PARTE II ANALISI DEI POTENZIALI PER L'INTEGRAZIONE

Parte II CAP II.4

La valutazione sismica ed energetica: analisi dei potenziali per l'integrazione

Il capitolo è suddiviso in due principali parti. Nella prima parte si analizzano le procedure per la valutazione sismica e la diagnosi energetica degli edifici scolastici esistenti, con l'obiettivo di individuare i potenziali per una reciproca integrazione. Nella seconda parte invece si analizzano i criteri che devono essere posti alla base di soluzioni sinergiche di miglioramento energetico e sismico. L'integrazione delle due procedure può essere valutata come un'opportunità di ottimizzazione dell'intero processo di riqualificazione attraverso interventi integrati di recupero energetico e sismico.

II.4.1 La procedura per la valutazione della sicurezza sismica e delle prestazioni energetiche

Come'è stato illustrato nei precedenti capitoli, gli edifici scolastici esistenti necessitano di interventi urgenti finalizzati all'adeguamento sismico ed alla riduzione dei consumi energetici. La valutazione del livello di sicurezza, sia in presenza delle sole azioni controllate dall'uomo che rispetto alle azioni non controllabili dall'uomo come l'azione sismica, è necessaria in ragione dei ridotti livelli di sicurezza delle costruzioni esistenti. Allo stesso tempo, l'analisi dei fabbisogni energetici degli edifici è fondamentale per individuare strategie mirate alla riduzione dei consumi.

Tuttavia, mentre le verifiche sismiche seguono una procedura sistematica ed esaustiva definita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. 14/01/08, la procedura della diagnosi energetica, anche se contemplata dalle normative, non è ancora entrata a far parte integrante dei processi di riqualificazione degli edifici pubblici¹.

Obiettivo di questa seconda parte della ricerca è di individuare "i punti di contatto" tra le due discipline, al fine di dimostrare la fattibilità operativa di un approccio integrato. Entrambe le procedure sono caratterizzate da un simile percorso metodologico strutturato nelle seguenti principali fasi operative:

- a. Fase conoscitiva, finalizzata alla definizione delle caratteristiche geometriche e costruttive, e ad una ricostruzione storico-critica del sistema analizzato.
- b. Fase di valutazione, in cui vengono rielaborati i dati provenienti dalle indagini, definiti i modelli e le "condizioni al contorno", al fine di individuare gli indicatori del livello di sicurezza sismica e di efficienza energetica del sistema considerato.
- c. Fase di definizione degli interventi, in cui vengono valutate le soluzioni tecniche e gestionali opportune, in relazione ai costi necessari rispetto ai benefici ottenibili.

¹ La direttiva Europea 2012/27/UE ha introdotto l'obbligo della riqualificazione energetica degli immobili posseduti dalle pubbliche amministrazioni nella misura pari al 3% ogni 3 anni a partire dal 2014. Gli stessi edifici dovranno essere sottoposti ad una diagnosi energetica almeno ogni quattro anni dalla data del precedente audit energetico.

La procedura generale descritta è, evidentemente, una semplificazione rispetto al processo articolato che caratterizza ciascuna valutazione, ma mette in evidenza la possibilità di individuare dei punti di contatto tra le due discipline.

La ricerca ha individuato come fasi operative potenzialmente "integrabili":

- a. la fase conoscitiva, o il percorso della conoscenza;
- c. la fase di definizione degli interventi necessari.

La fase di "valutazione" invece, necessitando di strumenti di calcolo e competenze specifiche, deve essere specifica per ciascuna disciplina.

Di seguito si analizzano le procedure di analisi (verifiche sismiche ed analisi energetiche) individuando le fasi e gli strumenti comuni. L'obiettivo è di definire le basi conoscitive per impostare un procedimento "integrato", che consenta di ottimizzare l'intero processo di recupero dell'Edilizia scolastica esistente.

II.4.2 Le verifiche sismiche

II.4.2.1 La normativa

L'elevato livello di danno riscontrato sugli edifici esistenti in seguito ai recenti terremoti, ha confermato la rilevanza della verifica di sicurezza, quale azione propedeutica per la valutazione del rischio a cui è soggetto un edificio. L'obbligatorietà delle verifiche sismiche è stata sancita per la prima volta dall'O.P.C.M n. 3274 del 20 marzo 2003, che stabiliva i tempi tecnici entro cui concludere le operazioni, i soggetti attuatori, e le modalità operative.

L'ordinanza imponeva l'obbligatorietà delle valutazioni per le seguenti categorie di edifici:

- edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile: es. ospedali, municipi, caserme, ecc.;
- edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in caso di eventuale collasso: es. scuole, teatri, musei, biblioteche, chiese, ecc.

Obiettivo generale dell'intera operazione di verifica era di avere una base conoscitiva esaustiva del grado di rischio sismico degli edifici d'importanza strategica, per poter avviare un'efficace programmazione degli interventi mirati alla mitigazione e riduzione del rischio. Il termine previsto per la conclusione delle verifiche era di 5 anni, ovvero entro il mese di Marzo del 2008.

L'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. del 14/09/2005 ed aggiornate con D.M. del 14/01/2008², e le oggettive difficoltà di completamento di tale

² Tra le novità della nuova Normativa Tecnica (D.M. del 14/01/2008) vi è l'obbligo delle verifiche a tutti gli edifici (non solo quelli di interesse pubblico e strategico), nei casi in cui si verifichino una delle seguenti problematiche: riduzione della capacità portante, gravi errori di progetto o costruzione, cambio di destinazione d'uso, riduzione della esistenza o modifiche nella rigidezza, in tutti i casi si intenda sopraelevare, variare i carichi in fondazione più del 10% o trasformare in modo esteso la costruzione. Le Norme Tecniche quindi stabiliscono che le verifiche di sicurezza trovino riscontro documentato non solo nei valori numerici che sintetizzano il risultato della verifica, ma anche nella identificazione di eventuali azioni conseguenti come ad esempio interventi strutturali volti al ripristino o aumento della capacità o limitazioni d'uso. In questo senso il progettista assume un ruolo determinante perché, oltre ad esplicitare in un'apposita relazione i livelli di sicurezza rilevati, dovrà indicare le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della

costruzione.(http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/02rischio/verifiche/gestione_verifiche/img_gestione_verifiche.pdf)

operazione, hanno prorogato la scadenza fino alla data del 31/12/2010 (art. 20 L. n. 31 del 28/02/2008).

Le verifiche, nate con il preciso obiettivo di effettuare una catalogazione dello "stato degli edifici" e quindi per gestire le successive attività di programmazione, sono state disattese dalla maggior parte delle Amministrazioni determinando ulteriori proroghe almeno fino al 2013.

Nel frattempo, al fine di tamponare la carenza di dati certi sullo stato di sicurezza degli edifici pubblici, e per poter gestire meglio le operazioni di soccorso in caso di evento sismico, nell'Aprile 2010 è stata diffusa dal Dipartimento della Protezione Civile una "Circolare sullo stato delle verifiche sismiche previste dall'O.P.C.M. 3274/2003 e programmi futuri", con la quale è stato indicato un "obiettivo conoscitivo minimo", mediante la compilazione della Scheda di livello 0 e nella predisposizione di cronoprogrammi di ultimazione delle verifiche di sicurezza³. Queste schede rappresentano solo un preliminare livello di conoscenza delle caratteristiche generali delle opere, senza esprimere un giudizio affidabile sulle reali condizioni di sicurezza.

Tra le principali cause dei ritardi o della mancata attivazione delle verifiche sismiche sugli edifici pubblici vi è senza dubbio l'incidenza economica che assume tale operazione nel bilancio di una Amministrazione Pubblica. Per gli Edifici scolastici è stato stimato che il costo medio di una verifica si aggira intorno ai 9 mila euro, raggiungendo in alcune Regioni i 20 mila euro. Il costo infatti, varia in base alle dimensioni, alla localizzazione geografica e al periodo costruttivo degli edifici scolastici. In generale l'incidenza maggiore dei costi si ha per gli istituti comprensivi o le scuole secondarie di secondo grado, che spesso sono di dimensioni maggiori rispetto alle scuole primarie e a quelle secondarie di primo grado.⁴

II.4.2.2 Ruoli e competenze dei soggetti coinvolti

Nel caso di valutazione sulla sicurezza degli edifici pubblici (quindi delle scuole), in generale i soggetti coinvolti, ognuno con le proprie competenze, sono:

- Amministrazione Pubblica (Comunale, Provinciale, Regionale), alla quale spetta il reperimento di tutto il materiale necessario per lo svolgimento del programma delle indagini, quali elaborati grafici, computi metrici, capitolato di appalto, certificato di collaudo.
- Responsabile dell'Ufficio Tecnico o Professionista incaricato. È responsabile della stesura del programma delle indagini e dell'elaborazione e gestione dei dati derivanti dalle prove (come riportati nel Certificato emesso dal Laboratorio incaricato). Il compito principale è quello di assumere i risultati delle indagini per un'eventuale progettazione di interventi di miglioramento e/o adeguamento sismico e/o per la definizione del livello di vulnerabilità dell'edificio stesso.

_

³ Con l'emanazione da parte del Dipartimento della Protezione Civile della "Circolare sullo stato delle verifiche sismiche previste dall'O.P.C.M. 3274/2003 e programmi futuri", viene indicato un obiettivo minimo per la verifica degli edifici pubblici strategici. Le indicazioni, implementate con l'emanazione di successive circolari, possono così riassumersi: (i) i proprietari degli edifici devono procedere alla verifica sismica, con conseguente compilazione ed inoltro delle schede allegate alle circolari entro il 31 dicembre 2010 (poi prorogata al 31 dicembre 2012); (ii) gli esiti della verifica non determinano l'obbligatorietà e improcrastinabilità degli interventi di miglioramento ed adeguamento sismico, salvo i casi nei paragrafi 8.3 e 8.4 delle norme tecniche per le costruzioni approvate con D.M 14gennaio 2008; (iii) gli interventi sub (i) devono essere oggetto della programmazione da parte delle Amministrazioni interessate e possono essere oggetto di finanziamento pubblico; (v) "se il soggetto responsabile è una Pubblica Amministrazione, deve tener conto della verifica in sede di pianificazione triennale, l'eventuale intervento potrebbe concretizzarsi a distanza di qualche anno dal momento in cui si è avuta contezza della situazione di rischio".

⁴ Fonte Wired Italia, Verifiche sismiche nelle scuole, le spese di ogni regione, Campagna scuole sicure, http://daily.wired.it/news/politica/2012/10/12/verifiche-sismiche-costi-regioni-121234.html (rilevato 28/07/2013.

- Laboratorio autorizzato al rilascio del Certificato per prove di qualità sui materiali. Il Laboratorio coinvolto, in possesso della concessione rilasciata dal Ministero Infrastrutture e Trasporti come previsto dall'art. 20 della L.1086/71, si occupa dell'esecuzione delle prove.
- Ufficio Regionale. L'ufficio regionale competente deve farsi carico del un coordinamento complessivo delle attività e dei vari soggetti coinvolti al fine dell'ottimizzazione dei dati⁵.





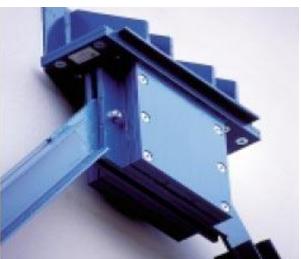


Fig. II.4.1 e Fig II.4.2 La scuola Gentile Fermi di Fabriano, Marche, Italia, 2000, dopo il miglioramento sismico con dissipatori viscoelastici sviluppati nell'ambito del progetto comunitario REEDS, effettuato a seguito dei danni subiti durante il terremoto Umbro-Marchigiano del 1997 (Riferimento REEDS)

⁵ Cfr: Regione Toscana,2012, Programma Regionale VSCA Criteri per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in cemento armato.

II.4.2.3 Oggetto delle verifiche

Le analisi devono riferirsi all'insieme del complesso strutturale, nel caso di edificio isolato, mentre nel caso di edifici "in aggregato", si deve procedere ad individuare l'unità strutturale in base a quanto indicato al punto 8.7.1 delle NTC 2008 e al punto C8.A.3 della Circolare n.617/2009.

L'unità strutturale può comprendere cellule legate in elevazione ed in pianta, da un comune processo costruttivo. Per l'individuazione della porzione di aggregato da considerare si deve tenere conto principalmente dell'unitarietà del comportamento strutturale nei confronti dei carichi, sia statici che dinamici. In definitiva, l'unità strutturale è individuata come "un edificio, o porzione che ha continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui costruiti, ad esempio, con tipologie costruttive e strutturali diverse, o con materiali diversi, oppure in epoche diverse."⁶.

II.4.2.4 Il percorso della conoscenza

Il percorso della conoscenza rappresenta un momento fondamentale ed imprescindibile dell'intero processo di valutazione, non solo ai fini di un'attendibile valutazione della sicurezza, ma anche per l'individuazione di strategie tecniche "misurate" rispetto alle reali condizioni dell'edificio. A tal proposito la Normativa Tecnica definisce i passaggi fondamentali e gli elementi principali che devono essere indagati per ricostruire un modello interpretativo del comportamento strutturale dell'edificio completo ed esaustivo. Obiettivo della valutazione della sicurezza è di:

- stabilire se una struttura esistente sia in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle NTC;
- (in alternativa) determinare l'entità massima delle azioni (secondo le combinazioni di progetto previste) che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle NTC^{7.}

⁶ Punto 8.7.1 delle NTC 2008: Costruzioni in Muratura. "Nell'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio occorre tenere conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti. A tal fine dovrà essere individuata l'unità strutturale (US) oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue. L'US dovrà avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi. Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di: spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti, meccanismi locali derivanti da prospetti non allineati, US adiacenti di differente altezza. L'analisi globale di una singola unità strutturale assume spesso un significato convenzionale e perciò può utilizzare metodologie semplificate. La verifica di una US dotata di solai sufficientemente rigidi può essere svolta, anche per edifici con più di due piani, mediante l'analisi statica non lineare, analizzando e verificando separatamente ciascun interpiano dell'edificio, e trascurando la variazione della forza assiale nei maschi murari dovuta all'effetto dell'azione sismica. Con l'esclusione di unità strutturali d'angolo o di testata, così come di parti di edificio non vincolate o non aderenti su alcun lato ad altre unità strutturali, l'analisi potrà anche essere svolta trascurando gli effetti torsionali, nell'ipotesi che i solai possano unicamente traslare nella direzione considerata dell'azione sismica. Nel caso invece di US d'angolo o di testata è comunque ammesso il ricorso ad analisi semplificate, purchè si tenga conto di possibili effetti torsionali e dell'azione aggiuntiva trasferita dalle US adiacenti applicando opportuni coefficienti maggiorativi delle azioni orizzontali. (...)".

Paragrafo C8.3 della C.M n.617/2009

Gli esiti delle verifiche di sicurezza quindi, devono permettere di stabilire, in base alla consistenza del rischio, quali strategie adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle Norme Tecniche.

Le alternative possono essere:

- mantenimento dell'uso attuale senza interventi;
- modifica della destinazione d'uso e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso;
- necessità di effettuare un intervento di aumento o ripristino della capacità portante.

Il processo di valutazione della sicurezza è strutturato in due fasi principali alle quali corrispondono livelli di approfondimento maggiori.





Fig II.4.3, Fig II.4.4 Applegate, Oregon (Stati Uniti) 2012. La Applegate School è stata realizzata nel 1910 in zona altamente sismica. Dichiarata inagibile nel 2000, ha avuto un finanziamento statale nel 2010 finalizzato alla messa a norma (Oregon Emergency Management seismic rehabilitation Grant di 846.000 USD), che ha consentito la realizzazione di una struttura metallica interna per il rinforzo strutturale dell'edificio, con contestuale alleggerimento dei solai

(Fonte: http://auslandgroup.com/seismic-retrofit-for-applegate-school/)

Il primo livello, propedeutico a quello successivo, consente una conoscenza di base delle caratteristiche geometriche degli elementi che maggiormente influenzano la risposta strutturale. La finalità è quella di poter disporre di tutte le informazioni necessarie per comprendere il funzionamento strutturale dell'organismo edilizio, identificando e classificando i sistemi resistenti per carichi verticali e azioni orizzontali. Nel secondo livello invece, sono approfondite le proprietà meccaniche dei materiali mediante apposite indagini. In generale, le principali attività del primo livello di indagine sono:

- Reperimento dei dati e della documentazione esistente e analisi storico critica. Questa fase è finalizzata alla raccolta di tutti i documenti esistenti, sia amministrativi che tecnici, da cui sia possibile dedurre informazioni sulle caratteristiche della struttura e delle parti non strutturali. Le informazioni devono servire ad individuare le normative vigenti all'epoca, le modalità costruttive e per ricostruire la storia edificatoria dell'edificio, le modifiche subite nel tempo, la storia sismica del luogo, ecc.

- Fase di rilievo. Finalizzata alla ricostruzione della geometria dell'edificio, La finalità è quella di poter disporre di tutte le informazioni necessarie per comprendere il funzionamento strutturale dell'organismo edilizio, identificando e classificando i sistemi resistenti per carichi verticali e azioni orizzontali. Nel secondo livello invece, sono approfondite le proprietà meccaniche dei materiali mediante apposite indagini. In generale, le principali attività del primo livello di indagine sono:

Il piano delle indagini fa parte del progetto vero e proprio, e deve essere predisposto nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse. Attraverso il piano delle indagini si definisce il "livello di conoscenza" che si intende raggiungere. Se il livello d'informazione ottenuto nella fase conoscitiva infatti, risulta limitato, gli interventi dovranno essere necessariamente più cautelativi e, a volte, sovradimensionati rispetto alle reali prestazioni strutturali dell'edificio. Viceversa, se il livello di approfondimento è dettagliato, si possono individuare delle soluzioni misurate rispetto alle problematiche presenti, e dunque meno invasive, anche se i tempi per le indagini ed i costi aumentano notevolmente.

Nella definizione del piano delle indagini e delle attività si deve procedere ad un'attenta valutazione dei costi necessari per le operazione, dal momento che spesso a indagini accurate possono corrispondere interventi economicamente più convenienti⁸. Una volta redatto il piano delle indagini (nel quale sono sintetizzati i risultati del rilievo e dell'analisi storico critica), si procede ad un secondo livello di conoscenza più approfondita.

Oggetto delle indagini sono:

- La geometria dell'organismo strutturale
- I dettagli costruttivi
- Le proprietà meccaniche dei materiali

Sulla base degli approfondimenti effettuati nella fase conoscitiva, vengono individuati i "Livelli di Conoscenza" ai quali sono correlati i "Fattori di Confidenza". Questi ultimi rappresentano dei coefficienti parziali di sicurezza, che vanno a ridurre preliminarmente i valori medi/caratteristici di resistenza dei materiali della struttura esistente. I tre livelli di conoscenza individuati dalla normativa sono:

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Per gli edifici scolastici, la valutazione del livello di conoscenza che si vuole raggiungere, deve essere calibrato in funzione delle conseguenze di un evento sismico in termini di pubblica incolumità, tenendo in debito conto anche delle possibili implicazioni economiche e sociali degli esiti delle verifiche. Gli obiettivi dell'indagine devono essere raffrontati con i dati di cui si è in possesso e con il livello di conoscenza che s'intende raggiungere, pertanto le indicazioni sul

⁸ Il D.2.9 della Regione Toscana, "Istruzioni Tecniche per La Redazione Degli Elaborati Progettuali degli Interventi di Prevenzione e riduzione del rischio sismico degli Edifici Pubblici Strategici e rilevanti", recita: "In alcuni casi può essere opportuno procedere ad una valutazione costi-benefici dell'intervento, nell'ipotesi di raggiungere livelli di conoscenza superiori allo scopo di: 1. scegliere l'intervento di miglioramento più conveniente: nel caso in cui il raggiungimento di un livello di conoscenza superiore (LC2/LC3) comporti un significativo risparmio dei costi di intervento, a parità di livello di sicurezza raggiunto; 2. valutare la possibilità di inquadrare l'intervento come adeguamento".

numero ed il tipo di indagini da eseguire costituiranno il riferimento di base per la pianificazione delle indagini stesse⁹.

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LCI		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in- situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo	Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in- situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3	completo	Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Fig. II.4.5 Costruzioni esistenti: Livelli di conoscenza (LC1, LC2, LC3) che si possono raggiungere in relazione alla qualità e quantità delle informazioni relativi ai dettagli strutturali ed alle proprietà dei materiail. A ciascun Livello di Conoscenza è associato un Fattore di Confidenza, vale a dire un coefficiente correttivo da aggiungere ai valori medi/caratteristici di resistenza dei materiali della struttura esistente

⁹ Mezzina M., Porco F., Raffaele D., Uva G., Linee guida per la valutazione della sicurezza sismica di edifici pubblici con struttura in c.a o in muratura, (documento disponbile alla pagina file:///C:/Users/maria%20grazia/Downloads/01_Linee_guida_Verifiche_edifici_pubblici_ICAR+SCHEDA.pdf)

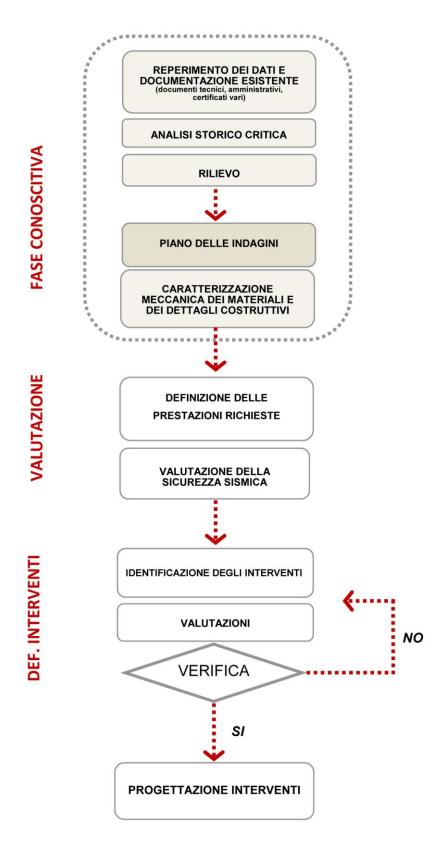


Fig II.4.6. Schema del protocollo d'indagine e verifica della sicurezza sismica

II.4.2.5 Gli strumenti della conoscenza

Le NTC08, e la relativa Circolare n. 617 del 2/2/09 danno indicazioni anche per la progettazione del piano delle prove strutturali da eseguire. In generale, le prove da eseguire possono essere:

- Indagini distruttive o debolmente distruttive;
- Indagini non distruttive

Le indagini distruttive (o debolmente distruttive), vengono impiegate in particolare per la conoscenza dei parametri meccanici dei materiali, mentre le indagini non distruttive vengono impiegate prevalentemente nella fase preliminare di analisi e rilievo.



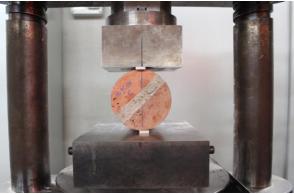


Fig II.4.7 Campioni di carote da testare.
Fonte: CIRI Edilizia e Costruzioni http://www.edilizia-costruzioni.unibo.it/

Le tipologie di prove (e quindi la strumentazione da utilizzare), variano in base alla tipologia costruttiva (cemento armato o muratura) ed al livello di approfondimento necessario. Le informazioni da acquisire nella fase preliminare si possono desumere mediante indagine non distruttiva di tipo indiretto (termografia, georadar, topografia sonica, endoscopia, ecc..) o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopia, scrostamento intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc).

Le indagini di diagnostiche non distruttive rientrano in un più ampio processo di conoscenza e qualificazione delle strutture esistenti, che comprende il rilievo geometrico, la mappatura dei materiali e degli elementi costruttivi e l'analisi dei quadri fessurativi, al fine di indirizzare una valutazione preliminare e qualitativa del comportamento strutturale dell'edificio.

Tra le indagini non distruttive, una delle principali è la termografia infrarosso. La tecnica consente di determinare la distribuzione di temperatura di una superficie dalla misura della radiazione emessa nel campo dell'infrarosso dai materiali costituenti, in ragione delle loro proprietà termiche e del loro stato di conservazione. Le informazioni rilevate riguardano solo gli strati superficiali delle strutture indagate. La tecnica trova applicazione in strutture in muratura, cemento armato e legno.

Nelle analisi sismiche la termografia consente di individuare:

- Lo schema strutturale (telaio in cemento armato e tamponamenti in muratura);
- La presenza di materiali diversi al di sotto dello strato di intonaco;
- la tessitura delle strutture murarie al di sotto dello strato di intonaco;

- Il quadro fessurativo,
- I distacchi e rigonfiamenti di intonaco;
- Condotte e tubature all'interno delle strutture

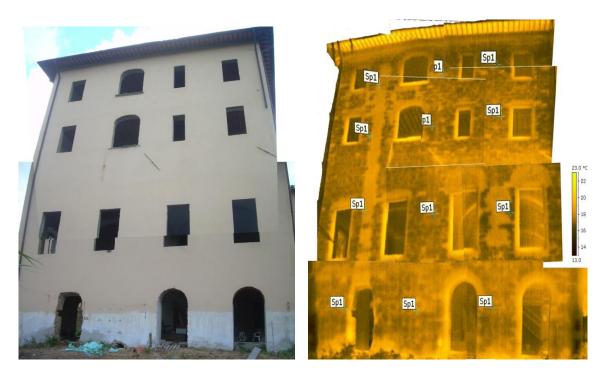


Fig II.4.8 Analisi termografiche. (Fonte: Tolve R., Costruzioni esistenti. Livelli di conoscenza ed indagini diagnostiche strutturali)

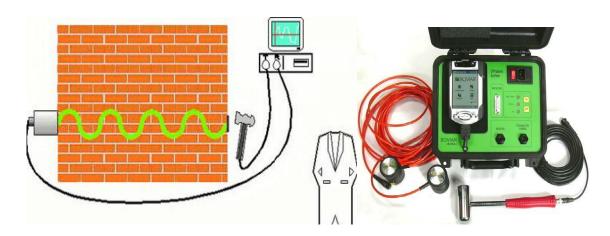


Fig II.4.9 Prove soniche. I dati ricavabili dalle indagini soniche sono la caratterizzazione della muratura in termini di elasticità e grado di compattezza relativa (consistenza)e la valutazione del grado di omogeneità dei materiali indagati; collaudo delle opere di consolidamento con misure pre e post intervento. (Fonte: Tolve R., Costruzioni esistenti. Livelli di conoscenza ed indagini diagnostiche strutturali).

SINTESI STRUM	IENTI E PRIN	ICIPALI OPERAZIONI	DELLA FASE CONOSCITIVA
	OGGETTO	FINALITA'	METODOLOGIA
RACCOLTA DOCUMENTAZION E ESISTENTE E ANALISI STORICO CRITICA	Edificio	- Caratterizzazione dell'edificio. - Conoscenza di eventuali interventi o modifiche subite nel tempo.	Raccolta della seguente documentazione: - progetto architettonico e strutturale; - eventuali varianti in corso d'opera; - certificati di prova sui materiali; - relazione e certificato di collaudo; - progetti ed interventi effettuati nel tempodocumentazione storica
RILIEVO	Murature	 Caratteristiche geometriche e dimensionali; Tipologia; Stratigrafia dell'involucro opaco; Ricerca delle cavità e disomogeneità. Definizione del quadro fessurativo 	Analisi termografica Carotaggi meccanici e rilievi endoscopici, ecc.
	Solai	 Caratteristiche geometriche e dimensionali; Tipologia; Stratigrafia; Definizione del quadro fessurativo 	Analisi termografica Rilievi endoscopici, ecc.
	Armatura	N. ferri e diametro armatura. Copriferro, corrosione.	prove magnetometriche, rimozione copriferro, metodo elettrochimico, ecc.
CARATTERIZZAZIO NE DEI MATERIALI	Murature	Modulo elastico deformabilità. Resistenza meccanica.	Alcune indagini possono essere: prove con martinetti piatti (doppi). prove soniche, ecc.
	Calcestruzzo	Parametri meccanici, Porosità, carbonatazione.	Alcune indagini possono essere: prove sclerometri che, Test di estrazione e penetrazione, prove di permeabilità, prove chimiche, prove di laboratorio.

Tab II.4.10. Le indagini sismiche. Strumenti e principali fasi operative.

II.4.3 La diagnosi energetica

II.4.3.1 La normativa

La diagnosi energetica¹⁰, anche se rappresenta una delle componenti chiave all'interno di un programma di efficientamento, non presenta gli stessi caratteri di obbligatorietà come nel caso delle verifiche sismiche.

Il D.Lgs. 192/05 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia" (integrato e modificato dal D.Lgs. 311/06), pur sottolineando l'importanza della fase della diagnosi energetica come strumento per individuare la migliore soluzione in termini di rapporto costi benefici e di ritorno economico dell'investimento, demandava alle singole regioni la predisposizione di un modello procedurale per l'Audit Energetico¹¹.

Il D.Lgs. 115/08 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE" tratta vari aspetti relativi alla diagnosi. In particolare viene previsto l'obbligo (art.13), limitatamente agli edifici pubblici, di effettuare la diagnosi energetica in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici o di ristrutturazioni edilizie. A tale scopo all'art.16 era prevista la messa a punto di una specifica procedura per la diagnosi energetica.

Nel D.P.R. 59/09, "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia", viene confermato l'obbligo di allegare alla relazione tecnica una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto, nel caso di nuova installazione/ristrutturazione/sostituzione di impianti termici con Pn≥ 100 kW.

Obiettivo della relazione tecnica è quello di verificare la convenienza dell'operazione in termini di risparmio della spesa energetica e tempo di ritorno dell'investimento.

¹⁰ Il D.Lgs. 115/08 definisce «diagnosi energetica» o «audit energetico», una procedura sistematica finalizzata a: -fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impianto industriale o di servizi pubblici o privati; - individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici;- riferire in merito ai risultati. Similmente, il progetto di norma europea prEN 16247-1:2011 "Energy audits – Part 1: General requirements", definisce così l'«energy audit»:

[&]quot;systematic inspection and analysis of energy use and energy consumption of a system or organization with the objective of identifying energy flows and the potential for energy efficiency improvements".

¹¹ All'art. 16 del D.lgs 115/08, è prevista l'approvazione con uno o più decreti del Ministro dello sviluppo economico, a seguito dell'adozione di apposita norma tecnica da parte dell'UNI-CEI, di una procedura (di certificazione) per le diagnosi energetiche. All'articolo 18 vengono previste una serie di misure che riguardano: - la definizione da parte dell'Agenzia nazionale per l'efficienza energetica (funzione svolta dall'ENEA) delle modalità con cui assicurare la disponibilità di sistemi di diagnosi energetica efficaci e di alta qualità destinati a individuare eventuali misure di miglioramento dell'efficienza energetica applicate in modo indipendente a tutti i consumatori finali, prevedendo accordi volontari con associazioni di soggetti interessati (comma 1); - la predisposizione, da parte dell'Agenzia, di altre misure – quali i questionari e programmi informatici disponibili su internet o inviati per posta – per i segmenti del mercato aventi costi di transazione più elevati e per strutture non complesse, garantendo comunque la disponibilità delle diagnosi energetiche per i segmenti di mercato in cui esse non sono commercializzate (comma 2). Sempre nello stesso articolo (comma 3) viene stabilita l'equivalenza tra certificazione energetica (D.Lgs. 192/05) e diagnosi energetica rispondente a requisiti indicati. Nel terzo allegato vengono indicate le norme tecniche di riferimento per l'esecuzione degli audit: UNI/TS 11300-1 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale", UNI/TS 11300-2 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria", UNI/TS 11300-4 "Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria".

Il D.M. 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", definisce la diagnosi come una delle operazioni che il soggetto certificatore deve svolgere ai fini del rilascio della certificazione. Obiettivo della diagnosi è quello di determinare la prestazione energetica dell'immobile ed i relativi interventi di riqualificazione energetica che risultano economicamente più convenienti. Le principali fasi sono:

- a. il reperimento dei dati d'ingresso, relativamente alle caratteristiche climatiche della località, alle caratteristiche dell'utenza, all'uso energetico dell'edificio e alle specifiche caratteristiche dell'edificio e degli impianti, avvalendosi, in primo luogo dell'attestato di qualificazione energetica;
- b. la determinazione della prestazione energetica mediante applicazione di appropriata metodologia, relativamente a tutti gli usi energetici, espressi in base agli indici di prestazione energetica EP totale e parziali;
- c. l'individuazione delle opportunità d'intervento per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici e ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarle¹².

Per quanto riguarda la metodologia da utilizzare, vengono specificate che le modalità esecutive della diagnosi energetica possono essere diverse e commisurate al livello di complessità della metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione della prestazione energetica. Infine il Decreto 28/12/2012 "Incentivazione della produzione di energia termica da fonti rinnovabili ed interventi di efficienza energetica di piccole dimensioni" pone un ulteriore obbligo per l'esecuzione della diagnosi, finalizzata alla richiesta di incentivo, per gli interventi individuati dal decreto stesso, e delega all'Enea lo sviluppo di una Metodologia di riferimento per la diagnosi energetica¹³.

A livello Europeo, la Direttiva 2012/27/UE dedica l'intero articolo 8 proprio all'auditing e ne introduce l'obbligatorietà per conseguire il miglioramento delle prestazioni termofisiche dell'involucro edilizio e soprattutto per rendere effettivo il risparmio energetico nel rispetto degli obiettivi previsti, e concordati a livello comunitario, per ciascuno Stato membro. La Direttiva infatti, oltre a stabilire l'obbligo di riqualificazione degli immobili posseduti dalle amministrazioni pubbliche centrali, nella misura del 3% della superficie ogni anno, impone che gli stessi immobili siano sottoposti a diagnosi energetica almeno ogni quattro anni dalla data del precedente audit energetico. Dal quadro normativo descritto emerge come la diagnosi energetica sia lo strumento necessario alla certificazione energetica, per individuare gli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della prestazione energetica del sistema fabbricato-impianto.

¹² Cfr. P. Conti, D. Della Vista, F. Fantozzi, G. Fasano, W.Grassi, R. Manetti, E. Menchetti, E. Schito, P. Signoretti, D. Testi, Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario, 2011.

¹³ Enea, con il contributo dell'Università di Pisa e la collaborazione del Comitato Termotecnico Italiano (CTI), ha predisposto, ai sensi dell'art. 9, comma 1, lettera g), del DM 28 dicembre 2012, una metodologia per la diagnosi energetica che riprende e integra il modello delineato dalla serie delle specifiche UNI/TS 11300. Il documento realizzato da Enea fornisce gli strumenti metodologici di riferimento per eseguire una diagnosi energetica e, nello specifico, descrive le procedure per rilevare i parametri significativi del sistema energetico, acquisire e analizzare i dati storici di fatturazione energetica, valutare i contratti di fornitura dell'energia, calcolare i fabbisogni di energia primaria e l'energia prodotta da fonti rinnovabili, individuare i sottosistemi in cui le energie disperse sono maggiori, individuare le migliori modalità di gestione e valutare l'opportunità di interventi di riqualificazione energetica da un punto di vista tecnico-economico.

II.4.3.2 Ruoli e competenze dei soggetti coinvolti nella programmazione ed attuazione della diagnosi energetica

Nel caso di valutazione energetica di edifici scolastici, ovvero di edifici pubblici, i soggetti coinvolti, ognuno con le proprie competenze, sono:

- a. Amministrazione Comunale e/o Provinciale, alla quale spetta il reperimento di tutto il materiale necessario allo svolgimento del programma di indagini, quali elaborati grafici, dati relativi agli impianti termici, certificati vari, documentazione relativa ai consumi energetici.
- b. L'ufficio tecnico, responsabile della gestione e manutenzione degli edifici. È responsabile insieme all'Energy auditor, della stesura del piano delle attività, dal momento che le attività devono essere programmate senza interferire con le normali attività. L'ufficio tecnico ha il compito di concordare i rilievi in campo ed i sopralluoghi allo scopo di evitare che si possano generare dei disagi a livello locale, cercando di limitare il più possibile le interferenze con l'attività svolta.
- c. Energy Auditor. L'auditor (o REDE, Referente della Diagnosi Energetica) è la figura tecnica esperta che esegue ed è responsabile della procedura di audit. L'audit può essere svolta da un singolo professionista, da una società di servizi, oppure da un ente pubblico competente. I tecnici chiamati a svolgere la diagnosi energetica devono essere esperti nella progettazione degli edifici e degli impianti ad essi asserviti. L'Energy Audit definisce il piano delle attività, programmandole con sequenza temporale.

II.4.3.3 Oggetto della diagnosi

La zona soggetta a diagnosi di un edificio, corrisponde al "sistema energetico". All'interno del sistema energetico possono essere presenti diverse destinazioni d'uso e zone termiche, intese come parti dell'ambiente climatizzato mantenute a temperatura uniforme dall'impianto di climatizzazione.

Con il termine zona termica si definisce uno spazio racchiuso da un involucro edilizio riscaldato ad una temperatura uniforme da un unico impianto e con la stessa destinazione d'uso. Uno spazio riscaldato deve essere suddiviso in più zone termiche se vi sono sottoinsiemi con temperatura interna diversa o se hanno destinazione diversa comunque se sono serviti da impianti diversi, ovvero la parte dell'edificio riscaldata dallo stesso generatore e con temperatura omogenea¹⁴

_

¹⁴ LINI 1039 e Uni 103*44*



Fig II.4.11 Berkeley, California, (Stati Uniti), 1991. Rinforzo strutturale di un edificio scolastico in muratura progettato senza cordoli antisismici. Intervento invasivo che ha accentuato la presenza dei ponti termici nella struttura (il clima della California può essere assimilato a quello Mediterraneo: estati caldi e umide con inverni miti, che necessitano communque l'utilizzo di riscaldamento invernale.

(Fonte: http://www.tekpeengineers.com/seismic-retrofit.html)

II.4.3.4 Il percorso della conoscenza

Il modello di riferimento per la procedura di diagnosi energetica è la metodologia proposta dall'Enea, ai sensi dell'art. 9 del DM 28 dicembre 2012. Come nel caso delle indagini sismiche, anche per l'Audit energetico, la fase conoscitiva è alla base di una buona riuscita dell'intera operazione.

Tale percorso conoscitivo può avere più livelli di approfondimento, a seconda della complessità dell'edificio e del livello operativo scelto per l'Audit. I vari livelli di approfondimento dell'analisi energetica non sono codificati, ma l'ampia sperimentazione e le esperienza acquisite a partire dagli anni Settanta, consentono di raggruppare gli approcci in tre categorie cui corrispondono tre diversi livelli operativi¹⁵:

- Walkthrough Audit
- Standard Audit
- Simulation Audit

Al Walkthrough Audit, corrisponde un livello di conoscenza speditivo. In particolare l'analisi della geometria dell'edificio e dei dettagli costruttivi, è basata sulla documentazione disponibile o su un rilievo "a vista", mentre i valori che vengono attribuiti ai componenti edilizi sono ricavati da tabelle esistenti in letteratura, quali il prospetto C.3 delle Norme Uni 11300 parte 1.

¹⁵ Dall'O' G., Green Energy Audit, Edizione Ambiente, Città di Castello, 2011, pp. 34-35-36

Lo Standard Audit invece è caratterizzato da un approccio conoscitivo completo, con impiego di maggiori risorse. In questo caso si approfondiscono le caratteristiche tecniche, prestazionali e gestionali dell'edificio, si effettuano rilievi di dettaglio delle caratteristiche edilizie ed impiantistiche e, quasi sempre, sono comprese delle verifiche prestazionali attraverso campagne di monitoraggio.

Nello *Standard Audit* si raccolgono molte più informazioni, tutti elementi che, unitamente ai consumi energetici storici degli anni precedenti (mediamente da tre a cinque), servono ad elaborare un bilancio energetico o *baseline* sulla quale si dovranno poi effettuare tutte le simulazioni che porteranno a stimare la bontà dell'intervento in termini di miglioramenti prestazionali. Nel caso del *Simulation Audit*, viene definito un modello virtuale dell'edificio, e le indagini risultano essere più approfondite per qualità e quantità.

La fase conoscitiva può dunque essere strutturata, a seconda del livello operativo, in un'unica fase di rilievo in cui vengono ricavate tutte le informazioni necessarie da elaborare nella valutazione, oppure in più fasi di rilievo secondo un piano delle attività di indagini.

Come per le indagini sismiche, le principali fasi dell'Audit sono:

- Fase di raccolta dati. Questa fase è finalizzata all'acquisizione di tutta la documentazione tecnica, amministrativa e gestionale, compresi i progetti esecutivi dell'impianto termico, elettrico e degli impianti di produzione da fonti rinnovabili eventualmente presenti. Inoltre sono altrettanto importanti tutti i documenti che attestano la ristrutturazione o la manutenzione straordinaria di qualsiasi elemento della zona interessata all'audit e tutte le dichiarazioni di conformità degli impianti presenti.
- Fase di rilievo e verifica. Il sopralluogo, che può essere articolato in uno o più tempi, è finalizzato a verificare e ad integrare le informazioni tecniche e gestionali ricavate, e per la conoscenza delle prestazioni dei componenti, sistemi edilizi ed impiantistici, anche attraverso misurazioni strumentali. Vengono inoltre effettuate delle misure per definire i parametri delle condizioni ambientali (valutazioni del comfort).

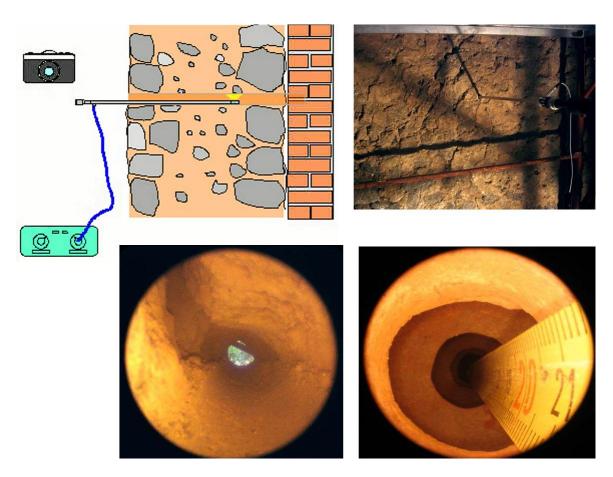


Fig II.4.12 Prove endoscopiche. Realizzazione di un foro di diametro12-25mm con aspirazione e/o lavaggio dello stesso e successiva ispezione interna visiva tramite la sonda ottica; l'analisi è riportata su apposite schede insieme alla documentazione fotografica ottenuta mediant especiale adattatore ottico e macchina fotografica (adattatore ottico per telecamera, con eventuale commento vocale). Caratteristiche fisiche,morfologiche,compositive e del degrado all'interno della struttura indagata.

Rilievogeometrico monodimensionale (Fonte: Tolve R., Costruzioni esistenti. Livelli di conoscenza ed indagini diagnostiche strutturali)

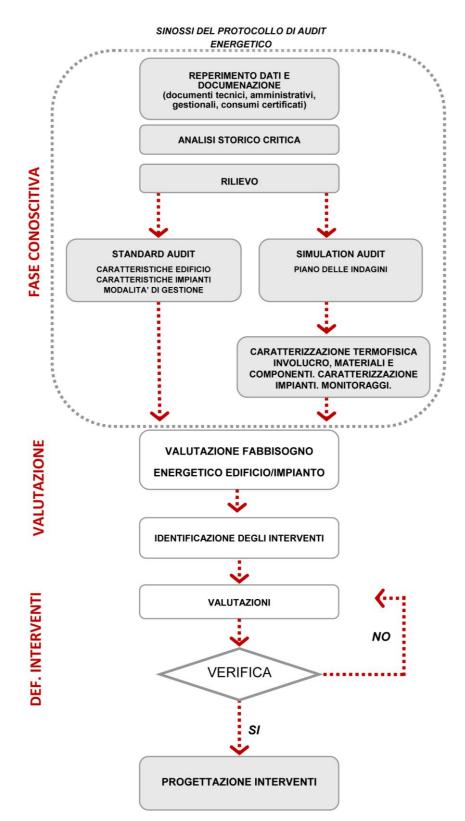


Fig II.4.13 Sinossi del protocollo di Audit energetico

II.4.3.5 Gli strumenti della conoscenza

La fase di rilievo in campo consente di completare la fase di acquisizione delle informazioni relative alle caratteristiche dell'edificio e degli impianti, ma è anche una importante fase in cui vengono acquisite informazioni sulla modalità di gestione degli impianti e sul comfort termico. In generale le prove da eseguire possono essere:

- Indagini distruttive o debolmente distruttive;
- Indagini non distruttive

Le indagini distruttive (o debolmente distruttive), vengono impiegate in particolare per la conoscenza delle stratigrafie e delle caratteristiche termofisiche dei componenti dell'involucro, nei casi in cui non si hanno informazioni precise circa i materiali impiegati e le dimensioni della stratigrafia. Le tipologie di prove (e quindi la strumentazione da utilizzare), variano in base al livello operativo di audit scelto.

I principali strumenti per la valutazione delle prestazioni dell'involucro disperdente (opaco e trasparente) sono:

- endoscopio, per la conoscenza delle stratigrafie, ispezioni di cavità, vani;
- termo flussimetro, per la valutazione dei parametri termo fisici dei componenti;
- analisi termografica;
- blower door test, per la verifica della tenuta all'aria.

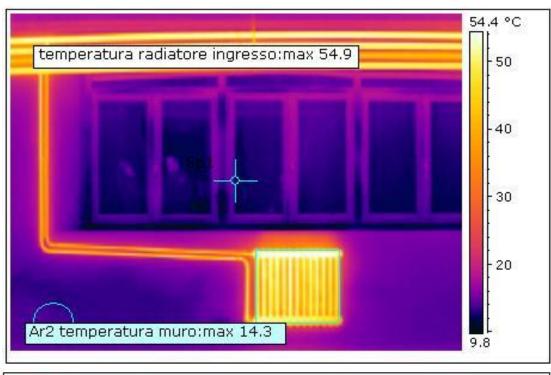
Nello specifico, attraverso la termografia viene rilevata la presenza di anomalie nella distribuzione termica superficiale, quali infiltrazioni d'acqua, ponti termici, zone disperdenti. Per conoscere con precisione le caratteristiche termo fisiche invece, è necessario effettuare indagini mediante l'utilizzo di termo flussimetro. L'indagine consente di individuare i valori di resistenza, conduttanza e trasmittanza termica dei diversi elementi costruttivi, quali murature, solette, basamenti, vetri ecc.

Altre tipologie di indagini sono le indagini Soniche, finalizzate alla valutazione dell'omogeneità di una parete, attraverso l'analisi delle modalità di propagazione delle onde elastiche nei corpi solidi. La tecnica, unitamente alle indagini termografiche, costituisce un valido strumento per distinguere le pareti omogenee (ad esempio in laterizio) da quelle non omogenee (ad esempio miste in laterizio, sassi e pietre).

Per il rilievo degli impianti i principali strumenti sono:

- termometro, che consente, utilizzando opportune sonde, di rilevar la temperatura dei fluidi:
- termometro all'infrarosso che consente di rilevare le temperature superficiali e di verificare l'isolamento delle tubazioni;
- endoscopio, per l'ispezione di punti dell'impianto che altrimenti sarebbero irraggiungibili;
- anemometro, con il quale è possibile analizzare la velocità dell'aria all'interno di una canalizzazione,ecc.

Ovviamente le indagini energetiche non coinvolgono soltanto l'involucro e gli impianti ma comprendono anche l'analisi del comfort termo-igrometrico, il comfort luminoso, le caratteristiche degli impianti elettrici e meccanici.



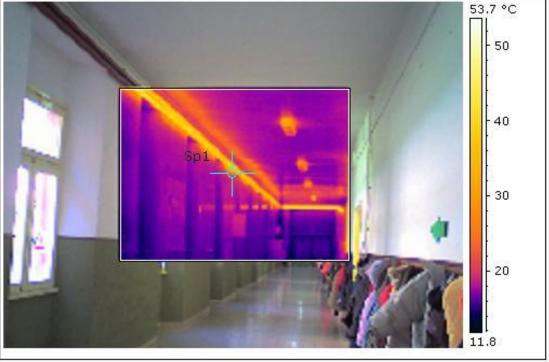


Fig II.4.14 e FigII. 4.15 Capannori, Lucca, Italia 2010, Analisi termografiche condotte Ddal Laboratorio di Fisica Ambientale per la qualità degli edifice, TaeD, Universita degli Studi di Firenze, nell'ambito del progetto EU "TEENERGY SCHOOLS") (Alta Efficienza Energetica nelle Scuole della Zona del Mediterraneo (2009-2011). L'indagine termografica sul Liceo Scientifico Majorana ha evidenziato il comportamento termico dell'edificio e individuare le possibili soluzioni per un retrofitting energetic in ambito climatico mediterraneo.

FASI	OGGETTO	FINALITA'	METODOLOGIA
RACCOLTA DOCUMENTAZION E ESISTENTE	Edificio Consumi energetici	Acquisizione dello stato di fatto dell'edificio e sua caratterizzazione. Conoscenza di eventuali interventi o modifiche dell'utilizzo ecc. Consumi energetici.	Raccolta della seguente documentazione: - progetto architettonico e strutturale; - eventuali varianti in corso d'opera - schemi impiantistici - caratteristiche tecniche dei componenti impiantistici - modalità di gestione degli impianti - consumi energetici.
	Murature	- Caratteristiche geometriche e dimensionali;	Strumenti di misurazione in campo.
RILIEVO		- Stratigrafia dell'involucro opaco;	Rilievi endoscopici
		- Temperatura superficiale	Termometro all'infarosso, termo camera.
		- Conduttanza	termoflussimetro
	Solai	- Caratteristiche geometriche e dimensionali;	Strumenti di misurazione in campo.
	·	- Stratigrafia solaio;	Rilievi endoscopici
		- Temperatura superficiale;	Termometro all'infarosso, termo camera.
		- Conduttanza.	Termoflussimetro
	Impianti	 Caratterizzazione degli impianti presenti. Verifica efficienza del sistema di produzione, distribuzione ed erogazione; Verifiche dei dispositivi di controllo e regolazione. 	Analisi della temperature e verifica dell'efficacia degli isolamenti (tubazioni o accumulo) mediante termometro all'infrarosso, ispezion mediante endoscopio, analisi della velocità dell'aria all'interno di una canalizzazione mediante anemometro. Termografia.

II.4.4 Analisi dei potenziali per l'integrazione

L'analisi ha evidenziato delle corrispondenze tra le due procedure, in particolare per quanto riguarda l'approccio metodologico, alcune fasi operative e una parte delle indagini diagnostiche. La possibilità di poter integrare alcuni aspetti delle due procedure è essenziale per avviare un rapporto di reciproca collaborazione e dialogo tra i due principali operatori della riqualificazione. In particolare la fase conoscitiva consente, da subito, di individuare le principali problematiche presenti (sismiche ed energetiche) e di orientare le successive decisioni e fasi operative.

L'integrazione deve quindi essere avviata sin dalle prime fasi di raccolta della documentazione necessaria ed analisi storico critica dell'edificio. Entrambe le discipline infatti, riconoscono il ruolo fondamentale e propedeutico della fase di ricognizione storica del processo costruttivo, e delle modifiche subite nel tempo.

Nell'ottica di una integrazione del processo, è necessario che l'Amministrazione svolga un ruolo di regia "mettendo in relazione" i due principali operatori dell'analisi energetica e sismica e programmando le attività, i sopralluoghi e predisponendo gli elaborati necessari. Nello specifico, i punti di contatto sono rilevabili nelle seguenti operazioni:

- 1. Raccolta della documentazione esistente ed analisi storico critica.
- 2. Rilievo.
- 3. Indagini.
- 1. Raccolta della documentazione esistente e relativa analisi storico critica.

Sia per la diagnosi energetica che per le verifiche sismiche, il primo step della fase conoscitiva consiste nella raccolta di tutti i documenti esistenti, sia amministrativi che tecnici, da cui sia possibile dedurre informazioni sulle caratteristiche geometrico dimensionali e della storia dell'edificio, compresi gli eventuali interventi subiti nel tempo.

In questa fase l'Amministratore deve fornire gli elaborati tecnici "comuni" e gli elaborati "specifici" ovvero:

- a. Documentazione generale, valida sia per l'analisi energetica che sismica;
 - dati tecnici, ovvero il progetto architettonico e strutturale;
 - progetti di ristrutturazione/miglioramento/adeguamento sismico ed energetico; progetti di ristrutturazione funzionale, architettonica.
- b. Documentazione specifica per l'analisi energetica;
 - progetti esecutivi degli impianti, eventuali varianti in corso d'opera;
 - informazioni gestionali sugli impianti
 - fatturazione dei consumi degli ultimi anni
- c. Documentazione specifica per l'analisi sismica.
 - relazioni di calcolo delle strutture
 - i certificati di prova sui materiali;
 - relazione e certificato di collaudo;
 - dati relativi alle caratteristiche del sito (relazione geotecnica e sulle fondazioni).

La lista non è esaustiva, ma si riferisce alla documentazione di base necessaria per le valutazioni.

2. Rilievo

Il rilievo rappresenta invece il secondo *step*, finalizzato alla definizione di un modello interpretativo che consenta una prima valutazione qualitativa del funzionamento strutturale ed energetico del sistema analizzato. Le indagini devono portare alla conoscenza preliminare delle carenze energetiche e delle principali vulnerabilità sismiche.

L'Output di questa seconda fase è la predisposizione di un piano delle indagini, finalizzato ad individuare tutte le prove ed i saggi necessari per approfondire la conoscenza del sistema analizzato. Se per le verifiche sismiche il piano delle indagini è uno strumento necessario per gestire le successive fasi operative, nella diagnosi energetica può diventare uno strumento essenziale nel caso di edifici complessi, o dove non si hanno informazioni sufficienti, in particolare sulle stratigrafie dell'involucro.

In questa seconda fase, il piano delle indagini deve essere redatto dai due operatori, in collaborazione con l'amministratore per la gestione dei tempi e delle modalità di svolgimento delle successive fasi.

c. Indagini approfondite.

L'analisi ha messo in evidenza come alcuni strumenti/tipologie di indagine siano comuni alle due discipline. Si individuano quindi le seguenti indagini integrabili:

- le indagini termografiche;
- le indagini soniche;
- le indagini endoscopiche.

Le indagini termografiche sono essenziali nella prima fase di rilievo e ricognizione dello stato di fatto dell'edificio. Le indagini termografiche, consentono di indagare sia aspetti strutturali che energetici come la presenza di ponti termici, la tessitura muraria delle pareti, la struttura.

L'indagine endoscopica consente di valutare la stratigrafia di una muratura, attraverso l'ispezione visiva diretta di cavità, o parti altrimenti inaccessibili della muratura, all'interno dello spessore murario. La conoscenza delle dimensioni dei componenti strutturali e delle stratigrafie, è evidentemente necessaria per entrambe le discipline. Le prove soniche applicate alle strutture murarie, consentono di individuare la presenza di cavità macroscopiche, fessure o porzioni di muratura aventi caratteristiche differenti, intercettate lungo il percorso di trasmissione dell'onda.

In sintesi le indagini soniche ed endoscopiche possono essere utilizzate simultaneamente per:

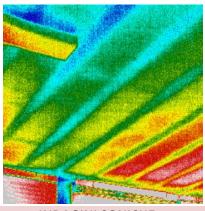
- conoscere le caratteristiche geometriche e i materiali di cui è costituita la sezione;
- qualificare la morfologia della sezione, individuando la presenza di vuoti, difetti e lesioni;
- controllare le caratteristiche della muratura prima e dopo interventi di consolidamento,

verificando i cambiamenti delle caratteristiche fisiche.

ANALISI ENERGETICA

ANALISI STRUTTURALE

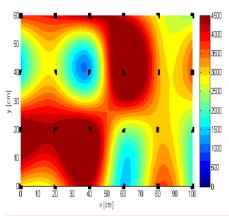
INDAGINI TERMOGRAFICHE



- -Individuazione dei ponti termici di forma o di struttura;
- Verifica della struttura, della trama muraria, del potere coibente di pareti e tubazioni;
- Verifica qualità posa in opera di materiali isolanti;
- Individuazione di fenomeni di umidità, risalita capillare, condensa e infiltrazioni;
- Funzionamento degli impianti termici ed elettrici
- Posizione dei condotti attraverso le strutture.

- Tessitura muraria sottostante l'intonaco:
- Presenza di materiali diversi;
- Preesistenze strutturali ed eventuali anomalie costruttive;
- Discontinuità, lesioni, cavità;
- Distacchi di intonaco;
- Stato di conservazione dei paramenti.

INDAGINI SONICHE



- Valutazione omogeneità dei materiali.
- Caratterizzazione della muratura in termini di elasticità e grado di compattezza;
- Valutazione omogeneità dei materiali.

ENDOSCOPIA



- Stratigrafie
- Ispezioni delle cavità Ispezione canalizzazioni o canne fumarie, intercapedini
- ispezioni vani posti all'interno di controsoffitti o plenum
- Stratigrafie
- Ispezioni delle cavità Ispezione canalizzazioni o canne fumarie, intercapedini
- ispezioni vani posti all'interno di controsoffitti o plenum

Fig II.4.16 Gli strumenti della conoscenza per le indagini sismiche ed energetiche.

Si evidenzia dunque come il processo della conoscenza a partire dalla fase iniziale di raccolta dati e analisi storica, può essere integrato e sviluppato in maniera sinergica, non solo nell'ottica di ottimizzare i tempi e dei costi, ma anche per far dialogare, sin dalle prime fasi, i due principali operatori che dovranno intervenire nel miglioramento energetico e strutturale.

Inoltre le indagini integrate consentono di ridurre i tempi, effettuando in un'unica tempistica i sopralluoghi, evitando in questo modo di interrompere più volte il normale svolgimento delle attività scolastiche.

La predisposizione del piano delle indagini che rappresenta anche una sintesi delle valutazioni preliminari sull'edificio oggetto di indagine dovrebbe diventare il primo *feedback* dello stato di fatto utile sia per le successive operazioni sismiche che energetiche.

La messa a punto del piano delle indagini, prassi usuale nel caso delle indagini sismiche, può inoltre diventare l'occasione per indagare in maniera approfondita parti dell'edificio anche dal punto di vista energetico. Un piano delle indagini energetico infatti, diventa necessario quando non si hanno molte informazioni sull'edificio, in particolare per conoscere le stratigrafie, per indagare meglio sulle caratteristiche tecniche degli impianti. Infine l'integrazione di alcune indagini eviterebbe di indagare più volte gli stessi elementi con operazioni spesso invasive.

La fase conoscitiva e alcune indagini possono dunque diventare l'occasione per attivare un processo di recupero integrato. I vantaggi sono molteplici:

- 1. ottimizzazione dei costi delle indagini e dei tempi necessari;
- 2. nel caso di edifici scolastici in cui le indagini in genere possono incidere sul normale svolgimento delle attività, l'integrazione delle due procedure consentirebbe di recare disturbo agli occupanti un'unica volta;
- possibilità di ampliare la conoscenza complessiva del funzionamento dell'edificio sia da un punto di vista sismico che energetico. In questo modo, i principali operatori, avrebbero una consapevolezza completa delle problematiche presenti e non solo relativamente alle questioni di propria competenza;
- 4. attivazione di un rapporto di dialogo e collaborazione tra i due principali operatori dell'audit energetico e delle verifiche sismiche, necessario per la scelta di strategie tecniche e gestionali integrate;
- 5. consentire, previa analisi costi-benefici, di procedere a valutazioni sismiche più approfondite.

Quest'ultimo aspetto è importante dal momento che, come già sottolineato, le indagini sismiche implicano un notevole dispendio in termini di risorse economiche e di tempo. Infatti, i costi di una indagine completa sono molto elevati nel caso di edifici particolarmente complessi e di cui si hanno poche informazioni circa la modalità costruttiva.

Tuttavia l'analisi dei costi delle indagini, rapportata ai benefici ottenibili in termini maggiore sicurezza ed efficienza energetica ottenibili in un'unica operazione, potrebbe rendere molto conveniente l'intera operazione, permettendo inoltre di raggiungere maggiori livelli di approfondimento delle indagini. Al fine di attivare un tale percorso integrato è necessario ridefinire le relazioni tra i principali attori del processo di riqualificazione, e nuovi protocolli e strumenti per agevolare il dialogo.

E' quindi necessario:

- ridare all'amministrazione competente un ruolo centrale nella funzione di regia delle operazioni, e nella predisposizione e raccolta dei dati iniziali;

- definire nuovi protocolli per la raccolta dati e l'esecuzione delle indagini (nell'ottica di ricavare, in contempo, informazioni sia energetiche che strutturali);
- ridefinire la struttura e la documentazione contenuta nel "piano integrato delle indagini".

Le analisi sulla sicurezza sismica implicano l'attivazione di un processo strutturato, caratterizzato da una fase conoscitiva lunga e costosa, una fase valutativa complessa e una fase di scelta dell'intervento determinante. In particolare, la fase che incide maggiormente sugli aspetti economici risulta essere quella di indagine sulla struttura e sui materiali. Tale fase può assumere diversi livelli di approfondimento, incidendo non poco sulla decisione degli interventi da necessari.

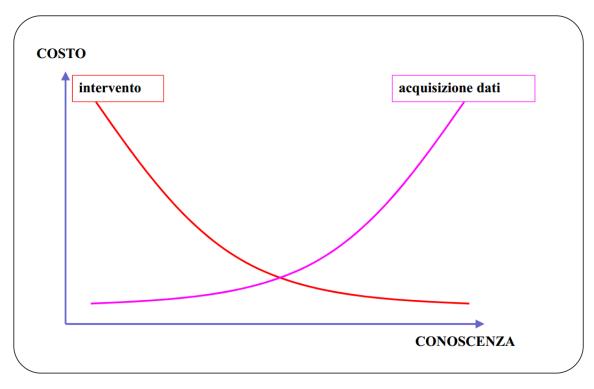


Fig II.4.17 Importanza del livello di conoscenza (Fonte: Vona M., Livelli di conoscenza ed indagini, documento disponibile all'indirizzo http://www2.unibas.it/ponzo/Sito/Riabilitazione_Strutt._files/Lezione%202.3_pdf)

Un livello di conoscenza adeguato dell'edificio può essere raggiunto soltanto attraverso l'esecuzione di rilievi, saggi ed indagini finalizzate ad indagare quegli elementi strutturali critici che caratterizzano il comportamento d'insieme dell'edificio, al fine di evidenziarne le carenze rispetto ad un comportamento globale efficace. Tali fasi evidentemente incidono molto anche sull'investimento di risorse economiche e di tempo, oltre che determinare un possibile stravolgimento della struttura dell'edificio.

Nelle indagini sismiche infatti, risulta indispensabile, per equilibrare in modo ragionevole l'utilizzo di tutte le risorse a disposizione, la scelta del livello di dettaglio che deve essere utilizzato per la valutazione del rischio delle strutture. Se il livello scelto è troppo approssimativo, basato su stime qualitative e molto veloci, si rischia di ottenere delle informazioni troppo limitate che conducono a delle stime di capacità piuttosto imprecise. Un livello limitato di conoscenza del manufatto infatti, comporta la riduzione, attraverso dei fattori di confidenza, dei valori medi/caratteristici di resistenza dei materiali della struttura esistente per ricavare i valori da adottare nella valutazione della sicurezza, da ridurre ulteriormente, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza. La conseguenza è di dovere applicare sugli edifici esistenti, interventi "invasivi" perchè sovradimensionati rispetto alle reali prestazioni strutturali dell'edificio.

Viceversa, se il livello di approfondimento è dettagliato, si possono individuare delle soluzioni misurate rispetto alle problematiche presenti, e dunque meno invasive, anche se i tempi per le indagini ed i costi aumentano notevolmente. Si dovrà dunque procedere alla valutazione dei costi necessari per le indagini e dei risparmi conseguibili con un intervento più contenuto e meno invasivo. Per questo motivo diventa interessante, nel processo di recupero sismico degli edifici, ottimizzare la fase di ricognizione dell'edificio, diagnosi ed indagine sui materiali, estendendo la conoscenza anche ad altre questioni quali le caratteristiche termofisiche dell'edificio, lo stato degli impianti, ecc.

In un procedimento integrato, la scelta di un adeguato livello di conoscenza delle indagini, ovvero la valutazione della "convenienza economica" nel conseguire informazioni dettagliate sulla geometria, i dettagli costruttivi e le proprietà dei materiali, può essere calibrata in relazione a due potenziali benefici: il miglioramento delle prestazioni energetiche ed il miglioramento sismico indirizzato con l'obbiettivo finale di aumentare l'efficienza complessiva dell'intervento in termini di valutazione costo-beneficio.

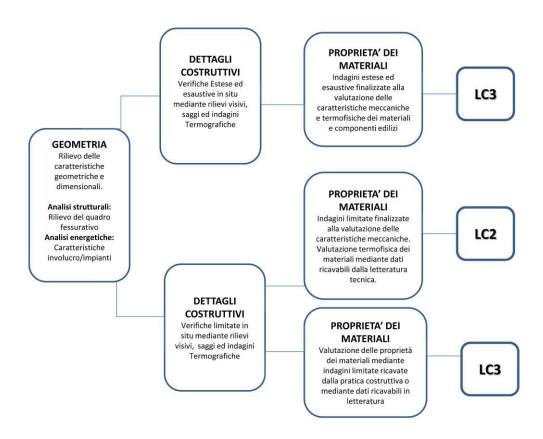


Fig II.4.18 Ridefinizione dei "Livelli di conoscenza" secondo un approccio integrato.

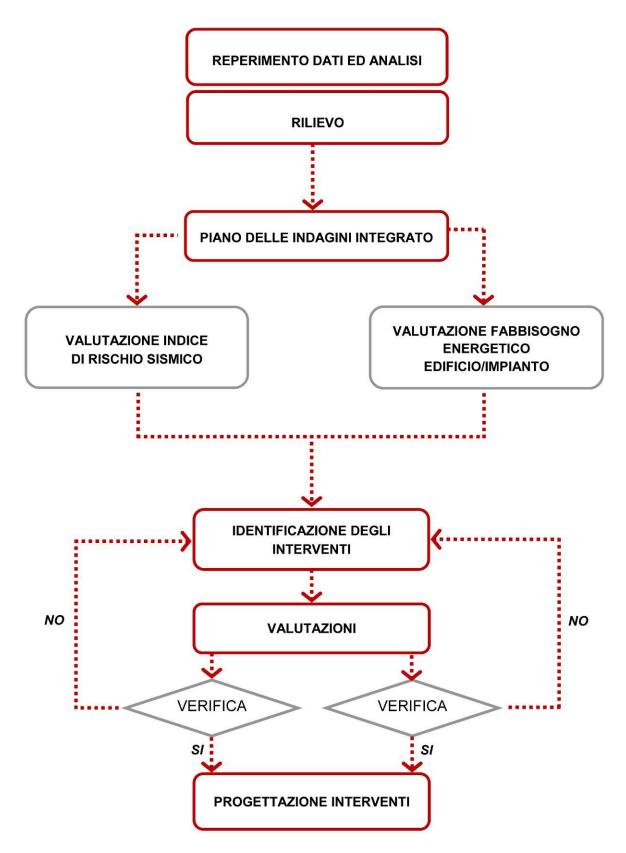


Fig.II.4.19 Proposta di un protocollo d'indagine e verifica della sicurezza sismica e delle prestazioni energetiche

II.4.5 Gli interventi per la sicurezza sismica

La selezione della categoria di intervento necessaria all'adeguamento/miglioramento sismico, è legata ai risultati ottenuti nelle precedenti fasi di diagnosi e valutazione della sicurezza.

Le strategie da adottare si dividono in strategie tecniche e strategie gestionali. Le strategie tecniche sono finalizzate ad incrementare la capacità dell'edificio di resistere al sisma e/o a ridurre la domanda, mentre le strategie di gestione si riferiscono alle "modalità operative e logistiche in cui ciascun intervento può essere implementato ed alla gestione, appunto, dell'edificio nel suo complesso (è in questo gruppo che, ad esempio, è opportuno inserire anche la demolizione come possibile strategia da perseguire)" ¹⁶.

Strategie Tecniche

I principi su cui si basano le strategie tecniche sono:

- Incremento delle capacità in termini di resistenza, rigidezza o duttilità. Le strategie mirano a migliorare le prestazioni del sistema resistente agendo sia sui singoli elementi strutturali, che sulle connessioni, fondamentale per garantire una regolare trasmissione dei carichi, ovvero per garantire un efficace trasferimento delle sollecitazioni.
- Regolarizzazione in pianta ed in alzato, si tratta di interventi finalizzati a riorganizzare la suddivisione del corpo strutturale mediante giunti tecnici di separazione o mediante la realizzazione di nuovi elementi verticali come pareti di taglio, controventi, contrafforti, telai, si possono migliorare le caratteristiche di regolarità, sia in pianta che in alzato. Edifici dalle grosse dimensioni e con forma complesse possono essere divisi in più parti al fine di creare conformazioni geometriche più semplici e regolari, in grado di rispondere adeguatamente all'azione sismica.
- Riduzione della massa, la domanda sismica imposta ad un edificio può essere attenuata riducendo le masse (ad esempio rimuovendo pesanti elementi non strutturali o, in alcuni casi particolari, rimuovendo i piani alti dell'edificio), con conseguente riduzione del periodo fondamentale di vibrazione, delle forze di inerzia e della richiesta di spostamento; questa strategia punta a modificare la risposta della struttura di modo che risulti, di fatto, una riduzione della domanda.
- Strategie di dissipazione/isolamento. I sistemi dissipativi consentono di assorbire buona parte dell'energia sismica, determinando u na riduzione significativa delle sollecitazioni e degli spostamenti richiesti all'edificio. L'isolamento sismico alla base consiste nell'inserimento di speciali dispositivi ad alta flessibilità orizzontale, in genere fra la sovrastruttura e le fondazioni, in grado di ridurre l'energia cinetica e mantenere l'edificio in campo elastico lineare. Il flusso energetico è dissipato attraverso cicli di elevate deformazioni per traslazioni orizzontali mantenendo la struttura integra durante il movimento e annullando gli spostamenti relativi fra i componenti strutturali.

Strategie di gestione

Le principali strategie di gestione possono essere:

¹⁶ Caterino N., Analisi Decisionale Multicriterio per l'Adeguamento Sismico di edifici in c.a., Tesi di dottorato discussa alla facoltà di ingegneria, Università degli Studi di Napoli Federico II, a.a 2003/2006.

- Cambio di destinazione d'uso. Consiste nell'attribuire ad un edificio una nuova funzione. Questa strategia è utilizzata quando i sovraccarichi variabili risultano consistenti e determinanti ai fini della valutazione della sicurezza sismica.
- Adeguamento transitorio. In genere questa strategia viene utilizzata quando è stato deciso la demolizione, ma risulta necessario che le attività proseguono per un periodo di tempo limitato. In questo caso l'edificio può essere adeguato con modalità che, in altri casi, risulterebbero inaccettabili per un'applicazione permanente (ad esempio con elementi strutturali aggiuntivi in vista, controventi, ecc.).
- Adeguamento per fasi successive: nel caso sussistano vincoli economici o per non arrecare disturbo alle attività insediate, l'intervento può essere suddiviso in più fasi.
- Adeguamento dell'edificio occupato, quando le operazioni vengono effettuate mentre l'edificio è ancora occupato. Questa scelta comporta incrementi dei costi totali.
- Demolizione: quando, dopo opportune valutazioni economiche, risulta più conveninene un nuovo edificio rispetto all'adeguamento dell'edificio esistente, tenedo conto di altri fattori come l'importanza storica dell'edificio.

La lista dei criteri citati non è esaustiva e sempre valida, ma in base alle peculiarità del caso in esame, possono esser valutate nuove soluzioni di gestione. Anche per quanto riguarda la scelta della migliore strategia tecnica, non esiste una soluzione di adeguamento/miglioramento che li soddisfi tutti al meglio contemporaneamente: la selezione va allora operata cercando di individuare quella caratterizzata dalla migliore risposta globale ai criteri visti nel loro insieme.17

STRATEGIE TECNICHE
INCREMENTO DELLA CAPACITA' DELLA
STRUTTURA (RESISTENZA RIGIDEZZA DUTTILITA')
REGOLARIZZAZIONE
RIDUZIONE DELLA MASSA
STRATEGIE DI DISSIPAZIONE
STRATEGIE DI ISOLAMENTO

STRATEGIE GESTIONALI
CAMBIO DESTINAZIONE D'USO
RETROFIT TRANSITORIO
RETROFIT PER FASI SUCCESSIVE
RETROFIT DELL'EDIFICIO OCCUPATO
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONI

II.4.5.1 Criteri per la scelta degli interventi

Per ogni situazione, le possibili soluzioni sono generalmente più di una, con caratteristiche diverse in termini di efficacia, invasività, reversibilità, durevolezza, modalità e tempi di esecuzione, costo. La scelta della soluzione deve necessariamente avvenire caso per caso. L'analisi costo-benefici, deve valutare le variazioni possibili nel rapporto tra i benefici, misurati in termini di incremento della sicurezza, ed i relativi costi. Tra tutte le soluzioni proposte deve

_

¹⁷ Caterino N., op.cit., pp. 32-33.

essere individuato e debitamente motivato l'intervento che garantisce il valore più alto del rapporto costo-benefici, sulla base dei seguenti criteri prioritari:

Dal punto di vista economico e sociale dovrebbe essere portato in conto:

- il costo da sostenere in rapporto all'importanza della struttura. Devono essere considerati interventi che prevedono un giusto costo in relazione all'urgenza e alla tipologia di edifici non solo nell'immediato ma anche in relazione ai possibili costi futuri come la manutenibilità e la durata.
- la disponibilità di manodopera;
- la durata dei lavori e del conseguente disturbo alle normali attività;
- il conseguimento degli obiettivi prestazionali;
- il livello del controllo di qualità;

Dal punto di vista tecnico, invece, in genere si deve tenere conto dei seguenti aspetti:

- Estensione, invasione e reversibilità. Un intervento invasivo può compromettere in maniera permanete alcuni elementi resistenti, mentre se un intervento è reversibile può essere sostituito facilmente e non trasforma in modo permanete l'opera;
- Interventi che modificano o meno il comportamento statico o dinamico del modello dell'edificio.
- Compatibilità con il materiale e durata nel tempo. E' importate che la tecnologia usata si adatti soprattutto dal punto di vista chimico e fisico con il materiale che stiamo andando a trattare e che la durata del''intervento sia garantita per un prefissato periodo di tempo.
- regolarità di rigidezze, resistenze e duttilità;
- adeguatezza delle rigidezze, resistenze e duttilità locali;
- protezione nei confronti del danneggiamento non strutturale;
- capacità del sistema di fondazione;
- -non incremento del peso¹⁸

_

¹⁸ Caterino N., op.cit, pp 14,15

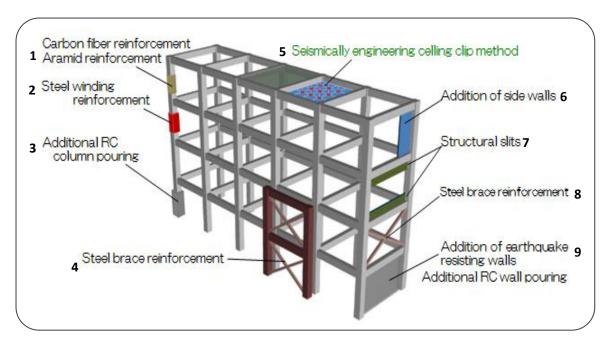


Fig.II.4.20 Giappone, 2011, Tecniche di intervento su strutture esistenti in cemento armato. 1. rinforzi locali in fibra di carbonio 2. graffe metalliche stabilizzanti 3. rinforzi locali a livello delle fondazioni 4. Cerchiature locali in accaio 5. sospensione di elementi a solai antisismico 6.) controventature attraverso elementi verticali leggeri collaboranti 7. setti strutturali orizzontali 8. Controventature diagonali in accaio 9. Addizione di elementi antisismici rigidi in c.a (Fonte: NISHIMATSU CONSTRUCTION http://www.nishimatsu.co.jp/eng/solution/renewal/earthquake.html)



Fig.II.4.21 San Diego, California, (Stati Uniti) 2008, Ingegneri dell'Università di San Diego lavorano per lo sviluppo di tecnologie di retrofitting adatte agli edifici storici per resistere a forte scosse sismiche

Fonte: ESCIENENEWS

(http://esciencenews.com/articles/2008/12/04/uc.san.diego.engineers.work.make.historic.buildings.safer .during.strong.earthquakes)

II.4.6 Gli interventi per l'efficienza energetica

Per riqualificazione energetica si intendono tutte le operazioni, tecnologiche e gestionali, finalizzate al miglioramento della qualità prestazionale del sistema edificio/impianto. Negli edifici scolastici, la principale fonte di consumo è rappresentata dal riscaldamento invernale. Gli interventi pertanto devono essere finalizzati alla riduzione delle dispersioni termiche per trasmissione, al miglioramento dell'efficienza degli impianti, promuovendo, al contempo, i sistemi passivi ed attivi di captazione dell'energia solare, le strategie ed i sistemi per migliorare l'efficienza degli scambi termici (geotermia, ventilazione meccanica controllata, ecc), oltre all'uso di fonti energetiche rinnovabili.

Devono altresì essere utilizzati degli accorgimenti anche per il breve periodo estivo, finalizzati ad evitare/diminuire il surriscaldamento che può causare situazioni di discomfort nelle giornate estive di giugno o settembre, periodo in cui si svolgono le attività scolastiche.

Strategie Tecniche

Le strategie tecniche in regime invernale sono:

- Interventi finalizzati al miglioramento delle prestazioni termiche dell'Involucro;
- Interventi finalizzati al miglioramento delle prestazioni degli impianti;
- Strategie per la captazione dell'energia solare.

In particolare gli interventi per il miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro in regime invernale si basano sui seguenti principi:

- Isolamento. L'isolamento termico consente di evitare/ridurre le dispersioni attraverso l'involucro opaco e trasparente. La tecnologia consiste nel migliorare le prestazioni dell'involucro mediante la giustapposizione di materiali/componenti in grado di ridurre le dispersioni termiche e di conteneere il calore accumulato. L'isolamento dell'involucro è finalizzato anche a ridurre/eliminare la presenza di ponti termici.
- Miglioramento della tenuta all'aria degli infissi, importante per evitare le infiltrazioni d'aria esterna e quindi di disperdere il calore. Una maggiore ermeticità delle aperture permette di raggiungere temperature interne più elevate, una maggiore stabilità in inverno riducendo la "ventilazione naturale non volontaria". Le parti dell'edificio che necessitano di maggiore attenzione sono i collegamenti perimetrali (finestra-parete), ma anche i componenti impiantistici che attraversano l'involucro.
- Aumento della permeabilità dell'involucro alla radiazione solare e utilizzo passivo dell'energia solare: mediante la realizzazione/ampliamento di superfici vetrate disposte strategicamente a Sud e nelle zone più esposte alla radiazione solare. I sistemi solari passivi sono tecnologie finalizzate alla regolazione degli scambi termici tra esterno ed interno dell'edificio facendo uso della radiazione solare come fonte energetica e sfruttando, come elementi captanti e d'accumulo componenti edilizi sia d'involucro che interni. L'utilizzo passivo di energia solare fa riferimento all'energia solare accumulata dall'edificio e rilasciata gradualmente sotto forma di radiazione. L'accumulo di energia solare può avvenire sfruttando ambienti isolati esterni all'involucro edilizio come le serre solari.

Negli edifici scolastici esistenti, l'intervento laddove possibile può essere associato al miglioramento dell'illuminazione naturale¹⁹.

Le strategie tecniche in regime estivo si basano sui seguenti principi:

- Miglioramento dell'inerzia termica dell'involucro.
- Strategie per la riduzione del surriscaldamento
- Controllo della permeabilità dell'involucro
- L'inerzia termica rappresenta la capacità di accumulo energetico della struttura e la sua inerzia al passaggio di energia. Maggiore è il peso degli elementi d'involucro minori sono le oscillazioni termiche interne e maggiore il ritardo con cui vengono trasferiti all'interno i fenomeni ambientali esterni.
- Riduzione del surriscaldamento estivo: mediante l'utilizzo di facciate ventilate o tetti ventilati che consentono, da un lato di incrementare l'isolamento termico dell'involucro, dall'altro di smaltire il calore in eccesso che si potrebbe accumulare nelle giornate estive. La strategie sfrutta il principio dell'effetto camino di ventilazione. La riduzione del surriscaldamento estivo può essere ottenuto anche mediante sistemi di schermatura, opportunamente dimensionati per garantire l'ingresso della radiazione solare nel periodo invernale, e la protezione nel periodo estivo.
- Controllo della Permeabilità dell'involucro. Si tratta di strategie che migliorano le condizioni di ventilazione interna, stabilizzando al contempo le oscillazioni termiche. L'involucro migliore dovrebbe garantire una certa ermeticità e il problema del ricambio d'aria, indispensabile per questioni fisiologiche, può essere ad esempio risolto mediante speciali dispositivi quali gli impianti ventilazione forzata con recupero di calore, oppure tramite pompe di calore e apporti geotermici. Tali strategie, oltre a ridurre notevolmente le dispersioni di calore, favoriscono il mantenimento delle condizioni di confort, consentendo di mantenere nel tempo la qualità dell'aria che, nel caso di spazi chiusi, degraderebbe velocemente.

_

¹⁹ Rogora A., La progettazione preliminare dell'edificio, http://www.sistemieditoriali.it/catalogo/vse_as13.pdf, (rilevato 2-02-2014).



Fig.II.4.22 Strategie di Retrofitting utilizzando apporti solari passivi abbinati a sistemi di ombreggiatura (qui in regime invernale con ampia penetrazione dei raggi solari per lo sfruttamento dell'apporto solare passivo. Arch. Carlo Brizioli (Università di Roma, Ludovico Quaroni) in PASSIVE COOLING BROCHURE TEENERGY SCHOOLS EDITED BY Despina Serghides Cyprus University of Technology Published by mojore communication & design Itd, Nicosia 2011)

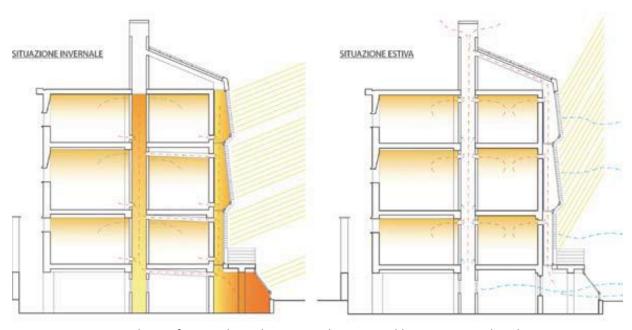


Fig.II.4.23 Strategie di Retrofitting utilizzando apporti solari passivi abbinati a sistemi di ombreggiatura

II.4.6.1 Criteri per la scelta degli interventi

In generale gli interventi di miglioramento energetico devono essere scelti in base a:

- Fattibilità tecnica degli interventi in relazione al rispetto dei vincoli storico, paesaggistici, ambientali, architettonici;
- Potenzialità di risparmio, espresso come la riduzione percentuale annua di consumo di energia primaria riferito alla misura implementata;
- Ritorno economico dell'investimento, espresso in termini di tempo
- Affidabilità della misura. Ad esempio un intervento ha un'affidabilità elevata quando garantisce di mantenere le sue prestazioni per una durata pari a quella dell'edificio.
- Valutazione degli impatti ambientali

La lista non è èsaustiva e si riferisce alla riqualificazione energetica in generale, senza tenere conto delle implicazioni con la funzione svolta.

II 4.7 Compatibilità tra gli interventi di miglioramento energetico e sismico

Alcuni interventi di miglioramento energetico potrebbero incidere negativamente sul comportamento strutturale, se non sono adeguatamente misurati con i principi di compatibilità sismica. Allo stesso tempo, gli interventi di miglioramento sismico progettati senza tenere conto delle "incompatibilità energetiche", possono causare dei fenomeni critici (as esempio a livello termoigrometrico).

Viceversa, quando la progettazione degli interventi avviene in maniera "integrata", si possono ottenere notevoli vantaggi sia in termini di maggiore sicurezza e risparmio dei consumi, che in termini mira ad avere dei vantaggi sia dal punto di vista energetico che sismico.

Gli interventi di miglioramento energetico, per poter essere compatibili con la sismica, dovrebbero garantire:

- la semplicità e regolarità geometrica;
- che la massa dell'edificio non aumenti a seguito dell'intervento;
- che non varino la distribuzione delle resistenze e rigidezze a seguito dell'intervento.
- Semplicità e regolarità geometrica.

Tale caratteristica è fondamentale per assicurare percorsi fluidi nella trasmissione della forza sismica e l'equilibrio della costruzione evitando il formarsi di pericolosi effetti torcenti.

Alcune strategie di miglioramento energetico possono determinare delle irregolarità in pianta ed in alzato se non sono opportunamente progettate. Una serra solare ad esempio, realizzata in aderenza o "sopra" un edificio esistente può rendere l'intero edificio particolarmente vulnerabile. Viceversa se ben progettata, in alcuni casi potrebbe contribuire al miglioramento sismico, determinando ad esempio una "regolarizzazione della pianta".

Anche la presenza di aggetti, camini di ventilazione e sporgenze finalizzate al miglioramento della veintilazione estiva o dell'ombreggiamento devono rispettare precisi criteri. Ad esempio la sporgenza data da un camino di ventilazione

- Non incremento/riduzione della massa.

La riduzione della massa è un'operazione che può interessare diverse parti dell'organismo architettonico in modo particolare le parti non strutturali. Gli interventi di miglioramento energetico possono contribuire alla riduzione del peso mediante diverse strategie, ad esempio mediante la sostituzione di tamponamenti pesanti con tamponamenti leggeri e performanti dal

punto di vista energetico, oppure mediante la demolizione sostituzione di alcune parti con nuovi componenti più leggeri ed energeticamente efficaci.

- Non variare la distribuzione delle resistenze e delle rigidezze.

Attraverso gli interventi miglioramento energetico deve essere verificato che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente rispetto allo stato preesistente (± 15%) e che la resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Allo stesso tempo le tecniche per il rafforzamento locale non devono variare/peggiorare il comportamento termo-igrotermico dell'involucro disperdente (ad esempio mediante l'utilizzo di intonaci armati o di resine particolarmente invasive).

Le soluzioni integrate per il miglioramento sismico ed energetico, anche se applicati solo su parte dell'edificio, possono portare a dei vantaggiosi risultati in termini economici e delle risorse. Integrando gli interventi si riesce a coniugare i lavori di cantiere e di progettazione, non di poco conto ai fini delle spese che interessano l'utenza. Inoltre nell'integrazione di prestazioni energetiche si effettua una valutazione esaustiva di costi-benefici e si possono stimare anche tempi brevi di ritorno degli investimenti effettuati per i lavori. Le valutazioni economiche in termini di costo/beneficio, necessitano di ulteriori ricerche ed approfondimenti²⁰.

_

²⁰ Innaco E., *Integrazione di prestazioni energetiche ed antisismiche nelle ristrutturazioni,* Tesi di laurea discussa alla facoltà di architettura, Università degli Studi di Firenze, 2011.

	POSSIBILI VULNERABILITA' SISMICHE		
	PESO	REGOLARITA'	RESISTENZA RIGIDEZZA DUTTILITA'
STRATEGIE PER IL MIGLIORAMENTO ENERGETICO: REGIME INVERNALE			
Isolamento involucro			
Ampiamento aperture (finestre solari)			
Strategie di captazione solare passiva (Serre solari, logge, buffer space)			
STRATEGIE PER IL MIGLIORAMENTO ENERGETICO: REGIME ESTIVO			
Miglioramento inerzia temica (massa)			
Strategie per la riduzione del surriscaldamento estivo (aggetti strutturali, loggiati, ecc)			
Facciate ventilate			
Coperture ventilate			



Fig.II.4.24 Riqualificazione della scuola Giansanti a Pesaro con aperture dedicate all'apporto solare passivo, completo di schermature solari per il periodo estivo.

II.4.7.1 Un esempio applicativo

Gli interventi locali agiscono sulle caratteristiche "intrinseche della costruzione", ovvero sulle parti strutturali ed i collegamenti. La necessità di intervenire localmente con un intervento di rafforzamento o miglioramento sismico, può diventare l'occasione per migliorare energeticamente l'edificio. Gli interventi dovranno in questo caso essere "sinergici" e garantire maggiore sicurezza strutturale ed adeguati livelli di performance energetica.

Condizione imprescindibile è la compatibilità delle tecniche. In particolare le tecniche per il miglioramento energetico devono garantire:

- la semplicità e regolarità geometrica;
- che la massa dell'edificio non aumenti a seguito dell'intervento;
- che la distribuzione delle resistenze e rigidezze non varino a seguito dell'intervento.

La possibilità di intervenire localmente con tecniche "integrate" sono molteplici e non è possibile fare una catalogazione delle diverse soluzioni, dal momento che ogni caso ha le proprie peculiarità e non esiste un un'unica strada di intervento.

A titolo d'esempio si analizzano alcune soluzioni di miglioramento/rafforzamento locale da applicare su un edificio in muratura caratterizzato da orizzontamenti lignei e copertura a falda in legno.

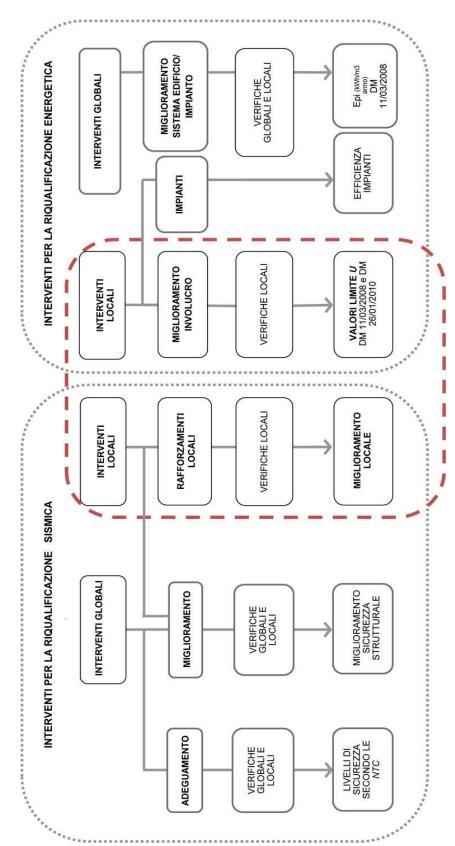


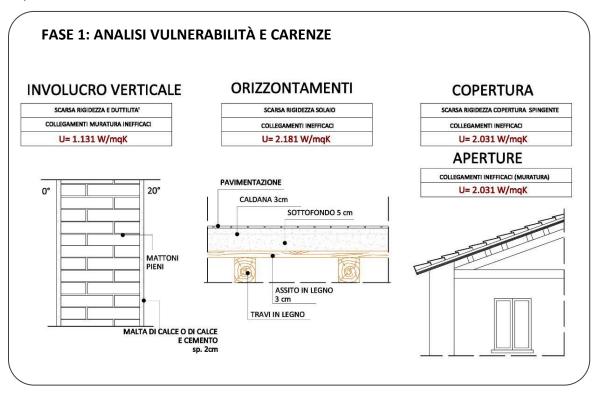
Fig.II.4.25 Le tecniche per il miglioramento ed il rinforzo locale strutturale possono essere associate a tecniche per il miglioraemtno energetico dell'involucro

Fase 1: Analisi Vulnerabilità e carenze

Nell'esempio l'involucro dell'edificio considerato è costituito da muratura portante in mattoni pieni, non coibentata, con spessore di 42cm ed intonaco su entrambi i lati. Le principali vulnerabilità sismiche riguardano alcune carenze localizzate dovute al degrado (fessure, crepe, ecc..), una scarsa resistenza e duttilità nei confronti delle azioni perpendicolari al piano, inefficacia dei collegamenti. Dal punto di vista energetico, l'involucro presenta non adeguati valori della trasmittanza termica (1,131 Wm²/K).

Gli orizzontamenti con orditura lignea, sono costituiti da un impalcato sul quale è appoggiata una soletta o caldana ed una pavimentazione in cotto. Le principali vulnerabilità sismiche sono legate alla scarsa rigidezza, all'assenza di idonei collegamenti con la muratura portante nelle due direzioni, aspetti questi necessari per garantire un buon comportamento scatolare complessivo. Dal punto di vista energetico gli orizzontamenti che confinano con il sottotetto o con un ambiente non riscaldato presentano valori non adeguati di trasmittanza termica. Tale valore è di 2.18W/ m²K.

Le carenze di una copertura lignea a falde riguardano il "carattere spingente", i nodi e le giunzioni strutturali, la presenza di parti della struttura in cattivo stato di conservazione e il peso complessivo della copertura. Il carattere spingente di una copertura incide negativamente sulla stabilità della costruzione in presenza si sisma, provocando il collasso fuori dal piano delle pareti sottostanti. Un'altra vulnerabilità è associata alla presenza di solette non sufficientemente rigide. Le solette delle falde inclinate devono rispettare le stesse regole di rigidità dei solai di piano per l'idoneo trasferimento dei carichi orizzontali. Dal punto di vista energetico la copertura è caratterizzata da una trasmittanza elevata di 2.031 W/ m²K. Per quanto riguarda le aperture, la principale vulnerabilità è la mancanza di efficaci collegamenti con la muratura, e di idonei architravi. Dal punto di vista energetico gli infissi sono caratterizzati da una trasmittanza di 5.6 W/ m²K.

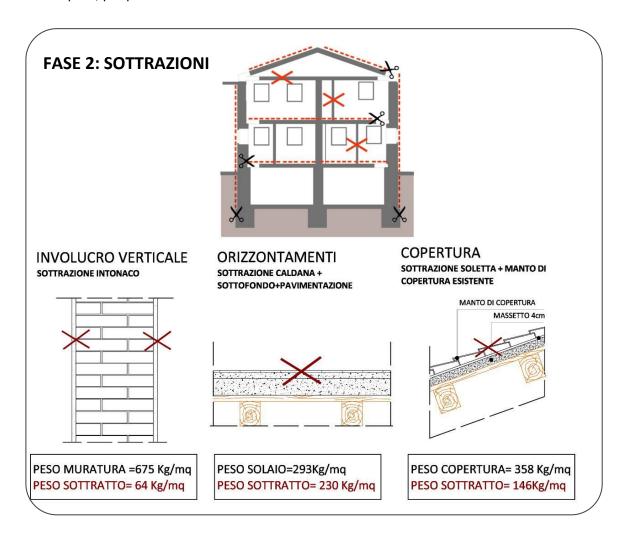


Fase 2: Sottrazioni²¹

Gli interventi di miglioramento/rafforzamento locale possono comportare la riduzione del peso di alcuni componenti. Questa possibilità, associata ad un intervento di miglioramento energetico "leggero e performante", consente di ottenere contemporaneamente:

- il miglioramento energetico
- il miglioramento strutturale
- la riduzione del peso.

La possibilità di ridurre il peso, può riguardare sia l'involucro verticale che gli orizzontamenti e la copertura. La demolizione dell'intonaco ad esempio, a seguito di un intervento di rinforzo della muratura, comporta una notevole riduzione del peso. Uno strato di intonaco a calce (2cm) pesa circa 36Kg/ m². Alcune tecniche di rafforzamento della muratura inoltre, prevedono la demolizione dell'intonaco da entrambe le parti. Si tratta di interventi finalizzati all'incremento della resistenza e della duttilità della muratura. Altre possibilità di riduzioni di peso riguardano gli orizzontamenti oppure la copertura. In entrambi i casi spesso è necessario lo smontaggio di alcune parti, per poter intervenire con tecniche di rafforzamento sismico.



²¹ Innaco E., op. cit. pp.206-211.

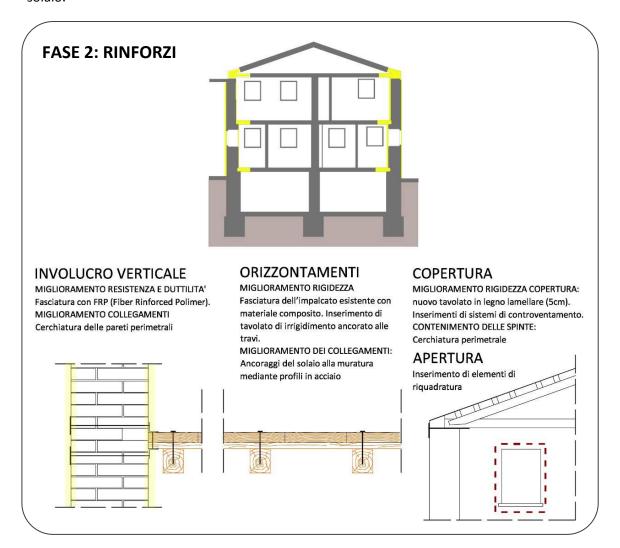
Fase 3: Rinforzi

Involucro verticale opaco: gli interventi di rinforzo strutturale delle pareti possono comprendere.

- riparazione di parti danneggiate mediante interventi di rinforzo locale (ristilatura dei giunti, tecnica del cuci scuci);
- incremento delle proprietà meccaniche della muratura (mediante fasciatura con materiali compositi fibrorinforzati FRP o FRCM);
- miglioramento del comportamento scatolare d'insieme incrementando l'efficacia dei collegamenti (cerchiature, fasciatura materiali compositi fibrorinforzati).

Orizzontamenti:

gli interventi di rinforzo degli orizzontamenti consistono nel migliorare la rigidezza globale e i collegamenti alla muratura. L'irrigidimento può essere ottenuto con varie tecnologie. Se il solaio esistente (come nel caso analizzato) è dotato di un tavolato ligneo, è possibile intervenire accoppiando strutturalmente un nuovo tavolato in legno lamellare. Questa operazione consente di irrigidire il solaio e di avere un peso complessivo dell'intero pacchetto ridotto rispetto a quello originale. Per quanto riguarda il miglioramento dei collegamenti del solaio alla muratura, si può intervenire mediante sistemi di incatenamento (catene o tiranti), posti sopra la struttura del solaio o alle estremità delle travi, a seconda se si opera sull'estradosso o sull'intradosso del solaio.

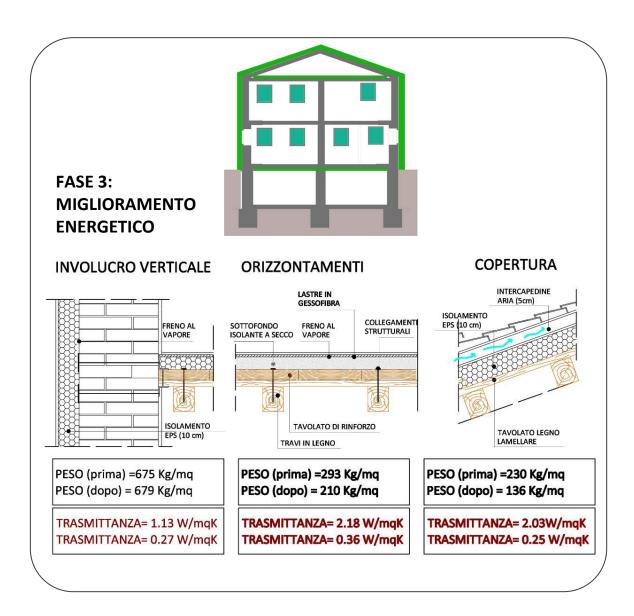


- Copertura:

Per le coperture a falda caratterizzate da una certa deformabilità, si può prevedere l'utilizzo di controventature metalliche disposte in modo da collegare le falde in diagonale o a croce di Sant'Andrea. Le spinte possono essere eliminate mediante l'inserimento di nuove travi con funzione di catena o mediante un cordolo tirante in acciaio e cerchiatura esterna in acciaio o in materiale composti.

- Aperture

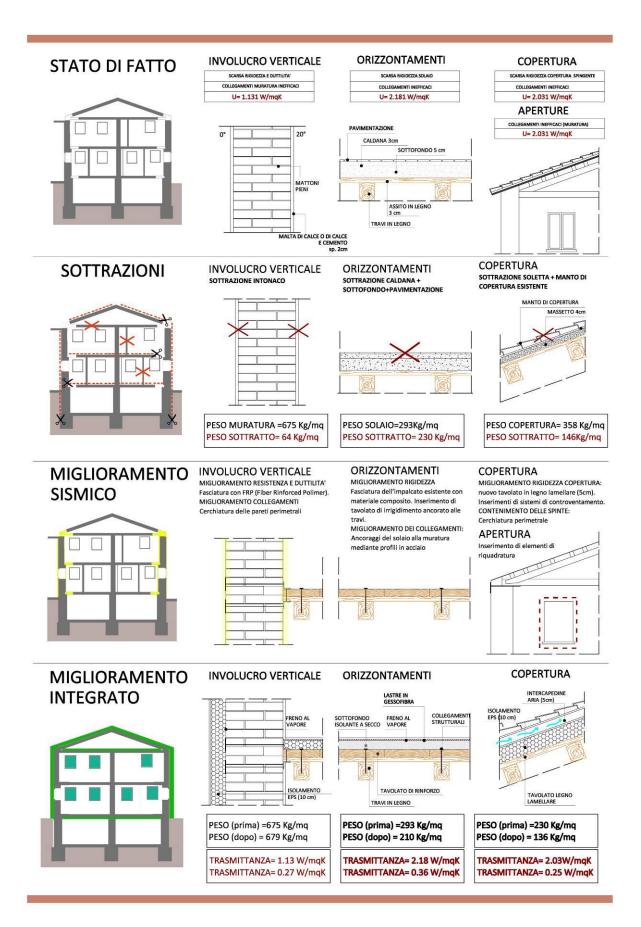
Per migliorare il collegamento delle aperture alla muratura si possono prevedere degli elementi di riquadratura in profilati metallici. La tecnica prevede lo smontaggio del vecchio infisso e il consolidamento delle pareti intorno alle aperture. Poi l'inserimento di telai chiusi in acciaio prima dell'inserimento del nuovo infisso. In tale intervento deve essere previsto l'idoneo isolamento degli elementi n acciaio onde evitare la formazione di ponti termici.



Fase 3: Miglioramento energetico

Una volta ridotto il peso e rinforzato/migliorato sismicamente l'involucro opaco verticale, le aperture e gli orizzontamenti, si procede con il miglioramento energetico tenendo presente due importanti aspetti: utilizzare materiali leggeri e raggiungere adeguati valori di trasmittanza dell'involucro e dei componenti. Trattandosi di un edificio situato in fascia climatica D i valori di trasmittanza da raggiungere sono:

- involucro verticale opaco: U=0.29 W/m²K;
- copertura U=0.26 W/m²K;
- orizzontamenti U=0.34 W/m²K.
- finestre (comprensive di infissi) 0.34 W/m²K.



Bibliografia

Benedetti D., Petrini V., 1984. *On Seismic Vulnerability of Masonry Buildings: Proposal of an evaluation Procedure*, L'industria delle costruzioni, Milano.

Caterino N., Analisi Decisionale Multicriterio per l'Adeguamento Sismico di edifici in c.a., Tesi di dottorato discussa alla facoltà di ingegneria, Università degli Studi di Napoli Federico II, a.a 2003/2006.

CNR-GNDT, Rischio sismico di edifici pubblici - Parte I: Aspetti metodologici, Tipografia Moderna, Bologna, 1994.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*. 2009.

Conti P., Della Vista D., Fantozzi F., Fasano G., Grassi W., Manetti R., Menchetti E., Schito E., Signoretti P., Testi D., Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario, 2011.

Corgnati S.P., Veda V., Baccino G., Capozzoli A., Causone F., Talà N. "Strategie di diagnostica ed ottimizzazione multi obiettivo di edifici con climatizzazione innovativa", Enea Report 2011.

Cornell C.A., Engineering Seismic Risk Analysis, 1968.

Dall'O' G., Green Energy Audit, Edizione Ambiente, Città di Castello, 2011

Eurocodice 8. UNI EN 1998-1:2005. Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici. Marzo 2005.

Innaco E., *Integrazione di prestazioni energetiche ed antisismiche nelle ristrutturazioni*, Tesi di laurea, facoltà di architettura, Università degli Studi di Firenze, 2011.

McGuire, R. K., *Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing theLoop. BSSA*, Vol. 85, No. 5., 1995.

Mezzina M., Porco F., Raffaele D., Uva G., *Linee guida per la valutazione della sicurezza sismica di edifici pubblici con struttura in c.a o in muratura*, (documento disponbile alla pagina file:///C:/Users/maria%20grazia/Downloads/01_Linee_guida_Verifiche_edifici_pubblici_ICAR+SC HEDA.pdf)

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*, (DM 14/01/08) "Norme tecniche per le Costruzioni".

Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Circolare del 5 giugno 2007. *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le Costruzioni*

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20 marzo 2003, n. 3274, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, G.U. n. 105 del 8 maggio 2003 - S.O. n.72.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 3 maggio 2005, n. 3431, *Norme Tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*, G.U. n. 107 del 10/05/2005 - S.O. n.85.

Panzeri A., , Acquisizione dati involucro. Metodi impiegabili ai fini della certificazione energetica degli edifici, Neo-Eubios, n.14, 2005

Perino M., La misura della trasmittanza in opera di pareti edilizie, Dip. di Energetica Politecnico di Torino, presentata in occasione del SAIE, Bologna 13/10/2005;

Righetti G., Bari L., L'edificio in muratura. La muratura portante in laterizio normale e porizzato: caratteristiche e prestazioni, Ed. Lambda, Padova, 1993.

Rogora A., *La progettazione preliminare dell'edificio*, http://www.sistemieditoriali.it/catalogo/vse_as13.pdf, (rilevato 2-02-2014).