



## RINFORZO STRUTTURALE CON SISTEMA FRP BETONTEX DI FIBRE NET

### La nuova sede di GRE Academy a Trieste a Palazzo Aedes



Nel centro di Trieste, il Palazzo Aedes, edificio storico novecentesco, è stato di recente oggetto di lavori di risanamento conservativo e completo rinnovamento interno al fine di ospitare la Generali Group Academy, il nuovo centro di formazione d'eccellenza del Gruppo Generali in collaborazione con l'università di Trieste e con altri enti di formazione nazionali ed internazionali. Assieme agli spazi dell'Academy, trovano collocazione nell'immobile gli uffici dell'Archivio Storico di Generali, un auditorium da 120 posti ed una sala multifunzionale per eventi connessa con le terrazze panoramiche esterne in sommità.

Opere di rinforzo strutturale sugli elementi in c.a. esistenti finalizzate al raggiungimento dell'adeguamento sismico strutturale e di messa in sicurezza degli elementi non strutturali di facciata e interni, nonché il risanamento conservativo degli elementi decorativi e delle facciate in generale hanno accompagnato la riqualificazione degli ambienti interni per accogliere la nuova funzione ed adeguare tecnologicamente l'edificio alle nuove specifiche esigenze d'uso.

#### SCHEDA CANTIERE

OGGETTO	Adeguamento Sismico del Palazzo Aedes
COMMITTENTE	Generali Real Estate SGR S.p.A.
PROJECT MANAGER DI COMMESSA GRE SGR	P.I. Fabio Floridan
SUPERVISIONE PROGETTO PER GRE SGR	Prof. Ing. Franco Mola
PROGETTISTA E D.L. GENERALE	Ing. Francesco Cervesi Cervesi & Cervesi Ingegneria S.r.l.
PROGETTISTA E D.L. STRUTTURALE	Ing. Marina Palusa Cervesi & Cervesi Ingegneria S.r.l.
ASSISTENZA PROGETTAZIONE E D.L. STRUTTURALE	Ing. Allen Dudine, Ing. Michele Ambrosin
COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE	Ing. Tiziano Pavan Cervesi & Cervesi Ingegneria S.r.l.
FORNITORE DEI RINFORZI CFRP	Fibre Net S.p.A., Pavia di Udine (UD)
REALIZZAZIONE INTERVENTO STRUTTURALE	2017-2018



## L'EDIFICIO

Palazzo Aedes, conosciuto dai triestini come Palazzo Berlam o più semplicemente come “palazzo rosso”, è un edificio novecentesco in mattoni di laterizio rosso a vista che si affaccia su Canal Grande all'angolo tra via Rossini e piazza Duca degli Abruzzi accanto al noto Palazzo Gopceovich. Realizzato nel 1928 ed acquistato da Assicurazioni Generali già nel 1932, l'edificio è considerato il primo grattacielo di Trieste. Fu costruito su progetto dell'architetto Arduino Berlam, che trasse ispirazione dai nuovi grattacieli di New York e ne dichiarò fin da principio lo spirito americano. Il progetto originario fu modificato su richiesta dell'ufficio tecnico comunale e ridotto a soli nove piani, portando l'altezza a 50 metri. Ciò indusse l'architetto al rafforzamento dei pilastri a piano terra e all'utilizzo del bugnato per trasmettere l'idea di robustezza dell'edificio agli occhi di un pubblico che non conosceva questo tipo di strutture.



Dal punto di vista strutturale, il fabbricato è costituito da un telaio tridimensionale in calcestruzzo armato, con una forma a “C” a delimitare il cortile interno, con pilastrate a maglia non regolare ma costante dalle fondazioni alla copertura, con riduzione di sezione resistente ai piani superiori. In corrispondenza dei due vani scala / ascensore sono stati realizzati altrettanti nuclei irrigidenti attraverso la costruzione di setti in c.a. a spessore di circa  $0.18 \div 0.20$  m, la cui inerzia totale si riduce salendo ai piani superiori. Le travi, anch'esse in c.a., sono fuori spessore di solaio, a sezione rettangolare ma di dimensioni variabili a seconda delle campiture di solaio. Infine gli orizzontamenti di piano sono stati realizzati mediante solette e nervature in c.a. a interasse indicativo 1,0 m e soletta spessore  $0.04 \div 0.06$  m che, nel complesso, realizzano un diaframma rigido a tutti i livelli della costruzione.

Il fabbricato è stato costruito su una platea in c.a. di spessore variabile tra  $0.50 \div 0.80$  m che poggia, viste le scarse caratteristiche meccaniche del suolo, su pali in legno profondi.



## OPERAZIONI PRELIMINARI AL PROGETTO: RILIEVI DETTAGLIATI E INDAGINI CONOSCITIVE

Una importante e dettagliata campagna sperimentale di indagini conoscitive mediante sondaggi estesi ha permesso di acquisire un ottimo livello di conoscenza dell'edificio e di definire le caratteristiche meccaniche dei materiali nonché individuare le armature presenti nelle sezioni in c.a. Considerata la rilevanza dell'intervento strutturale, in accordo con le richieste della Committenza di operare con gli interventi un miglioramento delle condizioni di sicurezza della struttura esistente rispetto alle azioni sismiche e in concordanza con le Norme vigenti, il Progettista aveva ritenuto indispensabile acquisire il Livello di Conoscenza LC3: sono state effettuate prove meccaniche su prelievi di calcestruzzo e di barre d'armatura, prove di resistenza su laterizi e malte di allettamento, prove pacometriche per l'individuazione delle armature nelle sezioni in c.a., prove sclerometriche su pilastri, travi e orizzontamenti, prove di carico sui solai e sondaggi in fondazione.



Foto d'epoca del palazzo

In tal modo, grazie alla mole di informazioni ottenute dalle indagini è stato possibile stimare la vulnerabilità sismica del fabbricato, identificando e localizzando le criticità insite nelle costruzioni in c.a. antecedenti la definizione delle norme tecniche sismiche di settore.

Considerata la scarsa resistenza offerta dall'edificio nei confronti delle azioni prettamente sismiche, di concerto con la Committenza si è scelto di definire un progetto inteso ad adeguare alle azioni sismiche di progetto le strutture in calcestruzzo armato esistenti (travi, pilastri e setti, ove necessario) e a migliorare la condizione in essere degli elementi non strutturali, murature perimetrali faccia a vista, cornicioni, parapetti, decorazioni di facciata, canne fumarie ed affini, nonché aumentare il loro grado di vincolo agli elementi strutturali ai quali verranno opportunamente ancorati.

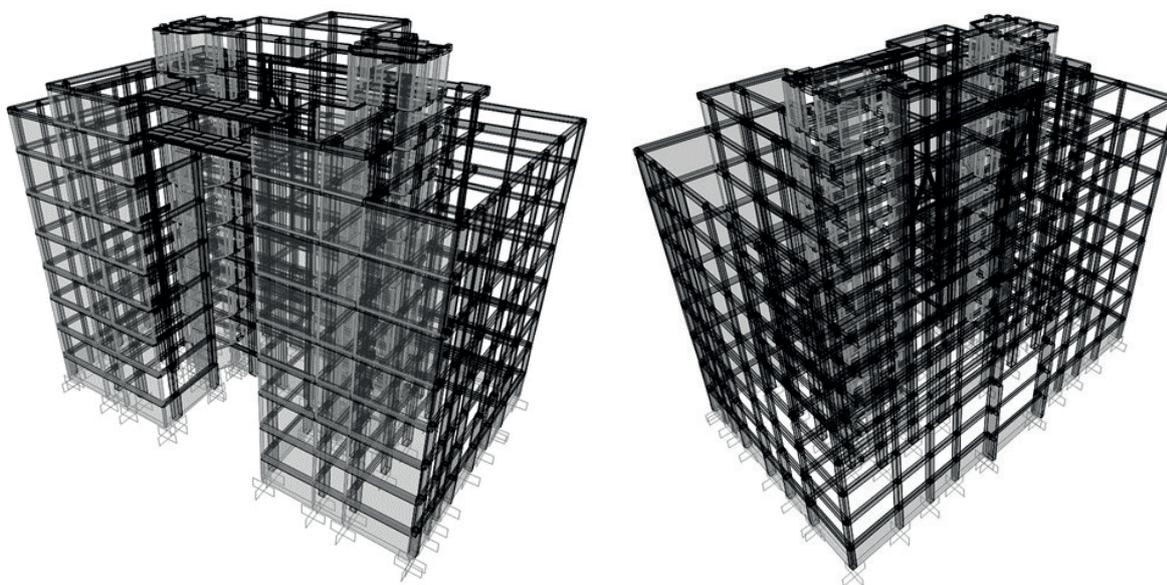


## IL PROGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO: RISOLUZIONE DI PROBLEMATICHE STRUTTURALI E DI QUELLE SU ELEMENTI NON STRUTTURALI

Le strutture in c.a. dell'edificio sono state oggetto di un intervento di adeguamento sismico che è consistito, oltre al soddisfacimento dei requisiti minimi imposti dal sisma sulle strutture in c.a., in alcune attività diversificate finalizzate alla risoluzione di problematiche specifiche, come ad esempio la costruzione di un reticolo di nuove travi di fondazione (sopra la platea esistente per garantire l'accoppiamento delle pilastrate) e la realizzazione del giunto sismico di separazione del fabbricato dagli edifici limitrofi.

A fronte di una struttura con caratteristiche di diaframma rigido a tutti i livelli della costruzione, si è provveduto a isolare l'edificio realizzando un idoneo giunto sismico al fine di evitare il fenomeno di martellamento rispetto agli edifici storici limitrofi in muratura portante, facenti parte di due diversi complessi in linea e, di fatto, eliminando fenomeni nocivi e soprattutto non facilmente quantificabili in termini di sollecitazione e di danno.

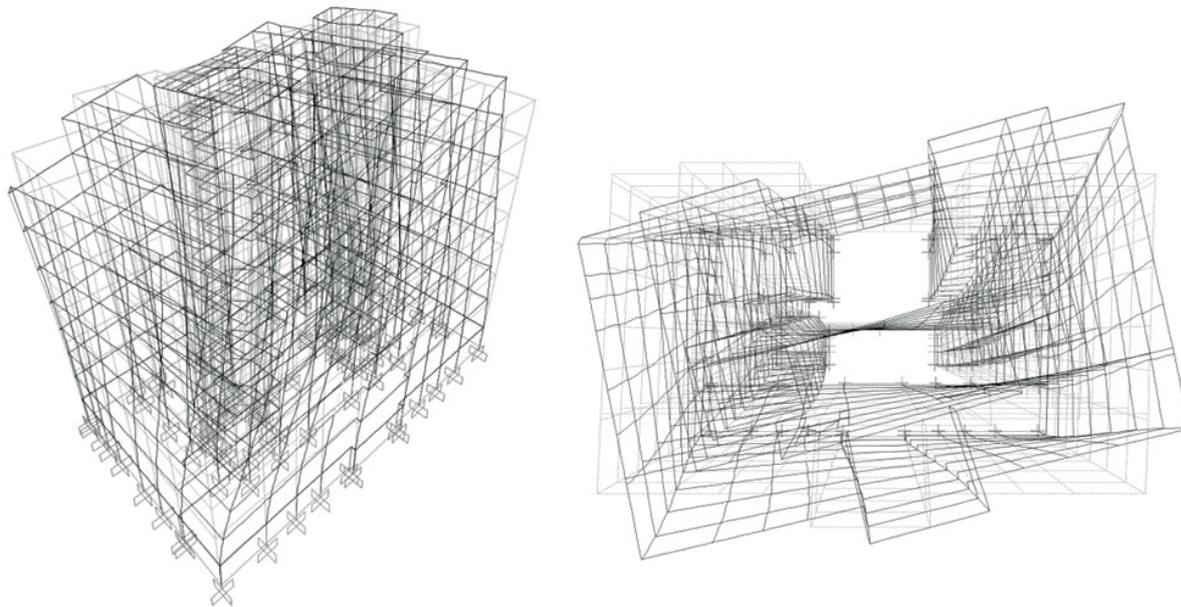
L'intervento ha richiesto il taglio parziale delle murature perimetrali e delle solette di piano, la riduzione delle teste delle travi principali in c.a., l'impiego di dispositivi dissipativi non rigidi di connessione e infine la creazione di un pattino scorrevole in testa alle murature dei fabbricati adiacenti.



Viste del modello FEM tridimensionale di calcolo

Il dimensionamento delle strutture principali dell'edificio consolidato (travi, pilastri, setti ed orizzontamenti) è stato portato a termine grazie all'ausilio di una modellazione numerica agli elementi finiti (FEM - *Finite Element Method - Analysis*), così come la definizione delle sollecitazioni sismiche sugli elementi in calcestruzzo armato appartenenti al telaio tridimensionale dell'edificio, attraverso un'analisi dinamica modale con spettro di risposta, opportunamente calcolato e ridotto secondo l'appropriato fattore di struttura del fabbricato consolidato.

Nella modellazione si è trascurato il contributo della muratura delle facciate esterne in quanto essa risulta accostata esternamente all'ossatura in calcestruzzo (è stata realizzata successivamente alle strutture in c.a.) e presenta uno sviluppo continuo da fondazione a copertura.



Analisi dei modi vibrazionali della struttura

L'analisi del passato utilizzo dei locali ai vari piani e l'inserimento in progetto di aree a destinazione d'uso differente, hanno indotto alla revisione dei sovraccarichi di esercizio ed alla verifica della conformità normativa. In merito agli interventi strutturali, il progetto di modifica ha determinato:

- il mantenimento della destinazione d'uso ad uffici per la quasi totalità delle superfici;
- modifiche strutturali connesse alle due conference hall ai P2 e P7;
- modifiche locali per l'estensione di un solo livello dei vani ascensore rispettivamente uno al piano interrato l'altro al piano P8;
- la sostituzione delle scale da piano terra al piano interrato e la prima rampa piano terra;
- la demolizione delle murature di tamponamento prospettanti il cortile;
- l'inserimento di una nuova passerella metallica in cortile.

Pertanto, per far fronte all'introduzione delle azioni sismiche nel modello numerico nonché alle modifiche dei carichi gravitazionali agenti sulla struttura e delle geometrie di carico si è reso necessario l'utilizzo esteso dell'incamiciatura armata agli elementi monodimensionali in c.a. del telaio tridimensionale, mediante maggiorazione delle sezioni di travi e pilastri, mediante la tecnica del betoncino spruzzato, contenuta in uno spessore di 7 cm: grazie all'utilizzo di questa tecnica di consolidamento è stato possibile incrementare sensibilmente la capacità portante degli elementi nei confronti delle azioni verticali e orizzontali.

Negli elementi resistenti dei vani scala, invece, per evitare di impattare eccessivamente sul progetto architettonico con gli incrementi di spessore dovuti all'introduzione dell'incamiciatura armata, incompatibili pure con il mantenimento d'ingombro libero delle vie di fuga, si è reso necessario un intervento di consolidamento diverso, ovvero l'utilizzo di tessuti in FRP, più precisamente CFRP - Carbon Fiber Reinforced Polymer.

Tutti i setti in c.a. dei due nuclei irrigidenti, il cui ruolo è fondamentale per il fabbricato nei confronti delle azioni sismiche, sono stati consolidati con fibra di carbonio impregnata *in situ*, orditi in direzione longitudinale e trasversale allo sviluppo dei setti al fine di garantire il soddisfacimento dei requisiti delle azioni di progetto e, al contempo, di limitare l'incremento dei pesi sismici e, non trascurabile quantomeno dal punto di vista architettonico, degli spessori dei setti consolidati.



Il progettista si è concentrato poi sugli elementi non strutturali, caratterizzanti l'estetica dell'edificio, ovvero sugli elementi di tamponamento, e su quelli di finitura di pregio architettonico, realizzati prevalentemente in laterizio pieno e malta di calce, in elementi lapidei in pietra naturale e, in alcuni casi, in pietra artificiale per cornici, architravi, lesene e simili, nonché sulle tramezzature interne. Tali elementi, che rivestono importanza a livello normativo nelle condizioni degli stati limite legati alle azioni sismiche, sono stati efficacemente collegati alle strutture portanti al fine di migliorarne il comportamento sotto effetto delle azioni sismiche (creazione di vincoli efficaci, prevenzione della genesi di meccanismi fuori dal piano, ecc.).

Infine è stato necessario pure il consolidamento delle murature in pietra a confine e in prossimità del giunto sismico mediante betoncino armato allo scopo di evitare fenomeni di ribaltamento dovuto alla mancanza di continuità (perdita del vincolo preesistente). Al fine di ripristinare l'antico collegamento con queste murature è stata definita l'installazione di dispositivi dissipativi non rigidi di connessione in corrispondenza di tutte le travi principali.

## **L'INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEI SETTI IN C.A. CON SISTEMA BETONTEX DI FIBRE NET**

Negli elementi resistenti dei vani scala si è reso necessario contenere gli spessori del rinforzo e, di conseguenza, è stato scelto un sistema di consolidamento che prevede l'utilizzo di tessuti in CFRP - *Carbon Fiber Reinforced Polymer* - impregnati *in situ*.

Secondo la Sez. C8A.7.1. delle Norme Tecniche delle Costruzioni, l'uso di idonei materiali compositi (o altri materiali resistenti a trazione) nel rinforzo sismico di elementi in c.a. è finalizzato agli obiettivi seguenti:

- aumento della resistenza a taglio di pilastri e pareti mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle staffe;
- aumento della resistenza nelle parti terminali di travi e pilastri mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle barre longitudinali ed opportunamente ancorate;
- aumento della duttilità nelle parti terminali di travi e pilastri mediante fasciatura con fibre continue disposte lungo il perimetro;
- miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione, sempre mediante fasciatura con fibre continue disposte lungo il perimetro.

Utilizzando le regole di dimensionamento inserite nella CNR DT 200 R1/2013 (aggiornamento della CNR DT 200/04) è stato progettato l'intervento di consolidamento, verificando che gli elementi in c.a. esistenti rispettino le prescrizioni minime per l'utilizzo di tali materiali e che le sollecitazioni siano inferiori alle resistenze degli elementi rinforzati.

Negli interventi di rinforzo con FRP infatti, l'aderenza tra il calcestruzzo e il composito assume grande importanza in quanto il meccanismo di rottura per distacco dal supporto è di tipo fragile. Per garantire il criterio di gerarchia delle resistenze è quindi necessario che tale tipo di collasso non preceda il collasso per flessione o taglio dell'elemento rinforzato. A tal fine, le resistenze di progetto del composito sono state opportunamente ridotte in funzione di fattori geometrici e meccanici.



Il distacco dei rinforzi a flessione può verificarsi secondo diverse modalità, ma i più frequenti sono il distacco d'estremità e il distacco intermedio, causato dalle fessure per flessione negli elementi resistenti. Nella progettazione si sono considerate solo queste due modalità, in quanto le altre modalità di collasso fragile possono essere mitigate seguendo le indicazioni del paragrafo 4.8 della CNR 200R1/2013 sulle condizioni del substrato e la preparazione del supporto.

Più precisamente, per il progetto di consolidamento dei setti mediante Sistemi FRP, sono stati utilizzati i seguenti tessuti in fibra di carbonio, appartenenti alla Classe di Qualifica **210C**, come specificato nel Certificato di Idoneità Tecnico (CIT - ora Certificato di Valutazione Tecnica - CVT) emanato dal Consiglio Superiore dei LL.PP., appartenenti al Sistema BETONTEX-EPOXY di Fibre Net:

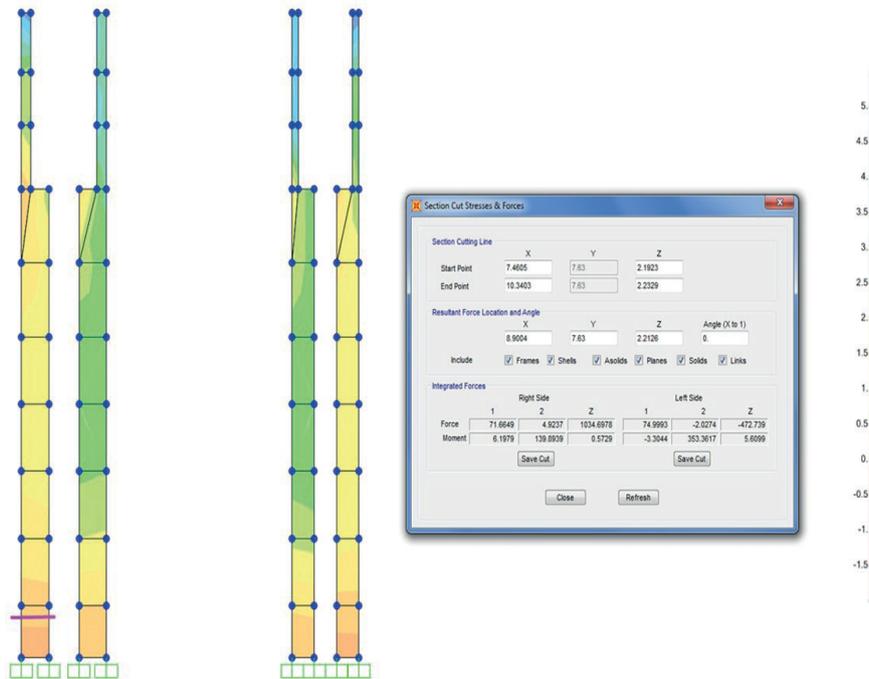
**BETONTEX FB-GV420U-HT-RC02** - tessuto 400 g/m<sup>2</sup> - nella configurazione da n. 1 a n. 3 strati di rinforzo, principalmente per le armature trasversali, per la ripresa delle sollecitazioni di taglio e per il miglioramento del confinamento del calcestruzzo esistente;

**BETONTEX FB-GV620U-HT-RC02** - tessuto 600 g/m<sup>2</sup> - nella configurazione da n. 1 a n. 3 strati di rinforzo, principalmente per le armature longitudinali e per la ripresa delle sollecitazioni di momento flettente.

Sono stati utilizzati pure i seguenti componenti per garantire che i tessuti impregnati fossero perfettamente collaboranti con gli elementi esistenti in c.a.:

**FB-RC01\_Primer** - Resina epossidica a bassa viscosità ed elevate capacità di penetrazione per preparazione della superficie, preliminarmente all'applicazione dei tessuti da impregnare *in situ*;

**FB-TUP10-CHT1A** - Barra in materiale composito fibrorinforzato CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), costituita da fibra di carbonio ad alta tenacità chimicamente resistente e resina termoindurente, diametro 10 mm, con all'estremità fiocco su 1 lato sempre in fibra di carbonio ad alta tenacità, in presenza di angoli interni tra setti ortogonali collegati, al fine di contenere la spinta a vuoto del rinforzo.



Individuazione delle sollecitazioni insistenti sui setti da analisi FEM

I tessuti installati sui singoli setti, nella loro effettiva posizione laterale e, nei casi previsti, sulle teste d'estremità, sono stati considerati come armatura aggiuntiva a quella esigua esistente in acciaio secondo le quantità normalizzate (aree resistenti) con i moltiplicatori di resistenza (rapporto tra la tensione di progetto al distacco del composito FRP,  $f_{dd,rid}$  e la tensione di progetto delle barre in acciaio,  $f_{yd}$ ). Cautelativamente, la deformazione a rottura del materiale di rinforzo (acciaio o CFRP) è stata fissata pari a 17‰, valore prossimo a quello del materiale CFRP. Inoltre, per la determinazione della resistenza a flessione degli elementi maggiormente sollecitati è stato considerato cautelativamente un valore sensibilmente inferiore a quello reale dell'azione assiale insistente sui setti. Per ciò che concerne la resistenza a taglio, si è ritenuto opportuno sovradimensionare la stessa nella sezione consolidata per mantenere attivo il meccanismo di collasso a flessione (di tipo duttile) anziché quello a taglio (di tipo fragile). Quindi si è optato, in casi sporadici, per l'inserimento del rinforzo a taglio anche quando la sezione esistente di c.a. del setto risultava già di per sé verificata.

## Fasi operative di installazione dei rinforzi CFRP

Al fine di garantire un'ottimale installazione dei rinforzi, e per il soddisfacimento dei requisiti minimi relativi alle ipotesi di calcolo in presenza di ottimali condizioni del substrato e di preparazione del supporto sono stati effettuate le seguenti operazioni:

- eliminazione degli intonaci, delle superfetazioni e delle scarifiche puntuali;
- lievo di tutte le canalette pregresse per impianti;
- raccordo con raggio adeguato di tutti gli spigoli vivi;
- ripristino della sezione in calcestruzzo ove rimaneggiata con idonea malta strutturale ad elevata adesione;

al fine di garantire la presenza, ovunque, di un supporto preparato a regola d'arte.



Posizionamento dei rinforzi IN CFRP sui setti esistenti dei vani scala

Le indicazioni sopra riportate sono contenute in maniera dettagliata nel Manuale di installazione dei prodotti del sistema di rinforzo in FRP, documento in cui sono fornite le istruzioni operative per la corretta applicazione del sistema di rinforzo, allegato alla documentazione di cantiere, ai sensi della *Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti*, dall' Azienda Fibre Net.

Completate le operazioni di preparazione del supporto e le fasi preliminari di installazione dei rinforzi in CFRP si è proceduto al posizionamento dei tessuti impregnati in situ seguendo le indicazioni contenute nel Manuale di preparazione dei prodotti del sistema di rinforzo, che dettaglia le istruzioni operative per la corretta realizzazione del prodotto fibrorinforzato, sulla base anche delle prove di accettazione in cantiere previste ai sensi delle LG di Qualificazione citata alle pagine precedenti.

Nelle zone in cui il tessuto in FRP attraversava il c.a. esistente si è reso necessario effettuare un taglio su questo ultimo (modalità ed utensili utilizzati per il passaggio delle barre di armatura relativi all'incamiciatura armata di travi e pilastri) al fine di garantire la continuità del rinforzo, mantenendo comunque inalterate le armature delle solette di piano.

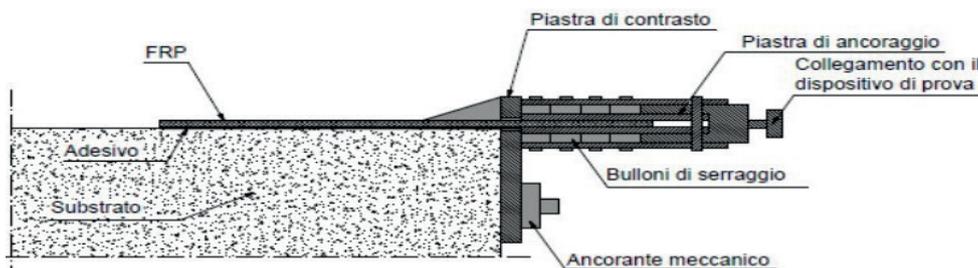
Infine, per costituire un efficace collegamento in fondazione e per garantire un completo trasferimento delle sollecitazioni derivanti dall'azione sismica dalle strutture in elevazione a quelle di fondazione, sono state predisposte idonee armature in acciaio ad aderenza migliorata, inserite intra pelle nei setti esistenti mediante scarifica, successiva sigillatura con idonee malte strutturali ad alta resistenza e inghisate chimicamente alle strutture di fondazione. In questo modo è stato possibile realizzare un collegamento efficace e di tipo duttile, garantendo quindi, così come nell'incamiciatura armata, il criterio progettuale che sta alla base del "capacity design", focalizzato al controllo della gerarchia delle resistenze.



Realizzazione di un collegamento efficace in fondazione

### Prove di accettazione in cantiere e Prove semi-distruttive su testimoni realizzati in situ

Nelle fasi preliminari all'applicazione dei rinforzi sui setti in c.a. sono state effettuate, per ognuna delle grammature utilizzate in sede di progetto, delle prove semi-distruttive su testimoni di CFRP applicati al supporto c.a. e, successivamente, sul CFRP posato come da progetto.



Prova di strappo a taglio di tipo "diretto"

Le prime prove, chiamate anche prove pilota, hanno permesso di ottenere, attraverso l'elaborazione dei risultati, alcune proprietà meccaniche fondamentali del rinforzo posato: tale elaborazione ha fornito la conferma sperimentale ai valori utilizzati in sede di progetto di consolidamento e, quindi, di dimensionamento del rinforzo.



Le seconde hanno invece sancito l'applicazione a regola d'arte dei rinforzi sul c.a. esistente.



Indagini semi-distruttive in situ: prove di strappo normale (SX) e di strappo tangenziale (DX)

Ai sensi delle LG di Qualificazione dei Sistemi FRP sono state effettuate, con esito positivo, le prove di accettazione in cantiere, consistenti nella realizzazione di prove a trazione (determinazione della resistenza a trazione e del modulo elastico a trazione del materiale composito FRP) presso Laboratorio Ufficiale Autorizzato ai sensi della Norma specifica UNI EN 2561 "Serie aerospaziale - Materie plastiche rinforzate con fibre di carbonio - Laminati unidirezionali - Prova di trazione parallelamente alla direzione delle fibre".

Per la validazione dell'intervento di consolidamento si sono effettuati numerosi saggi di elementi strutturali in c.a. consolidati al fine di attestare l'efficacia delle operazioni di posa in opera. Nello specifico, il controllo della forza di aderenza sul supporto (Pull-Off), misurata nelle sue direzioni principali, normale e tangenziale (quest'ultima la più importante in termini di grandezze meccaniche che governano il meccanismo resistente dei rinforzi FRP) attraverso prove a strappo normale su FRP, prove a taglio diretto su FRP ai sensi del Cap. 6.2.1. del Documento Tecnico del CNR, CNR-DT 200 R1/2013 nonché prove di estrazione su connettori a fiocco sono state effettuate in quattro tornate: tali prove hanno evidenziato la corretta esecuzione delle operazioni di posa in opera del materiale e i risultati sono stati sensibilmente superiori rispetto a quelli riportati come soglia minima nel Documento Tecnico di cui sopra.