



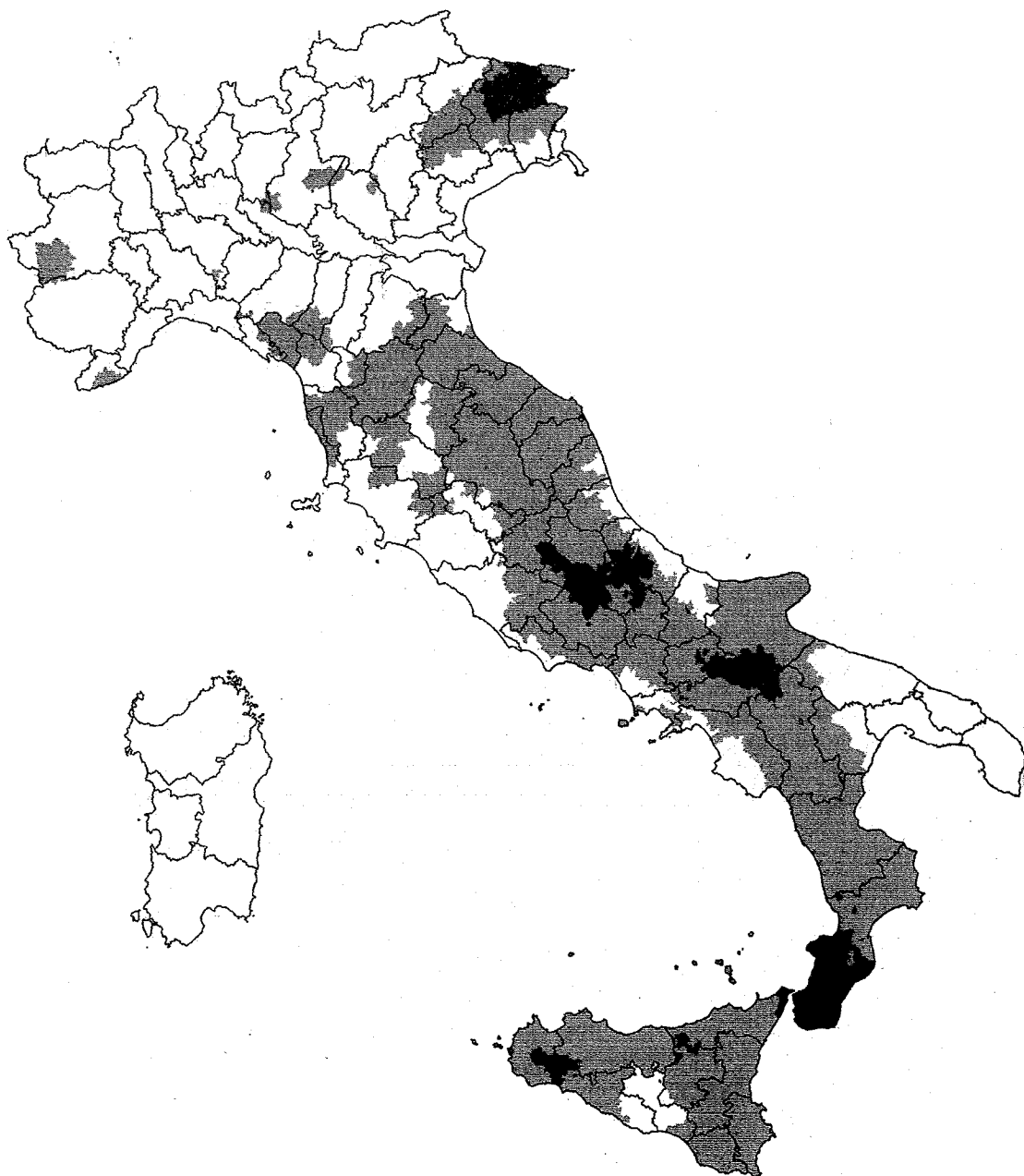
Consiglio Nazionale delle Ricerche

**GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI**

# RISCHIO SISMICO DI EDIFICI PUBBLICI

PARTE I

ASPETTI METODOLOGICI



Il disegno di copertina è estratto da: *"Atlante della classificazione sismica nazionale"*; Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, SERVIZIO SISMICO, Roma 1986

*Complessivamente è classificato in zona sismica circa il 36,6% dei Comuni italiani (2960 su 8086, in base ai dati ISTAT 1986), corrispondente a circa il 45,2% della superficie ed a circa il 39,8 della popolazione dell'intera nazione.*

**©1993: C.N.R - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma**

Pubblicazione in collaborazione con Centro Servizi Quasco, Bologna.

Stampa: Tipografia Moderna, Bologna

C.N.R.  
GRUPPO NAZIONALE  
PER LA DIFESA DAI TERREMOTI

# RISCHIO SISMICO DI EDIFICI PUBBLICI

PARTE I

ASPETTI METODOLOGICI

Hanno collaborato alla stesura per conto del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti:

Roberto Alessi  
*Istituto di Tecnica delle Costruzioni - Università di Bologna*

Paolo Angeletti  
*Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*

Maria Luisa Beconcini  
*Istituto di Scienza delle Costruzioni - Università di Pisa*

Alberto Cherubini  
*Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*

Paolo Cioni  
*Istituto di Scienza delle Costruzioni - Università di Pisa*

Alfredo Corsanego  
*Istituto di Scienza delle Costruzioni - Università di Genova*

Pier Paolo Diotallevi  
*Istituto di Tecnica delle Costruzioni - Università di Bologna*

Maurizio Ferrini  
*Dipartimento Ambiente - Regione Toscana*

Carlo Gavarini  
*Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica - Università di Roma "La Sapienza"*

Maria Cristina Nannetti  
*Assessorato Programmazione, Pianificazione e Ambiente Regione Emilia-Romagna*

Nicola Nisticò  
*Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*

Vincenzo Petrini  
*Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano*

Luca Sanpaolesi  
*Istituto di Scienza delle Costruzioni - Università di Pisa*

Saverio Simonazzi  
*Istituto di Tecnica delle Costruzioni - Università di Bologna*

# Indice

## **PRESENTAZIONE**

*V. Petri* pag. 1

## **1. INTRODUZIONE**

*A. Cherubini, C. Gavarini, V. Petri* pag. 3

## **2. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA**

*V. Petri* pag. 7

2.1. Criteri per la definizione delle zone di isoattenuazione e delle zone sismogenetiche pag. 8

2.2. Modellazione probabilistica della pericolosità sismica. pag. 14

2.3. Calcolo della probabilità di eccedenza pag. 18

## **3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ**

3.0. Introduzione  
*A. Corsanego* pag. 41

3.1. Edifici in muratura  
*P. Angeletti, V. Petri* pag. 51

3.2. Edifici in cemento armato  
*M. L. Beconcini, P. Cioni, C. Gavarini,  
N. Nisticò, L. Sanpaulesi* pag. 65

3.3. Capannoni industriali  
*R. Alessi, P. P. Diotallevi, S. Simonazzi* pag. 81

3.4. Edifici misti  
*C. Gavarini* pag. 95

3.5. Gli strumenti di analisi: schede, manuali,  
software  
*A. Corsanego, M.C. Nannetti* pag. 97

## **4. VALUTAZIONE DELLA ESPOSIZIONE**

*M. Ferrini, V. Petri* pag. 99

## **5. VALUTAZIONE DEI COSTI DI INTERVENTO**

*P. Angeletti, V. Petri* pag. 107

## **6. RISCHIO SISMICO E SCALE DI PRIORITÀ**

*V. Petri* pag. 115

APPENDICE ALLA PARTE I (in quattro fascicoli separati):

*I.1*

*RILEVAMENTO DELL'ESPOSIZIONE E VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI.  
ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DI 1° LIVELLO*

*RILEVAMENTO DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI  
(ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DI 2° LIVELLO):*

*I.2*

*MURATURA*

*I.3*

*CEMENTO ARMATO*

*I.4*

*TIPOLOGIA PARTICOLARE (CAPANNONI)*

## PRESENTAZIONE

Dopo ogni terremoto violento gli organi di informazione richiamano l'attenzione dell'opinione pubblica sulle dimensioni della catastrofe che ha colpito il paese; spesso si innescano polemiche su quanto non si è fatto per prevenire la catastrofe stessa; alcuni invocano l'ineluttabilità dell'evento; molti sono coinvolti in azioni di solidarietà. Con il passare del tempo tutto torna lentamente a tacere, salvo il nascere di periodiche polemiche sulla lentezza e sugli sprechi delle operazioni di ricostruzione.

Il quadro ora tracciato è volutamente schematico ma abbastanza realistico, anche se ad alcuni potrebbe sembrare eccessivamente pessimistico. Sta di fatto che un paese che ha speso dal dopoguerra ad oggi qualche migliaio di miliardi all'anno, in media, per sanare i danni provocati dai terremoti non ha finora attivato altra politica di prevenzione se non quella di emanare norme tecniche per le costruzioni in zona sismica che sono obbligatorie per qualsiasi nuova costruzione e solo in alcuni casi per gli interventi sulle costruzioni esistenti. D'altra parte è riconosciuto da molti, e certamente dalla totalità degli esperti del settore, che l'entità delle conseguenze calamitose del fenomeno sismico va sì ricercata nella severità delle scosse ma soprattutto nella vulnerabilità del sistema insediativo.

Poichè la conoscenza dei termini di un problema è il primo passo indispensabile per avviarlo a soluzione, è sembrato utile, ed anche doveroso, sviluppare un progetto di valutazione dei livelli di rischio sismico degli edifici pubblici, con conseguenti "graduatorie di rischio" (leggibili anche come "scale di priorità" per gli interventi di prevenzione), nonché di stima dell'entità dei costi da sopportare per gli stessi interventi di prevenzione: l'intento dichiarato è quello di fornire al proprietario di tali edifici, la pubblica amministrazione, uno strumento conoscitivo sul quale basare eventuali politiche di riduzione del rischio, ma anche quello di sollecitare in tal senso i responsabili della pubblica amministrazione a tutti i livelli.

Lo studio effettuato non ha preso in esame l'intero territorio nazionale; esso rappresenta, tuttavia, un modello, sufficientemente sperimentato e già applicato su ampie aree territoriali: la sperimentazione, preve indagini di vulnerabilità sulle strutture degli edifici pubblici, ha finora interessato in modo sistematico i comuni classificati in zona sismica dell'Emilia-Romagna, della Toscana e del Piemonte, con completamenti in corso anche per Abruzzo e Marche. Tale modello, pur essendo sempre affinabile, può già oggi essere esteso a tutto il paese, consentendo di valutare l'entità dei danni futuri e il numero delle possibili vittime, l'ordine di grandezza dei costi che è necessario sopportare per la loro riduzione, il livello di sicurezza che è possibile raggiungere con tale spesa. Sulla base di questi elementi la comunità potrà decidere razionalmente quali azioni intraprendere.

La risposta più ovvia alla constatazione della presenza di situazioni notevolmente a rischio è l'avvio di specifici programmi di adeguamento del patrimonio edilizio ai livelli di sismicità delle varie zone del paese: ma non è certo l'unica possibile. L'abbassamento dei livelli di rischio può essere uno degli obiettivi della programmazione di investimenti settoriali (scuola, sanità, casa, trasporti, ecc.) della pubblica amministrazione e può, in alcuni casi, contribuire a qualificare la spesa pubblica. Gli effetti positivi sono evidenti: si eviterebbe il ripetersi di notevoli perdite di vite umane (Friuli, Irpinia-Basilicata), si eviterebbero i danni legati alle operazioni di demolizione e ricostruzione di un gran numero di edifici; si avrebbero anche altri vantaggi: programmi pluriennali di interventi di riduzione del rischio, opportunamente distribuiti nello spazio e nel tempo secondo priorità definibili in anticipo, possono avere, nella situazione attuale, positivi effetti collaterali in termini di sviluppi non drogati dell'occupazione.

La stessa fase di valutazione della vulnerabilità, premessa indispensabile per effettuare stime di rischio, può essere organizzata in modo da costituire occasioni di occupazione temporanea per giovani laureati e diplomati, con significativi risvolti formativi.

Vincenzo Petrini

*Direttore Gruppo Nazionale  
per la Difesa dai Terremoti*

## 1. INTRODUZIONE

A .Cherubini, C. Gavarini, V. Petrini

Da più di un decennio ormai (e se si considera la "preistoria" rappresentata dalla attività del Progetto Finalizzato Geodinamica il periodo si allunga ulteriormente) il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) si occupa del rischio sismico e della sua riduzione, una attività che comporta una pluralità di linee e temi di ricerca, come risulta dallo stesso decreto istitutivo e dai progetti esecutivi via via proposti e realizzati.

Come è noto il rischio si definisce per un territorio o per una popolazione di oggetti, costruzioni, persone e beni sulla base dei danni attesi a seguito di possibili eventi naturali o di origine antropica. Come è facile capire l'entità di tali danni, e quindi il rischio, dipendono da tre ordini di fattori, legati rispettivamente alla natura, frequenza e livello degli eventi attesi, alla natura, qualità, e quantità dei beni esposti, alla capacità dei beni stessi di resistere alle offese. Per detti fattori si è ormai consolidata una terminologia che ha oltretutto il merito di essere espressiva: pericolosità, esposizione, vulnerabilità. Purtroppo rimangono ancora alcune fonti che insistono nell'identificare il rischio con la pericolosità (ovvero in lingua inglese *risk* con *hazard*), generando confusioni che talvolta non sono prive di possibili conseguenze non banali.

Quello che qui interessa è il rischio sismico, quindi si tratta di definire la pericolosità sismica, la esposizione sismica, la vulnerabilità sismica. Anche senza addentrarsi in profondità ci si può rendere conto immediatamente che si tratta di argomenti assai diversi, che implicano competenze disciplinari ben distinte: geologia, sismologia e sismologia applicata per la pericolosità; ingegneria e urbanistica per la vulnerabilità e la esposizione. Ed infatti il GNDT, pur nella visione unitaria riferita agli obiettivi, affida a distinte linee di ricerca il compito di studiare tali argomenti: attualmente la linea 1 per la pericolosità, la linea 2 per la vulnerabilità.

Nell'ambito della attività delle suddette linee sono state messe a punto metodologie e raccolti dati che oggi consentono, sia pure nell'ambito di risultati sempre perfettibili e suscettibili di futuri ampliamenti ed affinamenti (come in tutti i settori della attività dell'uomo):

- di definire la pericolosità sismica di una determinata porzione del territorio nazionale;
- di quantificare la esposizione di una intera zona o di sottoclassi di beni nell'ambito della stessa;
- di rilevare i dati utili per definire la vulnerabilità sismica dei beni suddetti.

Le attività suddette hanno carattere disciplinare e, sinché si svolgono a livello

di ricerca, conservano i limiti di ogni esercitazione accademica. Poterle portare sul campo, nell'ambito di un contesto applicativo e multidisciplinare, assume grande importanza ed interesse, tanto più per un organismo come il GNDT il quale, seppure animato in gran parte da studiosi del CNR ed universitari, ha una precisa ed obbligata connotazione di ricerca finalizzata.

È proprio per trovare l'indispensabile "laboratorio" di prova delle metodologie e strumenti elaborati in sede propria che gli operatori del GNDT hanno sin dall'inizio ricercato le occasioni di collaborazione con gli enti ed istituzioni preposti al territorio, prime fra tutti le Regioni.

Affinché le collaborazioni decollassero e si sviluppassero con successo occorre peraltro almeno tre condizioni:

- che il territorio regionale fosse sismico, almeno in parte e con un livello non troppo basso;
- che gli organi regionali, politici e tecnici, fossero sensibili e disponibili;
- che operatori del GNDT, dotati delle necessarie competenze, fossero a loro volta disponibili sul posto.

L'insieme delle tre condizioni ha fatto sì che non sempre le convergenze si siano avute in ragione del livello di sismicità; anzi, è venuto qualche volta il dubbio che il livello di interesse per i problemi sismici sia inversamente proporzionale alla pericolosità sismica!

Tuttavia, seppure con tempi ed esiti diversi, quasi tutte le regioni interessate a fenomeni sismici hanno interagito con il Gruppo, fornendo appunto quelle specificità di realtà territoriale e, in non pochi casi, di eventi sismici in atto.

Tra le esperienze vissute con le Regioni, fatta eccezione per quelle rese particolarmente vive dalla realtà dell'evento sismico in atto, la collaborazione con l'Emilia-Romagna e la Toscana è stata tra le prime ad essere avviata, merito non tanto della acutezza di problemi contingenti, ma della sensibilità e disponibilità degli amministratori, sollecitati e sostenuti dai loro funzionari, con competenza e tenacia.

Infatti, come anche questo stesso rapporto potrà dimostrare, le operazioni sul campo non sono fatte soltanto di buone metodologie e corrette impostazioni scientifiche, peraltro doverose, ma anche di tenace lavoro organizzativo e burocratico, di coordinamento e di faticoso e spesso oscuro lavoro quotidiano. Senza quei funzionari ed il loro entusiasmo, supportato da molte altre collaborazioni che non è possibile ricordare tutte in questa sede, i risultati che qui verranno riportati non sarebbero stati ottenuti.

Tra le categorie di "oggetti" meritevoli di attenzione in chiave di rischio, gli edifici pubblici rivestono come è ovvio un interesse particolare, investiti come

sono assai spesso di funzioni strategiche proprio nei momenti difficili di una emergenza sismica.

Le Regioni sono pertanto giunte, con modalità che i rispettivi capitoli specifici illustrano nel seguito, ad avviare e condurre con il supporto del GNDT le operazioni di rilevamento ed elaborazione che sono l'oggetto del presente rapporto.

Il rapporto prevede una prima parte a carattere generale, nella quale si illustra la metodologia, seguita da altre parti, sviluppate in parallelo o in serie, dedicate alle applicazioni nelle varie realtà regionali.

La prima parte segue l'iter logico di una indagine di rischio sul campo, trattando anzitutto le tre questioni sopra ricordate, relative a Pericolosità, Vulnerabilità ed Esposizione e quindi gli aspetti riguardanti i costi di intervento a riduzione del rischio ed infine l'accertamento del rischio e relative scale di priorità. Le parti successive seguono lo stesso filone riportando i risultati e le specificità della singola applicazione.

Per la valutazione della pericolosità la metodologia seguita è quella già resa nota in occasione delle indagini condotte in Garfagnana, che peraltro si è avvalsa dei più recenti risultati ottenuti nell'ambito della attuale linea di ricerca 1 del GNDT (e qui il ringraziamento al Prof. P. Scandone e a tutti gli operatori di quella linea è d'obbligo). Avanzamenti rispetto alle precedenti esperienze, sviluppate nell'ambito della commissione mista incaricata di definire i criteri di priorità per gli interventi di adeguamento sismico di edifici pubblici nelle zone delle province di Lucca e Massa Carrara e nei comuni classificati delle province di Modena, Parma e Reggio Emilia, si registrano anche nei metodi matematici utilizzati per la valutazione della pericolosità; anche in questo caso si è fatto ricorso ai risultati di ricerche svolte in seno al GNDT, ed in particolare nell'ambito del gruppo di lavoro "Metodi probabilistici".

Circa la vulnerabilità, oltre ad utilizzare la ormai nota scheda per la muratura (ordinaria), sono state utilizzate due schede e relative tecniche di elaborazione sostanzialmente nuove, riguardanti gli edifici in cemento armato e gli edifici industriali.

Le novità in tema di vulnerabilità si ritrovano anche in sede di elaborazioni di rischio, potendo esse fornire al modello di rischio a suo tempo applicato in Garfagnana dati di più immediato utilizzo. Il modello di rischio stesso è stato anch'esso affinato introducendo la dipendenza delle stime di rischio dal tempo trascorso dall'ultimo evento verificatosi in ogni sito.

Per la esposizione, il contatto con una realtà viva è stato particolarmente utile per mettere a fuoco i problemi riguardanti questo aspetto. Come si vedrà nel seguito per la valutazione dell'esposizione si è fatto ricorso a soluzioni

approssimate ed empiriche. Le prime informazioni sull'esposizione sono state raccolte nella fase preliminare di preschedatura: tale fase, indispensabile per un censimento preventivo atto a definire il patrimonio edilizio che si doveva esaminare, fornisce una prima classificazione degli edifici in funzione delle loro dimensioni e della loro destinazione d'uso.

Nel caso di una campagna di rilievo di vulnerabilità sismica a fini conoscitivi o di prevenzione sismica del patrimonio edilizio, la compilazione della prescheda costituisce un importante passaggio per ottimizzare la gestione del rilevamento dei dati. Infatti si può osservare che:

- la prescheda viene compilata da un organo tecnico, responsabile a livello territoriale, che viene coinvolto a identificare in prima istanza il patrimonio da rilevare (potrebbe essere un ufficio tecnico comunale, un ufficio del genio civile o comunque un ufficio tecnico); la attendibilità dei dati è abbastanza elevata, in quanto la prescheda è elaborata da un tecnico con conoscenza diretta della zona nella quale opera; i tempi di raccolta delle informazioni sono molto limitati se si riesce ad attivare una piena collaborazione degli organi tecnici periferici;
- la prescheda consente di predisporre un programma di rilevamento, che in genere va tarato con i finanziamenti disponibili per la fase di indagine conoscitiva, indicando non solo fasce di priorità, ma anche gruppi di tipologie e costruzioni simili, consentendo eventualmente di operare per campioni, riducendo ed ottimizzando l'onere del rilievo.

La prescheda può essere compilata per singoli edifici o per aggregati, fermo restando che la suddivisione di singoli aggregati strutturali in edifici venga riesaminata dalle squadre di rilevamento in base alle definizioni contenute nei manuali. È inoltre importante rilevare che insieme alla prescheda, all'atto della compilazione, deve essere individuata su una planimetria l'ubicazione degli edifici censiti, anche con il semplice codice numerico (o alfanumerico) della scheda; ciò consente una rapida visualizzazione dell'area di intervento anche al fine di programmare la suddivisione geografica delle operazioni delle varie squadre di rilevamento.

L'informatizzazione delle preschede è abbastanza semplice, come semplici sono i programmi di elaborazione per l'evidenziazione di elementi statistici di interesse. Poiché le preschede utilizzate nelle varie Regioni sono leggermente differenti tra loro, si rimanda per maggiori dettagli ai volumi dedicati alla descrizione delle operazioni ed alla presentazione dei risultati relativi ad ogni singola Regione.

## 2. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

V. Petrini

La valutazione della pericolosità sismica è stata effettuata secondo un approccio articolato nelle seguenti fasi (Grandori *et al.*, 1984, 1987):

- a) determinazione della sequenza temporale degli eventi sismici in ognuno dei comuni considerati, ottenuta a partire dai dati contenuti nel catalogo dei terremoti per stimare i risentimenti al sito con opportuni modelli di attenuazione; a tal fine vengono preliminarmente definite aree all'interno delle quali è lecito assumere uno stesso modello di propagazione dell'energia;
- b) determinazione della distribuzione probabilistica dei tempi di intercorrenza tra evento ed evento, al sito, indipendentemente dalla intensità degli eventi stessi, considerando tutti i terremoti risentiti con intensità superiore ad un valore di soglia prefissato  $I_s$ ; tale distribuzione è descritta dalla funzione densità di probabilità  $f_t(t)$ ;
- c) determinazione delle distribuzioni probabilistiche  $F_{I_0}(i)$  dell'intensità epicentrale per l'intera area oggetto dello studio; a tal fine si individuano delle zone all'interno delle quali è lecito supporre che la probabilità che l'intensità epicentrale risulti maggiore di  $i$ , dato il verificarsi di un evento con intensità maggiore o uguale al valore di soglia  $I_{0s}$ , sia indipendente dalle coordinate spaziali;
- d) determinazione della distribuzione probabilistica  $F_I(i)$  delle intensità al sito mediante riduzione della distribuzione delle intensità epicentrali  $F_{I_0}(i)$ , utilizzando gli stessi modelli di propagazione di cui alla fase a);
- e) calcolo, in tutti i comuni interessati, della probabilità di eccedenza  $p(i)$  che si verifichi un evento con intensità  $I > i$  in un assegnato intervallo di tempo  $\Delta t$ ; una relazione empirica tra intensità e accelerazione consente di esprimere la probabilità di eccedenza anche in termini di quest'ultimo parametro.

La procedura adottata comporta l'ipotesi di indipendenza tra la distribuzione dei tempi di intercorrenza e la distribuzione delle intensità; in altri termini il tempo di attesa tra un evento ed il successivo e l'intensità dell'evento stesso sono considerate due variabili aleatorie indipendenti. Si tratta di una ipotesi a rigore non valida per la singola struttura sismogenetica in quanto è ragionevole postulare una relazione tra severità dell'evento e tempo di accumulazione dell'energia di deformazione nella crosta terrestre; in effetti relazioni tra tempi e severità dell'evento sono state constatate in alcuni casi.

Tuttavia, a sostegno della scelta operata in questa applicazione si possono addurre le seguenti considerazioni. La relazione tra tempi di intercorrenza e severità degli eventi è significativa se si mettono in relazione i tempi di attesa

di terremoti generati da una singola struttura sismogenetica con la magnitudo di tali eventi; la complessità geologica del territorio italiano rende, al momento, pressoché impossibile individuare le singole strutture, tanto che la zonazione sismotettonica (GNDT, 1992), che sta alla base di questa analisi, si limita ad individuare delle zone all'interno delle quali è lecito ipotizzare che lo "stile" dell'attività sismogenetica delle singole strutture sia sostanzialmente uniforme.

A ciò si aggiunga che la quasi totalità dei dati sull'attività sismica del passato sono espressi in termini di intensità e non di magnitudo. Nella situazione italiana quindi si tratterebbe di mettere in relazione i tempi di intercorrenza tra gli eventi che si verificano in una zona ritenuta relativamente "omogenea" ed i valori dell'intensità epicentrale che ha caratterizzato gli eventi stessi, valori che dipendono dalla magnitudo, ma anche da un gran numero di altri fattori, tanto da rendere poco affidabili eventuali relazioni tra magnitudo ed intensità: in queste condizioni l'ipotesi di indipendenza pare del tutto ragionevole.

I dati di sismicità, necessari per la valutazione della pericolosità, sono stati estratti dal catalogo dei terremoti del Progetto Finalizzato Geodinamica (Postpischl ed., 1985), nella versione modificata dal gruppo di lavoro macrosismica del GNDT ed attualmente utilizzata dallo stesso GNDT per le valutazioni di pericolosità sismica; in particolare si è fatto riferimento agli eventi con intensità epicentrale  $I_0 \geq VI$  MCS. La scelta del valore di soglia  $I_{0s}$  deriva sia da considerazioni di completezza dei dati del catalogo sia da considerazioni di significatività dell'evento a fini ingegneristici.

## **2.1. Criteri per la definizione delle zone di isoattenuazione e delle zone sismogenetiche**

La procedura utilizzata richiede la definizione preliminare di due classi di zone "omogenee":

- aree per le quali sia verosimile ipotizzare che la propagazione dell'energia avvenga secondo un unico modello per tutti gli eventi con epicentro interno all'area stessa;
- aree per le quali sia possibile assumere una stessa funzione di distribuzione della probabilità di una intensità epicentrale  $I_0$  maggiore di un dato valore  $i$ , dato che si sia verificato un evento con intensità  $I_0$  maggiore di una soglia minima  $I_{0s}$ .

## 2.1.1. Zone "omogenee" per attenuazione

Il modello di propagazione adottato è caratterizzato come di seguito specificato:

- legame intensità - distanza del tipo (*Grandori et al.*, 1987):

$$I_0 - I = \{ \ln [1 + (\psi - 1) (D_i / D_0 - 1) / \psi_0] \} / \ln \psi \quad (1)$$

dove  $I$  è l'intensità al sito,  $I_0$  è l'intensità epicentrale,  $D_i$  è il raggio equivalente dell'isosisma  $i$ -esima (raggio del cerchio di area pari a quella racchiusa dalla  $i$ -esima isosima),  $D_0$  è il raggio equivalente dell'isosisma di massima intensità ed i parametri  $\psi$  e  $\psi_0$  sono dati da :

$$\psi = (D_{i+1} - D_i) / (D_i - D_{i-1}) \quad (2)$$

$$\psi_0 = (D_1 - D_0) / D_0 \quad (3)$$

avendo indicato con  $D_1$  il raggio equivalente dell'isosisma di intensità  $I_0 - 1$ ; i valori di  $D_0$  relativi a differenti intensità epicentrali soddisfano alla condizione :

$$\phi = D_0 (I_0 = j) / D_0 (I_0 = j-1) ; \quad (4)$$

- isosiste di forma circolare o ellittica;
- eventuale eccentricità delle isosiste, in direzione qualsiasi nel caso di isosiste circolari o in direzione di uno degli assi nel caso di isosiste ellittiche.

Nell'ambito di questo studio si sono individuate le undici zone riportate in *Fig. 1* (*Meletti et al.*, 1993); alcune interessano direttamente i territori delle regioni nei quali si è svolta la campagna di valutazione dei livelli di rischio per gli edifici pubblici strategici oggetto di questo studio, mentre altre si riferiscono ad aree limitrofe i cui terremoti possono influenzare la pericolosità di località prossime ai limiti della zona analizzata, per una più corretta valutazione della pericolosità delle zone di bordo del territorio considerato. All'interno di queste zone si assumono valori costanti dei parametri che caratterizzano il modello di propagazione. Alcune zone risultano dall'accorpamento di aree strutturalmente diverse, ma unificate in base a caratteristiche comuni nelle modalità di propagazione dell'energia sismica o in base al fatto che l'energia può propagarsi, prevalentemente, lungo due direzioni tra loro perpendicolari, dando come risultato complessivo un modello di attenuazione pressoché circolare.

I parametri  $\psi$ ,  $\psi_0$  e  $\phi$  sono stati stimati per ogni zona utilizzando le ricostruzioni macrosismiche disponibili, tenendo conto delle considerazioni riportate in altri lavori (*Drei*, 1987; *Meletti et al.*, 1993). Per gli eventi esterni alle zone si assumono caratteristiche di attenuazione derivate da valori medi nazionali (*Iaccarino*, 1973). I valori dei parametri del modello di propagazione relativi alle varie zone sono riportati nella *Tab. 1*.

Oltre al numero della zona ed alle prime quattro colonne, il cui significato è già stato illustrato in precedenza, nella tabella sono contenute le seguenti informazioni:

- $I_0$  intensità epicentrale di riferimento alla quale si riferisce il valore di  $D_0$ ;
- $s$  rapporto fra gli assi delle ellissi utilizzate per rappresentare i modelli di propagazione non circolari; si indica in generale il rapporto tra asse maggiore ed asse minore, tranne nei casi di modelli di propagazione dotati anche di eccentricità, per i quali può verificarsi che tale eccentricità sia nella direzione dell'asse minore: in tal caso si indica l'inverso del rapporto suddetto;
- $\vartheta$  angolo tra il nord e la direzione dell'asse maggiore (o dell'asse minore, nel caso di modelli eccentrici con eccentricità in tale direzione);
- $e$  eccentricità della prima isosista, rapportata alla lunghezza del raggio corrispondente (raggio della prima isosista nella direzione dell'eccentricità);
- $e'$  eccentricità dell' $i$ -esima isosista, rapportata al corrispondente raggio.

Tabella 1									
VALORI DEI PARAMETRI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE									
ZONA	$\psi_0$	$\psi$	$\varphi$	$D_0$	$I_0$	$s$	$\vartheta$	$e$	$e'$
10a	1.3	1.6	0.8	9.4	8	1.0	0	.0	.0
11	1.0	1.7	1.2	9.0	9	0.7	30	.1	.3
12	1.0	1.7	1.1	8.0	8	1.1	0	.1	.3
13	1.3	1.7	1.0	6.0	9	1.0	20	.1	.2
14	1.0	1.6	0.9	9.0	9	1.5	120	.0	.0
15	0.8	2.1	0.9	8.0	9	0.8	60	.0	.1
16	0.8	2.1	1.0	8.0	9	1.5	0	.0	.2
17	1.3	1.6	1.0	6.0	9	1.5	0	.0	.2
17a	.7	1.3	1.0	6.5	9	1.0	0	.0	.0
18	1.8	1.5	1.0	5.5	9	1.7	135	.0	.2
19	.9	1.8	1.4	8.0	11	1.6	130	.0	.1
—	1.3	1.6	1.0	5.6	8	1.00	0	.0	.0

Nelle Figg. da 2 a 12 (Meletti et al, 1993) sono rappresentati, zona per zona, gli andamenti delle attenuazioni, in funzione della distanza, per diversi valori dell'intensità epicentrale. Le curve riportate sono tutte relative al caso di modello di propagazione circolare e senza eccentricità; l'influenza dell'ellitticità e dell'eccentricità è rappresentata in Fig. 1, nella quale si sono indicati per ogni zona i modelli di attenuazione relativi ad una intensità epicentrale  $I_0 = IX$  MCS.

Nella Fig. 13, infine, è riportato il modello di attenuazione utilizzato per tutti gli eventi con epicentro esterno alle undici zone sopra citate.

### 2.1.2. Zone "omogenee" per distribuzione dell'intensità epicentrale

Come già anticipato, la procedura utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica richiede che si individuino le aree per le quali è possibile assumere una stessa funzione di distribuzione per la probabilità che si abbia una intensità epicentrale  $I_o$  maggiore di un dato valore  $i$ , dato che si sia verificato un evento con intensità  $I_o$  maggiore di una soglia minima  $I_s$ . A tal fine sono state considerate le zone indicate nella Fig. 14, ricavate dalla Zonazione sismogenetica del territorio nazionale (GNDT, 1992).

La sismicità di ogni zona è definita tramite la distribuzione probabilistica delle intensità epicentrali; a tal fine si suppone che, in ognuna di esse, la funzione di distribuzione delle intensità, dato un evento di intensità maggiore del valore di soglia  $I_s$  -  $\text{prob} \{I_o > i / I_o > I_s\}$  -, sia indipendente dalle coordinate spaziali e possa assumere una delle seguenti forme:

$$1-F_{I_o}(i) = \exp [-\alpha (i-I_s)] \quad (5)$$

$$1-F_{I_o}(i) = \exp [\exp (\alpha I_s) - \exp (\alpha i)] \quad (6)$$

$$1-F_{I_o}(i) = \exp [\exp (\alpha I_s + \beta) - \exp (\alpha i + \beta)] \quad (7)$$

con  $I_s = VI$  MCS.

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$  che compaiono nelle (5), (6) e (7) sono stati stimati mediante regressione utilizzando, per ogni zona, un insieme di dati ottenuto a partire dal catalogo con la procedura di seguito precisata. Si è proceduto innanzi tutto ad un filtraggio delle repliche e delle scosse premonitrici mediante una finestra spaziale di 30 km di raggio ed una finestra temporale di 6 mesi; si sono successivamente selezionati, zona per zona:

- tutti gli eventi con  $I_o \geq X$  grado MCS dall'anno mille in poi
- tutti gli eventi con  $I_o$  compreso tra VIII e IX dal 1680 in poi
- tutti gli eventi con  $I_o$  compreso tra VI e VII dal 1780 in poi;

i valori di intensità epicentrale riportati in catalogo con incertezza tra due gradi sono stati arrotondati al grado inferiore.

Una prima analisi, effettuata su ognuna delle zone di Fig. 14 prese singolarmente, ha dato i risultati riportati nella Tab. 2, dove sono indicati, per ogni zona, il numero di eventi  $n$ , la massima intensità  $I_m$ , il numero medio annuo

di eventi normalizzato ad un'area di 10000 km<sup>2</sup>,  $\lambda$ , il valore del coefficiente  $\alpha$  della (5), il valore dello stesso coefficiente per la (6); nell'ultima colonna, infine, si è indicata l'equazione che meglio si adatta ai dati.

Tabella 2						
VALORI DEI PARAMETRI DELLE DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ DELL'INTENSITÀ EPICENTRALE $F_{IO}(I)$ PER LE SINGOLE ZONE.						
ZONE	n	$I_m$	$\lambda$	$\alpha$ (5)	$\alpha$ (6)	eq
19	9	8	.0447	.8632	.20584	(6)
20	4	8	.0559	.8260	.20377	(7)
21	20	9	.3536	.9065	.20466	(5)
22	21	8	.2648	1.0590	.22321	(7)
23	30	8	.3458	1.6877	.26503	(7)
24	9	9	.3814	.9597	.21035	(5)
25	17	9	.4683	1.0366	.21456	(7)
26	10	7	.1603	.5108	.16952	(5)
27	34	9	.4083	.8931	.20224	(7)
28	35	9	.2803	1.3657	.23886	(5)
28a	31	9	.3132	1.1482	.22185	(7)
29	140	10	.5009	1.1005	.21121	(7)
30	46	9	.1858	1.2375	.22760	(7)
31	29	8	.6058	1.0365	.22164	(7)
32	32	8	.6571	1.2044	.23488	(7)
33	11	11	.2169	.7833	.18330	(5)
34	21	10	.4392	.9948	.20467	(6)

Come si può notare, la (7) dà i migliori risultati in dieci casi; per cinque zone, tuttavia, è la (5) che meglio si adatta ai dati, mentre in due zone la forma migliore risulta essere la (6). Va tuttavia osservato che la buona adattabilità della (7) deriva dalla sua eccessiva flessibilità che le consente di seguire anche andamenti piuttosto irregolari dei dati, che si presentano soprattutto quando il numero di eventi è limitato e le massime intensità sono basse: il che si verifica abbastanza spesso quando si considerano aree di dimensioni relativamente ridotte, come quelle delle zone prese singolarmente, in parti del territorio nazionale a moderata sismicità.

Analoghe analisi, effettuate per l'intero territorio nazionale, hanno mostrato che la funzione di distribuzione delle intensità tende ad essere abbastanza stabile per aree relativamente estese; ciò suggerisce di raggruppare le zone

in classi sia sulla scorta di considerazioni sismotettoniche, sia in base ai valori della intensità massima e dei parametri della (5) e della (6).

Si è ritenuto opportuno non considerare, nella definizione dei raggruppamenti, i valori dei parametri della (7): questa relazione, infatti, essendo molto più flessibile delle altre due può dare indicazioni fuorvianti nel caso di zone con pochi eventi e con intensità massime non superiori al VII grado.

Con riferimento alle otto classi definite per l'intero territorio nazionale, le diciassette zone di *Tab.2*, sono state incluse nelle classi 1,2,3,5,6,7 e 8. Nella prima classe, caratterizzata dall'assenza di eventi con alta intensità e da elevati valori del parametro  $\alpha$  delle equazioni (5) e (6), ricade la zona 23; nella seconda sono state considerate le zone 22, 31, e 32, che mostrano bassi valori dell'intensità massima e valori relativamente bassi del parametro  $\alpha$ ; le zone 19, 20 e 26, caratterizzate da basse intensità e bassi valori del parametro sono state incluse nella terza classe; nella quinta classe, con valori intermedi dell'intensità massima e con alti valori del parametro, sono raccolte le zone 28, 28a e 30; le zone 24, 25 e 29 sono state incluse nella sesta classe, caratterizzata da elevati valori di intensità e da alti valori del parametro; le zone 21 e 27, caratterizzate da valori intermedi dell'intensità massima e del parametro sono state assegnate alla settima classe; l'ottava classe infine comprende le zone 33 e 34, contraddistinte da alti valori dell'intensità e da bassi valori del parametro  $\alpha$ .

Per ognuna delle classi si è nuovamente proceduto alla stima dei parametri delle (5), (6) e (7), considerando tutti gli eventi interni alle varie zone accorpate: si è ottenuto che per la prima, la seconda, la terza, la quinta e l'ottava classe i migliori risultati si ottengono con la (7), mentre per la quarta, la sesta e la settima è preferibile la (6).

I valori dei corrispondenti parametri  $\alpha$  e  $\beta$  sono riportati nella *Tab.3*, insieme al numero di eventi utilizzati per stimarli ed alla corrispondente intensità massima; nelle *Figg. 15 e 16* sono mostrate le distribuzioni relative alle varie classi.

Nella *Tab. 3* sono riportati anche i valori dei parametri della  $F_{10}(i)$  utilizzata per tener conto della sismicità minore, distribuita nelle restanti parti del territorio esaminato.

Anche per queste si adotta la forma 7; il valore di  $I$  è risultato pari a 0.0186 (*Meletti et al.*, 1993).

In conclusione, quindi, la sismicità della zona, per quanto riguarda la distribuzione probabilistica delle intensità epicentrali, è caratterizzata dalle espressioni (5) o (7), con i valori dei parametri riportati per ogni accorpamento di zone in *Tab.3*; la maggiore o minore attività di una zona rispetto ad un'altra è misurata dai valori di  $\lambda$  riportati nella *Tab. 2* e, per le zone esterne, dal valore indicato poco sopra.

Tabella 3					
VALORI DEI PARAMETRI DELLE DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ DELL'INTENSITÀ EPICENTRALE $F_{10}(I)$ PER I GRUPPI DI ZONE.					
CLASSE	n	$I_m$	$\alpha$	$\beta$	eq
1	63	8	.83850	-5.2678	(7)
2	96	8	.96910	-6.6969	(7)
3	92	8	.74447	-5.0468	(7)
4	64	9	.17129	—	(6)
5	106	9	.36373	-1.4810	(7)
6	360	11	.21167	—	(6)
7	134	9	.20078	—	(6)
8	183	11	.05491	-2.2900	(7)
Zone esterne	202	9	.94275	-6.2942	(7)

## 2.2. Modellazione probabilistica della pericolosità sismica.

In letteratura sono disponibili numerosi metodi per la determinazione della pericolosità sismica in un sito, metodi che tentano di ovviare in vari modi alla scarsità di dati dovuta al fatto che i terremoti in un singolo sito sono eventi fortunatamente abbastanza rari; i risultati che si ottengono possono, tuttavia, variare in modo anche molto significativo da metodo a metodo (*Mayer-Rosa e Schenk, 1989*). I metodi più diffusi si basano sulla individuazione di zone o strutture sismogenetiche "omogenee" all'interno delle quali si ipotizza una distribuzione spaziale uniforme delle sorgenti (*Cornell, 1968; McGuire, 1976*); una volta caratterizzata la sismicità di tali zone si ricava direttamente la distribuzione degli eventi al sito in termini di tempi di attesa e di intensità. È stato mostrato (*Grandori et al., 1991*) che l'ipotesi di omogeneità, raramente verificata nella realtà soprattutto nel caso di geologie complesse, può portare ad errori molto elevati nella stima della pericolosità al sito. Per questi motivi si è preferito seguire la procedura delineata in precedenza (*Grandori et al., 1984, 1987*) che si è dimostrata meno sensibile agli errori derivanti dalla scarsità di dati.

La procedura prevede la determinazione diretta della serie temporale delle scosse avvertite al sito a partire dai dati del catalogo, facendo uso dei modelli di propagazione descritti al paragrafo 2.1.1; si ricava quindi la sequenza dei tempi di intercorrenza tra evento e evento; questo passaggio potrà essere almeno in parte evitato quando saranno disponibili in quantità sufficiente dati sui risentimenti che potranno fornire direttamente la serie temporale che ora viene ricavata mediante i modelli di attenuazione.

La derivazione diretta dei periodi di ritorno relativi alle varie intensità al sito mediante elaborazioni statistiche delle serie temporali è praticamente impossibile, nella maggior parte dei casi, data l'esiguità del numero di eventi avvertiti nelle singole località con intensità elevate; si ricorre, pertanto, a modelli probabilistici della distribuzione dei tempi di intercorrenza al sito, stimando i parametri del modello in base alle serie temporali precedentemente ricavate: per questa operazione si considerano tutti gli eventi avvertiti con intensità maggiore o uguale al valore di soglia  $I_s$ , assunto anche per i singoli siti pari al VI grado MCS. , indipendentemente dalla loro intensità.

Si determina la distribuzione delle intensità al sito  $F_I(i)$ , utilizzando gli stessi modelli di attenuazione usati per determinare le serie temporali, le zone sismogenetiche e le distribuzioni  $F_{I_0}(i)$ , definite al paragrafo 2.1.2; in questo caso le zone sono considerate "omogenee", nel senso dell'indipendenza della  $F_{I_0}$  dalle coordinate spaziali, all'interno di ogni zona.

### 2.2.1. Distribuzione probabilistica dei tempi di intercorrenza degli eventi al sito.

La distribuzione probabilistica dei tempi di intercorrenza è rappresentata da un "processo di rinnovo" avente una assegnata funzione densità di probabilità  $f_\tau(t)$ : nota tale funzione, infatti, la probabilità che il tempo di intercorrenza  $\tau$ , tra un terremoto ed il successivo, sia compreso tra i valori  $t$  e  $t+dt$  è data da  $f_\tau(t)dt$ . Per la scelta della funzione  $f_\tau$  vanno tenute presenti le seguenti considerazioni:

- se si è all'interno di una crisi sismica il tempo di attesa tra un evento ed il successivo sarà in genere breve; il "rischio immediato" - definito come la probabilità che si verifichi un evento tra l'istante  $t$  e l'istante  $t+dt$ , dato che non si è verificato fino all'istante  $t$  - sarà decrescente, per lo meno da un certo tempo in poi, ciò in quanto la crisi sismica è un fenomeno che tende ad esaurirsi;
- se invece la crisi è ultimata sarà necessario attendere un tempo relativamente lungo prima che si verifichi un nuovo terremoto ed il rischio immediato è in genere crescente al trascorrere del tempo, tendendo eventualmente ad un valore asintotico.

I due comportamenti citati possono essere descritti utilizzando una funzione densità di probabilità ottenuta come combinazione di due diverse funzioni; la prima,  $f_1(t)$ , con valore medio piccolo, rappresentativa degli eventi interni alla crisi, la seconda,  $f_2(t)$ , con valore medio adeguatamente elevato, atta a rappresentare gli intervalli tra crisi e crisi. Si è assunta, quindi, una funzione densità di probabilità così definita:

$$f_\tau = p f_1(t) + (1-p) f_2(t) \quad (8)$$

Detto in parole ciò significa assumere che, dopo il verificarsi di un terremoto, il prossimo evento sarà:

- o di tipo ravvicinato (interno a una crisi sismica e con probabilità  $p$ ) e in tal caso  $f_1(t)dt$  esprime la probabilità che il tempo di attesa del prossimo evento sia compreso tra  $t$  e  $t + dt$ ;
- o di tipo a lungo termine (quando la crisi sismica è finita, con probabilità complementare  $1-p$ ) e in tal caso  $f_2(t)dt$  esprime la probabilità che il tempo di attesa sia compreso tra  $t$  e  $t + dt$ .

Le funzioni  $f_1$  e  $f_2$  sono in genere diverse da sito a sito in quanto dipendono dalle specifiche caratteristiche delle serie temporali degli eventi; esse vengono scelte, al momento dell'elaborazione, in una libreria comprendente le seguenti distribuzioni: esponenziale, lognormale, Weibull e Gamma. Nella maggior parte delle località si è usata una combinazione di una distribuzione di Weibull con parametro di forma  $a_w > 1$  con una distribuzione Gamma anch'essa con parametro di forma  $a_r > 1$ ; tale scelta è dovuta alle caratteristiche di tali distribuzioni che ben si prestano a rappresentare il duplice comportamento descritto poco sopra (Guagenti et al., 1988). In alcuni casi, in particolare nei siti meno sismici caratterizzati da un esiguo numero di risentimenti nell'intervallo temporale considerato, si è posto  $p = 1$  e si è adottata una distribuzione di tipo esponenziale o di tipo Gamma; la scelta tra queste due funzioni viene effettuata in funzione del coefficiente di variazione del campione di dati.

La (8) può assumere, quindi, una delle seguenti forme:

$$f_\tau(t) = p a_w \rho_w (\rho_w a_w)^{a_w-1} \exp[-(\rho_w t)^{a_w}] + (1-p) \frac{\rho_r^{a_r} t^{a_r-1} \exp(-\rho_r t)}{\Gamma(a_r)} \quad (9)$$

$$f_\tau(t) = \frac{\rho^a t^{a-1} \exp(-\rho t)}{\Gamma(a)} \quad (10)$$

$$f_\tau(t) = \rho \exp(-\rho t) \quad (11)$$

I valori di  $p$  e dei parametri delle distribuzioni vengono stimati dai dati con il metodo della massima verosimiglianza, imponendo come vincolo che la media della distribuzione risultante coincida con la media del campione. Ciò comporta, nel caso della (9), che sia verificata la relazione:

$$\mu = p\mu_1 + (1-p)\mu_2 = \mu_c \quad (12)$$

dove si è indicato rispettivamente con  $\mu$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  la media della combinata e le medie delle due distribuzioni e con  $\mu_c$  la media del campione e dove:

$$\mu_1 = \Gamma (1+1/a_w) / \rho_w$$

$$\mu_2 = a_r / \rho_r$$

Per le forme (10) e (11) la condizione (12) si riduce a:

$$\mu_c = a / \rho \quad (13)$$

$$\mu_c = 1/\rho \quad (14)$$

Per la stima dei parametri delle distribuzioni dei tempi di intercorrenza si sono considerati tutti gli eventi del catalogo nel periodo 1680 - 1980, con intensità epicentrale maggiore del valore di soglia; la scelta di tale intervallo temporale appare giustificata se si considera che l'obiettivo di questa analisi è quello di effettuare stime di rischio per i prossimi decenni, da assumere come base per eventuali politiche di riduzione del rischio stesso. In questo contesto un intervallo di tre secoli di storia sismica si può considerare sufficiente per ottenere stime affidabili; d'altro lato il considerare periodi di tempo più lunghi comporta l'inserimento nelle elaborazioni di periodi storici per i quali le incertezze sulla qualità dei dati, soprattutto per le intensità meno elevate, sono molto maggiori.

Va osservato, infine, che, per la valutazione della distribuzione dei tempi di intercorrenza, non è possibile operare come si è fatto per il calcolo delle  $F_{10}$ ; in quel caso si sono considerati intervalli di tempo diversi per le diverse intensità epicentrali, mentre ora è necessario mettere in conto tutti gli eventi perché il dato di partenza per le elaborazioni è l'intervallo di tempo tra un evento ed il successivo a prescindere dall'intensità degli stessi eventi.

A titolo esemplificativo, nelle *Figg. 17 e 18* sono riportate le distribuzioni dei tempi di intercorrenza per due località scelte tra quelle con un basso ed un alto numero di dati rispettivamente.

### 2.2.2. Distribuzione probabilistica delle intensità.

La funzione di distribuzione delle intensità al sito  $F_I(i)$ , come già accennato, è stata ricavata, per ogni comune, dalle distribuzioni  $F_{10}$ , definite al paragrafo 2.1.2, utilizzando i modelli di propagazione descritti al paragrafo 2.1.1. Infatti, grazie all'ipotesi di indipendenza dalle coordinate spaziali della  $F_{10}(i)$  ed ipotizzando che la densità di eventi sia uniforme all'interno di ognuna delle zone sismogenetiche, è possibile suddividere tali zone in areole elementari, attribuendo ad ogni areola un numero di terremoti proporzionale alle dimensioni dell'areola stessa; si valuta quindi, per ogni sito, il numero di eventi aventi origine nelle singole areole e risentiti al sito con intensità non inferiore al valore di soglia  $I_s$ ; le distribuzioni discrete, ottenute sommando i contributi di tutte le areole, sono state interpolate con funzioni del tipo:

$$1-F_1(i) = \exp[-\alpha(i-I_s)] \quad (15)$$

$$1-F_1(i) = \exp[\exp(\alpha I_s) - \exp(\alpha i)] \quad (16)$$

$$1-F_1(i) = \exp[\exp(\alpha I_s + \beta) \exp(\alpha i + \beta)] \quad (17)$$

con  $I_s = VI \text{ MCS}$ .

Sito per sito si è scelta la distribuzione che dà luogo ai minori scarti tra i dati e la funzione interpolante. Si è infine valutata l'influenza della sismicità diffusa di basso livello considerando tre siti, il primo all'interno di una delle zone, il secondo prossimo ad almeno due di tali zone ed il terzo il più lontano possibile dalle zone stesse; la stima dei parametri delle tre distribuzioni è stata ripetuta per i tre siti, sia considerando, sia trascurando, per ogni sito, il contributo di una zona circolare centrata sul sito e caratterizzata da una distribuzione  $F_{10}$  con i parametri indicati all'ultima riga della *Tab. 3*.

Sulla scorta di tale indagine, si è deciso di considerare, nelle successive analisi, il contributo dell'attività sismica diffusa solo per le località situate al di fuori delle zone sismogenetiche, in quanto tale contributo è del tutto trascurabile per i siti interni alle zone; a rigore il contributo della sismicità diffusa è risultato trascurabile anche per le località poste in prossimità dei bordi delle zone: non si è ritenuto, tuttavia, di distinguere tra siti prossimi e siti lontani per semplificare le elaborazioni numeriche.

La decisione di adottare, per descrivere la distribuzione delle intensità al sito, anche la forma (17), nonostante la sua elevata flessibilità, deriva dal fatto che non si può presentare il caso di dover stimare i parametri della stessa a partire da due o tre punti soltanto: il tipo di procedura adottata, infatti, garantisce in qualsiasi sito dei valori di  $F$  non nulli, anche se a volte molto piccoli, per tutte le intensità.

### 2.3. Calcolo della probabilità di eccedenza

Le funzioni  $f_t(t)$  e  $F_1(i)$  descrivono compiutamente la pericolosità di ogni singolo sito, qualora si ritenga inesistente o molto debole la correlazione tra tempi di intercorrenza ed intensità; la prima contiene le informazioni sui tempi di attesa tra evento ed evento, la seconda quelle sull'intensità degli eventi. Da queste è possibile derivare una serie di grandezze particolarmente utili per descrivere e confrontare la pericolosità dei vari siti; esse sono (*Guagenti e Molina, 1984; Guagenti et al., 1985; Guagenti et al., 1988a; Guagenti et al., 1988b*):

- la probabilità che il tempo di intercorrenza sia minore o uguale a  $t$ ,  $F_\tau(t)$

$$F_\tau = \int_0^t f_\tau(x) dx; \quad (18)$$

- la probabilità che il tempo di attesa del primo evento con intensità  $I \geq I_s$  a partire dall'istante nel quale si valuta la pericolosità, sia compreso tra  $t$  e  $t+dt$ , dato che è trascorso un tempo  $t_0$  dall'ultimo evento verificatosi al sito

$$P\{\text{primo evento con } I \geq I_s \text{ in } t, t+dt / t_0\} = f_\tau(t, t_0) dt$$

dove:

$$f_\tau(t, t_0) = \frac{f_\tau(t+t_0)}{1-F_\tau(t_0)}; \quad (19)$$

- la probabilità che il tempo di attesa del primo evento con  $I \geq I_s$ , a partire dall'istante nel quale si valuta la pericolosità, sia compreso tra  $t$  e  $t+dt$ , dato che è trascorso un tempo  $t_0$  dall'ultimo evento verificatosi al sito

$$P\{\text{primo evento con } I \geq I_s \text{ in } t, t+dt / t_0\} = {}_f\varphi_\tau(t, t_0) dt$$

dove:

$${}_f\varphi_\tau(t, t_0, p) = p f_\tau(t, t_0) + (1-p) \int_0^t f_\tau(t-u, t_0) \varphi_\tau(u) du \quad (20)$$

Nella (20) si è indicata con  $p$  la probabilità  $P\{I \geq I_s\} = 1 - F_I(I_s)$ ; la funzione  $\varphi_\tau$  che compare nell'integrale a secondo membro della (20) si ricava agevolmente dalla (20) stessa, ponendo  $t_0 = 0$ ; si ottiene:

$$\varphi_\tau(t; p) = p f_\tau(t) + (1-p) \int_0^t f_\tau(t-u) \varphi_\tau(u) du$$

La (20) è la formulazione matematica della seguente affermazione: il prossimo evento di intensità  $I \geq I_s$  può essere il primo evento in assoluto e verificarsi nell'intervallo di tempo  $(t, t+dt)$  oppure il primo evento è di intensità  $< I_s$  e si verifica ad un istante  $t-u$  e quindi deve passare un tempo  $u$  prima che accada per la prima volta un terremoto con intensità  $\geq I_s$ ;

- la probabilità che il primo evento con  $I \geq I_s$  si verifichi entro un tempo  $t$ , dato che è trascorso un tempo  $t_0$  dall'ultimo evento verificatosi al sito

$$P\{\text{primo evento con } I \geq I_s \text{ entro } t / t_0\} =$$

$$= {}_fF_\tau(t, t_0) = \int_0^t f_\tau(u, t_0) du = \frac{F_\tau(t+t_0) - F_\tau(t_0)}{1-F_\tau(t_0)}; \quad (21)$$

- la probabilità che il primo evento con  $I \geq I_s$  si verifichi entro un tempo  $t$ , dato che è trascorso un tempo  $t_0$  dall'ultimo evento verificatosi al sito

$$P \{ \text{primo evento con } I \geq I_s \text{ entro } t / t_0 \} = \quad (22)$$

$$= {}_f\Phi_\tau(t; t_0) = \int_0^t {}_f\phi_\tau(u; t_0, p) du$$

È facile constatare che le probabilità definite dalle (19), (20), (21) e (22) dipendono dal tempo trascorso dal verificarsi dell'ultimo evento ( $t_0$ ); in altri termini, il processo utilizzato per rappresentare l'occorrenza dei terremoti in un sito è di tipo non-poissoniano e dotato di memoria, anche se tale memoria è solo parziale in quanto riguarda l'ultimo evento e non i precedenti. Le stesse relazioni consentono tuttavia di trattare anche processi di tipo poissoniano, privi di memoria; nel caso ad esempio di una distribuzione  $f_t$  di tipo esponenziale, le citate relazioni si riducono a:

$${}_f f_\tau(t, t_0) = p \exp(-pt)$$

$${}_p\phi_\tau(t, t_0) = pp \exp(-ppt)$$

$${}_f F_\tau(t, t_0) = 1 - \exp(-pt)$$

$${}_f\Phi_p(t, t_0) = 1 - \exp(-ppt)$$

Nella (20) compare l'integrale di convoluzione tra le funzioni  ${}_f f_\tau$  e  ${}_p\phi_p$ ; tale integrale può essere calcolato facendo ricorso alle trasformate di Fourier o di Laplace. Si è scelto il secondo tipo di trasformata nei casi di distribuzioni  $f_t$  per le quali è abbastanza agevole individuare la soluzione in forma chiusa; si è invece fatto ricorso alla trasformata di Fourier discreta, mediante la tecnica della "Fast Fourier Transform", in tutti gli altri casi.

Nelle *Figg. 19 e 20* sono riportate le curve di livello della probabilità di eccedenza del VIII e del X grado MCS in 50 anni; esse sono state ottenute applicando le relazioni sopra riportate ed immaginando di aver effettuato le valutazioni nel 1981, immediatamente a valle dell'ultimo anno considerato nel catalogo del Progetto Finalizzato Geodinamica.

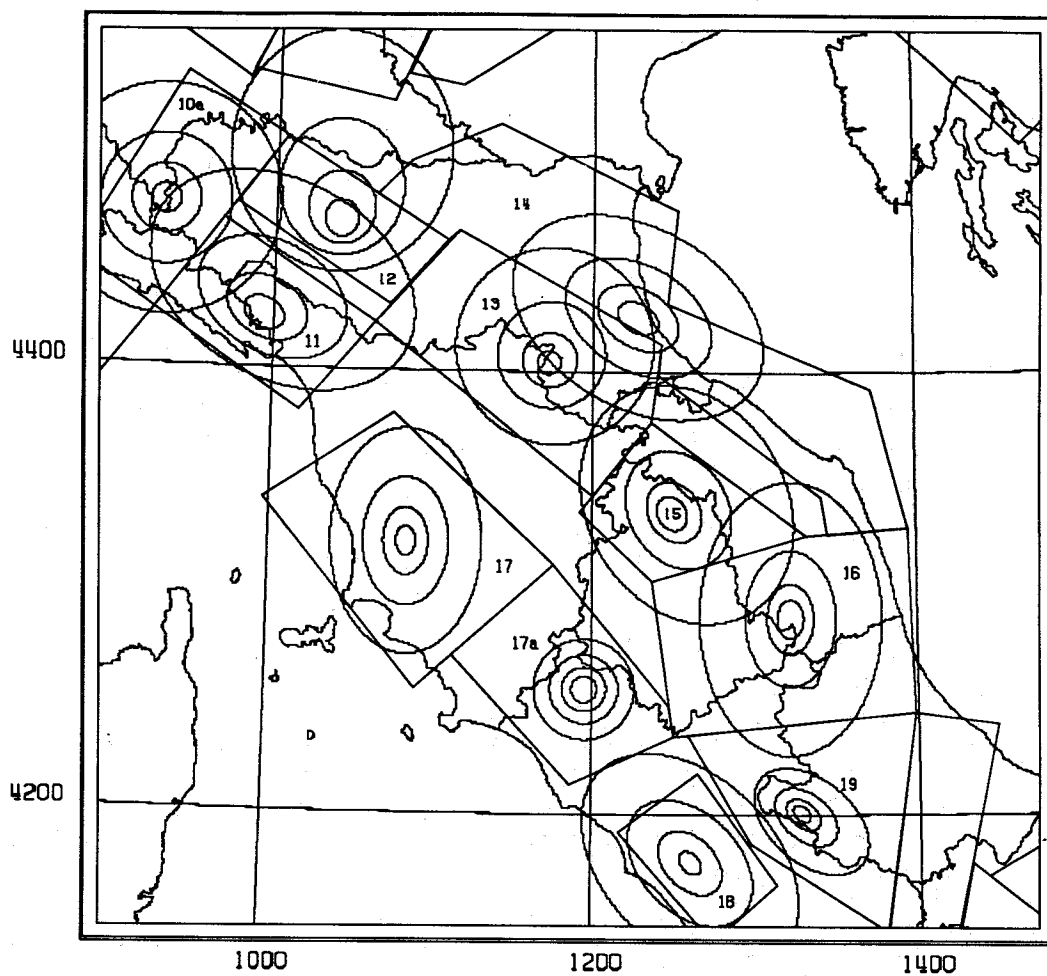
Nel caso di processi non-poissoniani non è più lecito, a rigore, parlare di periodo di ritorno nella consueta accezione di periodo di tempo nel quale sia pari a 1 il numero medio di eventi, ma esso va definito come valor medio dei tempi di intercorrenza. Tuttavia, il periodo di ritorno riacquista anche il significato classico, purché siano verificate alcune condizioni; il periodo di ritorno  $T_I$  di un terremoto di intensità  $I \geq i$  ha ancora significato se si è interessati ad applicazioni che prevedono un ingresso casuale nel processo temporale degli eventi. Un simile caso di pratico interesse si verifica, ad esempio, quando si vogliono valutare i livelli di rischio associati a certi livelli di severità della normativa per

la progettazione di nuove costruzioni: le prescrizioni della norma, infatti, si applicano ad una molteplicità di costruzioni che verranno realizzate in tempi diversi, non noti a priori e dipendenti da decisioni autonome di singoli operatori.

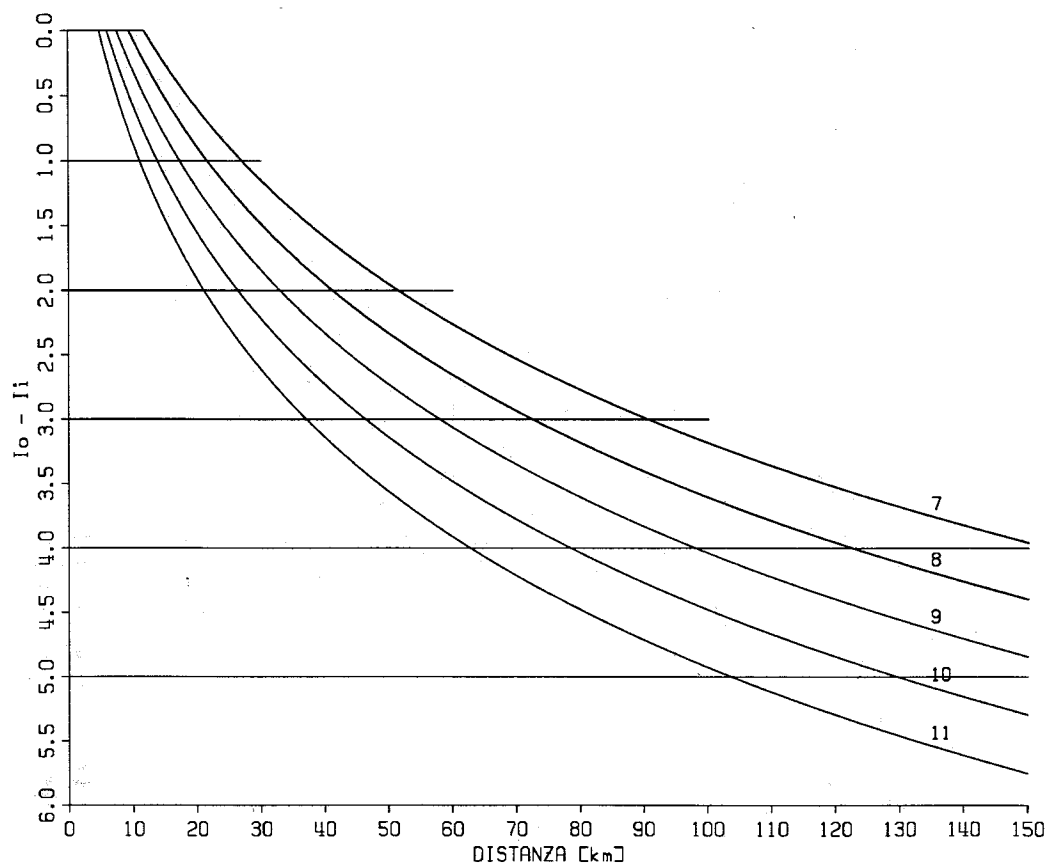
---

### Riferimenti bibliografici

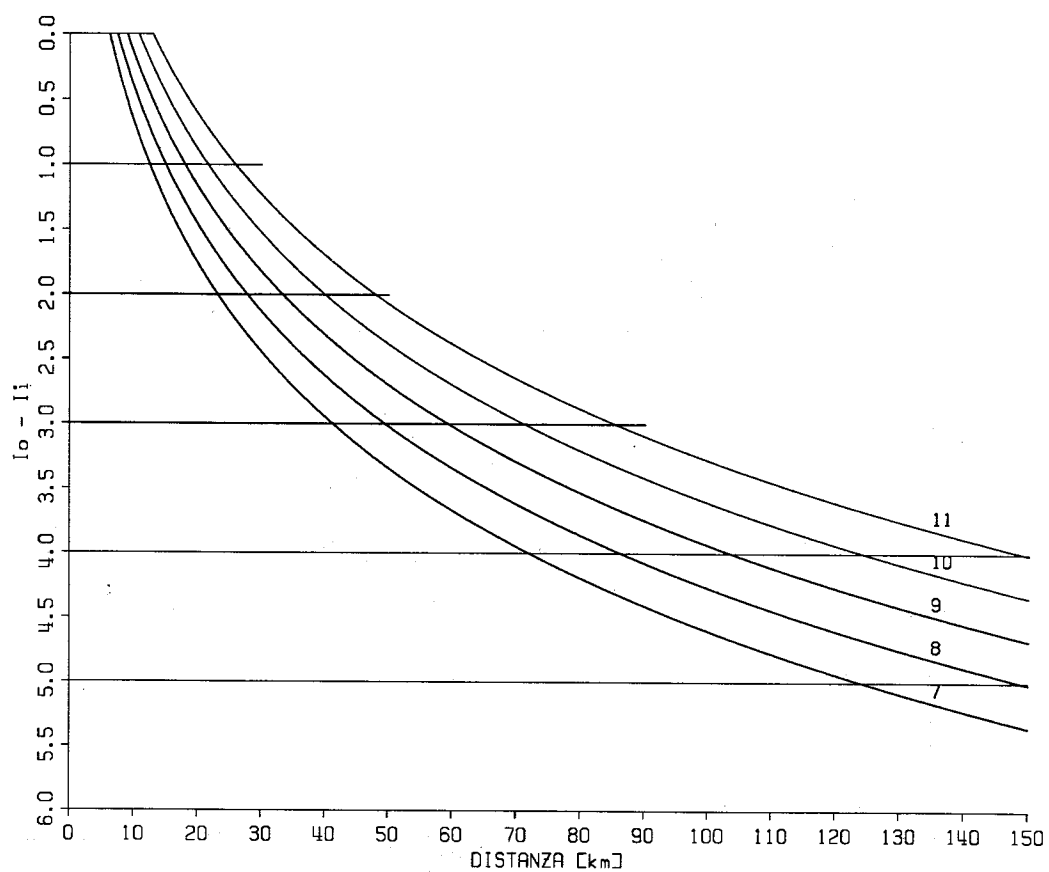
1. Cornell C. A., 1968 , *Engineering Seismic Risk Analysis*, Bull. Seism. Soc. Am., 67,4.
2. Drei A., 1987, *Parametri di attenuazione macrosismica per la regione Toscana. Allegato allo stato di avanzamento delle ricerche previste dalla convenzione tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano*.
3. G.N.D.T., 1992, *Zonazione sismogenetica del territorio nazionale*.
4. Grandori G., Guagenti E., Petrini V., 1984, *On the Use of Renewal Processes in Seismic Hazard Analysis*, Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engineering, 1, San Francisco: 287-294.
5. Grandori G., Perotti F., Tagliani A., 1987, *On the Attenuation of Macroseismic Intensity with Epicentral Distance*, Ground Motion and Engineering Seismology, A.S. Cakmak Ed., Elsevier.
6. Grandori G., Garavaglia E., Petrini V., 1991, *Analysis of Some of the Uncertainties in the Statistical Elaboration of Historical Data for Local Seismic Hazard Evaluation*, Proc. 6th International Conf. on Application of Statistic and Probability in Civil Engineering, Mexico City.
7. Guagenti E., Molina C., 1984, *Semi-Markov Processes in Seismic Risk Analysis*, Int. Symp. on Semi-Markov Processes and their Applications, Brussels.
8. Guagenti E., Molina C., Tagliani A., 1985, *Waiting Times, Return Periods and Damage Costs in Semi-Markov Models of earthquake Occurrences*, Int. Conf. on Reconstruction, Restauration and urban Planning in Seismic Prone Areas, Skopje.
9. Guagenti E., Molina C., Mulas G., 1988, *Seismic Risk Analysis with Predictable Models*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16: 343-359.
10. Guagenti E., Petrini V., Drei A., 1988, *Rischio Sismico Locale in Ipotesi Non-poissoniana: Confronto tra Siti*, AIMETA 88, Bari: 663-666.
11. Iaccarino E., 1973, *Probabilità della scossa di IX grado in Italia*, CNEN, RT/PROT(73) 40, Roma.
12. Mayer-Rosa D., Schenk V., 1989, *TERESA*, Journal of the Int. Soc. for the Prevention and Mitigation of natural Hazard, Special Issue.
13. McGuire R., 1976, *FORTTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis*, U.S. Geological Survey, Open-File Report, 76-77.
14. Meletti C., Petrini V., Scandone P., 1993, *Pericolosità sismica e prime valutazioni di rischio in Toscana*, in stampa.
15. Postpischl D. (ed.), 1985, *Catalogo dei Terremoti Italiani dall'Anno 1000 al 1980*. Roma: CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica.



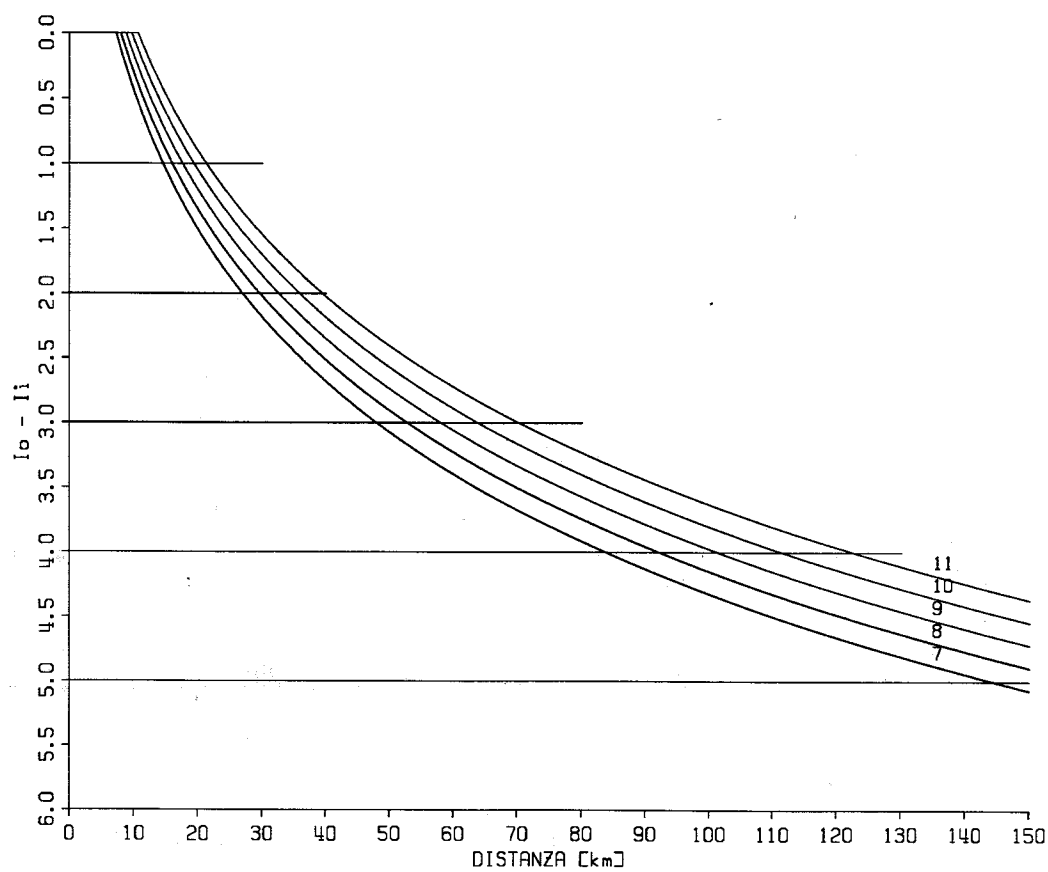
**Fig. 1** Zone di iso-attenuazione e corrispondenti modelli di propagazione.



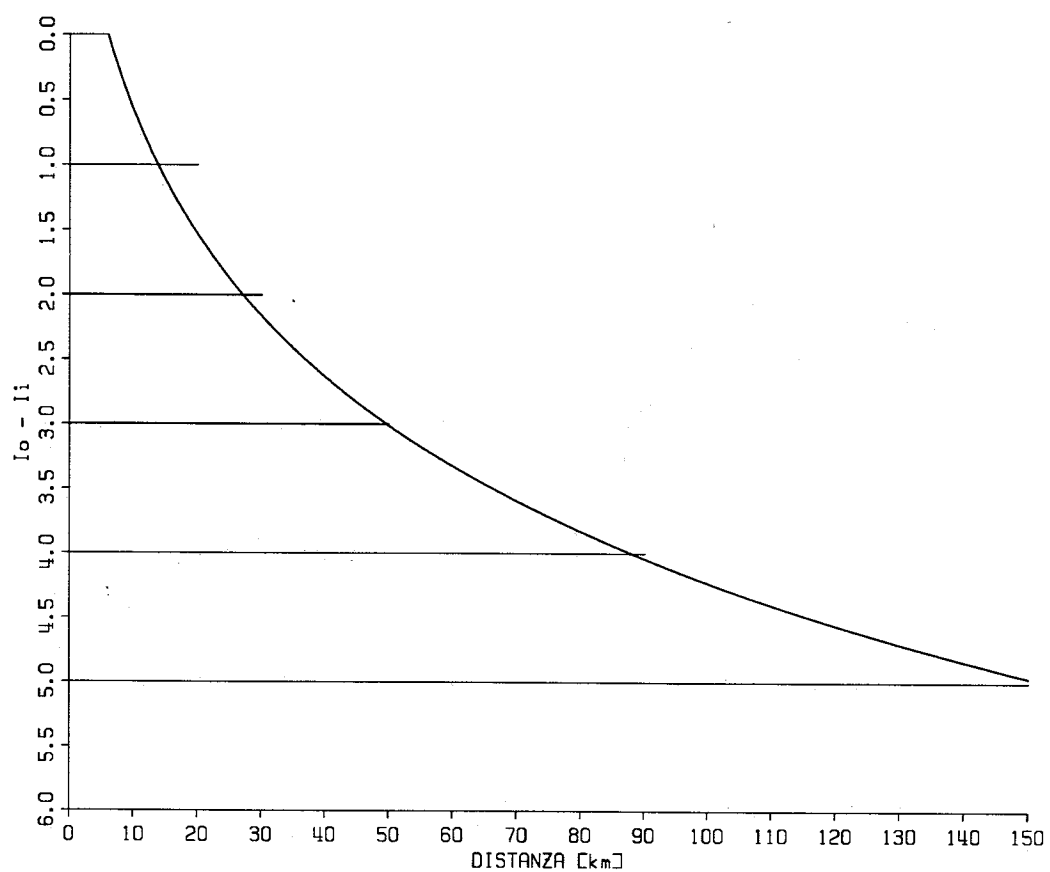
**Fig. 2** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza e dell'intensità epicentrale. Zona 10a - Liguria orientale - Piacentino.



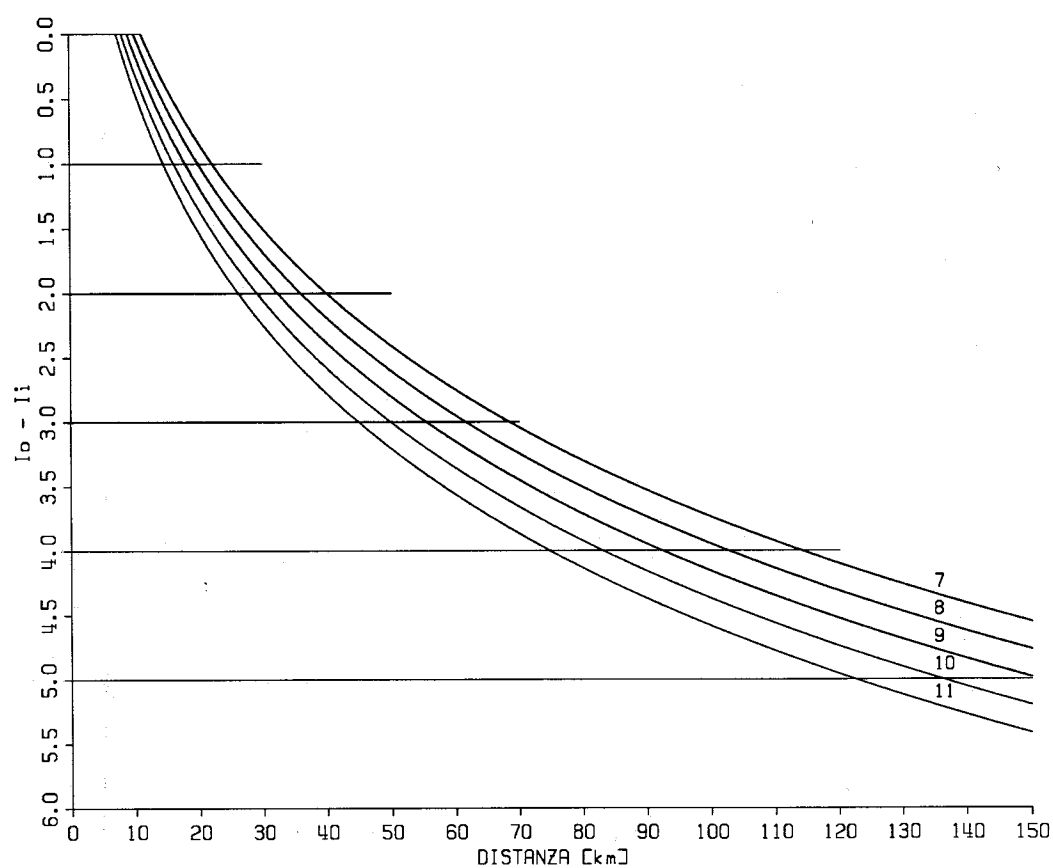
**Fig. 3** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza e dell'intensità epicentrale. Zona 11 - Garfagnana e Lunigiana.



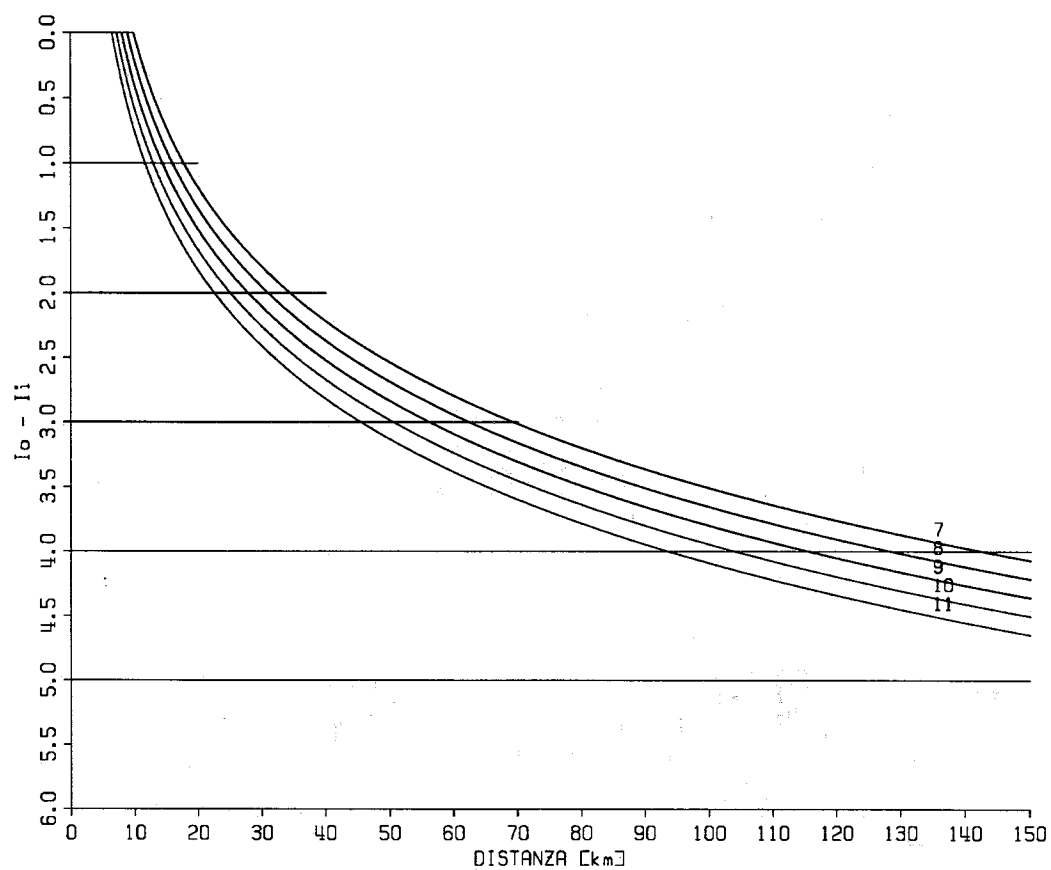
**Fig. 4** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza e dell'intensità epicentrale. Zona 12 - Pedepannino emiliano.



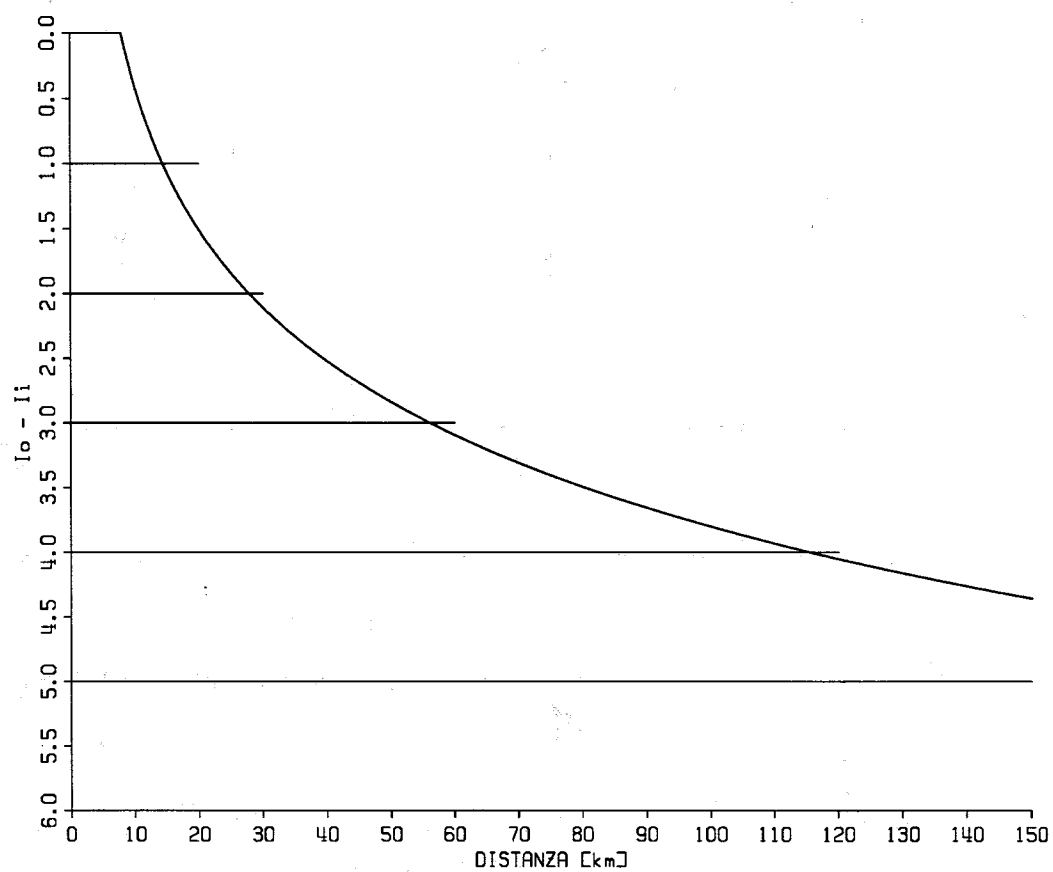
**Fig. 5** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale Zona 13 - Appennino tosco-romagnolo



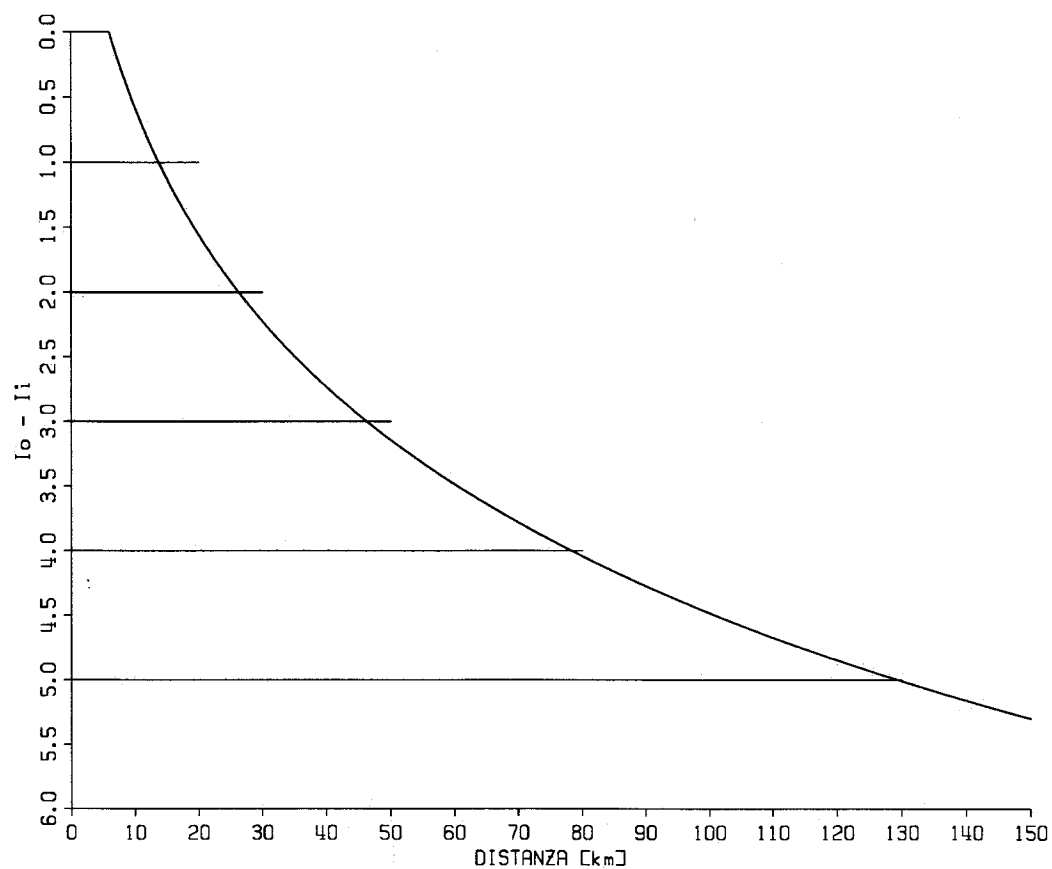
**Fig. 6** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza e dell'intensità epicentrale. Zona 14 - Ferrarese e zona costiera romagnolo marchigiana



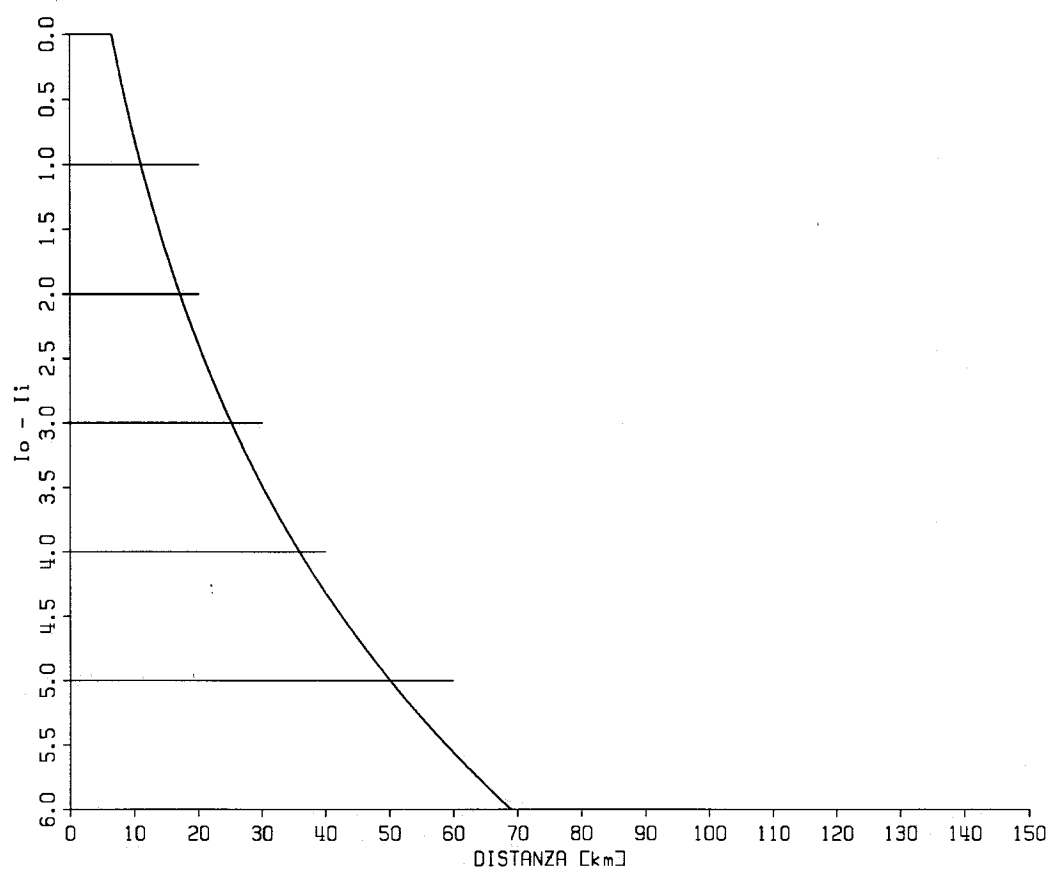
**Fig. 7** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza e dell'intensità epicentrale. Zona 15 - Alta Val Tiberina, Gubbio, Cagli



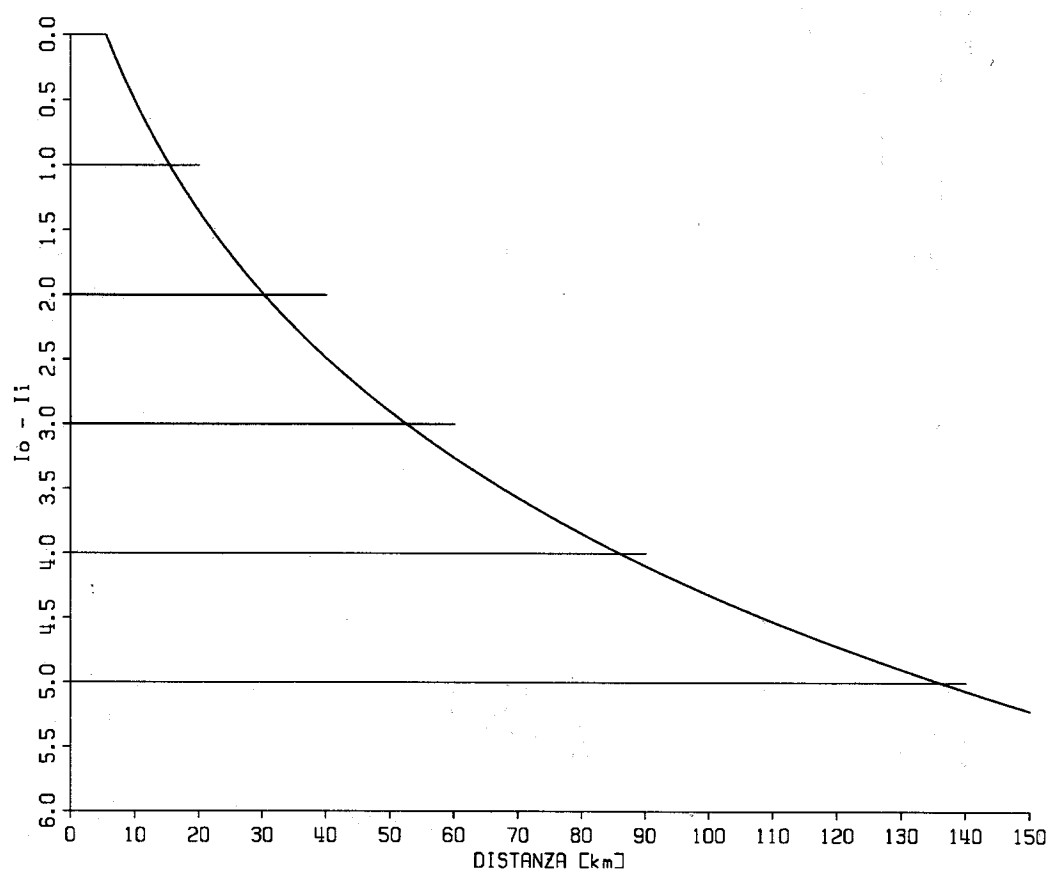
**Fig. 8** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale. Zona 16 - Val Nerina, Sibillini e Marche sud-orientali.



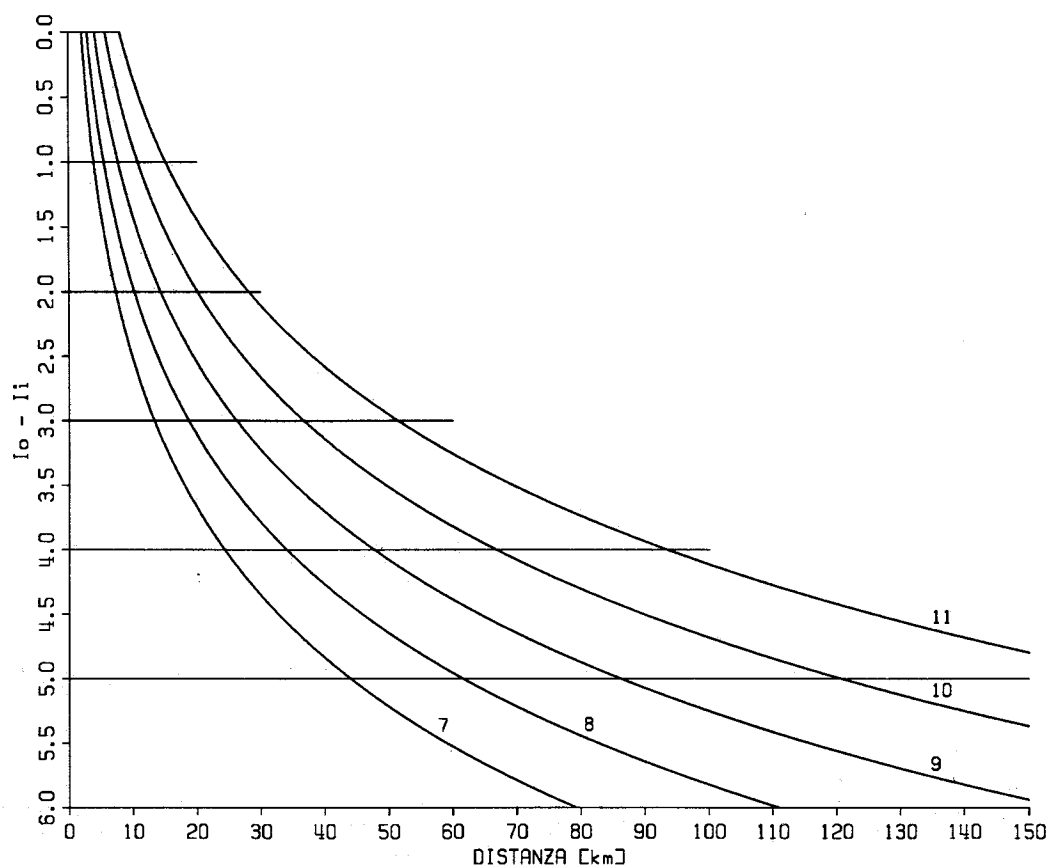
**Fig. 9** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale. Zona 17 - Toscana sud- occidentale.



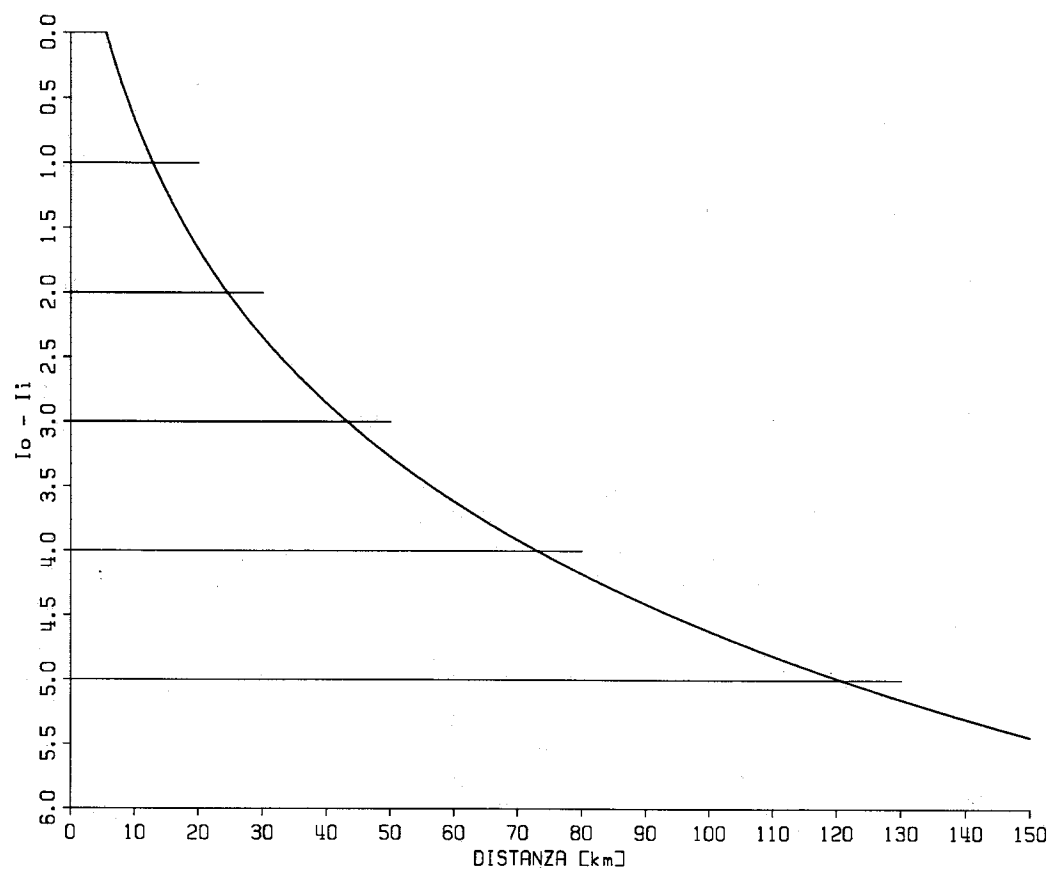
**Fig. 10** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale. Zona 17a - Toscana meridionale, Lazio settentrionale.



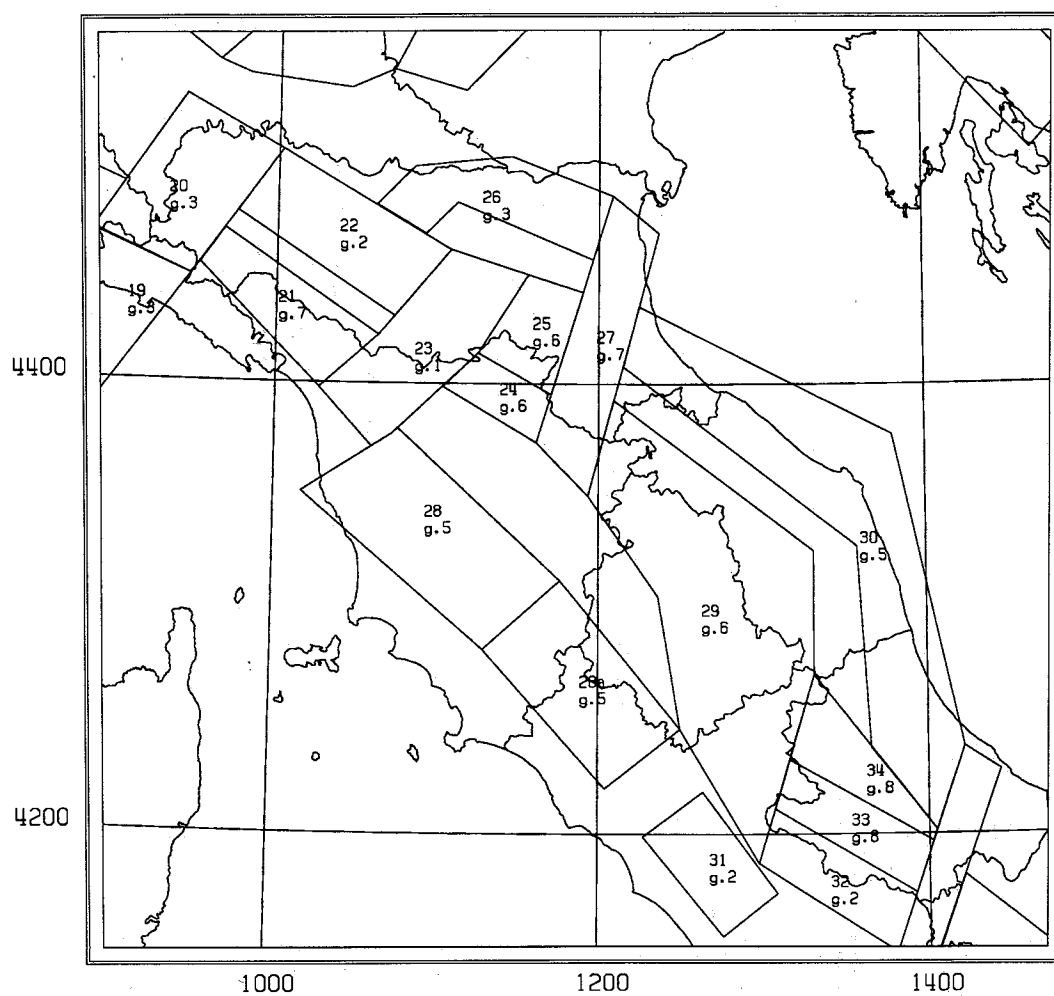
**Fig. 11** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale. Zona 18 - Colli Albani.



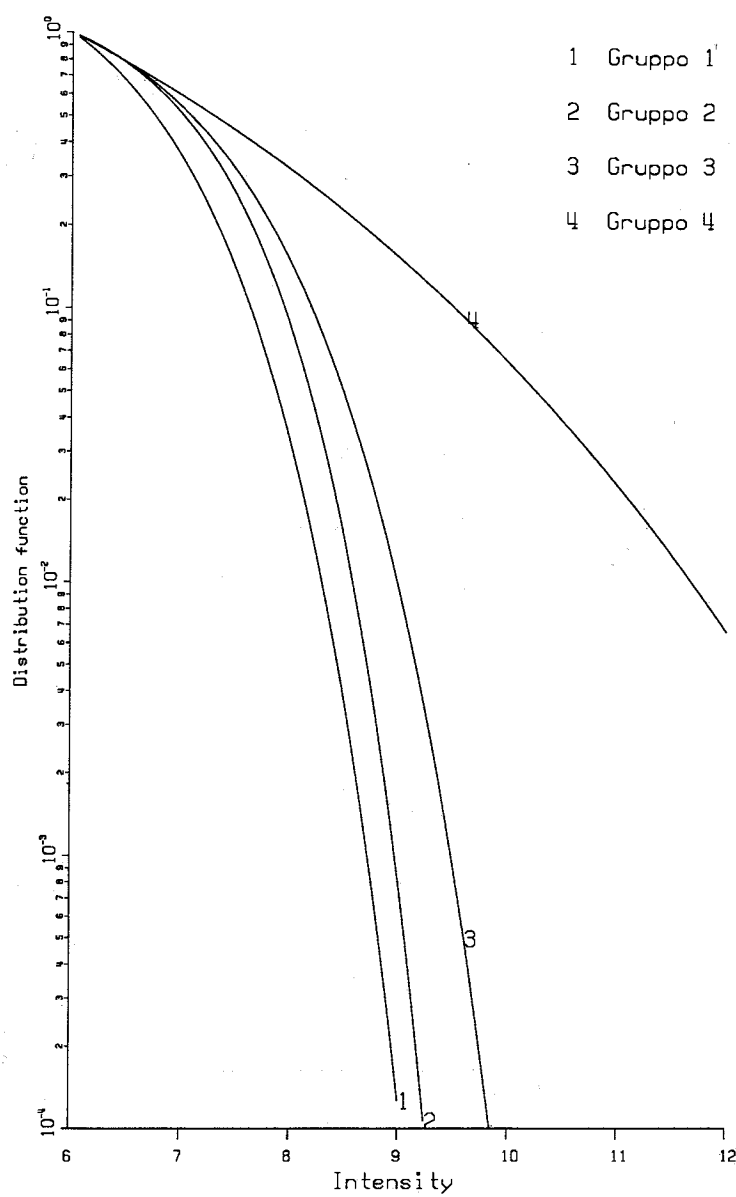
**Fig. 12** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza e dell'intensità epicentrale. Zona 19 - Aquilano, Fucino.



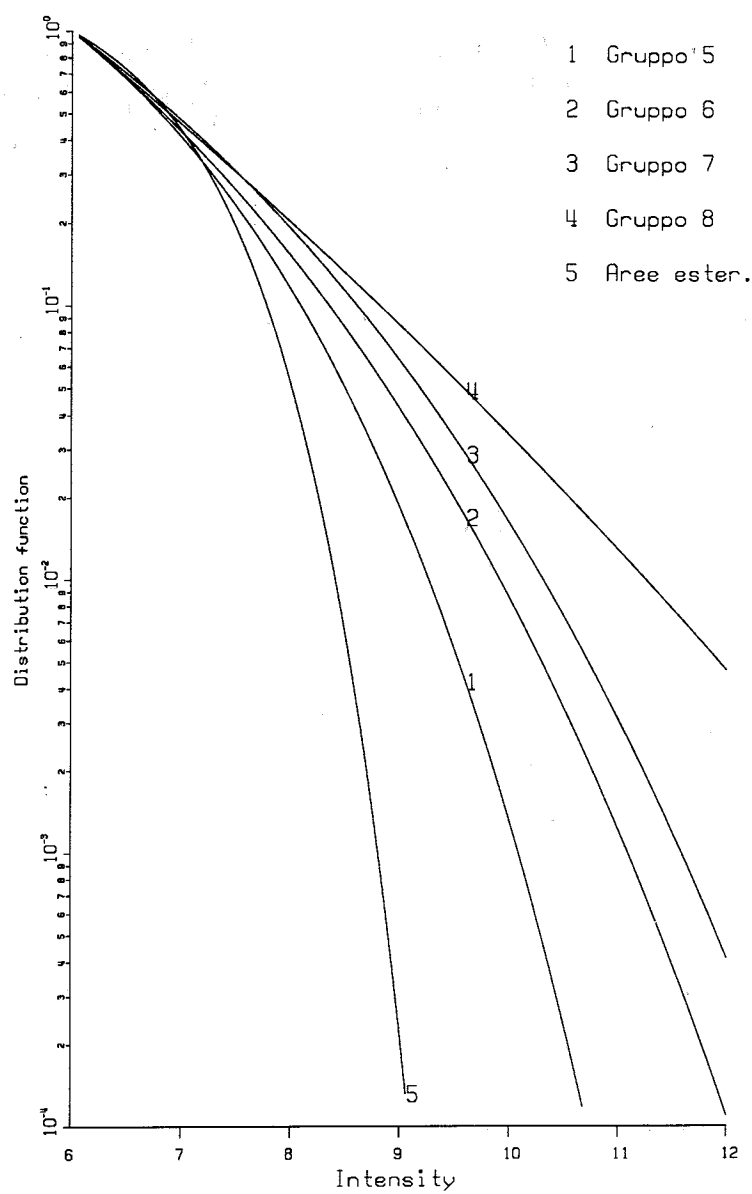
**Fig. 13** Attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale. Zona 40 - Altre aree.



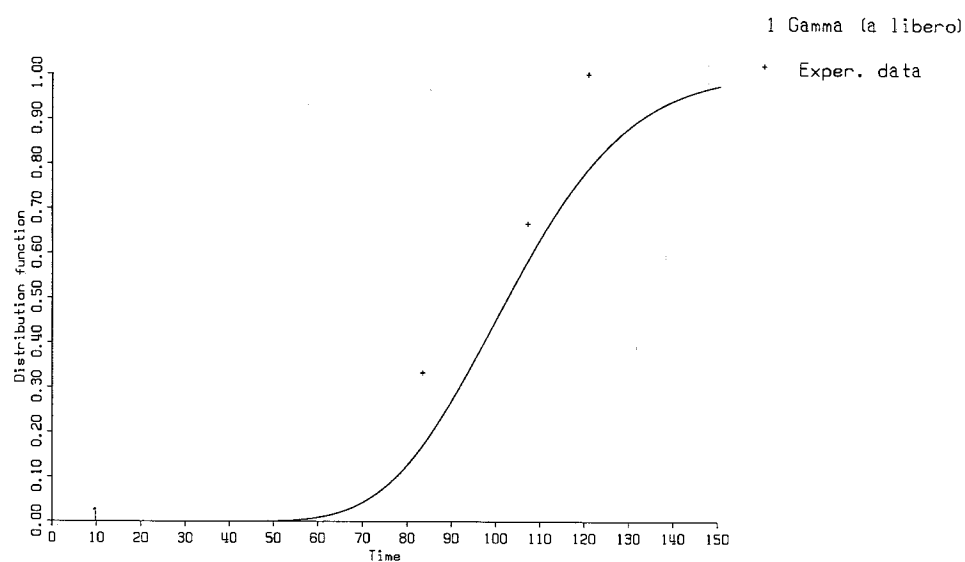
**Fig. 14** Zone sismogenetiche con indicazione del tipo di distribuzione dell'intensità epicentrale.



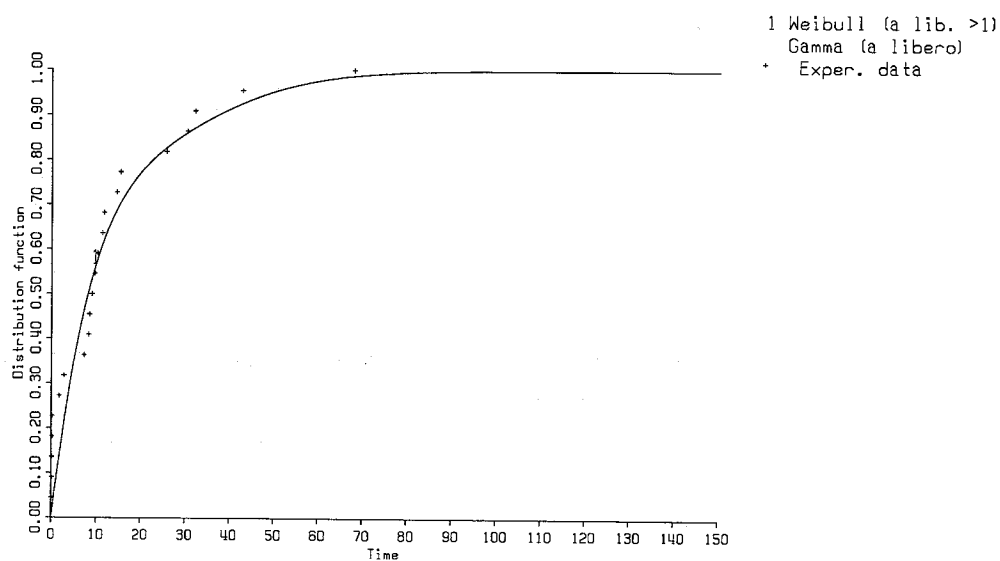
**Fig. 15** Distribuzione delle intensità epicentrali per le zone sismogenetiche dei gruppi 1, 2, 3 e 4.



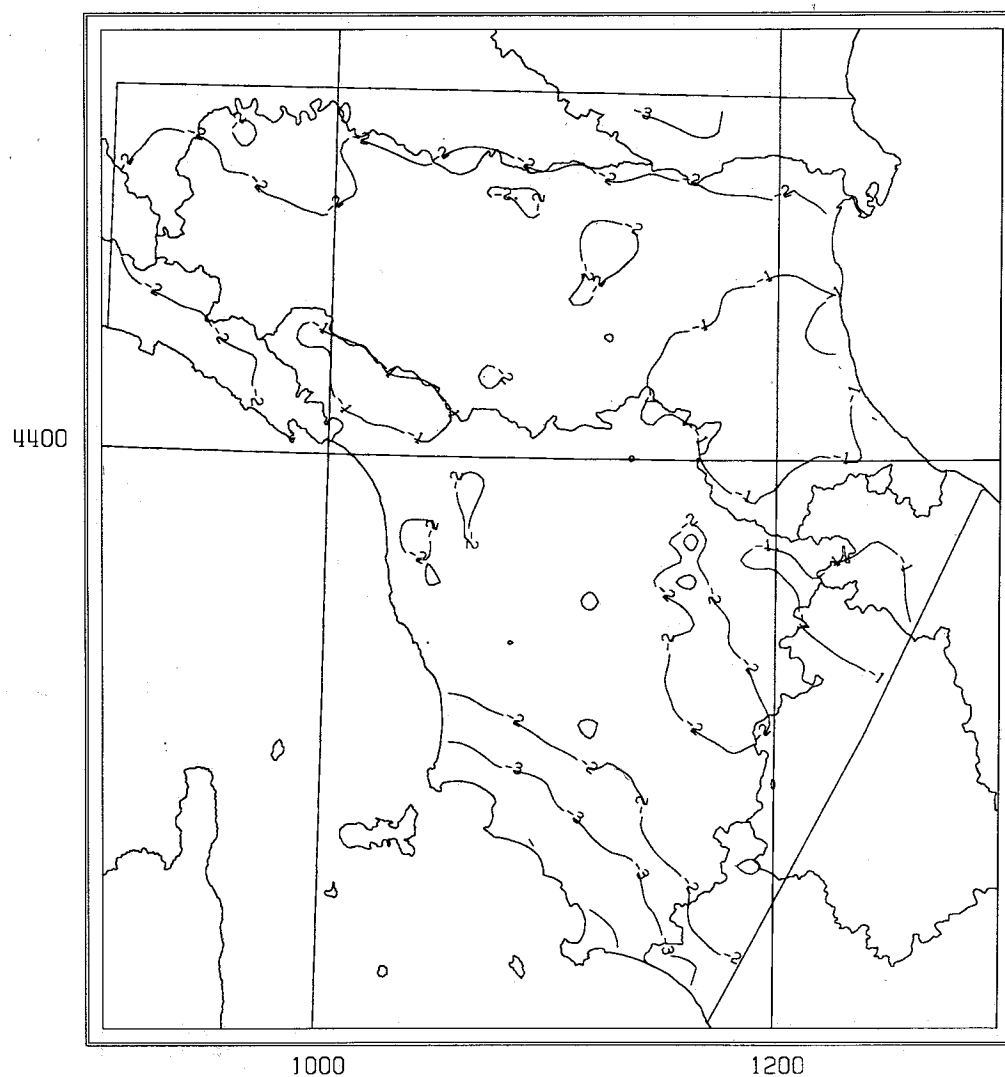
**Fig. 16** Distribuzione delle intensità epicentrali per le zone sismogenetiche dei gruppi 5, 6, 7, 8 e per le aree esterne.



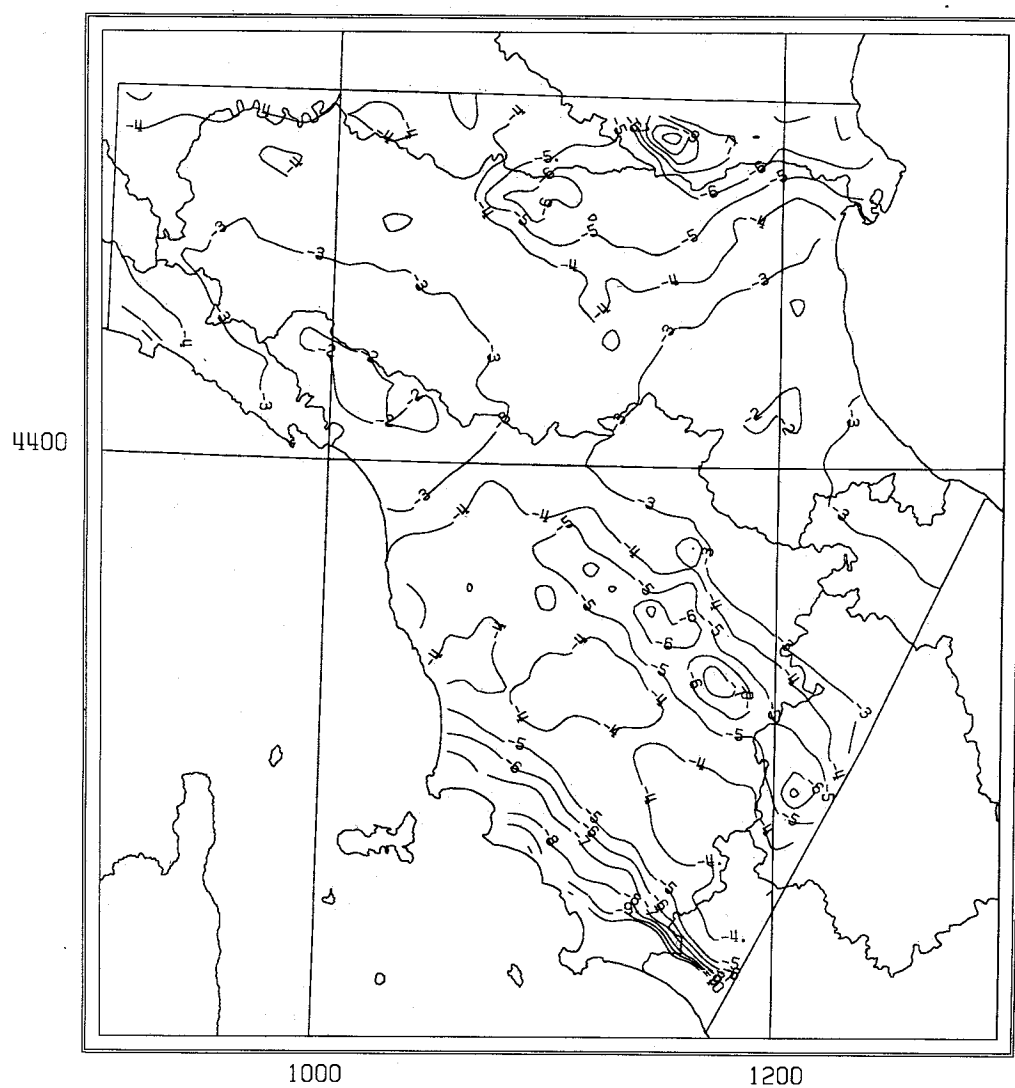
**Fig. 17** Distribuzione dei tempi di intercorrenza. Sito tipico di aree ad alta attività



**Fig. 18** Distribuzione dei tempi di intercorrenza. Sito tipico di aree a bassa attività.



**Fig. 19** Curve di livello del logaritmo in base dieci della probabilità di eccedenza dell'VIII grado MCS in 50 anni.



**Fig. 20** Curve di livello del logaritmo in base dieci della probabilità di eccedenza del X grado MCS in 50 anni.

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.0. Introduzione

A. Corsanego

La vulnerabilità sismica di un edificio è un suo carattere comportamentale descritto attraverso una legge causa-effetto in cui la causa è il terremoto e l'effetto è il danno (*Sandi, 1986*).

Indichiamo genericamente con  $s$  e con  $w$  due parametri misuratori del sisma e del danno.

Il parametro  $s$  è usualmente costituito, nelle analisi a dimensione territoriale, dalla intensità macrosismica  $I$ , espressa mediante i gradi di una scala internazionale, oppure dalla accelerazione massima al suolo  $A$ , che qui intendremo sempre espressa attraverso la grandezza adimensionale  $y$  che è data dal suo rapporto con l'accelerazione di gravità  $g$ . L'impiego di ciascuna grandezza presenta vantaggi e svantaggi. L'intensità consente di fruire del grande bagaglio di notizie fornite dalla sismicità storica e dalla osservazione dei danni in siti colpiti recentemente da terremoti di intensità nota, ma non è utilizzabile direttamente come input nelle stime di vulnerabilità effettuate mediante l'analisi strutturale; essa è adatta soprattutto per valutazioni effettuate su basi statistiche ed aventi come oggetto grandi classi di edifici considerate nel loro insieme. Utilizzando invece l'accelerazione si ha un minore supporto di dati, che si limitano a quei terremoti recenti per i quali vi erano registrazioni strumentali ed ai danni osservati in tali occasioni, ma si dispone di una variabile dotata di un chiaro significato meccanico; questa via è evidentemente più idonea per valutazioni su basi analitiche, rivolte ad edifici esaminati singolarmente. Entrambe le versioni si ritrovano nelle indagini sul territorio svolte in Italia durante gli ultimi anni (*Corsanego e Gavarini, 1990*). Il passaggio da una grandezza all'altra è effettuabile impiegando una delle relazioni proposte da vari autori, operazione che richiede qualche cautela perché le dispersioni che caratterizzano tali relazioni sono rilevanti (*Murphy e O'Brien, 1977*).

Nell'analisi sugli edifici pubblici sono state usate le metodologie applicate fino ad ora con maggior frequenza in Italia dal GNDT. Alcune di queste metodologie utilizzano relazioni statistiche fondate su dati che fanno riferimento all'intensità, mentre altre fanno ricorso prevalentemente a calcoli che richiedono come input l'accelerazione. Per realizzare un'unica rappresentazione dell'input, si è adottata l'accelerazione, tenendo anche presenti alcune recenti perplessità sull'uso dell'intensità (*Coburn, 1990*) e ciò ha reso necessaria la

conversione della intensità stessa in accelerazione. È stata sfruttata a tale scopo la nota formula empirica:

$$\ln y = a I - b \quad (1)$$

in cui  $a$ ,  $b$ , sono costanti.

Per il parametro  $w$  una versione molto diffusa nel mondo e più volte applicata in Italia consiste nel grado di danno, inteso come il costo della sua riparazione rapportato a quello della ricostruzione completa dell'edificio. Un vantaggio di tale rappresentazione è quello derivante dalla continuità della variabile nell'intervallo  $(0,1)$ . Si hanno però anche svantaggi, provenienti dal fatto che la rappresentazione è legata alle caratteristiche attuali e locali del mercato edilizio e quindi è assai mutevole e difficilmente trasferibile da una realtà socioeconomica all'altra; l'esperienza dei recenti terremoti mostra ad esempio che edifici come quelli dei centri abitati italiani quando sono danneggiati da un terremoto anche in maniera lieve implicano costi di intervento alti (*Benedetti et al.*, 1988), mentre ciò non avviene per gli edifici dei centri abitati di altre aree geografiche (*Boissonnade e Shah*, 1985). Un altro inconveniente è costituito dalla finalizzazione verso la sola perdita economica (congruente alla situazione americana, in cui le vittime provocate dai sismi sono molto ridotte e le componenti monetarie delle perdite complessive sono effettivamente prevalenti), che rende necessario esprimere le altre in sua funzione, in modo talvolta arbitrario.

Una diversa rappresentazione, anch'essa molto diffusa e spesso applicata in Italia ed in altri paesi si basa sugli stati di danno (nullo, lieve, ...), simili a quelli che sono alla base delle scale macrosismiche. Ciascuno stato è caratterizzato mediante una descrizione più o meno dettagliata dell'entità e dell'estensione delle lesioni che gli corrispondono. Si ha qui il vantaggio di una lettura del danneggiamento che non privilegia a priori nessuna delle sue conseguenze. D'altra parte, vi può essere il pericolo di interpretazioni soggettive della descrizione degli stati e si perde il vantaggio di operare con una variabile numerica continua. La continuità della variabile può essere recuperata con l'indice di danno  $d$ , che è definito in  $(0,1)$  e corrisponde a considerare gli stati di danno, ordinati in successione peggiorativa, come ascisse opportunamente distanziate su tale intervallo.

Impostazioni alternative sono quelle che fanno riferimento agli indicatori meccanici di danno. Si prende allora in esame non l'edificio esistente, ma un suo modello meccanico per il quale l'inizio del danno ed il collasso vengono associati al raggiungimento di stati limite, mentre l'aumentare del danno intermedio è collegato alla evoluzione di variabili meccaniche (*Powell e Allahabadi*, 1988). Nella aderenza del modello meccanico all'edificio reale sta il punto delicato di questa rappresentazione, soprattutto quando si tratta di antichi edifici in muratura.

In realtà, ogni rappresentazione del danno è in qualche modo convenzionale. Devono però essere garantiti, come minimo, alcuni requisiti fondamentali e cioè la rispondenza degli estremi della variabile adottata a reali situazioni estreme dell'edificio, la coerenza fra il suo aumentare ed un effettivo aggravamento delle condizioni del fabbricato, l'assenza di ambiguità che possano creare problemi agli operatori.

In recenti elaborazioni di dati raccolti dopo terremoti avvenuti in Italia (Angeletti, 1984; Angeletti et al., 1988) è stato impiegato un indice di danno ibrido, espresso in funzione delle diverse estensioni e gravità del danneggiamento nelle diverse parti della costruzione e del loro peso economico, che è compatibile con la scheda di rilevamento sul campo attualmente impiegata in Italia (GNDT, 1989). Con tale scheda (sezione 8) si registra infatti, per ogni piano dell'edificio, il danno nelle diverse componenti costruttive (strutture verticali, strutture orizzontali, scale, tamponature) in base a sei stati di danno (nullo, lieve, medio, grave, gravissimo, totale) precisati attraverso una descrizione dettagliata nel manuale d'uso della scheda stessa; per ciascuna componente si determina sia il massimo stato presente, sia quello più diffuso, del quale si indica anche l'estensione relativa.

Nelle elaborazioni citate l'indice di danno  $d_{ij}$  per la componente  $i$ -esima ed il piano  $j$ -esimo si è ottenuto abbinando ai sei stati gli indici 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, equispaziati nell'intervallo (0, 1), e combinando il danno massimo con quello più diffuso mediante la formula:

$$d_{ij} = e \, d_e + (1 - e) \, d_m / 3 \quad (2)$$

in cui  $d_e$  è l'indice dello stato di danno più diffuso nel piano sulla componente,  $e$  è la sua estensione relativa,  $d_m$  è l'indice del più grave stato di danno presente nel piano sulla componente. L'indice di danno per l'intero edificio è stato definito con una media pesata del tipo:

$$d = \sum_{ij} S_i F_j d_{ij} \quad (3)$$

dove  $S_i$ ,  $F_j$ , sono coefficienti ponderali che caratterizzano le componenti ed i piani, assunti come segue:  $S_i$  è il rapporto fra il valore economico della componente  $i$ -esima e quello dell'edificio, mentre  $F_j$  è il rapporto fra il volume del piano  $j$ -esimo ed il volume totale.

L'analisi di edifici pubblici cui ci stiamo riferendo è stata effettuata esprimendo il loro danno sismico mediante l'indice di danno  $d$ , da intendersi espresso dalla (3).

Con le scelte delle grandezze rappresentative del sisma e del danno che sono state precisate, quantificare la vulnerabilità sismica di un edificio significa istituire una relazione fra la variabile  $y$ , definita nell'intervallo  $(y_i, y_c)$ , che ha per estremi i valori  $y_i$ ,  $y_c$ , cui fanno riscontro l'inizio del danno ed il collasso, e la variabile  $d$ , definita come si è detto nell'intervallo (0, 1).

Poiché il comportamento delle costruzioni è essenzialmente aleatorio, la via più naturale per esplicitare tale relazione è quella probabilistica. Essa implica, come è noto, che ad ogni valore di  $y$  siano fatti corrispondere infiniti valori possibili di  $d$ , a ciascuno dei quali è associato un valore di una funzione di densità di probabilità condizionata  $p\{d|y\}$ . Nella Fig. 1 è riportata qualitativamente la funzione  $d'(y)$ , che esprime i valori attesi della variabile aleatoria  $d$ . Anche  $y_i$ ,  $y_c$ , sono evidentemente variabili aleatorie, con valori attesi  $y'_i$ ,  $y'_c$ ; come mostra la Fig. 1: ad ogni  $y$  sono infatti associabili due funzioni  $p\{y|0\}$  e  $p\{y|1\}$ , che condizionano la densità di probabilità di  $y$  rispetto ai valori 0 ed 1 dell'indice  $d$ .

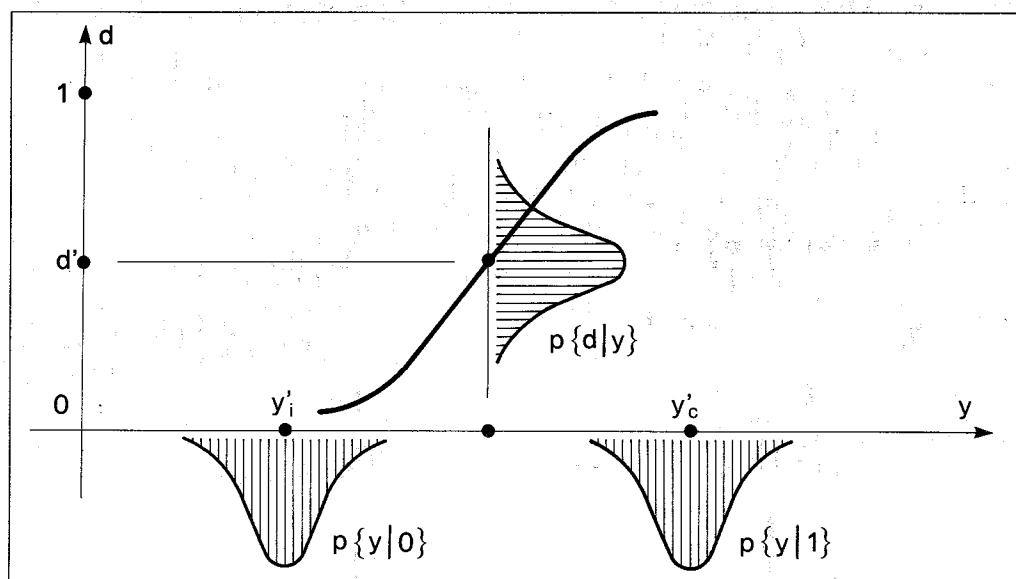
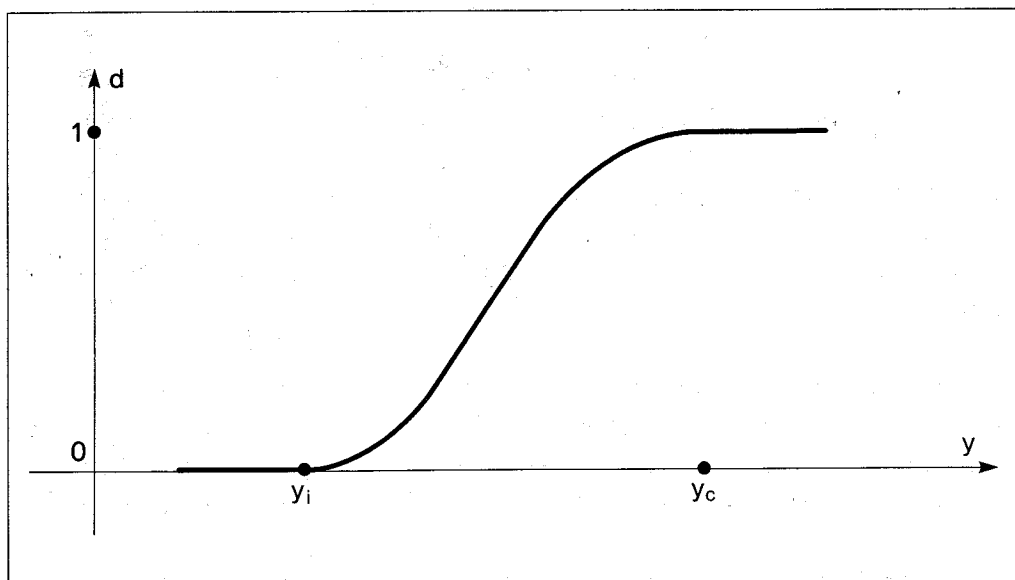


Fig.1 Legge probabilistica accelerazione-danno.

Se la rappresentazione probabilistica è discretizzata, si definiscono le probabilità condizionate  $P\{d | y\}$  relative ad un numero finito di coppie  $d_h$ ,  $y_k$ . Si hanno allora le ben note matrici di probabilità di danno, il cui elemento generico è appunto  $P\{d_h | y_k\}$ .

In molte analisi di rischio, peraltro, si giudica opportuno rinunciare alla rappresentazione probabilistica della vulnerabilità (Cornell, 1970), operando invece per essa in ambito deterministico ed utilizzando opportune relazioni  $d(y)$ , una delle quali è riportata qualitativamente in Fig. 2.

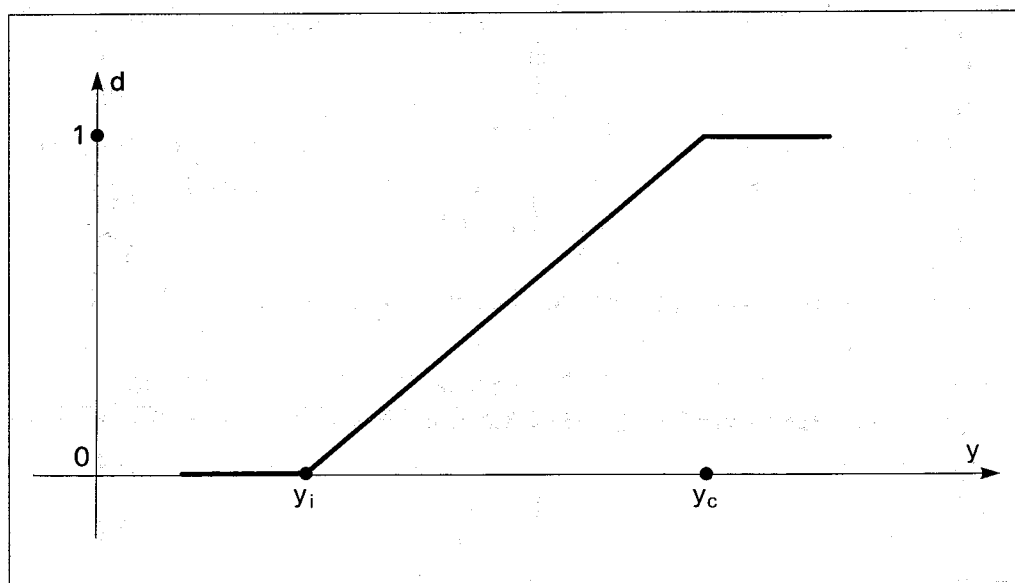


**Fig.2** Legge deterministica accelerazione-danno.

Tenendo presenti le ampie incertezze che gravano sulle diverse leggi accelerazione-danno proposte fino ad ora, appare ragionevole l'impiego, proposto da diversi autori (*Grandori e Petrini, 1976; Grandori, 1982; Corsanego, 1986*), di una legge trilineare ottenibile assumendo una relazione semplificata lineare nell'intervallo  $(y_i, y_c)$ :

$$d = (y - y_i) / (y_c - y_i) \quad (4)$$

e ricordando che evidentemente si ha  $d = 0$  per  $y < y_i$ ,  $d=1$  per  $y > y_c$ .



**Fig.3** Legge deterministica trilineare accelerazione-danno.

Intendendo le accelerazioni  $y_i$ ,  $y_c$ , che producono l'inizio del danno ed il collasso nella costruzione come variabili random caratterizzate dalle rispettive funzioni di densità di probabilità condizionata  $p\{y|0\}$ ,  $p\{y|1\}$ , si ottiene dalla (4) una rappresentazione probabilistica della vulnerabilità come quella di Fig. 1. Intendendole invece come numeri reali si ricava la legge deterministica trilineare di Fig. 3, che è ovviamente un caso particolare di quella di Fig. 2 e che, per essere completamente esplicitata, richiede la definizione numerica delle costanti  $y_i$ ,  $y_c$ .

Precisare quantitativamente la vulnerabilità sismica di un edificio significa quindi, come si è già detto, definire una legge probabilistica, od eventualmente deterministica, fra terremoto e danno. Il quadro metodologico attuale è molto articolato ed è opportuno a tale proposito esporre una sintetica discussione.

Le tecniche esistenti per rendere esplicite le relazioni di Fig. 1 e di Fig. 2 o per fornire comunque notizie sulla vulnerabilità possono essere raggruppate variamente (Corsanego, 1985).

Una prima classificazione si imposta sul tipo di risultato che viene prodotto. Distinguiamo fra:

- tecniche dirette;
- tecniche indirette;
- tecniche convenzionali.

Le tecniche dirette sono quelle che forniscono in un solo passo un risultato consistente in una effettiva previsione dei danni provocati dai terremoti. Esse sono le più strettamente connesse alla definizione classica della vulnerabilità.

Le tecniche indirette si articolano in due passi, a ciascuno dei quali corrisponde un risultato. Nel primo passo si determina un opportuno indice di vulnerabilità  $V$ ; nel secondo, si istituisce una correlazione fra terremoti e danni, in funzione dell'indice.

Infine le tecniche convenzionali, essenzialmente euristiche, si esauriscono in un unico passo come le dirette, ma il loro risultato è un indice di vulnerabilità al quale, a differenza delle indirette, non associano una previsione di danno; esse sono utili sostanzialmente per confrontare edifici diversi ubicati in aree di uguale sismicità.

Una seconda classificazione si basa sul tipo di misura che viene utilizzato. Abbiamo pertanto:

- tecniche quantitative;
- tecniche qualitative.

Le tecniche quantitative sono quelle ordinariamente ricorrenti ed esprimono le probabilità di danno o le equivalenti relazioni deterministiche in termini numerici; le qualitative ricorrono invece a descrizioni in termini di vulnerabilità "bassa", "media", "alta", e simili.

Una terza classificazione prende in esame la fonte di conoscenza prevalente, fra quelle utilizzate. Sono distinguibili:

- tecniche basate sulla elaborazione statistica di dati rilevati;
- tecniche basate sul calcolo della risposta sismica;
- tecniche basate sul giudizio soggettivo di esperti;
- tecniche ibride, che combinano più fonti.

Infine, una quarta classificazione concerne l'organismo al quale viene assimilato l'edificio. Si hanno:

- tecniche tipologiche;
- tecniche meccanicistiche;
- tecniche semeiotiche.

Le tecniche tipologiche concepiscono l'edificio come membro indifferenziato di una classe tipologica, definita in funzione dei materiali, della tecnica costruttiva o di altri fattori. Hanno il pregio di essere poco costose e di richiedere indagini sul campo piuttosto semplici; inoltre, fruiscono di notevoli basi di dati. D'altro lato, non distinguendo i singoli edifici all'interno di una classe non consentono di operare una graduatoria fra di essi; sono impiegate per avere informazioni su aree urbane considerate nel loro complesso.

Le tecniche meccanicistiche, che sono le più vicine all'usuale approccio ingegneristico alla valutazione della sicurezza, sostituiscono all'edificio un suo modello meccanico teorico. Tali tecniche possono consentire, con gradualità affinamenti, di passare da risultati validi per intere aree urbanizzate ad altri risultati validi anche per singole costruzioni. D'altra parte, esse richiedono che nel fabbricato sia individuabile uno schema statico sufficientemente chiaro.

Le tecniche semeiotiche considerano l'edificio come un organismo la cui vulnerabilità può essere descritta attraverso sintomi. In generale, esse introducono un certo numero di fattori di vulnerabilità, come l'organizzazione generale del sistema resistente, la qualità di detto sistema, la resistenza globale della costruzione ad azioni orizzontali, lo stato di degrado e così via. Per ciascun fattore viene assegnato all'edificio un certo livello; l'incremento dei livelli denuncia un incremento di vulnerabilità. Si tratta di tecniche potenzialmente molto versatili, perché compendiano il più grande numero di informazioni sui fabbricati che si esaminano; esse implicano d'altra parte una certa perizia da parte di chi

opera sul campo e la loro affidabilità dipende dalla razionale esplicitazione di una relazione fra i livelli ed i danni sismici attesi.

Nella valutazione di rischio sismico finora effettuata su edifici pubblici in diverse regioni si avevano fabbricati di varia destinazione funzionale, differenti per età, tipologie e materiali. È stato quindi opportuno ricorrere ad una pluralità di tecniche, afferenti a diverse classi, in modo da associare ad ogni edificio il metodo più appropriato. La descrizione dettagliata delle singole tecniche utilizzate, dalla quale risulta anche immediatamente la loro collocazione nel quadro di classi che è stato definito, è svolta altrove. Per fare qui solamente un esempio, il metodo applicato agli edifici ordinari in muratura è indiretto, poiché implica la determinazione intermedia di un indice di vulnerabilità; è quantitativo, poiché esprime la vulnerabilità attraverso numeri; è ibrido, poiché utilizza più fonti di conoscenza; è semeiotico, poiché si basa sulla individuazione di sintomi di carenze intrinseche. Senza proseguire oltre con questa discussione, svolgeremo invece qualche considerazione sui criteri generali che hanno motivato le scelte fatte.

La scelta delle tecniche è stata guidata da quattro criteri fondamentali, che verranno ora riassunti.

Doveva in primo luogo essere garantito che i dati richiesti da ciascuna tecnica contribuissero all'accrescimento ed all'aggiornamento delle banche dati regionali nel modo più aperto possibile, per essere potenzialmente utilizzabili anche per altre future metodologie.

I dati dovevano poi essere tali da consentire, oltre alla valutazione della vulnerabilità, anche la ricerca di indicazioni metaprogettuali per la definizione di possibili interventi di miglioramento o di adeguamento sismico da applicare ad esso.

Inoltre, i risultati forniti dalle tecniche non dovevano specificare solamente la vulnerabilità del sistema di edifici pubblici visto nel suo complesso, ma dovevano rendere anche possibili graduatorie all'interno del sistema, per definire le priorità di intervento.

Infine, occorre che le tecniche fossero già state congruamente sottoposte a verifica sul piano operativo.

Si è peraltro mantenuta una formulazione di base unitaria, secondo le linee procedurali che saranno ora esposte.

- a) È stata adottata la via deterministica per caratterizzare la vulnerabilità. Ciò è stato suggerito sia dalla natura di alcuni dei metodi impiegati, sia dal fatto che nelle valutazioni di rischio la aleatorietà che grava sulla pericolosità e sulla esposizione è in genere più elevata di quella che caratterizza la

vulnerabilità, per cui anche una valutazione deterministica di quest'ultima può essere accettabile (Grandori, 1982).

- b) È stata utilizzata la legge trilineare di Fig.3.
- c) Ciascun metodo particolare impiegato per valutare la vulnerabilità è stato interpretato concettualmente come uno strumento da usare solamente per definire, per l'edificio analizzato, le accelerazioni di inizio del danno e di collasso  $y_i$ ,  $y_c$ , che rendono completamente esplicita la legge.

La procedura con la quale  $y_i$ ,  $y_c$ , sono state determinate è dipesa evidentemente dalla natura dei diversi metodi. Ad esempio, col metodo applicato agli edifici murari esse sono state espresse in funzione dell'indice di vulnerabilità  $V$  per mezzo delle seguenti formule:

$$y_i = \alpha_i \exp(-\beta_i V); \quad y_c = (\alpha_c + \beta_c V^\gamma)^{-1} \quad (5)$$

in cui  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\alpha_c$ ,  $\beta_c$ , e  $\gamma$ , sono costanti ottenute in base ad elaborazioni statistiche (Guagenti e Petrini, 1989), mentre con altri metodi applicati ad edifici in cemento armato esse sono state ricavate direttamente utilizzando i calcoli della risposta sismica che li caratterizzano.

---

#### Riferimenti bibliografici

1. Angeletti P., 1984, *Un modello per la valutazione dei costi di riparazione e adeguamento sulla base dei censimenti di danno e vulnerabilità*, Atti Seminario Internaz. "Vulnerabilità ai terremoti e metodi per la riduzione del rischio sismico", Noto
2. Angeletti P., Bellina A., Guagenti E., Moretti A. e Petrini V., 1988, *Comparison between vulnerability assessment and damage index, some results*, Proc. 9th World Conf. on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto.
3. Benedetti D., Benzonì G.M. e Parisi M.A., 1988, *Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nuclei*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
4. Boissonnade A.C. e Shah H., 1985, *Use of pattern recognition and fuzzy sets in seismic risk analysis*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.
5. Coburn A., 1990, *The use of intensity in earthquake vulnerability assessment*, Proc. 9th Eur. Conf. on Earthquake Engineering, Moscow.
6. Cornell C.A., 1970, *Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads*, Proc. Conf. on Dynamic Waves in Civil Engineering, Swansea.
7. Corsanego A., 1985, *A review of methodologies for seismic vulnerability assessment*, Proc. Int. Conf. on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje.
8. Corsanego A., 1986, *Vulnerabilità sismica*, Nuova Italsider, Genova.
9. Corsanego A., Gavarini C., 1980, *Ten years of research into the seismic vulnerability of constructions in Italy*, Atti Conv. "Irpina dieci anni dopo", Sorrento.

10. GNDT, 1989, *Scheda di esposizione e vulnerabilità di primo livello e di rilevamento danni*, Roma.
11. Grandori G., 1982, *Cost-benefit analysis in earthquake engineering*, Proc. 7th Eur. Conf. on Earthquake Engineering, Athens.
12. Grandori G. e Petrini V., 1977, *Comparative analysis of the seismic risk in sites of different seismicity*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
13. Guagenti E. e Petrini V., 1989, *Il caso delle vecchie costruzioni: verso una nuova legge danni-intensità*, Atti IV Conv. Naz. sulla Ingegneria Sismica in Italia, Milano.
14. Murphy J.R. e O'Brien L.J., 1977, *The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters*, Bulletin of the Seismological Society of America.
15. Powell G.H. e Allahabadi R., 1988, *Seismic damage prediction by deterministic methods: concepts and procedures*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
16. Sandi H., 1986, *Report of the Working Group "Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems" of the European Association for Earthquake Engineering*, Proc. 8th Eur. Conf. on Earthquake Engineering, Lisbon.

### 3.1 Edifici in muratura

*P. Angeletti, V. Petrini*

La procedura per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, attualmente utilizzata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, deriva da una proposta formulata nel 1983 (*Benedetti e Petrini, 1984*); essa si basa sull'analisi di una serie di informazioni sulle caratteristiche degli elementi costitutivi dell'edificio che vengono raccolte tramite schede.

Nella sua prima formulazione, la scheda di vulnerabilità è stata utilizzata a seguito del terremoto di Parma del 1983: la scheda è stata, successivamente, più volte modificata nel corso degli anni, fino ad assumere la sua forma attuale.

Nell'attuale versione (*Fig. 1*) essa è costituita da tre facciate delle quali solo la terza contiene in senso stretto le informazioni di vulnerabilità e sarà illustrata nel seguito (scheda di secondo livello-muratura).

Le prime due facciate (scheda di primo livello, valida per tutte le tipologie strutturali) contengono viceversa dati relativi alla localizzazione, alla geometria ed alla tipologia dell'edificio.

Nel dettaglio la scheda di primo livello è composta dalle seguenti otto sezioni:

- 1 dati relativi alla scheda (chiave di identificazione dell'edificio, comune, scheda, squadra, data);
- 2 localizzazione dell'edificio (aggregato, edificio, toponomastica, vincoli di piano urbanistico);
- 3 dati metrici (superfici, altezze interpiano, altezze minima e massima fuori terra);
- 4 uso (tipi di uso, stato, proprietà e conduzione dell'edificio, utilizzazione, utenza);
- 5 età della costruzione - interventi (tipi e classi di età);
- 6 stato delle finiture - impianti;
- 7 tipologia strutturale (tipi di struttura verticale, orizzontale, scale, copertura);
- 8 estensione e livello del danno (estensione e livello di danno più frequente, livello di danno massimo rispettivamente per strutture verticali, strutture orizzontali, scale, tamponature);

Delle suddette sezioni l'ultima concerne eventuali dati sui danni ad alcuni elementi costruttivi e per tale ragione costituisce una parte concettualmente diversa dalle precedenti.

Passando alla terza facciata, essa, come già detto, contiene dati finalizzati ad un modello, di derivazione soggettiva e basato su giudizi, il quale permette di valutare la vulnerabilità in funzione di un certo numero di parametri ritenuti rappresentativi della propensione dell'edificio in muratura a subire danni per effetto di un evento sismico. In particolare alcuni fra i parametri rendono conto del comportamento degli elementi, strutturali e non, altri del comportamento d'insieme dell'organismo costruttivo. Viene di seguito riportato un elenco con una sintetica spiegazione del loro significato all'interno del modello.

- *Tipo ed organizzazione del sistema resistente:*  
rende conto del funzionamento scatolare dell'organismo murario attraverso il rilievo della presenza di collegamenti ai piani, ammorsature agli spigoli;
- *Qualità del sistema resistente:*  
è influente su questo parametro l'omogeneità e la fattura del tessuto murario;
- *Resistenza convenzionale:*  
attraverso un calcolo speditivo, con l'ipotesi di solaio infinitamente rigido e di pura traslazione dei piani, in assenza di eccentricità in pianta, quantifica la resistenza in due direzioni perpendicolari delle strutture in elevazione;
- *Posizione dell'edificio e delle fondazioni:*  
con questo parametro vengono messi in conto alcuni aspetti relativi alle fondazioni ed al terreno di fondazione e ritenuti influenti sul comportamento sismico globale, quali alcune caratteristiche geotecniche;
- *Orizzontamenti:*  
degli orizzontamenti si considera la rigidezza nel piano (funzionamento a diaframma), il tipo e l'efficacia dei collegamenti alle murature;
- *Configurazione planimetrica:*  
mette in conto la forma in pianta attraverso la valutazione dei rapporti fra lato corto e lato lungo e fra sporgenze e lato lungo;
- *Configurazione in elevazione:*  
mette in conto le variazioni e discontinuità in elevazione, quali la presenza di una torre, di un piano porticato;
- *Distanza massima fra le murature:*  
con questo parametro si vuole valutare l'efficacia delle murature perpendicolari come vincoli di una data parete;
- *Copertura:*  
la copertura è valutata, sia come una sorta di orizzontamento "privilegiato", sia per la eventuale presenza di elementi con spinte non equilibrate;

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.1 Edifici in muratura

- *Elementi non strutturali:*

con questo parametro si valuta l'influenza che ha sui danni conseguenti ad un evento sismico la presenza, il tipo ed il collegamento alle strutture di tutti quegli elementi non portanti quali comignoli, cornicioni, piccoli aggetti ecc.;

- *Stato di fatto:*

mette in conto la diminuzione di resistenza (e di duttilità) conseguenti a lesioni, dissesti, stato di degrado negli elementi strutturali.

Gli undici parametri scelti sono mostrati nella terza facciata di scheda riportata in Fig. 1: per ognuno di essi viene attribuita una classe delle quattro disponibili, da A, la classe migliore, fino a D, la classe peggiore; per ogni parametro vengono fornite delle descrizioni che consentono di assegnare l'edificio ad una delle quattro classi con un sufficiente grado di oggettività. Al fine di costruire un indice numerico, ad ogni classe è stato attribuito un punteggio, a volte diverso da parametro a parametro; ad ogni parametro, inoltre, è attribuito un peso (Tab. 1).

Tab.1					
PUNTEGGI E PESI RELATIVI AI SINGOLI PARAMETRI					
PARAMETRO	CLASSE				PESO
	A	B	C	D	
Tipo ed organizzazione sistema resistente	0	5	20	45	1.0
Qualità sist. resistente	0	5	25	45	.25
Resist. convenzionale	0	5	25	45	1.5
Posizione edificio e fondazioni	0	5	25	45	0.75
Orizzontamenti	0	5	15	45	var
Config. planimetrica	0	5	25	45	.5
Config. in elevazione	0	5	25	45	var
Distanza max. fra le murature	0	5	25	45	.25
Copertura	0	15	25	45	var
Elementi non strutturali	0	0	25	45	.25
Stato di fatto	0	5	25	45	1.0

Per alcuni parametri (il 5, 7, 9) il peso è variabile fra 0.5 e 1 in funzione di alcuni elementi caratteristici: percentuale degli orizzontamenti rigidi e ben collegati, presenza di piani porticati, peso della copertura. Il prodotto del punteggio per il relativo peso fornisce l'indice numerico parziale per il singolo parametro; la somma degli indici parziali porta all'indice di vulnerabilità, un numero che, utilizzando i valori indicati in tabella, risulta compreso tra 0 e 382.5

(dalla situazione di vulnerabilità "migliore" alla "peggiore"). In molte applicazioni l'indice viene normalizzato sull'intervallo 0 - 100; così si farà anche nel seguito.

Nella compilazione delle schede assumono particolare importanza gli "elementi di valutazione", i quali, da un lato costituiscono i dati di partenza per la classificazione necessaria per la valutazione dell'indice di vulnerabilità, dall'altro permettono controlli in fase di elaborazione. Gli elementi di valutazione vengono anche usati per la stima dei costi di intervento, secondo un modello descritto al capitolo 5.

Per ognuno dei parametri viene anche fornita una "qualità" dell'informazione rappresentativa della confidenza del rilevatore nei dati raccolti. La qualità dell'informazione può variare dal livello "E" - qualità elevata corrispondente alla presenza di informazioni certe derivanti da osservazioni dirette o da elaborati grafici - al livello "A" - informazione assente, con un grado di attendibilità intorno ai limiti di una scelta casuale.

L'indice di vulnerabilità, che si ottiene con la procedura sopra descritta, costituisce una misura convenzionale e relativa della propensione al danneggiamento che non fornisce una valutazione assoluta del danno atteso per un dato livello di severità della scossa sismica. Affinché tale valutazione sia possibile, è necessario individuare una correlazione tra livello di danno, qualità dell'edificio e parametro utilizzato per misurare la severità della scossa, che consenta di passare dalla valutazione della pericolosità alla stima del rischio. La definizione di questa correlazione presenta qualche difficoltà; ciò è dovuto al fatto che i modelli teorici disponibili per la valutazione del danno provocato dai terremoti richiedono elaborazioni molto complesse ed onerose ed una analisi di dettaglio di ogni singolo edificio: tali modelli non sono quindi compatibili con l'esigenza di valutazioni rapide sul patrimonio edilizio di un'intera regione. Si ricorre pertanto a relazioni basate su elaborazioni statistiche che mettono in relazione un indice di danno con un parametro atto a misurare la severità del moto del terreno (in questo lavoro si è scelta l'accelerazione del suolo), per diversi valori dell'indice di vulnerabilità precedentemente definito.

L'indice di danno, necessario per definire tali correlazioni, è stato costruito con la procedura illustrata al capitolo 3.0, dove, con riferimento alla (3), i pesi  $F_j$  sono dati dal rapporto tra il volume del piano  $j$ -esimo ed il volume totale, nel caso di danno alle strutture verticali, alle scale e ai tamponamenti, mentre per gli orizzontamenti sono calcolati come rapporto tra la superficie del piano  $j$ -esimo e la superficie totale di tutti i piani, mentre per  $S_i$  si sono assunti i valori 0.50, 0.30, 0.15 e 0.05, rispettivamente per: strutture verticali, orizzontamenti, scale e tamponamenti.

Il modello di vulnerabilità  $d(y, V)$  - formule (4) e (5) del capitolo 3.0 - che mette in relazione l'indice di danno  $d$  (espresso in frazioni del valore dell'edificio), l'indice di vulnerabilità  $V$  e l'accelerazione del suolo  $y$  (espressa in frazioni

dell'accelerazione di gravità  $g$ ), è stato definito stimando i valori dei parametri che compaiono nelle (5) del capitolo 3.0 sulla base dei dati raccolti con i censimenti degli edifici in muratura di Venzone (UD) e Barrea (AQ): si è ottenuto  $\alpha_i = .08$ ,  $\beta_i = .0195$ ,  $\alpha_c = 1$ ,  $\beta_c = .00191$  e  $\gamma = 1.8$  (Guagenti e Petrini, 1989). Il modello di vulnerabilità è riportato in Fig.2. Si ricorda che, in tutte le precedenti relazioni, l'indice di vulnerabilità  $V$  è normalizzato al valore massimo 100 e le accelerazioni sono espresse in frazioni dell'accelerazione di gravità.

Le informazioni contenute nella scheda di vulnerabilità possono essere utilizzate anche per fini ulteriori rispetto a quelli fin qui descritti. In particolare, nell'ambito di una ricerca finanziata dalla Regione Toscana (Angeletti, 1990) e avente come oggetto gli edifici pubblici per i quali è attualmente in corso la progettazione di interventi di miglioramento o di adeguamento, è stata individuata una procedura che consente di delineare alcune caratteristiche sintetiche dell'edificio utili per descrivere qualitativamente il suo comportamento sotto azioni sismiche e per suggerire criteri di intervento. Più precisamente i risultati ottenibili sono:

- valutare il comportamento sismico atteso per ciascun edificio;
- individuare le principali carenze ad esso attribuibili;
- determinare gli indirizzi utili per ridurre la vulnerabilità.

A questo scopo ad ogni gruppo di informazioni di vulnerabilità della scheda (parametri ed elementi di valutazione) viene associata una caratteristica di comportamento. Ad esempio la classificazione del parametro 1 (tipo ed organizzazione del sistema resistente) dà indicazioni sul comportamento scattolare di un edificio in muratura e sul tipo di interventi richiesti per colmare le carenze denunciate dalla classificazione; in altri casi (ad esempio nell'esame della copertura) occorre riferirsi sia ai parametri, sia agli elementi di valutazione (ad es. cordoli, catene, spinta della copertura) per interpretare il comportamento e gli interventi. In base a questo primo tipo di risultati sarà possibile ottenere una sorta di *check-up* della costruzione leggendo le informazioni raccolte in scheda.

Per una corretta valutazione di questi aspetti, è opportuno far riferimento a diversi livelli di intensità sismica e a diversi livelli di danno.

Per ciò che riguarda il primo aspetto (i diversi livelli di intensità sismica), si possono assumere tre diversi livelli di riferimento. Il primo sarà il livello corrispondente ad un terremoto "frequente" per la zona; esso sarà chiamato terremoto di "bassa intensità". Il secondo livello è stato scelto corrispondente ad un evento paragonabile a quello usato come riferimento dalla normativa per le nuove edificazioni; esso viene chiamato terremoto "intenso". Il terzo livello corrisponde ad un evento vicino al massimo storico (o comunque ad un evento vicino al massimo ragionevolmente ipotizzabile in base alle conoscenze fisiche); esso viene chiamato terremoto "molto intenso".

Nel caso della Garfagnana e Lunigiana i valori di riferimento erano stati individuati, in maniera semplificata, in 50, 500 e 1000 anni.

I livelli di danno di riferimento saranno ancora tre, chiamati rispettivamente lievi, gravi, gravissimi. Vengono definiti lievi i danni che comportano una perdita di funzione trascurabile per l'elemento: ad esempio, per un elemento strutturale si ha perdita non significativa di capacità portante e di duttilità; per una tamponatura non si hanno lesioni rilevanti. Danni gravi vengono assunti quelli che comportano una perdita non molto rilevante di capacità portante o di duttilità in un elemento strutturale (in termini quantitativi può essere un 20-30%) e quelli che comportano lesioni o dissesti anche rilevanti, ma non crolli in un elemento non strutturale. Vengono definiti gravissimi i danni che comportano perdite significative (più del 50%) in termini di capacità portante e/o duttilità negli elementi resistenti e crolli in elementi non strutturali.

I livelli di terremoto e di danno vengono usati per descrivere il comportamento atteso di ogni edificio secondo la lettura delle informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità e secondo i criteri esposti di seguito.

È estremamente importante, per gli usi possibili, che si comprenda l'affidabilità dei risultati dell'analisi, dipendente da diversi fattori. Si è già detto che il modello di vulnerabilità è stato ideato per avere informazioni di carattere statistico; perciò i risultati (anche gli intermedi) hanno un valore puntuale con un'affidabilità ridotta. Ciò significa che l'analisi proposta - per questa prima ragione di carattere concettuale - non può essere che una guida (peraltro utile) per chiunque affronti l'analisi puntuale dell'edificio. È in questo senso che vanno intese le indicazioni che si possono trarre da questo tipo di analisi.

Una seconda considerazione va fatta e riguarda l'affidabilità delle informazioni raccolte. Su queste informazioni vengono generalmente effettuate due serie di controlli: la prima sulla correttezza formale delle informazioni, oltre che sulla loro congruenza incrociata, che viene effettuata in modo automatico sull'insieme delle schede raccolte con l'ausilio di opportuni codici di calcolo; la seconda di carattere analitico sulla singola scheda di ogni edificio, che viene svolta manualmente soprattutto nel caso di operazioni del tipo di quelle oggetto della presente analisi, che coinvolgono un numero relativamente basso di edifici, ognuno dei quali di importanza non trascurabile.

Naturalmente non tutti gli errori possono essere evidenziati; alcuni riguardano informazioni non controllabili "a tavolino", altri dipendono da scelte che vengono fatte dal rilevatore, legate alle condizioni operative nelle quali si è svolto il rilievo: è questo, ad esempio il caso, di alcune delle informazioni richieste per la classificazione di vulnerabilità. Ciò significa che per un diverso motivo, legato al metodo di rilievo, è possibile, anche se non molto probabile, che siano presenti errori nella valutazione (e quindi nella descrizione) del comportamento, delle carenze e delle strategie proposte per ogni edificio.

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.1 Edifici in muratura

---

Alcune applicazioni delle analisi sopra riportate, saranno presentate nella seconda parte di questa pubblicazione. È fin d'ora opportuno, tuttavia, introdurre alcune considerazioni. La descrizione del comportamento sismico della muratura può essere ricondotto ai seguenti elementi base:

- 1 funzionamento scatolare del complesso;
- 2 resistenza delle pareti;
- 3 efficienza dei diaframmi nel trasferimento delle azioni sismiche;
- 4 stabilità del complesso edificio-terreno;
- 5 comportamenti "locali", che non condizionano direttamente il comportamento sismico vero e proprio dell'edificio, ma che possono essere causa indiretta di danno: ad esempio il comportamento di elementi non strutturali o la stabilità dei solai sotto carichi verticali.

Per funzionamento scatolare si intende la capacità che possiede una costruzione muraria, formata da pareti nelle due direzioni, di resistere alle azioni orizzontali come un unico organismo e non come tante pareti indipendenti. Ciò è di fondamentale importanza per le costruzioni ordinarie in muratura per due ragioni principali. In primo luogo la ridottissima resistenza a trazione fa sì che una parete sollecitata da azioni perpendicolari al suo piano abbia una resistenza molto limitata se è isolata; viceversa la resistenza del pannello aumenta considerevolmente se la parete ha buoni collegamenti alle pareti in direzione perpendicolare. In secondo luogo la bassa duttilità del materiale porterebbe a collassi di tipo fragile ancora in assenza di dispositivi in grado di ripartire le azioni qualora l'elemento in crisi non fosse più in grado di reagire completamente. Il funzionamento che consente la corretta distribuzione delle azioni orizzontali su tutto l'organismo è chiamato comportamento scatolare in quanto è lo stesso che consente ad una scatola - anche formata da setti molto snelli - di resistere alle azioni esterne.

La resistenza delle pareti che interessa nell'analisi è quella che si evidenzia sotto azioni orizzontali agenti nel piano della parete. In questo caso i contributi alla resistenza sono di tipo tagliante e di tipo flessionale. È frequente il caso che - dati i rapporti geometrici dei pannelli - il contributo tagliante sia preponderante rispetto a quello flessionale; se si ipotizza inoltre che siano trascurabili le eccentricità in pianta delle azioni sismiche sulla costruzione, che la tensione tangenziale dipenda dalla tensione normale verticale secondo la relazione di *Tursnek- Cacovic* (la stessa che è riportata in scheda), che infine le pareti contigue possano essere considerate - ai fini dell'analisi - prive di collegamenti fra di loro, è possibile valutare agevolmente un rapporto fra azioni e resistenze e classificare, in base a questo rapporto, la resistenza delle pareti.

La funzione dei diaframmi consiste nel permettere il corretto trasferimento delle azioni sismiche da un elemento resistente all'altro. L'azione corrispondente all'inerzia dei solai e delle masse da essi sostenute agisce direttamente sulla

parete portante i carichi verticali del solaio se il solaio stesso non possiede una rigidezza nel suo piano sufficiente allo scopo; ciò significa che un'azione parallela ai travetti del solaio si troverebbe ad agire in larga misura perpendicolarmente al piano della parete portante. Viceversa, se il solaio costituisce diaframma rigido, o comunque ha una rigidezza sufficiente, trasferisce direttamente le azioni orizzontali alle pareti poste parallelamente alle azioni stesse.

Se si esclude il quarto elemento sul quale le informazioni della scheda offrono un quadro limitato e parziale, per gli altri si può stabilire una correlazione in termini rispettivamente di parametri e di elementi di valutazione:

- 1 il funzionamento scatolare è evidenziato in maniera specifica dal parametro 1 (tipo ed organizzazione del sistema resistente) e dall'elemento di valutazione associato (campo 33); inoltre dagli elementi relativi alla copertura (campi 84-86);
- 2 la resistenza delle pareti è evidenziata dal parametro 3 (resistenza convenzionale) e da tutti gli elementi associati (campi 35-55) che permettono di calcolare il coefficiente C (rapporto fra forze resistenti e forze agenti); il parametro 2 (qualità del sistema resistente), il parametro 11 (stato di fatto) e - parzialmente - i parametri 6 (configurazione planimetrica) e 7 (configurazione in elevazione) concorrono a modificare la resistenza;
- 3 l'efficienza dei diaframmi nel trasferire le azioni sismiche è evidenziata dai parametri 5 (orizzontamenti) e 9 (copertura) e dagli elementi associati (rispettivamente campi 62-65 per il parametro 5 e campi 84-89 per la copertura);
- 4 alcuni elementi di stabilità delle fondazioni e dei terreni di fondazione sono messi in evidenza dal parametro 4 (posizione edificio e fondazioni) e dagli elementi associati (campi 56-61);
- 5 i fatti di stabilità locale sono evidenziati dai parametri 5, 9 (per la stabilità dei solai) e dal parametro 10 (elementi non strutturali); in questo caso non sono presenti elementi di valutazione rilevanti.

#### Riferimenti bibliografici

1. Angeletti P., Bellina A., Guagenti E., Moretti A., Petrini V., 1988, *Comparison between Vulnerability Assessment and Damage Index, Some Results*, Proc. 9th World Conf. on Earthquake Engineering, 7, Tokyo-Kyoto: 181-186.
2. Angeletti P., 1990, *Criteri di interpretazione del comportamento sismico degli edifici pubblici strategici censiti in Garfagnana e Lunigiana (l. 730/86)*, Documento tecnico nell'ambito di una convenzione con la Regione Toscana.

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.1 Edifici in muratura

---

3. Benedetti D., Petrini V., 1984, *On Seismic Vulnerability of Masonry Buildings: Proposal of an Evaluation Procedure*, L'Industria delle Costruzioni, 18: 66-78.
4. Grandori G., Petrini V., 1977, *Comparative Analysis of the Seismic Risk in Sites of Different Seismicity*, Int. Jour. of Earth. Eng. and Struc. Dyn.
5. Guagenti E., Petrini V., 1989, *Il Caso delle Vecchie Costruzioni: Verso una Legge Danni-Intensità*, Atti IV Convegno Nazionale L'Ingegneria sismica in Italia, 1, Milano: 145-153.

Fig.1 Scheda di primo livello e scheda di secondo livello (muratura)

**GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI (G.N.D.T.) - C.N.R.**
**Scheda di 1° livello per il rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità degli edifici**

<b>Sezione 1 - DATI RELATIVI ALLA SCHEDA</b> Cod. ISTAT Provincia <input type="text"/> Cod. ISTAT Comune <input type="text"/> Comune <input type="text"/>	Scheda N° <input type="text"/> Data <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> giorno/mese/anno Squadra <input type="text"/> <input type="text"/>																																																																								
<b>Sezione 2 - LOCALIZZAZIONE EDIFICIO</b> Cod. ISTAT Sez. Cens. <input type="text"/> RIFERIMENTO CATASTALE Foglio <input type="text"/> Mappale <input type="text"/> Particella <input type="text"/> CARTOGRAFIA DI RILEVAZIONE Foglio <input type="text"/> Aggregato strutturale <input type="text"/> Edificio <input type="text"/> URBANISTICA Zona di piano <input type="text"/> Piano attuato <input type="text"/> Vincoli <input type="text"/>	Aggregato strutturale <input type="text"/> Edificio <input type="text"/> Ø via, viale - 1 corso <input type="text"/> 2 vicolo - 3 piazza, largo <input type="text"/> 4 località <input type="text"/> Nome <input type="text"/> N° civico <input type="text"/> N° accessi <input type="text"/> N° fronti a comune <input type="text"/>																																																																								
<b>Sezione 3 - DATI METRICI</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <input type="text"/>              Superficie media N° piani a superficie coperta (mq)              media coperta uguale         </div> <div style="text-align: center;"> <input type="text"/>              Altezza media interpianto (m)         </div> </div>	Altezza massima fuori terra valutata in gronda (m) <input type="text"/> Altezza minima fuori terra valutata in gronda (m) <input type="text"/> Larghezza strada fronte principale (m) <input type="text"/>																																																																								
<b>Sezione 4 - USO</b> Totale unità d'uso <input type="text"/> Stato dell'edificio <input type="text"/> F finito N non finito C in costruzione Condizioni d'uso <input type="text"/> 1 totalmente utilizzato 2 parzialmente utilizzato 3 non utilizzato 4 abbandonato	Proprietà <input type="text"/> Conduzione prev. <input type="text"/> 1 diretta 2 in locazione																																																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>             1 si <input type="text"/> 112              Residenza 2 no <input type="text"/> </div> <div>             Abitazioni occupate <input type="text"/> N° <input type="text"/> Sup. % <input type="text"/> </div> <div>             Abitazioni libere <input type="text"/> N° <input type="text"/> Sup. % <input type="text"/> </div> <div>             Abitazioni occup. salt. <input type="text"/> N° <input type="text"/> Sup. % <input type="text"/> </div> </div>																																																																									
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>             Att. produttive <input type="text"/> 1 si <input type="text"/> 122              2 no <input type="text"/> </div> <div>             Servizi pubbl. <input type="text"/> 1 si <input type="text"/> 123              2 no <input type="text"/> </div> <div>             Denom. dell'edificio <input type="text"/> 124         </div> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Unità d'uso</th> <th colspan="2">Periodo di utilizz.</th> <th colspan="2">Ut. Potenz.</th> <th>Bacino di utenza</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th>Codice</th> <th>Tipo</th> <th>Sup. %</th> <th>mesi</th> <th>giorni</th> <th>media</th> <th>max</th> <th>h/gg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>138</td><td>140</td><td>143</td><td>144</td><td>145</td><td></td><td>150</td><td></td><td>157</td></tr> <tr><td>160</td><td>162</td><td>165</td><td>166</td><td>167</td><td></td><td>172</td><td></td><td>179</td></tr> <tr><td>182</td><td>184</td><td>187</td><td>188</td><td>189</td><td></td><td>194</td><td></td><td>201</td></tr> <tr><td>204</td><td>206</td><td>209</td><td>210</td><td>211</td><td></td><td>216</td><td></td><td>223</td></tr> <tr><td>226</td><td>228</td><td>231</td><td>232</td><td>233</td><td></td><td>236</td><td></td><td>245</td></tr> <tr><td>248</td><td>250</td><td>253</td><td>254</td><td>255</td><td></td><td>260</td><td></td><td>267</td></tr> </tbody> </table>		Unità d'uso				Periodo di utilizz.		Ut. Potenz.		Bacino di utenza	N°	Codice	Tipo	Sup. %	mesi	giorni	media	max	h/gg	138	140	143	144	145		150		157	160	162	165	166	167		172		179	182	184	187	188	189		194		201	204	206	209	210	211		216		223	226	228	231	232	233		236		245	248	250	253	254	255		260		267
Unità d'uso				Periodo di utilizz.		Ut. Potenz.		Bacino di utenza																																																																	
N°	Codice	Tipo	Sup. %	mesi	giorni	media	max	h/gg																																																																	
138	140	143	144	145		150		157																																																																	
160	162	165	166	167		172		179																																																																	
182	184	187	188	189		194		201																																																																	
204	206	209	210	211		216		223																																																																	
226	228	231	232	233		236		245																																																																	
248	250	253	254	255		260		267																																																																	

Denominazione dell'edificio

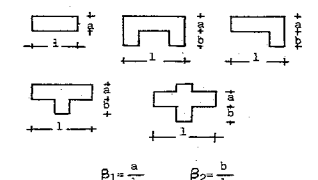
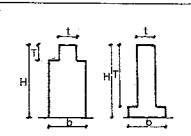
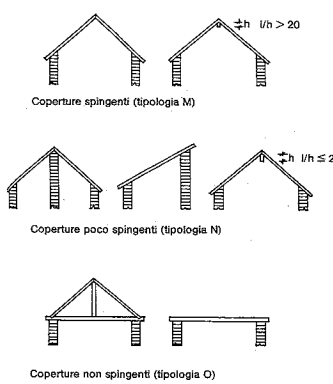
### 3.1 Edifici in muratura

<b>Sezione 5 - ETÀ DELLA COSTRUZIONE - INTERVENTI</b>			<b>Sez. 6 - STATO DELLE FINITURE E IMPIANTI</b>		
<b>Classi di età Interventi</b>					
A prima del '19	Ø Nessuno	Classe di età di costr.	E Efficiente	Intonaci/ paramenti esterni	273
B '19 - '45	1 Ampliamento		N Non efficiente	Infissi esterni	274
C '46 - '60	2 Sopraelevazione	Classe di età ultimo int.	Z Non esistente	Impianto elettrico	275
D '61 - '71	3 Ristrutturazione			Impianto idrico	276
E '72 - '75	4 Restauro	Tipo ultimo int.		Finiture interne (intonaci, pav.)	277
F '76 - '80	5 Manutenzione			Riscaldamento	278
G dopo '80	6 Rip. antisismica			Servizi igienici	279
H	7 Adeg. antisismico				
<b>Sezione 7 - TIPOLOGIA STRUTTURALE</b>					
Strutture verticali	Mur. a sacco	A	Strutture orizzontali	Legno	A
	Mur. a sacco con spigoli, mazzette e ricorsi	B		Legno con catene	B
	Mur. pietra sbazzata	C		Putrelle e voltine o tavelloni	C
	Mur. pietra sbazzata con rinforzi c.s.	D		Putrelle e voltine o tavelloni con catene	D
	Mur. pietre arrotondate	E		Laterocemento o solette in c.a.	E
	Mur. pietre arrotondate con rinforzi c.s.	F		Volte senza catene	F
	Mur. blocchetti tufo o pietra ben squadrata	G		Volte con catene	G
	Mur. blocchetti calc. inerti pesanti	H		Miste volte solai	H
	Mur. blocchetti calc. inerti leggeri	I		Miste volte solai con catene	I
	Mur. mattoni pieni o multifori	L			L
Scale	Mur. mattoni forati	M	Coperture	Legno spingenti	M
	Pareti calc. non armato	N		Legno "poco spingenti" (vedi manuale)	N
	Pareti calc. armato	O		Legno a spinta eliminata o travi orizz.	O
	Telai di c.a. non tamponati	P		Laterocemento o solette in c.a.	P
	Telai di c.a. con tamponature deboli	Q		Acciaio spingenti	Q
	Telai di c.a. con tamponature consist.	R		Acciaio non spingenti	R
	Ossatura metallica	S		Miste spingenti	S
	Miste	T		Miste non spingenti	T
		U			U
		V			
Struttura appoggiata in legno Ø Struttura a sbalzo in legno 1 Struttura appoggiata in acciaio 2 Struttura a sbalzo in acciaio 3 Struttura appoggiata in pietra o laterizio 4 Struttura a sbalzo in pietra o laterizio 5 Volta appoggiata in muratura 6 Volta a sbalzo in muratura 7 Struttura appoggiata in c.a. 8 Struttura a sbalzo in c.a. 9			<b>Tipologia edilizia prevalente</b> 1 tipologia specialistica (capannoni, chiese, etc.) 2 muratura o mista 3 c.a. 4 acciaio 5 altro		
<b>Sezione 8 - ESTENSIONE E LIVELLO DEL DANNO</b>					
<p>Evento. In data _____</p> <p>1 sisma _____</p> <p>2 altro _____</p>			<b>Estensione del danno</b>		
<b>Livello del danno</b>					
Nessun danno A Danno lieve B Danno medio C Danno grave D Danno gravissimo E Danno totale F			10 << 20 << 30 << 40 << 50 << 60 << 70 << 80 << 90 <<		
1 sì Danni impianti 2 no			<b>Sez. 6 - STATO DELLE FINITURE E IMPIANTI</b>		
			E Efficiente N Non efficiente Z Non esistente		
			Intonaci/ paramenti esterni Infissi esterni Impianto elettrico Impianto idrico Finiture interne (intonaci, pav.) Riscaldamento Servizi igienici		
			<b>Tipologia strutturale</b>		
			<b>Tipologia N° piani a tipologia strutturale uguale</b>		
			<b>Strutture verticali</b>		
			<b>Strutture orizzontali</b>		
			<b>Scale</b>		
			<b>Tamponature</b>		

**G.N.D.T. - SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)**

Codice ISTAT Provincia		Codice ISTAT Comune		Scheda No		
<b>PARAMETRI</b>	<b>Clas- si</b>	<b>Qual. inf.</b>	<b>ELEMENTI DI VALUTAZIONE</b>			
<b>1</b>	<b>TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)</b>	11	22	Norm. nuove costruz. (cl. A) <input type="checkbox"/> 33 Norm. riparazioni (cl. A) <input type="checkbox"/> 34 Cord. e cat. tutti livelli (cl. B) <input type="checkbox"/> 35 Buoni amm. fra mur. (cl. C) <input type="checkbox"/> 36 Senza cord. cattivi amm. (cl. D) <input type="checkbox"/> 37 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 38		
<b>2</b>	<b>QUALITÀ DEL S.R.</b>	12	23	Numero di piani <b>N</b> <input type="checkbox"/> 39 Area tot. cop. <b>A<sub>t</sub></b> (mq) <input type="checkbox"/> 40 Area <b>A<sub>x</sub></b> (mq) <input type="checkbox"/> 41 Area <b>A<sub>y</sub></b> (mq) <input type="checkbox"/> 42 <b>τ<sub>k</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 43 Alt. media interp. <b>h</b> (m) <input type="checkbox"/> 44 Peso spec. par. <b>p<sub>m</sub></b> (t/mc) <input type="checkbox"/> 45 Carico perm. sol. <b>p<sub>s</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 46		
<b>3</b>	<b>RESISTENZA CONVENZIONALE</b>	13	24	Pend. perc. terr. <input type="checkbox"/> 47 Roccia fond. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Terr. sc. non sp. fond. sì <input type="checkbox"/> 3 no <input type="checkbox"/> 4 Terr. sc. sp. fond. sì <input type="checkbox"/> 5 no <input type="checkbox"/> 6 Diff. max di quota Δh (m) <input type="checkbox"/> 48 Piani sfalsati sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Orizz. rig. e ben coll. <input type="checkbox"/> 49 Orizz. def. e ben coll. <input type="checkbox"/> 50 Orizz. rig. e mal coll. <input type="checkbox"/> 51 Orizz. def. e mal coll. <input type="checkbox"/> 52 % or. rig. ben coll. <input type="checkbox"/> 53		
<b>4</b>	<b>POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONI</b>	14	25	Rapp. perc. β <sub>1</sub> = a/l <input type="checkbox"/> 54 Rapp. perc. β <sub>2</sub> = b/l <input type="checkbox"/> 55 % aumento (+) / riduz. (-) di massa <input type="checkbox"/> 56 Rapp. perc. T/H <input type="checkbox"/> 57 Perc. in sup. port. <input type="checkbox"/> 58 Piano terra port. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Rapp. massimo l/s <input type="checkbox"/> 59		
<b>5</b>	<b>ORIZZONTAMENTI</b>	15	26	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 60 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 61 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 62 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 63 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 64		
<b>6</b>	<b>CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA</b>	16	27	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 65 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 66 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 67 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 68 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 69		
<b>7</b>	<b>CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE</b>	17	28	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 70 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 71 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 72 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 73 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 74		
<b>M8</b>	<b>D<sub>max</sub> MURATURE</b>	18	29	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 75 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 76 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 77 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 78 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 79		
<b>M9</b>	<b>COPERTURA</b>	19	30	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 80 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 81 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 82 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 83 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 84		
<b>10</b>	<b>EL. NON STRUTT.</b>	20	31	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 85 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 86 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 87 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 88 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 89		
<b>11</b>	<b>STATO DI FATTO</b>	21	32	Cop. non sp. <input type="checkbox"/> 90 poco sp. <input type="checkbox"/> 1 sp. <input type="checkbox"/> 2 Cord. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Cat. in copert. sì <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2 Car. perm. cop. <b>p<sub>c</sub></b> (t/mq) <input type="checkbox"/> 91 Lungh. app. cop. <b>l<sub>a</sub></b> (m) <input type="checkbox"/> 92 Perim. cop. <b>l</b> (m) <input type="checkbox"/> 93 (vedi manuale) <input type="checkbox"/> 94		

<b>SCHEMI - RICHIAMI (MURATURA)</b>	
<b>Parametro 3. Resistenza convenzionale.</b> Tipologia struttura verticale $\tau_k$ (t/mq) Minimo fra A <sub>x</sub> e A <sub>y</sub> A (mq) Massimo fra A <sub>x</sub> e A <sub>y</sub> B (mq) Coeff. a <sub>0</sub> = A/At Coeff. γ = B/A $q = (A_x + A_y) h \cdot p_m / At + p_s$ $C = \frac{a_0 \cdot \tau_k}{q \cdot N} \sqrt{1 + \frac{q \cdot N}{1.5 \cdot a_0 \cdot \tau_k \cdot (1 + \gamma)}}$ $\alpha = C/0.4$	
<b>Parametro 6. Configurazione planimetrica.</b>  $\beta_1 = \frac{a}{l}$ $\beta_2 = \frac{b}{l}$	
<b>Parametro 7. Configurazione in elevazione.</b> 	
<b>Parametro M9. Copertura.</b> 	

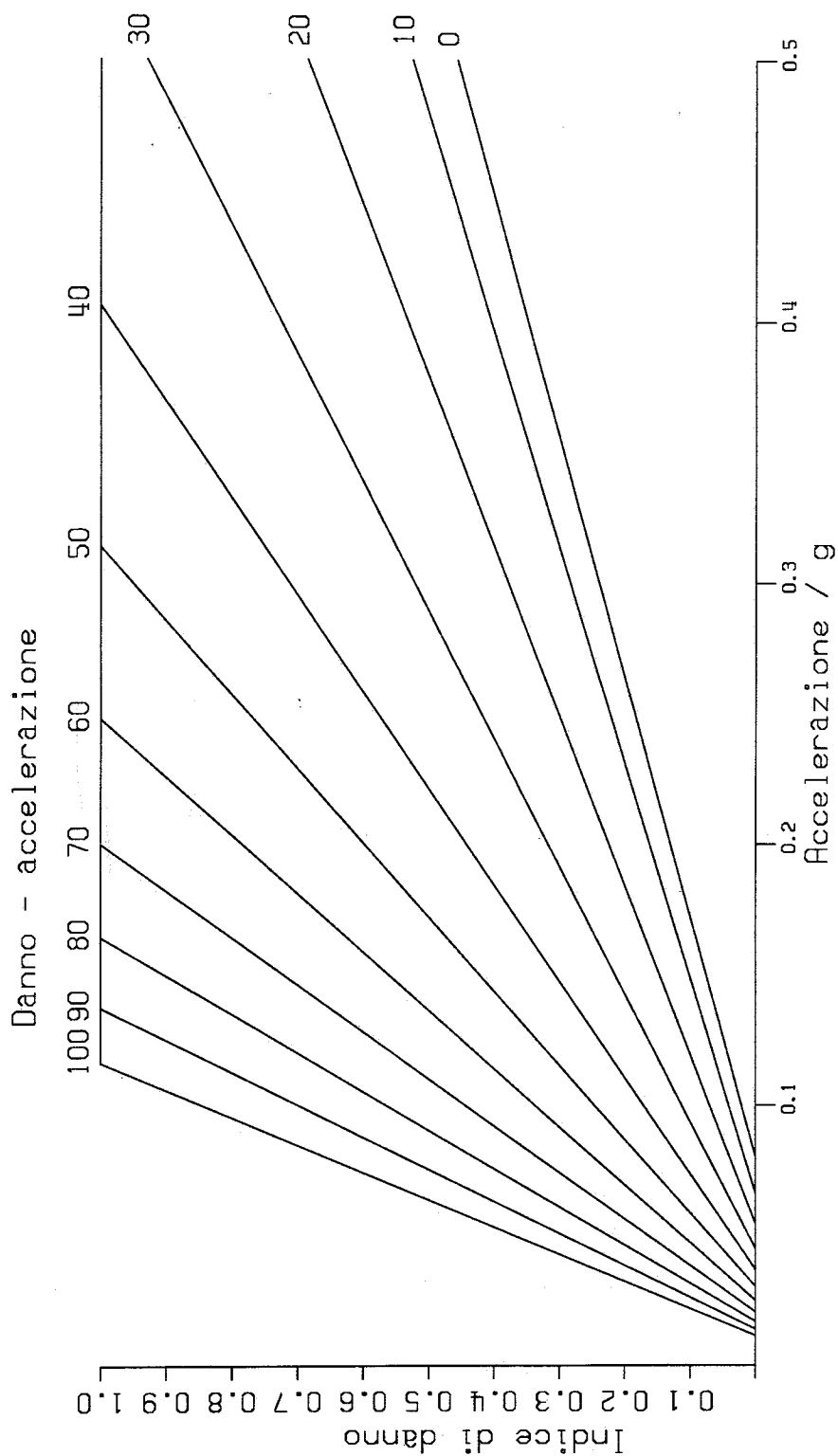


Fig.2 Modello di vulnerabilità per edifici in muratura. Relazione fra danno e accelerazione in funzione dell'indice di vulnerabilità



### 3.2. Edifici in cemento armato

*M. L. Beconcini, P. Cioni, C. Gavarini, N. Nisticò, L. Sanpaolesi*

La scheda di primo livello, descritta al capitolo 3.1, comprende anche gli edifici in cemento armato, con informazioni molto sommarie contenute nella sezione 7. Peraltro tali informazioni, fornite ad ogni piano a mezzo dei codici O, P, Q, R per le strutture verticali, sono già sufficienti a fornire elementi utili per valutazioni di vulnerabilità.

La scheda di secondo livello ha subito nel tempo una evoluzione sostanziale; dopo la prima versione proposta nel 1984 (*Gavarini e Angeletti, 1984; Angeletti e Gavarini, 1984*), il GNDT ha adottato la scheda illustrata di seguito.

La metodologia completa di secondo livello (*Beconcini et al., 1989; Gavarini et al., 1990*) si riconduce alla compilazione di tre ordini di schede (*Fig. 1*): la scheda detta principale e le schede accessorie P e V. La scheda principale contiene notizie generali e qualitative sull'edificio oltre ai dati relativi al numero di piani e ad alcune caratteristiche dei sistemi resistenti; le schede P e V contengono rispettivamente i dati per una definizione anche quantitativa del sistema di masse presenti ad ogni piano della costruzione e i dati geometrici dei sistemi resistenti ai piani giudicati essenziali nei confronti delle azioni orizzontali.

Per gli edifici della Emilia-Romagna sono state utilizzate la scheda di primo livello e quella di secondo livello limitata alla scheda principale; per metà circa degli edifici si è poi proceduto anche alla stesura delle schede P e V. Per chiarezza di linguaggio si useranno nel seguito le dizioni seguenti: primo livello; secondo livello solo scheda principale, ovvero IIP; secondo livello completo, ovvero IIC.

Alla raccolta dei dati d'insieme la scheda principale (*Fig. 1a*) dedica otto quadri:

- 1 *Tipo ed organizzazione del sistema resistente:*  
oltre ad informazioni sulla tipologia del sistema resistente, la possibile presenza di un piano flessibile e di giunti strutturali non sismici, ove ci fossero edifici contigui, dà informazioni sull'anno di costruzione, la possibile violazione delle procedure previste dalla Legge 2.2.74 n.64, e la disponibilità di disegni strutturali che agevolano il rilevamento dell'edificio ed aumentano l'attendibilità dei dati raccolti;
- 2 *Tecnologia del sistema resistente:*  
individua la tecnologia con cui è stata eseguita la struttura dell'edificio;

- 3 *Posizione edificio e fondazioni:*  
individua il tipo e la pendenza del terreno su cui è fondato l'edificio, la tipologia delle fondazioni e possibili dislivelli tra le stesse;
- 4 *Orizzontamenti:*  
segnala la presenza di tutti gli orizzontamenti, indicando le quote ed i numeri identificativi delle relative schede P (con ciò si elimina qualsiasi difficoltà ove vi siano piani sfalsati);
- 5 *Strutture verticali:*  
indica, per gli interpiani, compresi tra gli orizzontamenti sopra definiti, le altezze (dato ridondante a controllo) ed i numeri identificativi delle schede V che descrivono le strutture verticali presenti;
- 6 *Copertura:*  
definisce il tipo di copertura in modo da individuarne la configurazione e la posizione in rapporto alle strutture individuate al quadro 5;
- 7 *Qualità di materiali ed esecuzione:*  
si richiede un giudizio sui materiali usati e sul livello di qualità dell'esecuzione;
- 8 *Stato di fatto:*  
sono richieste informazioni atte a valutare lo stato di conservazione dell'edificio, la sua storia, il comportamento del terreno di giacitura.

Gli orizzontamenti, segnalati dal quadro 4, vengono descritti, nelle schede P (*Fig. 1b*), mediante una pluralità di contorni ad ogni livello, definiti con le coordinate dei vertici dei relativi poligoni; ogni contorno racchiude in genere un solaio, con caratteristiche che vengono indicate in termini di tipologia, spessore, carichi permanenti ed accidentali; oppure racchiude un vuoto (cortile, chiostri-  
na, ascensore), un vano scala, un altro solaio avente peso diverso, un balcone e così via.

Le strutture verticali, segnalate dal quadro 5, vengono descritte nelle schede V (*Fig. 1c*) indicando, con codifiche illustrate dal manuale di Istruzioni: posizione, materiali, caratteristiche dimensionali essenziali, presenza e caratteristiche di eventuali elementi a bassa duttilità.

Con le schede P e V l'operatore dispone di uno strumento che gli permette di descrivere in una misura assai dettagliata le masse presenti e le strutture suscettibili di resistere alle azioni laterali. Così ad esempio, un telaio verticale con quattro pilastri, che abbia tre campi distinti occupati rispettivamente, ad un dato piano, da tamponatura di tipo A (cioè più robusta, secondo la definizione del manuale), di tipo B (meno "robusta"), e vuoto, si può descrivere con tre strutture definite "adiacenti", cioè aventi pilastri in comune. Eventuali variazioni del sistema agli altri piani possono essere agevolmente tenute in conto.

Con l'unica limitazione della non conoscenza delle armature, certo non banale, si ottiene quindi una messe di informazioni assai ricca, atta a consentire, in sede di elaborazione, valutazioni di una certa finezza, che forse si potrebbero anche definire di livello superiore a quello che generalmente si intende come secondo.

L'altra limitazione, accanto alla ignoranza delle armature, sta nelle incertezze che possono presentarsi, nei casi meno fortunati, in ordine alla presenza e alle dimensioni di travi e pilastri, natura dei materiali, presenza e natura di fondazioni ed altro. La possibile presenza di siffatte incertezze porta a richiedere per alcuni parametri, come già nella scheda muratura, l'indicazione concernente la "qualità della informazione", distinta in: "elevata" (E), "media" (M), "bassa" (B), "assente" (A).

Notizie più dettagliate sulla scheda sono contenute nel Manuale di Istruzioni per la compilazione.

Il caricamento e l'archiviazione dei dati sono effettuati su calcolatori anche di modeste dimensioni (PC) con l'ausilio di un programma appositamente predisposto che guida l'operatore all'inserimento dei dati, effettua una serie di controlli rifiutando dati incompatibili con la logica di compilazione della scheda, provvede alla formazione di archivi, e dispone di una procedura per la correzione dei dati archiviati.

Si può inoltre aggiungere che la scheda di secondo livello completa si presta, oltre che a valutazioni finalizzate alla definizione del rischio su vaste aree urbanizzate, o relative a grandi popolazioni di edifici (quali gli edifici pubblici relativi ad una intera regione), anche ad altre operazioni; tali operazioni si possono in parte già configurare sin d'ora, ad esempio studi metaprogettuali su ipotesi di intervento di adeguamento antisismico, oppure potranno essere concepite in futuro; ciò significa che rimane comunque fondamentale conservare tutti i dati raccolti, indipendentemente dall'eventuale uso di indici sintetici per rappresentare i dati stessi.

Per quanto riguarda le valutazioni finalizzate alla definizione del rischio sono possibili tre diverse situazioni, ad ognuna delle quali corrispondono diversi metodi di elaborazione, a seconda del tipo di dati che vengono raccolti:

- a edifici censiti con la scheda di primo livello e con quella di secondo livello completa (II C);
- b edifici censiti con la scheda di primo livello e con la sola scheda principale di secondo livello (II P);
- c edifici censiti con la sola scheda di primo livello.

### a. Metodi associati ai dati di secondo livello completo (II C)

Nel caso di rilevamento eseguito con la scheda di secondo livello completa, si dispone di due metodologie di valutazione della vulnerabilità, una che consiste in un metodo meccanicistico nell'ambito delle tecniche dirette, l'altra che consiste in un metodo ibrido nell'ambito delle tecniche indirette.

Il primo metodo conduce direttamente alla definizione della retta accelerazione danno di Fig.2 del capitolo 3.0 la quale, come si vedrà in seguito, costituisce dato d'ingresso di vulnerabilità per la valutazione del rischio. Il metodo (Gavarini e Paolone, 1991a; Gavarini e Paolone, 1991b; Gavarini e Nisticò, 1991) si basa sulla valutazione della resistenza dell'edificio alle azioni laterali, e sul confronto di queste con le forze statiche equivalenti valutate prendendo come riferimento la bozza di normativa GNDT (1985).

La logica generale del modello di calcolo utilizzato per valutare la resistenza dell'edificio è molto simile a quella del noto POR:

- si ammette che i diaframmi orizzontali costituiti dai solai siano rigidi nel proprio piano;
- si considera un comportamento "shear type" piano per piano;
- si definisce una biblioteca di elementi costituiti da:
  - pilastri (ovvero telai non tamponati);
  - telai (piani) tamponati;
  - pareti in muratura ordinaria (non "intelaiata");
  - setti in cemento armato;
- si considerano valori cautelativi per le armature dei pilastri;
- si considerano in successione i vari piani e ad ogni piano si effettua la ripartizione delle azioni orizzontali (assunte alternativamente secondo due direzioni) sulla base delle rigidezze degli elementi presenti;
- superato il limite elastico nel primo elemento, si passa alla fase elasto-plastica, assumendo opportune duttilità;
- si perviene alla determinazione del moltiplicatore di carico oltre il quale la resistenza non aumenta più.

Per ognuno degli  $n$  piani dell'edificio ed in due diverse direzioni si ottengono così due valori rappresentativi della forza resistente al limite elastico e di uno stato limite ultimo convenzionale. Complessivamente si hanno  $2n$  coppie di valori, dalle quali è possibile valutare la curva (retta) di danno dell'edificio nel seguente modo.

Prendendo come riferimento la bozza di normativa GNDT, le forze statiche di progetto si ottengono mediante la formula seguente:

$$F_i = (a/g) P R(T) (1/K) \Gamma_i \quad (1)$$

dove:

- $F_i$  è la forza orizzontale agente parallelamente alla direzione del sisma ed applicata nel baricentro della massa del piano i-esimo;
- $(a/g)$  è il valore di picco dell' accelerazione al suolo, rapportato all' accelerazione di gravità;
- $P$  è il coefficiente di pendio;
- $R(T)$  è lo spettro di risposta normalizzato;
- $K$  è il coefficiente di struttura;
- $\Gamma_i$  è il coefficiente di ripartizione sismica di piano definito dalla nota relazione:

$$\Gamma_i = h_i W_i \left( \sum_1^n W_j \right) / \left( \sum_1^n W_j h_j \right) \quad (2)$$

A partire dalla (1) è possibile valutare il tagliante sismico di piano  $T_i$ , ovvero la risultante di tutte le azioni sismiche agenti sul piano medesimo e su quelli ad esso sovrastanti:

$$T_i = (a/g) P R(T) (1/K) \sum_i^n \Gamma_j \quad (3)$$

La (3) può essere risolta in termini di  $(a/g)$ :

$$(a/g) = T_i K / (P R(T) \sum_i^n \Gamma_j) \quad (4)$$

È chiaro quindi che è possibile valutare per quale valore dell' accelerazione al suolo si avrebbe un determinato tagliante sismico (pensato agente in una data direzione) al piano i-esimo ed in particolare quella coppia di valori che causerebbero rispettivamente l' entrata in campo plastico della struttura del piano considerato ed il suo collasso: è sufficiente infatti sostituire in luogo delle  $T_i$  i valori della forza resistente al limite elastico ed al limite di collasso nella direzione considerata, ponendo nel primo caso  $K=1$ , e nel secondo  $K$  variabile tra 2 e 4 in funzione della tipologia e della regolarità strutturale.

Effettuando la predetta sostituzione per tutti i piani ed in due direzioni si ottengono due famiglie (la prima relativa alle accelerazioni al limite elastico, la seconda a quelle di collasso) di  $2n$  valori, dalle quali è possibile scegliere i valori minimi per individuare una coppia di accelerazioni relativa all' intera struttura e non al singolo piano; coppia di accelerazioni che identificano la curva (retta) di danno.

Il secondo metodo (*Beconcini et al.*, 1990) è simile a quello adottato per gli edifici in muratura, con la definizione di un indice di vulnerabilità, nel quale si

cerca di tener conto di tutti gli elementi noti, anche quelli di più difficile gestione in chiave meccanica. In sintesi, la vulnerabilità di un edificio è espressa tramite un indice numerico,  $I_v$ , che esprime la differenza tra l'accelerazione di picco prevista dalla normativa italiana per le zone sismiche di prima categoria ed un valore dell'accelerazione sopportabile dall'edificio, valutato in modo approssimato e sintetico. Tale indice è quindi crescente con la vulnerabilità; in particolare, nei limiti delle approssimazioni, è uguale a zero per edifici che presentano la stessa sicurezza prescritta dalla normativa nei confronti delle azioni sismiche previste per le zone di prima categoria; è maggiore di zero per edifici che hanno sicurezza inferiore. L'indice  $I_v$  viene valutato secondo i seguenti passi:

- dapprima si calcola, in via approssimata, la resistenza a taglio ultima globale degli elementi strutturali verticali, tenendo conto delle rigidzze relative ma non della disposizione in pianta né delle irregolarità di forma dell'edificio;
- si valuta quindi la "capacità sismica dell'edificio,  $C$ " moltiplicando la predetta resistenza per tre coefficienti riduttivi:
- coefficiente di riduzione  $C_D$  che tiene conto dello stato di conservazione dell'edificio;
- coefficiente  $C_G$ , dipendente dalle caratteristiche del terreno e delle fondazioni;
- coefficiente  $C_P$ , funzione della regolarità, della presenza di elementi a bassa duttilità e di configurazioni geometriche e strutturali che potrebbero indurre danneggiamenti di entità difficilmente prevedibile;
- in base alla capacità sismica  $C$ , attraverso valutazioni approssimate, si perviene al calcolo delle accelerazioni corrispondenti all'inizio del danneggiamento degli elementi non strutturali ed al raggiungimento della condizione di collasso; la media dei due valori di accelerazione così trovati è messa a confronto con il valore di accelerazione fornito dalla normativa per la stima dell'indice di vulnerabilità.

#### *b. Metodi associati ai soli dati della scheda principale (II P)*

Nel caso si disponga della sola scheda principale, i procedimenti sopra descritti non sono applicabili direttamente, per mancanza di dati. Ciò peraltro non significa che sia impossibile una valutazione di vulnerabilità: occorre affidarsi a criteri qualitativi, ed accontentarsi di stime con maggiori gradi di incertezza. Anche per questo tipo di situazione sono stati proposti due metodi, uno basato sul cosiddetto "grafo di vulnerabilità" (Cioni e Beconcini, 1991), un altro (Gavarini e Nisticò, 1992) basato sulla definizione di curve di danno assegnate a classi tipologiche utilizzando il metodo meccanico sopra descritto.

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.2 Edifici in cemento armato

Il procedimento basato sul grafo assegna ad ogni edificio una delle cinque classi di vulnerabilità previste (Tab.1).

La classificazione si basa sull'importanza che ognuno dei dodici parametri, riportati in Tab.2, ha ai fini del buon comportamento dell'edificio per azioni sismiche. Poiché non sempre i dati rilevati sono attendibili, l'importanza di ogni parametro è opportunamente valutata in base alla qualità dell'informazione.

Tab. 1					
CLASSI DI VULNERABILITÀ					
CLASSE	1	2	3	4	5
VULNERABILITÀ	bassa	medio-bassa	media	medio-alta	alta

Tab. 2	
PARAMETRI DI VALUTAZIONE CON LA TECNICA DEL GRAFO	
1	elementi strutturali presenti
2	regime legge 64/74
3	presenza piano flessibile
4	contatto fra edifici
5	sistema resistente
6	tipo di fondazioni
7	pendenza % terreno
8	fondazioni a quote diverse
9	materiali ed esecuzione
10	stato di fatto
11	regolarità
12	numero di piani

Il secondo procedimento, che è quello qui adottato per fornire gli elementi alla analisi di rischio, associa ad ogni edificio una curva di danno, secondo quanto esposto nel seguito.

Elaborazioni numeriche, condotte su un grande numero di edifici rilevati in maniera completa, effettuate utilizzando la procedura PORTAM precedentemente descritta (*Gavarini, Nisticò, Paolone, 1991*), hanno consentito di definire, in base alla percentuale di forza resistente assorbita in campo elastico dalle diverse tipologie di elementi (setti, pilastri, telai tamponati, murature portanti), quattro classi:

- classe A: edifici con struttura intelaiata;
- classe B: edifici con struttura intelaiata e a parete;
- classe C: edifici con struttura a parete
- classe D: edifici con struttura intelaiata e muratura portante

e, per ognuna di esse, due sottoclassi che accorpano rispettivamente gli edifici con un numero di piani minore o uguale a tre (sottoclasse 1), e maggiore di tre (sottoclasse 2) (Tab.3). Elaborazioni statistiche hanno consentito di determinare per ognuna delle otto classi i valori medi delle accelerazioni delle masse strutturali al limite elastico ( $a_e$ ) ed al collasso ( $a_c$ ) (Gavarini e Nisticò, 1992) (Tab.3).

Tab. 3								
ACCELERAZIONI RELATIVE ALLE SINGOLE CLASSI								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
$a_e / g$	.246	.113	.306	.128	.508	.338	.361	.179
$a_c / g$	1.261	.518	1.966	.922	3.296	2.570	1.389	.836

Ad ogni edificio rilevato solo con la scheda IIP, è stata associata una delle quattro classi previste, in base ai dati forniti dalla voce "elementi presenti" del quadro 1 della scheda principale, e la sottoclasse in base al numero di piani. La metodologia seguita per l'assegnazione della classe può essere sintetizzata con lo schema decisionale rappresentato dalla matrice riportata in Tab.4.

La matrice ha undici colonne ad ognuna delle quali corrisponde una possibile combinazione degli elementi strutturali previsti dal quadro 1 della scheda principale che consente di attribuire l'edificio ad una delle quattro classi previste. Ogni colonna ha infatti sette righe ed ogni elemento della matrice indica se l'elemento strutturale al quale si riferisce deve essere presente o meno all'interno dell'edificio affinché allo stesso possa essere assegnata la classe corrispondente. Se una posizione della matrice non contiene alcuna indicazione vuol dire che l'eventuale presenza dei relativi elementi strutturali è influente ai fini della assegnazione della classe. Ad esempio, facendo riferimento alla prima colonna, si ha che un edificio nel quale non sono presenti elementi di tipo 1, 5 e 7, indipendentemente dalla presenza degli elementi di tipo 2, 3, 4 e 6, appartiene alla classe A; facendo riferimento alla seconda colonna, si ha che un edificio nel quale sono presenti elementi di tipo 3 e 5 e non sono presenti elementi di tipo 1 e 7, indipendentemente dalla presenza di elementi di tipo 2, 4 e 6, appartiene ancora alla classe A.

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.2 Edifici in cemento armato

Tab. 4											
ASSOCIAZIONE TRA TIPOLOGIA STRUTTURALE E CLASSI											
	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	D
1	no	no	no	si	si	si	si	si	si		no
2				si					no	si	
3		si			si		si		no		
4			si			si		si	no		
5	no	si	si	no	no	no	si	si		si	
6											
7	no	no	no							no	si

Nota la classe e la sottoclasse, sono noti i valori delle accelerazioni limite sulla struttura, che divisi per il fattore di amplificazione dinamica  $R(T)$  rappresentano le accelerazioni al suolo caratterizzanti la curva di danno. Il valore di  $R(T)$ , funzione del periodo proprio della struttura e del tipo di suolo, è deducibile in base al numero di piani ed alle indicazioni fornite dalle voci "tipo di terreno" e "pendenza percentuale del terreno" del quadro 3.

#### c. Metodi associati ai soli dati di primo livello

Nel caso si disponga unicamente dei soli dati relativi alla scheda di primo livello, un primo procedimento consiste nel far rientrare gli edifici in una delle otto classi del caso precedente basandosi sui dati dimensionali e tipologici che tale scheda fornisce. In particolare si sono utilizzati i seguenti criteri.

Ad ogni edificio è stata associata una delle otto classi della Tab.3 in base al numero di piani, deducibile dai dati riportati nella sezione 3 (Dati metrici) della scheda e ai dati riportati nella voce strutture verticali della sezione 7 (Tab.5).

Tab. 5					
ASSOCIAZIONE TRA STRUTTURA VERTICALE E CLASSE					
STRUTTURE VERTICALI	O	P	Q	R	T
CLASSE	C	A	A	C	D

Nota la classe, la curva di danno è valutata seguendo gli stessi criteri utilizzati per gli edifici rilevati con la scheda IIP, con l'unica differenza relativa alla valutazione del fattore di amplificazione dinamica  $R(T)$ , non differenziabile in questo caso in base al tipo di terreno, dato non previsto dalla scheda di I livello. Per ovviare a tale inconveniente  $R(T)$  deve essere valutato scegliendo il tipo di terreno in base a informazioni esterne alla scheda.

Anche il grafo di cui al punto 3.2b è applicabile nel caso in cui si disponga delle sole informazioni di primo livello: da queste infatti, eccetto che per i parametri 6, 9 e in parte 11, è possibile desumere tutti i dati occorrenti. L'attendibilità dei dati stessi, richiesta dal procedimento ma non fornita dalla scheda di primo livello, si può assegnare -per ogni parametro- con una opportuna stima caso per caso.

La valutazione della vulnerabilità, indipendentemente dalla metodologia utilizzata, richiede, se effettuata su larga scala, l'automatizzazione di tutte le procedure che consentono:

- l'archiviazione ed il controllo dei dati raccolti;
- la consultazione della banca dati;
- l'estrazione dei dati di interesse;
- la modellazione della struttura;
- il calcolo strutturale;
- la visualizzazione dei risultati.

Se poi l'obiettivo è la riduzione della vulnerabilità, è importante poter effettuare valutazioni di possibili interventi di rinforzo strutturale sugli edifici archiviati, volti a conferire agli stessi la capacità di resistere ai terremoti meglio di quanto non siano in grado di fare allo stato attuale.

Sulla base della banca dati costituita dall'insieme delle schede e degli strumenti software sopra indicati, tali valutazioni possono essere condotte da un operatore esperto il quale procederà, per ogni edificio, secondo lo schema seguente:

- visione della struttura allo stato attuale;
- valutazione della vulnerabilità;
- individuazione dei possibili punti deboli indicati dal calcolo strutturale e attraverso la valutazione di parametri che potrebbero condizionare la risposta dell'edificio se sottoposto ad azioni sismiche;
- modifica della struttura con aggiunta o sostituzione di elementi strutturali;
- valutazione di vulnerabilità della struttura modificata.

Detto approccio è suscettibile di essere facilitato dalla messa a punto di ulteriori strumenti software, che sono in corso di realizzazione.

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.2 Edifici in cemento armato

---

##### Riferimenti bibliografici

1. Angeletti P., Gavarini C., 1984, *Un metodo di valutazione della vulnerabilità sismica per edifici esistenti di cemento armato. Confronti sperimentali*, Atti II Conv. Naz. sulla Ingegneria Sismica in Italia, Rapallo.
2. Beconcini M. L., Cioni P., Gavarini C., Sanpaolesi L., 1989, *Proposta per una metodologia di rilievo della vulnerabilità sismica di edifici in c.a.*, Atti IV Conv. Naz. sulla Ingegneria Sismica in Italia, Milano.
3. Beconcini M.L., Cioni P., Favilli A., Sanpaolesi L., 1990, *Analysing survey data relative to the seismic vulnerability of reinforced concrete structures*, Proc. 9th Eur. Conf. on Earthquake Engineering, Moscow.
4. Cioni P., Beconcini M.L., 1991, *Elaborazione dei dati di rilievo della vulnerabilità sismica di campioni di edifici in c.a., confronto di metodi diversi*, Atti V Conv. Naz. sulla Ingegneria Sismica in Italia, Palermo.
5. Gavarini C., Angeletti P., 1984, *Assessing seismic vulnerability in view of developing cost/benefit ratios for existing R.C. buildings in Italy*, Proc. 8th world Conf. on Earthquake Engineering, San Francisco.
6. Gavarini C., Sanpaolesi L., Beconcini M.L., Cioni P., 1990, *A method for surveying the seismic vulnerability of existing reinforced concrete buildings.*, Proc. 9th Eur. Conf. on Earthquake Engineering, Moscow.
7. Gavarini C., Paolone A., 1991, *Vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato - Nota 1 - Indagini parametriche sulla resistenza alle azioni laterali di telai piani in cemento armato tamponati*, Ingegneria Sismica N. 1.
8. Gavarini C., Paolone A., 1991, *Vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato - Nota 2 - PORTAM : un software per la valutazione della resistenza alle azioni laterali di telai spaziali in cemento armato*, Ingegneria Sismica N. 2.
9. Gavarini C., Nisticò N., 1991, *Vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato - Nota 3 - Definizione della vulnerabilità mediante rette danno-accelerazione*, Ingegneria Sismica, N. 2.
10. Gavarini C., Nisticò N., 1992, *Definizione di curve di danno per classi tipologiche*, Rapporto Interno.
11. C.N.R., G.N.D.T., 1985: *Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica*, Ingegneria Sismica, N. 1.

**Fig. 1a** Vulnerabilità secondo livello-Scheda principale

**VULNERABILITÀ 2° LIVELLO - SCHEDA PRINCIPALE**

7/89

codice ISTAT Provincia <input style="width: 20px;" type="text"/>		codice ISTAT Comune <input style="width: 20px;" type="text"/>		scheda n° <input style="width: 20px;" type="text"/>		n° schede P <input style="width: 20px;" type="text"/>		n° schede V <input style="width: 20px;" type="text"/>	
--	--	---	--	---	--	---	--	---	--

<b>1</b>	<b>TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE</b>	<b>ELEMENTI STRUTTURALI PRESENTI</b> <span style="float: right;">15 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/></span> 1) pareti e/o nuclei c.a. 2) telai in due direzioni 3) telai assenti o carenti in una direzione 4) telai assenti o carenti in due direzioni 5) presenza tamponature tipo A 6) presenza tamponature tipo B 7) murature portanti [indicare uno, al più tre elementi]	<b>DISEGNI STRUTTURALI DISPONIBILI</b> <span style="float: right;">19 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/></span> REGIME L. 02/02/74 n° 64 CONTATTO CON ALTRI EDIFICI PRESENZA PIANO FLESSIBILE ANNO DI COSTRUZIONE <span style="float: right;">27 <input type="checkbox"/> 28 <input type="checkbox"/></span>
		<b>TECNOLOGIA DEL SISTEMA RESISTENTE</b> <span style="float: right;">32 <input type="checkbox"/> 33 <input type="checkbox"/></span> SISTEMA RESISTENTE 1) gettato in opera a travi e pilastri 2) gettato in opera a setti e/o casseforme tunnel	3) prefabbricato a pannelli portanti 4) prefabbricato a travi e pilastri 5) c.a. e murature portanti

<b>3</b>	<b>POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONI</b>	<b>TIPO DI TERRENO</b> <span style="float: right;">34 <input type="checkbox"/> 35 <input type="checkbox"/></span> 1) roccia 2) compatto 3) sciolto  <b>PENDENZA PERCENTUALE TERRENO</b> <span style="float: right;">36 <input type="checkbox"/> 37 <input type="checkbox"/></span>	<b>TIPO DI FONDAZIONI</b> <span style="float: right;">39 <input type="checkbox"/> 40 <input type="checkbox"/></span> 1) plinti isolati 2) plinti collegati 3) travi rovesce 4) platea 5) fondazioni profonde  <b>FONDAZIONI A QUOTE DIVERSE</b> <span style="float: right;">41 <input type="checkbox"/> 42 <input type="checkbox"/></span>
----------	--	---	---

<b>4 ORIZZONTAMENTI</b>	<b>5 STRUTTURE VERTICALI</b>	<b>7 QUALITÀ DI MATERIALI ED ESECUZIONE</b>																																																																																																																																																																																																										
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">43</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">44</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">48</td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">24</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">23</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">22</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">21</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">19</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">18</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">17</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">16</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">15</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">14</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">13</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">L</td> <td style="text-align: center;">+/- Quota</td> <td style="text-align: center;">P</td> </tr> </table>	43	44	48	24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L	+/- Quota	P	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">49</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">51</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">53</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">56</td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">24</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">23</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">22</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">21</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">19</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">18</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">17</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">16</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">15</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">14</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">13</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">L<sub>1</sub></td> <td style="text-align: center;">L<sub>2</sub></td> <td style="text-align: center;">H</td> <td style="text-align: center;">V</td> </tr> </table>	49	51	53	56	24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H	V	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">CALCESTRUZZO (B, M, C)</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">67 <input type="checkbox"/> 68 <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>ARMATURE (B, C)</td> <td style="text-align: center;">69 <input type="checkbox"/> 70 <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>TAMPONATURE (B, M, C)</td> <td style="text-align: center;">71 <input type="checkbox"/> 72 <input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <div style="text-align: center;"><b>8 STATO DI FATTO</b></div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">FONDAZIONI</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>presenza di cedimenti di fondaz.</td> <td style="text-align: center;">73 <input type="checkbox"/> 74 <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>les. nelle strutt. in c.a. del cantinato</td> <td style="text-align: center;">75 <input type="checkbox"/> 76 <input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">TAMPONATURE, TRAMEZZI E MURATURE PORTANTI</td> </tr></table>	CALCESTRUZZO (B, M, C)	67 <input type="checkbox"/> 68 <input type="checkbox"/>	ARMATURE (B, C)	69 <input type="checkbox"/> 70 <input type="checkbox"/>	TAMPONATURE (B, M, C)	71 <input type="checkbox"/> 72 <input type="checkbox"/>	FONDAZIONI		presenza di cedimenti di fondaz.	73 <input type="checkbox"/> 74 <input type="checkbox"/>	les. nelle strutt. in c.a. del cantinato	75 <input type="checkbox"/> 76 <input type="checkbox"/>	TAMPONATURE, TRAMEZZI E MURATURE PORTANTI
43	44	48																																																																																																																																																																																																										
24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																										
L	+/- Quota	P																																																																																																																																																																																																										
49	51	53	56																																																																																																																																																																																																									
24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																									
L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H	V																																																																																																																																																																																																									
CALCESTRUZZO (B, M, C)	67 <input type="checkbox"/> 68 <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																											
ARMATURE (B, C)	69 <input type="checkbox"/> 70 <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																											
TAMPONATURE (B, M, C)	71 <input type="checkbox"/> 72 <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																											
FONDAZIONI																																																																																																																																																																																																												
presenza di cedimenti di fondaz.	73 <input type="checkbox"/> 74 <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																											
les. nelle strutt. in c.a. del cantinato	75 <input type="checkbox"/> 76 <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																											
TAMPONATURE, TRAMEZZI E MURATURE PORTANTI																																																																																																																																																																																																												

### 3.2 Edifici in cemento armato

**Fig. 1b** Vulnerabilità secondo livello-Scheda P

**VULNERABILITÀ 2° LIVELLO - SCHEDA «P»**

7/89

codice ISTAT Provincia	<div><div></div><div></div><div></div></div>	codice ISTAT Comune	<div><div></div><div></div><div></div></div>	scheda n°	<div><div></div><div></div><div></div></div>	scheda «P» n°	<div><div></div><div></div><div></div></div>
NUMERO DI ZONE ELENcate NELLA SCHEDA <sup>12</sup> <div><div></div><div></div></div>							

	zona <small>14</small>	z.e. <small>16</small>	z.i. <small>18</small>	n <small>20</small>	t <small>22</small>	s <small>23</small>	c.p. <small>25</small>	c.a. <small>28</small>
QUADRO A	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

QUADRO B							
zona <small>31</small>	punto <small>33</small>	+/- x <small>35</small>	+/- y <small>40</small>	zona <small>31</small>	punto <small>33</small>	+/- x <small>35</small>	+/- y <small>40</small>
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>

Fig. 1c Vulnerabilità secondo livello-Scheda V

7/89

**VULNERABILITÀ 2° LIVELLO - SCHEDA «V»**

codice ISTAT Provincia <sup>1</sup>		codice ISTAT Comune <sup>3</sup>		scheda n° <sup>6</sup>		scheda «V» n° <sup>11</sup>	
<b>NUMERO DI STRUTTURE ELENcate NELLA SCHEDA <sup>12</sup></b>							
S	S <sub>ad</sub>	+/-	X <sub>i</sub>	+/-	Y <sub>i</sub>	+/-	X <sub>i</sub>
14	16	18	20	22	24	26	28
		+/-	Y <sub>i</sub>	+/-	X <sub>i</sub>	+/-	Y <sub>i</sub>
		30	32	34	36	38	40
		S <sub>id</sub>	+/-	X <sub>i</sub>	+/-	Y <sub>i</sub>	+/-
		42	44	46	48	50	52
		cont. sol.	el. b. d.	tamponamenti	pilastri	travi	64
		54	56	58	60	62	64

### 3. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

#### 3.2 Edifici in cemento armato

#### ISTRUZIONI ESSENZIALI

##### SCHEDA «P»

col. 14 - <b>zona</b>	numero d'ordine della zona
col. 16 - <b>z.e.</b>	zona esterna
col. 18 - <b>z.i.</b>	zona identica
col. 20 - <b>n</b>	numero totale di punti del contorno
col. 22 - <b>t</b>	tipo di zona
	L - solaio latero-cementizio
	C - solaio in c.a. alleggerito
	P - soletta piena in c.a.
	A - vano ascensore
	S - corpo scala
	V - vuoto
cpl. 23 - <b>s</b>	spessore del solaio
col. 25 - <b>c.p.</b>	carichi permanenti
col. 28 - <b>c.a.</b>	carichi accidentali
col. 31 - <b>zona</b>	numero d'ordine della zona
col. 33 - <b>punto</b>	numero d'ordine che individua il punto
col. 35 - <b>X</b>	coordinate del punto nel sistema di
col. 40 - <b>Y</b>	riferimento adottato

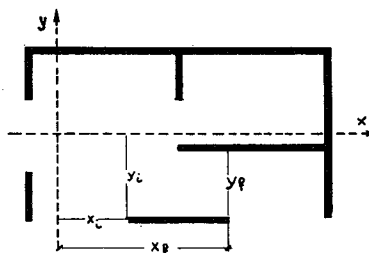


Fig. 1

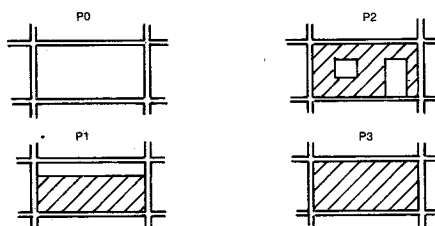


Fig. 2

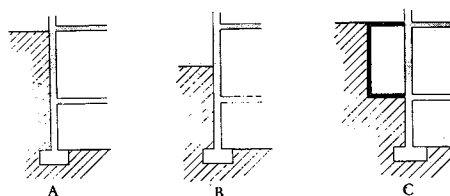


Fig. 3

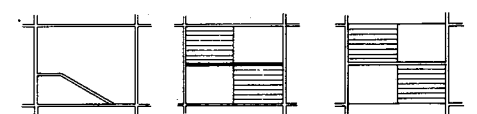


Fig. 4

##### SCHEDA «V»

col. 14 - <b>S</b>	numero d'ordine del S.R.
col. 16 - <b>S<sub>ad</sub></b>	sistema adiacente
col. 18 - <b>X<sub>i</sub></b>	coordinate, rispetto agli assi di riferimento,
col. 23 - <b>Y<sub>i</sub></b>	del punto del S.R. più vicino all'origine degli assi (fig. 1)
col. 28 - <b>X<sub>i</sub></b>	coordinate, rispetto agli assi di riferimento,
col. 33 - <b>Y<sub>i</sub></b>	del punto del S.R. più lontano dall'origine degli assi (fig. 1)
col. 38 - <b>S<sub>id</sub></b>	numero d'ordine di un eventuale sistema identico
col. 40 - <b>N<sub>e</sub></b>	numero di campate del telaio
col. 42 - <b>tipo</b>	tipo di sistema resistente (fig. 2)
	P0 - telai in c.a. vuoti
	P1 - telai con finestre continue
	P2 - telai in c.a. con tamponature tipo «B»
	P3 - telai in c.a. con tamponature tipo «A»
	S0 - pareti in c.a.
	A0 - pannelli con collegamenti efficienti
	A1 - pannelli con collegamenti inefficienti
	M0 - pareti muratura mattoni o blocchi pieni f≤15%
	M1 - pareti muratura mattoni o blocchi semipieni f≤45%
	M2 - pareti muratura blocchi pietra naturale
col. 44 - <b>c.t.</b>	controterra (fig. 3)
	A - completamente e direttamente controterra
	B - parzialmente e direttamente controterra
	C - completamente controterra, intercapedine chiusa
	D - parzialmente controterra, intercapedine chiusa
	- fuori terra, intercapedine aperta
col. 45 - <b>cont.</b>	contatto con altri edifici
	1 - contatto con edificio c.a., giunto insufficiente
	2 - contatto con edificio muratura, giunto insufficiente
	- non a contatto, giunto sufficiente
col. 46 - <b>sol.</b>	carichi trasmessi dai solai
	0 - il S.R. non porta solai
	1 - il S.R. porta un solaio
	2 - il S.R. porta due solai
	- non rilevabile
col. 47 - <b>el.b.d.</b>	elementi con bassa duttilità (fig. 4)
	1 - pilastri altezza ridotta
	2 - travi sfalsate
	3 - travi non a filo con i pilastri
	4 - telaio non a filo
col. 51 - <b>materiali di tamponamento o muratura</b>	
	A - mattoni forati f>45%
	B - blocchi in pietra naturale (tufo)
	C - blocchi in argilla espansa o calcestruzzo o simili
	D - forati doppio UNI, f≤45%
	E - mattoni pieni o semipieni f≤45%, fori verticali
	F - pannelli tamponamento prefabbricati
col. 52 - <b>tipologia delle tamponature o murature</b>	
	1 - tamponatura senza intercapedine
	2 - tamponatura simmetrica con intercapedine
	3 - tamponatura asimmetrica con intercapedine
col. 53 - <b>spessore medio del tamponamento</b>	
col. 55 - <b>spessore medio dei pilastri</b>	
col. 58 - <b>larghezza media dei pilastri</b>	
col. 61 - <b>spessore delle travi</b>	
col. 64 - <b>altezza delle travi</b>	



### 3.3 Capannoni industriali

*R. Alessi, P. P. Diotallevi, S. Simonazzi*

La procedura di rilevamento, caricamento ed archiviazione dei dati e valutazione di vulnerabilità sismica di seguito descritta nelle sue linee essenziali ha come oggetto gli edifici industriali, intesi quali costruzioni ad un piano (ad esempio capannoni) isolate o riunite in "aggregati", con la possibile presenza di solai intermedi estesi a limitate zone dell'edificio ("ammezzati").

Il rilevamento degli organismi strutturali in esame prevede la compilazione della scheda di primo livello descritta al capitolo 3.1 e di una scheda di secondo livello, di seguito presentata, composta da tre tipi di schede (riprodotti nelle figure 1, 2 e 3), rispettivamente A, B e Bi (con  $i = 1, 2, 3$ ).

Le schede A e B vengono compilate per ciascun aggregato di capannoni, inteso come insieme di "blocchi" individuabili come parti strutturali omogenee; le schede Bi sono relative ai singoli blocchi, qualora questi ultimi siano stati realizzati senza riferimento alla attuale normativa sismica.

L'orientamento assunto nelle prime fasi della formulazione dei criteri e dei metodi da attivare per poter svolgere valutazioni di vulnerabilità sismica di strutture a particolare destinazione, quindi distinte dall'uso abitativo, fu l'individuazione di un modello meccanico del comportamento strutturale.

Tale metodo consente di determinare i parametri che definiscono la legge accelerazione-danno rappresentata nelle figure 2 e 3 del capitolo 3.0 e si inquadra, con riferimento alle classificazioni delle tecniche per la valutazione della vulnerabilità riportate nel capitolo 3.0, nell'ambito delle tecniche dirette, quantitative e meccanicistiche, basate sul calcolo della risposta sismica dell'organismo strutturale esaminato.

Tale ipotesi di lavoro apparve come la più appropriata per l'obiettivo proposto, ricorrendo per gli edifici industriali e quindi in sostanza per i capannoni, schemi strutturali relativamente semplici e facilmente modellabili analiticamente. Inoltre la elaborazione su base statistica dei rilievi dei fabbricati industriali, pure essendo sempre possibile, può apparire meno significativa rispetto ad altre tipologie strutturali, quali i fabbricati in c. a. e in muratura, sia per il numero limitato di edifici riconducibili a detta tipologia rispetto al complesso del costruito su un assegnato territorio, sia per la loro difficile caratterizzazione tipologica; soluzioni funzionali simili infatti possono essere ottenute con strutture e tipologie molto diverse, anche se tutte riconducibili alle peculiari caratteristiche richiamate in precedenza.

Ogni complesso di costruzioni industriali quindi deve essere visto nella propria effettiva consistenza (strutturale e non) ricordando, inoltre, che una analisi dettagliata della costruzione, sulla base di rilievi o di elaborati progettuali (qualora disponibili), deve richiedere un tempo relativamente modesto nei confronti di una operazione complessiva di rilievo di vulnerabilità su un assegnato territorio.

Sulla base di queste considerazioni è stata messa a punto la scheda di rilevamento per fabbricati industriali (che per brevità nel seguito indicheremo rispettivamente come "scheda capannoni" e "capannoni") tendente ad acquisire tutti i possibili elementi tipologici, dimensionali e costruttivi utili nella formulazione di un modello meccanico e analitico della costruzione.

La valutazione della vulnerabilità di un complesso industriale è articolata in più fasi di cui la prima è costituita dal rilievo, mediante scheda, dei fabbricati. Generalmente il complesso industriale è costituito da più capannoni costruiti, sovente, in tempi successivi ed anche con procedimenti e tipologie costruttive diverse; tale sistema strutturale viene denominato "aggregato di capannoni" o "aggregato di blocchi". Queste denominazioni possono coincidere ma anche non coincidere con quella di "aggregato strutturale", utilizzata per il rilievo con scheda di primo livello, dal momento che possono presentarsi casi in cui uno o più capannoni siano connessi con strutture tipiche della civile abitazione (e quindi rilevabili quest'ultime con altre schede di secondo livello).

Ne segue che per poter esprimere un valore sintetico di vulnerabilità sismica si rende necessario analizzare separatamente sia ciascuna parte strutturalmente e morfologicamente omogenea, sia il complesso degli edifici tenendo conto delle possibili connessioni.

La porzione di struttura avente caratteristiche di "omogeneità" tipologica, costruttiva, di materiale e funzionale nonché avente omogeneità morfologica, viene denominata, per brevità, "blocco" e costituisce l'unità minima indagabile con la "scheda capannoni".

Poiché, come già detto, si tende a formulare un modello analitico del costruito, la vulnerabilità sismica viene definita sulla base di due valori di accelerazione del suolo, che, agendo sulla struttura, provocano rispettivamente la prima plasticizzazione e il collasso della stessa; si adottano quindi criteri analoghi a quelli già esposti nei precedenti capitoli. Dunque riveste primaria importanza esaminare non solo il singolo blocco, ma anche la struttura che risulta dall'aggregazione di più unità omogenee.

La raccolta di dati, come già precisato, è organizzata su più schede, tutte necessarie ai fini della valutazione di vulnerabilità.

Nella prima (scheda A, *Fig.1*) sono richieste informazioni di carattere generale necessarie, innanzi tutto, per individuare l'aggregato strutturale e la sua possibile partizione in blocchi; oltre a dati metrici vengono richieste informazioni generali sull'uso dell'aggregato e sulle caratteristiche dei materiali impiegati.

Di rilevante importanza ai fini della valutazione della vulnerabilità appare la presenza di eventuali soppalchi o piani ammezzati all'interno dei capannoni, adibiti ad uffici o ad usi di particolari lavorazione. Tale circostanza può produrre dal punto di vista strutturale, e quindi del comportamento sismico, rilevanti modifiche della rigidità del blocco. Nell'ambito della scheda viene quindi dato spazio anche al sopradetto aspetto con la richiesta e la quantificazione di informazioni specifiche.

Fondamentale, inoltre, è conoscere se la costruzione è avvenuta o meno secondo le procedure previste dalla Legge 2.2.74 n.64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche", informazione che consente di individuare i blocchi realizzati "a norma", per i quali è prevista la compilazione delle sole schede A e B.

La scheda B (*Fig.2*), seconda a dover essere compilata, richiama alcuni dati generali già espressi in altra forma nella scheda A, richiedendo l'eventuale partizione in blocchi dell'aggregato, ed esprime le possibili connessioni fra i diversi blocchi. Quest'ultima operazione di rilievo viene svolta con l'ausilio di tabelle predisposte nel "manuale d'uso": in esse sono catalogate le possibili risposte da dare alle domande riportate nella scheda. La suddetta metodologia di compilazione è ampiamente utilizzata anche nelle schede seguenti, ritenendo tale procedimento estremamente funzionale sotto il profilo metodologico e di valido ausilio al rilevatore. Il metodo di codificazione, peraltro, lascia sempre spazio a soluzioni non previste e non prevedibili.

A conferma di quanto espresso dal rilevatore del fabbricato viene anche richiesto, a più riprese, di schematizzare con disegni qualitativi l'aggregato e l'orditura strutturale: ciò si rivela particolarmente utile nelle successive fasi di elaborazione durante le quali verranno utilizzati anche schemi di disposizione planimetrica.

Le schede Bi (con  $i=1,2,3$ ) (*Fig.3*) sono relative al rilievo del singolo blocco, che ora viene analizzato nel dettaglio (tali schede devono essere compilate solo per i fabbricati costruiti senza riferimento alla attuale normativa sismica).

Nella scheda B1, relativa alla raccolta dei dati inerenti la copertura del blocco in esame, sono sostanzialmente individuate tre tipologie per l'orditura delle coperture di medie e grandi luci, ovvero:

- sistemi di travi,
- volte ed archi,
- piastre e corpi bidimensionali.

Per ciascuna tipologia, presente in modo unico all'interno di ogni blocco, vengono chieste informazioni specifiche per poter costruire il modello numerico semplificato.

Inoltre deve essere stimato il peso della copertura, valore determinante ai fini della risposta strutturale ad un evento sismico ovvero per la determinazione della vulnerabilità.

Alla struttura verticale di sostegno della copertura è riservata una sezione della scheda B2 ed un'altra sezione è riservata alle presenza delle tamponature che spesso svolgono un ruolo non trascurabile durante un evento sismico, sia esso di debole o di elevata intensità. Di rilevante importanza poi sono ritenute le informazioni che è possibile acquisire relativamente alle fondazioni ed alla natura del terreno; anch'esse sono espresse in una apposita sezione della scheda B2.

Completa il rilevamento la scheda B3 nella quale, con il procedimento delle tabelle di riferimento prima menzionato, si assegna ad ogni elemento strutturale e non un elevato numero di informazioni (materiale, forma delle sezione, schema statico, ecc.) con rappresentazione sintetica e puntuale. Tale modo di procedere si è rivelato di notevole ausilio sia per la speditezza del rilevamento, sia per la sinteticità delle informazioni che, fra l'altro, possono così essere facilmente ed efficacemente trasmesse ad un computer.

Per la compilazione delle schede è stato predisposto un manuale di istruzioni mediante il quale l'operatore, con l'ausilio anche di alcuni esempi, viene guidato nel rilevamento (vedi appendice I.4).

Non sempre è possibile rispondere in maniera esauriente e documentata alle richieste della scheda, pertanto deve sempre essere precisata dal rilevatore l'attendibilità dell'informazione esprimendo, con i parametri di un'apposita tabella, quanto affidabile sia il dato riportato. Inoltre è prevista la possibilità di completare i suddetti dati con "osservazioni" da parte del rilevatore.

Per poter effettuare valutazioni di vulnerabilità, i dati rilevati tramite scheda devono venire trasferiti ad un elaboratore elettronico che permetta l'archiviazione degli stessi e la successiva elaborazione.

Un programma di data-base è stato pertanto predisposto per il caricamento e l'archiviazione dei dati; esso è strutturato per archiviare in "files" separati i rilievi raggruppati per tipo di scheda (A, B, Bi). Vengono eseguiti anche, ove

possibile, controlli di congruenza dei dati introdotti e segnalate eventuali situazioni anomale.

Il caricamento dei dati può essere eseguito anche da operatori non esperti del rilievo mediante schede in quanto vengono riproposte sul video delle maschere del tutto simili alle stesse schede, maschere che allora devono solo essere riempite realizzando su video un'immagine completa della scheda.

Lo stesso programma di gestione dei dati delle schede capannoni, nell'uso dell'archivio corrispondente alla scheda B, è in grado anche di rappresentare graficamente e di memorizzare la pianta di ogni aggregato di blocchi:

- il programma raffigura, automaticamente e in ambiente grafico, i singoli blocchi mediante rettangoli con dimensioni definite sulla base dei dati della scheda B (già caricati) ed identificati mediante il numero del blocco (o la lettera "P" per il blocco principale);
- l'operatore, a questo punto, può facilmente modificare l'orientamento e la posizione reciproca dei blocchi in pianta rispetto a quelli proposti dal programma, in maniera tale da renderli congruenti con la pianta schematica riportata dal rilevatore nella scheda B;
- il programma infine memorizza la pianta impostata dall'operatore.

In fase di elaborazione dei dati, le informazioni relative all'orientamento e alla posizione reciproca dei blocchi vengono utilizzate per la determinazione della vulnerabilità degli eventuali aggregati composti da blocchi adiacenti, privi di giunto sismico, operando un cambiamento di coordinate dai sistemi di riferimento locali dei singoli blocchi al sistema di riferimento globale.

Le informazioni caricate nel data-base possono essere modificate ed integrate per seguire aggiornamenti e sviluppi dei rilievi: essi costituiscono una banca dati aperta. Collegando poi il "personal computer" in rete con altri sistemi di calcolo, anche più sofisticati, è possibile richiamare gli archivi da qualunque nodo della rete e procedere a proprie elaborazioni.

Tramite lo stesso programma di data-base è poi possibile eseguire operazioni di tipo statistico sui dati memorizzati per avere informazioni quantitative sugli aspetti ritenuti significativi. Ad esempio si può avere la catalogazione degli edifici rilevati per tipologia strutturale o per luce delle travi principali, ecc., ovvero la elaborazione statistica di qualunque dato introdotto.

Il processo di elaborazione dei dati ai fini della valutazione di valori di vulnerabilità si articola in fasi concretizzate in due programmi di calcolo separati.

Il primo preleva i dati relativi ad uno o più aggregati strutturali, a scelta dell'utente, dai files di archivio, li riorganizza e li integra in maniera tale da poter

essere letti dal programma di elaborazione; quest'ultimo, come vedremo, esegue un'analisi statica e non lineare della struttura. L'utente del "pacchetto di programmi", avviato il programma di caricamento, è condotto, da richieste che appaiono sul video, all'obiettivo prefissato che può ad esempio essere o il caricamento o la modifica dei dati, o la semplice visione dei dati, o l'elaborazione di vulnerabilità per uno o più aggregati, o la formulazione statistica ecc..

Il programma di riordino dei dati ed il successivo passo di elaborazione di vulnerabilità operano nell'ottica di considerare, per ogni blocco, la struttura come costituita da un piano di copertura infinitamente rigido sostenuta da elementi verticali distribuiti in pianta secondo i dati del rilievo.

L'intera struttura è quindi modellata come un sistema a tre gradi di libertà (due traslazioni secondo le direzioni principali della pianta ed una rotazione intorno ad un asse verticale); per ciascun elemento strutturale e non strutturale si procede poi alla definizione della legge di comportamento taglio-spostamento per la sezione di sommità considerando, in generale, un andamento di tipo bilineare con tratto plastico orizzontale. L'estensione del tratto plastico (duttilità), il livello di collasso e la rigidezza in campo elastico sono definiti per ogni tipo di elemento strutturale verticale resistente (ad esempio pilastro di c.a., pilastro metallico, pannello di muratura, pilastro con tamponamento su tutta l'altezza o su una porzione dell'altezza, ecc.) secondo modelli ricorrenti nella letteratura tecnica. Si intende che qualora siano necessari elementi non rilevabili direttamente sul posto, quali ad esempio l'armatura dei pilastri di c. a., vengono adottate dal programma ipotesi "conservative" (ad esempio si introduce nel caso dell'armatura dei pilastri una percentuale rispetto all'area del conglomerato prossima a quella minima prevista dalla vigente normativa).

Il programma di calcolo procede poi, per ogni blocco e per le due direzioni principali della maglia strutturale, al calcolo dell'azione minima, applicata nel baricentro delle masse al livello del piano copertura, in grado di produrre la soglia dello snervamento per la prima volta in un elemento verticale. Si procede poi ad incrementare i carichi, considerando un comportamento perfettamente plastico degli elementi verticali che già hanno raggiunto la soglia di plasticizzazione, fino a quando si raggiunge il collasso del modello strutturale. I due livelli di carico così calcolati e rapportati al peso delle masse del blocco permettono di definire rispettivamente le accelerazioni di prima plasticizzazione e di collasso dell'organismo strutturale del I blocco, rapportato all'accelerazione di gravità ( $g$ ).

Detto procedimento viene applicato sia ad ogni singolo blocco, sia all'aggregato composto da tutti i blocchi non separati fra loro da un giunto sismico e nell'ipotesi di collegamento infinitamente rigido fra essi a livello di copertura. Si configurano quindi due situazioni limite entro le quali si può ritenere compreso il comportamento dell'aggregato.

Una volta determinati, per le due direzioni considerate, i valori dei rapporti  $(a/g)_i$  e  $(a/g)_c$  relativi rispettivamente all'inizio del danno ed al collasso dell'organismo strutturale in esame, si ricavano convenzionalmente i corrispondenti valori dell'accelerazione del suolo, utilizzabili per la valutazione del rischio sismico:

- dividendo le accelerazioni della struttura per il coefficiente di pendio ( $p$ ) e per il fattore di amplificazione della risposta per i diversi tipi di terreno ( $R_0$ , per  $0 \leq T \leq T_0$ ;  $R_0 / (T/T_0)^r$ , per  $T_0 < T$ );
- moltiplicando le accelerazioni di collasso per il coefficiente di struttura.

Lo spettro di risposta ed i coefficienti sopra considerati sono valutati con riferimento alla bozza di normativa CNR-GNDT (1985).

Infine, è opportuno porre in rilievo che la procedura illustrata consente, oltre alla determinazione della vulnerabilità sismica degli edifici considerati, se gestita da un operatore esperto, di avere le prime e più importanti informazioni dalle quali trarre un primo orientamento per gli eventuali interventi necessari nella prospettiva di un miglioramento o di un adeguamento sismico del fabbricato (si veda a questo proposito quanto indicato a conclusione del Capitolo 3.2).

A tale riguardo si osserva come la raccolta di dati mediante la compilazione della "Scheda di vulnerabilità sismica per edifici industriali" e la successiva elaborazione, effettuata in vista della formulazione sintetica della vulnerabilità sismica di un complesso strutturale, hanno in generale carattere statistico e permettono, innanzitutto, la formulazione di una graduatoria ordinata (crescente o decrescente) della vulnerabilità degli edifici rilevati che può assumere una connotazione puntuale.

Si intende che le informazioni desumibili dalla scheda non possono essere esaustive di quelle necessarie alla progettazione, si ritiene tuttavia che esse siano quantomeno le più rilevanti; nella progettazione resta infatti insostituibile l'azione dell'ingegnere progettista, il quale può trarre dalla scheda gli aspetti più significativi e quelli sui quali porre la maggiore attenzione, ma non i criteri di progetto. A tale proposito è opportuno osservare anche come l'affidabilità dei risultati dell'analisi di vulnerabilità sia differente in funzione della loro utilizzazione: le elaborazioni dei dati contenuti nelle schede hanno una buona affidabilità se utilizzate per ottenere informazioni di carattere statistico e valutazioni di rischio sismico, mentre hanno affidabilità ridotta per quanto riguarda l'esame di un singolo fabbricato rilevato. Infatti, nel corso della procedura di rilievo e determinazione della vulnerabilità sismica di un insieme di edifici, si presenta un duplice ordine di problemi in merito alla qualità dei dati:

- alcune informazioni relative a fattori determinanti nel comportamento dei singoli capannoni industriali, quali ad esempio la percentuale di armatura nei pilastri in cemento armato ed il sistema di collegamento fra i diversi

elementi strutturali (nodo trave-pilastro, ecc.), non possono essere definite sulla base di un rilievo visivo e non sempre sono disponibili le tavole di progetto. In tale caso, di indeterminazione di un dato, a livello di elaborazione vengono fatte assunzioni generali che non alterano sostanzialmente i rapporti tra le risposte dei diversi organismi, ma che influenzano quantitativamente i risultati relativi ai singoli casi;

- l'insieme dei dati raccolti, che è stato sottoposto a controlli sia di tipo manuale (in modo piuttosto approfondito, essendo abbastanza contenuto il numero dei capannoni rilevati), sia automatici (a livello di elaborazione dei dati), ha una probabilità piuttosto limitata, ma non nulla, di contenere errori. Tali errori possono derivare da un non corretto trasferimento dei dati sull'elaboratore o da un'errata valutazione in sede di rilievo e non sono individuabili in modo automatico.

La presenza di un dato indeterminato o erroneamente valutato in sede di rilievo, quindi, ha un'influenza limitata nell'ambito di valutazioni globali, relative a tutta la popolazione di costruzioni in esame, mentre può risultare determinante nell'analisi del singolo edificio al quale tale dato è relativo.

#### Riferimenti bibliografici

1. Benedetti D., Petrini, V., 1984; *Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: proposta di un metodo di valutazione*; L'industria delle costruzioni n.149, marzo 1984.
2. Corsanego, A., 1984; *Vulnerabilità sismica degli edifici e metodi per valutarla*; Ingegneria sismica, anno 1, n.1, novembre 1984
3. Angeletti, P., Petrini, V., 1987; *Confronto fra danni rilevati e vulnerabilità sismica*; 3° Convegno Nazionale Ingegneria sismica in Italia, Roma
4. Beconcini M.L., Cioni, P., Gavarini, C., 1989; *Proposta di una metodologia di rilievo della vulnerabilità sismica di edifici in c.a.*; 4° Convegno Nazionale Ingegneria sismica in Italia, Milano
5. Gavarini, c., Nisticò, N., Paolone, A., 1991; *Vulnerabilità sismica degli edifici in c.a.: dal rilevamento alla gestione dei dati*; 5° Convegno Nazionale Ingegneria sismica in Italia, Palermo
6. Alessi, R., Diotallevi, P.P., Simonazzi, S., 1992; *Rilevamento e valutazione della vulnerabilità sismica di strutture a tipologia particolare: fabbricati industriali*; Atti dell'Istituto di Tecnica delle Costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Bologna (presentato al 6° Convegno Nazionale Ingegneria sismica in Italia)
7. GNDT-CNR, 1985; *Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica*, Ingegneria Sismica, n.1.

Fig.1 Scheda A

<b>STRUTTURE A TIPOLOGIA PARTICOLARE - CAPANNONI</b>																	
Scheda di vulnerabilità - SCHEDA A																	
<b>SEZIONE 1 - DATI RELATIVI ALLA SCHEDA</b>																	
Cod. ISTAT Provincia			<input type="text"/>			Cod. ISTAT Comune			<input type="text"/>			Squadra / Scheda N°			<input type="text"/>		
<b>SEZIONE 2 - CARATTERISTICHE DELL' AGGREGATO</b>																	
N°. fronti comuni ad altri edifici						<input type="text"/>			N°. blocchi						<input type="text"/>		
<b>SEZIONE 3 - DATI METRICI</b>																	
		regime legge		superficie (mq)		N°.		dimensioni pianta				luce		interasse		numero	
		2/2/74 n.64				piani		A x B				campata		medio		rif. blocco	
BLOCCO PRINC.		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
BLOCCHI 1		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
AGGIUNTI 2		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
3		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
4		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
AMMEZZATI		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
INTERNI		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>				<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>															

Fig. 2 Scheda B






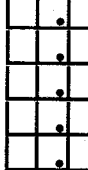

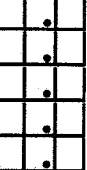


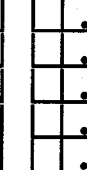



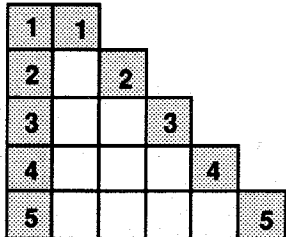
<b>STRUTTURE A TIPOLOGIA PARTICOLARE - CAPANNONI</b> <b>Scheda di vulnerabilità - SCHEDA B</b>										
<b>SEZIONE 1 - DATI RELATIVI ALLA SCHEDA</b>										
Cod. ISTAT Provincia	<input type="text"/>	Cod. ISTAT Comune	<input type="text"/>	Squadra / Scheda N°	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<b>SEZIONE 2 - DESCRIZIONE DELL' AGGREGATO IN PIANTA E IN ALZATO</b>										
Superficie interessata dalla struttura : dimensioni A x B						x		m x m		
Superficie coperta : dimensioni A x B						x		m x m		
Altezza massima :								m		
<b>■ N°. blocchi costituenti l' aggregato</b>										
Blocco N°.	dimensioni pianta A x B		altezza massima	N°. piani	Quote piani (dal basso)					
										
<b>■ Disposizione dei blocchi in pianta :</b>										
Perimetro regolare		<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sì	→ dimensioni A x B <input type="text"/> x <input type="text"/> m x m							
<b>■ Connessioni fra i blocchi ( vedi istruzioni tabella A ) :</b>										
										
<b>Pianta</b>										
<b>N.RO SCHEDA GENERALE</b> <input type="text"/>										

Fig. 3 Schede B1, B2, B3

**STRUTTURE A TIPOLOGIA PARTICOLARE - CAPANNONI**

**Scheda di vulnerabilità - SCHEDA B/1**

SEZIONE 3 - COPERTURA		Squadra / Scheda N° <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>	BLOCCO N° <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>	RIFERIMENTO
Forma : tipo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>	( vedi tab. B )	Manto di copertura : tipo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>		
Orditura : tipo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>	( vedi tab. B )			
<b>SEZIONE 3.1 - SISTEMI DI TRAVI</b>				
Travi principali : luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° campate <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° all. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				0
sez. media <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> x <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> mq Interasse <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				1
Travi secondarie : luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° campate <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> Interasse <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
<b>ELEMENTI DI COLLEGAMENTO FRA GLI ALLINEAMENTI</b> : con elem. di copertura <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> su app. esterni luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				2
con travi <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> su tutti gli app. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
<b>STRUTTURA DI FALDA</b> : travi ( tab. G ) <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> interasse <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				3
el. autoportanti luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				4
<b>LUCERNAI</b> : sup. lucernaio / sup. coperta <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> % tipo ( tab. C ) <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				5
<b>SEZIONE 3.2 - VOLTE E ARCHI</b>				6
Presenza di elementi principali e secondari <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No				
Presenza sottotetto <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI Sottotetto praticabile <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No				
Presenza catene <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI Passo catene <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
<b>TIPO DI VOLTA</b>				
A botte luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° campate <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> Freccia costante <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No				7
freccia massima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
freccia minima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
A shed luce <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° campate <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> freccia massima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				8
passo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° allineam. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> freccia minima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
Doppia curvatura dimensioni pianta A x B <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> x <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
N° campate <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° allineam. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> freccia massima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				9
freccia minima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
campi di uguale altezza <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No altezza massima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
altezza minima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
<b>SEZIONE 3.3 - PIASTRE</b>				
Orditura bidimensionale <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> Orditura spaziale <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				10
Dimensioni campi A x B <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> x <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> Altezza <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
N° campate <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> N° allineam. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
campi di uguale altezza <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> SI <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> No altezza massima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
altezza minima <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>				
<b>SEZIONE 3.4 - PESO COPERTURA</b> ( per tutti i tipi di copertura )				
Peso stimato : <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> ( kg / mq )				

N.RO SCHEDA GENERALE

**STRUTTURE A TIPOLOGIA PARTICOLARE - CAPANNONI**

Scheda di vulnerabilità - SCHEDA B/2

SEZIONE 4 - ELEMENTI PORTANTI VERTICALI		Squadra / Scheda N° <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>	BLOCCO N° <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>	RIFERIM.																											
<b>MURI</b> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>	Tipo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> (tab.D) Lunghezza <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> m Spessore medio <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> m Disposti secondo i lati maggiori : esterni <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> interni <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Disposti secondo i lati minori : esterni <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> interni <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Sup.aperture/Sup.totale muri <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> %				11																										
<b>PILASTRI</b> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>	Sezione costante nell' altezza a <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Porzione superiore con altezza ridotta <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>	Sezione media <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> x <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> mq ( per tutti i pilastri )			12																										
Aggiornare disegno blocchi ( <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span> )																															
<b>SEZIONE 5 - TAMPONAMENTI</b>				13																											
Spessore medio <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> m Tipo di tamponamento <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> Posizione <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> Forma <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> ( tab. D ) Distribuzione in pianta : <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;">             regolare sul perimetro              mancante su un lato              mancante su due lati opposti              mancante su due lati adiacenti              mancante su tre lati              presente su camp.o all'interni           </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> <span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-bottom: 2px;"></span> </div> </div> Collegamento con la struttura portante verticale : tipo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> ( tab. E ) Collegamento con la struttura portante orizzontale : tipo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> ( tab. E ) Aggiornare disegno blocchi ( <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span> )																															
<b>SEZIONE 6 - FONDAZIONI</b>																															
QUALITA' DELL' INFORMAZIONE <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> ( tab. M )																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">TIPO</th> <th colspan="2">COLLEGAMENTI</th> <th rowspan="2"></th> </tr> <tr> <th>CAMPATA</th> <th>ALLINEAM.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plinti</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="5" style="vertical-align: top; padding: 5px;">           MATERIALE :             Calcestruzzo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>            C.A. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>            Muratura <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> </td> </tr> <tr> <td>Trave principale direzione campata</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trave principale direzione allineam.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pavimento - Platea</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pali</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					TIPO	COLLEGAMENTI			CAMPATA	ALLINEAM.	Plinti				MATERIALE :  Calcestruzzo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> C.A. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Muratura <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>	Trave principale direzione campata				Trave principale direzione allineam.				Pavimento - Platea				Pali			
	TIPO	COLLEGAMENTI																													
		CAMPATA	ALLINEAM.																												
Plinti				MATERIALE :  Calcestruzzo <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> C.A. <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Muratura <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>																											
Trave principale direzione campata																															
Trave principale direzione allineam.																															
Pavimento - Platea																															
Pali																															
Aggiornare disegno scheda B con strutture di controventamento ( + + + + + + + )																															
<b>SEZIONE 7 - POSIZIONE EDIFICIO E TERRENO</b>																															
Pendenza terreno <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> % Differenza max. di quota fondazioni <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span> m TIPO DI TERRENO : Roccia <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Terreno sciolto non spingente <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span> Terreno sciolto spingente <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>																															
N.RO SCHEDA GENERALE <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>																															

## STRUTTURE A TIPOLOGIA PARTICOLARE - CAPANNONI

**Scheda di vulnerabilità - SCHEDA B/3**[illegible]

N.RO SCHEDA GENERALE					
----------------------	--	--	--	--	--



#### 3.4. Edifici misti

*C. Gavarini*

Si definiscono misti gli edifici nei quali le parti strutturali comprendono una pluralità di materiali e tipologie. Tipicamente vi sono edifici misti muratura-cemento armato, muratura-acciaio ed altri ancora. Si possono poi distinguere due principali tipologie nelle modalità del misto: edifici nei quali la struttura e/o il materiale cambia da piano a piano, e edifici nei quali il misto avviene anche all'interno di uno o più piani. Nel primo caso si hanno ad esempio edifici in muratura con un piano di sopraelevazione in cemento armato; nel secondo caso si hanno ad esempio edifici con pareti di muratura all'esterno e pilastri e travi in cemento armato all'interno (che consentono maggiore "flessibilità architettonica").

Nel primo caso la situazione si fronteggia più facilmente: si possono usare le schede specializzate ad ogni diverso piano e gestire poi le relative metodologie di valutazione della vulnerabilità con qualche accorgimento.

Nel secondo caso la situazione è decisamente più complessa, sia in termini di rilevamento che, soprattutto, di elaborazione dei dati. Tuttavia gli strumenti del GNDT consentono di risolvere il problema: infatti la scheda cemento armato è concepita in modo tale che consente di tener conto della concomitante presenza sia di pareti murarie che di parti in cemento armato, e il codice PORTAM consente a sua volta di trattare tali casi; e ciò vale anche se ci si trova nel primo caso. La scheda per gli edifici in muratura, d'altra parte, si presta ad analizzare senza inconvenienti di sorta tutte le situazioni di edifici misti con strutture perimetrali in muratura e sistemi di travi e pilastri all'interno.

Nel corso delle indagini si è deciso di volta in volta il tipo di scheda da utilizzare in funzione delle caratteristiche (muratura o cemento armato) degli elementi che svolgevano un ruolo prevalente al fine della resistenza alle azioni orizzontali.



### 3.5. Gli strumenti di analisi: schede, manuali, software

*A. Corsanego, M.C. Nannetti*

Le metodologie per la valutazione della vulnerabilità sismica che sono state illustrate nei precedenti capitoli possono ritenersi applicabili, in sostanza, a gran parte del patrimonio edilizio italiano. Per facilitare la diffusione di applicazioni su larga scala, è sembrato utile mettere a disposizione, nella loro versione più aggiornata, gli strumenti di analisi che sono stati impiegati nelle valutazioni di rischio di edifici pubblici strategici fin qui effettuate.

Con tale finalità, nel corso degli anni è stato sviluppato del materiale illustrativo degli strumenti di analisi costituito da:

- istruzioni per la raccolta di informazioni preliminari al censimento di vulnerabilità (prescheda e relativo software di caricamento ed elaborazione);
- rilevamento dell'esposizione e della vulnerabilità sismica (scheda di primo livello ed istruzioni per la sua compilazione);
- rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura (scheda di secondo livello ed istruzioni per la sua compilazione);
- rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato (scheda di secondo livello ed istruzioni per la sua compilazione);
- rilevamento della vulnerabilità sismica delle strutture a tipologia particolare - capannoni (scheda di secondo livello ed istruzioni per la compilazione);
- software per il caricamento ed il controllo dei dati della scheda di primo livello e per la scheda di secondo livello degli edifici in muratura;
- software per il caricamento ed il controllo dei dati della scheda di secondo livello degli edifici in cemento armato;
- software per il caricamento ed il controllo dei dati della scheda di secondo livello delle strutture a tipologia particolare (capannoni).

A valle dei rilevamenti di edifici pubblici strategici siti in 77 comuni classificati in zona sismica in Emilia-Romagna, si è pensato di redigere una nuova versione dei manuali e delle schede, tenendo conto dell'esperienza citata e raccogliendo suggerimenti ed integrazioni scaturite dalle esperienze di applicazione effettuate anche in altre Regioni, in particolare la Regione Toscana e la Regione Abruzzo. I manuali e le schede, raccolti in quattro fascicoli, costituiscono l'appendice di questo volume.

La scheda di primo livello e la scheda di secondo livello per edifici in muratura sono state modificate, rispetto alla versione utilizzata per i passati censimenti e riportata nel capitolo 3.1., variando l'impostazione tipografica ed inserendo annotazioni per facilitare la compilazione. In particolare si è separata la scheda di primo livello da quella di secondo livello muratura; nella scheda di primo livello sono state inserite una tabella per la definizione degli interventi

subiti in passato dall'edificio (sezione 5), delle precisazioni alla sezione 8 e una serie di note per agevolare la compilazione; alla scheda di secondo livello muratura è stato aggiunto uno schema di griglia per facilitare la valutazione dei parametri. È stato inoltre introdotto uno schema specificativo dell'aggregato strutturale contenente uno schizzo planimetrico dell'aggregato stesso e l'indicazione del numero di edifici che lo compongono e del numero di schede compilate; tale schema costituisce la copertina della carpetta destinata a contenere tutto il materiale di rilevamento relativo all'aggregato.

Nella revisione dei manuali si è soprattutto cercato di realizzare degli strumenti che favorissero una interpretazione omogenea ed il più possibile oggettiva da parte dei rilevatori; le annotazioni aggiuntive, gli ulteriori esempi grafici e le variazioni sono stati finalizzati a chiarire i punti sui quali erano sorte maggiori perplessità nel corso di precedenti applicazioni. È evidente, infatti, l'importanza che assume, in vista di valutazioni di rischio destinate a stabilire criteri di priorità, l'avere a disposizione dati di vulnerabilità il più possibile attendibili e, soprattutto, facilmente confrontabili e non viziati da differenze interpretative. La linea guida nella revisione dei manuali e delle schede, quindi, è stata quella di procurare una raccolta di dati e di informazioni sugli edifici nella quale l'influenza della soggettività degli operatori sia ridotta al minimo. Questa caratteristica è dovuta soprattutto all'intenzione di conseguire i seguenti obiettivi:

- ottenere banche dati predisposte in maniera ottimale alla elaborazione statistica;
- poter confrontare con fiducia valutazioni effettuate in siti diversi da diversi gruppi di operatori;
- poter effettuare rilevamenti sistematici di dati utilizzando operatori non particolarmente specializzati.

Si ritiene che la versione attuale dei manuali possa essere sufficientemente chiara anche se potrà essere ulteriormente aggiornata sulla base di successive esperienze, man mano che emergeranno aspetti peculiari della tradizione edilizia ed urbanistica delle varie parti del territorio nazionale. È anche probabile che il "parco strumenti" per indagini di vulnerabilità si arricchisca in futuro di altri elementi soprattutto per il rilevamento di altre classi di edifici a tipologia specialistica o a carattere monumentale: prototipi in tal senso sono già in fase di sperimentazione anche se per il momento non sono sufficientemente consolidati per poter essere affiancati a quelli raccolti nell'appendice. Sono anche prevedibili sviluppi nella predisposizione di strumenti informatici che consentano di accelerare le operazioni di raccolta e di verifica dei dati in modo da permettere una significativa riduzione dei tempi di censimento con ovvie ripercussioni economiche in termini di limitazione dei costi di rilevamento e con una drastica riduzione della probabilità che intercorrano variazioni tra il momento del rilevamento e quello delle analisi di vulnerabilità e di rischio basate sui dati raccolti.

## 4. VALUTAZIONE DELLA ESPOSIZIONE

*M. Ferrini, V. Petrini*

Con il termine esposizione si indica sia la quantità e la qualità di beni esposti al pericolo sismico sia il numero di persone coinvolte e la loro capacità di reazione. Poiché l'obiettivo di questa analisi è il pervenire al confronto tra singoli edifici, la quantità di beni non è un elemento significativo in tale ambito; per gli altri aspetti, ai fini della definizione di criteri di priorità per un futuro programma di interventi per la riduzione del rischio, si è ritenuto di valutare l'esposizione mediante indici relativi definiti in base alle caratteristiche dei vari edifici considerati; le motivazioni di questa scelta derivano dalle seguenti considerazioni.

Per descrivere completamente l'insieme degli elementi che concorrono a definire le caratteristiche di una comunità esposta al rischio è necessario analizzare la distribuzione, la struttura e le condizioni socio economiche della popolazione insediata, la quantità e le funzioni del patrimonio edilizio residenziale, pubblico e produttivo, il sistema delle infrastrutture, l'insieme delle attività economiche presenti e le relazioni dell'area esaminata con quelle circostanti. È immediato constatare che, anche limitandosi al settore degli edifici pubblici strategici, una corretta valutazione dell'esposizione richiederebbe una analisi piuttosto complessa del sistema socio-economico della zona; sarebbe, infatti, necessario sviluppare i seguenti punti:

- individuazione, per ognuna delle funzioni svolte all'interno degli edifici esaminati, delle relazioni tra la funzione stessa e le attività del sistema socio-economico;
- valutazione delle conseguenze economiche e sociali di una interruzione o di un rallentamento nell'erogazione dei servizi previsti per ogni funzione considerata;
- definizione di correlazioni tra i livelli di danneggiamento del contenitore e la possibilità di garantire, almeno in parte, l'erogazione dei servizi;
- valutazione della possibilità di garantire l'erogazione dei servizi in sedi alternative e stima dei tempi necessari per la messa in opera delle soluzioni alternative di emergenza.

La disponibilità di risposte esaurienti ai punti citati consentirebbe di valutare il danno totale come somma dei danni diretti alle singole costruzioni e dei danni indiretti derivanti dalla perdita di efficienza del sistema; tale danno totale potrebbe essere assunto come misura del livello di rischio, relativo ai vari edifici.

È evidente, tuttavia, come una procedura del tipo ora descritto sia incompatibile con le risorse ed i tempi a disposizione per questo studio, soprattutto se si tiene conto della quantità e della qualità delle informazioni oggi disponibili. Pertanto, al fine di definire criteri di priorità per futuri interventi, si è

ritenuto di riprendere anche in questo studio la procedura già utilizzata in occasione della definizione dei criteri di priorità per l'utilizzo delle somme messe a disposizione dalla legge 730 del 1986 secondo quanto dettato dall'ordinanza del Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile n. 1062/FPC/ZA del 16 luglio 1987, recante misure per l'attuazione degli interventi di adeguamento antisismico degli edifici pubblici nelle zone delle province di Lucca e Massa Carrara e nei comuni delle province di Modena, Parma e Reggio Emilia. Secondo tale procedura (Ferrini, 1988) si tiene conto degli aspetti relativi all'esposizione moltiplicando i valori del danno atteso per un fattore correttivo ricavato sia in base a considerazioni qualitative sulle funzioni esercitate all'interno dei diversi edifici, sia da dati quantitativi sulla densità di utenti e di operatori presenti negli stessi edifici. Tale fattore viene chiamato nel seguito indice di esposizione e si ottiene come prodotto di due indici parziali: l'indice di utenza e l'indice di funzione.

Il secondo di tali indici tende a quantificare dei giudizi di valore sull'importanza per la comunità della funzione svolta all'interno dell'edificio sia nella fase di prima emergenza sia nelle successive fasi fino alla ricostruzione; è quindi un indice che si basa su valutazioni in gran parte soggettive. Il primo indice è a sua volta scomponibile in due fattori; il primo, basato su elementi quantitativi, esprime una misura dell'affollamento dell'edificio; il secondo, di natura soggettiva, tende a descrivere il comportamento degli utenti, valutandone le capacità di reazione.

Per riassumere: l'influenza dell'esposizione sulle valutazioni di rischio viene messa in conto mediante un fattore moltiplicativo del valore atteso dei danni diretti  $I_e$ , denominato indice di esposizione; l'indice di esposizione risulta dal prodotto dei due sottoindici, l'indice di funzione  $I_f$  e l'indice di utenza  $I_u$ ; a sua volta l'indice di funzione è dato dal prodotto di tre parametri dipendenti dall'uso che viene fatto dell'edificio in condizioni di prima emergenza,  $U_{e1}$ , dall'uso in seconda emergenza,  $U_{e2}$  e dal bacino di utenza  $B_u$ ; anche l'indice di utenza si ricava combinando quattro diversi elementi di valutazione: di questi due (l'indice che misura le capacità comportamentali degli utenti presenti nell'edificio  $I_{co}$  e l'indice che tiene conto della facilità di evacuazione  $I_{ev}$ ) sono determinati con considerazioni di natura qualitativa, mentre gli altri due (il periodo di utilizzazione  $P_u$  e la densità di utenza  $D_u$ ) sono ricavati da dati quantitativi.

L'insieme degli edifici pubblici considerati è stato suddiviso nelle seguenti classi di funzioni:

- istruzione scolastica
- assistenza sanitaria
- attrezzature collettive civili
- attrezzature militari e assimilabili;

per ognuno degli indici o sottoindici di natura qualitativa le classi di funzioni vengono ordinate in base a giudizi di importanza che sono stati tradotti in termini quantitativi assegnando valori numerici, crescenti al crescere dell'importanza stessa, secondo criteri che sono descritti in dettaglio nei paragrafi successivi. Per ogni tipo di edificio si considera separatamente il ruolo che esso svolge nella fase della prima emergenza da quello che può venire richiesto nel periodo post-emergenza. Nel primo caso si assumono come parametro di giudizio i bisogni che le varie funzioni sono chiamate a soddisfare; nel secondo caso si tiene conto anche delle funzioni alternative che possono trovare sistemazione negli edifici considerati (es. edifici scolastici utilizzati come alloggi provvisori, ecc.).

Per ognuno degli edifici considerati, l'indice di esposizione è stato determinato secondo il procedimento di seguito descritto:

- a si sono decisi in primo luogo i limiti di variabilità dei singoli sottoindici e si è quindi scelto, per ogni edificio, un valore dipendente dal tipo d'uso dell'edificio stesso; tali limiti si riferiscono ovviamente ai soli sottoindici di natura qualitativa, mentre gli elementi quantitativi sono stati determinati direttamente in base ai dati raccolti durante il censimento;
- b si è tenuto conto della diversa importanza dei singoli elementi di valutazione che concorrono a formulare la stima di esposizione moltiplicando i valori relativi ai singoli sottoindici per opportuni pesi, assegnati tenendo conto anche del grado di oggettività delle valutazioni effettuate;
- c si sono normalizzati i valori dell'indice di utenza in modo da limitare la massima modificazione introdotta da tale indice all'ottanta per cento del valore atteso dei danni diretti.

Pur rinviando alla seconda parte per quanto riguarda i valori numerici attribuiti ai vari indici e sotto indici, si ritiene opportuno esaminare in maggior dettaglio le considerazioni che hanno portato alla determinazione di tali valori.

##### *Indice di funzione, $I_f$*

Come già accennato, i parametri che concorrono a formare tale indice sono:

- la destinazione d'uso dell'edificio in prima emergenza;
- la destinazione d'uso dell'edificio in seconda emergenza;
- il bacino di utenza.

La stima dei valori dei parametri da assegnare ad ogni edificio si basa sulle esigenze della comunità colpita dall'evento. In particolare, si sono considerate fondamentali, nell'immediato post evento, la possibilità di prestare i primi

soccorsi e la capacità di raccogliere le notizie sulla gravità della situazione e di convogliare le stesse all'esterno dell'area colpita, onde consentire una rapida organizzazione degli aiuti dall'esterno; in una seconda fase acquistano peso l'esigenza di una organizzazione razionale dei soccorsi e la capacità di fornire sistemazioni provvisorie ai senza tetto.

Nell'esprimere le valutazioni relative all'indice di funzione si è ritenuto di fare anche riferimento alle indicazioni contenute nelle norme tecniche e nelle proposte di norma disponibili in materia di coefficienti di importanza degli edifici. In particolare si sono considerate:

- le indicazioni progettuali emanate dal Ministero per il Coordinamento della Ricerca Scientifica e Tecnologica nel 1981, a seguito del terremoto dell'Irpinia;
- i decreti ministeriali 19.6.84 e 24.1.86, nonché la circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 25882 del 5 marzo 1985, nella quale sono elencate categorie di edifici pubblici o di uso pubblico distinte sia in base alla funzione sia in base all'affollamento;
- la proposta di una nuova normativa per le costruzioni in zona sismica predisposta nel 1984 dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.

In relazione ai singoli parametri, i vari tipi di edificio sono stati classificati come essenziali, importanti e rilevanti, attribuendo ad ogni classe valori decrescenti degli indici.

#### a Destinazione d'uso dell'edificio in prima emergenza, Ue1

Si ritengono essenziali per le operazioni di assistenza medico sanitaria, per l'organizzazione istituzionale delle iniziative di soccorso e per la conoscenza degli effetti provocati dall'evento nel territorio, i seguenti edifici:

- ospedali, case di cura e presidi sanitari
- municipi e sedi comunità montane
- caserme o sedi delle Forze Armate, Carabinieri, Pubblica Sicurezza, Vigili del Fuoco, Guardia di Finanza, Corpo Forestale.

A questi tipi di edifici sono stati assegnati valori elevati dei coefficienti, privilegiando le strutture per l'assistenza sanitaria.

Sono stati classificati come importanti, e si sono ad essi assegnati valori intermedi dei coefficienti, gli edifici per l'istruzione destinati ad attività didattica e gli autoparchi; sono stati considerati, invece, rilevanti, e quindi da trattare con valori minimi del coefficiente, gli edifici per l'istruzione destinati a funzioni amministrative, gli uffici delle U.S.L., gli uffici comunali decentrati, gli uffici statali decentrati, le sedi di poste, telegrafi e telefoni, gli uffici giudiziari e le carceri.

È bene precisare che per alcune categorie di edifici i valori attribuiti dipendono dal verificarsi di determinate condizioni; ad esempio si classificano come essenziali le case di cura solo se dotate di attrezzature mediche e sanitarie utili per le operazioni di soccorso a feriti gravi, mentre sono considerate importanti negli altri casi; analogamente, si comprendono nella classe degli edifici importanti gli autoparchi solo se ospitano mezzi utili per la rimozione di macerie e per il trasporto di feriti e li si classifica come rilevanti in caso contrario.

Infine un edificio non particolarmente significativo può essere considerato essenziale ai fini della organizzazione della protezione civile, perché sede di sale operative o attrezzature particolari.

b Destinazione d'uso dell'edificio in seconda emergenza.

I valori assegnati a tale parametro tendono ad ordinare, secondo una scala relativa, gli edifici in base all'importanza che la funzione in essi ospitata ricopre ai fini di una parziale ripresa delle attività destinate ad erogare i principali servizi alla comunità. In questo caso non si considera solo la destinazione d'uso originaria dell'edificio ma anche la capacità di adattamento ad ospitare funzioni diverse. In questo caso si è operata solo una distinzione degli edifici in essenziali e rilevanti.

Si ritengono essenziali i seguenti edifici:

- edifici per l'istruzione destinati ad attività didattica
- ospedali, case di cura, presidi sanitari, ambulatori
- municipi, sedi comunità montane, autoparchi;
- caserme o sedi delle Forze Armate, Carabinieri, Pubblica Sicurezza, Vigili del Fuoco, Guardia di Finanza, Corpo Forestale.

Si sono assegnati valori elevati dei coefficienti, privilegiando le strutture per l'assistenza sanitaria.

Si ritengono rilevanti i seguenti edifici:

- edifici per l'istruzione destinati a funzioni amministrative
- uffici delle U.S.L.
- uffici comunali decentrati, uffici statali decentrati, poste e telegrafi, telefoni, uffici giudiziari, carceri.

A questi edifici sono stati assegnati valori medio-bassi del coefficiente.

### c Bacino di utenza

I valori assegnati ai coefficienti dipendono dall'estensione della area amministrativa di competenza e sono finalizzati ad ordinare, secondo una scala relativa, la quantità di servizi erogati ed il numero di cittadini interessati, nonché ad evidenziare la presenza di edifici che possono assicurare funzioni equivalenti nelle vicinanze dell'edificio in esame. I coefficienti crescono gradualmente dal valore minimo per bacini di utenza locali al valore massimo per bacini sovraregionali.

### *Indice di utenza, $I_u$*

Come già accennato, i parametri che concorrono a formare tale indice sono:

- la densità di utenza;
- il periodo di utilizzazione;
- la capacità di comportamento dell'utente;
- il numero di piani dell'edificio.

I primi due parametri hanno natura quantitativa e sono stati ricavati dai dati raccolti durante il censimento degli edifici; il loro prodotto costituisce l'indice di affollamento. Gli altri due parametri, di natura qualitativa, sono intesi a fornire una misura della capacità degli utenti a reagire positivamente alla situazione di pericolo derivante dal danneggiamento dell'edificio.

In merito ai singoli parametri si è considerato quanto segue.

### a Densità di utenza

Il parametro viene calcolato a partire dal rapporto tra il numero di utenti ed il volume dell'edificio; non si è tuttavia ritenuto di utilizzare direttamente tale rapporto: si è invece preferito riferirlo ad uno standard di 100 metri cubi per utente, desunto da valori tipici (sia pure con alcune oscillazioni) dell'edilizia residenziale. Le ragioni di tale decisione possono essere così riassunte:

- dato l'uso che si prevede di fare dell'indice di utenza, è parso più logico considerare gli scostamenti del rapporto utenti / volume rispetto ad un valore di riferimento, piuttosto che utilizzare direttamente i valori assoluti di tale rapporto;
- il fatto di confrontare il rapporto utenti / volume con uno standard caratteristico dell'edilizia residenziale stabilisce di fatto un paragone in termini di sicurezza tra destinazioni d'uso di tipo abitativo e servizi pubblici.

Le schede di censimento, descritte al capitolo 3.1, forniscono sia il numero di persone che frequentano abitualmente l'edificio, in condizioni normali di erogazione del servizio, sia il numero massimo di presenze in condizioni eccezionali. Non è stato invece possibile raccogliere in modo sistematico, per tutti gli edifici, informazioni sulla frequenza delle situazioni eccezionali e sulla durata temporale delle stesse. Il numero di utenti è stato quindi calcolato come media pesata del numero medio e del numero massimo, assumendo come pesi, rispettivamente, i valori 0.8 e 0.2 per tutti i tipi di edificio, ad eccezione degli edifici scolastici per i quali si sono utilizzati i valori 1 e 0. Il volume di ogni edificio è stato direttamente ricavato dai dati di superficie ed altezza dei vari piani, presenti nelle schede.

##### b Periodo di utilizzazione

Il parametro è valutato come rapporto tra il numero di ore annue di utilizzo ed il numero totale di ore di un anno; le ore di utilizzo sono state desunte dai dati raccolti durante il censimento, previo esame al fine di omogenizzare le informazioni relative ad edifici dello stesso tipo.

##### c Capacità di comportamento

I valori assegnati a tale parametro tendono ad ordinare gli edifici in funzione delle capacità comportamentali degli utenti presenti nell'edificio stesso; tali capacità dipendono da fattori sia fisici sia psicologici. In particolare sono state prese in considerazione:

- le reazioni emotive degli utenti legate a fattori quali l'età, la conoscenza del fenomeno, la preparazione ad affrontare il fenomeno stesso;
- le condizioni fisiche dell'utente legate ad elementi quali l'età e le condizioni di salute;
- la dipendenza degli utenti da altri soggetti sia per ragioni psicologiche (asili nido, scuole materne ed elementari) sia per limitazioni oggettive della libertà di movimento (carceri).

Sulla base dei fattori citati sono stati espressi giudizi sulla autosufficienza degli utenti che sono stati tradotti in valori del coefficiente variabili in un campo abbastanza ristretto; non si è assegnato a nessun tipo di utenza un valore unitario del coefficiente, valore corrispondente a penalizzazione nulla, perché si è ritenuto che la mancanza di programmi generalizzati di preparazione al terremoto e l'insufficienza delle eventuali esercitazioni non abbiano consentito ad alcuna categoria di sviluppare compiutamente la capacità di reazione auspicabile.

d Numero di piani dell'edificio

Tale parametro tiene conto degli aspetti connessi alla facilità di evacuazione dell'edificio in funzione delle caratteristiche fisiche dell'edificio stesso, indipendentemente dalle caratteristiche comportamentali degli utenti. evidente la dipendenza di tale parametro da altre condizioni esterne all'edificio stesso, ma tali informazioni non sono per il momento disponibili in modo organico.

Con i primi due parametri è possibile costruire un indice puramente quantitativo, l'indice di affollamento, definito dal prodotto del numero di utenti a metro cubo, rapportato ad uno standard di 100 metri cubi per utente, per il numero di ore annue di utilizzo diviso per il numero totale di ore di un anno. Tale indice può essere utilizzato in luogo dell'indice di utenza, quando si vogliano considerare solo gli aspetti quantitativi.

---

**Riferimenti bibliografici**

1. Ferrini M., 1988, *Progetto terremoto in Garfagnana e Lunigiana. Un modello di calcolo per la determinazione di un indice di esposizione di edifici pubblici strategici*, Firenze.

## 5. VALUTAZIONE DEI COSTI DI INTERVENTO

*P. Angeletti, V. Petrini*

La valutazione dei costi di intervento, nel caso di edifici in muratura o in cemento armato, viene effettuata con un modello che nella sua formulazione originaria è stato sviluppato alcuni anni or sono (*Angeletti, 1984*); nel seguito viene illustrata la versione modificata, attualmente usata nella maggior parte delle elaborazioni nell'ambito del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (*Angeletti e Petrini, 1985*).

Il modello è di tipo analitico e si basa su di un elenco di possibili interventi (i), scelti tra quelli che si ritengono necessari per la riparazione dei danni, ove presenti, e per la riduzione della vulnerabilità, ove occorra; oltre a questi, sono previsti interventi di finitura ed impiantistici conseguenti o comunque correlati ai precedenti, quali, ad esempio: nuova tinteggiatura su intonaco armato, riparazione di impianti conseguente ad interventi su tramezzi. Gli interventi sono archiviati con un loro costo riferito all'unità di misura solitamente utilizzata per la grandezza in gioco nell'intervento (ad esempio il peso nel caso delle catene), rapportato al costo medio dell'edificio per unità di volume vuoto per pieno. Tali rapporti sono nel seguito indicati col termine *coefficienti di costo* ( $C_i$ ).

Le informazioni utilizzate dal modello per selezionare gli interventi appropriati per l'edificio in esame sono del tipo di quelle contenute nelle schede di vulnerabilità, precedentemente descritte.

Gli interventi elementari previsti nell'attuale versione, in tutto 45 tipi di intervento, sono riportati in forma sintetica nelle *Tabb. 1 e 2*. È da notare che alcune righe comprendono due diversi tipi di intervento, a seconda che si stia esaminando un edificio in muratura o in c.a., e la separazione fra i due tipi avviene con una barra (/); ciò in quanto il modello è operante sia sulle costruzioni in muratura, sia sulle costruzioni in calcestruzzo armato.

Sono di questo tipo ad esempio gli interventi delle righe 1, 2 e 3. A questo proposito va però ricordata una distinzione. Per gli edifici in muratura la scelta degli interventi elementari viene effettuata utilizzando sia le informazioni della scheda di primo livello, sia quelle della scheda di secondo livello; nel caso di edifici in calcestruzzo armato ci si è limitati alle sole informazioni di primo livello: questo modo di procedere si è reso necessario perché nel corso dell'indagine descritta in questa pubblicazione si è deciso di utilizzare la nuova versione della scheda di secondo livello per edifici in cemento armato, descritta al capitolo 3.2, versione per la quale non è stato ancora predisposto un appropriato modello di costo, nè è stato possibile stabilire gli agganci con il precedente modello.

Tuttavia, come si è detto, è stato possibile ovviare a questo inconveniente, dal momento che il modello di costo descritto in questo paragrafo può operare anche con i soli dati di primo livello.

La Tab. 1 si riferisce agli interventi sugli elementi strutturali (interventi da 1 a 22); per ogni riga, sono riportati sei coefficienti di costo, dei quali i primi tre sono relativi alle costruzioni in muratura e i secondi tre a quelle in calcestruzzo armato; la differenza fra le colonne verrà chiarita più avanti.

Tab. 1							
ELENCO DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI ELEMENTARI E DEI RELATIVI COEFFICIENTI DI COSTO							
TIPO DI INTERVENTO		MURATURA			CLS ARMATO		
		rip.	migl.	adeg.	rip.	migl.	adeg.
1	Risarcimento lesioni; ricucitura muri in b./riparazioni pareti	1.52	.0	.0	.506	.0	.0
2	Ricucitura murature/riparazione pilastri	.95	.0	.0	.506	.0	.0
3	Riparazione architravi/riparazione travi	.0	1.0	1.0	.658	.0	.0
4	Riparaz. orizzontamenti	.267	.0	.0	.267	.0	.0
5	Riparazione copertura	.267	.0	.0	.267	.0	.0
6	Riattamento volte	.0	.123	.0	.0	.0	.0
7	Riattamento orizzontamenti in legno	.0	.045	.0	.0	.0	.0
8	Riattamento orizzontamenti in ferro o CA	.0	.045	.0	.0	.0	.0
9	Riattamento copertura	.0	.045	.0	.0	.0	.0
10	Incatenamenti	.0	.27	.0	.0	.0	.0
11	Adeguamento volte	.0	.0	.41	.0	.0	.41
12	Adeguamento orizzontamenti in legno (rifacimento)	.0	.0	.28	.0	.0	.28
13	Adeguamento orizzontamenti in ferro	.0	.0	.19	.0	.0	.19
14	Adeguamento orizzontamenti in CA	.0	.0	.17	.0	.0	.17
15	Adeguamento coperture in legno (rifacimento)	.0	.0	.20	.0	.0	.20
16	Adeguam. coperture in ferro	.0	.0	.19	.0	.0	.19
17	Adeguam. coperture in CA	.0	.0	.17	.0	.0	.17
18	Interventi strutturali ricucitura murature/ripristino nodi	.345	.0	.0	.506	.0	.0
19	Inserimento nuove pareti/idem	.0	.0	.07	.0	.0	.625
20	Perforaz. armata/adeguamenti orizzontamenti, travi	.0	.0	.4	.0	.0	.822
21	Consolidamento fondazioni	.0	.0	1.67	.0	.0	1.67
22	Iniezioni o intonaco armato/giunti	.0	.0	.5	.0	.0	.5

Nella Tab.2 (interventi da 23 a 45) sono elencati gli interventi di finitura e sugli impianti, direttamente conseguenti agli interventi sugli elementi strutturali previsti nella Tab. 1, ed i relativi coefficienti di costo.

Tab. 2							
ELENCO DEGLI INTERVENTI DI FINITURA ELEMENTARI E DEI RELATIVI COEFFICIENTI DI COSTO							
TIPO DI INTERVENTO		MURATURA			CLS ARMATO		
		rip.	migl.	adeg.	rip.	migl.	adeg.
23	Intonaci su architravi riparati/intonaci su elementi strutturali	.0	.12	.12	.0	.12	.12
24	Intonaci, pavimentazioni per solai riparati	.189	.0	.0	.189	.0	.0
25	Intonaci, manto di copertura riparato	.16	.0	.0	.16	.0	.0
26	Riparazione infissi	.57	.0	.0	.57	.0	.0
27	Riparazione tramezzi	.1	.0	.0	.1	.0	.0
28	Sostituzione tramezzi	.206	.0	.0	.206	.0	.0
29	Intonaci su solai ferro riattati/ /spostamento tamponamenti	.0	.03	.0	.0	.03	.0
30	Intonaci su incatenamenti	.0.	.08	.0	.0	.0	.0
31	Rappezzi per riattamento copertura	.0	.03	.0	.0	.0	.0
32	Adeguamento funzionale strutture verticali	.0	.12	.0	.0	.12	.0
33	Adeguamento funzionala strutture orizzontali	.0	.189	.0	.0	.189	.0
34	Adeguamento funzionale coperture	.0	.16	.0	.0	.16	.0
35	Riparazione e riattamento impianti	.0	.1	.0	.0	.1	.0
36	Tinteggiatura pareti	.0	.0	.05	.0	.0	.05
37	Tinteggiatura pareti	.0	.0	.05	.0	.0	.05
38	Intonaci e tinteggiature soffitti di orizzontamento	.0	.0	.12	.0	.0	.12
39	Intonaci e tinteggiature soffitti di orizzontamento	.0	.0	.12	.0	.0	.12
40	Pavimenti di orizzontamento	.0	.0	.12	.0	.0	.12
41	Pavimenti di orizzontamento	.0	.0	.12	.0	.0	.12
42	Manto di copertura	.0	.0	.08	.0	.0	.08
43	Intonaci e tinteggiatura nuove pareti	.0	.0	.02	.0	.0	.02
44	Adeguamento infissi	.0	.0	.28	.0	.0	.28
45	Adeguamento impianti	.0	.0	.2	.0	.0	.2

Qualora le condizioni di danneggiamento e/o di vulnerabilità dell'edificio siano particolarmente gravi, il modello prevede una quarta strategia: la demolizione e ricostruzione. In questo caso non si fanno distinzioni tra edifici in muratura ed edifici in calcestruzzo armato ed i costi stimati corrispondono al

costo di nuova costruzione incrementato del 10% per tener conto del costo di demolizione.

Le strategie previste sono di tre tipi: la riparazione, il miglioramento e l'adeguamento; è previsto che si scelga in maniera automatica la strategia da seguire in funzione dei dati di vulnerabilità e di danno rilevati nell'edificio; così, se, ad esempio, in un edificio il danno accertato supera determinate soglie e se la resistenza convenzionale è inferiore ad un valore assegnato, la procedura seguita diviene automaticamente quella dell'adeguamento. È tuttavia possibile imporre a priori una delle due strategie. Vi è infine, in casi particolari, una quarta possibilità: la demolizione e ricostruzione. Poiché il campo di interventi previsti dalla categoria del miglioramento, così come definita dalla attuale normativa, è molto ampio, nel modello lo si è circoscritto facendolo coincidere con l'insieme di interventi compresi nella definizione di "riattazione" che è stata introdotta dalle norme tecniche di attuazione delle ordinanze del Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile a seguito del terremoto del 1984 in Italia centrale.

Alla scelta della strategia è legato l'uso dei coefficienti di costo ( $C_i$ ) delle *Tabb. 1 e 2*. Le diverse strategie corrispondono ad ognuna delle colonne: la prima corrisponde alla pura riparazione dei danni, la seconda al miglioramento, la terza all'adeguamento. Il coefficiente ( $C_i$ ) è diverso da zero soltanto nel caso in cui l'intervento della riga corrispondente debba essere cumulato, e ciò avviene se la strategia scelta richiede l'intervento considerato. Ad esempio l'intervento n.6, riattamento delle volte, è messo in conto soltanto se la strategia scelta è quella del miglioramento ed il corrispondente coefficiente della seconda colonna, pari al rapporto fra il costo per unità di superficie di volta e volume vuoto per pieno dell'edificio, assume il valore 0.123; viceversa se la strategia scelta è l'adeguamento, l'intervento sulla volta - il numero 11 - viene messo in conto con il coefficiente che compare nella terza colonna, cioè 0.41.

I dati metrici, tipologici e di danno, della scheda di primo livello, la classificazione dei parametri e gli elementi di valutazione, della scheda di secondo livello, consentono di ricostruire una geometria ed una tipologia schematica dell'edificio, le principali carenze, le "esigenze" di adeguamento ed una distribuzione schematica dei danni; da qui, è possibile determinare una probabile estensione ( $K_i$ ) dei vari tipi di intervento.

L'estensione dell'intervento elementare è generalmente dedotta dai dati di primo e di secondo livello e, ove questi ultimi non fossero disponibili, soltanto dai dati di primo livello; ad esempio la presenza o meno di catene ai piani della costruzione è segnalata dagli "elementi di valutazione" del primo parametro di secondo livello e, in mancanza, dalla tipologia delle strutture verticali del primo livello.

Il costo parziale relativo ad un certo tipo di intervento si ottiene moltiplicando il coefficiente di costo ( $C_i$ ) per l'estensione dell'intervento stesso; il

prodotto così ottenuto viene ulteriormente moltiplicato per opportuni rapporti geometrici ( $\beta_i$ ) fra le quantità delle grandezze rappresentative degli interventi: ad esempio il rapporto tra le superfici laterali dei muri portanti ed il volume vuoto per pieno dell'edificio. La somma di tutti i costi parziali fornisce il costo totale necessario per attuare la riduzione di vulnerabilità ipotizzata. I coefficienti  $\beta_i$  sono in parte scelti a priori, in quanto non estraibili da alcuna delle informazioni della scheda, in parte valutati in funzione dei dati della scheda stessa; un esempio del primo tipo è il rapporto fra sviluppo in pianta delle aperture e volume vuoto per pieno dell'edificio, un esempio del secondo tipo è la somma delle superfici dei vari piani e volume vuoto per pieno dell'edificio.

La lista dei coefficienti  $\beta_i$  scelti a priori è riportata in Tab. 3, con l'indicazione del relativo campo di variabilità.

Tab. 3			
RAPPORTI GEOMETRICI $\beta_i$ SCELTI A PRIORI			
TIPO DI RAPPORTO GEOMETRICO		da	a
$b_{ix}$	lunghezza x cella elementare (m)	4.5	4.5
$b_{iy}$	lunghezza y cella elementare (m)	4.25	4.75
$s_{ex}$	spessore esterno x (m)	0.375	0.3
$s_{ey}$	spessore interno x (m)	0.375	0.3
$s_{ix}$	spessore esterno y (m)	0.375	0.3
$s_{iy}$	spessore interno y (m)	0.375	0.3
$n_x$	% lati interni x su totale	0.25	0.25
$n_y$	% lati interni y sul totale	0.5	0.5
$p_{ex}$	% aperture esterne x	0.325	0.35
$p_{ey}$	% aperture esterne y	0.345	0.4
$p_{ix}$	% aperture interne x	0.325	0.35
$p_{iy}$	% aperture interne y	0.345	0.4

Il costo totale unitario, rapportato al costo di costruzione, si ricava con la seguente relazione:

$$C = \sum_i C_i \beta_i K_i$$

dove:

$C_i$  è il coefficiente di costo relativo all'i-esimo intervento desunto dalle tabelle 1 o 2;

$\beta_i$  è il coefficiente correlato al rapporto geometrico fra la grandezza in gioco nell'intervento e il volume, vuoto per pieno dell'edificio;

$K_i$  è il coefficiente di estensione dell'intervento così come dedotto dai dati di primo e secondo livello, ovvero solo dai dati di primo livello.

Il passaggio dal valore di  $C$  al costo dell'intervento è immediato conoscendo il volume dell'edificio e stabilendo il costo di costruzione al metro cubo ai prezzi di mercato.

Il modello tiene conto, come accade solitamente nella progettazione ordinaria, di tipi di intervento condizionati a determinate "soglie di convenienza"; nel caso di solai, ad esempio, ciò comporta che si scelga un intervento di rifacimento del solaio stesso, se l'estensione di un intervento di riparazione e consolidamento comporta costi superiori a quelli necessari per il rifacimento dell'orizzontamento. Al fine di evitare le sovrapposizioni che si verificherebbero se gli interventi possibili venissero tutti applicati in maniera incondizionata, il modello prevede dei controlli di compatibilità tra interventi: ad esempio, pur essendo ovvio che generalmente occorre considerare un rifacimento di intonaco a seguito di un intervento di "cuci e scuci", tale intervento viene scartato qualora fosse necessaria l'applicazione di un intonaco armato per esigenze di adeguamento sismico.

L'affidabilità dei risultati è legata a due ordini di fattori. In primo luogo, gioca un ruolo importante l'attendibilità dei dati di rilievo; per tale motivo le stime di costo determinate dal modello hanno diversa attendibilità se vengono considerate come valori medi su un gran numero di edifici o se vengono assunte come valori puntuali per il singolo edificio, per il quale, ovviamente, i margini di possibile errore sono sensibilmente maggiori. In secondo luogo giocano tutte le ipotesi che sono alla base del modello: i tipi di intervento previsti e la loro dipendenza dai dati di rilievo, l'ipotesi di invarianza nel tempo e nello spazio dei rapporti fra i costi unitari degli interventi ed il costo di costruzione per unità di volume. Infine hanno rilevanza le scelte che sono necessarie al modello e che non sono ricavabili dai dati rilevati sull'edificio, quali i rapporti riportati in *Tab.3*.

Il modello prevede la possibilità che si abbiano a disposizione tre diversi livelli di informazione: i dati relativi alla sola scheda di primo livello, i dati di primo livello e la classificazione dei parametri della scheda di secondo livello, il primo livello ed il secondo livello completo anche degli elementi di valutazione. L'attendibilità dei risultati dipende, ovviamente, anche dalla qualità di informazione disponibile; ad esempio, con il solo primo livello, il modello valuta, in funzione delle tipologia costruttiva, un coefficiente di resistenza convenzionale; con il primo livello e la classificazione dei parametri valuta il coefficiente in funzione della classe del terzo parametro (resistenza convenzionale) con determinati margini di tolleranza; con il primo e secondo livello completi il coefficiente viene calcolato a partire dai dati dimensionali e dalle caratteristiche del materiale forniti dal rilevatore. L'utilizzazione dei dati di secondo livello è

tuttavia in parte condizionata dal dato relativo alla qualità dell'informazione presente nella scheda di secondo livello.

Un commento a parte va dedicato ai capannoni. Anche per i capannoni, come per gli edifici in cemento armato, è stata utilizzata nel corso di questa indagine una scheda di nuova formulazione. Per il momento non è stato possibile costruire un modello di stima dei costi basato sulle informazioni raccolte con la scheda capannoni; d'altra parte, nel caso dei capannoni, non si dispone di un quadro sufficientemente ampio di esperienze di interventi in occasione di precedenti terremoti, che consenta di basare una stima del costo di intervento sui soli dati di primo livello. Si è pertanto deciso di soprassedere per ora alla stima dei costi di intervento per questo tipo di edifici.

---

### Riferimenti bibliografici

1. Angeletti P., 1984, *Un modello per la valutazione dei costi di riparazione e adeguamento antisismico sulla base dei censimenti di danno e vulnerabilità*. Atti del seminario: "Vulnerabilità e metodi per la riduzione del rischio sismico", A cura di Corrado Latina. Noto (Sicilia).
2. Angeletti P., Petrini V., 1985, *Vulnerability assessment. Case studies*, US/Italy Workshop on Seismic Hazard and Risk Analysis, Varenna.



## 6. RISCHIO SISMICO E SCALE DI PRIORITÀ

*V. Petrini*

Il valore atteso del costo dei danni diretti conseguenti ai futuri terremoti viene di norma assunto come indicatore dei livelli di rischio per quanto attiene agli aspetti puramente economici; per gli aspetti non economici associati alla sicurezza delle persone si utilizza il valore atteso del numero di vittime. I due indicatori non coprono, ovviamente, tutti gli aspetti connessi alle conseguenze negative dei terremoti: il primo indicatore, infatti, non tiene conto delle conseguenze economiche indirette legate sia ai danni alle persone sia alla perturbazione dell'attività economica della zona colpita; il secondo trascura i feriti e le conseguenze non economiche, di tipo psicologico e sociale, dei danni alle cose. Tuttavia, dato che l'analisi effettuata ha il carattere di una valutazione di massima dei livelli di rischio per alcune classi ben definite di edifici pubblici, al fine di individuare un possibile criterio di priorità per eventuali futuri interventi di riduzione del rischio sismico, sembra ragionevole accettare alcune semplificazioni. In sintesi, si è deciso di assumere il valore atteso dei danni diretti come indicatore fondamentale e di apportare delle modifiche alla graduatoria ottenuta in base a questo parametro introducendo dai fattori moltiplicativi dipendenti dall'intensità d'uso dell'edificio e dalla funzione in esso svolta.

Per la valutazione del danno atteso sono necessari i seguenti strumenti:

- un modello probabilistico che descriva l'attività sismica futura in tutti i siti considerati;
- un modello che consenta di valutare la percentuale di danno provocata da un terremoto di assegnate caratteristiche, in funzione della qualità dell'edificio.

Il primo gruppo di informazioni è facilmente deducibile dai risultati dalle analisi descritte nel capitolo 2. Per il secondo tipo di informazioni si è deciso di adottare i modelli di vulnerabilità, basati su considerazioni statistiche o valutazioni con modelli teorici semplificati, descritti ai capitoli 3.1, 3.2 e 3.3 per gli edifici in muratura, per quelli in cemento armato e per i capannoni, rispettivamente. In linea di principio sarebbe anche possibile far ricorso a modelli teorici per la valutazione del danno provocato dai terremoti; tali modelli, tuttavia, richiedono elaborazioni molto complesse ed onerose ed una analisi di dettaglio di ogni singolo edificio e non sono quindi compatibili con l'esigenza di valutazioni rapide sul patrimonio edilizio di un'intera regione.

I citati modelli di vulnerabilità forniscono una relazione tra qualità della costruzione, livello di danno e severità della scossa espressa in funzione del rapporto  $y$  tra la accelerazione del suolo e la accelerazione di gravità; l'analisi di pericolosità, descritta nel capitolo 2, è stata condotta utilizzando invece

l'intensità come parametro rappresentativo della severità del terremoto. Per collegare pericolosità e vulnerabilità è quindi necessario introdurre una relazione tra l'intensità  $I$  e l'accelerazione  $y$ . Si è usato un legame empirico del tipo:

$$\ln y = a I - b \quad (1)$$

scegliendo i parametri  $a$  e  $b$ , tra le varie proposte disponibili in letteratura, in modo da interpretare al meglio i pochi dati disponibili sul territorio nazionale: si è posto  $a = .602$  e  $b = 7.073$ . L'uso della (1) introduce, ovviamente, altri elementi di incertezza; si ritiene tuttavia che i vantaggi derivanti dall'operare con un parametro più direttamente correlato al comportamento dinamico delle strutture giustifichino le maggiori incertezze, anche alla luce del fatto che le stime di rischio conseguenti vengono utilizzate non come valori assoluti ma come rapporti tra livelli di rischio di edifici di una stessa zona. Ne segue che eventuali errori introdotti dalla (1) dovrebbero ripercuotersi in ugual misura su tutti gli edifici e quindi influenzare in misura ridotta le conseguenti graduatorie di rischio.

Nel capitolo 2 si è mostrato che la pericolosità sismica di un sito può essere compiutamente descritta mediante la distribuzione dei tempi di intercorrenza  $F_\tau(t)$  e la distribuzione delle intensità locali  $F_I(i)$  o, anche, per mezzo delle corrispondenti densità di probabilità  $f_\tau(t)$  e  $f_I(i)$ . Poiché si è deciso di utilizzare l'accelerazione  $y$ , per rappresentare la severità del moto del suolo nel modello di vulnerabilità, è necessario passare dalla distribuzione delle intensità a quella delle accelerazioni. Ciò può essere fatto agevolmente grazie alla (1). Le espressioni (15), (16) e (17) del capitolo 2 diventano pertanto

$$F_y(y) = 1 - \exp \left\{ -[\alpha (\ln y + b) / a - I_s] \right\} \quad (2)$$

$$F_y(y) = 1 - \exp \left\{ \exp (\alpha I_s) - \exp [\alpha (\ln y + b) / a] \right\} \quad (3)$$

$$F_y(y) = 1 - \exp \left\{ \exp (\alpha I_s + \beta) - \exp [\alpha (\ln y + b) / a + \beta] \right\} \quad (4)$$

e le corrispondenti densità di probabilità

$$f_y(y) = \frac{\varepsilon}{y} (\ln y + b) \exp \left\{ -[\varepsilon (\ln y + b) - I_s] \right\} \quad (5)$$

$$f_y(y) = \frac{\varepsilon}{y} \exp [\varepsilon (\ln y + b)] \exp \left\{ \exp (\alpha I_s) - \exp [\varepsilon (\ln y + b)] \right\} \quad (6)$$

$$f_y(y) = \frac{\varepsilon}{y} \exp [\varepsilon (\ln y + b) + \beta] \exp \left\{ \exp (\alpha I_s + \beta) - \exp [\varepsilon (\ln y + b) + \beta] \right\} \quad (7)$$

dove si è indicato con  $\varepsilon$  il rapporto  $\alpha / a$  e dove  $I_s = VI \text{ MCS}$ .

Disponendo in ogni sito della funzione  $f_y(y)$  è immediato calcolare, per ogni edificio di vulnerabilità  $V$ , il valore atteso del danno dovuto ad uno qualsiasi dei futuri terremoti; si ha:

$$D_m(V) = \int_0^{\infty} d(y, V) f_y(y) dy \quad (8)$$

Dato il modo in cui è stato definito il modello di vulnerabilità  $d(y, V)$ , il valore atteso del danno fornito dalla (8) risulta espresso come frazione del valore dell'edificio, totale o per unità di volume; nel seguito di questa analisi si farà coincidere il valore dell'edificio con il suo costo unitario di costruzione: pertanto  $D_m$  rappresenta il valore atteso del costo dei danni per unità di volume, rapportato al costo di costruzione al metro cubo, vuoto per pieno.

La quantità  $D_m$ , a parità di vulnerabilità  $V$ , fornisce una prima misura delle differenze tra le varie località, dovute a differenze in una delle caratteristiche della sismicità locale: la diversa incidenza di terremoti deboli, medi e forti sul totale degli eventi al sito; i valori di  $D_m$ , infatti, differiscono da sito a sito perché diversi sono i valori dei coefficienti della  $f_y(y)$ ; si avranno valori maggiori nelle località dove i terremoti forti sono percentualmente più numerosi e valori più bassi dove si verifica la situazione opposta. In altri termini, il valore atteso del danno per uno qualsiasi dei terremoti futuri, oltre a fornire una prima misura dei livelli di rischio, può anche essere usato come misura sintetica di differenze di pericolosità, se viene valutato con riferimento ad uno stesso edificio standard in tutti i siti; questa duplicità di utilizzo è comune anche agli altri parametri atti a misurare il rischio e può risultare molto utile quando sia necessario misurare sinteticamente differenze di pericolosità.

Per passare dal valore atteso del danno dovuto ad uno qualsiasi dei futuri terremoti,  $D_m$ , ad una misura dei livelli di rischio è necessario mettere in conto la frequenza dei terremoti; nella (8), infatti, la pericolosità è rappresentata solo dalla densità di probabilità della distribuzione delle accelerazioni  $f_y(y)$  mentre non compare la distribuzione dei tempi di intercorrenza  $f_t(t)$ . La frequenza dei terremoti può essere messa in conto in diversi modi, ad ognuno dei quali corrisponde una diversa definizione della misura del rischio.

La misura del rischio di più semplice definizione e di più immediata comprensione è rappresentata dal valore atteso del costo medio annuo dei danni provocati dai futuri terremoti; essa si ricava facilmente mediante la relazione:

$$D_p(V) = \lambda_s D_m(V) \quad (9)$$

dove  $\lambda_s$  è il numero medio annuo di eventi al sito con intensità uguale o maggiore di  $I_s$  e quindi, per la (1), con accelerazione uguale o maggiore del valore di soglia  $y_0$ , dato da

$$y_0 = \exp(a I_s - b) \quad (10)$$

Il numero medio annuo  $\lambda_s$  si ricava dalla densità di probabilità della distribuzione dei tempi di intercorrenza  $f_\tau(t)$ . Indicando con  $\mu$ ,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  il valor medio della  $f_\tau$ , della  $f_1$  e della  $f_2$  rispettivamente (cfr. capitolo 2), si ha

$$\lambda_s = 1/\mu$$

oppure, nel caso di siti caratterizzati da sequenze di terremoti ravvicinati intervallate da tempi di attesa più lunghi tra sequenza e sequenza, se si vuole considerare la sequenza come un unico evento e ricordando che, in questi casi, la distribuzione  $f_1(t)$  descrive i tempi di attesa tra evento ed evento all'interno della sequenza mentre la  $f_2(t)$  dà conto degli intervalli tra sequenza e sequenza,

$$\lambda_s = \left( \frac{p}{1-p} \mu_1 + \mu_2 \right)^{-1}$$

Il valore atteso del costo medio annuo dei danni è la misura di rischio tipica nel caso di processi poissoniani stazionari; per tali processi infatti la probabilità che si verifichi un evento con date caratteristiche in un intervallo di tempo di durata assegnata è la stessa qualsiasi sia l'intervallo considerato; ne segue che, se si è interessati al valore del danno atteso in un qualsiasi intervallo di tempo, è sufficiente moltiplicare  $D_p(V)$  per l'intervallo stesso. Il valore atteso del costo medio annuo perde, invece, significato nel caso di processi non poissoniani, a meno che non si stiano effettuando valutazioni di rischio per oggetti il cui inserimento nel processo degli eventi sismici è casuale; può essere il caso ad esempio di valutazioni di rischio finalizzate alla definizione di livelli di sicurezza della normativa sismica: in tal caso si può ritenere che le strutture alle quali si applicherà la norma verranno realizzate in istanti distribuiti casualmente all'interno del processo degli eventi al sito.

Questo studio è finalizzato alla definizione di criteri di priorità per un eventuale programma di interventi per la riduzione dei livelli di rischio; la valutazione del rischio riguarda quindi un ben preciso istante, oggi, ed interessa decisioni ed azioni destinate ad esaurirsi in un arco temporale limitato di alcuni anni a partire dal momento di attivazione del programma. In queste condizioni non è più lecito trascurare il carattere non poissoniano del processo dei terremoti ed è quindi necessario far riferimento ad altri tipi di misura del rischio (Guagenti et al., 1988a; Guagenti et al., 1988b):

- il valore atteso del costo attualizzato del danno provocato dal primo evento

$$D_1(V, \gamma, t_0) = D_m(V) f_\tau^*(\gamma, t_0) \quad (11)$$

- il valore atteso del costo attualizzato del danno provocato da tutti i terremoti futuri

$$D(V, \gamma, t_0) = D_m(V) f_\tau^*(\gamma, t_0) [1 - f_\tau^*(\gamma)]^{-1} \quad (12)$$

Nella (11) e nella (12) si sono indicati con  $t_0$  il tempo trascorso tra l'ultimo evento al sito e l'istante nel quale si effettua la valutazione di rischio, con  $\gamma$  il tasso di sconto in base al quale si attualizzano i costi futuri; si sono, inoltre,

indicate con  $f_{\tau}^*(\gamma, t_0)$  e con  $f_{\tau}^*$  le trasformate di Laplace della funzione  $f_{\tau}(t, t_0)$ , definita dalla (19) del capitolo 2, e della densità di probabilità della distribuzione dei tempi di intercorrenza  $f_{\tau}(t)$ , cioè:

$$f_{\tau}^*(\gamma, t_0) = e^{\gamma t_0} [1 - F_{\tau}(t_0)]^{-1} \int_{t_0}^{\infty} f_{\tau}(t) e^{-\gamma t} dt$$

$$f_{\tau}^*(\gamma) = \int_0^{\infty} f_{\tau}(t) e^{-\gamma t} dt$$

Va precisato che il valore di danno fornito dalla (12) sottintende l'ipotesi che dopo ogni evento gli edifici eventualmente danneggiati vengano riportati nelle condizioni di vulnerabilità che li caratterizzavano prima dell'evento stesso; in altri termini la (12) fornisce una stima dei danni provocati da tutti gli eventi futuri, nell'ipotesi che la politica di intervento dopo un terremoto sia quella di ripristinare la situazione precedente senza significative riduzioni di vulnerabilità. Una politica di questo tipo potrebbe essere del tutto accettabile in una situazione contraddistinta da una elevata qualità del patrimonio edilizio e quindi da danni piuttosto limitati e solo in caso di terremoti di una certa violenza; in tali condizioni è del tutto ragionevole che ci si limiti alla riparazione dei danni stessi. Dal momento che non è certo questa la situazione che si presenta nella quasi totalità delle zone sismiche italiane la scelta della (11) come misura dei livelli di rischio è pressoché obbligata. La (12) potrebbe essere utilizzata in un secondo tempo, quando fosse stato portato a termine un programma di adeguamento, per valutare il livello di rischio residuo in condizioni di regime.

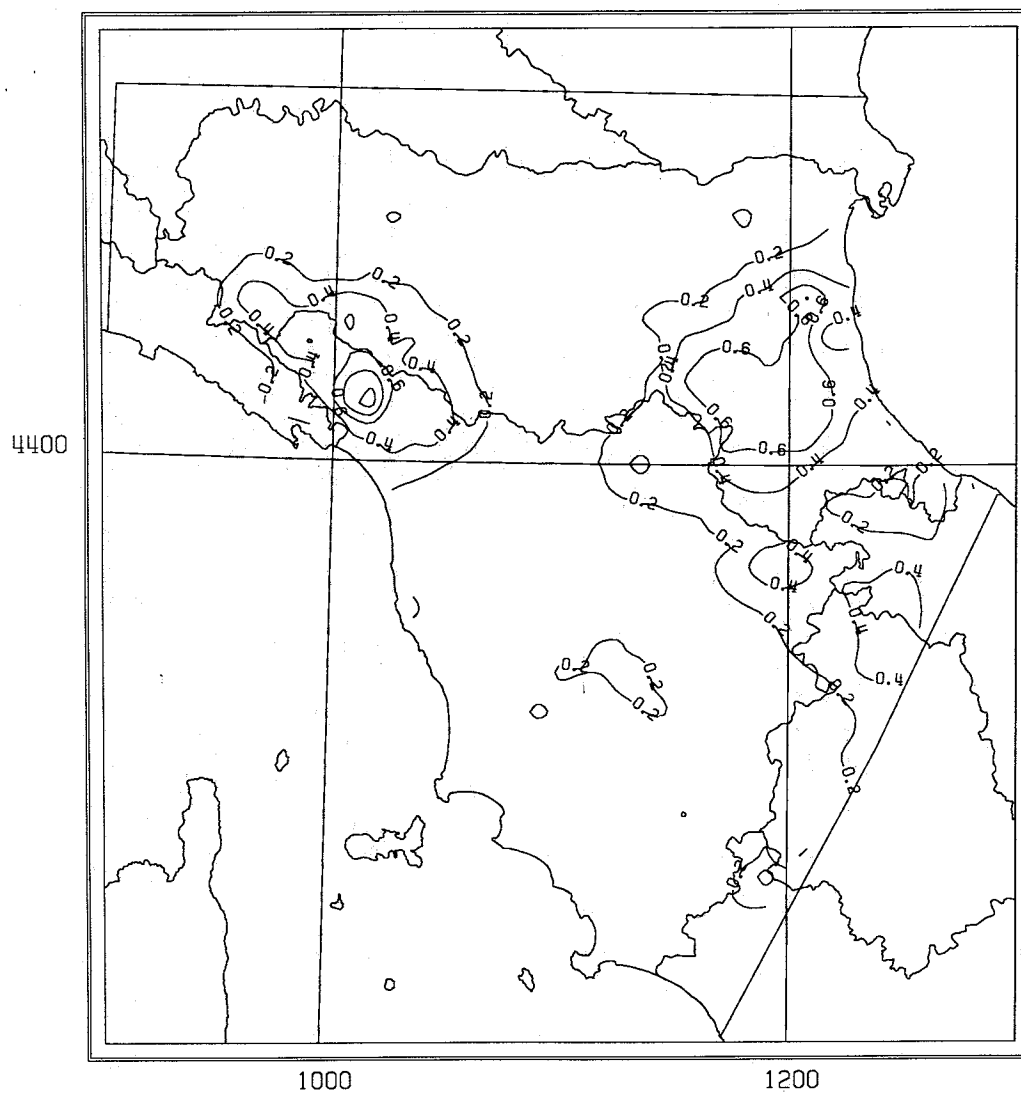
Indipendentemente dalla misura di danno che si decide di adottare può essere significativo distinguere la quota parte di danno dovuta ad eventi con accelerazione minore dell'accelerazione di collasso  $y_c$  e quella conseguente ad eventi con accelerazione superiore o uguale a tale soglia. Questo ultimo dato è particolarmente significativo perché correlabile al rischio per le persone: infatti, la probabilità che si abbiano casi di morte o di gravi ferite assume valori significativi solo in caso di eventi di accelerazione tale da provocare elevati livelli di danno alle strutture.

Nelle *Figg. 1, 2 e 3* è rappresentata la distribuzione spaziale del valore atteso del costo attualizzato del danno provocato dal primo evento, valutato con riferimento ad un edificio di vulnerabilità bassa, media ed alta, rispettivamente; tale rappresentazione consente di evidenziare abbastanza chiaramente l'influenza della qualità delle costruzioni sui livelli di rischio. La differenza tra i due indicatori di rischio proposti può essere evidenziata esaminando le *Figg. 4, 5 e 6* nelle quali è indicata, per gli stessi tre edifici tipici, la distribuzione del valore atteso del costo attualizzato del danno provocato da tutti i terremoti futuri.

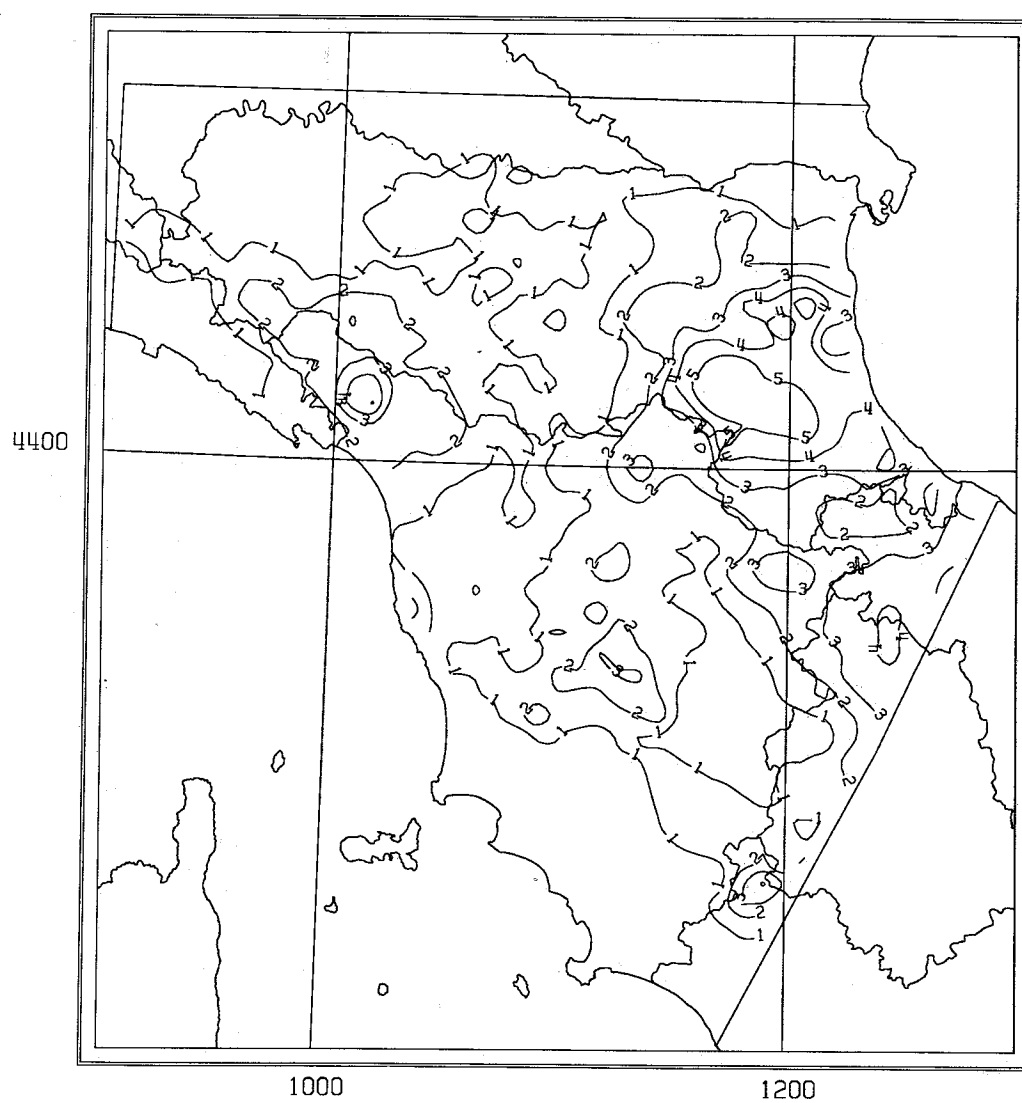
---

**Riferimenti bibliografici**

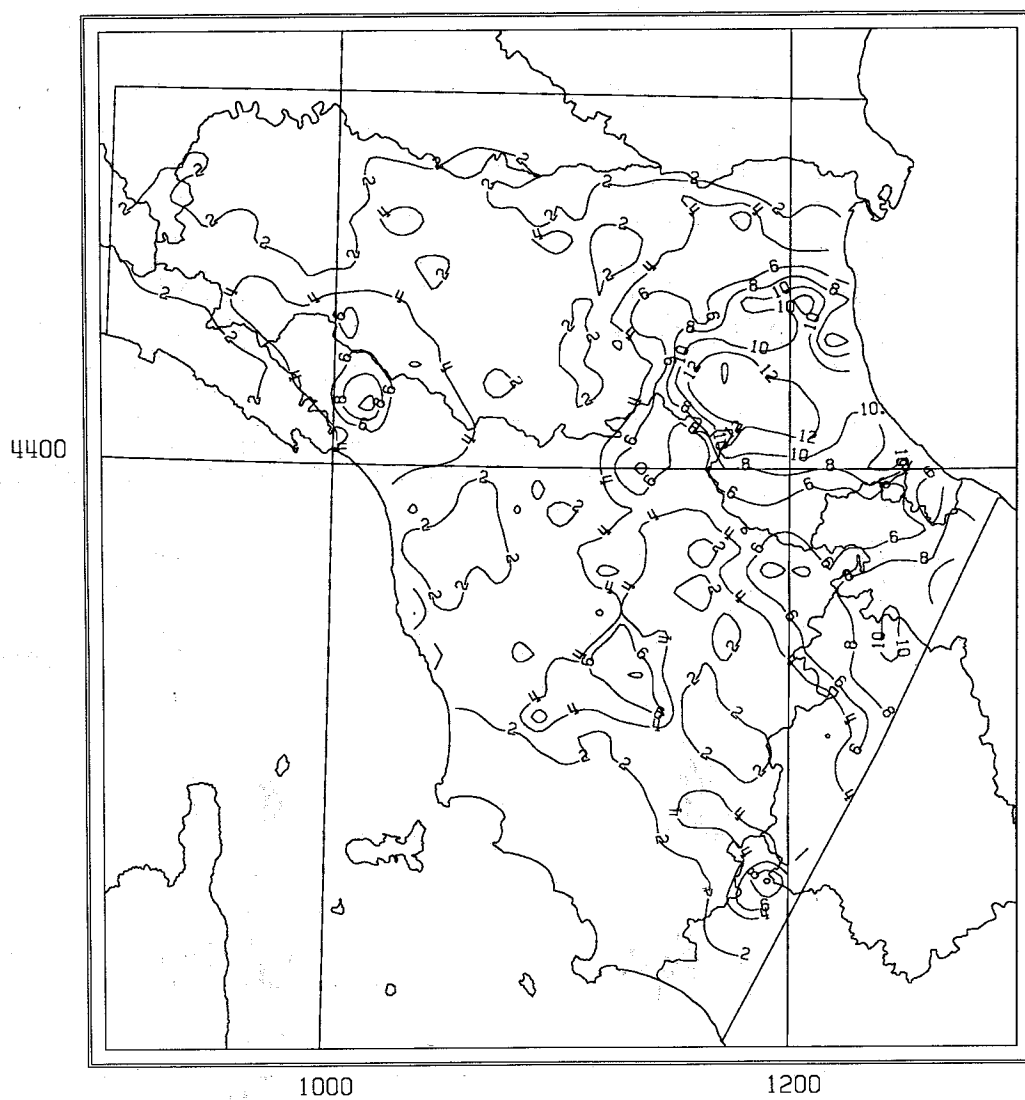
1. Guagenti E., Molina C., Mulas G., 1988, *Seismic Risk Analysis with Predictable Models*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16: 343-359.
2. Guagenti E., Petrini V., Drei A., 1988, *Rischio Sismico Locale in Ipotesi Non-poissoniana: Confronto tra Siti*, AIMETA 88, Bari: 663-666.



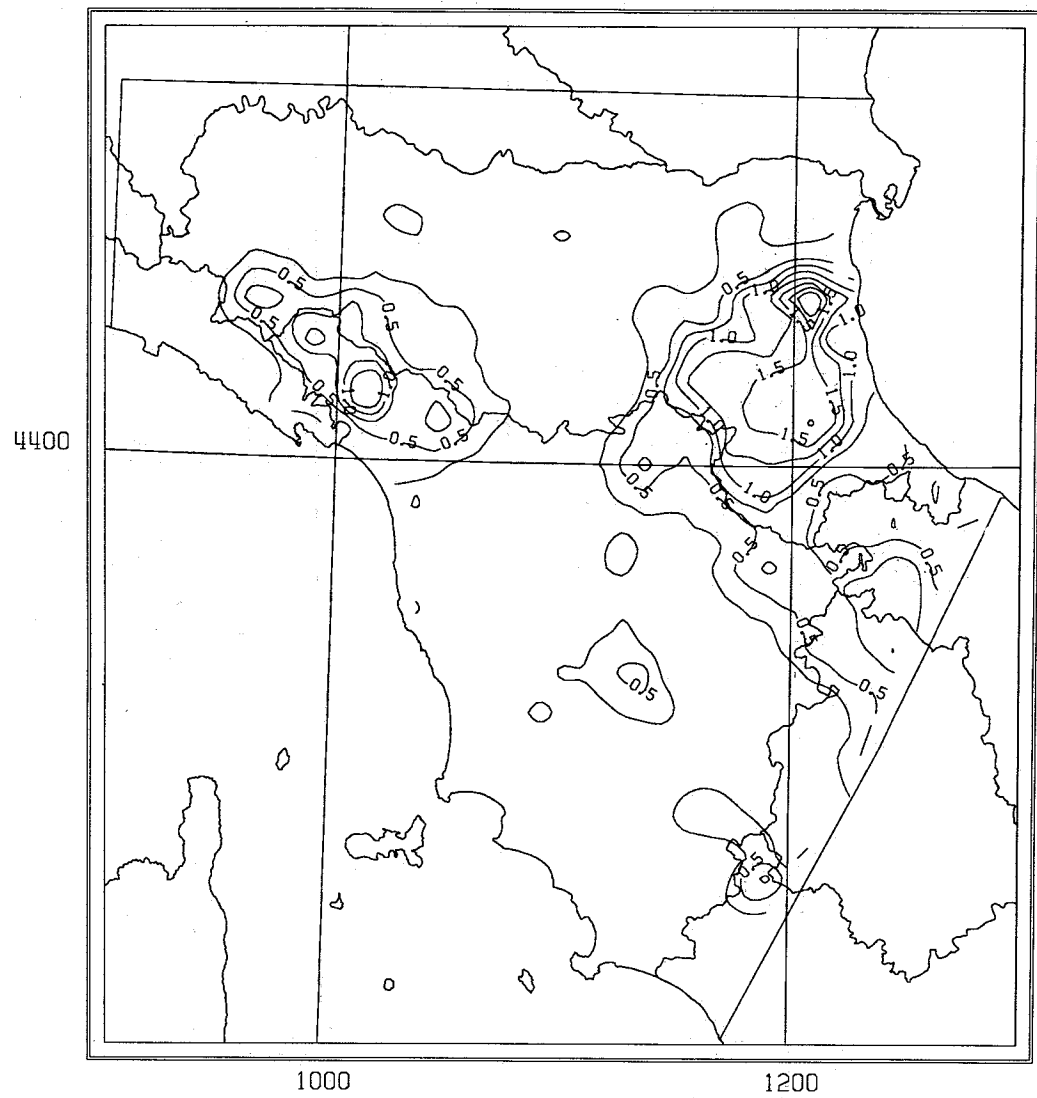
**Fig. 1** Curve di livello del valore atteso del costo attualizzato del primo danno, in percentuale sul costo di nuova costruzione.  
Edificio con bassa vulnerabilità ( $l_v = 10$ )



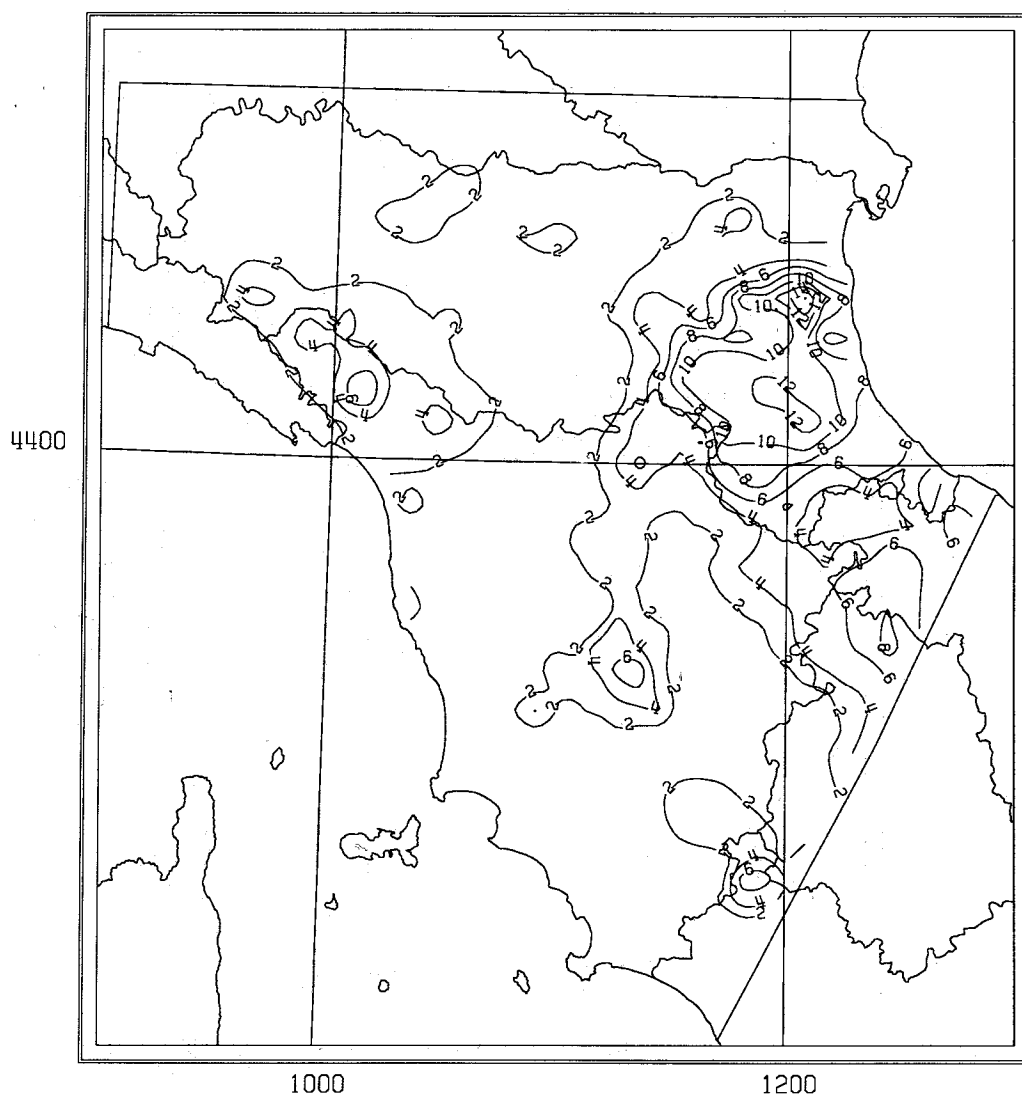
**Fig. 2** Curve di livello del valore atteso del costo attualizzato del primo danno, in percentuale sul costo di nuova costruzione.  
Edificio con media vulnerabilità ( $I_v = 50$ )



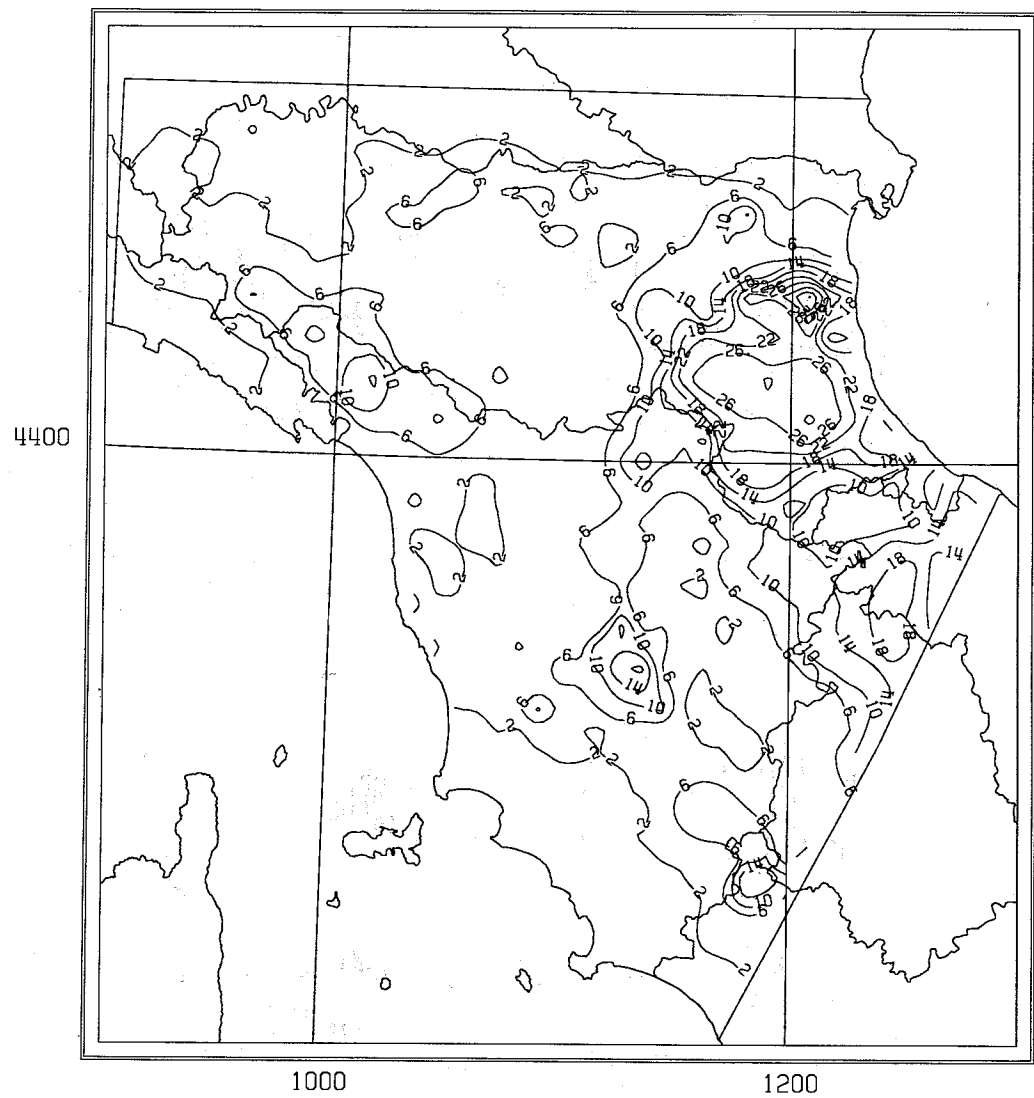
**Fig.3** Curve di livello del valore atteso del costo attualizzato del primo danno, in percentuale sul costo di nuova costruzione.  
Edificio con alta vulnerabilità ( $I_v = 90$ )



**Fig. 4** Curve di livello del valore atteso del costo attualizzato di tutti i danni futuri, in percentuale sul costo di nuova costruzione.  
Edificio con bassa vulnerabilità ( $I_v = 10$ )



**Fig. 5** Curve di livello del valore atteso del costo attualizzato di tutti i danni futuri, in percentuale sul costo di nuova costruzione.  
Edificio con media vulnerabilità ( $I_v = 50$ )



**Fig. 6** Curve di livello del valore atteso del costo attualizzato di tutti i danni futuri, in percentuale sul costo di nuova costruzione.  
Edificio con alta vulnerabilità ( $l_v = 90$ )



tipografia MODERNA bologna