

# Intervento di confinamento di pilastri in C.A. con parziale decompressione in fase esecutiva

Giorgio Giacomini<sup>1</sup> ■



**Committente:**

Università degli Studi di Trento – Direzione Patrimonio immobiliare a appalti - Divisione Gestione Immobili

**Responsabile del procedimento:**

Dott. Rinaldo Maffei

**Progetto architettonico:**

Arch. Michela Favero

**Progettista e Direzione Lavori per le strutture:**

Ing. Matteo Tomaselli

**Coordinamento sicurezza:**

Geom. Matteo Santoni

**Consulenza ingegneristica CFRP:**

Ing. Giorgio Giacomini

**Fornitura compositi CFRP e malte:**

G&P Intech S.r.l. - Altavilla Vicentina (VI)

**Durata cantiere:**

5 agosto 2010 - 11 febbraio 2011

L'Università degli Studi di Trento ha intrapreso un piano di adeguamento funzionale di alcuni edifici all'interno del comparto edilizio ex Manifattura Tabacchi di Rovereto prevedendo un riadattamento funzionale degli stessi a spazi per la ricerca scientifica.

In tale ambito generale si pone l'intervento di adeguamento statico del cosiddetto "Edificio 14" (data costruzione 1911-1913, Figure 1 - 4). Esso è caratterizzato da una pianta di forma rettangolare di dimensioni pari a circa 98.0 x 15.8 m, con 4 livelli fuori terra ed uno interrato su una superficie approssimativamente pari a 2/3 di quella totale (66.3 x 15.8 m).

Dal punto di vista strutturale, l'edificio è costituito da:

- strutture murarie perimetrali in muratura lapidea ai piani inferiori e muratura in conglomerato cementizio nei due interpiani superiori con notevole grado di regolarità, dato l'allineamento verticale delle aperture (porte e finestre);
- strutture verticali interne costituite da **204 pilastri in conglomerato cementizio armato** con sezioni decrescenti dai piani inferiori ai piani superiori (Figura 5a) e tali da suddividere la pianta in moduli strutturali di dimensioni medie pari a 3.5 x 4.5 m;
- strutture orizzontali ai piani ed in copertura

<sup>1</sup> Ingegnere G&P Intech, Via Retrone, 39 - 36077 Altavilla Vicentina (VI), Membro della Commissione CNR DT 200, del RILEM TC 234 DUC, dell'AIPCR TC 4.3 ponti stradali e Consigliere AICO. [g.giacomini@gpintech.com](mailto:g.giacomini@gpintech.com)

costituite da un graticcio bidimensionale di travi sottosporgenti dagli orizzontamenti (Figura 5b), questi ultimi realizzati mediante solette massicce in conglomerato cementizio armato di modesto spessore;

- vani scale delimitati da murature continue, con rampe scala in pietra.

Le esigenze di adeguamento strutturale dell'edificio hanno fatto precedere a qualsivoglia operazione progettuale la realizzazione di una campagna diagnostica con esecuzione di prove non distruttive e semidistruttive (realizzazione TASQ srl - Trento) che, con riferimento ai pilastri, hanno previsto:

- rilievo dell'armatura metallica mediante locali asportazioni del copriferro;
- 56 prove sclerometriche e altrettante prove ultrasoniche;
- 14 carotaggi con prova a rottura a compressione di 27 provini con rapporto altezza/diametro pari a  $H/D = 1$ ;
- stima della resistenza cubica media del calcestruzzo in opera con metodologia SonReb tarata sugli esiti delle prove di compressione.

Le indagini eseguite hanno permesso di evidenziare per i pilastri una rilevante incidenza di nidi di ghiaia, un'assoluta carenza di staffatura (passo fino a 1.0 m), una resistenza cubica media a compressione del conglomerato cementizio mai superiore a 22.9 MPa (Figura 6).

A valle di tali poco confortanti evenienze è stato progettato un intervento di confinamento di 160 dei 204 pilastri a mezzo di compositi in fibra di carbonio, mediante fasciatura continua in tessuto in fibre di carbonio unidirezionale in semplice strato (*tecnica wet lay-up*). Le fasi operative adottate per le lavorazioni sono state:

**FASE 1.** Demolizione del calcestruzzo ammalorato, fessurato o decoeso fino alla scoperta dei ferri d'armatura (Figura 7). Pulitura delle superfici mediante spazzolatura a secco e applicazione a pennello di formulato epossidico ad azione di inibitore della corrosione e in miglioramento dell'adesione tra vecchia superficie e nuovo materiale di ripristino. Ricostruzione dei volumi di materiale asportato con malta tixotropica fibrorinforzata a ritiro compensato compatibile con il sottofondo (Figura 8).

**FASE 2.** Regolarizzazione delle superfici mediante levigatrice orbitale per eliminazione di eventuali dislivelli superficiali ed arrotondamento degli spigoli con raggio di curvatura prescritto in funzione delle dimensioni dei pilastri. Pulizia del supporto con eliminazione di oli o grassi ed asciugatura.

### FASE 3. Riduzione del carico permanente gravante su ciascuno dei 160 pilastri

mediante posa di 4 puntelli ad alta portata coassiali ad altrettanti martinetti idraulici, con azioni di sospensione opportunamente valutate e variabili da piano a piano anche e soprattutto in relazione alla resistenza degli elementi strutturali presenti (travi e solette) (Figure 9 e 10). Tale procedura è stata realizzata mediante:

- verifica e taratura delle attrezzature oleodinamiche a piè d'opera tra contrasti fissi opportunamente realizzati dall'impresa esecutrice;
- particolare cura nell'applicazione simmetrica ed uniforme dei carichi di sospensione;
- controllo della costanza nel tempo degli stessi, in relazione alla durata della fase di reticolazione delle resine epossidiche.

**FASE 4.** Applicazione del rinforzo a confinamento con fibra di carbonio stirata C-Sheet secondo le seguenti modalità:

- applicazione di composto primerizzante a mezzo di pennello o rullo in quantità idonea all'assorbimento del supporto;
- applicazione di adesivo in forma di stucco epossidico;
- applicazione di tessuto in fibra di carbonio unidirezionale per fasce orizzontali con pressione a rullo fino a completa impregnazione delle fibre. Realizzazione dei necessari sormonti e successiva stesura dell'adesivo di impregnazione (Figura 11);
- applicazione fresco su fresco di sabbia di quarzo di idonea granulometria assortita onde permettere l'aggrappo del successivo intonaco.

Considerevole cura e attenzione è stata posta nell'apprestamento di dispositivi di riscaldamento degli ambienti al fine di assicurare condizioni ambientali che permettessero la reticolazione sufficientemente rapida delle resine epossidiche, in relazione alle temperature esterne che, per un certo lasso temporale, sono scese al di sotto dello zero. La valutazione dei tempi di reticolazione in relazione alle temperature ambientali è stata valutata attraverso l'esecuzione di ripetute prove *pull-off* a 24 ore dall'applicazione della resina di impregnazione superficiale a temperatura costante di 20°C. Si sono sempre ottenute tensioni di aderenza comprese nell'intervallo 1.7, 2.3 MPa, con rottura esclusi-

vamente all'interno del supporto in conglomerato cementizio.

La qualità dell'esecuzione è stata costantemente verificata durante il cantiere a mezzo di ulteriori prove *pull-off* eseguite in corso d'opera al fine di verificare l'aderenza dei compositi al supporto e la loro corretta impregnazione (Figura 12).

In tutti i 21 test eseguiti (1 prova ogni 50 m<sup>2</sup> di fibra applicata) la rottura è avvenuta per tensioni di aderenza superiori a 0.9 MPa e prevalente rottura nel supporto.

Con riferimento ai controlli di accettazione, si è proceduto all'ispezione visiva dei materiali, con apertura delle confezioni, controllo dei documenti di trasporto e delle certificazioni. Si è inoltre proceduto alla caratterizzazione dei compositi mediante COKIT (KIT PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI COMPOSITI UTILIZZATI NELL'AMBITO DELLE COSTRUZIONI con collaborazione del Politecnico di Milano) con i seguenti obiettivi:

1. verifica delle caratteristiche del tessuto utilizzato (peso del tessuto per unità di area);
2. verifica delle caratteristiche meccaniche del laminato composito preparato in cantiere (rigi-

dezza e resistenza del laminato – rigidità e resistenza del laminato riferite all'area netta delle fibre);


3. verifica delle proprietà meccaniche dell'adesivo strutturale impiegato (resistenza del giunto adesivo).

I controlli di accettazione hanno fornito esiti positivi. La qualità esecutiva e la piena soddisfazione dei soggetti a vario titolo interessati ai lavori è avvenuta mediante una sostanziale unità di intenti e la costante sintonia tra l'impresa esecutrice, il fornitore dei compositi fibro-rinforzati, il progettista direttore lavori, il consulente ed il committente.

Tale prezioso risvolto è risultato determinante per il successo di un intervento che, prevedendo il confinamento di ben 160 pilastri con adozione di parziale scarico tensionale degli stessi, ha pochi precedenti a livello nazionale.

Per concludere e specificare in maggior dettaglio la descrizione dell'intervento, si riportano i dati dei tessuti di fibra di carbonio utilizzati (Tabella 1) ed una documentazione grafica che testimonia la successione delle fasi di lavoro necessarie per completare il sistema di rinforzo (Figure 13 e 14).

Tabella 1 - Caratteristiche dei compositi in fibra di carbonio utilizzati per il confinamento dei pilastri

	Materiale	Tessuto in fibra di carbonio unidirezionale C-SHEET
	Resistenza a trazione filamento	4700 , 4900 MPa
	Grammatura tessuto	300 g/m <sup>2</sup>
	Modulo elastico a trazione tessuto	240 GPa
	Resistenza media a trazione tessuto	3800 MPa
	Resistenza caratteristica a trazione tessuto	3200 MPa
	Allungamento	1.8%

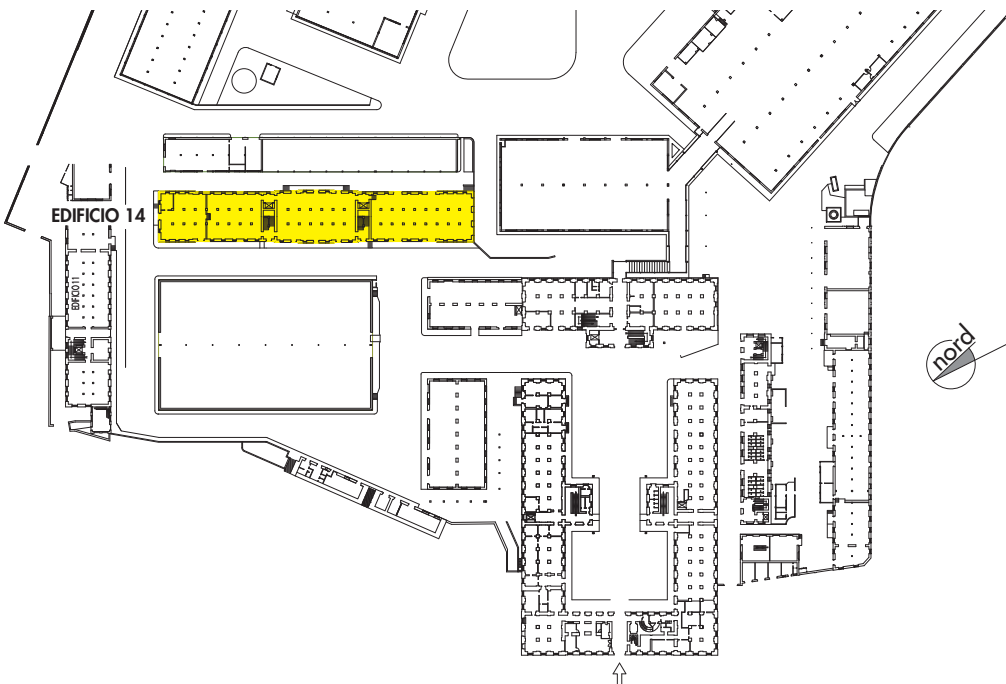


Figura 1  
Planimetria generale e inquadramento dell'edificio oggetto di studio.

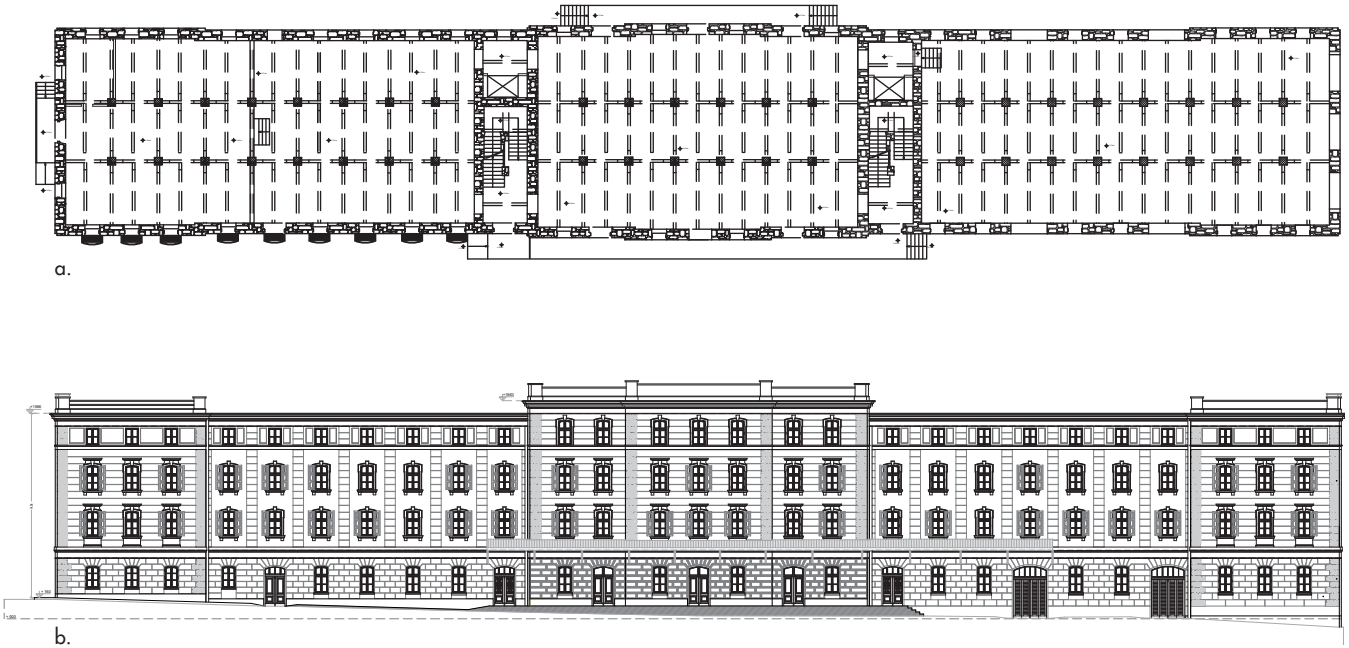


Figura 2  
a) pianta dell'edificio e  
b) prospetto nord.

Figura 3  
Sezione trasversale.

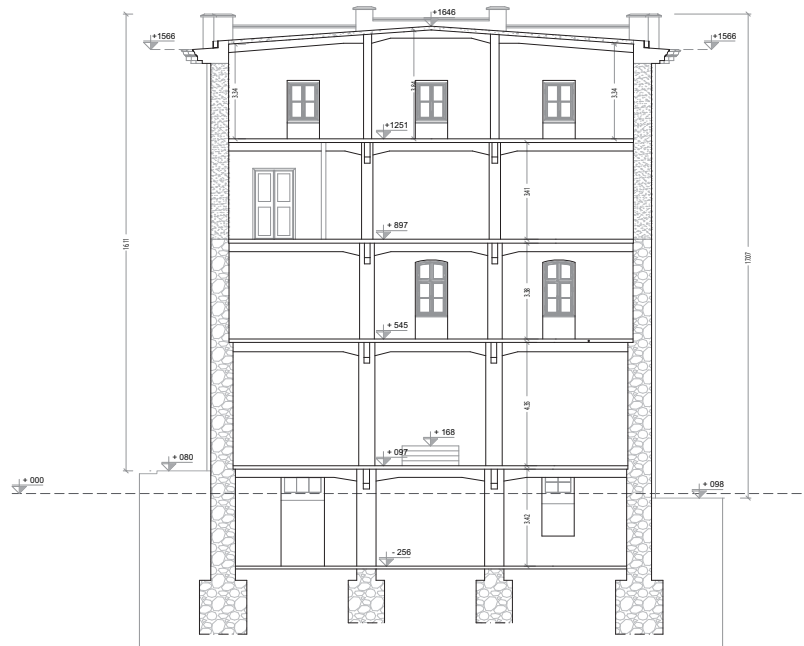


Figura 4  
Sezione longitudinale.

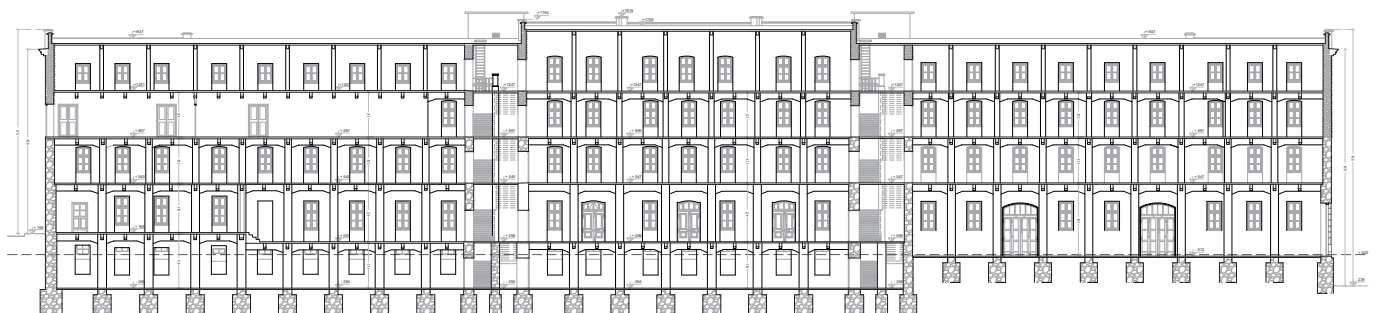




Figura 5  
Stato di fatto a) della  
pilastrata e b) dettaglio  
degli orizzontamenti.



Figura 6  
Indagini sui pilastri  
(TASQ srl - Trento).

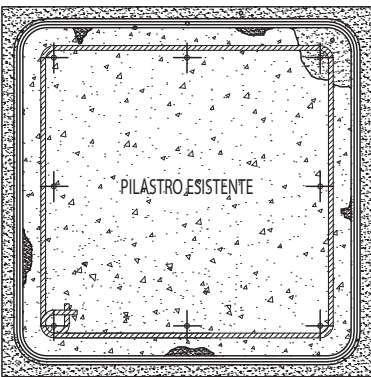


Figura 7  
a) sezione pilastro-tipo da  
consolidare;  
b) intervento preliminare con  
demolizione del  
calcestruzzo ammalorato  
dei pilastri fino alla  
scopertura dei ferri  
d'armatura.

a.

b.



Figura 8  
Intervento di ripristino dei  
pilastri mediante malta  
fittropica fibro-rinforzata a  
ritiro compensato.

Figura 9  
Sistema di scarico dei pilastri: a) schema; b) realizzazione.

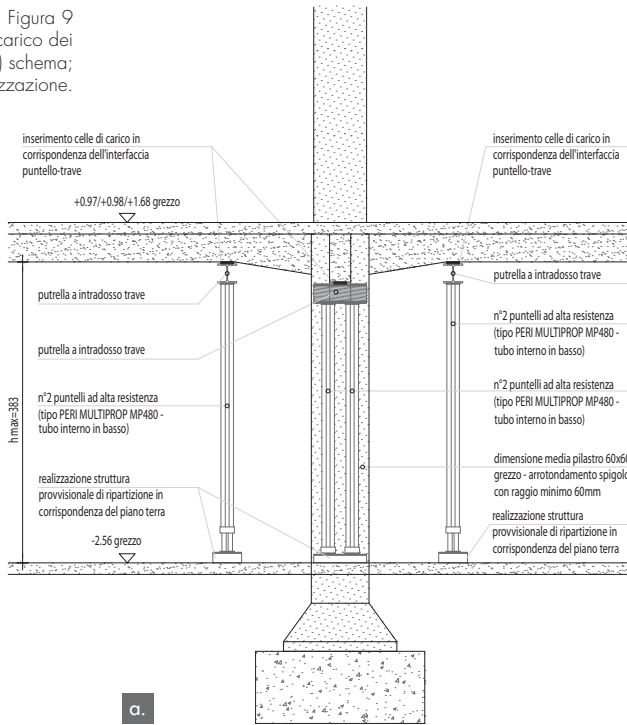
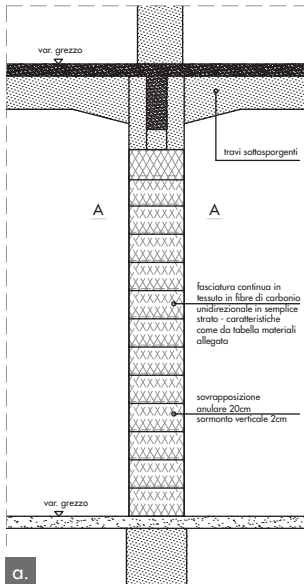


Figura 10  
a) test a piè d'opera dei martinetti; b) martinetti in opera.



Figura 11  
Fasciatura dei pilastri con polimeri in fibra di carbonio: a) esecutivi; b) realizzazione in opera.



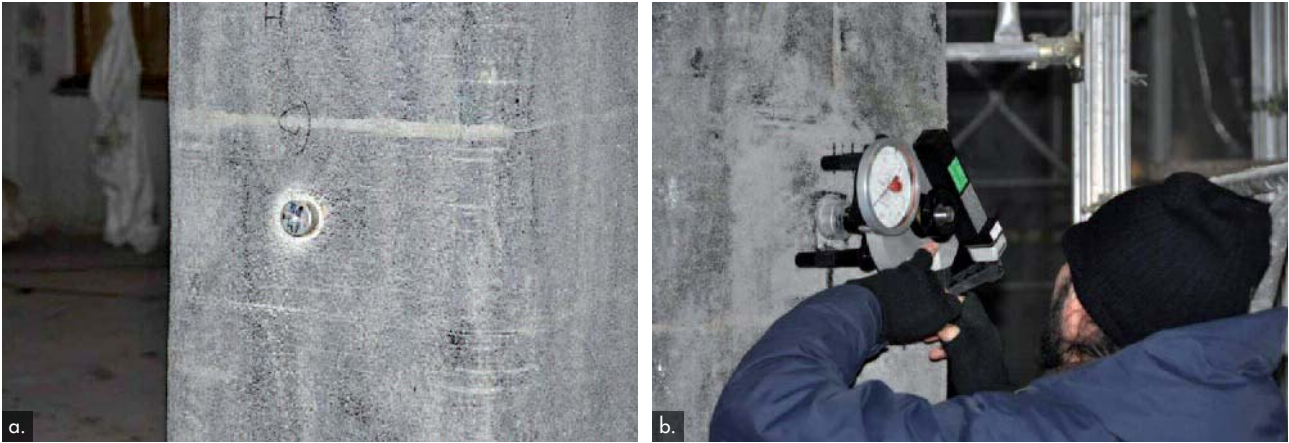


Figura 12  
Due fasi dei test pull-off per  
il controllo delle  
caratteristiche  
dell'intervento.



Figura 13  
Realizzazione di camera  
climatica per reticolazione  
resina epossidica.



Figura 14  
Sistema di rinforzo dei  
pilastri completato.