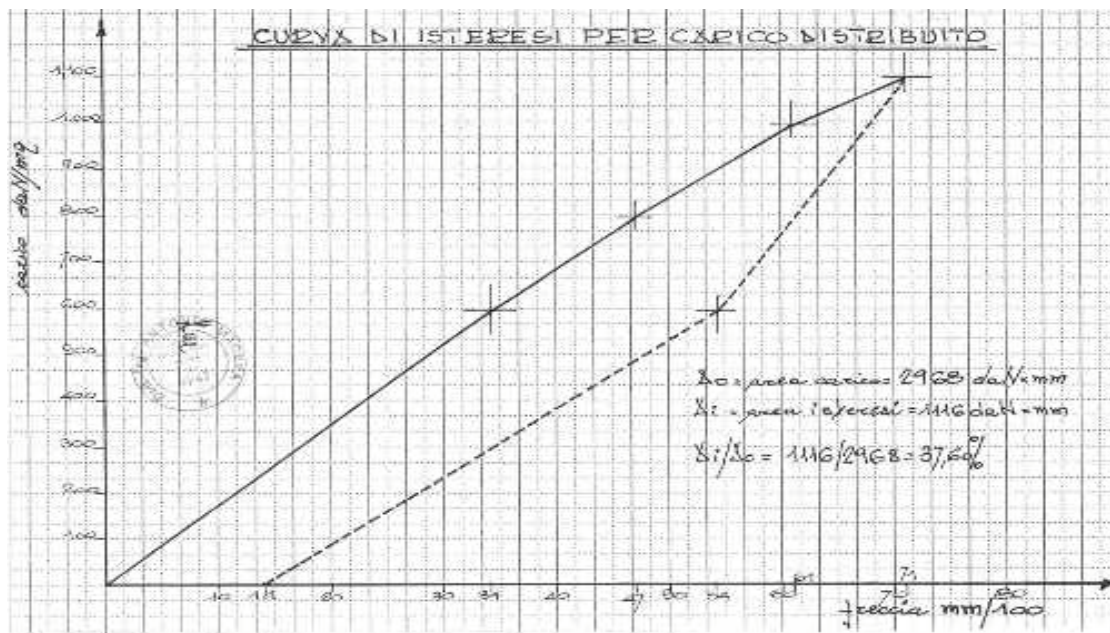


Fig. n°10: PROVA DI CARICO: Curva d'isteresi per un travetto di solaio rinforzato con lamina inferiore.

Foto n°3: PROVA DI CARICO di un travetto rinforzato: carico di una striscia di solaio con sacchetti di cemento.



Infine, a completamento delle sperimentazioni atte a convalidare le ipotesi di progetto, si sono effettuate delle prove di trazione su provini di fibra di carbonio, provini ricavati direttamente dal tessuto Betontex o dalle lamine Vacucarb.

Queste prove sono state effettuate presso il laboratorio sperimentale del DISTART dell'Università di Bologna.

Nella tabella che segue sono riportati i valori della tensione di rottura del materiale ed il suo modulo elastico.

Numero provino	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Tensione max (N/mm ²)	Deformazione alla tensione max (%)	E GPa
1	29.9	1.15	4207	1.31	305
2	29.9	1.15	41314	1.45	285
3	30.4	1.15	3811	1.49	278
4	29.2	1.15	3830	1.28	295

Fig. n°11: Prova di trazione su provini ricavati da lamina in fibra di carbonio (prova effettuata nel gennaio 2002 presso il laboratorio sperimentale per la resistenza dei materiali dell'Università di Bologna)

6. MATERIALE UTILIZZATO

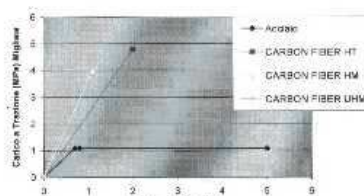
Le lamine applicate ECT-Vacucarb, prodotte dalla E.C.T., sono del tipo a fibra unidirezionale prodotte con tessuto BETONTEX (della ARDEA Progetti e Sistemi), laminate sotto vuoto, dotate di alta tenacità e post-curate in forno ad 80°. L'adesione sul calcestruzzo è stata affidata ad una resina CONCHEM, modello RV300/3, malta epossidica a base di resina e carica minerale, specifica per l'applicazione di lamine di carbonio preformate.

BETONTEX® : Scheda Tecnica N°6/2 - Gennaio 2002

Caratteristiche delle fibre di carbonio: (HT) alta tenacità, (HM) alto modulo, (UHM) altissimo modulo

Tipo	HT	HM	UHM
Tensione di rottura a trazione (MPa)	≥3500	≥3000	≥2500
(Kg/mm ²)	≥357	≥306	≥255
Modulo elastico a trazione (GPa)	240	390	640
(Kg/mm ²)	24400	40800	65300
Allungamento a rottura (%)	≥1,5	≥0,8	≥0,5
Densità (g/cm ³)	1,8	1,8	2,1

Diagramma
Carico Deformazione
di: Fibre di Carbonio,
HT, HM, UHM
ed Acciaio.



Il sistema di lamine in carbonio ECT-Vacucarb consente al progettista di richiedere la lamina di rinforzo secondo le proprie esigenze definendo:

- larghezza,
- lunghezza
- sezione della fibra di carbonio,
- modulo elastico della fibra di carbonio.



ARDEA -Progetti e Sistemi- Via Cristoni 58 - 40033 Casalecchio (Meridiana) -Bologna
Tel +39-0516133190 Fax +39-0516112231/+39-051302296

Fig. n°12: Scheda tecnica delle lamine ECT-VACUCARB

7. PREPARAZIONE DEI TRAVETTI

Una fase molto importante nell'esecuzione del lavoro è consistita nella preparazione dei travetti, per renderli idonei all'applicazione della lamina di rinforzo.

È stato quindi necessario asportare le tavelline inferiori e tutto il laterizio che formava cassero delle nervature dei travetti. Visto l'elevato degrado del cls. esistente (attribuibile soprattutto ad un cattivo confezionamento e messa in opera) si sono dovute saturare tutte le lacune presenti, previa eliminazione delle parti incoerenti. Tale lavoro è stato realizzato con malta cementizia tixotropica, applicata per piccoli strati sovrapposti.

Con la stessa malta cementizia è stata realizzata un'integrazione degli allargamenti a "coda di rondine" presenti sulle testate dei travetti: dette zone di maggior larghezza – destinate a resistere alle sollecitazioni taglianti – sono state allungate in modo tale da migliorare la resistenza suddetta.

SEZIONE TIPICA POST-OPERAM

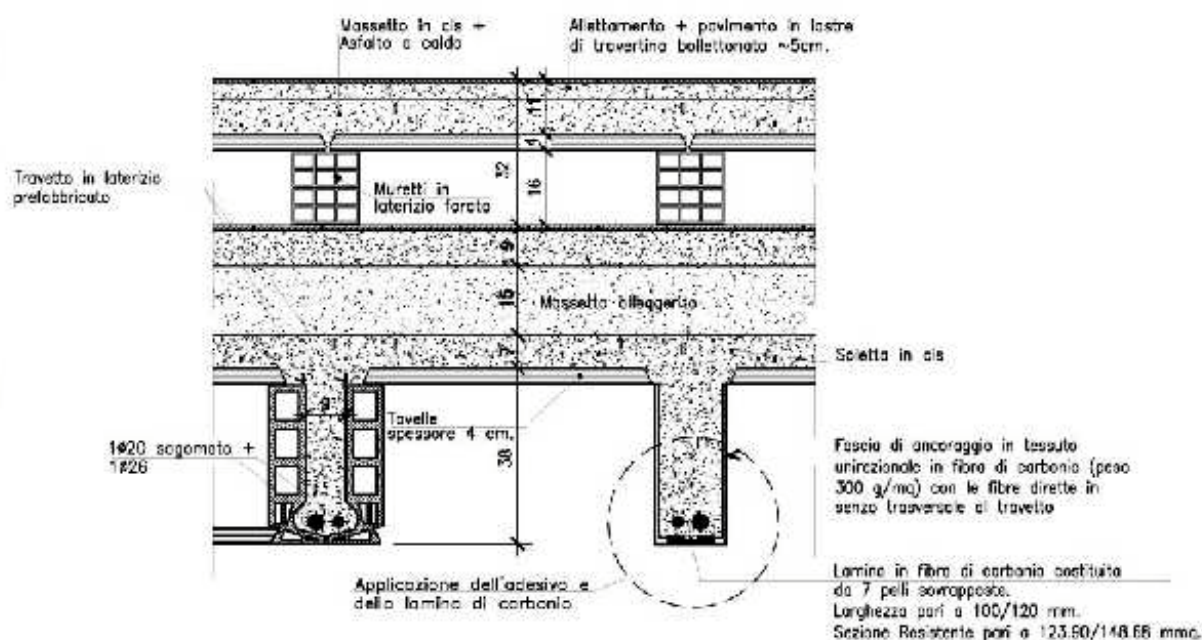


Fig. n° 13: sezione tipica post-operam.



Foto n°4: particolare dell'aumento di lunghezza degli allargamenti terminali dei travetti "a coda di rondine", finalizzato all'aumento della resistenza a taglio.

8. VARIANTE CON RISANAMENTO DI TRAVETTI LESIONATI

Durante l'esecuzione delle opere, una volta asportati alcuni controsoffitti, si è riscontrata la presenza di una zona di solaio con i travetti danneggiati a taglio, con lesioni inclinate di ampiezza significativa.

Si è allora deciso di procedere ad un preventivo risanamento dei travetti, utilizzando anche qui del materiale composito con il quale restituire integrità ai travetti medesimi.

Si è quindi proceduto con questa sequenza di lavorazioni:

- puntellamento cautelare delle strutture;
- demolizione delle sovrastrutture presenti sopra il solaio (pavimenti, tavellonato ecc.) fino a scoprirne la struttura rustica;
- sarcitura delle lesioni con uso di resina pura, da iniettarsi previa stuccatura delle labbra della lesione con analoga pasta epossidica;
- esecuzione di una fasciatura del fondo (intradosso) e dei fianchi dei travetti con uso di tessuto unidirezionale, di grammatura pari a 300 g/mq., disposti in vario modo (cioè con le fibre in direzione longitudinale e fasce trasversali vicino all'inizio delle code di rondine).

La suddetta fasciatura del travetto aveva lo scopo di assicurare il ripristino della continuità strutturale della sezione di c.a., aggiungendo inoltre un rinforzo a taglio, costituito da due bande di tessuto (con fibre disposte in senso trasversale) nelle zone di massima sollecitazione tagliante.

La fasciatura è stata completata da tre striscie di tessuto, disposte in direzione longitudinale, che hanno la funzione di "terminali d'ancoraggio" (due sui fianchi ed uno all'intradosso del travetto), atti ad impedire il fenomeno della delaminazione del rinforzo appena indicato.

Una volta terminate queste operazioni si è operato anche un rinforzo estradossale, innalzando l'altezza resistente del solaio mediante il getto di nuove nervature superiori, rese solidali alla vecchia struttura con connettori diffusi.

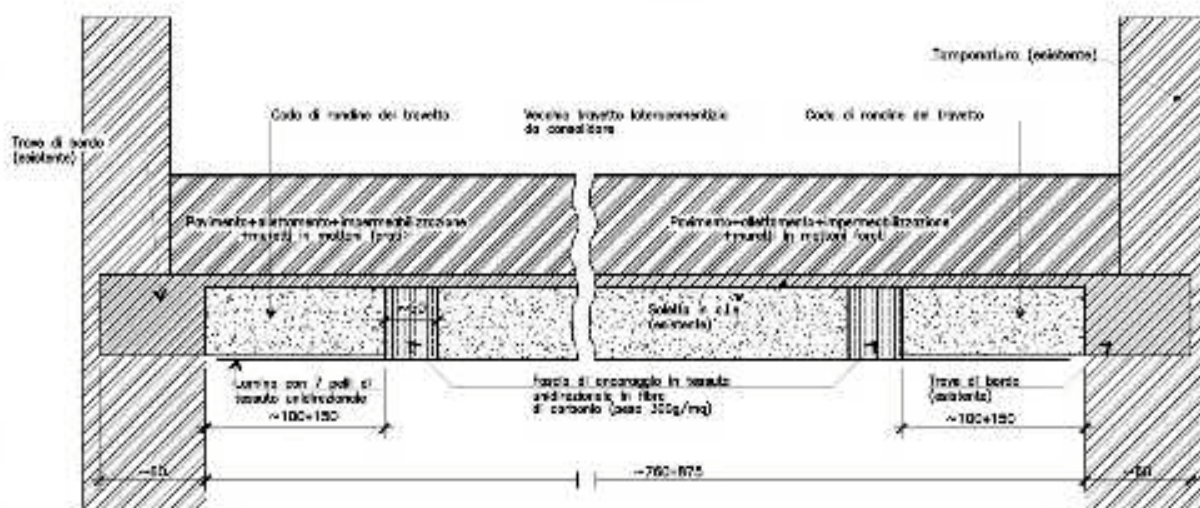


Fig. n°14: - zona con travetti lesionati - sezione longitudinale tipica del solaio con rinforzo intradossale unidirezionale e sui fianchi



Foto n°5: : - zona con travetti lesionati - vista delle parti terminali dei travetti con le varie strisce di tessuto di rinforzo.

9. PROTEZIONE AL FUOCO

Per assicurare una buona resistenza al fuoco dell'insieme strutturale (R120') si sono adottati due distinti presidi:

1. l'utilizzo di una vernice intumescente specifica per materiali compositi;
2. la protezione dell'intradosso del solaio con
3. un controsoffitto in cartongesso.

10. CONCLUSIONI

L'intervento fin qui descritto è testimonianza della validità di un procedimento di rinforzo con lamine intradossali già più volte adottato nel trattamento di strutture in calcestruzzo armato. In questo caso la particolarità della sua applicazione risiede nella conformazione dei travetti di solaio e nel forte sovraccarico permanente cui gli stessi erano da anni sottoposti.

La versatilità della tecnica è stata inoltre confermata dalla variante in corso d'opera mediante la quale si sono sanate delle situazioni lesionative molto gravi, adottando in questo caso un rinforzo anche sui fianchi delle nervature dei travetti.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare

- la Direzione Lavori ed il Provveditorato alle OO.PP. per il Lazio per la disponibilità ed il supporto tecnico fornito;
- le Imprese S.I.T.E.R.S. ed E.C.T. per l'impegno profuso nell'esecuzione dei lavori e nell'organizzazione delle varie prove sperimentali effettuate;
- la F.A.O. per l'organizzazione di saggi e prove e per l'impegno dei suoi Tecnici;
- l'ing. Marco Arduini per il suo contributo nella stesura del progetto.