

**Comportamento di tipologie murarie ricorrenti alle azioni sismiche:
analisi critiche ed orientamenti metodologici
per gli interventi di riparazione e di adeguamento antisismico**

(BEHAVIOUR OF TYPICAL MASONRY BUILDINGS UNDER SEISMIC ACTIONS:
CRITICAL ANALYSIS AND METHODOLOGICAL POINTS OF VIEW FOR REPAIRING
AND ADEQUACY)

E. F. RADOGNA

Istituto di Scienza delle Costruzioni, Università degli Studi di ROMA, ITALIA

U. SANNINO

Già della Facoltà d'Ingegneria, Università degli Studi di Napoli, ITALIA

SOMMARIO - Vengono esaminati i d i s s e s t i verificatisi nelle costruzioni murarie, di tipologia ricorrente, durante gli eventi sismici del 23 novembre 1980 e 6 febbraio 1981 accaduti in CAMPANIA e BASILICATA, sulla base di una raccolta o r i g i n a l e di dati.

Partendo dall'analisi critica dei d i s s e s t i, correlata alle caratteristiche morfologiche degli edifici ed alle proprietà meccaniche delle murature, si individuano i criteri progettuali degli "interventi di r i p r i s t i n o e c o n s o l i d a m e n t o".

Lo studio mette in luce che nella maggior parte dei casi interventi di limitata portata sono in grado di conferire alle costruzioni di muratura in generale, ed a quelle di mattoni, in particolare, i richiesti requisiti di sicurezza alle a z i o n i c i c l i c h e di origine s i s m i c a.

ABSTRACT - Damages of typical masonry buildings are examined, which were observed after the earthquake of November 23th, 1980 and February 6th 1981 in CAMPANIA and BASILICATA. A critical analysis of damages is performed, taking into account this morphology of the constructions, and the mechanical properties of mason ry and design criteria are suggested for repairing and strengthening of buildings. In many cases simple works are able to confer the required safety levels to mason ry buildings in general and to brick mason ry in particular, with preference to cyclical seismic actions.

1. PREMESSA

La maggior parte del patrimonio edilizio nazionale è costituito da costruzioni realizzate in m u r a t u r a con criteri progettuali e tecnologie esecutive tradizionali, soprattutto nei centri storici delle grandi città e nell'edilizia rurale dei piccoli centri periferici.

Per questa ragione le costruzioni murarie costituiscono un problema di gran de rilievo, sia per quanto riguarda la difesa preventiva dai terremoti - ciò che concerne la progettazione del nuovo e l'adeguamento antisismico dell'esistente -, sia per quanto attiene alla riparazione delle costruzioni danneggiate da eventi sismici già verificatisi.

Indubbiamente è più agevole fornire criteri di corretta progettazione anti sismica per le nuove costruzioni, soprattutto perché è possibile intervenire tempestivamente sulla morfologia generale della costruzione, cioè tanto sulla sua distribuzione planimetrica quanto sulla disposizione altimetrica dei volumi, da cui dipende in misura cospicua la risposta della costruzione alle accelerazioni impresse alla base dal sisma.

Sempre nel caso delle nuove costruzioni è anche agevole adottare quei dettagli costruttivi che hanno, a loro volta, un ruolo determinante nelle fasi cruciali di resistenza all'azione sismica e di dissipazione dell'energia cinetica tras messa dal suolo alla costruzione.

Notevolmente più complesso e delicato risulta essere il problema della r i = p a r a z i o n e di opere danneggiate, per i vincoli esistenti, sia morfologici che costruttivi, specialmente quanto si tratti di strutture inizialmente non pro gettate secondo criteri antisismici.

Forse ancora maggiore è la difficoltà di intervenire su costruzioni non danneg giate, per adeguarle a prefissati livelli di sicurezza antisismica, in quanto per esse manca ogni e qualsiasi riferimento alle modalità di comportamento nei confron ti delle accelerazioni impresse, sia verticali che orizzontali; riferimento che al contrario si hanno nelle costruzioni danneggiate.

La presente nota si inserisce nelle tematiche della p r o g e t t a z i o n e in zona sismica, di riparazioni ed adeguamento, prendendo in esame le costruzioni edilizie murarie esistenti, con esplicito riferimento alle tipologie ricorrenti nelle regioni Campania e Basilicata.

Tale scelta si basa su un duplice ordine di motivi: il primo consiste nel fatto che essa vuole collocarsi fra i numerosissimi e ben più significativi contributi che la categoria degli Ingegneri italiani ha dato all'opera di r i c o s t r u = z i o n e di regioni così dolorosamente e duramente colpite dal sisma. Il secondo nel fatto che essa corrisponde al convincimento che gli interventi sull'esistente sono tanto più efficaci quanto più sono aderenti alle caratteristiche locali, sia tipologiche che costruttive, traendo da queste ispirazione e guida.

2. GENERALITA'

Scopo del presente lavoro é lo studio e l'analisi critica dei "d i s s e s t i" verificatisi nelle costruzioni murarie, aventi tipologia ricorrente, e le cui caratteristiche vengono descritte successivamente.

Tali dissesti sono quelli prodottisi, in conseguenza degli eventi sismici del 23 novembre 1980 e 6 febbraio 1981, nelle regioni Campania e Basilicata. Di essi viene fornita - nel paragrafo 4 - una descrizione necessariamente limitata, ma sufficientemente illustrativa, della fenomenologia più saliente.

Infatti, lo studio dei "d i s s e s t i" riscontrati svolto congiuntamente a quello non meno importante delle caratteristiche dei materiali e delle "tecniche di costruzione" impiegati, costituisce - senza alcun dubbio - per il progettista la razionale metodologia per pervenire ai c r i t e r i, in base ai quali poi elaborare le soluzioni ottimali sia dal punto di vista della s i c u r e z z a, sia di quello dell'economia; soluzioni da adottarsi nelle successive fasi di ricostruzione e dei reattivi interventi di recupero.

Giova a tal punto esplicitamente osservare che in fase di elaborazione del progetto per il ripristino strutturale, la esistenza di "N o r m e t e c n i c h e s p e c i f i c h e" può fornire una guida preziosa per gli interventi da adottarsi. E' peraltro necessario che le norme indichino con chiarezza i concetti fondamentali astenendosi, nel contempo, da descrizioni troppo minuziose e specifiche.

Infatti, tali dettagli estremamente specifici possono distogliere l'attenzione del progettista, polarizzata -com'è- sulle soluzioni di base da adottarsi e possono risultare, inoltre, incompatibili con le situazioni locali non di rado estremamente varie e complesse.

Non meno importante della progettazione del ripristino appare essere l'intervento concreto del ripristino strutturale medesimo, per il quale concorrono più fattori determinanti ed, in particolare, la qualità dei materiali, la intelligente collaborazione degli operatori ed il rigoroso rispetto delle tecniche di esecuzione e di impiego.

3. CLASSIFICAZIONE DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE ESISTENTI NELLE REGIONI CAMPANIA E BASILICATA

Ai fini di una sia pur schematica classificazione delle tipologie edilizie murarie, conviene distinguere nella Campania e nelle Basilicata, regioni entrambe attraversate dalla dorsale appenninica e lambite dal mare, una zona di pianura e di fondo valle ed una zona collinare e montagnosa. In ciascuna di tali zone conviene distinguere, poi, fra gli agglomerati urbani e le costruzioni rurali isolate.

Gli edifici di abitazione della pianura, a causa del clima più mite, presentano frequentemente coperture piane, a terrazzo o "lastrico solare"; mentre quelle situate ad altitudini maggiori sono coperte di norma con tetti a falde inclinate.

Gli edifici degli agglomerati urbani sono, nella maggior parte dei casi, mutuamente aderenti e presentano un numero di piani superiore a quello degli edifici rurali isolati.

I materiali lapidei naturali più frequentemente utilizzati sono, prevalentemente, di origine vulcanica nella Terra di lavoro e nel Salernitano; di origine sedimentaria altrove. Nel napoletano è largamente diffusa una pietra da taglio, tenace, dura, di colore grigio, denominata "piperno" ed, assieme ad essa, un "tufo grigio", leggero, facile ad essere lavorato detto "tufo grigio pipernoide", di aspetto molto simile al piperno. Anche molto usato il "tufo giallo", che presenta proprietà meccaniche abbastanza simili a quelle del tufo grigio.

Calcarei dolomitici forniscono pietre da taglio nella Irpinia e nella Basilicata.

I laterizi sono presenti quasi ovunque; nelle murature di pietra naturale, da percentuali minime - rappresentate da inclusioni che possono apparire addirittura casuali - a quantitativi maggiori, nelle costruzioni più recenti, in corrispondenza di ricorsi orizzontali ed eventualmente anche di spigolo e di intersezione a T.

Più rari gli edifici completamente costruiti in mattoni pieni nella Campania, probabilmente per l'alternativa più economica offerta dalla facile lavorazione del tufo come pietra squadrata.

Nella Basilicata le differenti situazioni locali, soprattutto le severe condizioni imposte alla viabilità delle acque e delle frane hanno ugualmente limitato, sia pur con motivazioni diverse, l'impiego totale laterizi nelle costruzioni abitative.

Per quanto riguarda le malte, la situazione migliore si verifica quando è possibile aggiungere alla calce o al cemento la "pozzolana", come avviene in molte zone della Campania. Nella Basilicata non si riscontrano apprezzabili depositi di materiali piroclastici e la pozzolana non è quindi prodotta in sito ma, eventualmente, deve essere importata.

Per quanto riguarda, invece, l'aderenza fra le malte e le pietre - naturali o artificiali -, è noto che i migliori risultati si hanno quando la pietra ha una superficie porosa o rugosa; al contrario, quando la pietra è liscia oppure polverosa, le tensioni tangenziali di aderenza si riducono sensibilmente.

Aderenze eccellenti sono offerte dalla associazione di malte pozzolaniche e tufi vulcanici.

Infine, per quanto riguarda la tipologia delle murature - ai fini del presente lavoro - conviene fare riferimento a due classificazioni: la prima è basata sulle funzioni a cui esse sono destinate; la seconda è, invece, basata sui materiali impiegati per la loro realizzazione.

Dal punto di vista funzionale si distinguono:

- 1 - MURATURA PORTANTE, sia perimetrale che interna;
- 2 - MURATURA DI SUDDIVISIONE, sia fra ambienti del medesimo alloggio (tavolati) sia fra alloggi distinti oppure fra alloggi e zone comuni.

Dal punto di vista dei materiali, di cui sono costituite le murature suddette, la classificazione risente naturalmente delle disponibilità e degli usi locali. Per la Campania e per la Basilicata si possono distinguere i seguenti tipi di muratura:

- A - Muratura di t u f o ;
- B - muratura di p i e t r a da t a g l i o vulcanico o calcarea;
- C - muratura di p i e t r a m e vulcanico o calcareo;
- D - muratura m i s t a di pietrame listata da ricorsi di mattoni;
- E - muratura di m a t t o n i p i e n i ;
- F - muratura di m a t t o n i forati;
- G - muratura di b l o c c h e t t i di cemento e lapillo, di cemento e pomice e di gesso.

Le pareti portanti sono prevalentemente costituite da muratura di tufo, di pietra da taglio, di pietrame e miste; mentre le pareti di suddivisione risultano formate da mattoni forati o da blocchetti di cemento ed aggregati leggeri oppure di gesso.

4. EFFETTI DEL SISMA DEL 23 NOVEMBRE 1980 E SUCCESSIVI EVENTI SULLE TIPOLOGIE STRUTTURALI

Preliminarmente osserveremo che le costruzioni in muratura ordinaria hanno un comportamento " e l a s t o - f r a g i l e " e periodi fondamentali di vibra zione molto bassi inferiori a 0.8 secondi.

Tali circostanze comportano che le accelerazioni sismiche nelle costruzioni raggiungano i valori più alti degli spettri di risposta, senza diminuzione del valore delle forze d'inerzia conseguenti alla d u t t i l i t à .

Da quanto innanzi esposto si trae immediatamente la conclusione che le costru zioni di muratura ordinaria possono egregiamente resistere alle azioni cicliche di natura sismica, sotto la duplice condizione di conservare il loro m o n o l i t i s m o in virtù di idonei accorgimenti costruttivi e di essere progettate se condo la filosofia della " r e s i s t e n z a " e non quella della " d u t t i l i t à " .

La mancanza del rispetto di tali requisiti spiega il notevole numero di edifici danneggiati, che si é lamentato in conseguenza degli ^{/eventi} sismici del 23 novembre 1980 e 6 febbraio 1981 (v. foto N. 1,2,3,4,5).

In particolare per le costruzioni soggette prevalentemente alle scosse del tipo "sussultorio" i danni sono risultati addirittura catastrofici; mentre per quelli soggetti alle scosse del tipo "ondulatorio" la tipologia dei dissesti é stata approssimativamente la seguente:

- a - Pareti verticali parallele alla direzione dell'azione sismica (spinta) funzionanti, quindi, in regime di l a s t r a : si sono riscontrate l e s i o n i con andamento obliqua, dovute prevalentemente all'effetto di taglio.
- b - Pareti verticali perpendicolari alla direzione dell'azione sismica (spinta) funzionanti, quindi in regime di p i a s t r a : si sono riscontrate lesioni con andamento verticale ed orizzontale dovute prevalentemente alle solleccitazioni flessionali.

- c - Pareti verticali soggette anche a componenti verticali, associate alle scosse di natura s u s s u l t o r i a: si sono riscontrate lesioni con andamento a c a t e n a r i a, dovute prevalentemente a cedimenti d i f f e r e n z i a l i.
- d - Solai piani: si sono riscontrate lesioni e principi di distacco delle zone di ammassamento nelle murature, nonché lesioni parallele agli assi longitudinali dei travetti;
- e - Archi e Volte: si sono riscontrate, in generale, lesioni variamente inclinate ubicate all'intradosso, particolarmente nella zona di chiave; o distacchi ubicate nelle zone di i m p o s t a con la muratura.

Per quanto riguarda la evoluzione della "f a c i e s f e s s u r a t i v a" delle pareti verticali si é constatato che intervengono importanti fattori locali e, precisamente:

- 1 - La presenza di vani di passaggio (quali porte, finestre, balconi e negozi) o parziali (quali canne fumarie, nicchie per allocazione di impianti, etc...); (v. foto N. 6)
- 2 - la presenza di difetti nella muratura sia per quanto riguarda lo scarso ammassamento degli elementi lapidei, sia per quanto riguarda la scarsa consistenza delle malte, sia - infine - per eventuali d i s o m o g e n e i t à fra le caratteristiche meccaniche dei vari elementi.

5. DIRETTIVE GENERALI PER LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPARAZIONE E DI ADEGUAMENTO ANTISISMICO

Gli edifici per abitazione di altezza limitata - fino a quattro piani - e gli edifici rurali presentano, nella generalità dei casi, forma regolare, sia in pianta che in elevazione. Ciò costituisce un elemento favorevole di primaria importanza, ai fini di un buon comportamento antisismico.

Altro elemento di rilevante importanza é il rapporto fra i vuoti ed i pieni nelle pareti portanti, specialmente al piano terreno. In particolare, negli edifici dei centri abitati, la presenza di negozi sul fronte strada dà luogo alla esistenza s istematica di aperture relativamente ampie e ad un conseguente elevato rapporto (vuoti / pieni) che é sfavorevole ai fini della resistenza della muratura.

Peraltro sempre nei centri abitati, si hanno spesso edifici costruiti in aderenza, nei quali le pareti perimetrali contenenti fronti comuni sono prive di vuoti; cosicché tutta la sezione geometrica si comporta quale "sezione resistente".

Negli edifici rurali la situazione, dal punto di vista del rapporto vuoti / pieni, é generalmente favorevole, mentre la presenza di porticati ed archi può costituire un aspetto negativo.

Nell'ipotesi di regolarità morfologica, precedentemente descritte, le direttive generali di intervento riguardano quindi: i tetti a falde oblique, i solai, le murature, le scale, gli sbalzi, i parapetti, le eventuali volte e le fondazioni.

Esse sono, approssimativamente, le seguenti:

- a) - Tetti a falde oblique: modificare, ove necessario, lo schema strutturale esistente, in modo da ottenere un funzionamento a spinta eliminata.

Migliorare, ove il caso lo impone, le condizioni di vincolo delle travi oblique sui muri di spina e perimetrali, onde prevenire la fuori uscita dalla propria sede, con conseguente successivo crollo sul solaio sottostante. Eliminazione completa, con creazione del solaio piano, nei casi in cui il ripristino risulti antieconomico e non si alteri la situazione dal punto di vista artistico-storico e monumentale;

- b) - Solai: - se in legno, eliminarli, tenuto conto anche del pericolo di incendio, sostituendoli con solai in cemento armato; - se in ferro, collegare le putrelle con una soletta di calcestruzzo, dello spessore di 4 + 6 cm, armata con rete metallica formata da tondini dal $\varnothing = 8$ a maglia quadrata, avente larghezza di 20 cm; inserire nello spessore della soletta aggiunta tondini di acciaio, in modo che attraversino per l'intero spessore i muri perimetrali e che esercitino, quindi la funzione di c a t e n e. La posizione dei t i r a n t i va scelta in relazione alla distribuzione planimetrica dei muri.

Alle estremità dei tiranti vanno previsti appositi "capi - chiave". Se i solai sono di cemento armato gettati in opera: controllare se esiste una cappa di almeno quattro cm di spessore; in caso negativo è opportuno realizzarla, armandola (come nel caso precedente dei solai in ferro) e predisponendo le medesime catene, per contrastare lo spostamento dei muri perimetrali verso l'esterno.

Se la cappa esiste già, si possono collocare le catene in apposite tracce praticate nel solaio.

Se il solaio di cemento armato è del tipo a travetti prefabbricati occorre, inoltre, controllare la penetrazione dei travetti nei muri. Se essa risultasse essere inferiore a 5 + 6 cm, occorre migliorare la condizione dell'appoggio. Ciò si può realizzare per esempio mediante un profilo a C disposto con l'anima contro il muro e con l'ala superiore a contatto con l'intradosso dei travetti prefabbricati. Il profilo a C viene, a sua volta, collegato alla muratura con bulloni o perni alloggiati in fori realizzati con il trapano e sigillati con malta a variazione volumetrica controllata;

- c) - Murature: le zone critiche sono rappresentate dalle mutue intersezioni dei muri ortogonali. Ove necessario, realizzare dei cordoli verticali di cemento armato in vani aperti a tutta altezza nelle intersezioni, lasciando le facce della muratura scabre, in modo da favorire l'ammorsamento del nuovo getto con la muratura stessa.

Impiegare additivi per contrastare la riduzione di volume, conseguente al ritiro del cemento.

Se la muratura è costituita da m a t t o n i p i e n i, o da blocchi di pietra squadrata, disposti a ricorsi regolari, come si riscontra di regola in Campania con il tufo della varietà grigia e gialla, non si ravvisa l'opportunità di rivestire i muri con getto di g u n i t e o con fodere di calcestruzzo, armate da reti elettrosaldate.

Se, invece, si tratta di muratura a sacco senza ricorsi di mattoni, nella quale si rilevano scarsi collegamenti fra i blocchi di pietra adiacenti ai due paramenti, allora la foderatura diventa consigliabile. In tal ultimo

caso si suggerisce di migliorare il collegamento fra la muratura esistente ed i nuovi getti, realizzando, ad interasse compreso fra 80 + 100 cm delle tracce verticali larghe circa 15 cm e profonde altrettanto, in modo che il calcestruzzo arrivi ad impegnare, sia pure in modo discontinuo, le facce interne dei blocchi di pietrame. Questo provvedimento non sostituisce, ma integra, quello con il quale si assicura il collegamento fra le due fondere di calcestruzzo con armature passanti;

- d) - Scale: è inutile soffermarsi sulle inderogabile necessità di assicurare la funzionalità delle scale, al fine di poter consentire il rapido esodo degli abitanti in caso di eventi sismici.

Le scale di cemento armato, a soletta o a sbalzo, sono da considerarsi le migliori, seguite immediatamente da quelle a "travi di ferro". Le maggiori perplessità sulla affidabilità derivano da quelle di muratura, spesso ad archi rampanti molto ribassati, le quali finiscono per funzionare come aggetti, in virtù della sola "resistenza a trazione" della malta.

In questo caso è necessario eseguire interventi di ripristino e consolidamento statico che, mediante getti di calcestruzzo armato, assicurino la reintegrazione dell'efficienza statica. E' opportuno precisare che, in caso di constatata p o l v e r i z z a z i o n e delle malte, sarà indispensabile sostituire l'elemento in muratura con nuovi elementi in cemento armato;

- e) - Sbalzi: qualunque sia la loro realizzazione, con pietre a sbalzo, con putrelle, con solette di cemento armato, con solaio misti di cemento armato e laterizio, sarà necessario accertare preliminarmente che il vincolo di incastro sia assicurato da opportune disposizioni costruttive con adeguato margine di sicurezza. In caso contrario vanno eliminati e sostituiti con "strutture portanti", correttamente impostate e realizzate;
- f) - Parapetti: ci si riferisce, in modo particolare, ai parapetti in muratura delle coperture piane a terrazza, che possono essere instabili al rovesciamento per effetto delle forze orizzontali. Ove non possano essere eliminati e sostituiti con parapetti del tipo metallico, è necessario provvedere al loro ancoraggio al muro sottostante, mediante tondini di acciaio verticali, passanti, alloggiati in appositi fori e cementati con malta;
- g) - Volte: generalmente le volte sono presenti nelle costruzioni più antiche e sono limitate alla copertura dei locali sotterranei ove esistono e dei locali a piano terreno. Trattandosi di strutture spingenti, che forniscono forze orizzontali cumulabili con quelli di origine sismica, ove non possano essere demolite, sarà necessario predisporre adeguate c a t e n e di assorbimento e contenimento delle spinte.

Un altro punto delicato delle volte è il rinfianco che spesso appare realizzato con materiali e tecnologie scadenti e che richiede interventi di risanamento, secondo modalità ben note.

Non di rado le volte presentano lesioni conseguenti a difetti di centratura della linea delle pressioni, attribuibili a cadute di spinta, ad imperfezioni geometriche originarie della superficie di intradosso, a carenza di rinfianco ed, infine, a cedimento differenziali delle imposte.

Una volta individuata la causa delle lesioni e presi gli opportuni provvedimenti conseguenziali, si pone il problema della risarcitura delle lesioni. Dette risarciture possono essere eseguite con le medesime tecniche valide per la muratura verticale;

- h) - Fondazioni: ai fini del presente studio non viene esaminato il problema della sicurezza della fondazione di un fabbricato in quanto tale, ma si ricorda semplicemente che gli eventuali interventi di consolidamento possono essere effettuati con le stesse tecniche valide per le murature di elevazione o con il sistema delle "iniezioni armate", che si accoppia, - ove richiesto - alla sottofondazione con i così detti "micropali".

6. INTERVENTI DI RIPARAZIONE DELLE STRUTTURE DANNEGGIATE

Al fine di poter criticamente analizzare i provvedimenti di intervento più frequentemente adottati, sarà opportuno premettere una elencazione dei provvedimenti medesimi:

Il D.M. 2 Luglio 1981, al paragrafo n° 3 - punto 3.4.2 dedicato alle "pareti murarie" - prevede esplicitamente:

- a - Risarcitura localizzate;
- b - Iniezioni di " miscela leganti";
- c - Applicazioni di "lastre in cemento armato" o di "reti metalliche elettro saldate";
- d - inserimento di "pilastrini in cemento armato" o "metallici" in breccia nella muratura;
- e - tirantature orizzontali e verticali.

Inoltre, ha trovato larga diffusione la tecnica di esecuzione di " tiranti pretesi ", costituiti da trefoli metallici inseriti nella muratura mediante la esecuzione di opportuni fori calibrati, eseguiti con l'ausilio di apposita attrezzatura, nonché quella della inserzione, in analoghi fori, di barre di acciaio ad aderenza migliorata (v. foto n° 7,8,9).

Indubbiamente trattasi di una tecnica perfezionata ed elevata al rango di " tecnologia di lavorazione ", che impiega oltre alla mano d'opera, anche un procedimento di lavorazione a vari stadi eseguito da macchine. Sarà necessario, però, che questa tecnica venga collaudata mediante i risultati che detti interventi forniranno durante futuri eventi sismici.

Noi riteniamo, che i risultati più proficui sono forniti dall'inserzione di trefoli verticali, a causa principalmente del loro effetto stabilizzante sulle pareti verticali, mentre l'effetto di precompressione sulle pareti orizzontali è meno certo, a causa del contrasto agli accorciamenti assiali dovuti alle effettive condizioni di vincolo delle pareti a contatto delle fondazioni.

Sulla base dei numerosi interventi di ripristino strutturale, eseguiti su fabbricati in muratura, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- 1 - Risarcitura localizzate di lesioni, comunque orientate e di qualunque profondità. Questi interventi di portata generale sono stati largamente eseguiti, in numero

si casi sia in corrispondenza dei maschi murari, sia in corrispondenza degli angoli della muratura, sia - infine - in prossimità dei vani di porte e finestre.

Per quanto riflette i m a t e r i a l i adoperati, essi sono stati i m a t-t o n i pieni collegati fra loro ed uniti alla muratura esistente da impasto di malta, avente il seguente dosaggio: 1 volume di cemento; 2 di sabbia ed 1 di pozzo lana, nonché conci di materiale lapideo aventi la medesima natura di quelli costituenti la muratura esistente.

La foto n° 10 mostra un tipico intervento su muratura portante in t u f o giallo, in corrispondenza di vani di apertura oppure in corrispondenza di interni lesionati.

La riuscita di questi interventi é basata - come già si é avuto modo di rilevare nella parte introduttiva - sulla disponibilità in loco di materiali di ottima qualità unitamente a quella di buone maestranze, che provvidenzialmente sono tuttora reperibili nelle regioni colpite dal sisma (Campania e Basilicata);

2 - Iniezioni di miscele leganti adottate in due campi di applicazione distinti:

2a - sigillatura di lesioni;

2b - rigenerazione di muratura deteriorata per deficienza della malta;

In entrambi i casi é stato possibile adottare, con risultati che sono ancora, attualmente, in fase di ricerca da parte nostra, diversi materiali attualmente disponibili sul mercato.

3 - Applicazioni di lastre in cemento armato e di reti metalliche elettrosaldate ricoperte di intonaco cementizio. Questi interventi sono stati limitati a murature composite ed a superfici di estensione rilevante.

Scopo principale di questi tipi di interventi é stato quello di garantire il contenimento degli elementi lapidei, costituenti la muratura, i quali presentavano difetti del reciproco ammorsamento degli elementi strutturali, ovvero sintomi di schiacciamento.

In genere, la scelta del tipo di intervento da adottare (lastre in c.a. o reti intonacate) é diipesa dalla maggiore o minore gravità dei fenomeni di dissesto esaminati nonché dalla loro estensione sull'elemento strutturale;

4 - Inserimento di "pilastrini in cemento armato" o "metallici" in breccia nella muratura.

Questi tipi specifici di interventi sono stati adottati, con frequenza, nei casi in cui vi era in atto un principio di distacco tra elementi strutturali verticali ortogonali nonché quando tali connessioni sono apparse o male ammorsate o comunque difettose, in modo tale da compromettere la efficiente collaborazione fra i vari elementi portanti della costruzione.

Questo tipo di intervento ha dato luogo, in taluni casi, ad una variante di applicazione nel senso che sono stati posti in opera coppie di profilati unite assieme da t i r a n t i annegati nel calcestruzzo. In tal modo si sono accoppiati i vantaggi delle prestazioni dei profilati di acciaio, che forniscono immediatamente la capacità portante assieme a quelli del calcestruzzo di collegarsi più intimamente ed in modo diffuso all'elemento strutturale preesistente;

5 - Tirantatura "orizzontale e verticale". Trattasi di comuni interventi di collegamento di sicura affidabilità a che unitamente ai diaframmi orizzontali costituiti da solette di calcestruzzo, conferiscono alla intera costruzione quei requisiti di m o n o l i t i c i t à che sono essenziali per una affidabile comportamento antisismico.

f - Nel medesimo Decreto, sempre al paragrafo 3, punto 3.4.3. sono previste norme relative al rinforzo anche di altri elementi strutturali, quali Archi e Volte.

Gli interventi di ripristino su tali tipi di struttura tendono, ove possibile, a conservare la geometria dell'intradosso per ovvi motivi di conservazione dello stile architettonico. Anche se ciò comporta una modifica del comportamento statico.

Nella foto n° 11 sono chiaramente visibili interventi di ripristino strutturale di v o l t e a botte in edifici di interesse storico.

g - Solai: Il ripristino strutturale di tali elementi ha riguardato, nella quasi totalità dei casi solai in legno e con putrelle di ferro.

In tali casi se trattavasi di solai in legno si è proceduto alla rimozione e successiva sostituzione dell'elemento ligneo con putrelle in acciaio; se trattavasi di solai con putrelle in ferro si è reso talune volte necessaria la sostituzione di alcuni elementi, in stato di avanzata ossidazione, con nuovi profilati. In tutti i casi di ripristino dell'elemento strutturale orizzontale si è provveduto a realizzare una soletta di calcestruzzo per garantire il diaframma orizzontale, la cui funzione è stata già illustrata in precedenza;

h - Scale: Questi elementi strutturali sono in massima parte realizzate con volte in muratura; volte che scaricano le azioni al peso proprio ed ai sovraccarichi accidentali sugli elementi strutturali verticali, sia di spina che perimetrali.

Tenuto conto dello stato precario di tali elementi si è resa necessaria, nella larga maggioranza dei casi, di sostituire il preesistente elemento con un nuovo di cemento armato. La realizzazione ha comportato metodologicamente l'inserimento di un elemento strutturale cementizio in elementi murari preesistenti: ciò ha richiesto di curare in modo particolare il ripristino della continuità fra il nuovo ed il vecchio elemento strutturale.

La c o n t i n u i t à, infatti, è elemento essenziale non solo per il corretto funzionamento della scala, nelle sue condizioni di servizio, ma anche in vista di eventuali nuove azioni sismiche.

Nelle foto n° 12 e n° 13 sono visibili alcuni dettagli delle fasi esecutive della sostituzione del vecchio elemento strutturale con il nuovo.

i - Coperture: Per tali elementi nel caso di coperture piani tipiche dell'hinterland napoletano la metodologia di consolidamento è stata la medesima di quella descritta per i solai con la variante di dover revisionare la impermeabilizzazione esistente.

Nel caso, invece, di copertura a falde inclinate (tetti) - tipiche delle zone montuose - il problema si è presentato più complesso in relazione alla varietà delle situazioni locali.

Infatti, il più delle volte ci si è imbattuti in strutture lignee, variamente conformate, fatiscenti e poste in equilibrio precario dall'azioni sismiche. In tali

casi si é provveduto a rinforzare adeguatamente gli elementi strutturali verticali di muratura, collocati a sostegno delle orditure lignee e, successivamente a revisionare le orditure medesime, con sostituzione degli elementi deteriorati con nuovi o di legno o di acciaio.

7. PROBLEMI DI SICUREZZA STRUTTURALE DELLE COSTRUZIONI MURARIE DA CONSOLIDARE CON PARTICOLARE RIGUARDO ALLE AZIONI CICLICHE DI ORIGINE SISMICA.

Gli interventi di riparazione e di eventuale adeguamento, relativi alle costruzioni danneggiate da eventi sismici, pongono al progettista strutturale tre problemi specifici:

- a - La valutazione delle "capacità portante residua" della costruzione esistente;
- b - la valutazione delle "azioni sismiche" future;
- c - la valutazione della "resistenza degli elementi strutturali" singoli e della costruzione nel suo complesso a tali azioni.

Per quanto riguarda il primo problema, giova esplicitamente ricordare che la determinazione delle s p e s s o r e dei muri, nel caso di edifici di tipologia corrente, realizzati con l'impiego di muratura ordinaria é stata effettuata tradizionalmente in base a regole e m p i r i c h e

Applicando tali criteri ad edifici di tipologia ricorrente per abitazione dell'altezza di circa venti metri, si riscontrano pressioni medie alla base dell'ordine di 4 kg/cm², circa uguali a quelle considerate ammissibili per le murature di pietrame.

In realtà, a parte il caso delle murature di laterizi, poco si sa del coefficiente di sicurezza relativo alla muratura di pietra naturale. Nei trattati e nei manuali si suggerisce di assumere coefficienti di sicurezza compresi fra 10 e 15 nel caso di malta di cemento; e fra 15 e 20 nel caso di malta di calce facendo riferimento al carico di rottura a compressione dei c o n c i lapidei.

In effetti, il margine di sicurezza dovrebbe essere correttamente riferito al collasso della muratura e non a quello della pietra isolata. Inoltre, occorrerebbe tenere esplicitamente conto del "rapporto di snellezza" del m u r o (altezza fra i piani/spessore della parete) e della eccentricità dei carichi verticali, rispetto al baricentro della "sezione resistente".

I dati relativi alle resistenze delle murature di pietra naturale sono scarsi e scarsamente reperibili, poiché contenuti nei trattati in modo dispersivo; al contrario per le murature di mattoni pieni é possibile disporre di numerose ed attendibili informazioni.

Si può stimare, con buona approssimazione, la resistenza della muratura in funzione delle resistenze dei m a t t o n i e della m a l t a con formule del tipo:

$$R_{\text{muratura}} = R_{\text{matteone}} / 5 \log_{10} (R_{\text{malta}} + 5)$$

in cui le tensioni sono espresse in Kg/cm².

Per quanto riguarda il secondo problema, quello della valutazione delle forze orizzontali statiche equivalenti alle azioni dinamiche del sisma, é opportuno tenere presente che la intensità di tali forze può risultare notevolmente superiore al 10 % dei pesi della costruzione.

Per stimare l'ordine di grandezza delle forze orizzontali "equivalenti" il punto di partenza è il valore del picco di accelerazione del suolo, quale risulta dalle registrazioni eseguite durante gli eventi sismici (terremoti).

In Italia durante terremoti di forte intensità si sono rilevate accelerazioni massime dell'ordine di $0.3 + 0.4 g$.

Le costruzioni amplificano le accelerazioni del suolo in funzione del periodo proprio e del coefficiente di smorzamento, come mostrano gli spettri di risposta in termini di accelerazione, la cui forma è sensibilmente influenzata - a parità delle altre condizioni - dalla natura del terreno di fondazione.

Le costruzioni in muratura hanno periodi propri molto bassi, dell'ordine di $0.2 + 0.6$ secondi, e coefficienti di smorzamento di circa il $4 + 5 \%$: esse ricadono, quindi, nell'intervallo delle massime amplificazioni; circa pari a due, tre volte l'accelerazione del suolo.

Assumendo per il picco di accelerazione del suolo il valore orientativo di $0.3 g$, si può stimare perciò che l'accelerazione massima della costruzione sia, all'incirca, pari a $0.8 g$.

E' noto che la duttilità di una costruzione permette di seguire gli spostamenti ciclici impressi alla sua base, sopportando forze minori rispetto a quelle che corrispondono al comportamento perfettamente elastico-lineare. Poiché la duttilità della muratura ordinaria è molto limitata, la messa in conto della riduzione suddetta deve essere fatta con molta cautela, adottando - al massimo - un coefficiente di duttilità dell'ordine di 1.5 .

La conseguenza è che le forze orizzontali statiche equivalenti al sisma corrispondono, sempre beninteso nell'ambito di stime orientative, ad accelerazioni di $0.8/1.5 g = 0.5 g$, cinque volte maggiori di quelle tradizionalmente adottate nelle verifiche in servizio con il metodo delle "tensioni ammissibili".

Naturalmente le forze valutate con $0.5 g$ hanno il carattere di "azioni di collasso"; il taglio esterno che da esse deriva va confrontato, quindi, con il taglio resistente determinato anch'esso in condizioni ultime, quando si accetti il criterio di evitare il crollo dell'edificio, accettandone il danneggiamento anche grave, quando si considerano terremoti rari, di forte intensità.

Si pone, così, il terzo problema, ossia quello della valutazione del taglio resistente in condizioni di collasso.

A tale scopo è necessario definire preliminarmente il criterio di resistenza delle murature nel campo delle sollecitazioni di compressione e di taglio.

Com'è ampiamente noto i meccanismi di rottura possono essere due:

- a - Rottura per "fessurazione diagonale";
- b - rottura per "scorrimento dei conci" sui letti di malta.

Il primo meccanismo è governato dalla tensione principale di trazione:

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

Ponendo la condizione di "stato limite" ultimo:

$$\sigma_1 = \sigma$$

si ricava dalla espressione della tensione principale suddetta il valore limite

della "tensione tangenziale", pari a

$$\tau_{\text{resist.}} = \tau_{\text{trazione}} \sqrt{1 + \frac{\sigma_v}{\sigma_{\text{traz.}}}}$$

Assumendo, com'è lecito, $\tau_{\text{trazione}} = \tau_{\text{ultima}}$, si trova:

$$\tau_{\text{resist.}} = \tau_{\text{ult.}} \sqrt{1 + \frac{\sigma_v}{\tau_{\text{ult.}}}}$$

Com'è noto il criterio della "tensione principale massima" è stato perfezionato da vari Autori, per tener conto della distribuzione non uniforme delle tensioni normali nei "pannelli di muratura" ed, in una di queste formulazioni, è stato accolto nelle Norme Tecniche Italiane (vedi: ISTRUZIONI MINISTERO dei LL.PP. - emanate in data 30 Luglio 1981 -).

Il secondo meccanismo, quello di scorrimento dei conci sui letti di malta, è interpretato in modo semplice dal criterio di resistenza di Mohr, nella forma lineare, analoga a quella di Coulomb,

$$\tau_{\text{ultima}} = \tau_0 + c \times \sigma$$

La realizzazione del primo o del secondo meccanismo dipende, sostanzialmente, dal valore della tensione verticale: a valori molto bassi o molto alti della tensione verticale di compressione corrisponde il secondo meccanismo. A valori intermedi della tensione verticale corrisponde il primo.

Nella valutazione del taglio resistente occorre evidentemente riferirsi alla "sezione di muratura netta", depurata non solo dai vani delle porte e delle finestre, ma anche da quelli comunque presenti.

Una volta determinato il taglio ultimo resistente, il confronto con il taglio ultimo agente permette di giudicare se occorrono o meno interventi di consolidamento.

La semplice ispezione della relazione:

$$T_{\text{resistente}} = A \times \tau_{\text{resistente}} > T_{\text{esterno}}$$

suggerisce tre distinti provvedimenti di intervento:

- I° - L'aumento della "sezione resistente" A, mediante l'aumento dello spessore della muratura esistente;
- II° - l'aumento della resistenza a trazione della muratura e, conseguentemente, di quella al taglio, mediante reticoli di iniezioni armate con barre di acciaio;
- III° - aumentando sia A che $\tau_{\text{resistente}}$, mediante foderature della muratura esistente con paretine di calcestruzzo cementizio armato con reti elettrosaldate.

8. RIFLESSIONI SULLA PROGETTAZIONE ANTISISMICA DELLE NUOVE COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA.

Nell'ambito del presente lavoro, dedicato principalmente ai problemi di riparazione ed adeguamento antisismico delle costruzioni esistenti, non appare fuori di luogo esporre alcune considerazioni sulla progettazione antisismica delle nuove costruzioni.

Quanto innanzi affermato trova ragione di essere nel fatto che nel progetto delle nuove costruzioni va messo a frutto tutto l'insegnamento tratto dal comportamento delle costruzioni esistenti, colpite dagli eventi sismici.

In primo luogo va segnalata l'idea ricorrente nella bibliografia specifica (1)-(7); di creare una separazione fra la fondazione e la sovrastruttura con idonei accorgimenti intesi a realizzare un taglio di frequenza allo scopo di filtrare le frequenze pericolose dovute al sisma; frequenze che potrebbero fare entrare i componenti portanti della sovrastruttura in risonanza, amplificando pericolosamente gli effetti.

E' appena il caso di osservare che siffatti rimedi venivano già auspicati nel lontano 1911, sulla rovinosa esperienza degli eventi sismici accaduti nell'anno 1908 nelle città di Reggio Calabria e Messina. Tra l'altro non sembra che tali accorgimenti, sebbene auspicati con rigore scientifico, siano - poi - stati oggetto di concrete applicazioni nel campo delle realizzazioni.

In secondo luogo, per quanto riguarda la sovrastruttura va ribadito il concetto che la corretta disposizione dei volumi costituisce il requisito basilare per ottenere un buon comportamento della costruzione alle azioni cicliche di natura sismica.

L'esperienza, ormai acquisita, delle costruzioni murarie nel campo delle "fortificazioni militari" conferma pienamente che la particolare disposizione della pianta, dovuta alla presenza di più assi di s i m m e t r i a - così come chiaramente v i s i b i l e nella figura n° 1, nonché la presenza di angoli a c u t i nella intersezione degli spigoli situati in corrispondenza degli assi di simmetria, conferisce alla costruzione muraria una grande capacità di opporsi alle azioni orizzontali compunquie dirette.

Anche le parti più alte di tali tipi di costruzioni hanno egregiamente resistito, a causa della loro particolare conformazione geometrica cilindrica nel tratto terminale e, tronco-conica nel tratto inferiore a contatto con quella fondale.

Un esempio tipico del buon comportamento di una siffatta costruzione all'azione sismica, è dato dall'antica fortezza del MASCHIO ANGIOINO (vedi foto n° 14). Infatti detta costruzione, pur avendo subito danni in lieve misura nella sua parte prospiciente il mare, ha mantenuto la sua integrità globale.

Anche nel campo delle costruzioni murarie civili sarebbe possibile estendere questi concetti, realizzando la muratura perimetrale portante secondo un andamento planimetrico c u r v i l i n e o.

In effetti, il vantaggio derivante consiste essenzialmente nel trasformare il funzionamento delle pareti orientate perpendicolarmente all'azione sismica in funzionamento ad a r c o: nel primo caso la muratura viene sollecitata prevalentemente a trazione, mentre nel secondo caso è chiamata in causa anche la resistenza a compressione (vedi figura n° 2).

Le spinte trasmesse da tali elementi strutturali ad arco, sugli speroni terminali, potrebbero essere convenientemente assorbite dalla posa in opera di tiranti pretesi verticali.

Anche nella bibliografia non recente (8) abbiamo tracce di questo concetto, che tende ad imprimere alle murature perimetrali un funzionamento ad a r c o.

Abbandonando queste proposte, indubbiamente suggestive e che potrebbero essere applicate previo accurato progetto spinto fino a tutti i dettagli esecutivi e, considerando le costruzioni di tipologia ricorrente, si ribadisce in questa sede

il convincimento - consolidato ormai anche da numerose esperienze professionali - che o t t i m i risultati si possono conseguire con l'adozione e l'impiego dei c r i t e r i in appresso riportati:

- 1 - Posa in opera di "cordoli di calcestruzzo armato", in corrispondenza di ogni piano;
- 2 - Posa in opera di "cordoli verticali di calcestruzzo armato", in corrispondenza della intersezione delle pareti verticali;
- 3 - posa in opera di "solai di cemento armato", aventi soletta gettata in opera con spessore di almeno 40 mm, tra i vari piani.

L'ammorsamento tra i solai ed i cordoli orizzontali dovrà essere eseguito con la massima cura e seguendo il criterio di evitare lo sfilamento dell'armatura dei solai.

Nel caso di utilizzazione di solai prefabbricati si é del parere che dovranno essere presi degli accorgimenti costruttivi di natura particolare, da definirsi caso per caso in relazione alle caratteristiche dei solai adottati.

9. CONCLUSIONI

L'analisi dettagliata degli interventi di riparazione e di adeguamento anti-sismico ha chiaramente messo in evidenza che, anche con interventi di "portata limitata", é possibile conferire alle costruzioni di muratura ordinaria e di tipo logia corrente i richiesti requisiti di "s i c u r e z z a" antisismica.

Detti positivi risultati si possono ottenere - come già ampiamente riferito innanzi - a condizione di valutare le "azioni sismiche" in modo realistico, ossia con valori che risultano essere di circa cinque volte maggiori di 0.1 g per le zone di "prima categoria sismica".

Si ritiene di fare osservare che pur in presenza di forze così rilevanti é possibile assicurare la stabilità delle costruzioni murarie. Cioé anche nel caso in cui il proporzionamento delle sezioni resistenti sia stato eseguito con i "criteri empirici" sulla base dei quali tradizionalmente é stata proporzionata la muratura.

Come seconda condizione inderogabile si pone quella del "controllo di qualità dei materiali", sia lapidei che delle malte. All'uopo si deve rilevare che la dispersione delle caratteristiche meccaniche dei materiali lapidei naturali é nettamente superiore a quella dei materiali artificiali quali i "laterizi", i quali - di conseguenza - forniscono maggiori garanzie di affidabilità.

Per quanto riguarda, infine, le "malte" impiegate negli interventi appare indispensabile l'introduzione di adeguate procedure di controllo sancite da una apposita Normativa.

La emanazione di rigorose metodologie sul "controllo della qualità" delle costruzioni in muratura ordinaria é quindi - a nostro avviso - una delle essenziali premesse per la rivalutazione delle "costruzioni in muratura", realizzate in zona sismica.

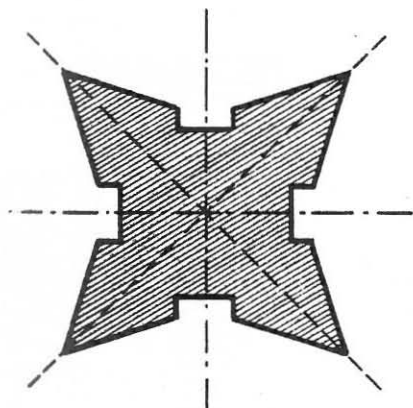
B I B L I O G R A F I A

- (1) WARNER J.
Restoration of earthquake damaged concrete and masonry
V. W. Conference E.E. Rome 1973
- (2) THOMPSON C.J.
Repair of buildings damaged by the 1969 Boland earthquake
V. W.C.E.E. Rome 1973
- (3) TSO W.K., POLLNER E., HEIDEBRECHT A.C.
Cycle loading on externally reinforced masonry walls.
V. W.C.E.E. Rome 1973
- (4) RAZANI REZA
Earthquake resistant design of structures having brittle-type
load resisting elements with emphasis on masonry and adobe
buildings in Iran
V. W.C.E.E. Rome 1973
- (5) EVANS F.W.
Earthquake engineering for the smaller dwellings
V. W.C.E.E. Rome 1973
- (6) AMRHEIN J.E.
Design, construction and performance of reinforced masonry
buildings subjected to seismic forces
VII W.C.E.E. 1980 Istanbul
- (7) MATHUR G.C.
Concept of single brick thick load bearing walls up to four
to five storyed residential buildings in seismic Zones
VII W.C.E.E. 1980 Istanbul
- (8) RUFFOLO F.
La stabilità sismica dei fabbricati
Roma 1912 - Casa editrice "L'elettricista"

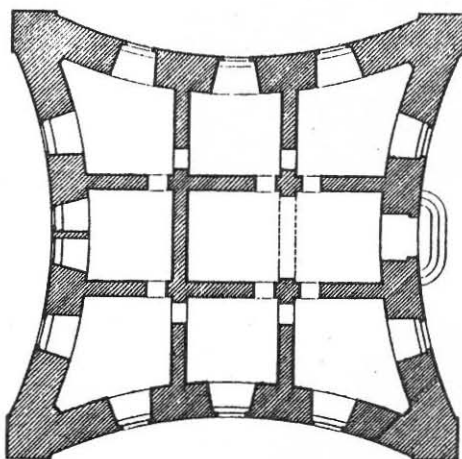
DIDASCALIE ILLUSTRAZIONI

DISEGNI - 1 - Pianta schematica di Torri di guardia nell'Italia Meridionale. La presenza di quattro assi di simmetria influisce in misura notevole sul loro buon comportamento antisismico. 2 - Un'antica proposta di edificio antisismico, ispirata agli schemi delle Torri di guardia. Si notano la disposizione simmetrica della pianta e la curvatura dei muri perimetrali.

FOTO - 1 - Napoli. Antichi quartieri spagnoli: tipico fabbricato per abitazione. 2 - Napoli. Fabbricato denominato "Albergo dei poveri": parte terminale dell'ala verso Piazza Cavour. 3 - Potenza. Struttura tipica di fabbricato per civile abitazione. Si nota chiaramente l'assenza di cordoli di incatenamento ai vari piani. 4 - Potenza. Tipici dissesti di muri perimetrali in un fabbricato, a due piani, per civile abitazione. 5 - Potenza. Edificio monumentale: è visibile un intervento di ripristino con muratura di "mattoni pieni" eseguito in occasione di precedenti eventi sismici. 6 - Influenza di vani preesistenti sulla evoluzione della "facies" fessurativa. 7 - Rinforzo di una piattabanda lesionata mediante reticoli di iniezioni armate. 8 - Attrezzatura per l'esecuzione di fori di grande lunghezza nella muratura. 9 - Serie di fori, appositamente predisposti, per la inserzione di barre di armatura di acciaio ad aderenza migliorata. 10 - Ripresa delle spallette e delle piattabande di finestre con muratura di mattoni pieni. 11 - Risanamento di volte a botte, con sostituzione del rinfiango preesistente ormai disgregato e trasferimento delle funzioni portanti ad un nuovo solaio di acciaio. 12 - Inserimento di una scala di cemento armato in sostituzione della preesistente in muratura. 13 - Particolare dell'intervento precedente a getto eseguito. 14 - Napoli. Il Maschio Angioino (lato mare): è visibile il ponteggio montato per eseguire interventi di riparazione sul paramento verticale.



Disegno 1



Disegno 2



1



2



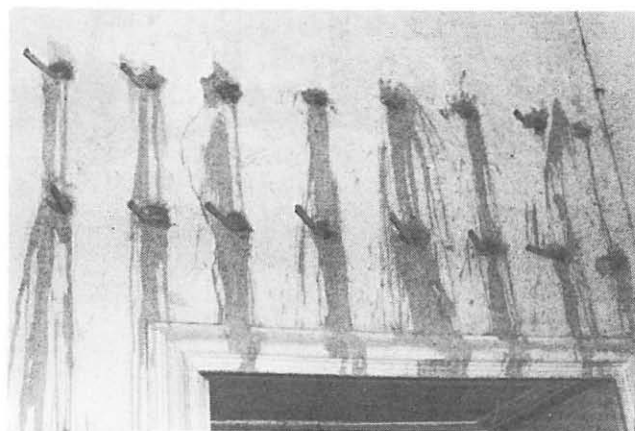
3



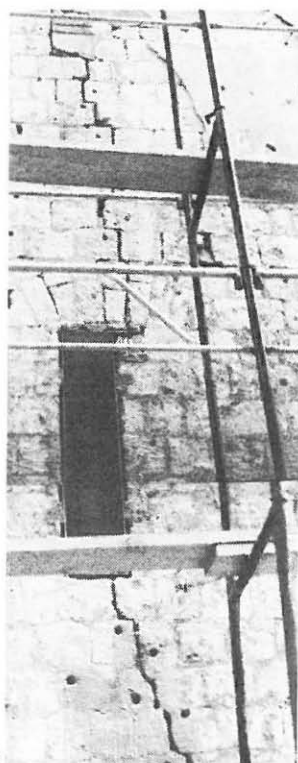
4



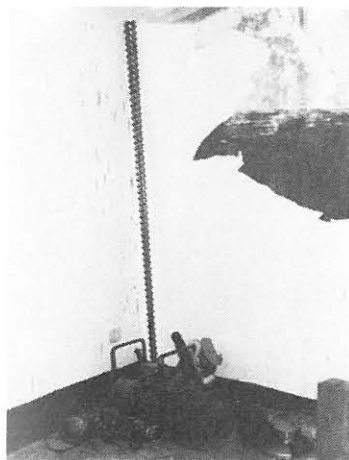
5



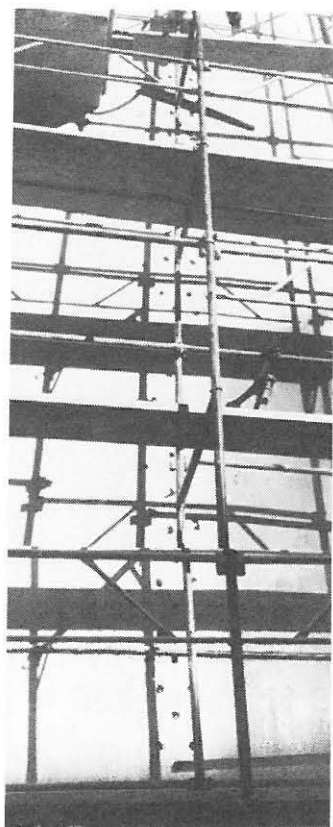
7



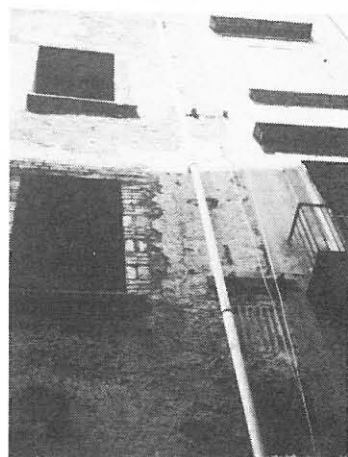
6



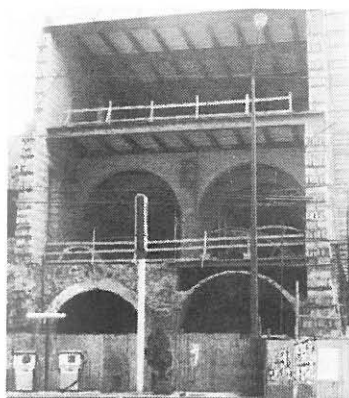
8



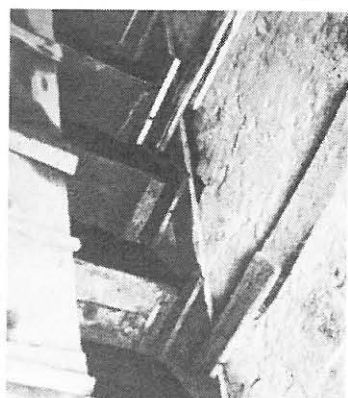
9



10



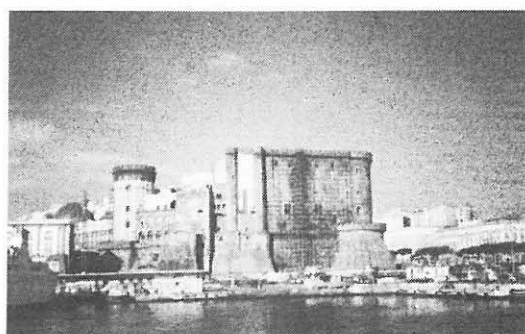
11



12



13



14

