

ADEGUAMENTO SISMICO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL MUNICIPIO DI MARENO DI PIAVE: PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE

Autori:

- Prof. Ing. Roberto Scotta – docente di Tecnica delle Costruzioni
- Alice Polito – studentessa laurea magistrale in ingegneria civile

Dipartimento ICEA – Università di Padova

Progettazione generale e Direzione dei Lavori:

- T14 ASSOCIATI – Preganziol (TV)

Consulenti per gli aspetti energetici e la progettazione degli impianti:

- STUDIO NADALIN SRL – Pieve di Soligo (TV)

Fornitore del cappotto sismico:

- ECOSISM SRL – Battaglia Terme (PD)

Impresa esecutrice:

- MAC COSTRUZIONI SRL – Resana (TV)

1. PREMESSA

L'intervento descritto è quello di adeguamento sismico e di efficientamento energetico, con ottenimento di edificio NZEB, del Municipio del comune di Mareno di Piave, in provincia di Treviso.

Il Comune di Mareno è situato in zona sismica 3 (prossima alla 2) e l'edificio insiste su un suolo di categoria C: la domanda di accelerazione sismica alla base dell'edificio allo SLV (tempo di ritorno $T_R=950$ anni) è pari a $PGA_{DLV}=0,349g$. La corrispondente capacità di resistenza allo stato di fatto, derivante dalla valutazione di vulnerabilità sismica è pari a $PGA_{CLV}=0,119g$. Conseguentemente l'indice di rischio sismico allo stato di fatto è pari a $I_{r(ag),SLV}=0,34$.

L'edificio risulta essere d'interesse strategico per la Protezione Civile ai sensi della DGR Veneto n° 3645 del 28 Novembre 2003, in quanto sede delle funzioni amministrative comunali. Vi era pertanto la necessità di realizzare quanto meno un intervento di miglioramento sismico.

L'adeguamento sismico ed energetico è stato realizzato con l'utilizzo del cappotto sismico in grado di colmare le carenze sismiche dell'edificio e contemporaneamente di migliorare le prestazioni energetiche, sia termiche che acustiche, delle superfici verticali opache esistenti. Il cappotto sismico adottato è prodotto dalla ditta Ecosism srl.

2. LO STATO DI FATTO

Il municipio si sviluppa su un'area di 30.57x15.36 m. Composto da un piano interrato e da tre piani fuori terra, è il risultato di successivi interventi di ampliamento e ristrutturazione. Non è stato possibile stabilire l'anno esatto di costruzione del corpo principale, ma si è riusciti comunque a svolgere un'attenta analisi storico-critica dell'edificio.

Sono state effettuate indagini sulle strutture al fine di individuare la tipologia di murature presenti, la tipologia e l'orditura dei solai, la tipologia delle fondazioni del corpo principale, mentre per le strutture in cemento armato realizzate negli anni '90 del secolo scorso, per le quali si è in possesso della documentazione di progetto e collaudo, si sono svolte alcune verifiche a campione. Complessivamente si è raggiunto un livello di conoscenza del fabbricato LC2.

Come detto l'edificio è composto da corpi, frutto di ampliamenti successivi, separati da giunto di costruzione:

- Corpo principale: di cui non si conosce l'anno di realizzazione, ma che è stato oggetto a ristrutturazione negli anni 90. È stato oggetto di numerosi interventi di modifica con eliminazione di ampi tratti di muratura portante originaria. Nella zona ovest è stato demolito un intero muro portante al piano terra, sostituito da un portale in acciaio, per poter realizzare l'aula consiliare. Mentre, nella zona centrale è stata realizzata una nuova scale al posto delle due precedentemente esistenti.
- Ampliamento con interrato realizzato negli anni 80: l'interrato è stato realizzato con muri in calcestruzzo ospita la centrale di condizionamento; la struttura portante in elevazione risulta essere in muratura di laterizio. Questo ampliamento è stato realizzato in adiacenza al corpo principale in assenza di giunti strutturali.
- Ampliamento con interrato realizzato negli anni 90: anche questo interrato è stato realizzato con muri in calcestruzzo e ospita la centrale termica, ma la struttura portante superiore, a differenza del primo ampliamento in muratura portante, risulta essere realizzata con un telaio in cemento armato tamponato con murature in laterizio. In questa porzione ha trovato posto anche il vano ascensore. E' separata dal corpo principale da un giunto strutturale di circa 3 cm.
- Portico ricostruito negli anni 90: da foto storiche il portico risultava a pianta rettangolare. Negli anni 90 è stato demolito e ricostruito con un nuovo portico in cemento armato, mantenendone altezza e lunghezza del precedente, ma aumentandone la pianta. Il nuovo portico è sorretto da colonne in calcestruzzo armato ed è separato da giunto sismico rispetto al corpo principale.

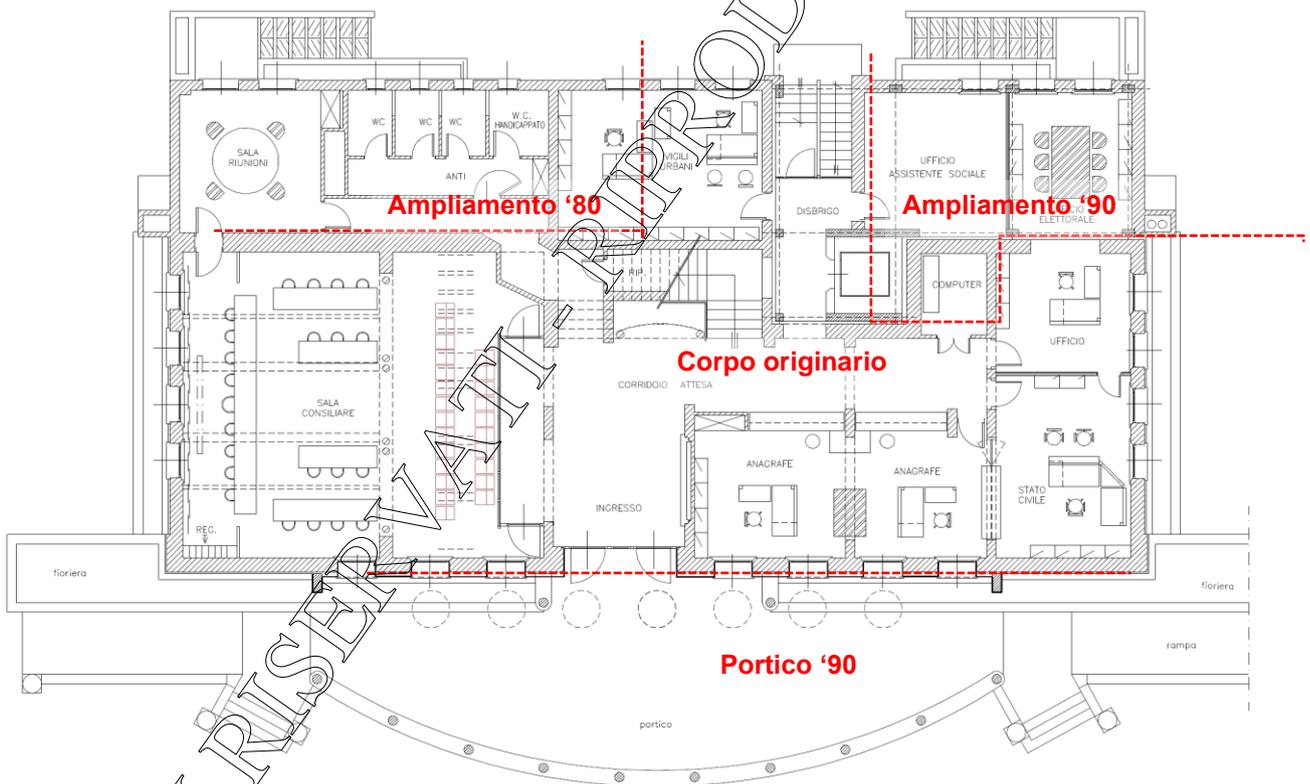


Figura 3 - Pianta del piano terra con individuazione dei giunti di costruzione con linee tratteggiate rosse



Figura 2: Prospetti Sud e Ovest



Figura 3: Prospetto Nord ed Est

Lo stato di conservazione e le finiture degli ambienti interni risultano buoni: le ispezioni non hanno evidenziato fessure di rilievo, se non localizzate nei giunti di costruzione fra i vari ampliamenti.

Verifiche statiche

Si sono condotte le verifiche di resistenza delle murature portanti in mattoni pieni, le quali risultano verificate.

Inoltre, si sono calcolate le tensioni medie sul terreno alla base della fondazione delle murature portanti: il rapporto fra portanza, calcolata in base alle caratteristiche geometriche delle fondazioni e quelle del terreno derivanti dall'indagine geologica, e il carico medio trasmesso alle fondazioni è inferiore all'unità: perciò la verifica di portanza delle fondazioni non risultava soddisfatta. Dalle indagini in situ, non si sono evidenziate evidenti fessurazioni delle murature imputabili ad assestamenti eccessivi del terreno, ma comunque la tensione di contatto terreno-fondazione ottenuta dalle analisi risultava essere molto elevata: l'intervento progettato ha quindi previsto il rinforzo delle fondazioni esistenti sul perimetro dell'edificio mediante la costruzione della trave continua di fondazione del cappotto sismico, adiacente alla trave esistente e opportunamente collegata. Tale allargamento costituisce anche la base di partenza del cappotto sismico.

Vulnerabilità sismica

Il Comune di Mareno di Piave, all'epoca della prima costruzione e dei successivi ampliamenti, non era classificato come sismico: tutti i corpi di fabbrica sono stati progettati facendo riferimento alle sole azioni verticali. Oggi invece, il Comune risulta essere in zona sismica 3 ad elevata pericolosità sismica avendo al confine comuni in zona sismica 2.

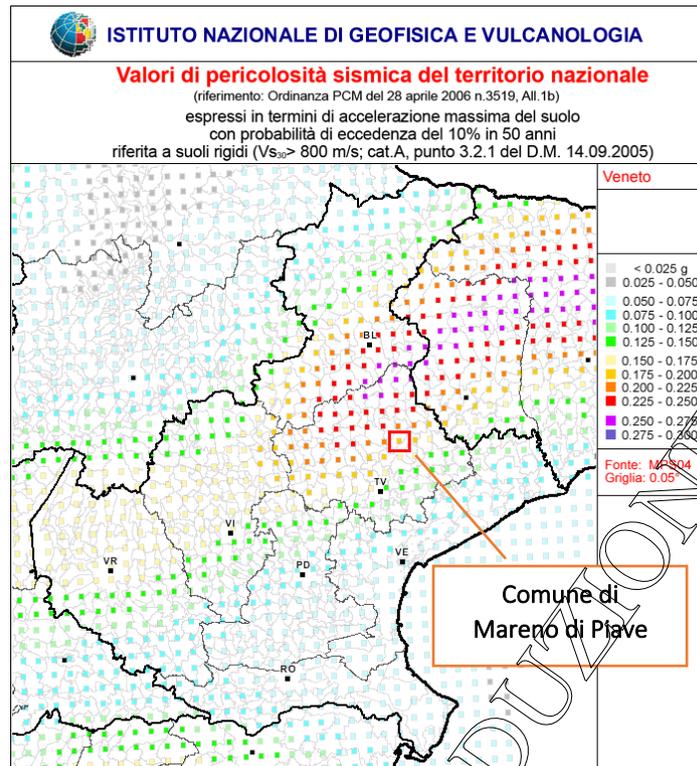


Figura 4: il Comune di Mareno di Piave individuato sulla mappa di pericolosità sismica del Veneto (fonte INGV)

Dalle risultanze dell'indagine geologica e geofisica, il terreno su cui sorge il fabbricato è stato classificato di categoria C secondo le NTC 2018, con categoria topografica T1. L'edificio è strategico ($C_U=2,0$) e la vita utile nominale è stata assunta pari a $V_N=50$ anni. Corrispondentemente la domanda di accelerazione sismica alla base dell'edificio allo SLV (tempo di ritorno $T_R=950$ anni) è pari a $PGA_{DLV}=0,349\text{g}$.

A seguito della verifica di vulnerabilità sismica svolta nel 2016, si è riscontrato che la struttura allo stato di fatto non garantiva un livello di sicurezza adeguato a quello richiesto dalla normativa vigente per un edificio avente funzione pubblica e di importanza strategica in caso di calamità. Allo SLV la capacità di resistenza del corpo principale era pari a $PGA_{CLV}=0,119\text{g}$ e il conseguente indice di rischio sismico era $I_{r(eg),SLV}=0,34$. I vari corpi aggiunti garantivano livelli di sicurezza sismica appena superiori.

Le principali criticità riscontrate erano:

- Mancanza di giunti aventi un idoneo spessore fra il corpo centrale e l'ampliamento anni 80 e fra il corpo centrale ed il portico a sud. Lo spessore ridotto comporta il pericolo di martellamento fra le strutture in caso di evento sismico;
- Insufficiente resistenza a taglio delle murature
- Eccessiva deformabilità delle colonne del porticato;
- Eccessivo peso del doppio solaio presente in copertura del secondo piano, di cui quello inferiore composto da travetti gettati in opera (tipo Sapal R.D.B.) con tavelloni all'intradosso, con rischio di distacco e caduta di quest'ultimi in caso di sisma.

L'Amministrazione Comunale ha pertanto deciso di affrontare un intervento quantomeno di miglioramento sismico dell'edificio, che a mente delle NTC 2018 doveva portare ad un indice di rischio non inferiore a 0.6.

Corpo	SLV						
	PGA _{CLV}	PGA _{DLV}	Ir(ag)	Tr _{CLV}	Ir(Tr)	Tint	PVr
portico a sud	0.133	0.349	0.38	105	0.406	5.51	61%
corpo principale	0.119	0.349	0.34	84	0.370	4.41	70%
ampliamento anni '80	0.255	0.349	0.73	442	0.731	23.21	20%

Corpo	SLD				
	PGA _{CLD}	PGA _{DLD}	Ir(ag)	Tr _{CLD}	Ir(Tr)
portico a sud	0.064	0.149	0.43	20	0.515
corpo principale	0.101	0.149	0.68	47	0.731
ampliamento anni '80	0.094	0.149	0.63	41	0.691

Tabella 1: Indici di rischio allo SLV e SLD per i diversi corpi di fabbrica allo stato di fatto

Diagnosi energetica

Oltre alla verifica sismica, l'Amministrazione Comunale aveva fatto eseguire una attenta diagnosi energetica dell'edificio, dalla quale erano emerse le seguenti carenze. Dal quale risultava quanto segue.

L'edificio è caratterizzato da numerose superfici vetrate: tutti gli infissi sono dotati di avvolgibili, ad esclusione del secondo piano e delle portefinestre. Al secondo piano, le finestre sono tutte dotate di veneziane interne, così come alcune vetrate del prospetto principale. Sono presenti varie tipologia di infissi che differiscono per dimensioni, telaio, presenza o meno di doppio vetro e presenza o meno del sotto-finestra, ma prevalgono gli infissi aventi telaio in alluminio senza taglio termico e con singolo vetro.

Le murature esterne ed i solai di copertura siano i punti critici responsabili della dispersione termica dell'edificio. Sono state effettuate delle termografie durante il periodo di accensione degli impianti di riscaldamento invernale che hanno evidenziato come i serramenti rappresentino degli elementi di particolare dispersione e che le differenti tipologie costruttive creano dispersioni diversificate fra i corpi di fabbrica.

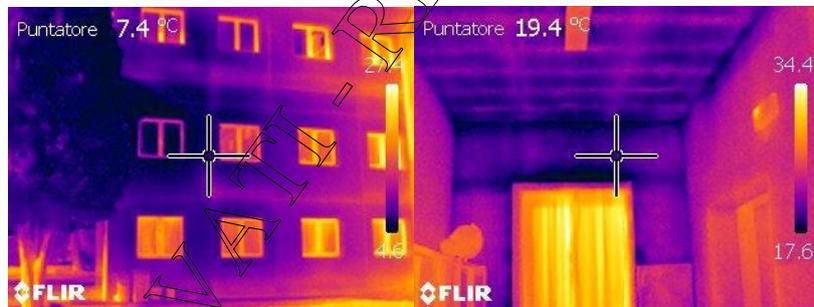


Figura 5: immagini termografiche riprese durante il periodo invernale

Gli impianti termici vengono azionati dal 15 ottobre al 15 aprile, in base a quanto consentito in funzione della fascia climatica in cui ricade l'edificio (E). La generazione di calore avviene in maniera modulare tramite due caldaie in parallelo per una potenza complessiva di 218 kW realizzate nel 1986. I terminali di emissione per il riscaldamento sono costituiti da radiatori in acciaio (dotati di valvole termostatiche) e ventilconvettori. Le due caldaie provvedono anche alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS), che viene immagazzinata all'interno di un serbatoio di accumulo del 1991.

La climatizzazione estiva è garantita dalla presenza di un gruppo frigo di potenza frigorifera nominale di 110,80 kW e potenza assorbita nominale di 38,08 kW. La distribuzione dell'aria di raffrescamento avviene per mezzo di tre unità di trattamento aria (UTA) che ne permettono la circolazione all'interno dei canali di distribuzione fino alle bocchette di immissione negli ambienti interni. La UTA funziona solamente in regime di raffrescamento estivo; il circuito di distribuzione dell'aria è provvisto oltre che delle condotte di mandata, anche di quelle di aspirazione. Il piano terra ed il primo piano erano serviti da un sistema di aspirazione d'aria viziata gestito da due estrattori canalizzati posti in copertura: le due UTA

(unità di trattamento d'aria) erano al piano interrato, il secondo piano è privo di ricambio d'aria in quanto destinato agli archivi. L'UTA della sala consigliare aveva portata nominale di 2000 mc/h e provvedeva al riscaldamento e al raffrescamento, mentre quella degli altri locali era di 4500 mc/h che integrava il riscaldamento ed il raffrescamento, dato che ogni locale era dotato di ventilconvettore e di radiatori nei servizi igienici. Questo sistema risultava essere di vecchia concezione e senza recupero statico energetico, avente ventilatori a corrente alternata ad alto consumo e non idonei ai requisiti di risparmio energetico (nessun recupero di calore dall'aria espulsa).

Nella struttura si utilizzano per la maggior parte corpi illuminanti con lampade fluorescenti lineari, ma sono presenti anche lampade fluorescenti compatte e alogene: la potenza complessiva installata è di 9.44 kW.

La fornitura dell'energia elettrica avviene tramite un unico punto di consegna dotato di un contatore elettrico generale: a valle non sono presenti altri sistemi di monitoraggio dei consumi. Il consumo medio annuo di energia elettrica è di circa 46.300 kWh/anno: i valori maggiori si riscontrano durante i mesi estivi.

Il consumo medio di metano è di circa 20.000 m³/anno.

Durante le indagini svolte nel sopralluogo non sono state rilevate particolari criticità: sia l'involucro che le componenti impiantistiche si presentavano in buono stato di conservazione.

L'indice di prestazione globale dell'edificio per l'energia elettrica risultava pari a circa 35,51 kWh/m²anno, 10,10 kWh/m³anno e 1.787 kWh/utente anno. L'indice di prestazione globale dell'edificio per il vettore energetico gas metano risulta pari a circa 141 kWh/m²anno, di 40 kWh/m³anno di volume riscaldato e di 7.141 kWh/utente anno.

L'indice elettrico della struttura è al di sotto della media nazionale, ovvero l'edificio consuma meno del parco nazionale e della media europea; l'indice termico, invece, si colloca nella parte più elevata del range nazionale.

Complessivamente la sede comunale veniva classificata in classe energetica D.



Figura 6: Classificazione energetica e fonti di dispersione termica

Il consumo totale di energia elettrica stimato mostrava uno scarto percentuale pari al 4% rispetto a quello misurato dai dati in fatturazione, a dimostrazione dell'accuratezza della diagnosi energetica condotta.

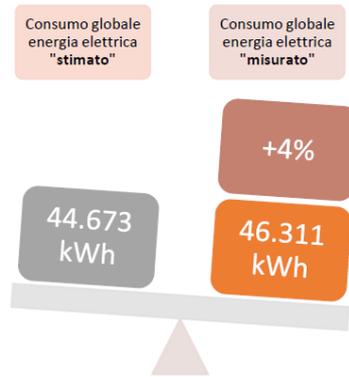


Figura 7: Confronto fra i consumi stimati e misurati

Gli interventi che venivano suggeriti per migliorare la prestazione energetica dell'edificio erano i seguenti:

- Involucro edilizio (basamenti, pareti, involucro trasparente, protezione solare, daylighting, ecc.);
- Impianti meccanici (climatizzazione invernale ed estiva, ventilazione, a.c.s., ecc.);
- Impianti elettrici (generazione, distribuzione e utilizzo dell'energia, illuminazione, ecc.);
- Fonti energetiche rinnovabili (solare termico, solare fotovoltaico, biomassa, ecc.);
- Miglioramento della gestione (miglioramento della gestione, manutenzione e contabilità energetica).

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI EFFICIENTAMENTO

Valutazione delle alternative progettuali

Nell'ottica di riqualificare e valorizzare il proprio patrimonio immobiliare, l'Amministrazione Comunale sta svolgendo una serie di interventi programmati, e la ristrutturazione della sede comunale, ai fini di adeguamento sismico ed efficientamento energetico faceva parte di tale pianificazione.

Prima di decidere la tipologia di intervento da sviluppare nel progetto, l'Amministrazione Comunale ha valutato diverse alternative al fine di ottimizzare l'intervento.

Una prima ipotesi, configurata nella fase di Diagnosi Energetica, era quella di eseguire limitati interventi di efficientamento energetico (coibentazione copertura, isolamento superfici opache verticali, sostituzione dei serramenti, sostituzione della caldaia a condensazione, installazione dell'impianto fotovoltaico e sostituzione dell'illuminazione con altra a LED). Per la realizzazione di tali interventi e di quelli di miglioramento sismico al 60%, si era previsto un importo lavori di € 588.400, avendo accesso ad un incentivo GSE pari a € 120.000 circa.

Una seconda ipotesi valutata in fase di progettazione di fattibilità tecnico economica è stata quella di eseguire un intervento di adeguamento sismico e contestuale trasformazione dell'edificio in NZEB (Near Zero Energy Building). L'intervento nel suo complesso veniva stimato in € 852.650 al netto di IVA, comprensivo però anche della riqualificazione interna del 2° piano che nell'ipotesi precedente non era stata considerata. Ma, secondo quanto disposto dalla legge Conto Termico 2.0, tale ipotesi permetteva di accedere ad un contributo GSE per efficientamento energetico decisamente superiore (€ 530.000 circa).

Alla luce di tali valutazioni tecniche preliminari, la seconda ipotesi era quella di maggiore convenienza in quanto oltre a riqualificare integralmente l'edificio e ottenere l'adeguamento sismico, assicurava un minore esborso immediato per l'Amministrazione Comunale e anche una riduzione dei costi di manutenzione e funzionamento futuri.

L'Amministrazione Comunale ha pertanto deciso di far predisporre il Progetto Definitivo – Esecutivo in modo da poter accedere ai finanziamenti previsti dal Conto Termico per la trasformazione in Edificio ad Energia Quasi Zero (NZEB). Il raggiungimento dell'adeguamento sismico ha permesso anche di partecipare con successo al bando per il finanziamento degli interventi di rafforzamento sismico di edifici pubblici strategici (DGR Veneto n.1389 del 25 settembre 2018), ottenendo un ulteriore contributo a fondo perduto di € 315.900 circa.

Pertanto, l'insieme dei contributi a fondo perduto Conto Termico 2.0 per edificio NZEB e Regione Veneto per adeguamento sismico, coprivano per circa l'80% il quadro complessivo di spesa di € 1.050.000, permettendo all'Amministrazione Comunale di ottenere la riqualificazione completa dell'edificio a costo quasi nullo.

Descrizione degli interventi antisismici

Gli interventi di adeguamento sismico sono costituiti quasi integralmente da lavorazioni svolte all'esterno dell'edificio, senza interrompere il funzionamento degli uffici e assicurando quindi la continuità del servizio e l'accesso al Municipio in totale sicurezza agli utenti e ai dipendenti.

Essi constano di:

- Realizzazione di nuove fondazioni perimetrali e del cappotto sismico
- Cucitura dei giunti di costruzione fra corpi adiacenti e realizzazione di cappa in c.a. sopra la terrazza sul lato nord dell'edificio, con funzione di ulteriore collegamento dei diversi corpi di fabbrica fra di loro e con il cappotto sismico
- Eliminazione del tavellonato a copertura del secondo piano dell'edificio.

L'insieme degli interventi sopra descritti ha assicurato un comportamento globale scatolare dell'edificio.

Il cappotto sismico

La nuova struttura sismo resistente è costituita da una membrana esterna di calcestruzzo armata gettata all'interno dei casseri prefabbricati ECOSISM, realizzata in adiacenza alla struttura esistente.

In sostanza si è realizzato un guscio sismo-resistente in calcestruzzo armato gettato entro moduli prefabbricati realizzati con una rete metallica e pre-isolati con pannelli in EPS, XPS e RESINE FENOLICHE. Il cappotto sismico ha una propria fondazione a trave continua, ancorata mediante barre di armatura resinata alle fondazioni esistenti, ed è collegato ai cordoli del solaio esistente mediante opportuni ancoraggi.

Dal punto di vista della progettazione sismica, il cappotto sismico è inquadrabile nella tipologia a pareti debolmente armate, progettate in campo non dissipativo con fattore di comportamento pari a $q=1.5$ (senza la necessità di rispettare i dettagli di armatura che sono tipici delle strutture in calcestruzzo armato dissipative).

Il modulo cassero fornito dalla ditta Ecosism è formato da una rete metallica tridimensionale in acciaio zincato contenente due pannelli di materiale isolante, di tipologia e spessore scelti in fase di progettazione, e preassemblato in stabilimento. Nel caso in esame si sono installati due diversi pacchetti diversificati a seconda delle esigenze di resistenza e di isolamento termico nelle diverse parti dell'edificio:

- 10/12/10: con isolamento in EPS (XPS la prima fascia a contatto con la fondazione) interno/esterno di spessore 10 cm e parete di calcestruzzo di spessore 12 cm;
- 10/16/6 con isolamento interno 10 cm in EPS ed esterno 6 cm in pannello di isolante fenolico e parete di calcestruzzo di spessore 16 cm.

Lo spessore totale è in ogni caso di 34 cm, compreso l'intonaco esterno da 2 cm. Lo strato di isolante lato interno è stato scelto di spessore maggiore rispetto all'usuale (10 cm) per potervi alloggiare i tubi di alimentazione dei nuovi fancoils. L'isolante fenolico è stato adottato nelle parti di cappotto a maggiore spessore di calcestruzzo per mantenere una sostanziale invarianza del potere isolante delle pareti a parità di spessore complessivo di cappotto.

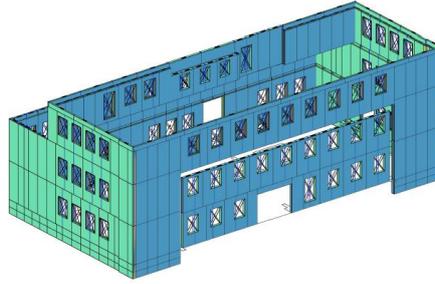


Figura 8: Modello 3D utilizzato per la progettazione dei casseri prefabbricati del cappotto sismico

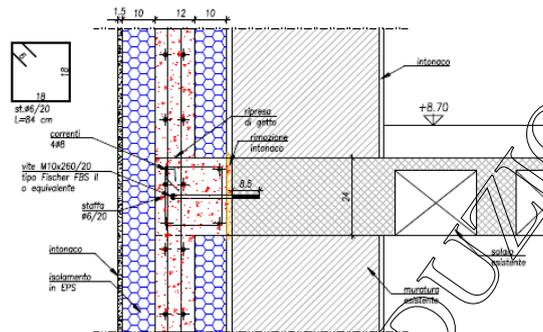


Figura 9: Collegamento del cappotto sismico ai cordoli di soiaio

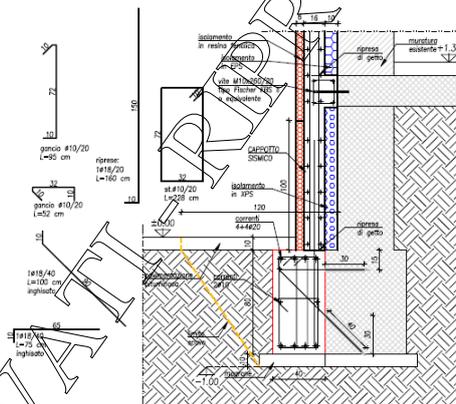


Figura 10: Collegamento delle nuove fondazioni del cappotto sismico alle fondazioni esistenti

Come si vede dai particolari costruttivi, il cappotto si applica solo esternamente al fabbricato, per dotarlo di una nuova "pelle" resistente al sisma: questa pelle è formata da una lastra in calcestruzzo armato all'esigenza, gettata all'interno di un cassero formato da rete in acciaio zincato e pannelli isolanti personalizzabili. Questa nuova parete esterna in calcestruzzo, mediante ancoraggi a livello di fondazione e dei cordoli che assicurano la collaborazione con la struttura esistente, diventa solidale con l'intero edificio.

Il modello FEM è realizzato rappresentando gli elementi portanti esistenti e le nuove pareti del cappotto sismico. Confrontando le rigidità delle due strutture, quella della muratura esistente è pari al 13% della rigidità totale formata dall'insieme cappotto e muratura e pertanto quella esistente poteva, in questo caso, essere considerata come elemento secondario dell'edificio. **L'intera resistenza sismica è stata affidata alla nuova epidermide antisismica, rimanendo quella della struttura esistente un ulteriore contributo non conteggiato a favore di sicurezza.**

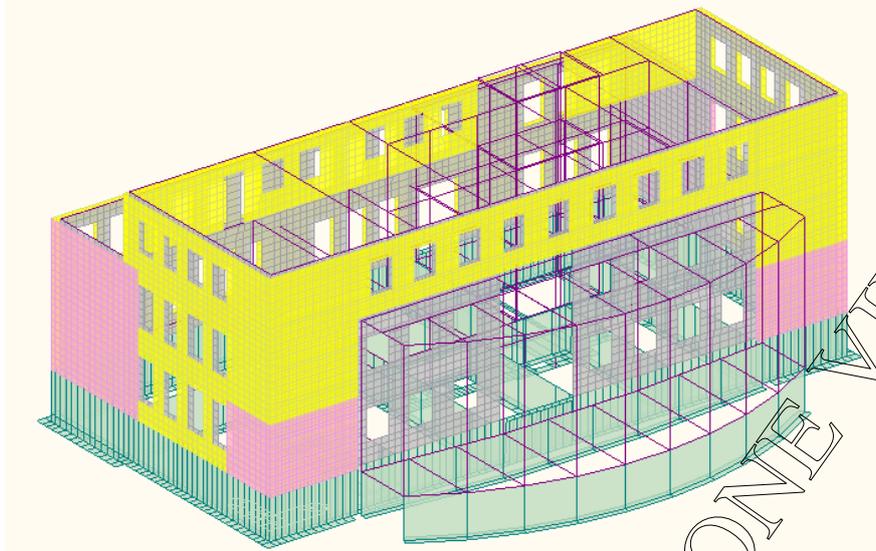


Figura 11: Modello di calcolo: fondazioni in verde, muratura in grigio, cappotto sismico sp. 16 cm in rosa e cappotto sismico sp. 12 cm

Nell'edificio adeguato il primo modo di vibrare risulta essere di tipo traslazionale in direzione Y, il secondo sempre traslazionale ma in X mentre il terzo risulta essere rotazionale. Le masse attivate per ogni modalità di vibrazione sono le seguenti:

Mode No	Period (sec)	TRAN-X		TRAN-Y		ROTN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0.26	0.01	0.01	88.04	88.04	0.00	0.00
2	0.22	87.07	87.08	0.01	88.05	1.05	1.05
3	0.11	1.09	88.17	0.01	88.06	84.02	85.07
4	0.07	0.03	88.19	5.36	93.42	0.01	85.08
5	0.06	0.07	88.26	0.18	93.59	0.01	85.08
6	0.06	7.75	96.01	0.07	93.66	0.05	85.13
7	0.06	0.04	96.05	0.01	93.67	0.01	85.14
8	0.06	0.01	96.06	0.01	93.70	0.00	85.14
9	0.06	0.00	96.07	0.01	93.70	0.00	85.14
10	0.06	0.01	96.08	0.00	93.71	0.24	85.38

Tabella 2: periodi di vibrazione e masse partecipanti

Considerando i primi 10 modi di vibrare, si riesce ad eccitare l'edificio con una massa partecipante superiore all'85% sia in direzione X sia in direzione Y.

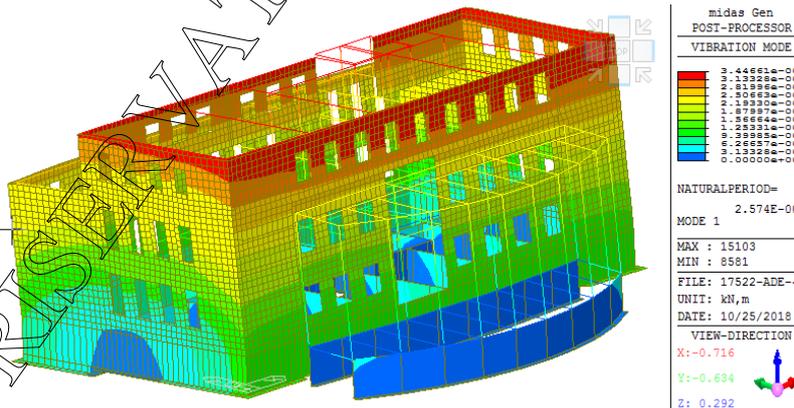


Figura 12: Modo di vibrare 1 (T=0.26 s)

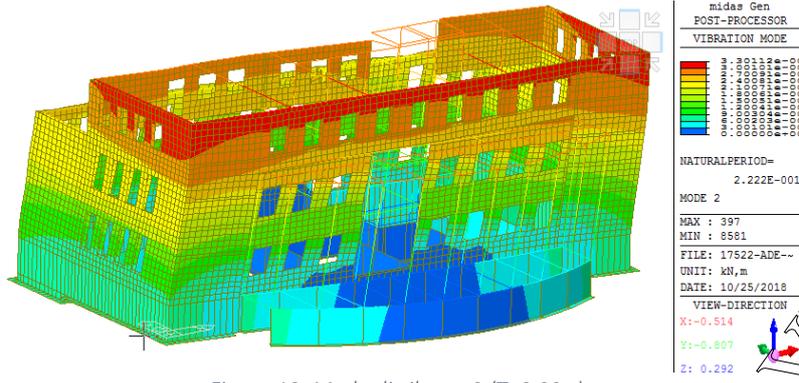


Figura 13: Modo di vibrare 2 (T=0.22 s)

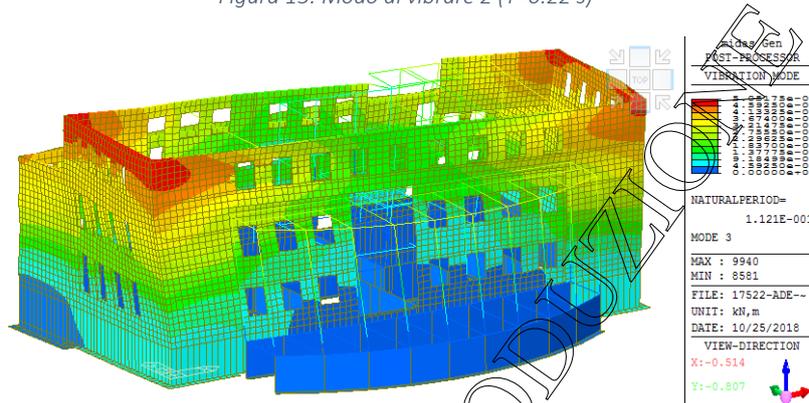


Figura 14: Modo di vibrare 3 (T=0.11 s)

Nonostante l'incremento di rigidità laterale, l'applicazione del cappotto sismico non va ad incrementare le azioni sismiche e non va a modificare la distribuzione dei carichi gravitazionali che continuano a gravare sulle strutture esistenti. Il cappotto sismico rappresenta unicamente un presidio in caso di eventi sismici, che aumenta sia la prestazione rispetto agli stati limite ultimi (sismi con tempo di ritorno elevato) che diminuisce i danni conseguenti a sismi di intensità minore (ma per questo caratterizzati da tempi di ritorno ridotti), assicurando così un consistente miglioramento della classe di rischio sismico dell'edificio.

E' da notare che con la tecnica del cappotto sismico i costi per il solo adeguamento sismico sono stati valutati essere pari solamente a € 250.000 circa (circa 240 €/mq di facciata, cifra già comprensiva dell'isolamento termico delle pareti), lasciando così ampio spazio economico agli interventi di adeguamento energetico e riqualificazione dell'edificio.

Cucitura dei giunti sismici esistenti

Si sono cuciti i giunti fra il corpo principale e gli ampliamenti successivi. All'interno si è intervenuti con cuciture armate a livello del soffitto di piano terra. All'esterno si è solidarizzata la copertura del porticato con il nuovo cappotto sismico e il solaio di pavimento del 2° piano. Inoltre, sopra il solaio della terrazza sul lato nord si è realizzata una cappa di calcestruzzo armata, collegata anch'essa al cappotto sismico, che ha permesso di solidarizzare i vari corpi di fabbrica.

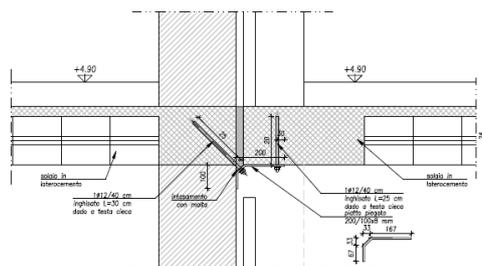


Figura 15: Cucitura dei giunti a livello del solaio di soffitto del piano terra

Demolizione dei tavelloni sul contro-solaio di copertura

Il solaio del sottotetto del corpo principale era costituito da un doppio solaio: quello inferiore era a travetti tipo con tavellonato sottostante, il superiore realizzato successivamente invece a travetti precompressi con pignatte interposte e cappa collaborante. Per evitare lo sfondellamento, si sono rimossi i tavelloni sottostanti: lo spazio esistente fra i due solai è stato utilizzato per il passaggio della nuova impiantistica (il sistema di condizionamento ad aria primaria è stato esteso anche al secondo piano) e l'isolamento termico del piano di copertura, successivamente mascherato con posa di un nuovo controsoffitto.

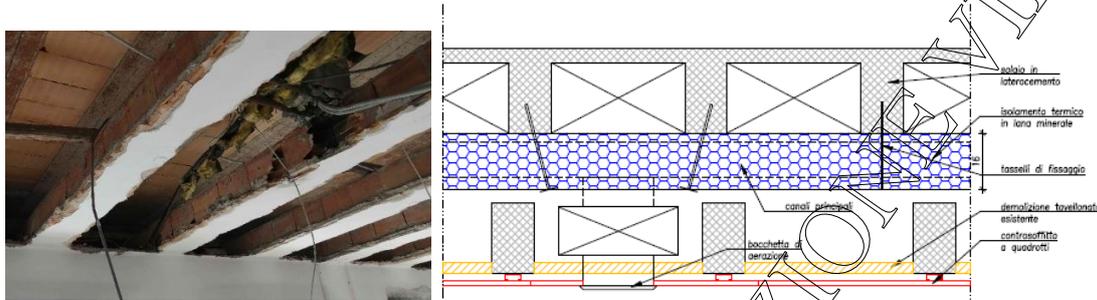


Figura 16: Demolizione del tavellonato, isolamento termico e nuovo controsoffitto

Intervento di efficientamento energetico

Si riportano i valori dei parametri fondamentali in base ai quali sono stati dimensionati gli impianti tecnologici in linea con le normative vigenti in materia:

CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE DELL'ARIA ESTERNA		FUNZIONAMENTO DEGLI IMPIANTI TERMICI	
		- Temperatura dell'acqua agli utilizzatori	
<u>Condizioni invernali</u>		<u>Riscaldamento a ventilconvettori e radiatori</u>	
Temperatura aria	-5 °C	mandata circuito primario	50 °C
Umidità relativa	80 %	ritorno circuito primario	40 °C
<u>Condizioni estive</u>		<u>Raffrescamento ventilconvettoni</u>	
Temperatura aria	31 °C	mandata circuito primario	7 °C
Umidità relativa	56 %	ritorno circuito primario	12 °C
		<u>produzione ACS</u>	
		mandata circuito primario	55 °C
		ritorno circuito primario	45 °C
		acqua calda miscelata sanitaria	42 °C
		<u>Tolleranze</u>	
		Temperatura degli ambienti	+2 °C
		Temperatura dell'acqua calda sanitaria	+2 °C

Tabella 5: Parametri fondamentali di progetto degli impianti tecnologici

La temperatura ambiente di progetto assunte per i vari locali sono le seguenti:

- Atrio: 20°C;
- Uffici e locali di servizio: 20°C;
- Magazzino: 18°C;
- Servizi igienici: 24°C.

Come previsto dalla normativa UNI10339, gli spazi chiusi avranno un adeguato ricambio d'aria per consentire idonee condizioni igieniche e comfort per gli utenti dell'edificio:

- Servizi igienici: 5-8 Vol/h;
- Atrio: 1.5 Vol/h;
- Uffici: 1.5 Vol/h;
- Locali vari: 0.5 Vol/h.

Impianti di riscaldamento e raffrescamento

L'energia termica si ottiene da un sistema combinato di caldaia a condensazione e pompa di calore aria-acqua a recupero parziale. La produzione è fatta con un bollitore di acqua tecnica con serpentina rovescia: questa scelta è giustificata dallo scarto energetico caldo che produce la pompa di calore a recupero parziale, mentre produce freddo nel periodo estivo, che viene smaltito nel bollitore, andando ad evitare accensioni brevi della caldaia. È stato installato anche un contatore dei volumi per la lettura dei consumi sanitari. Il funzionamento prevede la suddivisione del circuito in primario e secondario, tale da far funzionare i due generatori sul circuito primario ma differenziando i loro attacchi a seconda della temperatura rilevata nell'accumulo. Nella parte alta dell'accumulo si è posizionata la caldaia e in posizione intermedia la pompa di calore. Le salite delle nuove tubazioni sono state progettate per equilibrare al meglio le varie portate ai piani, tutti i ventilconvettori sono stati sostituiti ed il gruppo frigo è stato eliminato, ma mantenuti i radiatori esistenti: quindi il sistema di emissione sarà formato da nuovi ventilconvettori (raffrescamento e riscaldamento) al piano terra e al primo piano e da radiatori.

Impianto di ventilazione e rinnovo d'aria

Il sistema di distribuzione d'aria è stato parzialmente abbandonato in quanto obsoleto, eliminando le UTA, i torrini di estrazione e i canali di mandata, ripresa ed espulsione dell'aria in uscita da esse. Le mandate e le riprese d'aria delle due UTA sono state ridimensionate per una portata di 2000 mc/h per la sala consiliare e di 2500 mc/h per uffici e servizi. È rimasto invariato il canale di mandata di ripresa d'aria dei torrini per l'innesto con l'UTA degli uffici. La temperatura di mandata risulterà a costante mentre il ricambio è correlato alla destinazione d'uso ambientale.

Si è lasciata l'impostazione dell'impianto preesistente, ma si è previsto un sistema misto formato da un riscaldamento primario a ventilconvettori ed un sistema di rinnovo d'aria avente UTA ad altissima efficienza. Per la sala consiliare, non dotata di ventilconvettori, è stato prevista una maggiorazione delle portate. Alle UTA è stato affidato il compito del rinnovo d'aria, oltre alla compartecipazione nel riscaldamento e nella umidificazione, essendo dotate di termoregolazione elettronica modulare.

Al secondo piano si è optato per una ventilazione meccanica controllata da 600 cm/h. Le tubazioni sono state eseguite a controsoffitto sfruttando gli interventi di isolamenti. I vari collegamenti fra i canali e le macchine sono stati realizzati con giunti antivibranti.

Impianto fotovoltaico

Sulla copertura dell'edificio è stato installato un impianto fotovoltaico da 15,18 kWp a moduli con tecnologia in silicio mono-policristallino che sovrappone parzialmente ai fabbisogni energetici dell'edificio.

Impianto gas metano

Le tubazioni di adduzione in acciaio vengono rifatte integralmente per il collegamento alla nuova caldaia a condensazione, la quale avrà un nuovo canale di fumo ed un camino con doppia parete. L'impianto interno è classificato, ai sensi del DM 24/11/84, da condotte di 7ª specie, con pressione massima di esercizio inferiore o uguale a 0.04 bar.

Reti idriche

La distribuzione idrica interna all'edificio non viene modificata, ma viene rifatta l'adduzione principale in centrale termica e le tubazioni in uscita dal bollitore per l'acqua calda, fredda e ricircolo. Le tubazioni principali saranno realizzate in acciaio di serie pesante (PN=40 bar) e serie leggera e media (PN=16 bar). Ogni apparecchiatura è stata intercettata da una valvola a sfera. È stata prevista la coibentazione di tutte le tubazioni e delle varie valvole.

Il sistema di trattamento acque per uso umano e per l'impianto termico a vaso chiuso prevede l'addolcitore, un filtro generale ed il dosatore di polifosfati. È stata prevista anche il sistema di trattamento e di

condizionamento del circuito chiuso: l'impianto termico sarà caricato con prodotto filmante e condizionante per garantire la resa ottimale di tutti gli scambiatori e di tutte le apparecchiature.

Quadri elettrici e impianti di termoregolazione

È stato previsto un nuovo quadro elettrico di potenza e di termoregolazione per l'intero edificio. L'impianto è regolato dal sistema di termoregolazione programmabile al fine di mantenere le condizioni termiche. Inoltre, si è installato un impianto centralizzato di regolazione automatica finalizzato alla rilevazione delle temperature dell'acqua e dell'aria e umidità, e al controllo e comando dei veri organi di regolazione e apparecchiature: questo sistema è programmabile via software ed è espandibile per poterlo adottare alle esigenze future.

4. FASE ESECUTIVA DI POSA IN OPERA DEL CAPPOTTO SISMICO

Inizialmente sono state realizzate le nuove fondazioni per il cappotto sismico, adiacenti ed ancorate alle esistenti.

Quindi, una volta portati a nudo i cordoli della struttura esistente e installati i connettori strutturali, si sono posizionati i pannelli prefabbricati del cappotto sismico. Fissati i casseri alle murature esistenti con dei semplici tasselli da cappotto, si sono posizionate le barre di armatura verticali ed orizzontali, opportunamente dimensionate, all'interno dell'intercapedine fra i due pannelli isolanti. Successivamente si è gettato il calcestruzzo fluido a granulometrica fine per il riempimento di tutti i vuoti tramite pompaggio e vibrazione: la scelta dell'Appaltatore è stata quella di utilizzare un betoncino premiscelato in silos, che consente la massima flessibilità di getto anche in piccole quantità e con costanza di risultato.

E' da far notare che la spinta del getto di calcestruzzo è compensata dalla rete metallica che lega due facce del cassero di materiale isolante. Quindi lo scopo della tassellatura dei casseri alle pareti perimetrali è solamente quello di assicurare il loro corretto allineamento ed evitarne il movimento durante le operazioni di posa di armatura e getto.

L'ultima fase è quella della realizzazione della finitura esterna del cappotto sismico: rinzafo, intonaco di fondo e finitura a intonachino colorato armato con rete in fibra. La maglia metallica esterna consente di realizzare un intonaco di finitura solido che garantisce massima protezione del materiale isolante nei confronti di urti ed eventi atmosferici di alta intensità.



Figura 17: Nuove fondazioni per il cappotto sismico



Figura 18: Partenza del cappotto dalla fondazione, si notano i casseri con XPS in partenza

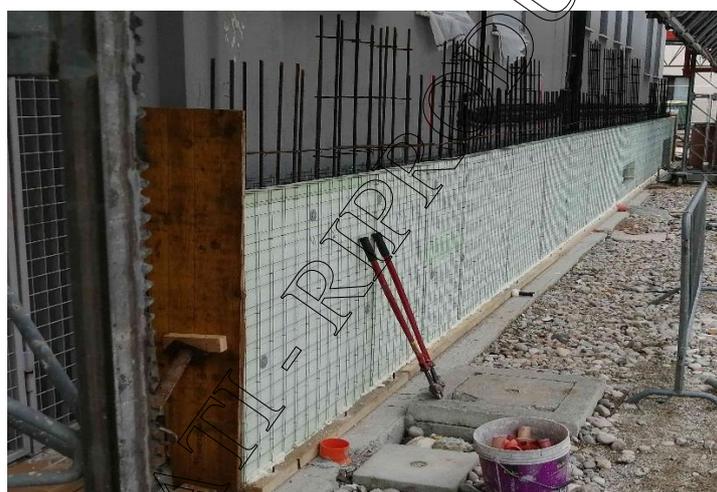


Figura 19: Cassero pronto per il getto con armature posizionate



Figura 20: Getto eseguito e particolare dei ferri di ripresa per il piano successivo



Figura 21: Cappotto di piano terra completato

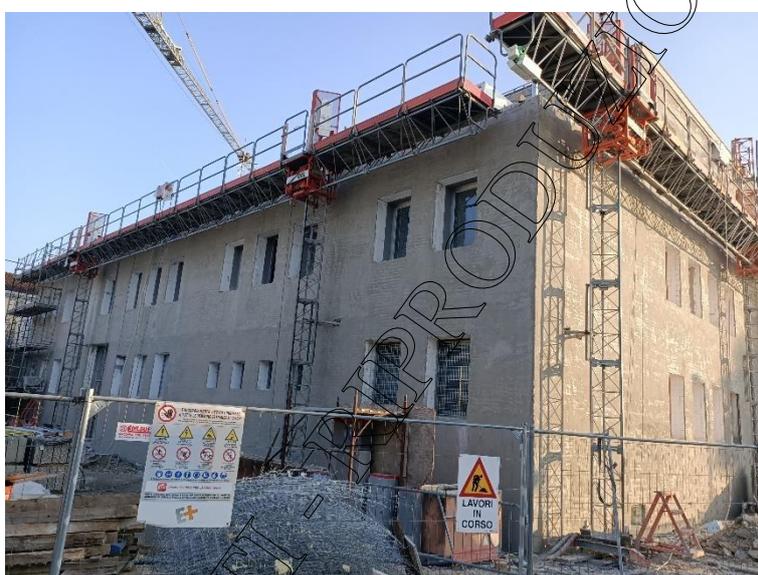


Figura 22: Finitura cappotto sismico

Il cappotto armato sul fronte sud dell'edificio

Lungo il prospetto sud, al di sotto del porticato dove non era possibile realizzare il cappotto sismico, si è operato con la tecnica del cappotto armato, sempre fornito dalla ditta Ecosism. Il **cappotto armato** si differenzia dal cappotto sismico per l'assenza della membrana di calcestruzzo armato. A differenza di un semplice cappotto termico è fornito a pannelli prefabbricati di altezza interpiano che vengono fissati sempre a livello dei cordoli di piano esistenti. Al pari del cappotto sismico è dotato di una rete armata portaintonaco che fornisce robustezza superficiale e permette l'applicazione di rivestimenti di pietra o piastrelle. Un ulteriore vantaggio di questa tecnologia, peraltro non sfruttata nell'intervento in discorso, è la capacità di contenimento delle tamponature leggere in caso di evento sismico.

La prima lavorazione eseguita sulla parete è stata la rimozione del rivestimento lapideo esistente. Successivamente per pareggiare i livelli della parete si è posizionata una rete sulla quale è stato poi spruzzato del betoncino.



Figura 23: Rimozione del rivestimento lapideo



Figura 24: Posizionamento rete elettrosaldata e spruzzatura del betoncino di livellamento

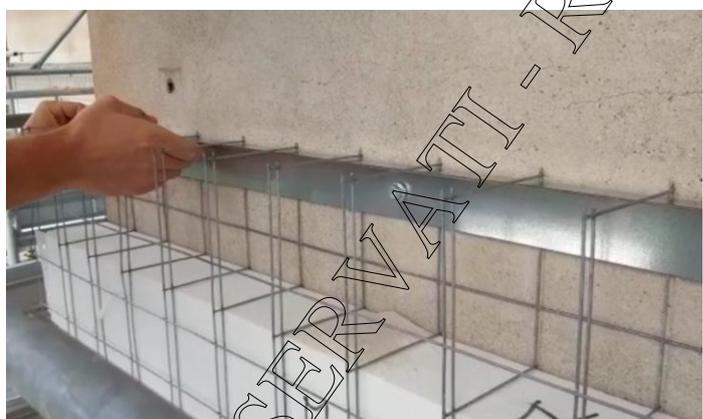


Figura 25: Posizionamento casseri del cappotto armato e finitura



5. CONCLUSIONI

Alla data di scrittura del presente articolo i lavori descritti sono oramai allo stato conclusivo, mancando solamente le finiture del cappotto sismico e l'installazione dei nuovi serramenti. A lavori ultimati la sede municipale di Marano di Piave vedrà un fortissimo contenimento dei consumi energetici, passando dalla classe energetica D alla A4 grazie agli interventi realizzati per trasformare il fabbricato in un edificio nZEB. E gli interventi strutturali avranno condotto all'adeguamento sismico dell'edificio strategico.

Tutti gli interventi, progettati e realizzati, sono stati pensati facendo attenzione ai seguenti criteri:

- Semplicità e velocità esecutiva in sicurezza per le maestranze;
- Continuità d'uso in sicurezza della sede municipale;
- Riduzione delle interferenze fra le attività cantieristiche e quelle in corso all'interno dell'edificio;

- Riduzione della manutenzione delle opere nel tempo;
- Riduzione estrema del fabbisogno energetico dell'edificio.

L'intervento nel suo complesso ha permesso all'amministrazione Comunale di accedere ai fondi stanziati dal GSE per gli interventi di trasformazione di edifici esistenti in NZEB. Che, unitamente a quelli stanziati da Regione Veneto a supporto dell'adeguamento sismico di edifici strategici, ha garantito la copertura dell'80% del costo totale dell'intervento. Il Comune di Mareno avrà pertanto una sede municipale completamente rinnovata ed efficientata, sicura ed "eco-friendly", sostenendo una minima parte del costo totale di intervento. Trattasi pertanto di un intervento di "best-practice" che coniuga le esigenze di efficientamento degli edifici pubblici esistenti con le opportunità di finanziamento attualmente disponibili.

Tali risultati sono stati possibili grazie alla scelta di operare con la tecnica del cappotto sismico, in questo caso fornito dalla ditta Ecosism, che permette di migliorare il comportamento sismico ed energetico dell'edificio contemporaneamente, in modo efficiente, con certezza di tempi e di costi e con il miglior rapporto benefici/costi fra le tecnologie alternative attualmente presenti sul mercato.



Figura 26: Rendering del risultato finale atteso

Per informazioni:

ECOSISM SRL

Via Rivella, 22 – 35041 BATTAGLIA TERME (PD)

Tel. +39 0499101417 Fax +39 0499114283

info@ecosism.com

www.ecosism.com