

Circolare Ministero Lavori Pubblici 12 Dicembre 1981 n. 22120 - Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in cemento armato ed a struttura metallica danneggiata dal sisma.

(Circolare 12 Dicembre 1981 n. 22120) Legge 14 Maggio 1981 n.219 - art.10

Di seguito alla circolare n. 21745 in data 30 luglio 1981 di questo Ministero - Servizio Tecnico Centrale - con la quale, in relazione alla legge 14-5-1981 n. 219 e per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al D.M. 2-7-1981, sono state emanate le Istruzioni relative alla riparazione ed al rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma del novembre 1980 e del febbraio 1981, si provvede con la presente Circolare a completare dette Istruzioni con la parte relativa alla riparazione ed al rafforzamento degli edifici in cemento armato ed a struttura metallica.

Le presenti Istruzioni hanno riportato il parere favorevole dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

4. EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

4.1. Criteri generali d'impostazione progettuale

I criteri che stanno alla base degli interventi di riparazione e rafforzamento di un edificio danneggiato dal sisma, nonché le principali operazioni progettuali sono enunciati dalle Norme ai punti 2, 2.1., 2.3., 2.4. e, per quanto concerne in particolare il cemento armato, al punto 2.5.

L'argomento viene riproposto e sviluppato nella prima parte delle presenti istruzioni, al punto 2., con riferimento generale e al punto 3.1. con riferimento agli edifici in muratura. Si riprende l'argomento per gli edifici in cemento armato, onde il progettista abbia ben chiaro il quadro che si prospetta all'atto della concezione dell'intervento.

In sintesi gli elementi da tener presenti nella progettazione, sono i seguenti:

- ruolo del terreno e delle fondazioni;
- carattere spaziale del comportamento strutturale in caso di evento sismico;
- interazione struttura - elementi non strutturali;
- deformabilità del complesso strutturale;
- livello e distribuzione dei danni prodotti dal sisma.

Sulla base di tali elementi si potrà valutare la situazione attuale dell'edificio, riconoscendo in alcuni casi la necessità di provvedere ad un adeguamento antisismico, mentre in altri casi sarà sufficiente un semplice intervento di sola riparazione.

I punti 1.2. e 1.3. delle Norme definiscono i concetti di "riparazione" e di "adeguamento" antisismico. In proposito va sottolineato che la legge 2-2-1974, n. 64 prevede all'art. 15 anche per la riparazione un implicito concetto di "rafforzamento", nel senso che la struttura, dopo l'intervento di riparazione, deve tendere a conseguire un maggior grado di sicurezza alle azioni sismiche. La differenza dunque fra "riparazione" ed "adeguamento" antisismico consiste nel diverso livello di questo "maggior grado di sicurezza", il quale livello per la riparazione non è esattamente precisato dalla legge n. 64, mentre per l'adeguamento è definito dall'insieme delle Norme approvate con D.M. 2-7-1981.

Per quanto riguarda la riparazione (e l'implicito rafforzamento strutturale) si seguiranno le Norme, riportate al punto 3.5., ferma restando la possibilità di adottare tecnologie esplicitamente non menzionate in quella sede, purché risultino pari e comprovata efficacia (punto 2.4.2. delle Norme). Tali indicazioni vengono riprese ed ulteriormente illustrate nel seguito di queste istruzioni, al punto 4.3.

Per quanto riguarda l'adeguamento antisismico dell'edificio, da progettarsi tenendo presenti gli obiettivi fissati dalle Norme al punto 2.4., si deve avere speciale riguardo alla globalità del comportamento strutturale, ricordando in particolare che l'inserimento nell'ossatura dell'edificio di nuovi elementi resistenti, ovvero il rafforzamento di alcune sue parti, hanno generalmente influenza sul comportamento dell'intero organismo; possono tra l'altro portare ad un incremento di sollecitazioni in parti della costruzione che, ove non vi si prestasse la dovuta attenzione, prevedendo eventuali rafforzamenti, renderebbero vane le finalità stesse dell'intervento.

È opportuno anche evidenziare l'importanza che assumono, come ed ancor più che nelle nuove costruzioni, i dettagli costruttivi, sia nella loro concezione che nella realizzazione.

Accanto al ruolo resistente di alcuni particolari costruttivi si deve altresì tenere presente la funzione che spesso questi assolvono nei riguardi della duttilità della struttura; caratteristica questa essenziale in fase di sisma violento.

Pertanto la cura nell'ideare e realizzare, ad esempio, un nodo trave - pilastro in cemento armato, oppure nel ripararlo, è di rilevante importanza ai fini della sicurezza anche se ciò non appare esplicitamente nei calcoli di verifica.

Tale verifica che accompagna il progetto di adeguamento antisismico costituisce, ferme restando le considerazioni ora esposte, la garanzia della raggiunta sicurezza. Essa si basa, per gli edifici in cemento armato,

sulle Norme Tecniche di cui al D.M. 33-1975.

I concetti sopra richiamati si traducono in una articolazione di operazioni che vengono ulteriormente approfondite nei paragrafi che seguono.

Resta inteso che la traccia metodologica indicata è valida in linea generale, potendo i singoli punti trovare sviluppi diversi in relazione ai problemi trattati.

4.1.1. Progetto esecutivo.

Al punto 2, secondo paragrafo delle Norme, in armonia a quanto prescritto dall'art. 7 della legge 2-2-1974, n. 64, sono elencati i documenti essenziali che devono costituire il progetto esecutivo.

Oltre agli elaborati grafici, il progetto deve essere accompagnato dalla relazione tecnica e dai fascicoli dei calcoli per la verifica sismica delle strutture portanti.

Trattandosi di edifici in cemento armato, gli interventi necessari alla loro riparazione e al rafforzamento antisismico sono soggetti agli adempimenti prescritti dall'art. 4 della legge 5-11-1971, n. 1086.

Sono esclusi tuttavia da tale obbligo gli interventi localizzati di sola riparazione su membrature singole, nonché gli interventi su elementi costruttivi che assolvono una funzione resistente di limitata importanza nel contesto statico dell'edificio.

Il deposito del progetto all'ufficio del genio civile avverrà dopo che la commissione comunale consuntiva di cui all'art. 14 della legge 14-5-1981, n. 219, avrà esaurita l'istruttoria sul progetto ai fini della sua approvazione e della conseguente assegnazione del contributo erariale.

Per quanto riguarda il contenuto specifico della relazione tecnica si rinvia a quanto indicato al punto 3.1. delle presenti istruzioni, relativo agli edifici in muratura, tenendo conto ovviamente delle necessarie varianti in relazione al diverso sistema costruttivo.

Gli elaborati grafici devono contenere ogni elemento necessario a descrivere la struttura esistente nonché i disegni esecutivi atti a definire, anche nei dettagli, le opere di riparazione e rafforzamento. Ciò in conformità all'art. 4 della legge 5-11-1971, n. 1086.

Da tali elaborati deve risultare in particolare:

- lo stato di fatto da cui si rilevi l'ubicazione e l'entità dei danni;
- la posizione dei saggi in fondazione e in elevazione eseguiti;
- la rappresentazione degli interventi di ripristino strutturale progettati.

Si richiama l'attenzione sull'obbligo di evidenziare con chiara indicazione riportata nei grafici, il ruolo statico che taluni elementi costruttivi dovranno assolvere nel nuovo assetto strutturale previsto dal progetto: significativo è l'esempio dei muri divisorii o di tamponamento, di norma considerati non portanti per quanto riguarda i carichi verticali, ai quali muri invece, in fase di progetto di adeguamento, venga attribuita una preordinata funzione d'irrigidimento trasversale. Ciò anche al fine di evitare che eventuali successive modifiche, ad opera realizzata, possano alterarne la resistenza alle azioni sismiche prevista in fase di progetto.

4.1.2. Schema strutturale.

Il capoverso a) del punto 2.1. delle Norme prevede la individuazione dello schema strutturale mediante una analisi globale dell'edificio nella situazione preesistente al sisma.

Il punto 2.5.1., a proposito degli edifici di cemento armato precisa in particolare che si terrà generalmente conto della presenza di elementi, anche non strutturali, che, attese se le caratteristiche di rigidità e resistenza, possano contribuire in maniera significativa all'assorbimento delle azioni sismiche ovvero, possano modificare sensibilmente il comportamento della sola ossatura portante.

Se si dispone del progetto originario dell'edificio, è sufficiente verificarne la rispondenza allo stato di fatto, tenendo presente quanto indicato nel successivo punto 4.1.3. delle presenti istruzioni.

Se non si dispone di tale progetto, si deve individuare fra gli elementi dell'ossatura portante, i sistemi resistenti alle azioni orizzontali nelle varie direzioni (telai semplici a maglie ortogonali, telai con travi inclinate come nel caso delle scale o delle falde dei tetti, pareti semplici o inserite nei telai, pareti costituenti nuclei a sezione chiusa od aperta, ecc.); si verificherà, poi, la funzionalità degli orizzontamenti (solai gettati in opera, presenza di nervature prefabbricate e loro sistemi di ammassamento alla struttura principale, presenza di armatura nell'eventuale soletta superiore, ecc.); si controllerà infine l'efficienza del sistema di fondazioni.

4.1.3. Analisi degli elementi strutturali e dei materiali.

Sarà compito del progettista accertare la consistenza strutturale dell'edificio su cui si deve intervenire, spingendo tale accertamento al livello che riterrà necessario per potersi ragionevolmente assumere la responsabilità della relativa progettazione. Il compito è agevolato nel caso in cui si disponga del progetto originario dell'edificio; in questo caso come si è detto al punto precedente delle presenti istruzioni è sufficiente controllare la rispondenza della costruzione al progetto, rilevando dimensioni e disposizione dei vari elementi strutturali nonché, con un adeguato numero di "saggi", la consistenza e la disposizione delle armature.

I rilievi e le analisi possono essere limitate a quelle parti dell'ossatura che, a seguito dell'intervento di

adeguamento, assumono rigidità tale da risultare sostanzialmente gli unici elementi resistenti all'azione sismica. Si citano, a titolo di esempio, i seguenti casi:

- a) Edificio con ossatura in cemento armato che ha subito danni di modesta entità alle strutture di un solo piano; ha patito altresì danni alle tamponature, ai tramezzi e ad altri elementi non strutturali. Se l'ipotesi progettuale prevede l'inserimento di irrigidimenti a tutta altezza sull'edificio (pannellature con funzione strutturale, controventi aggiunti a cui vengono affidate integralmente le azioni sismiche), allora l'analisi sulla consistenza della struttura esistente potrà essere limitata alle sole parti (pilastri, travi, solai, fondazioni) collegate ai nuovi elementi strutturali da inserire.
- b) Edificio a struttura mista (telai in cemento armato e murature perimetrali portanti) che abbia subito danni alla sola muratura e per il quale l'ipotesi di adeguamento preveda il rafforzamento della muratura, con una delle tecniche di cui al punto 3.3. delle Norme: in questi casi l'analisi della esistente struttura in cemento armato può essere omessa.
- c) Edifici già progettati in conformità alle Norme approvate con D.M. 3-3-1975 ricadenti in zone per le quali non è variato il grado di sismicità s.

L'analisi sull'esistente, oltre al rilievo degli eventuali danni, si limiterà ai saggi ed alle ispezioni visive necessarie ad accertare che la struttura è stata di fatto realizzata secondo il progetto a suo tempo autorizzato. Se tali verifiche risultano soddisfacenti, il progetto di riparazione e rafforzamento assumerà come dato di fatto gli elementi - tecnici desunti dal progetto originario.

Il presente criterio si adotta anche quando l'edificio è stato progettato secondo normative sismiche anteriori a quelle attuali e sia reperibile la documentazione progettuale.

Negli altri casi le operazioni di rilevamento saranno, in generale, più estese: infatti la consistenza e la disposizione delle armature è accertabile solamente attraverso un adeguato numero di saggi e verifiche.

Quando, oltre alle analisi della sola ossatura, si debbano svolgere anche quelle ad ossatura tamponata, si individueranno gli elementi a cui si prevede poter affidare un ruolo resistente. Della tamponatura deve in particolare riconoscersi l'effettiva composizione, lo spessore, i collegamenti eventuali fra le due fodere, la natura dei componenti, ecc.

I controlli di qualità del calcestruzzo e dell'acciaio sono decisi dal progettista con una estensione rapportata all'importanza dell'opera ed alle tecniche di intervento che prevede adottare. In particolare la qualità del calcestruzzo può essere stimata mediante prove distruttive su campioni ricavati a mezzo carotaggio, ovvero mediante prove non distruttive (ad esempio sclerometriche), tenendo conto dell'influenza dell'invecchiamento, ovvero con altre tecniche atte a fornire valide indicazioni sulla capacità resistente del conglomerato.

4.1.4. Scelta dei criteri di intervento.

Gli interventi di riparazione e di adeguamento antisismico, in linea generale, possono essere effettuati secondo i due criteri seguenti:

- semplice rinforzo degli interi elementi strutturali esistenti;
- inserimento di un nuovo sistema strutturale collaborante con quello preesistente.

Nel primo caso si tratta di procedere alla riparazione degli elementi strutturali danneggiati e, se le verifiche specificate al punto 2.1. delle Norme lo dimostrano necessario, ad un loro adeguamento antisismico.

Nel secondo caso la soluzione consiste nel realizzare una struttura nuova, efficacemente collegata a quella esistente, in guisa da ottenere un unico complesso resistente alle azioni sismiche. Poiché la ripartizione della collaborazione fra le due strutture in parallelo dipende dal rapporto fra le loro rigidità, la rigidità alle azioni orizzontali della nuova struttura resistente deve essere tale da salvaguardare l'organismo preesistente dagli effetti di eccessive deformazioni.

In entrambi i casi, in generale, l'opera di rinforzo porta ad alterare la distribuzione delle rigidità; e pertanto l'analisi della struttura rinforzata deve conseguentemente riguardare il complesso del nuovo organismo resistente, con riferimento sia alle strutture in elevazione sia a quelle di fondazione.

Criterio generale sarà sempre quello di tendere alla massima regolarità strutturale in pianta ed in elevazione.

4.1.5. Verifica sismica.

Le Norme stabiliscono, al punto 2.5.3., che il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche degli elementi strutturali vanno eseguiti secondo le prescrizioni di cui al cap. C.6., delle Norme di cui al D.M. 3-3-1975; considerano altresì, al punto 2.5.1., la necessità di una visione globale dell'edificio ai fini dell'individuazione dello schema resistente, tenendo anche conto, ove opportuno, della presenza di elementi non strutturali.

Quest'ultimo punto richiede particolari cautele per vari motivi:

- le tamponature sono considerate elementi non strutturali ed in quanto tali potrebbero essere soggetti a future modifiche (spostamenti, aperture, rifacimenti con altri materiali) difficilmente controllabili;
- la definizione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità di tali elementi è meno affidabile, generalmente, di quella relativa ai materiali strutturali; lo stesso vale per le condizioni di vincolo agli elementi strutturali.

È quindi necessario procedere, prendendo le opportune precauzioni affinché le tamponature considerate nello

schema resistente diano sufficienti garanzie nei riguardi degli aspetti sopramenzionati.

Si possono definire a "funzione resistente garantita" le tamponature che rispondono ai seguenti requisiti:

1. sono inserite in un telaio e contenute nel piano medio dello stesso;
2. la loro posizione nello schema distributivo è di per sé tale da escludere future manomissioni;
3. la funzione strutturale è espressamente dichiarata nel progetto ed evidenziata nella realizzazione;
4. le caratteristiche meccaniche dei materiali e gli spessori sono tali da rendere soddisfatte le verifiche di resistenza (ad es. con i criteri indicati in appendice); in particolare sono da escludere le pareti in foglio, i mattoni a grandi fori (aperture maggiori del 40%);
5. sono assicurati i collegamenti alla struttura di cemento armato, secondo le tecniche indicate ai punti 4.3.5. e 4.3.7. delle presenti istruzioni;
6. sono assenti aperture, a meno che la parete sia rivestita di doppia fodera armata e le aperture siano adeguatamente riquadrate;
7. hanno elevata resistenza all'azione sismica ortogonale al loro piano.

Le altre tamponature, prive di qualcuno dei requisiti suddetti, possono in alcuni casi, per la loro posizione, rigidezza, resistenza, interferire in misura significativa nel comportamento strutturale.

In tali casi, ancorché l'effetto possa risultare favorevole, non se ne può ugualmente tener conto, mancando le necessarie garanzie; ma viceversa va prudenzialmente considerata dal progettista, l'ipotesi che l'effetto risulti sfavorevole, come ad esempio nel caso di tamponatura eccentrica in pianta che provoca effetti d'insieme torsionali. Occorre, pertanto, in sede di verifica, nello spirito del punto 2.5.2. delle Norme, procedere ad un doppio calcolo; il primo con la sola struttura più le eventuali tamponature a "funzione resistente garantita", il secondo con lo schema precedente, integrato dalle rimanenti tamponature significative; dei due calcoli si assumeranno poi per ogni elemento le sollecitazioni più sfavorevoli.

Nei casi in cui si consideri il contributo delle tamponature, si adotterà, in analogia a quanto prescritto nelle Norme tecniche 3-3-1975 al punto C.7., il coefficiente di struttura = 1,4.

In ogni evenienza però, indipendentemente dalle risultanze di tal verifiche, sono sempre da evitare distribuzioni delle tamponature che in pianta risultino non simmetriche e che comunque diano luogo ad effetti torsionali, nonché quelle che in elevazione producano discontinuità nelle rigidezze laterali, come nel caso di tamponature presenti a tutti i piani meno uno.

Oltre all'influenza delle tamponature si deve porre attenzione al ruolo che assumono i giunti nei confronti del comportamento strutturale in fase di sisma, specie quando una non accurata realizzazione porta ad un improprio funzionamento dei giunti stessi.

Si devono altresì prevedere, evitandole oppure se del caso tenendone conto nelle verifiche, tutte le possibili situazioni, che favoriscono il realizzarsi di vincoli a volte ignorati negli schemi di calcolo. Tipico è l'esempio di solai di copertura di scantinati i quali, su terreni in pendio, vengono proseguiti a sbalzo dal lato monte e solidarizzati col muro di sostegno; ne segue, in fase di sisma un possibile effetto torsionale, nel caso che i telai paralleli al muro siano flessibili in quanto non tamponati.

In definitiva, dopo aver perseguito, nel progettare l'intervento, la massima efficacia di comportamento strutturale, si dovrà, in fase di verifica, curare la scelta del modello di calcolo, ricorrendo se necessario a più modelli alternativi.

4.2. Fondazioni

Il punto 3.2. delle Norme definisce le modalità tecniche a carattere generale per il consolidamento delle fondazioni. Chiarimenti su tale argomento sono forniti al punto 3.2. delle presenti Istruzioni, cui si rimanda anche per quanto attiene i criteri generali relativi alle fondazioni degli edifici in muratura, che con gli opportuni adattamenti possono essere utilizzati quale valido riferimento anche per gli edifici in cemento armato. Circa il punto 3.5.1. delle Norme che a titolo indicativo riporta l'elenco dei possibili provvedimenti da adottare per conseguire il consolidamento delle fondazioni degli edifici in cemento armato, le opportune delucidazioni sono riportate al successivo punto 4.3.3. delle presenti istruzioni.

Si ritiene utile esporre ancora, dato il particolare interesse dell'argomento, le considerazioni che seguono:

4.2.1. Influenze delle condizioni geologiche locali e delle caratteristiche dei terreni di fondazione.

Lo studio del progetto deve essere preceduto da una valutazione della situazione geologica dell'area in cui sorge la costruzione e delle caratteristiche geotecniche locali. Ciò vale in particolare quando l'entità e il tipo di danni subiti dall'edificio appaiono verosimilmente influenzati da una intensificazione locale delle azioni sismiche o dalla presenza di deformazioni permanenti del terreno di fondazione causate dal terremoto.

Il punto 3.2. delle Norme, al 6° capoverso, prescrive infatti che le pressioni di contatto di esercizio delle fondazioni debbono essere valutate sulla base delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo e delle caratteristiche delle fondazioni: elementi di valutazione questi che possono dedursi solo attraverso un rilievo approfondito della geometria delle fondazioni e della loro armatura ed a seguito di indagini specifiche geotecniche.

Tali accertamenti potranno tuttavia essere semplificati in taluni particolari casi. Pregiudiziale a tal fine è la ricorrenza delle seguenti condizioni:

I. le manifestazioni di dissesto dell'edificio non sono imputabili a cedimento della fondazione;

II. la natura geologica del sito e le caratteristiche del terreno di fondazione sono soddisfacenti ed uniformi ed escludono pericolo di sprofondamenti, scoscendimenti, liquefazioni.

Sotto queste condizioni gli accertamenti sulla natura geologica del suolo e sulle caratteristiche geotecniche del sito possono essere ridotti e, al limite omessi se è possibile disporre di dati documentati ed attendibili relativi alla conoscenza geotecnica della zona.

Ove venga accertato che le fondazioni dell'edificio insistono su terreni poco addensati (sabbie e limi sciolti, argille soffici), di spessori inferiori ai 20-30 metri, si raccomanda di applicare come minimo il coefficiente di fondazione $\epsilon = 1,3$ previsto dal D.M. 3-3-1975 punto C.6.1.1.

Quando gli edifici sorgono su terreni con pendio accentuato conviene che si adottino criteri di verifica particolarmente cautelativi: infatti a parità di altre condizioni questa circostanza può provocare maggiorazioni dell'entità delle azioni sismiche.

Per quanto riguarda il collegamento dei corpi di fondazione, da realizzarsi di regola con un reticolo di travi, può accadere in alcuni casi che le demolizioni e gli scavi da effettuare per l'inserimento del reticolo stesso rechino al sistema di fondazione nel suo complesso disturbi e indebolimenti tali da poter di fatto pregiudicare l'efficacia stessa del provvedimento. In casi siffatti, e semprechè il terreno risulti di buona consistenza, l'esigenza di incatenamento potrà essere considerata soddisfatta ove esista una struttura resistente di orizzontamento collegante i pilastri, che sia posta a distanza dallo spiccato dei pilastri stessi non superiore a $5b$, con b pari al lato minore delle sezioni trasversali dei pilastri.

4.2.2. Edifici con fondazioni dirette.

Lo stato di conservazione e le dimensioni delle strutture di fondazione possono essere controllati con ispezioni a campione.

Nel caso di esito favorevole, le opere di adeguamento non comportano rafforzamento delle fondazioni se nella nuova situazione di progetto e per le condizioni di carico più gravose, comprese le azioni sismiche, il valore massimo della pressione sul terreno non supera localmente del 50% la pressione massima nella situazione preesistente al sisma.

In assenza di azioni sismiche, la maggiorazione non deve superare, nelle condizioni di carico più sfavorevoli, il 20%.

4.2.3. Edifici con fondazioni su pali.

Nel caso di fondazioni su pali che non abbiano subito deformazioni permanenti o rotture, qualora l'adeguamento non introduce nella sovrastruttura variazioni tali da alterare in misura sostanziale la distribuzione delle forze agenti sulle fondazioni, si potranno di massima omettere interventi sulle strutture di fondazione.

In caso contrario si devono effettuare indagini approfondite e procedere, se del caso, al rafforzamento delle fondazioni.

4.3. Provvedimenti tecnici e di riparazione e adeguamento antisismico.

4.3.1. Caratteristiche dei materiali.

4.3.1.1. Impiego di calcestruzzi e malte normali o additivate.

Nei casi in cui l'intervento consista nel ripristinare strutture cementizie per porzioni o tratti di entità considerevoli può essere usato calcestruzzo ordinario, che abbia resistenza e modulo elastico non troppo diversi da quelli del calcestruzzo esistente; l'aderenza del getto all'elemento da riparare potrà essere migliorata mediante l'applicazione di uno strato adesivo.

Per conciliare le esigenze di elevata resistenza e buona lavorabilità dei getti può essere opportuno usare additivi fluidificanti (che in genere migliorano anche l'adesione al materiale preesistente).

Idoneo, in generale, è anche l'uso di calcestruzzi o malte con additivi che realizzano un'espansione volumetrica iniziale capace di compensare o addirittura di superare il ritiro. Questo accorgimento permette di creare modesti stati di coazione, benefici per l'inserimento dei nuovi getti; è peraltro essenziale utilizzare casseri contrastanti.

4.3.1.2. Impiego di miscele a base di resine.

L'impiego delle resine migliora la resistenza sia a compressione che a trazione.

Il materiale si presta bene ad essere usato per iniezioni anche mescolato con inerti finiti.

In funzione di molti fattori, fra cui anche il tipo di inerti, si ottengono moduli elastici molto variabili (da 20.000 kg/cm² a valori simili a quelli del calcestruzzo ordinario).

Le caratteristiche finali delle miscele dipendono sensibilmente, tra l'altro, dalle condizioni ambientali (temperatura ed umidità) nelle quali avviene la loro maturazione. Pertanto, è raccomandabile che lo studio delle modalità di preparazione tenga conto delle effettive condizioni ambientali prevedibili e che si provveda in sede di esecuzione al controllo delle condizioni stesse, eventualmente con misurazioni della temperatura e dell'umidità.

4.3.1.3. Acciaio per armature.

Per l'acciaio in barre, quando ne sia previsto il collegamento alle armature esistenti tramite saldature, si raccomanda di controllare la saldabilità, o meglio la capacità di sopportare l'unione senza divenire fragile.

4.3.2. Modalità esecutive.

4.3.2.1. Iniezioni con miscele leganti (punto 3.5.2.1 delle Norme).

Risarciture di lesioni localizzate di piccola entità sono effettuabili con miscele prevalentemente di resine con viscosità e pressioni dipendenti dalle ampiezze delle stesse.

Le operazioni da effettuare sono:

- a. pulizia dalla polvere o dalle altre impurità delle superfici danneggiate con l'eliminazione del materiale disgregato;
- b. pulizia in profondità con aria o acqua in pressione;
- c. sigillatura delle lesioni con stucco o intonaco e predisposizione di tubicini di ingresso della miscela e dei fori spia di uscita;
- d. iniezione della miscela che è costituita generalmente da resina pura o debolmente caricata;

Si raccomanda di usare pressioni non troppo elevate per non indurre stati di coazione eccessivi nell'elemento iniettato.

Si sconsigliano iniezioni di resina per lesioni rilevanti (le Norme indicano l'ampiezza di 3-4 mm come limite massimo) per evitare riscaldamenti prodotti dalla polimerizzazione della miscela e conseguente carbonatazione del prodotto.

La tecnica descritta è altresì da evitare nel caso di lesioni molto piccole (ad es. attorno al decimo di millimetro) perché l'iniezione diventa difficoltosa e richiede pressioni elevate, con esito incerto e possibilità di effetti negativi difficilmente controllabili sulle parti di struttura lesionate. In questi casi si raccomanda di non fare affidamento sul completo ripristino della continuità dell'elemento fessurato, ma solo su una percentuale cautelativa che tenga conto appunto della probabile presenza di lesioni e distacchi non iniettati.

4.3.2.2. Ripristino localizzato con conglomerati o malte cementizie (punto 3.5.2.2. delle Norme).

La riparazione con getto di calcestruzzo, ordinario o con additivi, è la più frequente nel caso che si presenti parziale disgregazione del materiale (eventualmente evidenziabile anche con debole percussione).

Eseguite le occorrenti puntellature o tirantature provvisorie, si procederà nella maniera seguente:

- a. eliminazione di tutte le parti disgregate o parzialmente espulse ponendo attenzione a non danneggiare le armature presenti;
- b. eventuale iniezione della parte messa a nudo;
- c. pulizia della superficie con aria compressa e lavaggio; se si rende necessario l'inserimento di nuove armature, dopo l'operazione indicata alla lettera a) si prosegue con le operazioni appresso elencate;
- d. messa in opera di nuove armature mediante saldatura alle preesistenti, semplice legatura con spinotti o con barre infilate in fori trapanati nella parte di calcestruzzo indenne (successivamente iniettati); quest'ultimo intervento è da effettuare quando non si ritenga sufficiente per il collegamento tra vecchio e nuovo, la sola aderenza del calcestruzzo o la resistenza dell'adesivo spalmato prima del getto;
- e. posizionamento dei casseri e loro eventuale contrasto;
- f. eventuale spalmatura di adesivo tra vecchio calcestruzzo e nuovo getto;
- g. esecuzione del getto di calcestruzzo e di malta, prima che l'eventuale adesivo abbia iniziato la polimerizzazione; una tecnica analoga utilizzabile quando il danno si limita al copriferro o poco di più, consiste nell'applicazione di una intonacatura con malta cementizia a ritiro compensato, posta in opera mediante spruzzatura.

Questo tipo di applicazione (opportuno per spessori non superiori a 3 centimetri) è conveniente nella riparazione delle pareti di cemento armato. In questo caso la riparazione si effettua applicando uno o più strati di rete elettrosaldata e collegando i due strati con barre, spinotti o gabbie staffate passanti attraverso la parete; i collegamenti sono completati iniettando i fori di attraversamento.

Il materiale per la ricostruzione dell'elemento può essere anche malta di resina con il vantaggio di avere una resistenza e un'adesione elevate, ma con la possibilità di introdurre una zona con moduli elastici e resistenze generalmente diversi da quelli del calcestruzzo.

4.3.2.3. Ripristino e rinforzo dell'armatura metallica (punto 3.5.2.3. delle Norme).

Per ripristinare l'efficienza di barre ingobbate, occorre un provvedimento diretto di riparazione costituito, ad es., da saldatura di spezzoni di barre o di angolari a cavallo del tratto danneggiato e da inserimenti di armature trasversali per ridurre la lunghezza libera di inflessione.

Il caso di un insufficiente o mal disposto ancoraggio delle barre dei pilastri si può risolvere con armature saldate

passanti entro fori praticati attraverso i nodi e successivamente ricoperti con malta cementizia a ritiro compensato o epossidica e/o con iniezioni di resina. Nuove barre possono essere saldate anche in elementi inflessi a cavallo delle sezioni danneggiate per difetto di armature longitudinali, con adeguato prolungamento per l'ancoraggio.

In elementi sottoposti a forze di taglio e nei nodi dei telai possono essere applicate staffe o collari per quanto possibile perpendicolari alla lesione. Le armature saranno poi protette da intonaco cementizio a ritiro compensato.

In ogni caso gli ancoraggi delle barre e le loro giunzioni mediante saldatura saranno migliorate dal confinamento realizzato da una fitta armatura trasversale che avvolga la zona trattata.

4.3.2.4. Cerchiature di elementi strutturali (punto 3.5.2.4. delle Norme).

Una cerchiatura si realizza con la messa in opera di armature trasversali generalmente chiuse quali staffe (eventualmente saldate), spirali, collari o profilati saldati a formare una struttura chiusa.

Le Norme prescrivono all'ultimo comma del punto 3.5.2.4. che, comunque, le armature siano protette con intonaco cementizio o gunite.

4.3.2.5. Integrazione di armatura con l'applicazione di lamiere metalliche (punto 3.5.2.5. delle Norme).

Tale tecnica consiste nella solidarizzazione tramite incollaggio e chiodature di lamiere o profilati su elementi in cemento armato. Questo provvedimento può essere usato in casi particolari in cui non sono applicabili metodi tradizionali; ne può essere giustificato l'impiego ad esempio quando si riscontrano:

- a. Danni nella parte tesa di elementi inflessi. In questo caso la lamiera ha funzione di armatura tesa e la resina, o i chiodi, assicurano la trasmissione delle forze di scorrimento.
- b. Danni in zone sottoposte a taglio. In questo caso la lamiera è posta in genere a cavallo fra zona tesa e compressa; in quest'ultima vanno posti i connettori di collegamento trasversale per prevenire fenomeni di instabilità delle lamiere stesse. Alla lamiera viene affidato il compito di trasmettere le forze di scorrimento.
- c. Danni per eccessiva trazione o nelle zone di ancoraggio delle barre di armatura. L'incollaggio delle lamiere è ammesso quando il conglomerato presenta buone caratteristiche di resistenza.

In ogni caso le operazioni consistono in:

1. pulizia della superficie da incollare previa asportazione dello strato di calcestruzzo degradato mediante energica azione di spicconatura e di martellinatura.
2. Applicazione di successivi strati di malta di resina (epossidica) per regolarizzare, ove necessario, la superficie (si raccomanda di non superare, per lo spessore di ogni strato, valori intorno a 5-6 mm).
3. Incollaggio delle lamiere con adesivo spalmato. Le lamiere devono essere tenute in sito con chiodi ad espansione o con puntelli forzanti fino ad indurimento.
4. in alternativa al punto 3) possono impiegarsi lamiere con successive iniezioni di resina epossidica.
5. Protezione delle lamiere con prodotti anticorrosivi.

4.3.2.6. Rinforzo con tiranti (punto 3.5.2.5. delle Norme)

Il rinforzo con barre, trecce, fili o trefoli di acciaio messi in tensione ed in genere alloggiati all'esterno dell'elemento, serve a riparare danni relativi a perdite di continuità fra trave e nodo o sfilamenti di barre nelle zone di ancoraggio.

Questo provvedimento può essere inoltre efficace per risolvere problemi di deficienza di armature di travi e di solai inflessi, oppure per imporre benefici stati di coazione all'elemento mediante presollecitazione. Comunque è sempre opportuno che la forza assiale totale finale non superi il 15-20% del carico ultimo dell'elemento su cui si interviene.

Molto importante è, in ogni caso accertare che sia adeguata la resistenza del calcestruzzo da comprimere; si dovrà porre inoltre particolare cura alla ripartizione degli sforzi di compressione all'ancoraggio ad es. con piastre o profilati di sufficiente grandezza e con eventuale cerchiatura della zona critica di trasferimento.

4.3.3. Fondazioni (punto 3.5.1. delle Norme).

Tralasciando in questa sede i casi di fenomeni legati ad instabilità del terreno, la necessità di adeguamento antisismico delle fondazioni può derivare da:

- insufficiente collegamento fra gli elementi (fondazioni isolate o mal collegate);
- insufficienza delle aree di appoggio per le elevate pressioni indotte dalle azioni sismiche;
- danni per insufficienza di sezioni o armature negli elementi resistenti.

A rimedio di queste cause possono prevedersi i seguenti interventi:

- Collegamenti alle strutture esistenti tramite armatura (armature passanti in fori iniettati e, ove possibile, ancorate o saldate).

A questo scopo si richiama quanto indicato al punto 4.2. delle presenti Istruzioni.

Un provvedimento radicale, che implica anche una profonda modifica dello schema strutturale, è quello di ripartire le azioni che giungono in fondazione su elementi continui (tramite setti di cemento armato, pareti di muratura) invece che isolati.

All'inserimento dei setti deve in ogni caso corrispondere una idonea struttura di base.

- Sottofondazione a tratti od allargamento di fondazioni esistenti.

L'adeguamento di fondazioni insufficienti si realizza anche con l'inserimento di pali.

I pali possono essere di diametro usuale, od anche di piccolo diametro (micropali) e vanno gettati preferibilmente con sbulbature considerevoli in profondità per migliorare la portanza.

In ogni caso deve essere prevista un'adeguata armatura longitudinale e trasversale chiusa per sopportare le azioni sismiche.

- Tecniche di risarcitura di lesioni nelle strutture di fondazione (sono del tutto analoghe a quelle previste per quelle in elevazione).

Danni che hanno portato a disgregazioni importanti di materiale sono in genere riparati mediante ricostituzione con materiale integro (come già descritto) e nuove armature, se necessario.

4.3.4. Strutture in elevazione.

Degli elementi strutturali più significativi di un edificio di cemento armato si ritiene indicare nei punti che seguono le tecniche di intervento in genere più ricorrenti ed appropriate in relazione alle carenze riscontrate.

4.3.4.1. Pilastri.

Nei pilastri le carenze più frequentemente riscontrate sono:

- a) sezione insufficiente;
- b) sezione e/o armatura insufficiente per resistere alle sollecitazioni indotte dal sisma;
- c) modesto grado di continuità con gli altri elementi causato da cattiva ripresa di getto e/o da armature insufficienti o mal disposte.

Nel caso a), se il danneggiamento non è grave, si può intervenire con la tecnica della cerchiatura illustrata al punto 4.3.2.4.

Si può ringrossare la sezione del pilastro con getti effettuati intorno all'elemento originario in genere su una gabbia di armature aggiunte longitudinali e trasversali o con "muri d'ala" (pareti costruite in aderenza al pilastro nel piano di telai) opportunamente collegate alle strutture esistenti.

È sempre comunque necessario evitare brusche variazioni di sezione e di armatura.

Nel caso b), oltre ai ringrossi già citati, interventi possibili sono quelli con cui si integrano armature longitudinali e trasversali, opportunamente collegate alle esistenti, e successivamente ricoperte da un semplice intonaco di malta di cemento dato a mano o spruzzato.

Poiché le zone da rinforzare sono quasi sempre quelle di estremità dell'elemento, è da porre particolare cura nel collegamento delle armature longitudinali rendendole passanti ed ancorate al di là delle strutture orizzontali (travi e solai).

Un altro possibile provvedimento è quello illustrato al punto 4.3.2.5. che può essere realizzato sia nelle zone con armature insufficienti, sia per migliorare la continuità con gli altri elementi contigui (travi, plinti, ecc.).

Il caso c) richiede tecniche simili a quelle descritte per il consolidamento delle estremità dei pilastri.

4.3.4.2. Travi.

Sussistono casi di:

- a. armature insufficienti per resistere alle sollecitazioni indotte dal sisma;
- b. armature insufficienti per assicurare la continuità con il nodo (ancoraggi insufficienti).

Nel caso a), che è spesso dovuto a carenze di armature longitudinali per momenti di segno non previsto (esempio: momenti positivi in prossimità dei nodi, prodotti dalle azioni sismiche) o di armature trasversali per le sollecitazioni di taglio indotte dal sisma, il rimedio più semplice è quello di integrare l'armatura esistente con altra ad essa ben collegata e ricoprendo poi con intonaco di malta di cemento. Un'altra tecnica di buona efficacia e di flessibile applicazione è quella indicata al precedente punto 4.3.2.5.

Nel caso b) oltre alle tecniche di cui al caso a) si può migliorare sufficientemente l'ancoraggio con la adozione di una modesta presollecitazione, raccomandato in tale evenienza di accertare preventivamente la resistenza del calcestruzzo, per stabilire la fattibilità dell'intervento e il valore della forza assiale eventualmente da applicare.

4.3.4.3. Nodi trave - pilastro.

Interventi di adeguamento nei collegamenti fra travi e pilastri possono essere richiesti per tre ordini di motivi:

- a. carenza o impropria disposizione delle armature di unione fra il nodo e gli altri elementi ivi concorrenti;

- b. insufficienza di armature trasversali per sopportare il taglio dovuto alle azioni sismiche;
- c. insufficienza di armature trasversali chiuse che realizzano il confinamento del calcestruzzo.

Il caso a) è stato già esaminato al punto precedente.

Il caso b), oltre che con l'uso delle tecniche già citate, si può risolvere ricorrendo all'applicazione di staffe esterne.

Il caso c) si presta anch'esso ad essere risolto mediante l'applicazione di staffe esterne oppure con collari in acciaio.

Occorre comunque tenere presente che, ove non sia possibile intervenire localmente, si può porre rimedio ad alcune delle carenze sopra citate, con sistemi che introducono nuovi elementi resistenti e che modificano quindi lo schema strutturale.

4.3.4.4. Scale.

L'adeguamento antisismico nelle scale è legato in genere a due ordini di motivi:

- a. insufficienza nelle sezioni o nelle armature in quegli elementi che non contribuiscono a sostenere le azioni sismiche altro che localmente (ad es. deficienza delle armature superiori nella sezione d'attacco dei gradini a sbalzo, carenza di armature per la torsione della trave a ginocchio, ecc.);
- b. insufficienza o cattiva disposizione delle armature in tutti quegli elementi che contribuiscono in maniera determinante a sopportare le azioni sismiche agenti su tutto l'edificio (travi a ginocchio, soletta di continuità fra i gradini sempre presente anche in quelli a sbalzo), tenuto conto del tipo di sollecitazione che occorre fronteggiare.

Per il caso a) le tecniche sono di tipo analogo a quello descrittivo per l'adeguamento di altri elementi prevalentemente inflessi (travi, solai).

Nel caso b) un intervento che adegui la struttura delle scale a resistere convenientemente alle azioni sismiche, porta generalmente ad una variazione dello schema resistente e sarà trattato nel punto 4.3.5.

4.3.4.5. Solai.

L'adeguamento antisismico di un solaio si potrà conseguire oltre che con la tecnica già descritta, anche con l'inserimento di nuove strutture in cemento armato o profilati di acciaio opportunamente forzati nei vuoti creati mediante demolizioni opportune negli alleggerimenti (pignatte in laterizio, ecc.).

Un altro consolidamento possibile consiste nell'aggiungere armature all'intradosso del solaio, in zona tesa, collegandole alle preesistenti (ad esempio mediante saldatura) e spruzzare poi un intonaco di malta di cemento.

Eventuali difetti di continuità fra solaio e travi di appoggio per deficienza di armature possono essere eliminati con tecniche del tipo di quelle descritte per l'ancoraggio fra trave e pilastro.

Si notano a volte, per mancanza degli opportuni dispositivi di ripartizione quali cappe (o caldane) di calcestruzzo eventualmente armate o cordoli perpendicolari alle nervature portanti, scollegamenti molto simili a quelli di solai in legno o ferro. Per le tecniche d'intervento si rimanda al punto 3.5. delle presenti Istruzioni relative agli edifici in muratura, con le opportune varianti di dettaglio connesse alla diversità tipologica.

4.3.5. Inserimento di nuove strutture (punto 3.5.4. delle Norme).

La tecnica di riparazione e adeguamento consistente nell'inserimento di nuovi elementi porta generalmente ad una variazione sensibile dello schema strutturale.

Gli interventi possono consistere in:

- a. Inserimento di nuove pareti di cemento armato.

Le nuove pareti devono essere dotate di fondazioni adeguate alla rilevante funzione irrigidente; devono inoltre essere ben collegate, con armatura, ai solai della struttura esistente, ponendo attenzione alle possibili modifiche del regime statico; vanno collegate altresì, quando e dove necessario, con l'ossatura esistente mediante armature passanti.

- b. Inserimento di nuove tamponature a funzione resistente garantita (punto 4.1.5. delle presenti Istruzioni).

Il collegamento al telaio va assicurato evitando la presenza di vuoti tra la parete muraria e gli elementi del telaio; in particolare è opportuno attendere il naturale calo della muratura e successivamente riempire il vuoto superiore con malta cementizia a ritiro compensato, con eventuali inzeppamenti.

- c. Inserimento di elementi strutturali lineari.

Il provvedimento può essere ottenuto con elementi controventanti a schema reticolare od a telaio, in acciaio o in cemento armato.

In ogni caso, specie nell'inserimento dei controventi reticolari è bene che i puntoni abbiano una riquadratura sufficientemente rigida in modo da non indurre pericolose concentrazioni localizzate alle estremità degli elementi di cemento armato.

d. Utilizzazione tamponature esistenti.

Nel caso che si intenda utilizzare murature esistenti, con funzione resistente garantita, occorre in primo luogo accertare l'integrità delle stesse e la rispondenza ai requisiti indicati al punto 4.1.5.

Nel caso che le murature siano state danneggiate è necessario provvedere ad una loro riparazione con tecniche analoghe a quelle descritte nelle Istruzioni per le murature (ad es. intonaci armati, iniezioni, ecc.) oppure ad una loro sostituzione con nuove pareti.

Il collegamento fra muratura e telaio va realizzato tenendo conto di quanto detto al precedente punto b); se viene effettuata una riparazione con intonaco armato, le armature debbono essere saldate a quelle della trave e dei pilastri.

L'utilizzazione delle murature esistenti con funzione resistente garantita deve essere preceduta da un controllo dell'adeguatezza delle fondazioni.

4.3.6. Pareti (punto 3.5.5. delle Norme).

L'adeguamento delle pareti è quasi sempre conseguente ad una carenza di armature sia per resistere alla flessione sia al taglio indotti dal sisma agente prevalentemente nel piano della parete (oppure a sollecitazioni di torsione come nel caso di nuclei di cemento armato).

Il rinforzo si realizza con getto, intonacatura o spruzzo di una (o due) lastre di vari spessori a seconda dei casi, convenientemente armate e ben collegate fra di loro.

Se la parete ha materiale idoneo (calcestruzzo sufficientemente resistente) e bassi livelli di forza assiale, si può intervenire con una precompressione verticale (ed eventualmente anche orizzontale). Nel caso di prevalente sollecitazione di taglio si possono applicare esternamente tiranti o strutture formate da profilati, con una tecnica simile a quella già descritta.

4.3.7. Riparazione di elementi non strutturali.

Occorre distinguere i casi in cui l'elemento non entra a far parte dello schema strutturale da quelli in cui l'elemento è chiamato a collaborare al progetto di consolidamento proposto.

Nel primo caso le tecniche sono ordinarie e legate al tipo di materiale (cuci e scuci per murature, semplice sostituzione per altri elementi).

Nel secondo caso occorre far riferimento a quanto detto al punto 4.3.5. e assicurarsi che il materiale sia idoneo, così come richiesto dagli schemi riportati in Appendice.

È opportuno non limitarsi al semplice rifacimento di elementi precedentemente posizionati in modo non corretto (ad esempio tamponature fuori dal piano del telaio, materiali di rivestimento aggettanti e uniti alla muratura con semplici intonaci, ecc.).

Una soluzione raccomandabile, atta ad evitare distacchi di elementi quali piastrelle, cornicioni, ecc. è quella di porre intonaco armato con fili di diametro molto piccolo (\varnothing 1-2 mm) e con passo dipendente dalla grandezza del più piccolo elemento da proteggere; occorre fare attenzione, in questo caso, al fatto che la parete acquista, con l'intervento, una diversa rigidità, da considerare nello schema strutturale.

5. EDIFICI CON STRUTTURA METALLICA

5.1. Progetto esecutivo

Al punto 2., secondo paragrafo della normativa, in armonia a quanto prescritto dall'art. 7 della legge 2-2-1974, n. 64, sono elencati i documenti essenziali che devono costituire il progetto esecutivo.

Oltre agli elaborati grafici, il progetto dovrà essere accompagnato dalla relazione tecnica e dai fascicoli dei calcoli per la verifica sismica delle strutture portanti.

Trattandosi di edifici con strutture metalliche, gli interventi necessari alla loro riparazione e al rafforzamento antisismico sono di regola soggetti agli adempimenti prescritti dall'art. 4 della legge 5-11-1971, n. 1086.

Sono esclusi tuttavia da tale obbligo gli interventi localizzati su membrane singole, nonché gli interventi su elementi costruttivi che assolvono una funzione resistente di limitata importanza nel contesto statico dell'edificio.

Il deposito del progetto all'Ufficio del Genio Civile avverrà dopo che la Commissione Comunale consultiva di cui all'art. 14 della legge 14-5-1981, n. 219 avrà esaurita l'istruttoria sul progetto ai fini della sua approvazione e della conseguente assegnazione del contributo erariale.

Per quanto riguarda il contenuto specifico della relazione tecnica si rinvia a quanto indicato al punto 3.1. delle presenti Istruzioni, relativo agli edifici in muratura, tenendo conto ovviamente delle necessarie modifiche in relazione al diverso sistema costruttivo.

Gli elaborati grafici dovranno contenere ogni elemento necessario a descrivere la struttura esistente nonché i disegni esecutivi per la realizzazione delle opere di riparazione e rafforzamento. Ciò in conformità all'art. 4 della legge 5-11-1971, n. 1086.

Da tali elaborati dovrà risultare in particolare:

- lo stato di fatto da cui si rilevi l'ubicazione ed il tipo dei dissesti presentati dalla struttura;
- la posizione dei saggi di fondazione ed in elevazione eseguiti;
- la rappresentazione degli interventi di ripristino strutturale progettati con l'indicazione del tipo, estensione, dimensione ed ubicazione dei cordoni di saldatura necessari oppure del passo, posizione, numero e diametro dei bulloni da applicare.

5.1.1. Schema strutturale.

Lo schema strutturale resistente all'azione sismica deve derivare da un'analisi globale dell'edificio.

Si terrà conto della presenza di elementi anche non strutturali, che limitano la deformabilità dell'organismo portante: si valuterà la rigidezza e la resistenza di tali elementi per giudicare della loro partecipazione al comportamento d'insieme.

Si accerterà altresì l'efficienza degli elementi controventati costituiti da nuclei in cemento armato oppure da strutture verticali in acciaio o altro, tenendo conto delle effettive condizioni di vincolo offerte dalle fondazioni.

Sarà da accertare altresì il ruolo statico affidato ai solai ai vari piani agli effetti dell'assorbimento delle azioni orizzontali.

5.1.2. Analisi degli elementi strutturali.

Le caratteristiche di resistenza degli elementi strutturali saranno valutate, mediante esame dello stato di conservazione del materiale metallico e dell'integrità fisica di ogni loro parte.

L'indagine sarà estesa, a seconda della tipologia strutturale dell'edificio, agli elementi controventanti (nuclei di cemento armato, controventi verticali in acciaio ecc.), agli elementi di collegamento di questi ultimi alle piastre ed agli ancoraggi alle fondazioni.

In particolare, si accerterà:

- lo stato e la affidabilità dei vincoli strutturali interni;
- lo stato e la affidabilità degli organi di ancoraggio in fondazione e, quando presenti, di ancoraggio ai vari piani su elementi irrigiditi in cemento armato, quali gabbie scale o setti verticali;
- lo stato dei solai e delle loro connessioni con le membrature in acciaio, nonché la loro capacità di assolvere compiti di eventuale controventamento orizzontale.

5.1.3. Verifica sismica.

Il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche degli elementi saranno eseguiti secondo le prescrizioni di cui al Capo C.6. delle Norme approvate con D.M. 3-3-1975 e con i procedimenti indicati al punto 3.0.2. (parte 11) delle Norme tecniche per le strutture in acciaio approvate con D.M. 26-3-1980, n. 20328.

Elementi non strutturali che venissero messi in conto per limitare la deformabilità delle strutture portanti dovranno essere giustificati da apposita verifica di resistenza.

5.2. Fondazioni

Per le fondazioni si rinvia a quanto esposto nei precedenti punti 4.2 e 4.3.3. delle presenti Istruzioni, relativamente agli edifici in cemento armato.

5.3. Provvedimenti tecnici di riparazione ed adeguamento antisismico

Tutti gli interventi sulla struttura dovranno essere effettuati in conformità a quanto indicato al punto 5. delle Norme tecniche per il calcolo, esecuzione e collaudo delle strutture in acciaio, approvate con D.M. 26-3-1980.

I provvedimenti tecnici di intervento possono così classificarsi in relazione alle operazioni da effettuare:

1. Rinforzo di elementi strutturali esistenti.
2. Rinforzo o adeguamento di giunzioni esistenti.
3. Sostituzione di elementi danneggiati.
4. Aggiunte di nuovi elementi strutturali.
5. Ripristino della geometria.

5.3.1. Rinforzo di elementi strutturali esistenti.

Consiste di norma nell'applicazione mediante saldatura o bullonatura di piatti, di lamiere o di profilati atti a

ripristinare o ad aumentare la resistenza o modificare la rigidità di talune membrature.

La messa in opera dovrà essere effettuata nel rispetto di quanto indicato nei disegni.

Eventuali forature in opera potranno essere effettuate esclusivamente mediante asportazione di truciolo.

Dovrà essere caso per caso, valutata la possibilità di effettuare direttamente l'applicazione dei suddetti rinforzi sugli elementi da trattare oppure deve essere riconosciuta la necessità di idonee opere di puntellamento provvisorio.

Queste potranno essere necessarie in particolare per scaricare elementi inflessi da pesi permanenti, quando si intenda fare intervenire i rinforzi applicati anche per l'assorbimento di questi carichi.

5.3.2. Rinforzo e/o modifica di giunzioni esistenti.

Possono consistere nell'applicazione, mediante bulloni o mediante saldatura, di ulteriori squadrette o piatti di vincolo, atti ad aumentare la prestazione del collegamento, o variarne i gradi di libertà secondo quanto previsto in progetto, oppure a conferire all'insieme un migliore grado di duttilità strutturale od infine a formare elementi di rompitratta di elementi inflessi o compressi.

5.3.3. Sostituzione di elementi danneggiati.

Singoli elementi o aggregati di elementi strutturali danneggiati potranno richiedere la loro sostituzione integrale con elementi analoghi prefabbricati in officina.

In tale eventualità dovrà essere condotta, prima della rimozione, un'adeguata indagine atta a stabilire il comportamento della struttura privata di tali elementi e se necessario, dovranno essere garantiti stabilità ed equilibrio mediante opportune opere provvisorie di puntellamento o controventamento.

L'uso della fiamma per le operazioni di rimozione dovrà essere effettuato con adeguate cautele atte ad evitare riscaldamenti locali inaccettabili in parti strutturali portanti.

5.3.4. Aggiunte di nuovi elementi strutturali.

L'adeguamento antisismico può essere ottenuto anche mediante l'inserimento di nuovi elementi atti a modificare in modo vantaggioso gli schemi statici preesistenti.

I nuovi elementi saranno di norma prefabbricati in officina ed applicati mediante attacchi saldati o bullonati, con le modalità indicate nel D.M. 26-3-1980.

5.3.5. Ripristino della geometria.

È da evitare ogni ripristino di elementi deformati per forzamento oltre la soglia elastica e mediante l'applicazione di "calde" locali.

Il recupero di eventuali cedimenti di fondazione può effettuarsi operando il sollevamento delle piastre di base, a dadi dei bulloni di fondazione temporaneamente allentati, mediante martinetti ed effettuando successivamente il sigillo mediante malte di cemento.

APPENDICE

INTERAZIONE FRA TELAI E PANNELLI MURARI DI TAMPONATURA

METODO DI CALCOLO

1. CAMPO DI VALIDITÀ DEL PROCEDIMENTO ESPOSTO

Il procedimento di calcolo esposto nella presente Appendice, che viene preso in considerazione unicamente per l'adeguamento antisismico di edifici esistenti, può essere ritenuto valido per riprodurre con sufficiente approssimazione il comportamento di un elemento di telaio contenente una tamponatura muraria e sottoposto all'azione di una forza laterale quando siano soddisfatte le seguenti condizioni:

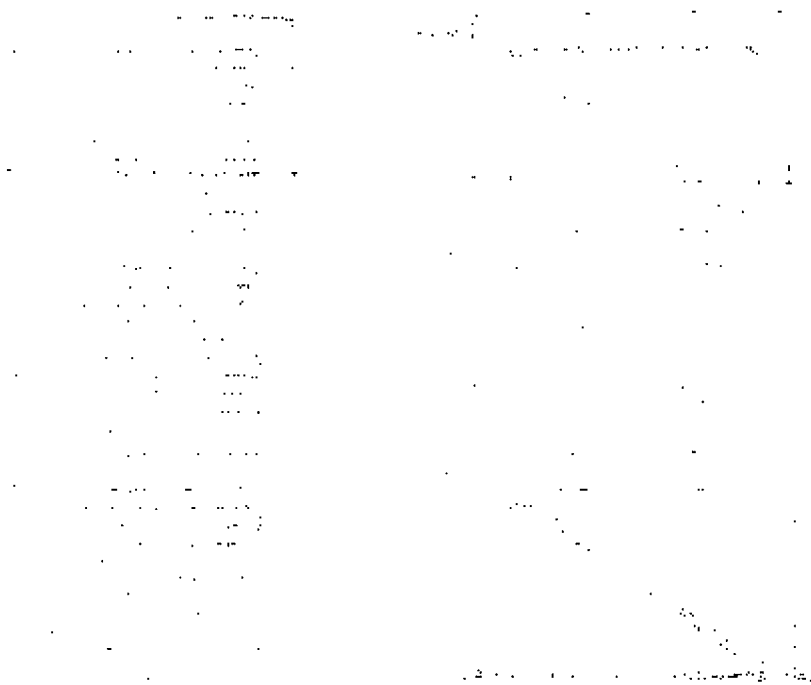
- a. Il telaio è costituito da elementi di cemento armato (o metallici) adeguatamente collegati fra loro nei nodi ed aderenti alla tamponatura. Questa deve essere efficacemente collegata alla intelaiatura in modo che ne sia assicurato il contatto e quindi l'aderenza tale da garantire la trasmissione di sforzi normali e taglianti oltre all'immobilità.
- b. Il rapporto h/l (fig. 1) fra i lati del pannello murario deve essere compreso di norma tra 0,5 e 2,0.
- c. Il rapporto h/t (fig. 1) fra l'altezza e lo spessore (snellezza) del pannello murario non deve essere superiore a 20.



- d. Nel pannello di tamponatura non devono essere presenti aperture, salvo che queste siano delimitate da intelaiature in cemento armato atte a ricostituire la continuità dei due tratti delle diagonali di muratura come in seguito esposto.

2. VALUTAZIONE DELLA DEFORMABILITÀ LATERALE

Per la valutazione della deformabilità laterale del sistema composto da telaio e tamponatura, quindi per il calcolo della ripartizione delle forze sismiche orizzontali fra gli elementi resistenti, si può tener conto dell'effetto delle tamponature in maniera sufficientemente approssimata considerando il funzionamento di un puntone diagonale equivalente (fig. 2). Tale puntone deve avere lo spessore t della muratura e larghezza s uguale a $1/10$ della lunghezza della diagonale. Si può considerare allora un sistema equivalente formato dalle travi e dai pilastri del telaio, nonché dei suddetti puntoni diagonali considerati incernierati alle estremità (fig. 3).



Ogni puntone avrà pertanto una rigidezza equivalente pari a:

$$(EA)_{eq} = 0.1\alpha E_m d t$$

essendo $d = \sqrt{l^2 + h^2}$ la lunghezza della diagonale; α ed E_m come definiti nel successivo punto 4.

3. MECCANISMI DI ROTTURA DEI PANNELLI - MURARI

Il comportamento laterale di un telaio piano risente fortemente dell'effetto di interazione prodotto dalle tamponature presenti nel piano del telaio stesso.

Per poter fare affidamento su tale effetto, purché queste siano ad esso efficacemente collegate, devono essere soddisfatte le condizioni indicate al punto 4.1.5 delle Istruzioni.

Con riferimento ad una maglia di telaio interagente con un pannello murario in essa contenuto ed avente spessore t , lunghezza l ed altezza h (fig. 1), le ricerche sperimentali svolte su tale argomento hanno messo in evidenza la possibilità di tre meccanismi di rottura delle murature.

I tre meccanismi sono i seguenti:

- rottura per scorrimento orizzontale dovuta alle tensioni tangenziali agenti nella zona centrale della tamponatura, secondo lo schema rappresentato nella figura 4.a;
- rottura diagonale per trazione, dovuta alle tensioni di trazione inclinate, agenti anche esse nella zona centrale della tamponatura (fig. 4.b);
- rottura per schiacciamento locale degli spigoli della tamponatura, dovuta alla concentrazione delle forze orizzontali di interazione trasmesse dal telaio (fig. 4.c).

La rottura della struttura di cemento armato è presa in considerazione al successivo punto 5.

4. VERIFICA DELLA TAMPONATURA

Le verifiche di resistenza relative alle tre condizioni di rottura descritte al paragrafo precedente, in via approssimata, possono essere condotte sulla base delle seguenti relazioni:

$$H_o \leq \frac{\tau_u}{\varnothing} l t$$

- Verifica allo scorrimento orizzontale:

essendo

$$\tau_u = \tau_k \sqrt{l + \frac{\left(0,8 \frac{h}{l} - 0,2\right)}{1,5 \tau_k} \frac{H_o}{l t}}$$

$$H_o \leq \frac{\tau_k}{0,6 \varnothing} l t$$

- Verifica a trazione lungo la diagonale:

- Verifica allo schiacciamento degli spigoli:

$$H_o \leq 0,8 \sigma_u \cos^2 \varphi \sqrt[4]{\frac{E_c}{\alpha E_m} I h t^3}$$

Nelle formule scritte, oltre alle dimensioni h , l , t del pannello murario sono state indicate le seguenti grandezze:

H_o = forza sismica orizzontale agente sull'elemento di muratura (componente orizzontale della forza agente nel puntone equivalente), da valutare tenendo conto del coefficiente di struttura β ;

τ_k = resistenza tangenziale rappresentativa della muratura in assenza di compressione;

σ_u = resistenza rappresentativa a schiacciamento della muratura;

$\theta = \arctg (h/l)$, angolo della diagonale del pannello rispetto all'orizzontale;

$\varnothing = 2$, fattore di riduzione delle tensioni;

E_c = modulo di elasticità del calcestruzzo;

E_m = modulo di elasticità della muratura;

I = momento di inerzia della sezione trasversale del pilastro calcolato rispetto al suo asse ortogonale al piano della tamponatura (in caso di pilastri di diversa sezione si assume il valore medio dei due momenti di inerzia);

α = coefficiente correttivo.

Le formule indicate contengono coefficienti di sicurezza valutati coerentemente con le assunzioni fatte per le murature nella prima parte delle presenti Istruzioni. Pertanto, i valori di τ_k e di σ_u su possono essere assunti uguali ai valori τ_k e σ_k riportati nella Tabella 1 del punto 3.1., con l'avvertenza che si dovrà assumere $\sigma_u = \sigma_k / 2$ quando la muratura sia costituita da mattoni o blocchi semipieni (aperture ortogonali al piano di posa con percentuale inferiore al 40%).

Il valore di E_m può essere a sua volta valutato come indicato al punto 3.1.1. delle Istruzioni relative agli edifici in muratura, mentre per il coefficiente si assumerà il valore 6.

Qualora la determinazione del modulo elastico della muratura derivi da una apposita indagine sperimentale, il valore risultante verrà introdotto nelle formule direttamente al posto del prodotto αE_m .

5. VERIFICA DELLE STRUTTURE DI CONTENIMENTO IN CEMENTO ARMATO

5.1. Forze assiali nei pilastri

Si deve tener conto delle variazioni delle forze assiali nei pilastri che si calcolano applicando le forze sismiche orizzontali al modello di struttura comprendente i puntoni equivalenti (fig. 4).

5.2. Forze di taglio nei pilastri

Per la validità delle considerazioni svolte e delle formule indicate è essenziale che la rottura per taglio dei pilastri non preceda quella dei pannelli murari. Pertanto ciascun pilastro adiacente ad un pannello di tamponatura deve essere verificato per una forza tagliante pari al taglio su di esso calcolato secondo lo schema indicato al punto 2., aumentato della forza orizzontale H_o , calcolata per la tamponatura.

5.3. Flessione nei pilastri

Ciascun pilastro che affianchi una tamponatura deve essere verificato per un momento flettente pari al momento flettente su di esso calcolato secondo lo schema indicato al punto 2 aumentato del momento:

$$M = \pm \frac{H_o h}{10}$$