

PROVINCIA DI POTENZA
UFFICIO EDILIZIA E PATRIMONIO

TAV. N.

STR-C-R08

LAVORI DA REALIZZARSI PRESSO I LABORATORI ANNESSI ALL'ISTITUTO
"TEN. REMO RIGHETTI" DI MELFI DA ATTUARSI MEDIANTE:
OPCM N.171/2014 INTERVENTO DI ADEGUAMENTO
SISMICO DELL'EDIFICIO N.2.

P R O G E T T O E S E C U T I V O

DATA: FEB 2019

SCALA: COME INDICATO

TITOLO: ADEGUAMENTO BLOCCO LABORATORI ITIS
RELAZIONE SUI MATERIALI E TECNICHE DI INTERVENTO

RESPONSABILE UNICO
DEL PROCEDIMENTO:

ING. TIZIANA CAPPA

PROGETTISTA
ARCHITETTONICO
E IMPIANTI:

GEOM. DONATO MONETTA

PROGETTISTA
STRUTTURE:

ING. ANTONIO NARDUCCI

Descrizione generale dell'opera

L'edificio oggetto del presente studio, fa parte del complesso scolastico Istituto di Istruzione Superiore "Ten. Remo Righetti" ITIS – IPSIA di Melfi, è costituito da due corpi ed è adibito a laboratorio ed officina.

Realizzato negli anni '70 e progettato secondo le normative all'epoca vigenti, l'edificio è composto da una struttura in c.a. con schema di telai piani trasversali collegati, in senso longitudinale, da travi di collegamento disposte a più quote e da solai di copertura a falde piane inclinate.

I due corpi, entrambi di forma rettangolare, hanno dimensione in pianta pari a circa 29.18m x 16.56m per il corpo 1 e circa 9.98m x 16.56m per il corpo 2. Questi risultano sfalsati, in direzione longitudinale, di circa 2.83m. Il corpo 1 composto da un solo piano fuori terra, mentre il corpo 2 da due piani, dei quali uno seminterrato.

La copertura è composta da una successione di falde singole in laterocemento. L'altezza interpiano è pari a 3.24 mt al piano seminterrato mentre varia tra 5.30 m e 6.40 mt al piano terra. Le superfici di piano sono, per il corpo 1, pari a 483.22 mq e per il corpo 2 di 165.27mq. La volumetria totale risultante è, rispettivamente, di 2826.84 mc e 1502.30 mc, per un totale di 4329.14mc.

Descrizione struttura

I due edifici costituenti i laboratori dell'ITIS di Melfi sono stati realizzati all'inizio degli anni 70, e sono stati progettati secondo le norme tecniche vigenti all'epoca; sono costituiti da una struttura intelaiata, con travi nelle due direzioni ortogonali. In particolare, è presente una successione di telai piani tutti con le stesse dimensioni, collegati da travi trasversali. Il solaio di interpiano è in laterocemento, con uno spessore di 20 cm (16 + 4). La luce netta massima è di m. 4.40, con un rapporto altezza – luce inferiore ad 1/25. Il solaio di copertura è anch'esso in laterocemento, con un'altezza di 16 cm (12 + 4). Il corpo scala di collegamento con il piano seminterrato è stato realizzato su una struttura indipendente dalla struttura portante dell'edificio. I pilastri sono tutti rettangolari, delle dimensioni 40x60 cm. Le travi in elevazione sono emergenti, di dimensioni di 30x40, 40x40, 40x50, 40x60 e 40x80, a seconda dell'impalcato e della direzione.

Non sono risultate disponibili informazioni di progetto circa i materiali (calcestruzzo ed acciaio) utilizzati, desumibili da certificati di prova o da elaborati di progetto.

Lo stato generale di conservazione è sembrato generalmente buono, vista anche l'epoca in cui i due edifici sono stati realizzati, e non si sono riscontrate lesioni rilevanti o cedimenti fondali.

Caratterizzazione meccanica dei materiali

Per la definizione delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei materiali costituenti la struttura, si è fatto riferimento ai risultati delle indagini distruttive e non distruttive, eseguite in occasione dello studio di vulnerabilità commissionato dalla Provincia di Potenza e, per conseguire un livello di conoscenza più accurato, si è proceduto ad integrare i dati a disposizione mediante una campagna di indagini mirata ad approfondire la conoscenza delle caratteristiche di resistenza delle travi e della fondazione.

Informazioni derivanti dal precedente studio di vulnerabilità

Analizzando lo studio condotto in passato infatti, si è visto che in quell'occasione furono oggetto di indagine solamente i pilastri, dai quali furono estratte tre carote per il corpo 1 e tre carote per il corpo 2.

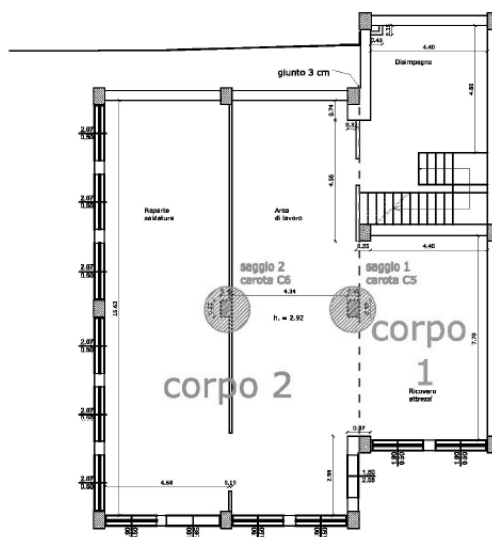


Figura 1 - Localizzazione dei carotaggi effettuati sui pilastri del piano esinterrato del corpo 2.

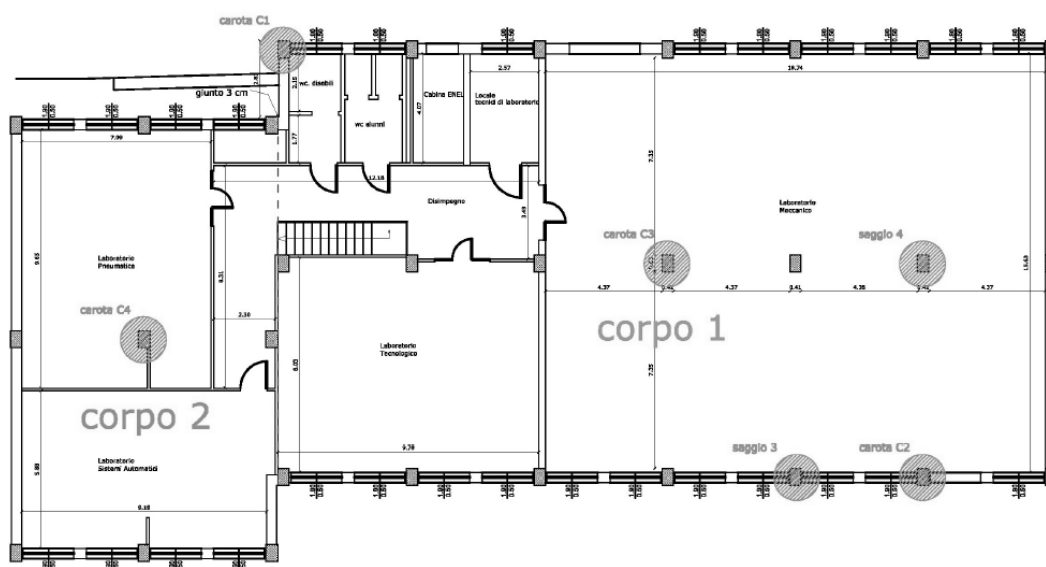


Figura 2 - Localizzazione dei carotaggi effettuati sui pilastri del piano terra del corpo 1 e del corpo 2.

I risultati ottenuti dalle prove meccaniche condotte sulle carote sono riportati di seguito:

Tabella 1 - Risultati delle prove meccaniche eseguite sulle carote estratte dai pilastri del corpo 1.

| Edificio | Piano | ID Carota | D (cm) | H (cm) | $f_{car,i}$ (Mpa) | $C_{h,d}$ | C_{dia} | C_a | C_d | $f_{cis,i}$ (Mpa) | f_{cm} (Mpa) |
|----------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|-------------------|
| 1 | Terra | c01 | 10 | 18 | 29.4 | 0.973 | 1.000 | 1 | 1.1 | 31.5 | 29.6 |
| 1 | Terra | c02 | 10 | 19.8 | 32 | 0.997 | 1.000 | 1 | 1.1 | 35.1 | |
| 1 | Terra | c03 | 10 | 19.7 | 18.7 | 0.996 | 1.000 | 1 | 1.2 | 22.4 | |

Tabella 2 - Risultati delle prove meccaniche eseguite sulle carote estratte dai pilastri del corpo 2.

| Edificio | Piano | ID Carota | D (cm) | H (cm) | $f_{car,i}$ (Mpa) | $C_{h,d}$ | C_{dia} | C_a | C_d | $f_{cis,i}$ (Mpa) | f_{cm} (Mpa) |
|----------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|-------------------|
| 2 | Terra | c04 | 10 | 19.9 | 11.6 | 0.999 | 1.000 | 1 | 1.2 | 13.9 | 13.3 |
| 2 | Semint | c05 | 10 | 19.5 | 12.9 | 0.994 | 1.000 | 1 | 1.2 | 15.4 | |
| 2 | Semint | c06 | 10 | 19.7 | 9 | 0.996 | 1.000 | 1 | 1.2 | 10.8 | |

Oltre ai carotaggi, sempre sui pilastri, sono state effettuate delle tracce, mediante asportazione di copriferro, per determinare le caratteristiche geometriche dell'armatura dei pilastri. L'esito di tale operazione ha mostrato una netta uniformità di armatura tra tutti i pilastri, senza alcuna distinzione né tra i corpi, né tra i livelli diversi. L'armatura longitudinale riscontrata è composta da 4Ø16 su entrambi i lati corti dei pilastri, mentre, riguardo l'armatura trasversale, sono state riscontrate staffe Ø6 con passo di 20 cm.

Riguardo le caratteristiche meccaniche dell'acciaio che compone le armature, non sono stati estratti provini da sottoporre a prove distruttive. L'estrazione di barre avrebbe indebolito troppo i pilastri, già debolmente armati ed il cui calcestruzzo, soprattutto per l'edificio 2, si presenta di caratteristiche scadenti, inoltre non sono presenti elementi poso sollecitati da cui estrarre campioni in sicurezza. Si è deciso, quindi, di utilizzare nei calcoli, come resistenza media, quella minima possibile secondo le normative all'epoca vigenti (R.D. 2229/1939) e cioè pari a 220 Mpa.

Campagna indagini eseguita in occasione del presente studio

La campagna di indagini pianificata, come già anticipato, ha avuto lo scopo di migliorare lo scarso livello di conoscenza riguardo le caratteristiche di resistenza delle travi in elevazione. Le indagini eseguite sono state di tre tipi:

- Tipo 1: **Rimozione del copriferro**

Mediante questo tipo di indagine, eseguito all'intradosso delle travi è stato possibile conoscere le effettive caratteristiche delle armature presenti, in termini di numero e diametro. In particolare, è stata eseguita una traccia in senso trasversale per indagare l'armatura longitudinale, ed una traccia in direzione longitudinale per indagare l'armatura trasversale.

- Tipo 2: **Pacometro**

Questo tipo di indagine appartiene ai metodi detti “non distruttivi” in quanto non comporta alcuna operazione di scasso e demolizione. Mediante l’impiego del pacometro, è possibile rilevare la presenza di armature in una preassegnata direzione quindi l’informazione che si può ricavare riguarda il numero di barre e la distanza tra queste.

- Tipo 3: **Carotaggi**

Questo tipo di indagine, come è facile intuire, appartiene ai metodi detti “distruttivi” in quanto consiste nel bucare letteralmente gli elementi strutturali, in questo caso le travi, per estrarre un provino di materiale da sottoporre a prova di schiacciamento in laboratorio.

Per quanto riguarda il corpo 1, sono state eseguite 5 indagini di tipo 1, 1 indagine di tipo 2 e 4 indagini di tipo 3, tutte al piano terra.

Sul corpo 2 invece, sono state eseguite 4 indagini di tipo 1, delle quali 2 al piano seminterrato e 2 al piano terra e 2 indagini di tipo 2 al piano terra.

La localizzazione dei punti oggetto di indagine è riportata di seguito nella Figura 3.

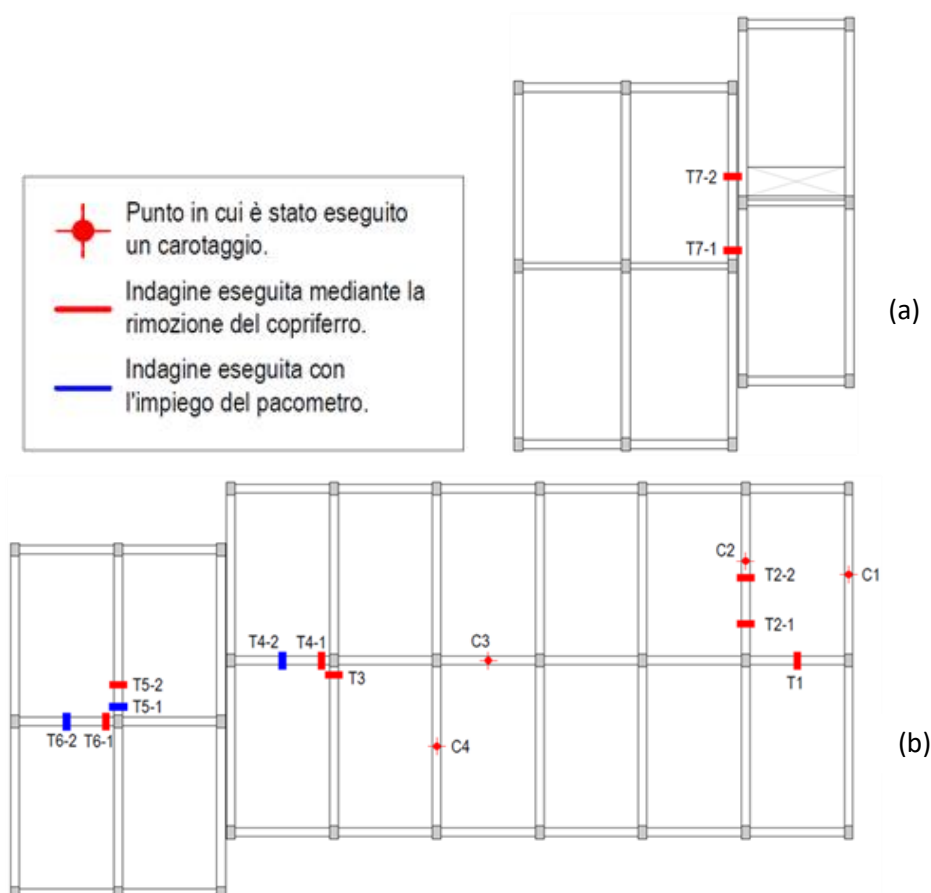


Figura 3 - Localizzazione dei punti oggetto di indagine individuati nel a) piano seminterrato e b) piano terra.

Dalle indagini di tipo 1 e 2, è emerso che le travi principali di sezione 40x60cm che compongono i telai, sulle quali poggiano le falde di copertura hanno armatura inferiore variabile da 3Ø16 in corrispondenza delle estremità fino a 7Ø16 in corrispondenza della mezzeria, mentre le travi di collegamento di sezione 30x40cm, 40x40cm, hanno armatura inferiore pari a 2Ø14 in corrispondenza delle estremità e 3Ø14 in corrispondenza della mezzeria.

Riguardo l'armatura longitudinale invece, è stata riscontrata uniformità dei diametri e dei passi su tutte le travi indagate ed in particolare, sono state rilevate staffe con diametro Ø6 poste ad un passo medio di circa 20cm.

Tabella 3 – riepilogo indagini non distruttive eseguite.

| ID RILIEVO | SEZIONE | | STAFFE | | | | ARMATURA INFERIORE | | | | ARMATURA SUPERIORE | | | |
|---------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|---------------|---------------------|----------------------|-------------|-----------|---------------------|--------------------|-------------|-----------|---------------|
| | B [cm] | H [cm] | Tipo rilievo | Φ [mm] | Passo [cm] | Tipo armatura | Tipo rilievo | N. barre | Φ [mm] | Tipo armatura | Tipo rilievo | N. barre | Φ [mm] | Tipo armatura |
| T1 | 30 | 40 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 3 | 14 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T2-1 | 40 | 75 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 5 | 16 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T2-2 | 40 | 75 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 7 | 16 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T3 | 40 | 75 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 3 | 16 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T4-1 | 30 | 40 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 2 | 14 | liscia | pacometro | 3 | 14 | liscia |
| T4-2 | 30 | 40 | pacometro | 6 | 20 | liscia | pacometro | 3 | 14 | liscia | pacometro | 2 | 14 | liscia |
| T5-1 | 40 | 75 | pacometro | 6 | 20 | liscia | pacometro | 3 | 16 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T5-2 | 40 | 75 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 5 | 16 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T6-1 | 30 | 40 | rimozione copriferro | 6 | 20 | liscia | rimozione copriferro | 2 | 14 | liscia | pacometro | 3 | 14 | liscia |
| T6-2 | 30 | 40 | pacometro | 6 | 20 | liscia | pacometro | 3 | 14 | liscia | non eseguito | - | - | - |
| T7-1 | 40 | 80 | rimozione copriferro | 6 | 20 | aderenza migliorata | rimozione copriferro | 3 | 16 | aderenza migliorata | non eseguito | - | - | - |
| T7-2 | 40 | 80 | rimozione copriferro | 6 | 20 | aderenza migliorata | rimozione copriferro | 7 | 16 | aderenza migliorata | non eseguito | - | - | - |

Le resistenze misurate direttamente dallo schiacciamento delle carote risentono di diversi fattori, con risultati generalmente differenti da quelli ottenuti su provini standard.

In particolare:

- le modalità di preparazione e di stagionatura;
- la posizione del campione nell'elemento strutturale;
- il disturbo arrecato al campione durante le operazioni di prelievo;
- le dimensioni delle carote;
- l'eventuale presenza di armature nel campione.

Alcuni fattori tendono a far sottostimare ed altri a sovrastimare la resistenza rispetto a quella degli analoghi provini standard. Per correggere tali differenze si è fatto ricorso a coefficienti correttivi opportunamente calibrati, mostrati di seguito.

Pertanto, per convertire le N resistenze ottenute sulle carote $f_{car,i}$ nelle corrispondenti resistenze insitu $f_{cis,i}$ è stata adottata la seguente relazione:

$$f_{cis,i} = (C_{h,D} * C_{dia} * C_a * C_d) f_{car,i}$$

dove:

- $C_{h,D}$ è il coefficiente correttivo per rapporti h/D diversi da 2, pari a: $C_{h,D} = 2 / (1.5 + D/h)$;
- C_{dia} è il coefficiente correttivo relativo al diametro, da assumere pari a 1.06, 1.00 e 0.98 per D pari, rispettivamente, a 50, 100 e 150 mm ed ottenuto per interpolazione per diametri intermedi;
- C_a è il coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse, pari ad 1 in assenza di armature e variabile tra 1.03 per barre di piccolo diametro ($\varnothing 10$) a 1.13 per barre di diametro elevato ($\varnothing 20$).
- C_d è il coefficiente correttivo per tener conto del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione, pari ad 1.20 per $f_{car} < 20 \text{ MPa}$ e ad 1.10 per $f_{car} > 20 \text{ MPa}$.

Dalle resistenze cilindriche $f_{cis,i}$ è stata infine ricavata la resistenza media in situ riferita al calcestruzzo delle travi in elevazione f_{cm} .

Tutti i valori calcolati e i coefficienti utilizzati sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 4 – riepilogo risultati prove distruttive eseguite.

| ID carota | D [mm] | H [mm] | $f_{car,i}$ [Mpa] | $C_{h,D}$ | C_{dia} | C_a | C_d | $f_{cis,i}$ [Mpa] | f_{cm} [Mpa] |
|--------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|-------------------|
| C1 | 94,0 | 94,4 | 23,4 | 0,801 | 1,01 | 1 | 1,10 | 20,82 | 18,17 |
| C2 | 94,0 | 94,5 | 16,9 | 0,802 | 1,01 | 1 | 1,20 | 16,43 | |
| C3 | 94,0 | 94,0 | 21,8 | 0,800 | 1,01 | 1 | 1,10 | 19,38 | |
| C4 | 94,0 | 94,6 | 16,5 | 0,802 | 1,01 | 1 | 1,20 | 16,04 | |

La resistenza cilindrica da adottare nei calcoli f_{cd} è generalmente riferita al valore medio delle N resistenze in situ $f_{cis,i}$, modificata in funzione dei valori del fattore di confidenza relativo al livello di conoscenza acquisito, ai coefficienti di sicurezza utilizzati ed al tipo di verifica da effettuare.

Pertanto la resistenza di calcolo utilizzata nelle verifiche è ottenuta nel modo seguente:

$$f_{cd} = f_{cm} / (\gamma_{m,c} \cdot FC)$$

dove f_{cm} è la resistenza cilindrica media, $\gamma_{m,c} = 1,5$ è il coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo e FC è il fattore di confidenza, posto pari ad 1,20, poiché il livello di conoscenza acquisito è il livello LC2.

Ispezione fondazione

Per avere informazioni più dettagliate sulle caratteristiche della fondazione, è stato effettuato uno scavo dal quale è emerso che le fondazioni sono di tipo diretto e costituite da plinti trapezoidali a pianta rettangolare aventi dimensione in pianta pari a 1.80 m x 2.00 m.

L'altezza dei plinti è pari a 60 cm (20 + 40) e questi risultano collegati lungo il perimetro dell'edificio da travi di sezione 40 cm x 55 cm. Il piano di posa della fondazione dei due corpi è situato a quote differenti ed in particolare, si trova a circa 2.40 m al di sotto della quota di calpestio del piano terra nel corpo 1 ed a circa 2.40 m al di sotto della quota di calpestio del piano seminterrato nel corpo 2.

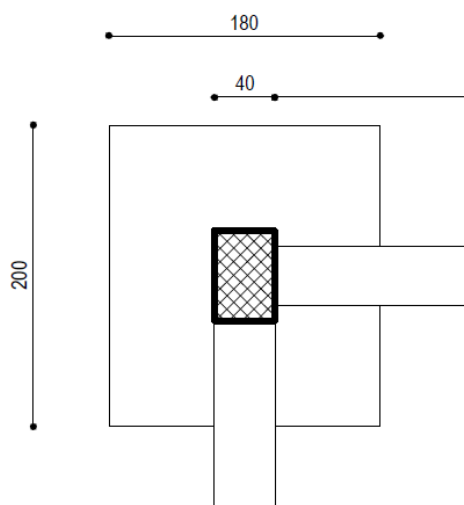


Figura 4 - Vista in pianta del plinto.

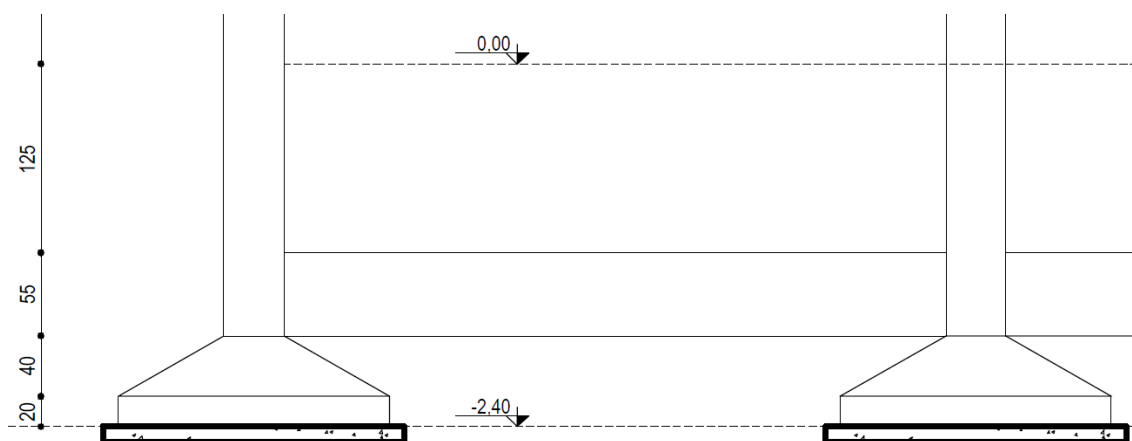


Figura 5 - Vista in sezione.

Interventi di adeguamento sismico

Gli interventi proposti, riguardano l'applicazione alla struttura esistente di materiali compositi costituiti da fibre ad alta resistenza immerse in una matrice polimerica.

Nei compositi fibrorinforzati le fibre svolgono il ruolo di elementi portanti sia in termini di resistenza che di rigidità, mentre la matrice, oltre a proteggere le fibre, funge da elemento di trasferimento degli sforzi tra le fibre e tra queste ultime e l'elemento strutturale a cui il composito è stato applicato. Le fibre possono essere disposte in tutte le direzioni, secondo i dati di progetto, in maniera tale da ottimizzare le proprietà meccaniche del composito nelle direzioni desiderate.

Nel caso in esame, si è deciso di eseguire quattro tipologie di interventi:

1. Incremento della resistenza a taglio del pannello di nodo mediante impiego di fibre quadriassiali "MAPEI MapeWrap QUADRI-AX 380"
2. Confinamento delle estremità dei pilastri mediante impiego di fibre uniassiali "MAPEI MapeWrap UNI-AX HM 300"
3. Rinforzo a flessione delle travi principali mediante impiego di fibre uniassiali "MAPEI MapeWrap UNI-AX HM 300" e lamine poltruse "Mapei Carboplate System E170"
4. Rinforzo a taglio delle estremità delle travi mediante impiego di fibre uniassiali "MAPEI MapeWrap UNI-AX HM300"

Incremento della resistenza a taglio del pannello di nodo

Essendo il nodo strutturale per definizione elemento di congiunzione di diversi elementi strutturali, questo sarà soggetto ad azioni che agiranno in più direzioni. Per questo motivo, in questo tipo di intervento è consigliato l'impiego di fibre aventi maglia quadriassiale, in grado di garantire una resistenza adeguata in 4 direzioni differenti. Il tessuto va applicato sulle facce del nodo che non sono confinate e su quelle che lo sono parzialmente, come mostrato in figura:

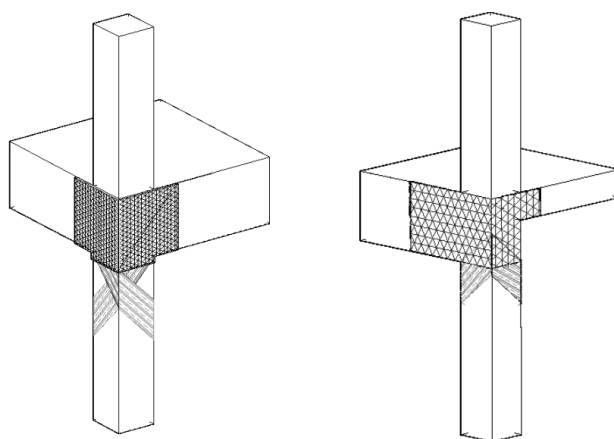


Figura 6 - Schema di applicazione del tessuto quadriassiale in corrispondenza dei pannelli di un nodo d'angolo sia nel caso di due travi emergenti (sx) sia nel caso di una trave emergente ed una a spessore (dx). (Fonte ReLuis)

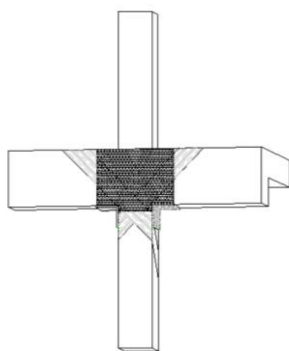


Figura 7 - Schema di applicazione del tessuto quadriassiale in corrispondenza del pannello di un nodo intermedio. (Fonte ReLuis)

Confinamento delle estremità dei pilastri

Il confinamento delle estremità dei pilastri consente di conferire alle stesse un significativo incremento della resistenza a taglio e della capacità deformativa; esso ha anche un effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali laddove il passo delle staffe sia molto rado. Per l'estremità superiore del pilastro, l'incremento di resistenza a taglio conferita dal confinamento è anche benefico nei riguardi dell'azione tagliente aggiuntiva dovuta al puntone che si forma nella tamponatura. Il confinamento delle estremità dei pilastri verrà realizzato mediante fasciatura delle stesse con fibre con maglia uniassiale.

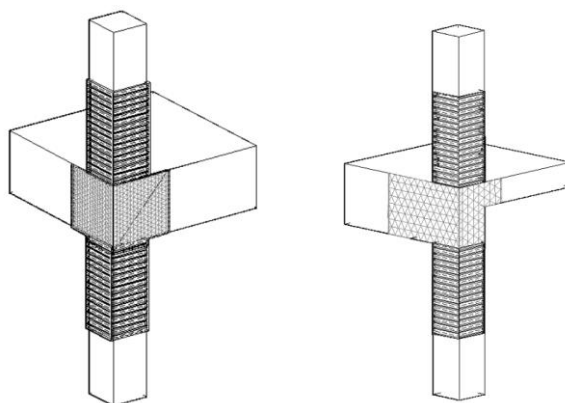


Figura 8 - Schema di applicazione del tessuto uniassiale in corrispondenza delle estremità dei pilastri di un nodo d'angolo sia nel caso di due travi emergenti (sx) sia nel caso di una trave emergente ed una a spessore (dx). (Fonte ReLuis)

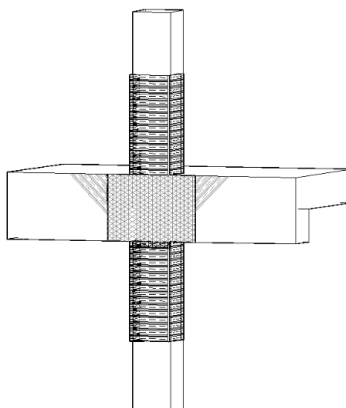


Figura 9 - Schema di applicazione del tessuto uniassiale alle estremità di un pilastro d'angolo. (Fonte ReLuis)

Rinforzo a flessione delle travi

Tale rinforzo verrà realizzato, mediante materiali compositi, disponendo tessuti unidirezionali o lamine poltruse in fibra di carbonio adesi all'intradosso dell'elemento strutturale; la presenza sulla stessa trave anche di un rinforzo a taglio, consente di impiegarlo come ancoraggio d'estremità del rinforzo a flessione.

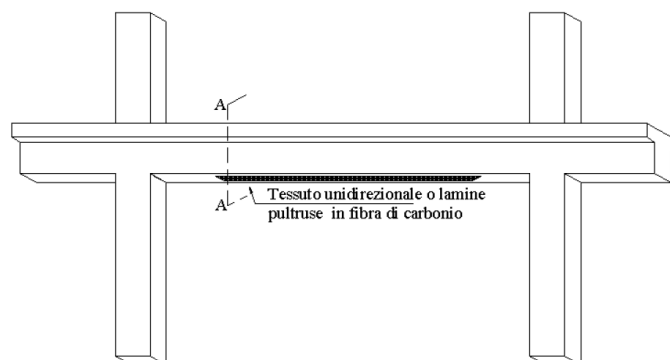


Figura 10 - Schema di applicazione del tessuto a maglia uniaassiale o lamine poltruse in fibra di carbonio all'intradosso della trave. (Fonte ReLuis)

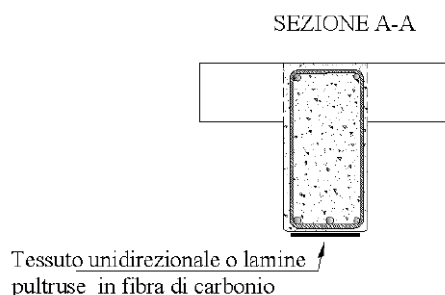


Figura 11 - Vista in sezione.

Rinforzo a taglio delle estremità delle travi

L'incremento di resistenza a taglio delle estremità delle travi consente di prevenire una eventuale crisi per taglio, secondo un meccanismo fragile che potrebbe attivarsi nel caso in cui la resistenza del calcestruzzo sia relativamente bassa e/o le armature a taglio siano carenti. Nel caso di utilizzo di materiali compositi, essa può essere realizzata mediante una fasciatura ad U con tessuto in carbonio unidirezionale che funge anche da ancoraggio per il rinforzo con tessuto quadriassiale del pannello di nodo.

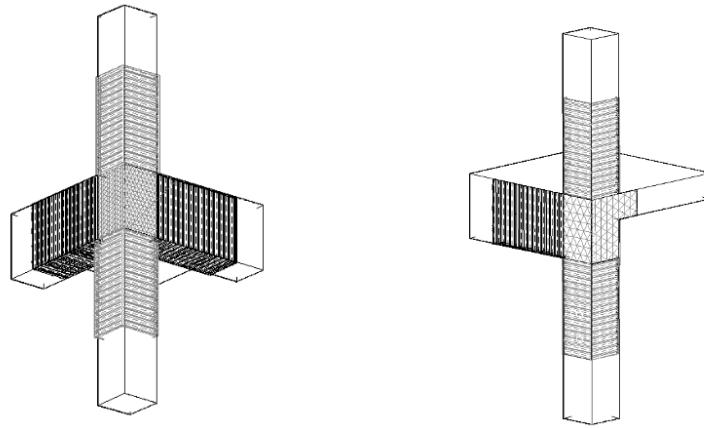


Figura 12 - Schema di applicazione del tessuto a maglia uniassiale alle estremità delle travi con configurazione ad U nel caso di nodo d'angolo con travi emergenti (sx) e nel caso di una trave emergente ed una trave a spessore (dx). (Fonte ReLuis)

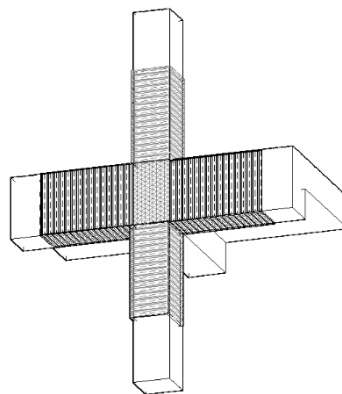


Figura 13 - Schema di applicazione del tessuto a maglia uniassiale alle estremità delle travi con configurazione ad U di un nodo intermedio (sx). (Fonte ReLuis)

La disposizione e l'estensione di rinforzi in fibra di carbonio sugli elementi strutturali costituenti la struttura sono indicati nell'elaborato STR-C-C04.

Allegati

Si allegano alla presente relazione i seguenti documenti:

1. Certificato delle prove di schiacciamento sui provini cilindrici estratti dalle travi in elevazione;
2. Scheda tecnica del tessuto unidirezionale "Mapei MapeWrap UNI-AX HM 300"
3. Scheda tecnica del tessuto quadriassiale "Mapei MapeWrap QUADRI-AX"
4. Scheda tecnica delle lamine poltruse "Mapei Carboplate System E170"