

Proposta di una classificazione tipologica come premessa ad una normativa per gli edifici in muratura

(Proposal of a typological classification as a premise to a
rule for masonry buildings)

C.MAJORANO e M.PAGANO

Cattedra di Complementi di Tecnica delle Costruzioni, Facoltà
Ingegneria, Università degli Studi di Napoli, Italia

Tavole a cura di Mario Losasso

Sommario - Per una normativa del recupero del patrimonio edilizio esistente occorre preliminarmente individuare classi tipologiche cui riferire tutti i modelli di comportamento strutturale. Si propone di individuare tre classi tipologiche ordinate cronologicamente: 1) edifici integralmente in muratura con impalcati ad arco; 2) edifici con pareti murarie continue e solai in legno o acciaio; 3) edifici con solai in cemento armato e cordoli di piano. Inoltre si definiscono tre direttrici di recupero per ristrutturare le suddette classi con le tecnologie disponibili.

Si formulano proposte normative per la definizione qualitativa dei modelli interpretativi delle tre classi tipologiche, delle tre direttrici di recupero e degli indici di qualità delle tecnologie di intervento.

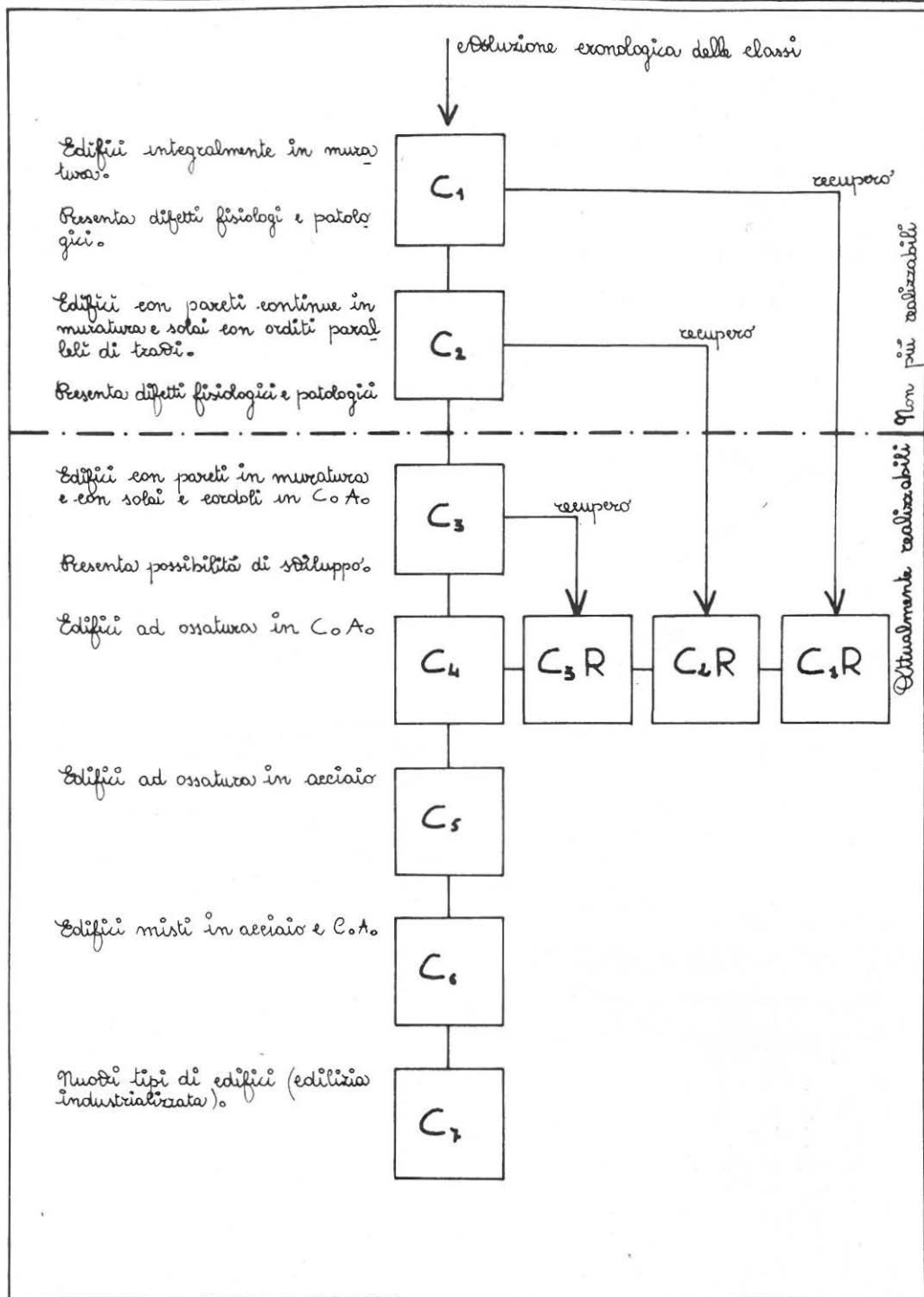
Abstract - The safety rules of the masonry buildings for the structural restoration against seismic effects require preliminarily to classify the secular building estate of the country in a basic typological classification, which is able to state the main structural behaviours. Our proposal is to identify the following three typological classes in chronological order: 1) buildings (the oldest ones) entirely masonry; 2) buildings (more recent) made with continuous masonry box-shaped walls and floors with wooden and iron beams; 3) buildings (new ones) with vertical masonry walls joined at each floor with reinforced concrete slabs. For their restoration we indicate three morphologic paths. Such classification represents a guide for the technological reinforcement in order to reach the required levels of safety.

1. PREMESSA

Ciascuna normativa si riferisce al comportamento di una ben determinata "tipologia strutturale" ovvero al comportamento di tutte quelle strutture che presentino caratteristiche equivalenti a livello di tecnologie costruttive, di morfologia, di condizioni ambientali e di carico.

Prioritario è pertanto l'inquadramento del patrimonio edilizio in classi di tipologie strutturali (classificazione), che nei settori del cemento armato e dell'acciaio risultano solo implicitamente predefinite nel titolo oppure nel testo delle rispettive normative.

CLASSIFICAZIONE STRUTTURALE degli EDIFICI



2. PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI IN MURATURA

2.0.

L'assenza di una classificazione degli edifici in muratura ben definita nelle sue articolazioni è dovuta ad una molteplicità di circostanze: fatta eccezione per le murature in mattoni artificiali, il materiale è variabile perchè strettamente condizionato, in ogni località, dalle risorse naturali; la morfologia spazia da opere monumentali a modesti edifici; la tecnologia è particolarmente ampia, poichè utilizza archi, volte, solai in legno, in cemento armato, in acciaio, ecc.

Inoltre le normative sono state quasi esclusivamente rivolte alle nuove costruzioni, trascurando l'esistente; sicchè esse per edifici in muratura intendono riferirsi alle moderne strutture, ben diverse da quelle costruite in passato. Per una normativa che sia di guida tecnica al recupero dell'esistente si propone, pertanto, nel seguito, di suddividere il patrimonio degli edifici in muratura in tre classi fondamentali, nelle quali rientrino, possibilmente, tutte le tipologie strutturali esistenti. Come criterio di individuazione della classe, si propone di riferirsi al modello morfologico e fisico-matematico valido per interpretarne il comportamento strutturale; per il recupero a ciascuna di esse si fa corrispondere l'albero delle tipologie prodotte dalla ristrutturazione adottata.

Mentre le tre classi sono cronologicamente collegabili tra loro, i tre alberi di recupero si pongono come diramazioni cronologicamente attualizzate, perchè intendono far raggiungere al patrimonio edilizio il livello di qualità strutturale richiesto dalle attuali conoscenze scientifiche.

Si ritiene che questa proposta di impostazione della normativa di recupero sia accettabile come ossatura principale di una normativa del settore, comune a tutti i paesi, riservando specificazioni diversificate alle particolarità dovute alle tecnologie locali. Nel seguito, senza nulla togliere di generalità a tale impostazione, si fa implicitamente riferimento agli edifici normali per usi civili.

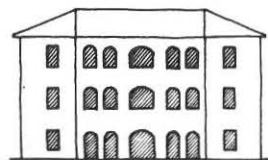
2.1. 1^a Classe

2.1.1. Definizione e comportamento

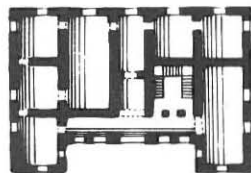
Si considerano appartenenti alla prima classe gli edifici realizzati integralmente in muratura. Le strutture portanti degli orizzontamenti devono quindi essere arcuate per sostenere i carichi verticali, quasi in assenza di trazione, e trasmetterli, unitamente alle spinte, ai sostegni verticali.

Le spinte orizzontali, se non sufficientemente contrastate, tendono a far divaricare tali sostegni con riduzione delle frecce degli archi, in una sequenza causa-effetto non lineare che può portare al crollo rovinoso. Tale classe è particolarmente vulnerabile alle azioni sismiche: le scosse ondulatorie possono, infatti, produrre incrementi anche notevoli del regime di sollecitazione sia nell'arco che nei ritti di sostegno, già severamente cimentati dalle azioni spinanti; quelle sussultorie - che quasi sempre hanno effetti compresi

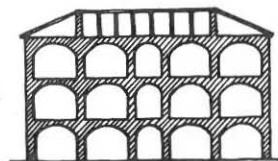
MODELLO OGGETTUALE



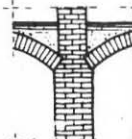
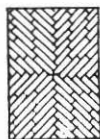
PROSPETTO



PIANTA PIANO TIPO

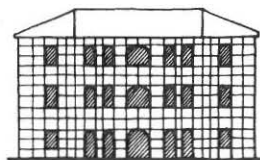


SEZIONE



PARETI e SOLAI INTEGRALMENTE IN MURATURA

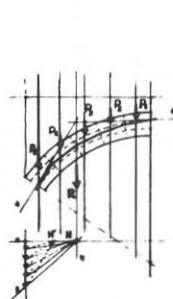
MODELLO DI COMPORTAMENTO



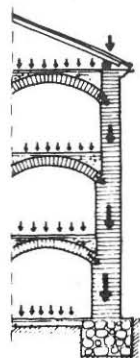
MODELLO di MURATURA OMOGENEA



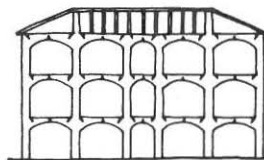
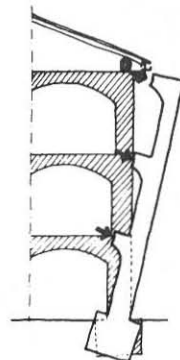
MODELLO SOTTOPOSTO A CARICHI ORIZZONTALI e VERTICALI.



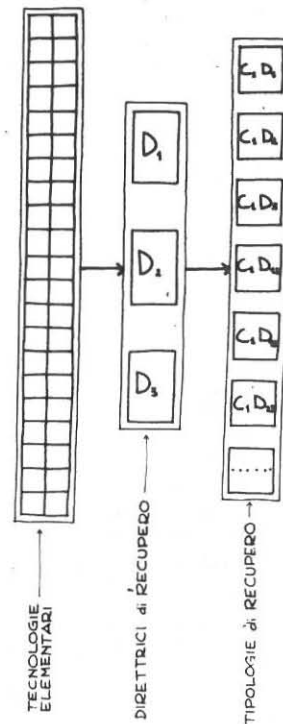
MODELLO A CONCI SCABRI



PATOLOGIA e SVILUPPO

QUADRO FISILOGICO delle LESIONI:
GLI ARCHI SI FESSURANO NELLE
ZONE TESIQUADRO PATOLOGICO di un DISGESTO
TIPICO.CROLLO TIPICO per ROTAZIONE
dei SOSTEGNI VERTICALI.

ALBERO di RECUPERO



nei limiti ammissibili per le altre tipologie sottoposte a regimi flesso-taglienti - producendo nel caso specifico un incremento delle spinte, facilmente provocano la crisi dei sostegni verticali. In passato si è spesso provveduto ad introdurre catene per eliminare le spinte. Oggi la necessità di adottare provvedimenti di rafforzamento quando le verifiche di resistenza forniscono risultato negativo, comporta la nascita di un "albero" di recupero, ovvero delle tipologie modificate cui corrisponde un "albero" di modelli interpretativi del loro comportamento, da definire con la normativa.

2.1.2. Modelli per la prima classe: conci scabri e omogeneo continuo

Per valutare il grado di sicurezza ultimo degli edifici della prima classe, in passato, la bibliografia consigliava di assumere il modello a conci scabri. La muratura si considerava priva di resistenza a trazione, con membrature presezionate in conci, a contatto statico tra loro attraverso giunti di malta, capaci, per le asperità delle facce contigue, di impedire per attrito gli scorrimenti.

La capacità ultima di resistenza si valutava (metodo proposto dal Mery) attraverso l'esistenza, per le combinazioni più sfavorevoli di azioni esterne, di poligoni funicolari (curve delle pressioni) compatibili, in tutto il loro sviluppo, con la capacità di resistenza della muratura.

Più in generale oggi le caratteristiche di comportamento sono interpretabili, con idonei parametri, dal metodo degli elementi finiti. Con tale strumento si può ottenere il quadro iniziale delle sollecitazioni nel modello originario con muratura integra ed omogenea e si possono individuare le eventuali sue tendenze a modificarsi per la fessurazione delle zone sottoposte a trazione. Con procedimenti iterativi si potrebbe conoscere la capacità della struttura a raggiungere uno stato di equilibrio stabile parzialmente fessurato. Quando esso non sia raggiungibile, ovvero in caso di risultato negativo delle suddette verifiche, s'impone il recupero statico, che è ottenibile oggi attraverso le molteplici tecnologie di rafforzamento disponibili, che conducono all'albero dei modelli di recupero.

2.2. 2^a Classe

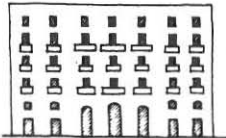
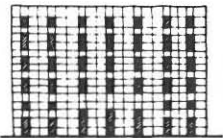
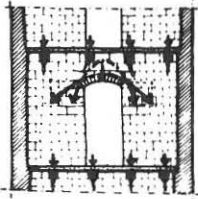
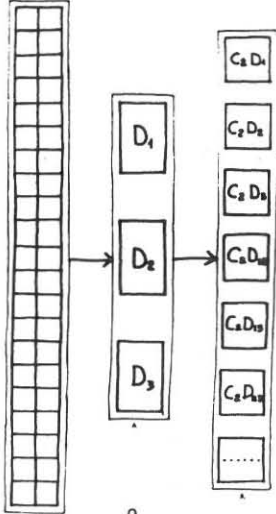

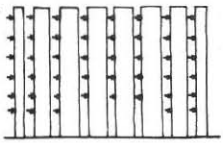

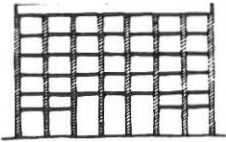
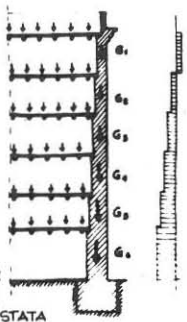
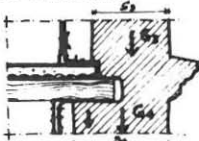
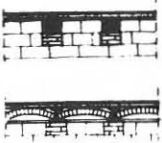
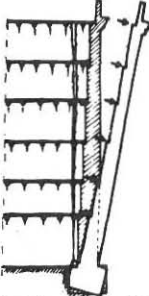
2.2.1. Definizione e comportamento

Appartengono alla seconda classe gli edifici costituiti da una scatola di pareti in muratura, continue in verticale per tutta la propria altezza, e da solai formati con orditi paralleli di "travi". Ai vari piani le travi, costituite da materiale resistente a flessione, trasmettono alle pareti solo carichi verticali, pur potendo talvolta assolvere compiti di collegamento attraverso l'attrito o, talora, appositi ancoraggi, nelle sedi di contatto.

In questa tipologia, che si pone cronologicamente in contatto con la precedente, permangono numerose cause di dissesto:

a) non sono eliminate totalmente le spinte orizzontali all'interno della scatola muraria, perchè gli architravi sulle porte e

II CLASSE EDIFICI CON PARETI IN MURATURA E SOLAI ORDITI CON TRAVI

MODELLO OGGETTUALE	MODELLO DI COMPORTAMENTO	PATOLOGIA	ALBERO DI RECUPERO
 <p>PROSPETTO</p>	 <p>SCATOLA SPAZIALE OMOGENEA</p>	 <p>FRATTURE NELLE SEDI DI APPOGGIO delle TRAVI e negli ARCHITRAVI</p>	
 <p>PIANTA PIANO TIPO</p>	 <p>FASCE ISOLATE A MENSOLE</p>	 <p>EFFETTO SPINGENTE delle VOLTINE SUI MURI DI AMBITO</p>	
 <p>SEZIONE</p>	 <p>ECCENTRICITÀ MORFOLOGICA dei MURI di TESTATA e CONSEGUENTI MOMENTI FLETTENTI</p>	 <p>SUDDIVISIONE in FASCE per DISTACCHI VERTICALI nella SCATOLA MURARIA</p>	
 <p>SOLAI ORDITI CON TRAVI IN LEGNO O ACCIAIO</p>		 <p>CROLLO TIPICO per ROTAZIONE dei SOSTEGNI VERTICALI</p>	

sulle finestre sono sagomati ad arco;

b) sono ancora presenti momenti ribaltanti dovuti alla morfologia asimmetrica dei maschi murari perimetrali;

c) non sono eliminate le spinte sulle pareti di perimetro quando i solai sono costituiti da voltine inserite tra travi di acciaio;

d) sono frequenti i distacchi tra i muri interni e quelli perimetrali a causa del diverso comportamento termico e meccanico;

e) sono spesso presenti fenomeni fessurativi nelle sedi di contatto tra le travi ed i muri.

In definitiva non si è di molto elevata la capacità statica degli edifici specialmente in zona sismica: l'assenza di impalcati aventi funzione di collegamento orizzontale e la permanenza di spinte commisurate infatti la vulnerabilità dell'intero edificio a quella del più debole dei suoi elementi resistenti, nei quali tende a suddividersi; in particolare le fasce murarie parallele all'orditura dei solai, se prive del tutto di collegamenti orizzontali, tendono a ribaltare e/o a segmentarsi in fodere.

Anche per effetto dei soli carichi verticali, nel corso dei decenni, in tale tipologia si sono verificati dissesti, caratterizzati da una segmentazione delle pareti in fasce murarie e da un loro movimento complessivamente centrifugo con lesioni di ampiezza conseguentemente crescente dalla base verso la sommità dell'edificio. In passato per fronteggiare tale ricorrente inconveniente si è provveduto generalmente disponendo catene di acciaio ai vari piani.

Oggi i numerosi provvedimenti di recupero tecnologicamente disponibili comportano anche in questo caso la nascita di un albero di tipologie modificate e dei corrispondenti modelli rappresentati vi.

2.2.2. Modelli per la seconda classe: scatola spaziale omogenea e fasce isolate.

Per l'edificio considerato nella condizione iniziale con muratura capace di resistere a trazione, di nuovo il metodo degli elementi finiti consente di accertare, in modo del tutto generale, la ammissibilità dello stato di sollecitazione.

Nelle applicazioni, sempre nella ipotesi di muratura capace di resistere a trazione e quando la morfologia lo consenta, si può considerare l'edificio come sistema complesso formato da sub-modelli che colleghino tra loro monoliticamente colonne, travi ed archi in sistemi piani e/o spaziali.

Più realisticamente, la bibliografia, per valutare la sicurezza nello stato cui l'edificio perviene per la incapacità della muratura a resistere a trazione, suggerisce di considerare a priori la intera scatola muraria formata dalle fasce verticali indipendenti che derivano dalla sua suddivisione secondo gli allineamenti verticali dei vani e delle croci di muro.

Questo modello che si denomina significativamente a fasce isolate schematizza quindi i muri come mensole indipendenti sottoposte

alle azioni verticali ed orizzontali che loro competono, per il peso proprio e per i carichi trasmessi dagli architravi e dai solai.

2.3. 3^a Classe

2.3.1. Definizione e comportamento

Appartengono alla terza classe gli edifici aventi le strutture verticali portanti in muratura, intercalate, ad ogni piano, da impalcati monolitici, resistenti a trazione in ogni direzione del piano orizzontale. Tale condizione è generalmente soddisfatta da solai che siano dotati di soletta in calcestruzzo armata con rete metallica, e che siano incorniciati da cordoli in cemento armato in corrispondenza di tutti i muri. Questa classe, formatasi spontaneamente con l'avvento della tecnica del c.a., fornisce una valida risposta agli inconvenienti delle classi precedenti perchè il descritto sistema di collegamenti rende solidale e monolitico il sistema delle mureture verticali.

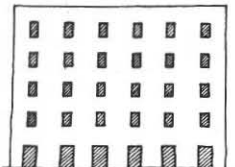
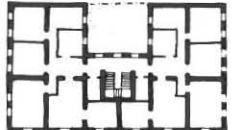
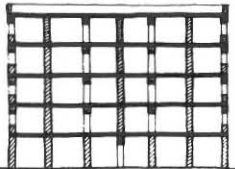
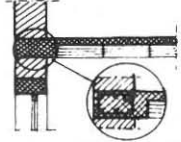
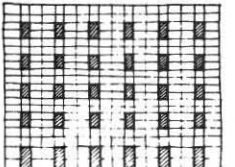
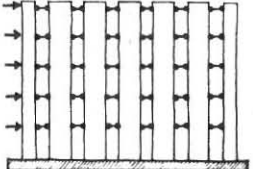
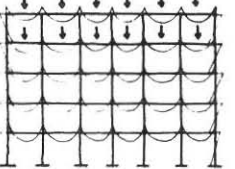
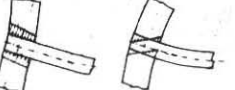
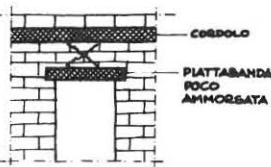
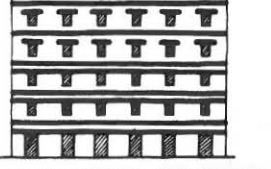
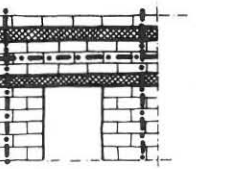
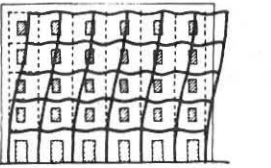
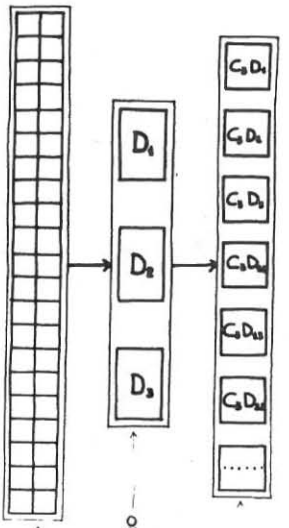
All'accresciuta resistenza degli impalcati nel proprio piano si accompagna una più elevata rigidità del complesso che assicura e migliora la collaborazione di tutti i pannelli murari dell'edificio nei confronti delle azioni esterne, compresa quella sismica. La struttura si comporta, in definitiva, come una scatola monolitica tridimensionale pluriconnessa, caratterizzata peraltro dalla limitata rigidità degli impalcati nel piano verticale.

Essendo questa classe relativamente giovane, non è ancora disponibile una individuazione storicamente valida di difetti e per essa si pongono solo tematiche di potenziamento e sviluppo della struttura scatolare. Per essa la normativa italiana fornisce solo prescrizioni morfologiche correlate al livello di rischio sismico del luogo di realizzazione, con limitazione del numero dei piani, senza richiedere alcun supporto di verifiche con modelli fisico-matematici.

2.3.2. Modelli per la terza classe: mensole diaframmate - scatola tridimensionale.

Per la terza classe la valutazione del regime tensionale si può effettuare schematizzando ancora una volta la struttura agli elementi finiti o, più semplicemente, riconducendola allo schema di struttura spaziale intelaiata. In essa i ritetti in muratura si considerano collegati monoliticamente dai solai in cemento armato, rigidi e resistenti a trazione solo nel piano orizzontale, in una schematizzazione che si riduce ad un sistema di mensole collegate da pendoli ai vari piani.

Il collegamento tra i ritetti garantirebbe anche una trasmissione di flessioni se le piattabande sui vani fossero continue. Nello sviluppo di questa classe, che potrebbe ottenersi con il miglioramento del collegamento tra i ritetti, l'elemento pendolo potrebbe essere sostituito dall'elemento "trave", resistente a flessione ed a taglio, se le piattabande sui vani fossero continue e garantissero, insieme al cordolo di piano, l'assorbimento delle sollecitazioni indotte dalla loro appartenenza al complesso strutturale.

III CLASSE	EDIFICI CON PARETI IN MURATURA E CON SOLAI E CORDOLI IN C.A.		
MODELLO OGGETTUALE	MODELLO DI COMPORTAMENTO	PATOLOGIA E SVILUPPO	ALBERO DI RECUPERO
 <p>PROSPETTO</p>  <p>PIANTA PIANO TIPO</p>  <p>SEZIONE</p>  <p>SOLAI e CORDOLI in C.A.</p>	 <p>MODELLO di MURATURA OMOGENEA</p>  <p>CARICHI ORIZZONTALI; MENSOLE DIAFRAMMATE</p>  <p>CARICHI VERTICALI TELAIO CON NODI PARZIALIZZATI</p>  <p>NODO NON PARZIALIZZATO NODO PARZIALIZZATO</p>	 <p>CORDOLO PIATTABANDA POCO AMMOBBATA</p> <p>PIATTABANDA NON COLLABORANTE</p>  <p>LE PIATTABANDE COLLABORANO CON LA STRUTTURA</p>  <p>PIATTABANDA CONTINUA: DOPPIO CORDOLO</p>  <p>COMPORTAMENTO SCATOLARE TRIDIMENSIONALE</p>	 <p>TECNOLOGIE ELEMENTARI</p> <p>DIRETTRICI di RECUPERO</p> <p>TIPOLOGIE di RECUPERO</p>

In tal modo si potrebbero superare i criteri restrittivi della attuale normativa, sostituendoli con una progettazione fondata su modelli fisico-matematici.

Tale passo in avanti si rende peraltro indispensabile per risolvere i problemi connessi con l'adeguamento. Nelle zone di nuova classificazione sismica esistono, infatti, edifici appartenenti a questa classe che, non rispettando le attuali prescrizioni normative, attendono strumenti teorici di valutazione della loro capacità di resistenza. Quando per essi le verifiche forniscano risultati negativi, si potrà intervenire secondo le necessità, creando per questa classe un albero di sviluppo delle attuali capacità.

3.0. Classificazione delle direttrici di recupero

Agli edifici appartenenti alle tre classi precedentemente illustrate (C_1 , C_2 , C_3), si sono fatti corrispondere modelli per la valutazione del loro regime statico e si è constatata la necessità di definire un albero di modelli (da essi derivati) per la valutazione del regime statico che si instaura a seguito del recupero.

La normativa deve definire i loro comportamenti, la loro variabilità in fasce dipendenti dai parametri che li caratterizzano, dalle direttrici di trasformazione di ciascuna classe e dalle caratteristiche dei modelli di recupero cui esse tendono.

Essa dovrebbe preliminarmente procedere ad una classificazione delle direttrici di trasformazione che determinano altrettanti rami principali nell'albero dei modelli di recupero. Nel seguito si propone di individuare tre direttrici (D_1 , D_2 , D_3) fondamentali:

3.0.1. Nella prima direttrice D_1 si procede al recupero del solo materiale muratura, elevandone la resistenza a compressione ed a trazione con iniezioni e con la introduzione diffusa di filamenti di acciaio. L'aspetto morfologico resta invariato.

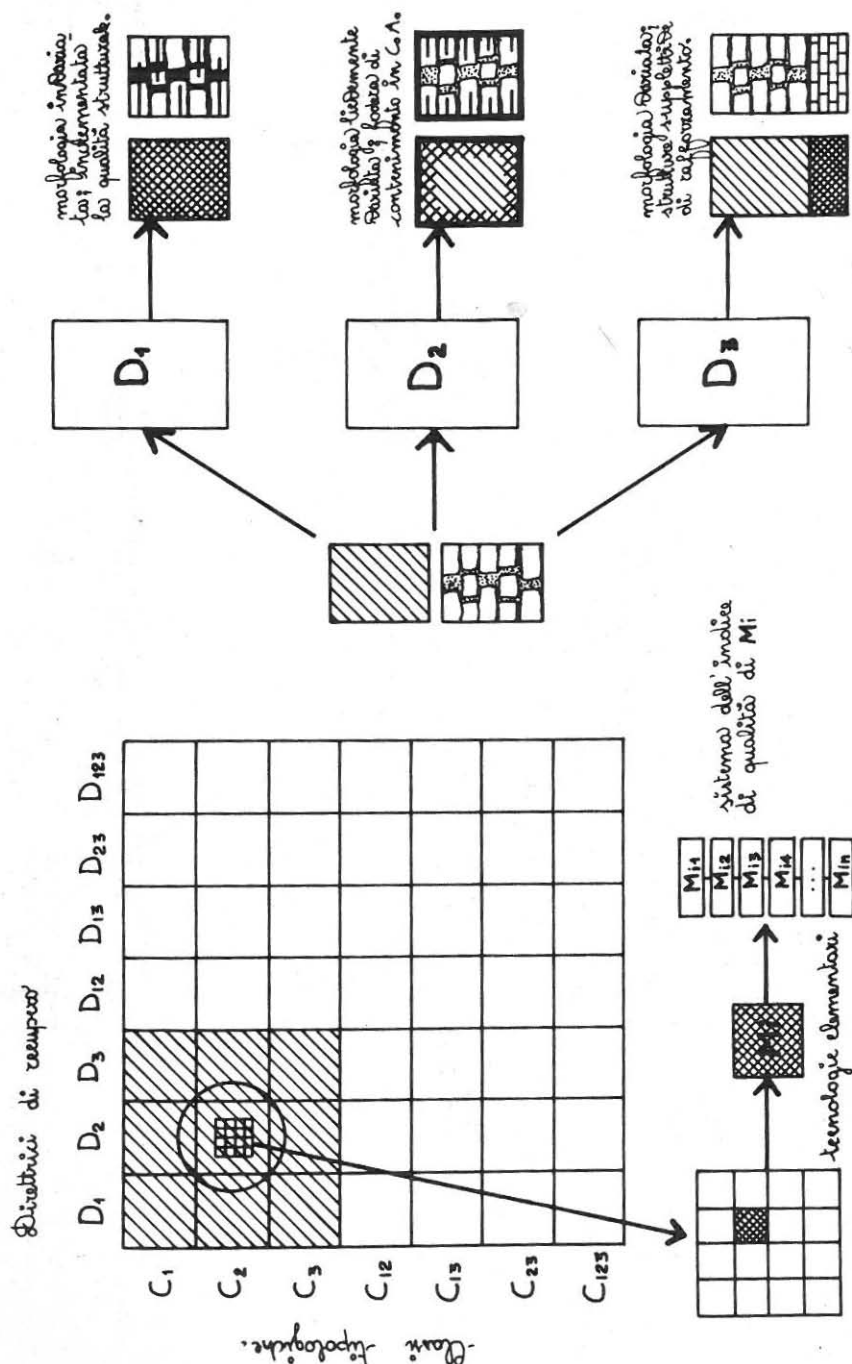
3.0.2. Nella seconda direttrice D_2 il recupero si ottiene fasciando le masse murarie con elementi strutturali di materiali più resistenti (guaine sottili in cemento armato, piastre e catene di acciaio) e curando di ottenere una completa aderenza e la cucitura continua delle superfici a contatto. L'aspetto morfologico è quindi solo di poco modificato.

3.0.3. Nella terza direttrice D_3 il recupero si ottiene aggiungendo nuove strutture di rafforzamento, che conservano la loro individualità e si pongono in collaborazione con la struttura muraria da recuperare. L'aspetto morfologico è quindi sostanzialmente modificato.

La combinazione dei modelli di base (C_1 , C_2 , C_3) con le tre suddette direttrici di trasformazione (D_1 , D_2 , D_3) comporta la nascita di un folto albero di modelli diversificati, per i quali emerge la necessità di una identificazione oggettuale e comportamentale.

Per quanto attiene la prima direttrice (D_1), si ritiene che i modelli corrispondenti possano derivarsi da quelli originari di struttura integra, modificando solo le caratteristiche meccaniche del materiale in dipendenza del provvedimento di rafforzamento adottato.

ALBERO DELLE DIRETTRICI DI RECUPERO - Monadi Tecnologiche



tato.

La seconda direttrice (D_2) comporta in più lo studio dei problemi di interazione e di collegamento, fondamentali per le strutture miste: hanno rilievo, ad esempio, la instabilità delle lastre di fasciatura, cucite per punti alla muratura; lo scorrimento fasciatura nucleo; la tecnologia di esecuzione. Il modello che interpreta la struttura così rafforzata deve tener conto della sia pur lievemente mutata morfologia e delle mutate caratteristiche di rigidità del materiale composto.

La terza direttrice (D_3) comporta lo studio delle interazioni tra la costruzione originaria e quella di rafforzamento, tenendo conto delle variabilità dei parametri specifici e complessivi considerati separatamente e congiuntamente.

Nella progettazione il tecnico deve confrontarsi con i casi reali, nei quali spesso si ritrovano commiste in un solo edificio parti che, essendo edificate in epoche diverse, non corrispondono ad una sola delle classi C_1 , C_2 , C_3 . Se in essi s'impone la necessità del recupero, può inoltre avvenire che gli interventi formino a loro volta un intreccio delle tre direttrici D_1 , D_2 , D_3 . Ne consegue che le combinazioni C_1 , C_2 , C_3 con D_1 , D_2 , D_3 formano i rami principali di un complesso albero³ di recupero². Essi sono stati simbolicamente rappresentati nella figura 5 nella quale è delimitata la parte che si ritiene possa essere trattata dalla normativa, ed alla quale il tecnico possa riportarsi per ogni caso specifico di progetto di recupero. Ogni riquadro della tabella rappresenta simbolicamente l'insieme dei sistemi di recupero che coordinano le tecnologie elementari (m_i) d'intervento che sono disponibili. La normativa deve regolamentare anche tali monadi tecnologiche di ristrutturazione (m_i), fornendo per ciascuna di esse un'adeguata definizione qualitativa attraverso indici (M_{ij}) di valutazione della loro qualità.

4. NORMATIVA E PROGETTAZIONE DEL RECUPERO INTEGRALE

Dall'esame fin qui fatto appare evidente che la normativa è uno strumento operativo per la progettazione statica degli interventi di recupero. Essa va impostata sulla base di una adeguata classificazione delle tipologie strutturali.

La progettazione del recupero statico richiede che ogni caso specifico si riporti alle soluzioni suggerite dalla normativa; il risanamento delle deficienze utilizza submodelli fisico-matematici che si ritrovano lungo le varie direttrici di rafforzamento a loro volta classificabili. Una siffatta procedura consente di dosare caso per caso il livello di rafforzamento necessario in relazione alle azioni esterne ed al livello di sicurezza richiesto.

Si conclude ricordando che nella realtà spesso avviene che quando il patrimonio edilizio esistente è carente sotto l'aspetto statico, lo è anche sotto quello funzionale ed abitativo. Pertanto, in rigore, il recupero dovrebbe essere finalizzato anche al conseguimento di tutti gli altri obiettivi (urbanistici, architettonici e tecnologici) tendenti a migliorare la condizione abitativa.