

4.3 Vulnerabilità degli edifici in calcestruzzo armato

La scheda di I livello, come si è già detto, è concepita per un più facile e quindi meno accurato rilevamento di edifici ordinari di qualsiasi tipo e comprende informazioni sintetiche sulle loro caratteristiche strutturali. Per gli edifici in c.a., che rappresentano l'altra tipologia dominante per l'insieme degli edifici pubblici (circa il 60%), sono quindi disponibili le sole informazioni di primo livello. In particolare, nella sezione 7 di questi edifici è data la descrizione della tipologia delle strutture portanti verticali ad ogni piano mediante i codici sotto indicati:

- O : strutture verticali in pareti in calcestruzzo armato,
- P : telai in calcestruzzo armato non tamponati,
- Q : telai in calcestruzzo armato con tamponature deboli,
- R : telai in calcestruzzo armato con tamponature consistenti.

Tali informazioni sono state incrociate con l'età della costruzione e con la classificazione sismica, per individuare possibili classi tipologiche caratterizzate da diverse vulnerabilità.

Lo studio di questi aspetti, e più in generale di quelli concernenti il rilevamento e la valutazione della vulnerabilità, sono ad uno stadio meno avanzato di quello brevemente descritto nel paragrafo precedente riguardante gli edifici in muratura; esso dovrà quindi necessariamente essere approfondito a livello metodologico con apposite ricerche, peraltro già in corso sia in ambito GNDT che SSN, per sfruttare al meglio i dati resi disponibili dal censimento effettuato.

In questa fase si è comunque ritenuto ragionevole ed utile proporre una prima chiave di lettura dei dati rilevati, che consentisse di sintetizzare rapidamente tutte le informazioni disponibili, per pervenire ad una proposta preliminare di suddivisione in classi di vulnerabilità. Sono state quindi individuate 5 classi: A (alta), MA (medio-alta), M (media), MB (medio-bassa), B (bassa).

In Tabella 4.3-1 è riportato lo schema di attribuzione della classe di vulnerabilità sulla base degli indicatori citati. Di tale schema è stata anche presa in considerazione una variante, nella quale alla tipologia C2OR costruita prima del 1975 o in comuni non classificati è assegnata la classe di vulnerabilità M, anziché MA, e alla stessa tipologia costruita dopo il 1975 nei comuni classificati con S=9 è assegnata la classe MB, anziché M. Ciò corrisponde a dare una maggiore importanza alla tipologia costruttiva, in particolare alla presenza di tamponature efficaci, rispetto alla classificazione sismica. Si è infatti spesso riscontrato, anche nel recente terremoto in Umbria e Marche, che le tamponature possono contribuire in maniera sostanziale all'assorbimento della sollecitazione sismica e che il loro ruolo diventa determinante, ai fini della sicurezza, quando sono robuste, disposte regolarmente, e quando l'edificio non è eccessivamente alto, condizione, quest'ultima, che caratterizza la maggior parte degli edifici rilevati. Per contro occorre evidenziare come la valutazione della consistenza della muratura mediante

CODICI IDENTIFICATIVI DELLE STRUTTURE VERTICALI DEGLI EDIFICI IN C.A. NELLA SCHEDA DI 1°LIV.	Età e classificazione sismica		Edifici costruiti prima del 1975, o in comuni non classificati	Edifici costruiti in comuni classificati con S=6	Edifici costruiti in comuni classificati con S=9 dopo il 1975	Edifici costruiti in comuni classificati con S=12 dopo il 1975
	Tipologia costruttiva					
O : strutture verticali in pareti in calcestruzzo armato	C1OR:	Telai in c.a. non tamponati o con tamponature deboli (P,Q)	*A	*MA	*M	*MB
P : telai in calcestruzzo armato non tamponati	C2OR:	Telai in c.a. con tamponature consistenti (R)	*MA (*M)	*M (*MB)	*MB	*MB
Q : telai in calcestruzzo armato con tamponature deboli	C3OR:	Pareti in c.a. (O)	*MB	*B	*B	*B
R : telai in cemento armato con tamponature consistenti	*B = Bassa; *MB = Medio-Bassa; *M = Media; *MA = Medio-Alta; *A = Alta La stessa divisione in 5 livelli della V è stata utilizzata anche per gli edifici in muratura ed è stato pertanto premesso l'asterisco per distinzione tra le due tipologie che hanno comunque scale di V indipendenti					

Tabella 4.3-1 Matrice di classificazione del livello di vulnerabilità per gli edifici in c.a. Il modello di attribuzione, basato sulle informazioni della scheda di primo livello, opera una valutazione incrociando le caratteristiche strutturali degli edifici con l'età di costruzione distinta rispetto alla classificazione e alla regolamentazione antisismica,

osservazione visiva può presentare difficoltà, e conseguentemente, notevoli incertezze, da cui l'opportunità di considerare entrambe le ipotesi di attribuzione. Dal confronto tra le distribuzioni ottenute nelle due ipotesi, tenuto conto dei limiti del procedimento di valutazione nel suo complesso e della necessità di una scelta di tipo prudenziale, si è ritenuto adeguata l'adozione della prima ai fini della composizione delle graduatorie.

Per avere una prima stima dei valori degli indici di vulnerabilità corrispondenti alle classi individuate, è stato effettuato un confronto fra i risultati di alcuni studi condotti a seguito del terremoto dell'Irpinia del 1980 e le curve di fragilità associate agli edifici in muratura.

La procedura utilizzata può essere sintetizzata come segue:

1. tutti gli edifici in c.a. rilevati nei Comuni danneggiati dal terremoto dell'80 e censiti a tappeto sono stati attribuiti ad un'unica fascia di vulnerabilità che comprende le categorie M e MA;
2. i dati osservati in tutti i comuni che hanno risentito lo stesso grado di intensità macrosismica MCS sono stati raggruppati, ottenendo sei insiemi corrispondenti alle intensità comprese fra il V e il X grado MCS; l'insieme corrispondente al solo grado IX, costituendo un campione statisticamente poco significativo, è stato nel seguito trascurato;

3. per ciascuno degli insiemi sono state calcolate le frequenze di osservazione di ciascun livello di danno apparente f_D , secondo la scala a 8 livelli ($D=1, 2 \dots 8$) prevista nelle schede di censimento del 1980;
4. le frequenze dei livelli di danno più bassi sono state accorpate, in modo da passare dalla scala di graduazione del danno a 8 livelli ad una a 6 livelli ($d = 0,1 \dots 5$), corrispondente a quella utilizzata nella scala MSK, in accordo con quanto proposto da Braga et al. (1986); i valori ottenuti hanno fornito le matrici di probabilità di danno $DPMca(d,I) = f_d(I)$ relative agli edifici in c.a. irpini, che sono state assunte valide per gli edifici di vulnerabilità M-MA in generale (Tabella 4.3-2);
5. a ciascun grado di intensità macrosimica I è stato associato un corrispondente valore medio di accelerazione di picco al suolo ag , utilizzando la correlazione proposta da Petrini, $ag(I) = e^{-7.073 + 0.602 I}$, i cui risultati sono riassunti nella Tabella 4.2-32;
6. ciascun livello di danno è stato associato ad un indice di danno Id , pari alla frazione del valore economico del bene da impiegare per riportarlo nelle condizioni originali non danneggiate. Allo scopo è stata utilizzata la relazione lineare $Id = 0.2 d$, per la quale al livello $d=0$ (assenza di danno) corrisponde un indice Id pari a 0 (nessun costo di riparazione) e al livello $d=5$ corrisponde un indice $Id = 1$ (il danno è pari all'intero valore economico dell'edificio);
7. per ciascuna intensità, e quindi per valori discreti dell'accelerazione al suolo ag , è stato calcolato l'indice di danno medio Imd , ottenuto dalla relazione $Imd(I) = \sum_d Id * f_d(I)$; questa grandezza corrisponde alla perdita media di un generico edificio in c.a. di categoria M-MA che subisce l'intensità I o l'accelerazione al suolo $ag(I)$;
8. i passaggi 5 - 7 consentono di trasformare le matrici di probabilità di danno $DPMca(I)$ in curve di danno medio $Imd(ag)$, che possono, a loro volta, essere sovrapposte alle usuali curve di fragilità trilineari utilizzate in ambito GNDT (Figura 4.1-1), per ottenere una valutazione del valore medio dell'indice di vulnerabilità Iv .

FREQUENZE DI DANNO					
Livello di danno D	Intensità (MCS)				
	VI	VII	VIII	IX	IX-X
0	0.828	0.789	0.639	n.a.	0.355
1	0.16	0.187	0.279		0.306
2	0.01	0.022	0.062		0.177
3	0.002	0.003	0.012		0.068
4	0	0	0.003		0.019
5	0	0	0.005		0.075

Tabella 4.3-2 Frequenze di osservazione del danno per edifici in c.a. a seguito del terremoto in Irpinia, 1980 (matrici di probabilità di danno)

I (MCS)	5	6	7	8	9	10
a_g (g)	0.0172	0.0314	0.0573	0.1047	0.1911	0.3489

Tabella 4.3-3 Correlazione fra intensità macrosismica osservata e accelerazione di picco al suolo.

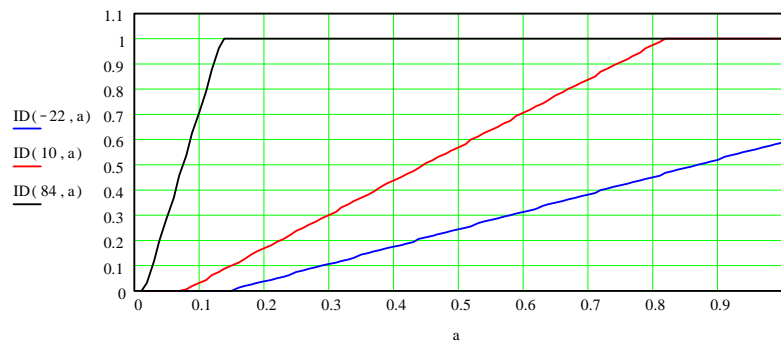


Figura 4.3-1 Curve di danno medio, in ascissa l'accelerazione al suolo in g, in ordinata l'indice di danno riferito a tre valori di vulnerabilità (-22, 10 e 84).

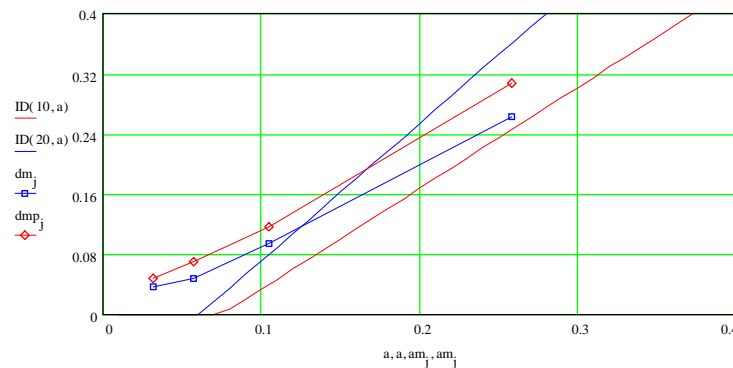


Figura 4.3-2 Curve di danno medio a confronto. Le due rette corrispondono ai valori 10 e 20 dell'indice di vulnerabilità; le due curve con simboli sono dedotte dai rilievi effettuati dopo il terremoto del 1980 (la linea con quadrati rappresenta i dati del rilievo, la linea con rombi gli stessi dati interpolati con legge binomiale).

In Figura 4.3-2 è mostrata questa sovrapposizione, nella quale il valore 'sperimentale' del danno medio è ricavato in due modi: o direttamente dalle frequenze osservate o approssimando le distribuzioni osservate con una distribuzione binomiale. Si vede che le curve trilineari indicano un punto netto di inizio del danno, che sembra invece molto più sfumato nell'osservazione dei dati reali; questo fatto, peraltro noto, è da attribuirsi alla semplicità della legge assunta. Per valori di accelerazione corrispondenti ad intensità medio-forti le curve di danno si situano nella fascia compresa fra gli indici $V=10$ e $V=20$. La caratterizzazione della vulnerabilità effettuata mediante le curve di Indice di danno medio è di tipo deterministico, ad essa può essere collegata una descrizione della dispersione del comportamento reale delle strutture basata sulla distribuzione probabilistica degli indici di vulnerabilità. La curva di distribuzione è stata costruita sulla base delle

osservazioni sperimentali effettuate in Irpinia, opportunamente elaborate, secondo la procedura di seguito sinteticamente descritta.

- a. Per ogni intensità, e quindi per ogni valore di accelerazione al suolo a_g , sono stati individuati i valori di I_v a cui corrispondono i livelli di danno D della scala MSK e, quindi, i valori dell'indice di danno ($I_d = 0.2 D$), (Tabella 4.3-4).
- b. Le frequenze di osservazione di D , quindi di I_d , sono state poste pari alle frequenze di osservazione dei corrispondenti valori dell'indice di vulnerabilità I_v , determinati come descritto al punto precedente. Si sono ottenute, in tal modo, distribuzioni statistiche discrete di I_v , che, se il campione di edifici fosse perfettamente omogeneo, dovrebbero essere identiche qualunque sia l'intensità (o l'accelerazione) a cui le osservazioni si riferiscono. In realtà solo le osservazioni ricavate da campioni che hanno risentito intensità (accelerazioni) medie o forti consentono di apprezzare abbastanza bene quasi tutti i livelli di danno (vulnerabilità), mentre le osservazioni relative ai gradi di intensità più bassi, 'schiacciate' verso il danno nullo, consentono di apprezzare meglio le 'code' di vulnerabilità, ossia le frequenze di osservazione di valori di I_v molto alti.
- c. Dalle distribuzioni dette sono state ricavate le rispettive cumulate. Nel costruire le cumulate sono stati ignorati i valori estremi delle frequenze di osservazione, poiché la forma semplificata della legge danno-vulnerabilità assunta e la saturazione delle distribuzioni in corrispondenza del danno nullo o del crollo determinano la mancanza di biunivocità per i valori estremi dei livelli di danno; in questo modo si è avuto un buon allineamento dei dati relativi a intensità diverse.
- d. Le funzioni di distribuzione degli indici I_v 'osservate', già abbastanza vicine fra loro, sono state approssimate con una curva interpolante di tipo lognormale. Il risultato è riportato nella Figura 4.3-3, nella quale con le linee marcate con simboli sono riportate le cumulate 'sperimentali' relative alle intensità 6, 7, 8 e 9-10, mentre con la linea continua è rappresentata la curva lognormale interpolante, identificata dai valori dell'indice di vulnerabilità medio e dello scarto quadratico rispettivamente pari a 11.9 e 23.5. Il primo valore risulta leggermente più basso di quello determinato sulla base del confronto delle curve di danno medio, perché si è voluto che venissero rispettati alcuni punti di controllo ritenuti importanti, come, ad esempio, la percentuale di crolli attesi per le intensità più alte (IX-X).

Nella Figura 4.3-4 è riportata la derivata della funzione di distribuzione che fornisce la densità di probabilità dell'Indice di vulnerabilità. Nella figura 4.3-5 l'indice di danno medio congruente con questa funzione è confrontato con i valori osservati. Si vede che per valori di accelerazione molto elevati, superiori a quelli per i quali si dispone delle osservazioni, il danno medio ottenuto dalla interpolazione tende ad essere leggermente più elevato di quello sperimentale: si ritiene giustificata questa prudenza visto che i dati osservati sembrano indicare una tendenza del c.a. ad aumentare rapidamente il livello di danno quando si superano accelerazioni al suolo forti. Di contro si osserva che per bassi valori di accelerazione la curva di distribuzione interpolante conduce ad una sottostima del danno. Questa discrepanza era da attendersi poiché la forma trilineare delle curve di

fragilità di per sé comporta uno scostamento dalle distribuzioni osservate, che sono sempre caratterizzate da raccordi curvilinei con le rette orizzontali di danno nullo e di danno totale.

INDICE DI VULNERABILITÀ					
Livello di danno D	Intensità (MCS)				
	VI	VII	VIII	IX	IX-X
0	51.99	23	-6.423	<-25	<-25
1	97.14	65.76	38.94	15.82	4.781
2	>100	89.75	59.06	33.95	22.82
3	>100	>100	74.34	46.64	34.72
4	>100	>100	87.26	56.93	44.17
5	>100	>100	98.75	65.9	52.21

Tabella 4.3-4 Valori dell'indice di vulnerabilità corrispondenti al verificarsi del livello di danno D per un assegnato valore di intensità macrosismica

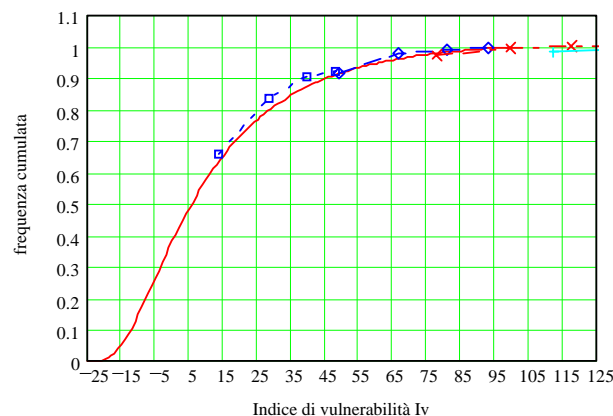


Figura 4.3-3 Curve di distribuzione dell'indice di vulnerabilità: valori ricavati da campioni corrispondenti a diverse intensità e curva di interpolazione lognormale, con indice di V medio pari a 12 e scarto quadratico medio pari a 23.5

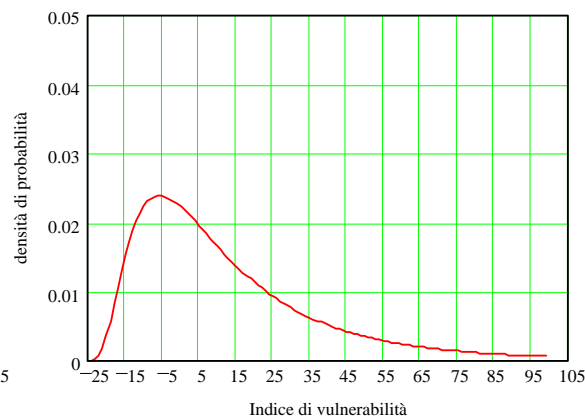


Figura 4.3-4 Densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità per il campione dell'Irpinia: distribuzione lognormale con V.M.=11.9 e D.S.=23.5

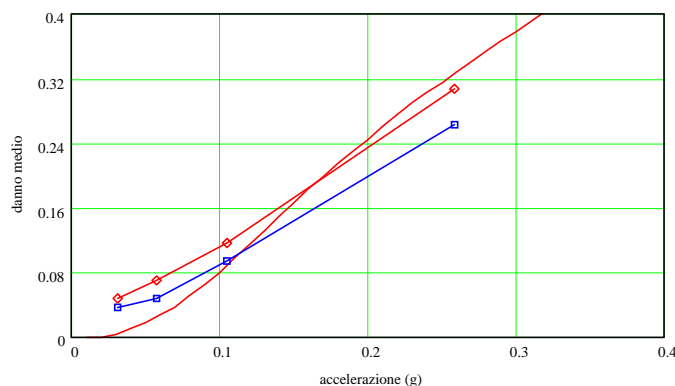


Figura 4.3-5 Indice di danno medio congruente con la funzione di Figura 4.3-4 e valori osservati.

Come detto in precedenza, si è deciso di assumere il campione di edifici in c.a. dell'Irpinia come rappresentativo di una fascia di vulnerabilità compresa tra le classi media e medio-alta (MA) alla quale è stato assegnato un indice di vulnerabilità caratterizzato dai parametri della distribuzione probabilistica precedentemente riportati.

I successivi passaggi richiedono la determinazione delle distribuzioni probabilistiche di I_v per le 5 classi di vulnerabilità stabilite in precedenza. In assenza di ulteriori informazioni, sono richieste alcune assunzioni riguardanti la forma della distribuzione, il valor medio e la deviazione standard, basate sull'esperienza e sul giudizio 'esperto'. Per quanto riguarda la forma, si ritiene giustificato assumere distribuzioni lognormali per tutte le classi di vulnerabilità. Per quanto riguarda i valori medi, appare opportuno fissare innanzitutto la distanza relativa tra i valori medi delle diverse classi. Appare ragionevole assumere un valore compreso tra 5 e 10. Per quanto riguarda la dispersione intorno al valor medio, si potrebbe assumere la costanza del coefficiente di variazione. Un'assunzione di questo tipo, tuttavia, deve in qualche modo tener conto della anomalia del campo di variazione della vulnerabilità, che comprende anche valori negativi fino a -25. Per tener conto in qualche modo di tale anomalia, il coefficiente di variazione viene calcolato come rapporto tra la deviazione standard e il valor medio sommato a 25:

$$C.V.C. = D.S./(V.M. + 25)$$

Per gli edifici in c.a. irpini, considerati appartenenti ad una fascia compresa tra le classi M e MA si ottiene così un coefficiente di variazione corretto:

$$V.M. = 11.9$$

$$D.S. = 23.5$$

$$C.V.C. = 23.5/(11.9+25) = 64\%$$

In realtà è da supporre che la dispersione del campione irpino risulti superiore a quella di un campione di edifici appartenenti tutti alla stessa classe, così che è lecito assumere un valore ridotto del C.V.C.. Anche per il C.V.C. si fanno due diverse ipotesi, che dovrebbero includere le possibili condizioni reali:

$$C.V.C. = 64\%$$

$$C.V.C. = 32\%$$

A questo punto sono state determinate le curve di probabilità dell'indice di vulnerabilità conseguenti alle distanze fra i valori medi delle classi di vulnerabilità (D.V.M.) e ai coefficienti di variazione corretti (C.V.C.) descritti precedentemente.

I casi estremi presi in considerazione sono stati tutti scartati poiché i risultati più ragionevoli si ottengono per un valore di D.V.M. pari a 7.5, intermedio fra 5 e 10 e per un valore di C.V.C. pari all'85% del valore rilevato per il campione Irpino (C.V.C. = 0.54).

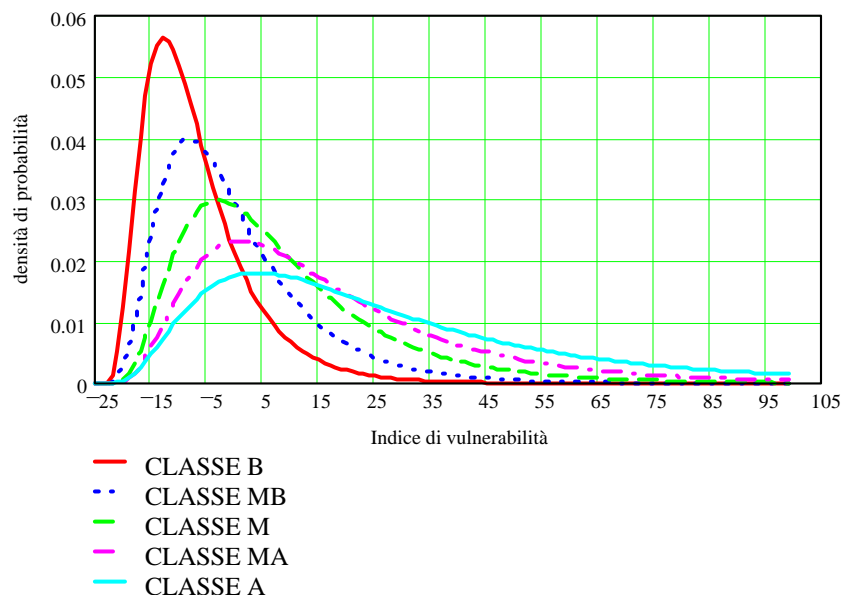


Figura 4.3-6 Densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità per le varie classi

In Figura 4.3-6 sono riportate le densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità per le cinque classi esaminate. Si vede che le classi a maggiore vulnerabilità, dalla A alla M, hanno significative probabilità di contenere edifici con indici di vulnerabilità piuttosto elevati (superiori a 60). Alla classe A, che è anche la più dispersa, appartengono percentuali di edifici non trascurabili con valori dell'indice di vulnerabilità vicini a 100. Ovviamente l'opposto accade per la classe B, per la quale i valori osservabili di indice di vulnerabilità sono praticamente inferiori a 35. Da osservare che tutte le curve sono normalizzate in modo che risulti unitario l'integrale fra -25 e 100, ciò che comporta, per quelle relative alle classi con i maggiori valori medi, la conseguenza di avere ordinate non nulle per indici di vulnerabilità I_v vicini a 100.

A questo punto la descrizione della vulnerabilità delle classi in termini probabilistici è completa. Si è voluto controllare che i risultati ottenuti siano congruenti con le osservazioni sperimentali e con il giudizio esperto. Si sono pertanto calcolate le curve di probabilità di collasso per ciascuna classe operando come di seguito descritto.

Note le curve di densità di probabilità dell'indice di vulnerabilità, $p(I_v)$, è possibile determinare le analoghe curve per l'accelerazione di collasso $p(y_c)$ sfruttando la relazione deterministica che lega le due grandezze nel modello di vulnerabilità adottato

$$y_c = 1 / [0.625 + 0.00029 (I_v + 25)^{2.145}]$$

Infatti si ha che

$$p(I_v) d I_v = p(y_c) d y_c$$

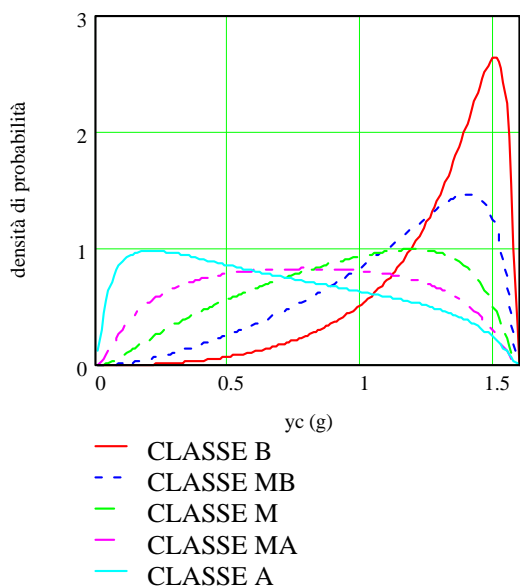


Figura 4.3-7 Densità di probabilità dell'accelerazione di collasso per le varie classi.

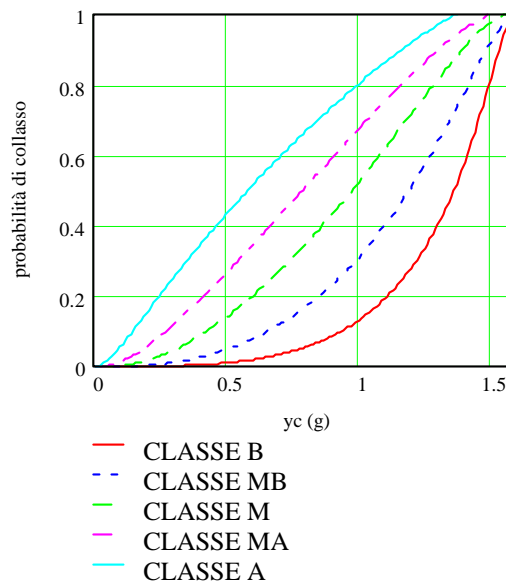


Figura 4.3-8 Probabilità di collasso in funzione dell'accelerazione.

Applicando la relazione precedente sono state calcolate le curve $p(y_c)$ mostrate in Figura 4.3-7. Da esse è evidente che gli edifici compresi in ciascuna classe mantengono comunque proprietà molto variabili. In particolare quelli appartenenti alle classi A e MA hanno significative probabilità di manifestare accelerazioni di collasso sia inferiori a qualche decimo di g sia superiori ad 1 g. La cosa è ancora più evidente se si integrano le curve $p(y_c)$ ottenendo le probabilità dell'accelerazione di collasso per ciascuna classe riportate in Figura 4.2-8. Da essa si osserva che un edificio di classe A ha una probabilità di collasso pari a circa il 30% se sottoposto ad una accelerazione al suolo di 0.35 g (ovviamente se a tale accelerazione corrisponde un contenuto energetico tale da produrre danni assimilabili ad una intensità macrosismica X MCS). Se l'edificio è costruito secondo le norme sismiche per $S=9$ o $S=12$ (classi da M a B) la probabilità di collasso scende decisamente e diventa di qualche punto percentuale (6 % per la classe M, 1% per la classe MB, 0.3% per la classe B). Ovviamente poiché le densità di probabilità di I_v sono lognormali fattorizzate in modo che l'integrale definito fra -25 e 100 risulti unitario, e poiché la massima accelerazione di collasso prevista dal modello è pari a 1.6 g, tutte le curve di probabilità di collasso raggiungono il valore unitario prima di 1.6 g.

Le curve di probabilità di collasso possono essere riportate in termini di intensità macrosismiche ottenendo i risultati di Figura 4.3-9. Si vede che i dati osservati in Irpinia (curva con rombi) sono compresi fra quelli relativi alle classi M e MA. Si osserva anche che solo le classi di vulnerabilità più elevate (A e MA) raggiungono probabilità (frequenze) di collasso superiori all'80% per $I=XII$ MCS. Questo fatto è coerente con la saturazione della scala macrosismica MCS, che, però, non considera gli edifici 'ingegnerizzati' e tanto meno quelli costruiti 'a norma' in c.a.. Secondo le valutazioni

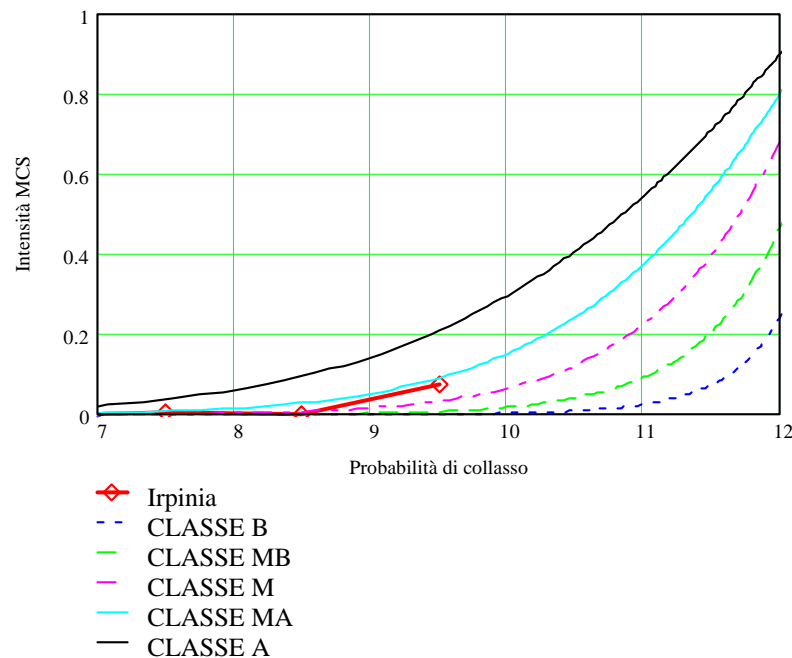


Figura 4.3-9 Probabilità di collasso in funzione dell'intensità macrosismica MCS.

effettuate questi ultimi conservano una probabilità di sopravvivenza compresa fra il 30% (classe M) ed il 70% circa (classe B).

E' stato effettuato un ulteriore controllo sullo stato di inizio danno. Si è proceduto come per il collasso ma considerando l'espressione analitica della accelerazione di inizio danno y_i . Le curve di probabilità ottenute sono risultate molto 'confinare', ossia si sviluppano tutte nel campo 0 – 0.15 g (valore massimo di y_i nel modello di danno medio). Questo risultato, come l'analogo trovato su y_c , dipende dalla legge assunta per la funzione $y_i(I_v)$. In questo caso, però, esso non trova un conforto nei dati osservati in Irpinia. Infatti, pur non essendo possibile riprodurre esattamente in valore dell'indice di danno a causa della mancanza dell'informazione sull'estensione dei livelli per ciascun elemento strutturale, è possibile stimare la frequenza di non osservazione di un qualsiasi danno, anche lieve. Così facendo si trova che anche per intensità elevate (corrispondenti ad accelerazioni di 0.3 g) percentuali non trascurabili di edifici non subiscono alcun danno a strutture, tramezzi o tamponature. Da ciò si dedurrebbe che per le classi M – MA la curva di probabilità di inizio danno dovrebbe saturare non prima di 0.3–0.4 g, ben oltre 0.15 g e che la classe B dovrebbe saturare per accelerazioni ancora superiori. Per riprodurre questo comportamento bisognerebbe cambiare la forma delle curve di danno medio introducendo raccordi fra i tre tratti rettilinei.

Illustrazione dei risultati

Anche per gli edifici c.a. si illustrano i risultati principali delle elaborazioni effettuate in tabelle e rappresentazioni grafiche, in analogia alla precedente parte riguardante quelli in muratura, con la differenza che, per quanto sopra esposto, la vulnerabilità è espressa nella scala a cinque livelli.

I grafici in Figura 4.3-10 illustrano le frequenze relative del numero degli edifici in c.a. per classi di vulnerabilità; sono stati riportati anche quelli per i quali non è stato possibile l'attribuzione della fascia di V a causa della carenza nelle informazioni necessarie. Il confronto delle distribuzioni del numero e del volume mostra, contrariamente a quanto riscontrato per le murature, solo una leggera differenza fra le due rappresentazioni, concentrata nelle classi MA e MB, che sono anche le più popolate.

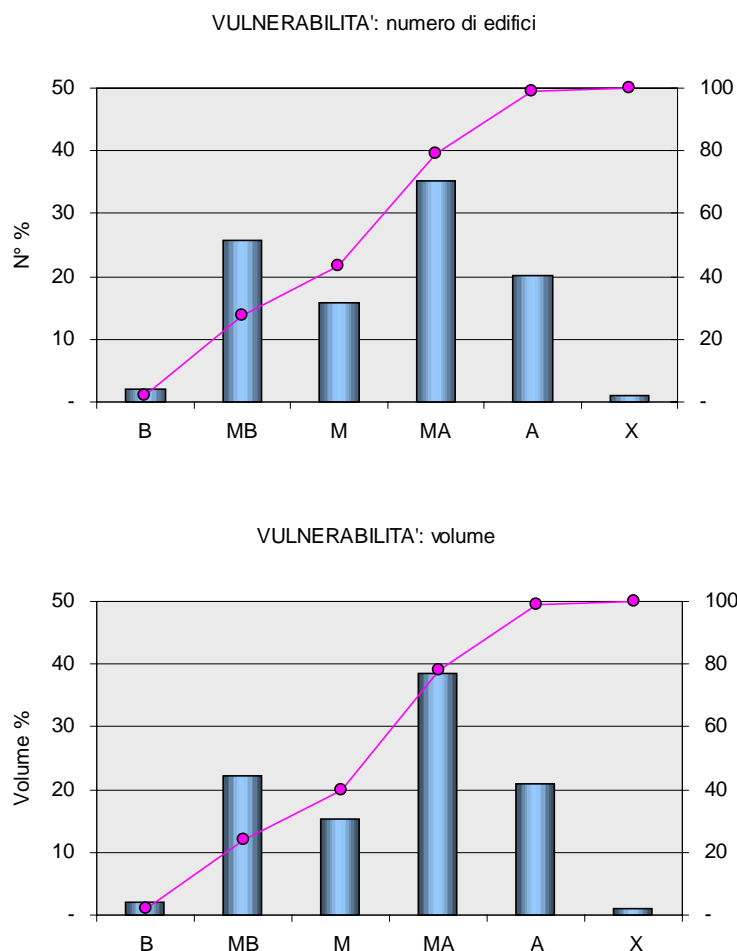


Figura 4.3-10 Distribuzioni della vulnerabilità degli edifici in c.a.: in numero nel grafico sopra e in volumetria nel grafico in basso.

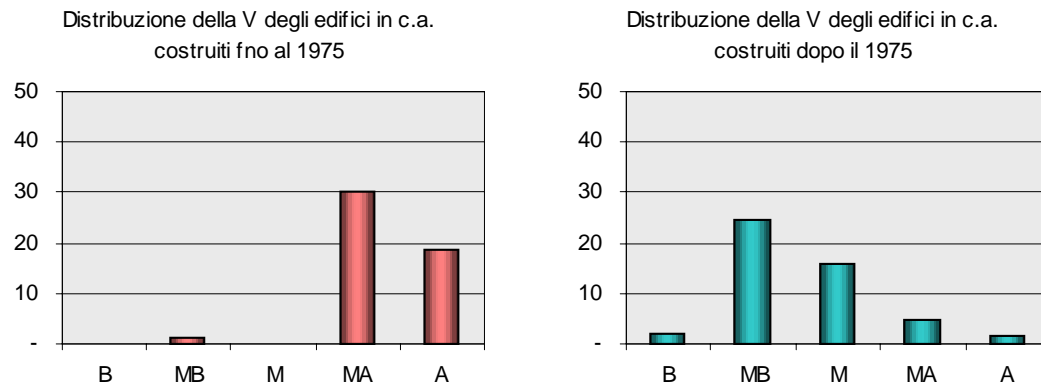


Figura 4.3-11 Distribuzioni della vulnerabilità degli edifici in c.a.. Il confronto mostra quantitativamente l'incidenza dell'assunzione che attribuisce classi di vulnerabilità più severe agli edifici costruiti anteriormente al primo D.M. emanato dopo la Legge 64/74.

In sostanza, mentre negli edifici in muratura si riscontra un incremento della vulnerabilità media al crescere del volume, in quelli in c.a. questa tendenza è molto attenuata.

Uno degli indicatori assunti per l'assegnazione alla classe di vulnerabilità: la data di costruzione rispetto al 1975, ha una notevole influenza sulle distribuzioni. In figura 4.3.11 sono riportate le frequenze di appartenenza alle classi di vulnerabilità per edifici costruiti prima e dopo l'emanazione delle norme tecniche per le costruzioni previste nella Legge 64/74. Si vede che gli edifici più vecchi sono quasi tutti nelle classi MA ed A, mentre i nuovi sono prevalentemente nelle classi MB e M. Un simile risultato necessita di ulteriori approfondimenti poiché occorre quantificare meglio l'incremento di resistenza e duttilità conseguente ai cambiamenti normativi verificatisi dopo l'emanazione della L. 64/74. Prima di quella data, infatti, sono comunque seguite diverse normative (dal R.D. 18.4.1909 n. 183 alla L. 1684/62) che hanno avuto una graduale evoluzione. Una analoga evoluzione ha caratterizzato i D.M. emanati a seguito della L.64/74 e le relative Circolari.

Da osservare, infine, la scarsa diffusione degli edifici a setti in c.a. in ogni epoca, che differenzia l'Italia da altre nazioni ad elevata sismicità (p.es. il Cile).

Vulnerabilità per classi tipologiche

Nella tabella e nei grafici seguenti è riportata la distribuzione degli edifici esaminati nelle tipologie strutturali e nelle classi di vulnerabilità definite in Tabella 4.3-1. Si osserva che la maggior parte degli edifici è a tipologia intelaiata. La tipologia a tamponature deboli (C1OR) si suddivide in pratica fra la classe di vulnerabilità A e la M, essendo la classe MA poco popolata a causa del ristretto numero di comuni attualmente classificati in S=6. La tipologia a tamponature forti (C2OR) si suddivide fra le classi MB e MA.

VULN.	NUMERO					VOLUME (mc/1000)				
	C1OR	C2OR	C3OR	VXOX	TOTALE	C1OR	C2OR	C3OR	VXOX	TOTALE
B	-	-	505	-	505	-	-	2.119	-	2.119
MB	644	5.511	328	-	6.483	1.684	19.324	1.637	-	22.645
M	3.082	885	-	-	3.967	10.998	4.790	-	-	15.788
MA	503	8.366	-	-	8.869	2.681	36.834	-	-	39.515
A	5.082	-	-	-	5.082	21.437	-	-	-	21.437
N.I.	-	-	-	201	201	-	-	-	906	906
	9.311	14.762	833	-	24.906	36.800	60.948	3.756	-	101.504

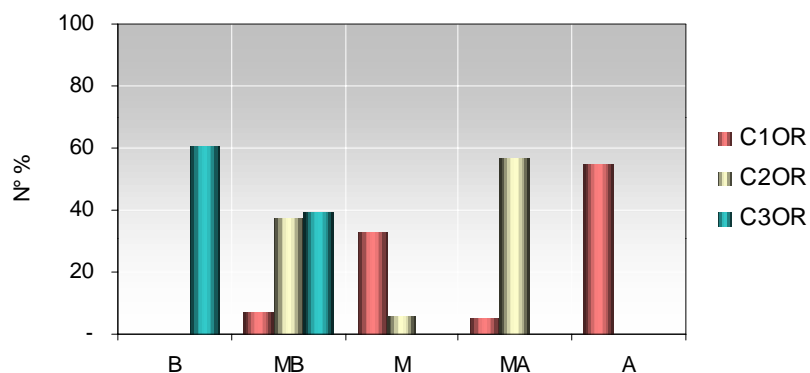


Figura 4.3-12 Distribuzioni della V degli edifici in c.a. per classi di tipologia strutturale.

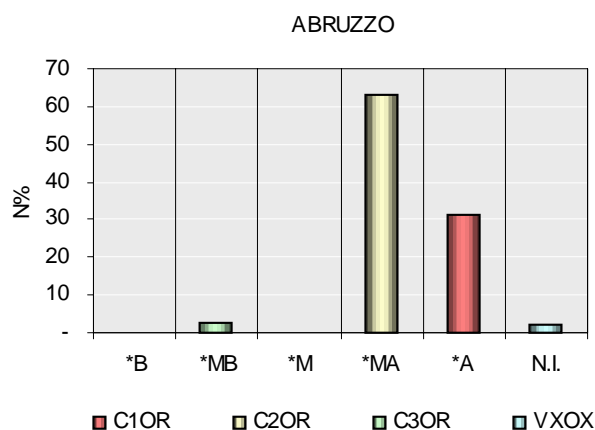


Figura 4.3-13 Abruzzo: distribuzioni della V degli edifici in c.a. per classi di tipologia strutturale. I dati comprendono i soli edifici pubblici dei comuni non classificati.

La distribuzione che si riscontra in Abruzzo, dove il censimento ha riguardato solo i comuni non classificati, conferma la prevalenza della tipologia intelaiata, ed in particolare di quella con tamponatura efficace.

La disaggregazione per regioni riportata nella fig. 4.3-14 mostra una situazione abbastanza differenziata: si va da distribuzioni dominate dai telai con tamponature forti (Molise, Puglia) a distribuzioni nelle quali questa tipologia è sostanzialmente equipollente a quella con tamponature deboli (Sicilia orientale e Calabria). In tutte le regioni è assolutamente minoritaria la tipologia a setti, che è pressoché assente in Calabria.

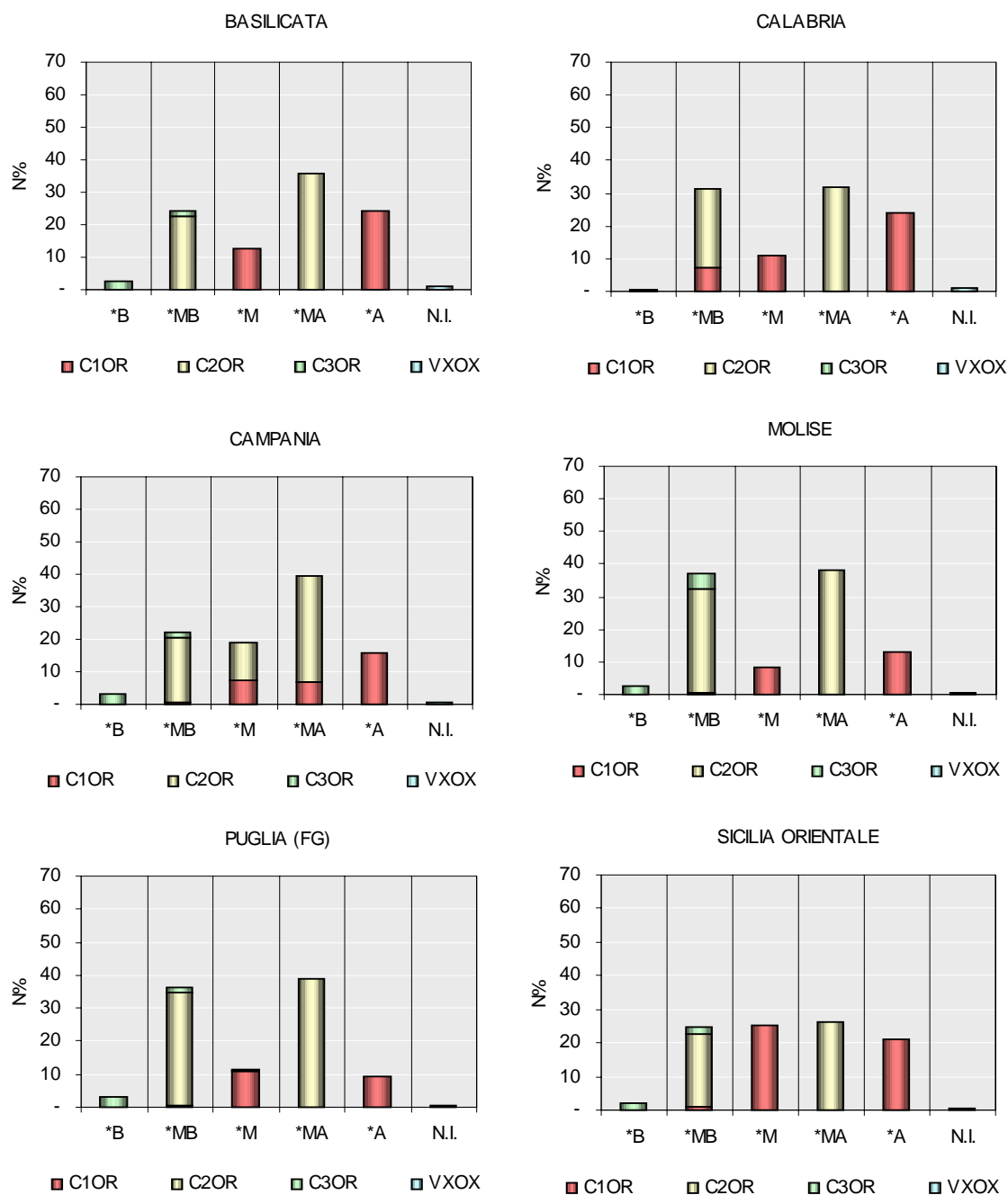


Figura 4.3-14 Distribuzioni della V degli edifici in c.a. per classi di tipologia strutturale nelle regioni Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia (FG) e Sicilia orientale.

Vulnerabilità per regione

La tabella ed i grafici seguenti mostrano la consistenza degli edifici pubblici in cemento armato per ogni regione e la loro suddivisione in classi di vulnerabilità.

Se si normalizzano i dati alla estensione del campione rilevato la distribuzione degli edifici fra le classi di vulnerabilità è abbastanza uniforme fra le regioni (Fig. 4.3-15 b), se si escludono le anomalie dell’Abruzzo (soli comuni non classificati) e la Sicilia.

REGIONE	B	MB	M	MA	A	X	TOTALE
ABRUZZO	-	32	-	700	344	31	1.107
BASILICATA	54	510	272	757	510	26	2.129
CALABRIA	43	2.344	818	2.392	1.787	75	7.459
CAMPANIA	246	1.662	1.436	2.972	1.197	50	7.563
MOLISE	25	360	83	367	125	6	966
PUGLIA (FG)	35	378	120	409	99	7	1.048
SICILIA Orientale	102	1.197	1.238	1.272	1.020	31	4.860
	505	6.451	3.967	8.169	4.738	195	25.132

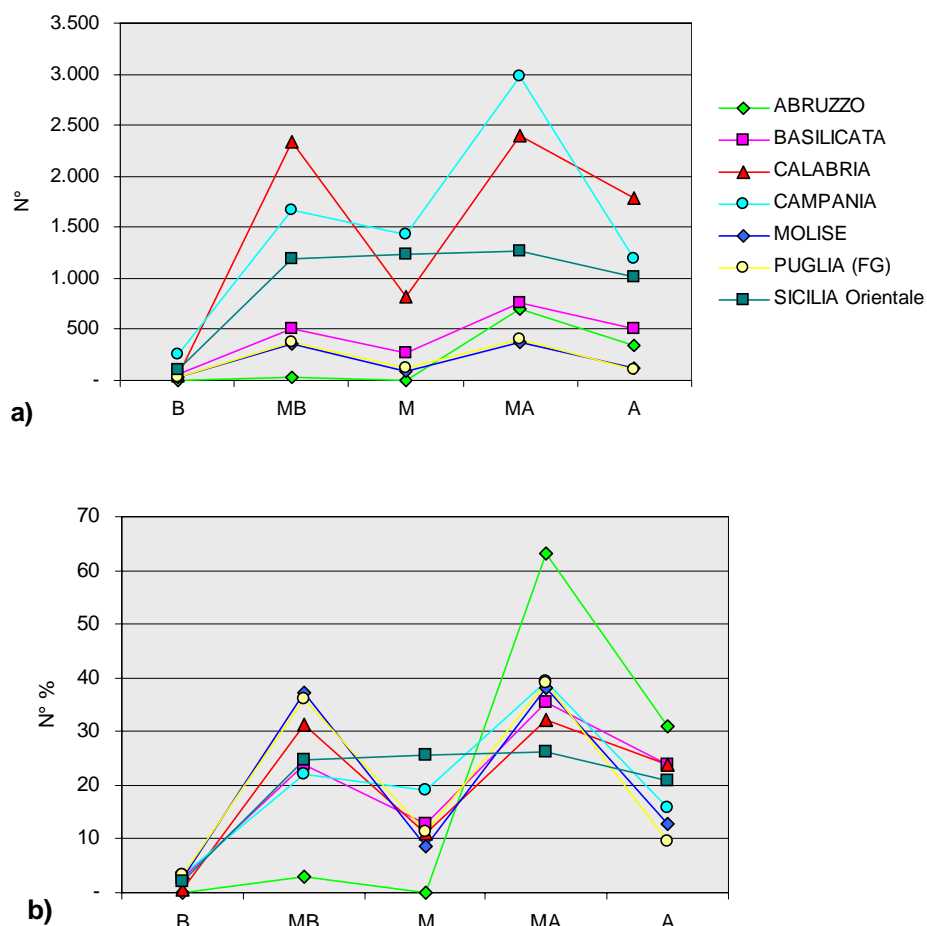


Figura 4.3-15 Distribuzioni della vulnerabilità degli edifici in c.a. per regione. Le frequenze assolute sono indicate nella tabella e graficate in a); nel grafico b) sono rappresentati i valori percentuali.

Le superfici medie riportate in figura 4.3-16 indicano che gli edifici in c.a. sono mediamente più estesi di quelli in muratura (v. Figura 4.2-3); anche in questo caso la Calabria ha gli edifici più piccoli (1003 mq) mentre i più estesi si trovano in Abruzzo, Molise e Campania. Le distribuzioni delle volumetrie sono estremamente disperse, come indicano i valori di D.S. sistematicamente superiori ai valori medi.

L'Abruzzo si differenzia decisamente dalle altre regioni sia per la grandezza media che per la dispersione, ciò è dovuto al fatto che i dati riguardano solo i comuni non classificati, ricadenti tutti lungo la fascia costiera, e che comprendono anche i centri di dimensioni maggiori dotati di edifici pubblici più grandi.

VALORI MEDI E DEVIAZIONI STANDARD							
REGIONE	N° EDIFICI	N° PIANI	DS N° Piani	SUPERF.	DS Superf.	VOLUME	DS Volume
ABRUZZO*	1.107	2,6	1,7	1.704	3.128	6.343	11.306
BASILICATA	2.129	2,9	1,7	1.107	1.285	3.908	4.796
CALABRIA	7.459	2,6	1,6	1.003	1.305	3.414	4.675
CAMPANIA	7.563	2,7	1,9	1.487	1.860	5.353	6.811
MOLISE	966	3,2	2,0	1.499	1.904	5.116	6.248
PUGLIA (FG)	1.048	2,5	1,4	1.376	1.621	5.062	5.643
SICILIA Orientale	4.860	2,5	1,7	1.280	1.964	4.801	7.218

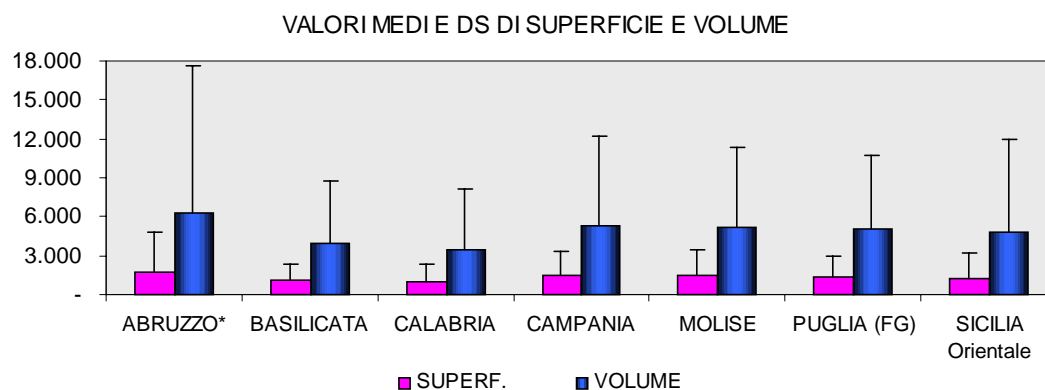
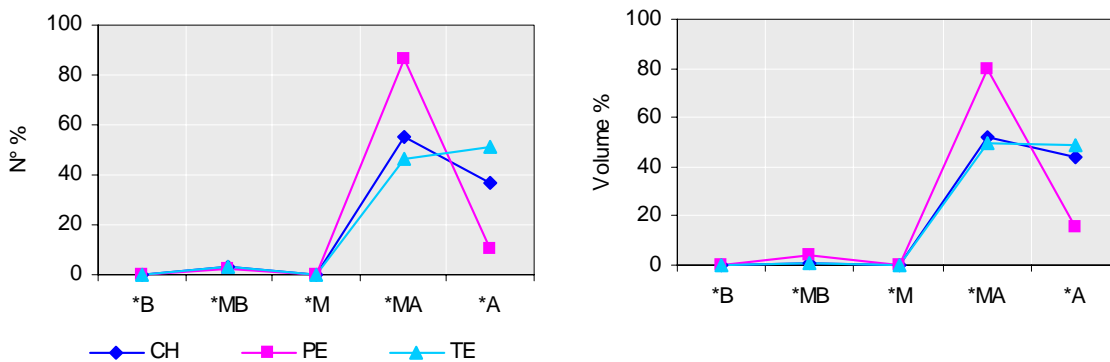


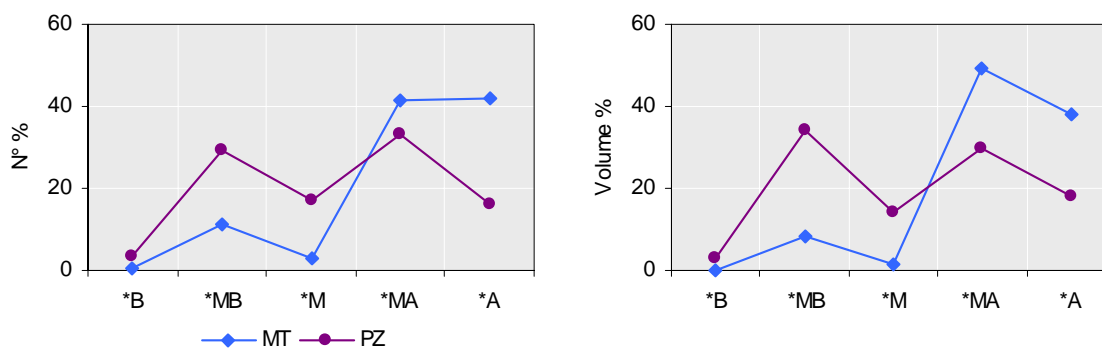
Figura 4.3-16 Valori medi e deviazioni standard del numero di piani, della superficie e degli edifici in c.a..

Le distribuzioni di vulnerabilità degli edifici riportate nelle pagine seguenti (Figure 4.3-17 e 4.3-18) evidenziano differenze non trascurabili fra province appartenenti alla stessa regione. In Basilicata la provincia con edifici in c.a. più vulnerabili è quella di Matera, mentre una differenza molto più modesta si rileva analizzando gli edifici in muratura. Considerazioni simili valgono per la Calabria, dove le province di Crotone e Catanzaro hanno edifici nettamente più vulnerabili, con una accentuazione della tendenza manifestata dagli edifici in muratura. Anche in Molise la differenza di vulnerabilità fra gli edifici in muratura di Campobasso ed Isernia viene esaltata nel caso degli edifici in c.a..

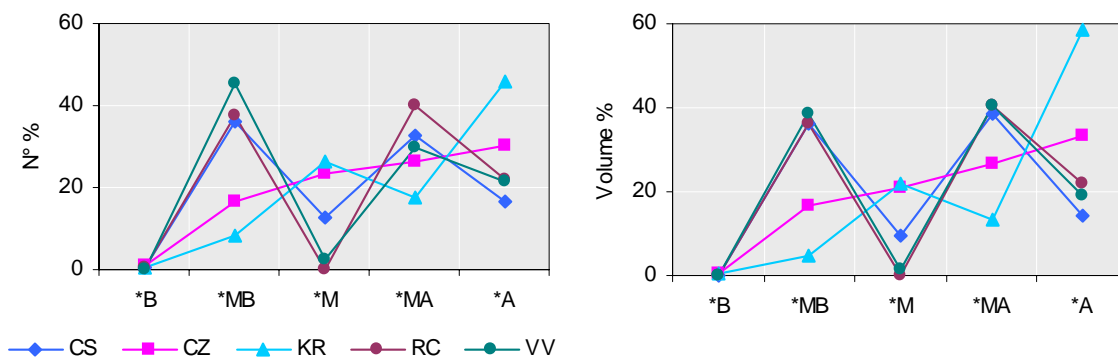
ABRUZZO



BASILICATA



CALABRIA



CAMPANIA

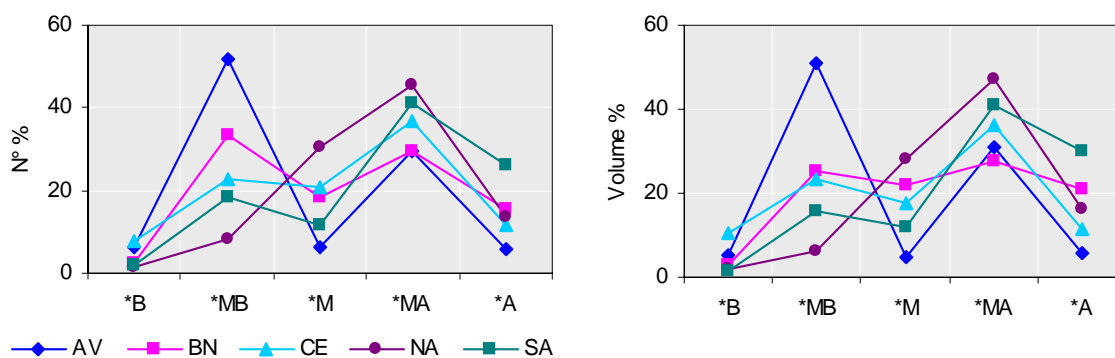


Figura 4.3-17 Distribuzioni di V degli edifici in c.a. nelle provincie delle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria e Campania.

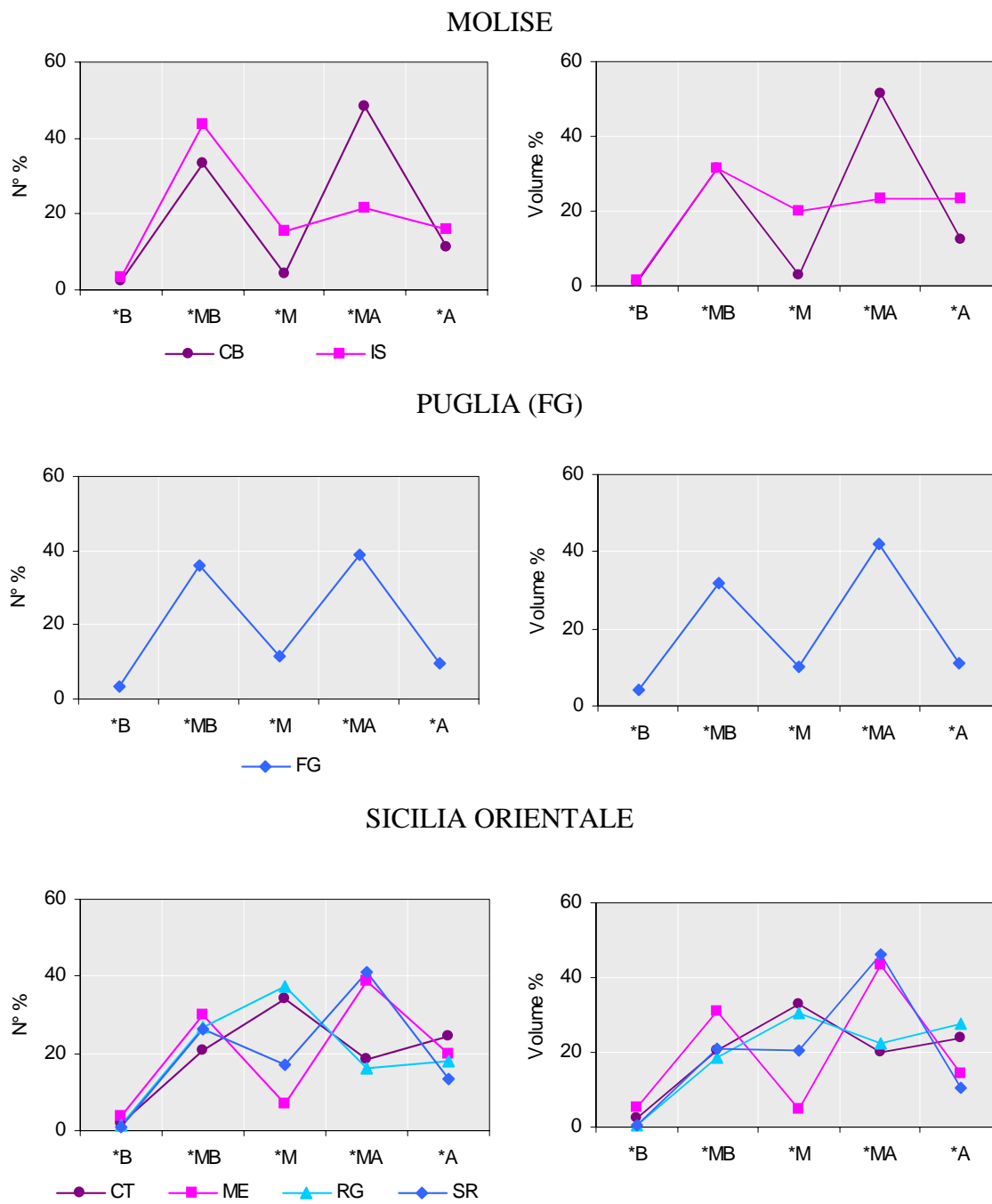


Figura 4.3-18 Distribuzioni di V degli edifici in c.a. nelle provincie delle regioni Molise, Puglia (FG) e Sicilia orientale.

Vulnerabilità per tipo di uso

L'analisi di vulnerabilità fatta per le diverse tipologie d'uso degli edifici è illustrata nella figura 4.3.19. Anche in questo caso, come in quello della muratura, la maggior parte degli edifici sono adibiti all'Istruzione e all'uso Civile. Le distribuzioni di vulnerabilità sono abbastanza simili per le varie destinazioni, con la leggera diversificazione della Mobilità e Trasporto e del Tecnologico a Rete.

VULNERAB.	Istruzione	Civile	Sanità	Militare	Mobilità e Trasporto	Tecnologico a Rete	Religioso	Non identificato	Totale edifici
	IS	CI	SA	MI	MT	TR	RE	XX	
B	205	177	44	22	17	32	5	3	505
MB	2.944	1.938	624	456	162	244	73	42	6.483
M	2.230	935	392	195	54	107	29	25	3.967
MA	4.756	1.954	967	363	395	231	126	77	8.869
A	2.822	1.018	663	197	146	125	83	28	5.082
N.I.	93	92	9	8	13	7	1	3	226
	13.050	6.114	2.699	1.241	787	746	317	178	25.132

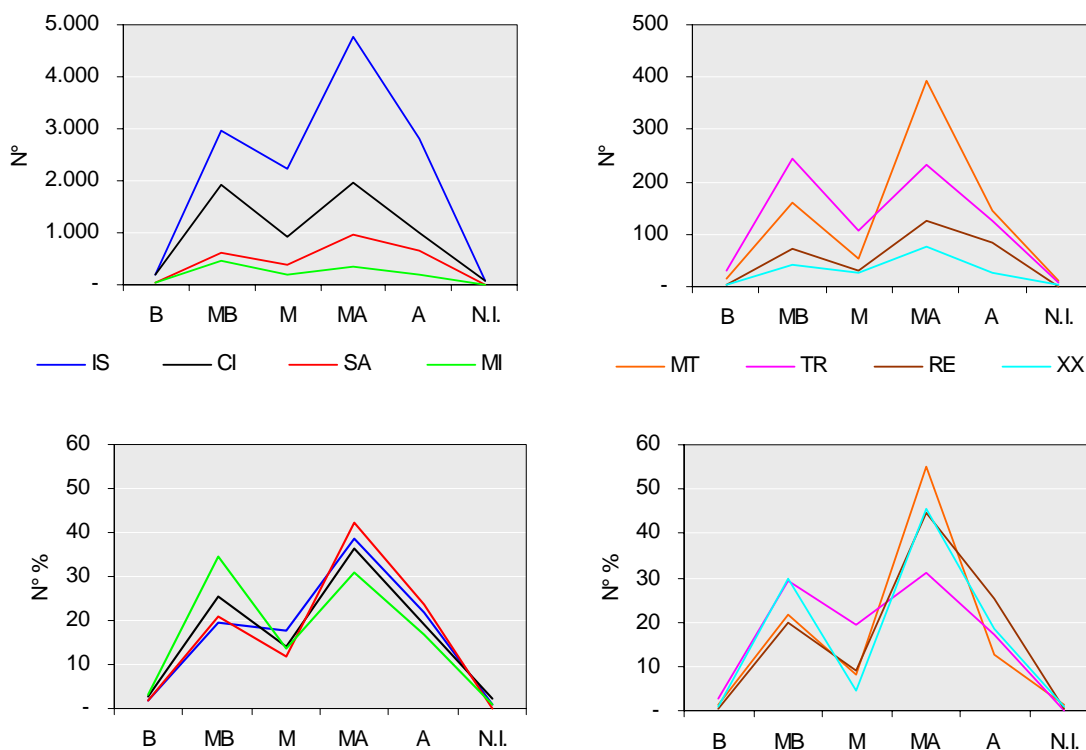


Figura 4.3-19 Distribuzioni di vulnerabilità di edifici in c.a. distinte per uso.

Osservazioni conclusive

La gran parte del campione è costituito da edifici intelaiati, con una prevalenza della tipologia con tamponature consistenti C2OR (58,8%) rispetto alla C1OR (37,1%), poco più del 3% è a setti in c.a. e un numero molto limitato (201) non è stato identificato.

La distribuzione degli edifici e dei volumi fra le classi di vulnerabilità è abbastanza irregolare: sono presenti significative percentuali di edificato nella classe A (20,2%) e nella classe MB (25,8%), mentre è trascurabile la percentuale di edificato nella classe B (2%). La ripartizione fra classe M (25,8%) e MA (35,3%) è fortemente influenzata dall'ipotesi di attribuzione delle strutture con tamponature robuste costruite prima del 1975 o in comuni non classificati. La moda della distribuzione si dispone, infatti, in corrispondenza della classe a cui tali strutture vengono fatte appartenere. Nel caso in cui esse siano ritenute a vulnerabilità media, si evidenzia una distribuzione con una percentuale di circa il 25% che resta 'separata' dalle classi a vulnerabilità bassa e media da una classe poco popolata, costituita dagli edifici costruiti con norme sismiche per S=6.

A causa della scelta fatta di utilizzare come indicatore di vulnerabilità l'età di costruzione rispetto al 1975 la distribuzione dell'indice di vulnerabilità cambia decisamente quando si esaminano gli edifici di costruzione meno recente. Questo risultato, se da un lato appare ragionevole, necessita di ulteriori approfondimenti.

Il fatto che siano individuabili edifici a vulnerabilità più alta nettamente separati da un insieme più regolare distribuito su un campo di vulnerabilità medio-basse è un risultato congruente con quanto osservato a seguito del terremoto dell'Irpinia e con le considerazioni già riportate sul comportamento a "soglia" di questo tipo di strutture; tuttavia, al momento attuale, non è ancora possibile giungere a conclusioni di rilevanza operativa immediata.