Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti

Dipartimento della Protezione Civile

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per le Tecnologie della Costruzione

INGV/GNDT- GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI
Programma quadro 2000-2002
TEMA 1 - Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale

Progetto: SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2

INVENTARIO E VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI PUBBLICI E STRATEGICI DELL'ITALIA CENTRO-MERIDIONALE

Volume II

ANALISI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO SISMICO

A cura di:
M. Dolce
A. Martinelli

Uso e citazione di questo volume
Ne è vietato lo sfruttamento commerciale.
L'uso è consentito a condizione che ne venga citata correttamente la fonte.
Per le citazioni si raccomanda di utilizzare la seguente dicitura:

M. Dolce, A. Martinelli (CD a cura di), Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale, Vol. II - Analisi di vulnerabilità e rischio sismico, INGV/GNDT-Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, L'Aquila, 2005.

In Copertina: Fernando Botero: *Earthquake* (immagine tratta da: www.1st-art-gallery.com)

© - 2005 - INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
GNDT - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti

I.N.G.V. – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
G.N.D.T. – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti

Dipartimento della Protezione Civile

C.N.R. – Consiglio Nazionale delle Ricerche
I.T.C. – Istituto per le Tecnologie della Costruzione

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI
Programma quadro 2000-2002
TEMA 1 - Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale

SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2

INVENTARIO E VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI PUBBLICI E STRATEGICI DELL'ITALIA CENTRO-MERIDIONALE

Valorizzazione dei dati di vulnerabilità degli edifici pubblici rilevati, nell'ambito del Progetto LSU-96 in 1.510 comuni nelle regioni:
Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia (provincia di Foggia) e Sicilia orientale (province di Catania, Ragusa, Siracusa e 67 comuni della fascia orientale della provincia di Messina)

Volume II

ANALISI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO SISMICO

Parte 1ª – EDIFICI SCOLASTICI
Parte 2ª – a) EDIFICI PER LA SANITÀ
b) EDIFICI OSPEDALIERI
Parte 3ª – MAPPE DI VULNERABILITÀ E RISCHIO

A cura di:
M. Dolce e A. Martinelli

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI
Programma quadro 2000-2002 - TEMA 1 - Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale

SAVE
Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Coordinatori del Progetto: *Mauro Dolce* – Università della Basilicata e *Giulio Zuccaio* – Università di Napoli

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblic e strategici dell'Italia centro-meridionale

Titolo della ricerca:

Valorizzazione dei dati di vulnerabilità degli edifici pubblici rilevati, nell'ambito del Progetto LSU-96, in 1.510 comuni nelle regioni: Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia (provincia di Foggia) e Sicilia orientale (province di Catania, Ragusa, Siracusa e 67 comuni della fascia orientale della provincia di Messina)

Responsabile scientifico del Task2:

Mauro Dolce – dell'Università della Basilicata

La ricerca è stata svolta dalla

Unità di Ricerca del CNR- Consiglio Nazionale delle Ricerche
ITC –Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Sezione dell'Aquila

Responsabile:

Antonio Martinelli

Collaboratori dell'ITC dell'Aquila:

Giandomenico Cifani, Giovanni Cialone

Collaboratori esterni:

Lucia Milano, Antonio Mannella, Luciano Cococcia

La realizzazione del rapporto è stata curata da:

Antonio Martinelli e Mauro Dolce

con la collaborazione di:

Lucia Milano e Antonio Mannella

Indice

1 ASPETTI METODOLOGICI 5

M. Dolce e A. Martinelli

1.1 Descrizione generale del volume 5
1.2 Analisi di vulnerabilità nel primo rapporto sulla base dati LSU 96 8
1.3 Nuovo modello per la valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico per gli edifici in muratura 16
1.3.1 Identificazione dei meccanismi di collasso dai dati della scheda di 2° livello 17
1.3.2 Descrizione di una nuova procedura per la valutazione della vulnerabilità per edifici con meccanismo di collasso prevalente di tipo tagliante 30
1.3.3 Applicazione della procedura e illustrazione dei risultati relativi alla valutazione delle resistenze sismiche ultime a taglio 42
1.3.4 Estensione del modello agli edifici con meccanismo di collasso prevalente di tipo flessionale o misto 59
1.4 Applicazione del modello a tutta la base dati e valutazione delle accelerazioni di collasso su suolo rigido 63
1.5 Analisi di rischio sismico degli edifici in muratura 74
1.6 Valutazione della vulnerabilità del cemento armato 84

Osservazioni conclusive 88

PARTE 1ª Edifici scolastici 93

2 EDIFICI SCOLASTICI IN MURATURA PER AMBITI TERRITORIALI E GRADO DI ISTRUZIONE 95

2.1 Analisi di vulnerabilità 95
– Indice di vulnerabilità 97
– Correlazione dell'indice di vulnerabilità con le classi tipologiche MSK 100
– Classificazione dei parametri di vulnerabilità 101
2.2 Accelerazioni di collasso degli edifici 102
– PGA di collasso degli edifici 104
– Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici e le PGA di riferimento 110

3 EDIFICI SCOLASTICI IN CEMENTO ARMATO PER AMBITI TERRITORIALI E GRADO DI ISTRUZIONE 116

3.1 Vulnerabilità 116

PARTE 2a – a) Edifici per la sanità 119

4 EDIFICI PER LA SANITÀ IN MURATURA PER AMBITI TERRITORIALI 121

4.1 Analisi di vulnerabilità 121

– Indice di vulnerabilità 123
– Correlazione dell'indice di vulnerabilità con le classi tipologiche MSK 124
– Classificazione dei parametri di vulnerabilità 125

4.2 Accelerazioni di collasso degli edifici 126

– PGA di collasso degli edifici 128
– Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici e le PGA di riferimento 132

5 EDIFICI PER LA SANITÀ IN CEMENTO ARMATO PER AMBITI TERRITORIALI 136

5.1 Vulnerabilità 136

PARTE 2ª – b) Edifici ospedalieri 139

6 EDIFICI OSPEDALIERI IN MURATURA PER AMBITI TERRITORIALI 141

6.1 Analisi di vulnerabilità 141

– Indice di vulnerabilità 143
– Correlazione dell'indice di vulnerabilità con le classi tipologiche MSK 144
– Classificazione dei parametri di vulnerabilità 145

6.2 Accelerazioni di collasso degli edifici 146

– PGA di collasso degli edifici 148
– Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici e le PGA di riferimento 152

7 EDIFICI OSPEDALIERI IN CEMENTO ARMATO PER AMBITI TERRITORIALI 156

7.1 Vulnerabilità 156

PARTE 3ª Mappe di vulnerabilità e rischio sismico 159

1 ASPETTI METODOLOGICI

M. Dolce e A. Martinelli

1.1 DESCRIZIONE GENERALE DEL VOLUME

Nel primo volume del presente lavoro sono stati illustrati i risultati di una estesa operazione di controllo e valorizzazione, attraverso analisi ed elaborazioni, dei dati tipologici riguardanti gli edifici pubblici dell'Italia centro-meridionale, censiti nel corso del progetto LSU-96 mediante le schede di vulnerabilità di primo e secondo livello del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT).
Secondo le finalità poste a base dello specifico Task2 nell'ambito del Progetto SAVE, rivolte alla valorizzazione dei dati di vulnerabilità degli edifici pubblici rilevati nell'ambito del citato Progetto LSU-96, il lavoro di approfondimento svolto sulle caratteristiche tipologiche degli edifici è stato proseguito in una attività di ricerca finalizzata al miglioramento delle conoscenze delle condizioni di vulnerabilità e rischio sismico, attraverso la formulazione e l'applicazione di nuove procedure di valutazione capaci di valorizzare le informazioni presenti nella base dati ed in particolare quelle associate al secondo livello degli edifici in muratura.
Nel presente volume si riconsiderano quindi le analisi sulle caratteristiche di vulnerabilità sismica degli edifici pubblici dell'Italia centro-meridionale, in parte documentate nel primo rapporto pubblicato dal Dipartimento della Protezione Civile, e si propongono valutazioni aggiornate con particolare riferimento alle categorie scelte di edifici destinati all'Istruzione e alla Sanità, ed una specifica nuova metodologia per gli edifici in muratura applicabile al campione completo presente nella base dati, con il fine di fornire strumenti più efficaci, un quadro di riferimento ed una serie di risultati di immediato utilizzo per la prevenzione nei confronti del rischio sismico.
I criteri ed i risultati relativi alle analisi di vulnerabilità degli edifici in muratura e c.a. svolte sulla base dati in occasione della predisposizione del primo rapporto LSU-96 vengono riproposti nel paragrafo 1.2 del presente capitolo; la loro riproposizione è opportuna per mettere a disposizione un riferimento immediato di conoscenza acquisita e anche utile per la migliore comprensione del lavoro di approfondimento svolto ed il confronto con i miglioramenti conseguiti attraverso le nuove proposte operative.
Nel paragrafo 1.3 si pone poi l'attenzione sulle problematiche riguardanti i criteri di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura e vengono illustrati quelli adottati nella definizione di una nuova procedura, i cui principi vengono compiutamente illustrati nel successivi sotto paragrafi 1.3.1, 1.3.2., 1.3.3 e 1.3.4. Essa si basa sulla possibilità di valutare un indicatore meccanico di vulnerabilità utilizzando i dati della scheda GNDT, attraverso una opportuna rivalutazione della resistenza sismica a taglio presente nel 2° livello che può essere ritenuta appropriata per edifici con comportamento sismico resistente di tipo tagliante e quindi successivamente pervenire ad una stima significativa della PGA di collasso al suolo rigido. Nel primo dei citati sotto paragrafi si illustrano i criteri adottati per identificare i meccanismi di comportamento sismico degli edifici utilizzando le informazioni della scheda; nel secondo sono descritti in sequenza i passi seguiti nella procedura per valutare la resistenza a collasso e la corrispondente PGA al suolo rigido; nel terzo questa viene applicata agli edifici della base dati dotati del meccanismo di collasso da essa contemplato per valutarne le accelerazioni di collasso; nell'ultimo paragrafo i risultati ottenuti nel passaggio precedente vengono utilizzati per mettere a punto una correlazione per ricomprendere nella procedura anche gli edifici con modalità di collasso diverse (flessionali o miste).
Il successivo paragrafo 1.4 illustra i risultati dell'applicazione del modello a tutti gli edifici in muratura presenti nel data base e diversamente disaggregati, con riferimento soprattutto ai valori delle PGA su suolo rigido. Il paragrafo 1.5 conclude la parte applicativa del modello con l'esame dei risultati ottenuti dalle analisi di rischio effettuate attraverso la considerazione dai valori delle PGA massime a livello comunale attese, secondo le stime di pericolosità sismica nazionale 2004.

Il paragrafo 1.6 tratta della valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in c.a.. Diverse procedure di valutazione sono state proposte per questo tipo di costruzioni, alcune troppo complesse ed onerose per un impiego estensivo, altre di più agevole impiego ma comunque generalmente poco sperimentate e quindi anche poco tarate. Nel corso del censimento LSU-96 sono stati raccolti praticamente solo dati di primo livello e di conseguenza non è stato possibile operare ulteriori significativi approfondimenti. Nel paragrafo si ripropongono sostanzialmente i criteri di valutazione adottati nelle analisi svolte nel primo rapporto del 1999, si rivaluta comunque un analogo indicatore di livello di attenzione, e si illustrano i risultati ottenuti con gli aggiornamenti operati sul data base.
Infine nel paragrafo 1.5 si illustra in dettaglio l'analisi di rischio sismico eseguita sull'insieme degli edifici pubblici in muratura, mettendo insieme i risultati delle analisi di vulnerabilità svolte ed i dati di pericolosità a scala nazionale pubblicati dall'INGV nel 2004. I risultati che ne sono scaturiti hanno permesso di realizzare una serie di mappe di rischio riportate alla fine del presente volume insieme a quelle relative alle rivalutazioni della vulnerabilità.
Per quelle categorie di edifici pubblici gia ampiamente analizzati dal punto di vista metrico e tipologico nel primo volume e che costituiscono una parte del patrimonio edilizio pubblico di grande rilevanza per consistenza e diffusione sul territorio per esposizione ed importanza strategica, nei capitoli seguenti vengono illustrate e commentate le elaborazioni effettuate sui risultati ottenuti nelle analisi di vulnerabilità e di rischio sismico. Si analizzano in maniera approfondita quindi le caratteristiche di vulnerabilità assoluta ed in relazione alla pericolosità del territorio di appartenenza degli edifici scolastici, di quelli per la sanità in generale ed ospedalieri e vengono documentati gli esiti di precipuo interesse emersi. Mantenendo l'impostazione seguita nel primo, la sezione del presente volume dedicata a questi argomenti è distinta in due parti:

- Parte 1ª – Edifici scolastici;
- Parte 2ª – Edifici per la sanità ed ospedalieri.

Allo stesso modo, all'interno di ognuno di questi due raggruppamenti funzionali sono distinti i sottogruppi costituiti dagli edifici in muratura e c.a., che nel loro insieme rappresentano la quasi totalità del campione esaminato. Per quanto sopra detto circa la limitatezza del lavoro che è stato possibile sviluppare sui dati di primo livello degli edifici in c.a., gran parte dei risultati proposti nel seguito riguardano gli edifici in muratura ed ognuno dei capitoli ad essi dedicati è organizzato a sua volta in paragrafi e sottoparagrafi che permettono l'immediata individuazione del tipo di analisi che viene proposta. In particolare le statistiche presentate, illustrate meglio nel seguito, riguardano caratteristiche desunte dai dati di vulnerabilità di secondo livello e sono le seguenti:

- classificazione dei parametri di vulnerabilità;
- indice di vulnerabilità;
- accelerazioni di collasso;
- rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e le PGA di riferimento.

Ogni caratteristica è stata esaminata con riferimento a raggruppamenti di edifici distinti per ambito territoriale e, nel caso degli edifici scolastici, anche per grado di istruzione in modo da far emergere anche per queste analisi le influenze e le differenze territoriali già emerse nella lettura statistica dei dati tipologico-costruttivi e le correlazioni riconducibili alle specifiche destinazioni funzionali. L'indagine è stata approfondita fino a livello provinciale, ma all'interno del volume a stampa, data l'elevata quantità di materiale proposto, non vengono presentati tutti i grafici descrittivi e le tabelle relative agli ambiti sub-regionali, ma vengono solo evidenziate nei commenti alcune peculiarità riscontrate. Nella versione elettronica del testo presente nel CD, tuttavia, gli elaborati a scala provinciale sono collegati e facilmente consultabili.
Il presente volume si conclude poi con una "Parte 3ª – Mappe di vulnerabilità e rischio sismico" nella quale i risultati mostrati in maniera sistematica nelle parti precedenti vengono georeferenziati sul territorio e le relative mappe permettono una lettura sintetica ed efficace delle caratteristiche analizzate.
L'emanazione della Ordinanza della Protezione Civile 3274 del 2003, come è noto, ha imposto alla attenzione generale la necessità di un profondo e perentorio aggiornamento della normativa

antisismica per le costruzioni ed ha sancito, in un preciso obbligo, la necessità di una valutazione delle condizioni di sicurezza sismica degli edifici pubblici. Rispetto a questo importante evento il lavoro di ricerca di valorizzazione della base dati di vulnerabilità degli edifici pubblici dell'Italia meridionale, sicuramente utile, è stato ulteriormente indirizzato per fornire risultati e strumenti di supporto per l'avvio di una tale complessa e onerosa attività di verifica. La scelta è stata di realizzare un prodotto che permettesse un accesso facile e finalizzato alle informazioni della base dati revisionata, per un fattivo utilizzo nella preparazione dei programmi di indagine e verifica previsti dall'Ordinanza. Nell'ultimo capitolo si illustra il prodotto realizzato, consistente in una applicazione software in grado di fornire una lettura facilitata ed interattiva delle condizioni di vulnerabilità, rischio o livello di attenzione degli edifici singoli e per liste ordinate.

1.2 ANALISI DI VULNERABILITÀ NEL PRIMO RAPPORTO SULLA BASE DATI LSU-1996

Come detto in precedenza, vengono qui di seguito riepilogati i contenuti del primo rapporto del 1999 riguardanti le analisi di vulnerabilità sismica, quale punto di partenza dello sviluppo del lavoro di ricerca svolto, degli ulteriori risultati ottenuti.
La vulnerabilità sismica di una costruzione in generale sta ad indicare la sua propensione a subire danni in conseguenza delle sollecitazioni indotte dal terremoto. È questa una definizione semplice ed intuitiva che fa pensare al loro comportamento durante lo scuotimento sismico e anche ai fattori che condizionano il danneggiamento e il collasso. In termini più rigorosi è più appropriato definire la vulnerabilità sismica di un edificio come un suo carattere comportamentale descritto attraverso una legge causa-effetto in cui la causa è il terremoto e l'effetto è il danno. Da questa definizione deriva quindi la necessità di individuare un parametro di misura della severità S del sisma e uno di quella del danno D e quindi di stabilire una legge di correlazione D (S) tra i due che sia in grado di fornire il livello di danno della costruzione per ogni terremoto di una data severità. Esistono, naturalmente, diverse possibilità di scelta dei parametri S e D e numerose sono le metodiche, per finalità e tecniche di elaborazione, che possono essere impiegate per esplicitare la relazione tra severità del sisma e danno. Anche riguardo ai metodi di valutazione della vulnerabilità sismica sono possibili diverse strategie che mirano al conseguimento di scopi differenziati, con strumenti appropriati e che, proprio sulla base di tali peculiarità, possono essere anche opportunamente distinti e classificati (Tab. 1.1).

CLASSIFIC. DELLA METODOLOGIA	TIPI DI TECNICHE	DESCRIZIONE
IN BASE AL TIPO DI RISULTATO	Dirette	Forniscono in un solo passo il risultato come previsione del danno sismico.
	Indirette	Comportano prima la determinazione di un indice di V e successivamente utilizzano una correlazione severità-danno che è funzione anche dell'indice di V.
	Convenzionali	Sono di tipo euristico: in base a vari criteri consentono di assegnare un indice di V; non associano alcuna previsione di danno e sono utili per confrontare costruzioni in siti a diversa sismicità.
IN BASE AL TIPO DI MISURA	Quantitative	Forniscono il risultato (danno) in forma numerica (probabilistica o deterministica).
	Qualitative	Ricorrono a descrizioni in termini di livelli qualitativi (Basso, Medio, etc.).
IN BASE AL TIPO DI ELABORAZIONE	Statistiche	Ricercano il risultato attraverso l'elaborazione statistica di dati osservati, in particolare quelli di danno e vulnerabilità rilevati dopo eventi sismici.
	Di modellazione	Ricercano il risultato attraverso lo studio della risposta sismica.
	Di expertise	Si basano sul giudizio soggettivo di esperti.
	Ibride	Ricercano il risultato combinando più tecniche.
IN BASE AL MODO DI CONCEZIONE DEGLI ORGANISMI STRUTTURALI	Tipologiche	Assumono la possibilità di differenziare il comportamento sismico (vulnerabilità) delle costruzioni attraverso la definizione di classi tipologiche in funzione della qualità dei materiali, delle caratteristiche e delle tecniche costruttive, etc.; comportano un modesto impegno nei rilevamenti e sono quindi adatte per operare su aree estese.
	Semeiotiche	Considerano gli edifici come organismi la cui V può essere descritta attraverso l'osservazione di alcuni sintomi comportamentali, che si traducono in parametri che contribuiscono in diversa misura a definire un valore di vulnerabilità globale; richiedono una certa perizia per il rilevamento dei dati, che però sono utilizzabili anche per altri approcci.
	Meccanicistiche	Sono quelle che ricorrono a modellazioni il più possibile realistiche del comportamento sismico delle costruzioni; sono adatte a valutazioni che riguardano o singoli edifici o gruppi molto simili; possono essere di ausilio alle altre tecniche, sia per trasferire sui singoli edifici i risultati per classi tipologiche, sia per suffragare meglio le attribuzioni dei livelli di V attraverso i parametri comportamentali.

Tab. 1.1 - Metodologie per la definizione della vulnerabilità sismica

Codice ISTAT Provincia [1]|__|__|__| Codice ISTAT Comune [3]|__|__|__| Scheda N° [7]|__|__|__|__|__|

	PARAMETRI	Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	[11]|__|	[22]|__|	Norme nuove costruzioni (Clas. A) [33] 1 Norme riparazioni (Clas. A) 2 Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B) 3 Buoni ammorsam. fra muri (Clas. C) 4 Senza cordoli cattivi ammors. (Clas. D) 5
2	QUALITÀ DEL S.R.	[12]|__|	[23]|__|	(vedi manuale) [34]|__|
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	[13]|__|	[24]|__|	Numero di piani **N** [35]|__|__| Area totale coperta A_t (mq) [37]|__|__|__|__.| Area A_x (mq) [41]|__|__|__.| Area A_y (mq) [44]|__|__|__.| τ_x (t/mq) [47]|__|__|__.| Alt. media interpiano **h** (m) [50]|__.|__| Peso specifico pareti p_m (t/mc) [52]|__.|__| Carico permanente solai p_s (t/mq) [54]|__.|__|
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	[14]|__|	[25]|__|	Pendenza percentuale del terreno [58]|__|__.| Roccia Fondazioni: Si 1 No 2 Terr. sciolto non sping Fond. Si 3 No 4 Terr. sciolto spingente Fond. Si 5 No 6 Differen. max di quota Δh (m) [59]|__|__|__.|
5	ORIZZONTAMENTI	[15]|__|	[26]|__|	Piani sfalsati Si 1 No 2 Orizzontamenti rigidi e ben collegati [63] 1 Orizzontam. deformabili e ben collegati 2 Orizzontam. rigidi e mal collegati 3 Orizzontam. deformabili e mal collegati 4 % Orizzontam. rigidi e ben collegati [64]|__|__.|
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	[16]|__|	[27]|__|	Rapporto percentuale β_1 = **a/l** [66]|__|__.| Rapporto percentuale β_2 = **b/l** [70]|__|__.|
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	[17]|__|	[28]|__|	% aumento (+) o diminuzione(-) di massa [74]|__|__|__.| Rapporto percentuale T/H [77]|__|__.| Percentuale superficie porticata [79]|__|__.| Piano terra porticato Si 1 No 2
8	D_{max} MURATURE	[18]|__|	[29]|__|	Rapporto massimo **l/s** [82]|__|__.|
9	COPERTURA	[19]|__|	[30]|__|	Copert. non sp. [84] ∅ poco sp. 1 sp. 2 Cordoli in copertura Si [85] 1 No 2 Catene in copertura Si [86] 1 No 2 Carico perman. coper. p_c (t/mq) [87]|__.|__|__| Lungh. appoggio coper. l_s (m) [90]|__|__|__.| Perimetro copertura **l** (m) [93]|__|__|__.|
10	ELEM. NON STRUTT.	[20]|__|	[31]|__|	(Vedi manuale)
11	STATO DI FATTO	[21]|__|	[32]|__|	(Vedi manuale)

SCHEMI – RICHIAMI

Parametro 3. Resistenza convenzionale

Tipologia strutture verticali — τ_x (t/mq)

_____ _____

_____ _____

_____ _____

_____ _____

Minimo tra A_x ed A_y A (mq) _____

Massimo tra A_x ed A_y A (mq) _____

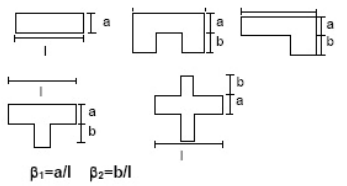
Coeff. a_0 =A/ A_t _____ Coeff. γ = B/A _____

q= (A_x + A_y) h p_m/ A_t + p_s _____

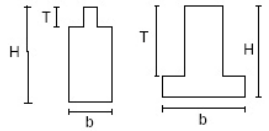
$$C = \frac{a_0 \tau_k}{qN}\sqrt{1+\frac{qN}{1{,}5\, q_0\ \tau_k\ (1+\gamma)}} = _____$$

α= C/0,4 _____

Parametro 6. Configurazione planimetrica



Parametro 7. Configurazione in elevazione



Parametro 9. Copertura

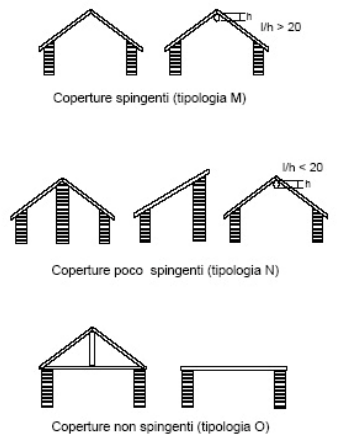


Fig. 1.1 – Scheda di vulnerabilità di II livello GNDT

	PARAMETRO	CLASSE CV				PESO
		A	B	C	D	pi
1	Tipo ed org. del sistema res.	0	5	20	45	1.00
2	Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	.25
3	Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.05
4	Posizione edificio e fondaz.	0	5	15	45	.75
5	Orizzontamenti	0	5	25	45	Variab.
6	Configurazione planimetrica	0	5	25	45	.50
7	Configurazione in elevazione	0	5	25	45	Variab.
8	Distanza massima murature	0	5	25	45	.25
9	Coperture	0	15	25	45	Variab.
10	Elementi non strutturali	0	0	25	45	.25
11	Stato di fatto	0	5	25	45	1.00

INDICE GLOBALE DI VULNERABILITA'

$$V = \sum_{i=1}^{11} C_{vi} p_i$$

$$0 \le V \le 3825$$

Indice normalizzato

$$0 \le V \le 100$$

Fig. 1.2 - Calcolo dell'indice globale di vulnerabilità V. I pesi dei parametri 5, 7 e 9 variano in funzione di alcuni elementi di valutazione rilevati, quali: la percentuale degli orizzontamenti rigidi e ben collegati, la presenza di porticati ed il peso della copertura. L'indice di vulnerabilità viene valutato sommando i prodotti dei punteggi attribuiti a ciascun parametro di valutazione in funzione dell'appartenenza ad una delle quattro classi di vulnerabilità definite per i pesi dei parametri.

La procedura per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura basata sulla scheda di 1° e 2° livello del GNDT (Fig. 1.1) è di tipo indiretto, in quanto si basa sulla valutazione di un indice di vulnerabilità che costituisce una misura convenzionale e relativa della propensione al danneggiamento; la corrispondenza severità-danno in questo caso è di tipo deterministico ed è rappresentata da curve di fragilità associate ad ogni valore dell'indice che correlano l'accelerazione sismica al suolo (o l'Intensità macrosismica) con il livello di danno espresso come percentuale della perdita del valore economico attualizzato.
Più in particolare questa metodologia, utilizzata per il rilievo LSU-96 degli edifici pubblici in muratura, è di tipo quantitativo, indiretto, semeiotico e ibrido (vedere Tab. 1.1); in quanto fa ricorso ad un indice numerico globale di vulnerabilità, calcolato sommando i contributi di punteggi di vulnerabilità di 11 parametri rilevati e legati ad alcuni aspetti caratteristici del comportamento sismico tipico delle costruzioni in muratura (Fig. 1.2).

Questa metodologia, come tutte quelle basate sull'indice di vulnerabilità, presenta lo svantaggio di un passaggio in più rispetto a quelle di tipo diretto, come il metodo delle matrici di probabilità di danno, e comporta inoltre una fase di rilevamento più laboriosa. La ricchezza delle informazioni contenute nella scheda, tuttavia, consente di far ricorso più facilmente a diverse tecniche di indagine per stabilire la legge di correlazione tra S (severità del sisma) e D (danno) ed in questo senso è una metodologia di tipo ibrido. L'indice inoltre consente di poter confrontare gli edifici e di stabilire delle graduatorie, così come è stato fatto per gli edifici pubblici nel presente lavoro. La natura statistica del metodo di valutazione impone di assumere le dovute cautele allorché si fa un uso puntuale dei valori di vulnerabilità e nel trattamento dei dati degli edifici pubblici ai fini della formazione delle graduatorie di vulnerabilità. I criteri di attribuzione delle classi di vulnerabilità ai singoli parametri e la successiva combinazione additiva per il calcolo dell'indice causa la perdita di significatività di alcune informazioni presenti tra gli elementi di valutazione rilevati. Proprio la possibilità di recuperare ed utilizzare al meglio tali informazioni è stata alla base dell'intento di sviluppare una iniziativa di ricerca per ulteriormente e più proficuamente approfondire le modalità di analisi dei dati e cercare di valorizzarne al massimo le possibilità di impiego.

I principali risultati delle elaborazioni presentate nel primo rapporto sulla base dati LSU-96 sono riassunti nelle tabelle e nei grafici seguenti.

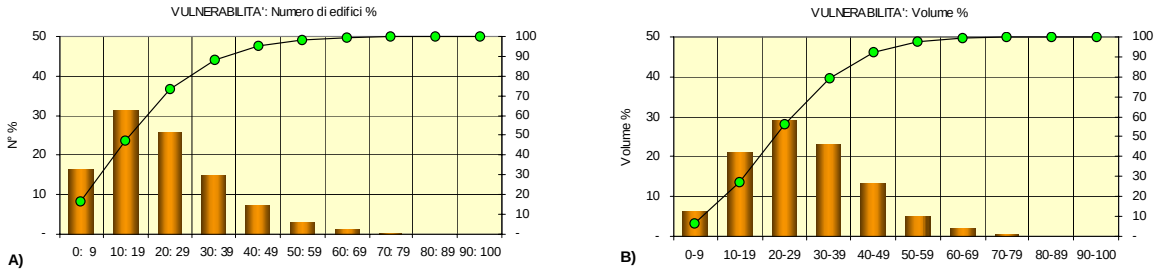


Fig. 1.3 - Distribuzioni della vulnerabilità degli edifici in muratura: in numero A) e in volume B)

La quasi totalità degli edifici pubblici in muratura rilevati e classificati nella tipologia edilizia prevalente in "muratura o mista" (oltre 15.500), che sono circa il 38% del totale, è costituito da costruzioni interamente a struttura portante muraria, poco più del 1% sono a struttura mista, per un numero assolutamente trascurabile non è stato possibile identificare con certezza la tipologia di appartenenza.

I grafici di Fig. 1.3 illustrano le frequenze relative del numero degli edifici in muratura suddivisi per classi di vulnerabilità di 10 punti della scala normalizzata che va da 0 a 100. In particolare sono messe a confronto le distribuzioni del numero (A) e del volume (B) e si nota la maggiore asimmetria della prima, più spostata verso i valori bassi, mentre la seconda ha una forma più prossima alla distribuzione normale: ne consegue che in termini di consistenza volumetrica gli edifici sono distribuiti su valori più elevati e che quindi gli edifici di maggiori dimensioni sono tendenzialmente più vulnerabili. Per una lettura più sintetica ed espressiva e nello steso tempo più consona al carattere statistico della metodologia di valutazione utilizzata, per la vulnerabilità si è considerata la scala sui cinque livelli della Tab. 1.2, derivata da quella dei punteggi normalizzata da 0 a 100 prendendo intervalli di 20 punti. Anche per il c.a., come illustrato nel seguito, è stata assunta una analoga scala e le due scale insieme sono state ritenute appropriate per la formazione delle graduatorie di vulnerabilità. Si osserva che nel loro complesso gli edifici in muratura sono in numero per il 90% al di sotto del livello medio-basso, mentre in volumetria sono per l'80% al di sotto di tale livello. Risulta che comunque i livelli massimi di V sono tra 60 e 70 con pochissimi casi al di sopra. Nella Tab. 1.3 sono riportati i valori statistici relativi a tutti gli edifici in muratura rilevati con la scheda di II livello. Nel complesso quindi gli edifici pubblici in muratura censiti nell'ambito delle sette regioni meridionali presentano una vulnerabilità classificabile prevalentemente nelle due fasce Bassa e Medio-Bassa, un 10% circa in quella Media e circa un 2% a quella Medio-Alta. Questo risultato generale risulta in accordo con quello che è stato ottenuto dai dati del censimento fatto, come più volte richiamato, dalla regione Abruzzo nei suoi 237 comuni classificati. Nella seguente Fig. 1.4 sono illustrati i risultati relativi ai valori medi e le deviazioni standard dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura per regione. I valori medi della vulnerabilità vanno dal 20,6 (DS=12) degli edifici della provincia di Foggia al massimo di 26,35 (DS=14,7) della Basilicata.

Sono mostrate di seguito le curve di distribuzioni percentuali del numero e della volumetria dei valori di vulnerabilità degli edifici in muratura delle singole province di ogni regione.

Punteggio	Fascia	Sigla
0-20	Bassa	B
20-40	Medio Bassa	MB
20-60	Media	M
60-80	Medio Alta	MA
80-100	Alta	A

Tab. 1.2- Scala di vulnerabilità su cinque livelli formata dalla scala di punteggi da 0 a 100 con intervalli di 20 punti.

Vulnerabilità	Censimento LSU/96-97 (15.580 edifici)	Censimento Abruzzo '93 (1617 edifici)
Media	23,1	21,1
Deviazione stand.	13,5	12,8
Minimo	0	0
Massimo	82	81

Tab. 1.3- Valori statistici di vulnerabilità di tutti gli edifici pubblici in muratura rilevati con il progetto confrontati con quelli ottenuti dai dati del rilevamento della regione Abruzzo.

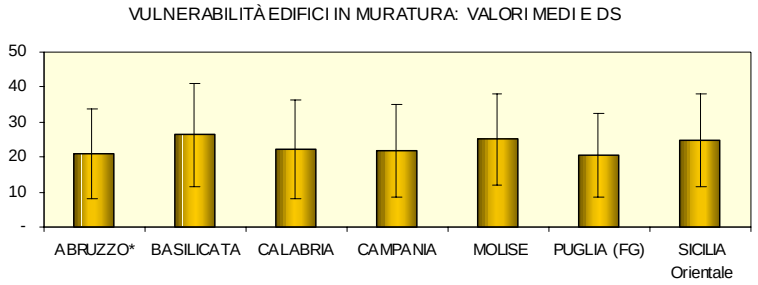


Fig. 1.4 - Valori medi e deviazioni standard dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura

Nel caso dell'Abruzzo si evidenzia, in coda alle distribuzioni delle volumetrie delle province di L'Aquila, Pescara e Teramo, la presenza di un 9% circa al di sopra di V=50. Nella provincia di Matera gli edifici in muratura presentano una V media leggermente più alta rispetto a quelli di Potenza (28,2 contro 25,7); in quest'ultima provincia tuttavia si nota la presenza di un più alto numero di edifici con V tra 60 e 80, che rappresentano il 4,3% in numero e il 7,7% in volume sul totale; l'altra provincia presenta solo l'1,9% di edifici pari al 1% in volume in questo intervallo. In Calabria le distribuzioni relativamente più spostate verso i valori alti di V sono quelle di Crotone, Cosenza, e Catanzaro; anche in questi diagrammi si nota il livello più basso degli edifici di Reggio Calabria. Per la Campania risulta evidente la condizione più favorevole per la provincia di Avellino, mentre le altre presentano distribuzioni assai simili specialmente se osservate in termini di volumetrie; Napoli, Benevento e Caserta presentano oltre il 21% in volume con 40<V<60. In Molise risultano in generale in condizioni leggermente migliori gli edifici della provincia di Isernia; Campobasso presenta alcuni edifici (17,6% in volume) con 40<V<50. Per la provincia di Foggia si evidenzia la presenza di 13,5% in volume con 40<V<60. In Sicilia orientale la provincia di Messina si differenzia nettamente in senso positivo dalle altre osservando che, guardando la distribuzione delle volumetrie, in essa oltre il 50% ha V<20 e solo il 3,4% >40, mentre per le altre oltre il 55% ha 20<V<40 e oltre il 24% >40.

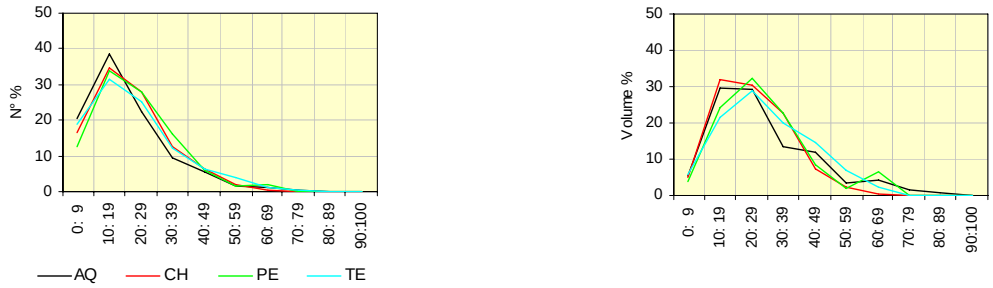


Fig. 1.5 – Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Abruzzo. I dati comprendono sia gli edifici in muratura censiti nel '93 dalla regione, sia quelli censiti dai tecnici del progetto LSU nei comuni non classificati.

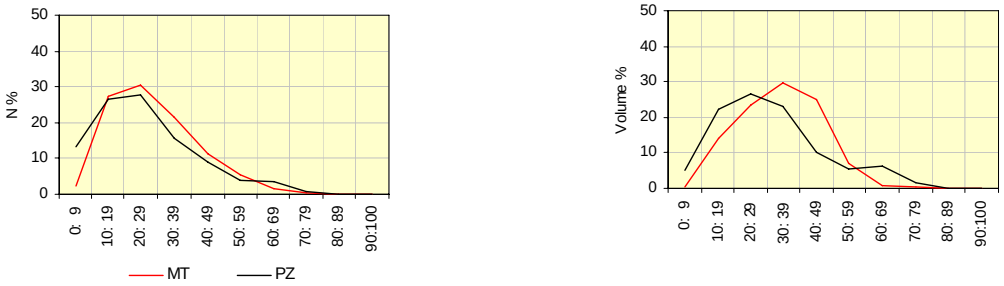


Fig. 1.6 - Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Basilicata per numero e volume.

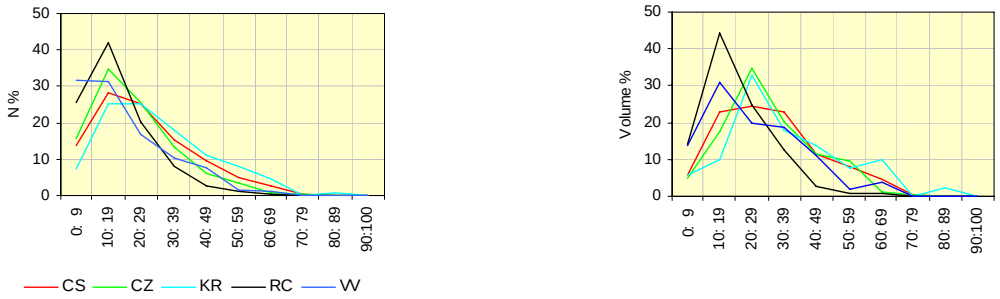


Fig. 1.7 - Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Calabria per numero e volume.

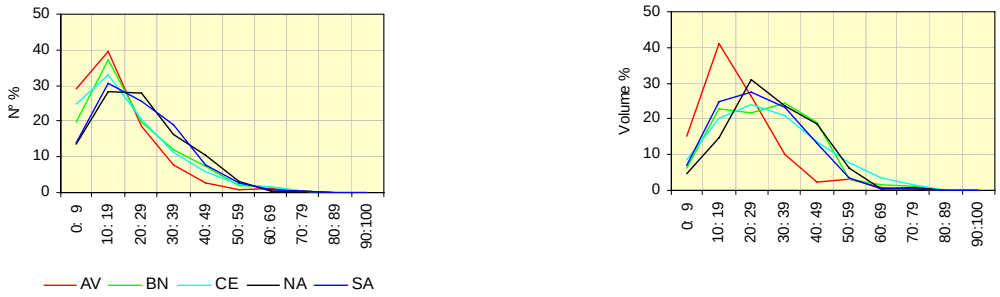


Fig. 1.8 – Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Campania per numero e volume.

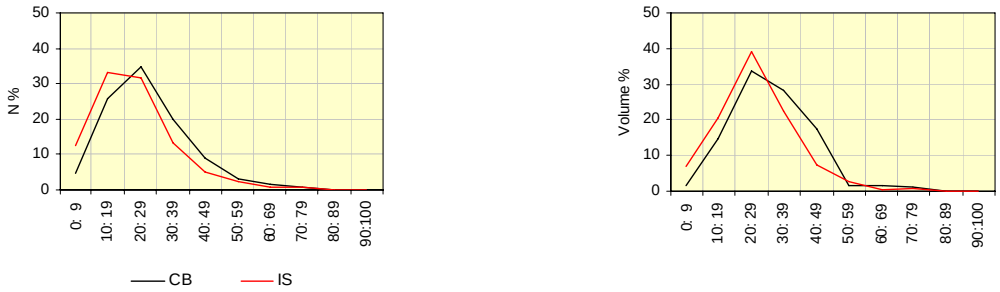


Fig. 1.9 - Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Molise per numero e volume.

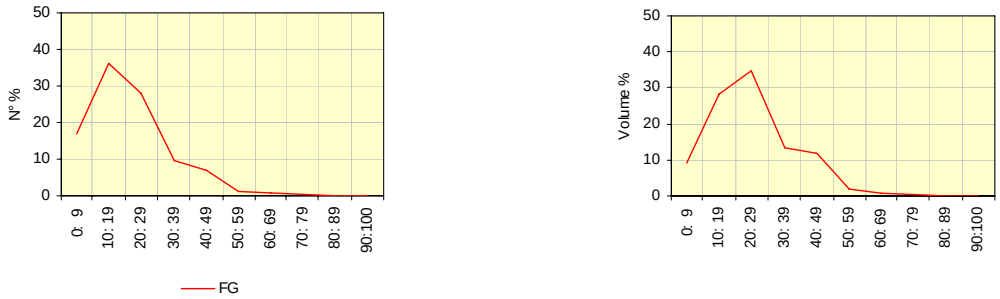


Fig. 1.10 - Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Puglia per numero e volume.

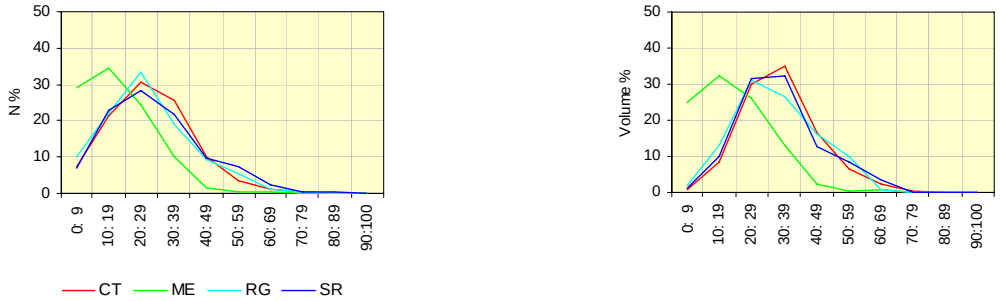
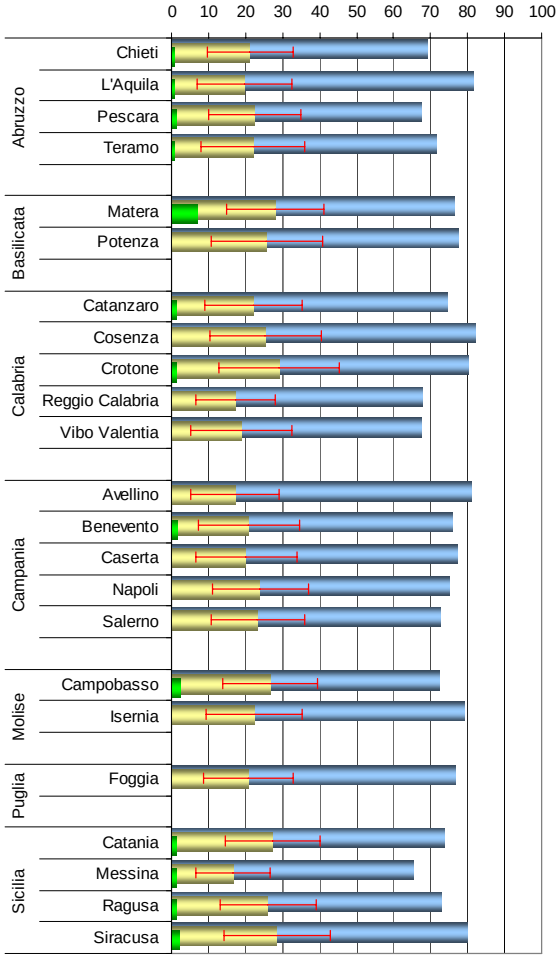


Fig. 1.11 - Vulnerabilità degli edifici in muratura nelle province della regione Sicilia per numero e volume.

In Fig. 1.12 sono illustrati i risultati relativi ai valori medi, DS, minimi e massimi degli indici di vulnerabilità degli edifici in muratura. Si nota come i valori medi siano contenuti in un intervallo che va da poco meno di 20 (16,7 di Messina e 17,2 di Reggio Calabria) a circa 30 (29,2 di Crotone), con deviazioni standard comprese tra 10,1 e 16,2. I valori minimi di Messina e Reggio indicano migliori caratteristiche antisismiche degli edifici pubblici ricostruiti o costruiti in queste province dopo la terribile esperienza del sisma del 1908, da collegare anche alla presenza rilevata di tipologie in muratura confinata con elementi in c.a., introdotta proprio dopo questo terremoto.



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	21,22	11,64	1	69
	AQ	19,82	12,80	1	82
	PE	22,39	12,39	1	68
	TE	21,98	14,15	1	72
Basilicata	MT	28,09	13,10	7	76
	PZ	25,64	15,08	0	77
Calabria	CZ	22,18	13,26	1	75
	CS	25,36	15,00	0	82
	KR	29,15	16,25	1	80
	RC	17,15	10,73	0	68
	VV	18,91	13,64	0	68
Campania	AV	17,25	11,92	0	81
	BN	20,90	13,60	2	76
	CE	20,24	13,80	0	77
	NA	23,96	12,96	0	75
	SA	23,29	12,61	0	73
Molise	CB	26,66	12,81	2	72
	IS	22,46	12,97	0	79
Puglia	FG	20,70	12,03	0	77
Sicilia	CT	27,27	12,80	1	74
	ME	16,64	10,11	1	65
	RG	26,10	13,12	1	73
	SR	28,45	14,34	2	80

Fig. 1.12 - Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard degli indici di vulnerabilità nelle diverse regioni e province.

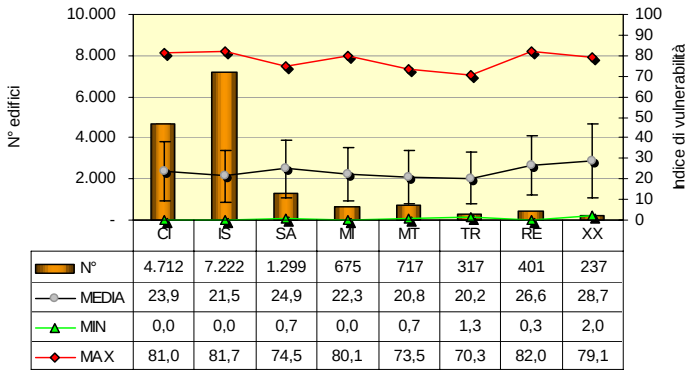
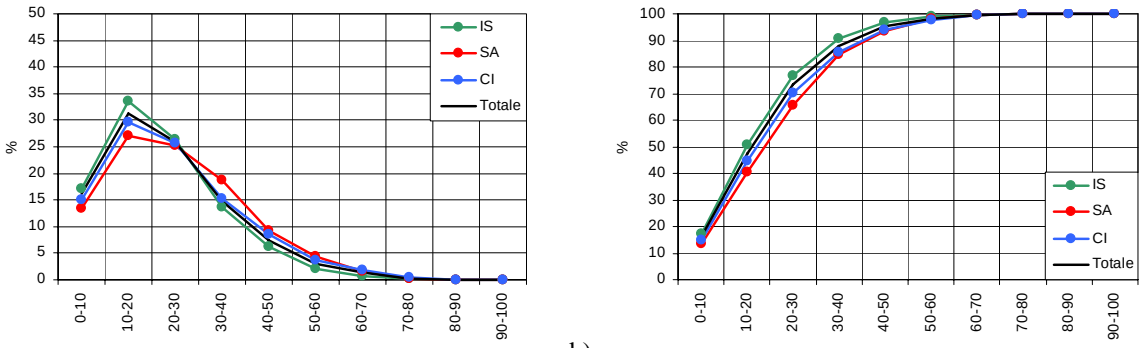


Fig. 1.13 - Numero di edifici per tipo di uso e relativi valori statistici dell'indice di vulnerabilità.

VULNERAB.	Istruzione	Civile	Sanità	Militare	Mobilità e Trasporto	Tecnologico a Rete	Religioso	Non identificato	Totale
	IS	CI	SA	MI	MT	TR	RE	XX	
0: 9	1.232	710	175	113	154	69	44	39	2.536
10: 19	2.422	1.395	351	217	220	109	99	50	4.863
20: 29	1.905	1.209	327	174	181	74	116	40	4.026
30: 39	987	717	245	101	92	37	70	47	2.296
40: 49	444	403	119	45	39	22	40	26	1.138
50: 59	154	170	57	12	25	4	17	20	459
60: 69	58	87	21	10	5	1	11	10	203
70: 79	19	19	4	2	1	1	3	5	54
80: 89	1	2	-	1	1	-	-	-	5
90: 100									-
	7.222	4.712	1.299	675	718	317	400	237	15.580

Tab. 1.4 - Distribuzioni dell'indice di vulnerabilità per tipo di uso degli edifici



a) b)

Fig. 1.14 – Vulnerabilità degli edifici pubblici in muratura per uso Civile, Istruzione e Sanità: distribuzione percentuale per classi di valori dell'indice di vulnerabilità (a); distribuzione percentuale cumulativa (b).

L'analisi della vulnerabilità fatta per le diverse tipologie d'uso degli edifici viene illustrata nella Tab. 1.4, dove è riportato il numero di edifici per classi di 10 punti di vulnerabilità. Nella seguente Fig. 1.13 i dati sono presentati sotto forma di valori statistici dell'indice di vulnerabilità indicando la media, la deviazione standard ed i valori minimi e massimi.

A conclusione di quanto sin qui illustrato relativamente alle elaborazioni già svolte nel primo rapporto si possono fare le seguenti osservazioni.

- Le distribuzioni di vulnerabilità differenziate per provincia mostrano come il patrimonio pubblico abbia caratteristiche che presentano alcune differenze sul territorio, anche nell'ambito della stessa regione. Province che hanno subito forti eventi sismici in passato e/o che da molto più tempo sono classificate mostrano una minore vulnerabilità (Reggio Calabria, Messina, Avellino).
- Le distribuzioni di vulnerabilità, pur avendo valori medi abbastanza bassi, sono caratterizzate da dispersioni elevate, che evidenziano la possibilità che i comportamenti degli edifici siano molto diversi fra loro.
- In particolare le code ad elevata vulnerabilità delle distribuzioni, dove è presente quasi sempre un significativo numero di edifici, individuano gli immobili che con maggiore probabilità raggiungeranno il collasso per sismi anche di intensità non elevata. Questi edifici sono da analizzare con particolare attenzione perché più degli altri possono determinare vittime in caso di sisma.

1.3 NUOVO MODELLO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ E DEL RISCHIO SISMICO PER GLI EDIFICI IN MURATURA

Come è noto, le informazioni della scheda di 2° livello GNDT sono state scelte per evidenziare aspetti del comportamento sismico degli edifici in muratura e valutarne la vulnerabilità, secondo un modello di tipo semeiotico, e tra queste ve ne sono alcune che possono essere validamente utilizzate per classificarli rispetto alla presenza di fattori che conducono al prevalere di determinati meccanismi di risposta e di collasso. È consuetudine indicare come *meccanismi di primo modo* quelle configurazioni deformative di flessione fuori dal piano, attivate dalle sollecitazioni sismiche, che comportano quindi la possibilità di ribaltamento delle pareti. Essi tendono a manifestarsi prevalentemente in quegli edifici che non hanno un efficace sistema di connessioni tra pareti strutturali e tra pareti e orizzontamenti rigidi, che induca quel comportamento spaziale che viene definito di tipo *scatolare*; sono invece detti *meccanismi di secondo modo* quelle manifestazioni di risposta alle azioni sismiche delle costruzioni in muratura associate a questo tipo di comportamento scatolare, caratterizzate dal fatto che l'organismo strutturale reagisce alle forze d'inerzia indotte dal sisma prevalentemente con sollecitazioni di taglio nelle pareti, con esclusione o limitata attivazione di meccanismi di collasso locali per flessione fuori dal piano. Questo tipo di meccanismo è da ritenere che possa realisticamente manifestarsi nel caso di edifici che presentano una adeguata densità e una regolare distribuzione delle pareti resistenti secondo due direzioni ortogonali, con efficaci collegamenti tra loro, orizzontamenti rigidi nel piano e ben collegati alle pareti e quando siano limitati gli spostamenti alla sommità della costruzione, per presenza di elementi di contenimento e in assenza di fattori locali di vulnerabilità, quali aperture e azioni orizzontali quali quelli associati alle masse ed alle strutture di copertura spingenti. È anche risaputo il fatto che sono proprio le modalità di risposta e di collasso che devono essere realisticamente rappresentate nei modelli, anche semplificati, che si adottano se si vuole ottenere un'attendibile stima del livello della resistenza sismica di una costruzione in muratura. Il parametro 3 di secondo livello denominato *Resistenza convenzionale* rappresenta proprio una stima della resistenza sismica dell'edificio rilevato ed è basata sul calcolo di un coefficiente "C" che esprime l'accelerazione minima che porta al collasso un piano dell'edificio, valutato come rapporto tra la forza di resistenza al taglio minima del piano e peso della parte di costruzione a partire dal piano stesso. Si tratta di un modello di calcolo semplificato basato sulla risposta sismica dell'edificio di tipo tagliante, la cui attendibilità quindi è condizionata dal fatto che sia effettivamente chiamata in causa la resistenza dei setti murari nei confronti delle forze d'inerzia sismiche e non ci sia attivazione di meccanismi di primo modo. Sotto queste condizioni e con una accurata valutazione degli altri parametri coinvolti nel calcolo (resistenza specifica della muratura, masse e caratteristiche dimensionali), si può ritenere il coefficiente "C" un buon indicatore di vulnerabilità di tipo meccanico ed essere utilizzato per una stima dell'accelerazione di collasso al suolo (PGAc) e quindi impiegato per analisi di rischio attraverso il confronto con i valori delle accelerazioni al sito attese, rese disponibili dalle valutazioni aggiornate di pericolosità sismica del territorio. Da qui l'ipotesi di lavoro di operare una appropriata rivalutazione delle resistenze sismiche (parametro C) degli edifici scolastici e della sanità in muratura e, quindi, conseguire una significativa stima delle condizioni di rischio che appare anche particolarmente utile in vista di più approfonditi programmi nazionali di verifica (OPCM 3274).
Naturalmente l'ipotesi di lavoro è stata suffragata anche dalla considerazione di una sostanziale prevalenza di edifici scolastici e sanitari di caratteristiche costruttive di qualità medio-buona e quindi sostanzialmente con un comportamento sismico di tipo tagliante. Le analisi statistiche sui dati di primo livello effettuate relativamente alle caratteristiche tipologico-costruttive degli edifici scolastici e sanitari, ampiamente illustrate nel I Volume, hanno evidenziato come la crescita della loro realizzazione nel nostro paese sia avvenuto in prevalentemente a seguito dello sviluppo economico del secondo dopoguerra, in anni relativamente recenti, con materiali costrutti di produzione artificiale o industriale e anche con tecniche e normative in lento ma progressivo aggiornamento.

L'esame dei risultati delle valutazioni dell'indice di vulnerabilità per tipo di destinazione funzionale riproposte nella Tab. 1.4 ed i grafici delle Fig. 1.13 e Fig. 1.14 mostrano inoltre che una parte

consistente del patrimonio edilizio pubblico in muratura in generale e quello destinato all'Istruzione e alla Sanità in particolare, che ne rappresenta oltre il 50%, presenta valori al di sotto della media che è di circa 22: il 77% di quelli scolastici e il 66% di quelli sanitari hanno vulnerabilità inferiore a 30.
Sulla base di queste e delle precedenti considerazioni è stata ritenuta plausibile l'ipotesi di una rilevante presenza nella base dati di edifici in muratura con caratteristiche strutturali a comportamento sismico prevalentemente di tipo tagliante e che fosse pertanto possibile, e sicuramente vantaggioso, individuare ed utilizzare alcune informazioni tra i dati di secondo livello presenti nella scheda GNDT per cercare di riconoscerne l'effettivo meccanismo prevalente, formulare un modello di valutazione della vulnerabilità degli edifici in muratura di carattere meccanicistico, basato su una appropriata rivalutazione della resistenza sismica tagliante definita al parametro 3 della scheda di 2° livello ed arrivare alla stima di un indicatore di rischio attraverso un confronto con le condizioni di pericolosità previste.
Il lavoro di ricerca è stato così articolato nelle fasi sotto elencate che vengono illustrate e discusse estesamente in dettaglio nel seguito riguardo ai metodi e ai risultati.

- Attribuzione in primo luogo, sulla base dei dati di secondo livello disponibili e riguardanti la qualità della realizzazione dell'organismo strutturale, a ciascun edificio in muratura del più probabile tra tre meccanismi di risposta sismica seguenti:
  - mec 1 - flessionale o di *primo modo*;
  - mec 2 - tagliante o di *secondo modo*;
  - mec 3 - misto o di *terzo modo*, nei casi con caratteristiche intermedie.
- Sviluppo di una procedura per la valutazione della vulnerabilità degli edifici appartenenti al meccanismo 2, di tipo meccanicistico, basato sul calcolo di resistenza sismica convenzionale "C" associata al Parametro 3 di 2° livello e finalizzata ad ottenere una stima del valore dell'accelerazione di collasso a_c meno convenzionale e più realistica (utilizzando resistenze specifiche ultime della muratura mediamente più vicine ai valori sperimentali e portando in conto l'influenza dei fattori di regolarità strutturale) e, dal valore dell'accelerazione di collasso, anche una stima di quella al sito (PGAc).
- Ricerca di una accettabile correlazione fra la vulnerabilità globale degli stessi edifici appartenenti al meccanismo 2, espressa dal valore Iv dell'indice GNDT della scheda di 2° livello, ed i valori delle accelerazioni di collasso calcolate secondo la procedura del punto precedente. Utilizzo della correlazione precedente Iv - a_c per assegnare un probabile valore di accelerazione di collasso anche agli altri edifici appartenenti agli altri meccanismi.
- Elaborazione di una valutazione delle condizioni di rischio sismico di tutti gli edifici in muratura attraverso l'analisi dei rapporti fra i valori delle accelerazioni collasso al sito ed quelli delle PGA attese fornite dalle recenti stime di hazard a livello nazionale (§ 1.5) .
- Produzione, infine, di mappe di vulnerabilità e di rischio dei risultati ottenuti (Cap. 8 e Cap. 9).

1.3.1 Identificazione dei meccanismi di collasso

I parametri di vulnerabilità presenti sulla scheda che si possono utilizzare per l'attribuzione degli edifici ad uno dei tre meccanismi previsti nella prima fase sono senz'altro i parametri 1,5, e 9 elencati nella Tab. 1.5 seguente. Il parametro 1 infatti è relativo alla buona organizzazione del sistema murario in quanto a densità, buona disposizione ed efficace collegamento delle pareti; il parametro 5 valuta l'efficacia dei solai come elementi di collegamento e di ripartizione delle sollecitazioni tra le pareti; il parametro 9 valuta il ruolo del sistema delle coperture nel contenimento delle azioni (spinta e peso) e degli spostamenti (cordoli, catene) alla sommità della costruzione. I criteri di attribuzione del meccanismo probabile si basano sulla combinazione delle classi di vulnerabilità A, B, C, D assegnate nel rilevamento di 2° livello ai suddetti tre parametri.

<table>
<tr><th>Parametro di 2° livello</th><th>Denominazione</th><th></th><th>Elementi di valutazione per l'attribuzione di una delle classidi vulnerabilità A,B,C eD) al parametro</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Tipo ed organizzazione del sistema resistente</td><td>Strutturazione del sistema delle pareti resistenti: secondo normative antisismiche, buon collegamento tra pareti ortogonali, presenza di cordoli e catene.</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">VALUTAZIONE DEL PARAMETRO 1</th></tr>
<tr><th>Campo 33</th><th>Classe V.</th></tr>
<tr><td>Norme nuove costruzioni</td><td>A</td></tr>
<tr><td>Norme riparazioni</td><td>A</td></tr>
<tr><td>Cordoli e catene a tutti i livelli</td><td>B</td></tr>
<tr><td>Buoni ammorsam. tra muri</td><td>C</td></tr>
<tr><td>Senza cordoli e cattivi ammors. tra muri</td><td>D</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Orizzontamenti</td><td>Caratteristiche di rigidezza nel piano dei solai e del loro collegamento con le pareti; presenza di piani sfalsati.</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3">VALUTAZIONE DEL PARAMETRO 5</th></tr>
<tr><th>Campo 63</th><th>Campo 62
PIANI SFALSATI</th><th>Classe V.</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1
Rigidi e ben collegati</td><td>2 (no)</td><td>A</td></tr>
<tr><td>1 (si)</td><td>B</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2
Deform. e ben collegati</td><td>2 (no)</td><td>C</td></tr>
<tr><td>1 (si)</td><td>C</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3
Rigidi e mal collegati</td><td>2 (no)</td><td>D</td></tr>
<tr><td>1 (si)</td><td>D</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4
Deform. e mal collegati</td><td>2 (no)</td><td>D</td></tr>
<tr><td>1 (si)</td><td>D</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Copertura</td><td>Grado di spinta sulle pareti, presenza di cordoli e/o catene.</td><td>
<table>
<tr><th colspan="4">VALUTAZIONE DEL PARAMETRO 9</th></tr>
<tr><th>Colonna 84
SPINTA</th><th>Colonna 85
CORDOLI</th><th>Colonna 86
CATENE</th><th>CLASSE</th></tr>
<tr><td>0 (non sping.)</td><td>1 (si)</td><td>1 (si) - 2 (no)</td><td>A</td></tr>
<tr><td>0 (non sping.)</td><td>1 (si) - 2 (no)</td><td>1 (si)</td><td>A</td></tr>
<tr><td>0 (non sping.)</td><td>2 (no)</td><td>2 (no)</td><td>B</td></tr>
<tr><td>1 (poco sping.)</td><td>1 (si)</td><td>1 (si) - 2 (no)</td><td>B</td></tr>
<tr><td>1 (poco sping.)</td><td>1 (si) - 2 (no)</td><td>1 (si)</td><td>B</td></tr>
<tr><td>1 (poco sping.)</td><td>2 (no)</td><td>2 (no)</td><td>C</td></tr>
<tr><td>2 (spingente)</td><td>1 (si)</td><td>1 (si) - 2 (no)</td><td>C</td></tr>
<tr><td>2 (spingente)</td><td>1 (si) - 2 (no)</td><td>1 (si)</td><td>C</td></tr>
<tr><td>2 (spingente)</td><td>2 (no)</td><td>2 (no)</td><td>D</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Tab. 1.5- Criteri di assegnazione delle classi di vulnerabilità A,B,C e D ai parametri 1, 5 e 9 della scheda di 2° livello GNDT per gli edifici in muratura, che descrivono le caratteristiche principali per il funzionamento scatolare del sistema strutturale.

MECCANISMO		PARAM 1 Pareti				PARAM 5 Orizzontamenti				PARAM 9 Copertura				DESCRIZIONE MECCANISMO
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	1-1													PREVALENTEMENTE FLESSIONALE
	1-2													
	1-3													
	1-4													
	1-5													
	1-6													
2	2-1													PREVALENTEMENTE TAGLIANTE
	2-2													
	2-3													
	2-4													
	2-5													
3	3-1													MISTO TAGLIANTE FLESSIONALE
	3-2													
	3-3													

Tab. 1.6- Definizione dei meccanismi prevalenti di collasso degli edifici in muratura e dei sotto-meccanismi in base alle combinazioni delle classi di vulnerabilità attribuite ai parametri 1,5 e 9

La compresenza per essi di classi di vulnerabilità bassa (A o B prevalentemente e C in alcuni casi) porta a individuare gruppi di edifici con comportamento più o meno marcatamente prossimo a quello di tipo tagliante; al contrario, la presenza di classi a vulnerabilità alta (D e C in alcuni casi) definisce gruppi suscettibili di comportamento flessionale, con probabili meccanismi di ribaltamento. La Tab. 1.6 sintetizza tali criteri, elencando le corrispondenze tra meccanismi e combinazioni delle classi di vulnerabilità dei tre parametri considerati. Tabella e grafici della Fig 1.16 illustrano le distribuzioni degli edifici in muratura per tipo di meccanismo di collasso più probabile considerati nella totalità e distinguendo quelli per l'Istruzione, la Sanità e gli Ospedali.

	Tutti		**Istruzione**		**Sanità**		**Ospedali**	
Mecanismo	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
mec 1	3054	19.7	1158	16.1	290	22.4	100	25.1
mec 2	11801	76.2	5760	79.9	939	72.5	278	69.7
mec 3	641	4.1	287	4.0	66	5.1	21	5.3
	15496		7205		1295		399	

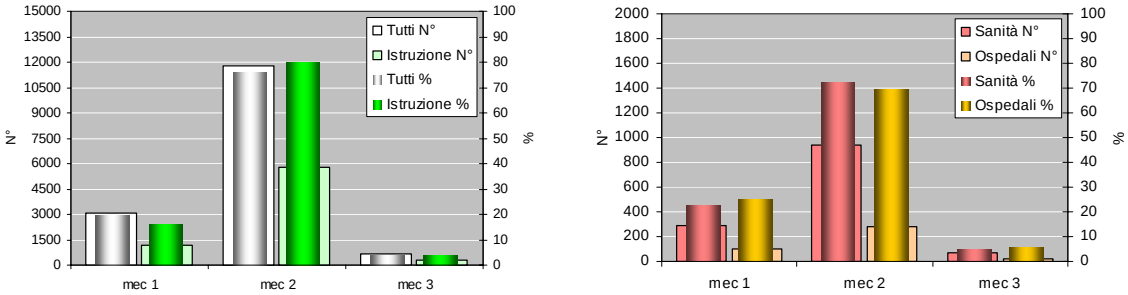
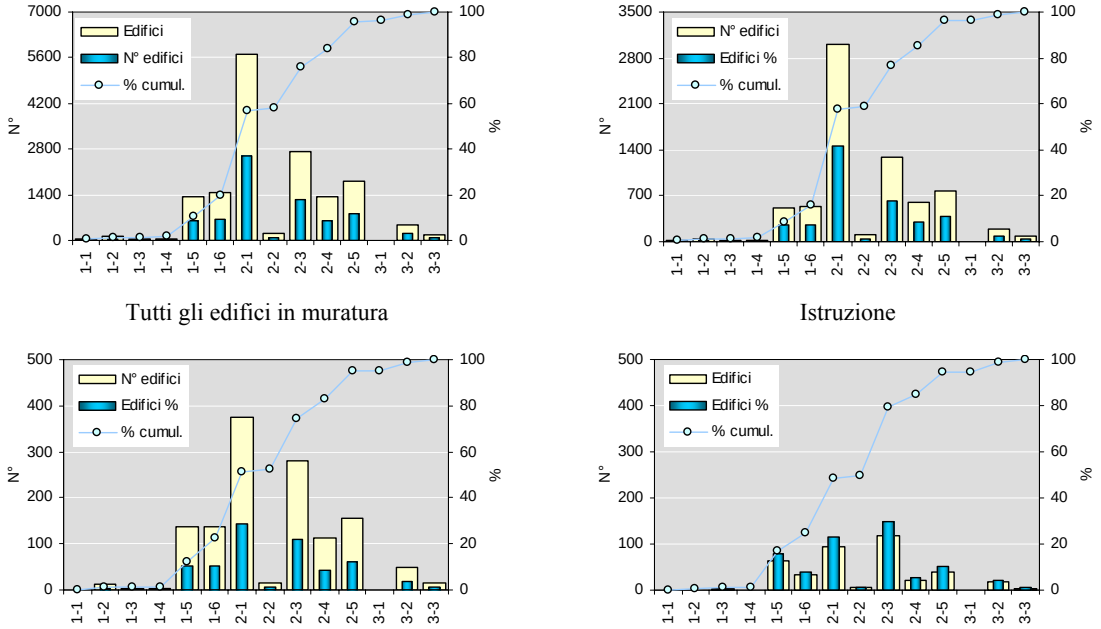


Fig. 1.15- Numero e percentuale di edifici in muratura identificati per ognuno dei tre meccanismi fondamentali: mec 1 – flessionale (*primo modo);* mec 2 – tagliante (*secondo modo*); mec 3 – misto (*terzo modo)*



Tutti gli edifici in muratura

Istruzione

Edifici per la Sanità

Ospedali

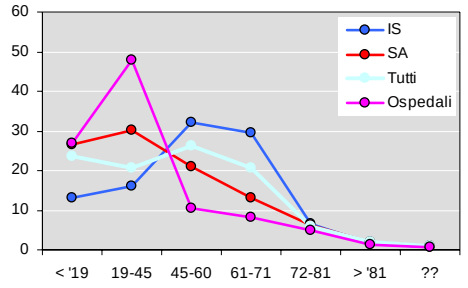
Fig. 1.16- Numero e percentuale di edifici in muratura identificati per ognuno dei sotto-meccanismi: la prima cifra indica il meccanismo principale e la seconda lo scostamento crescente da questìultimo.

Al meccanismo 2 risulta appartenere oltre il 76% di tutti gli edifici in muratura, l'80% di quelli destinati all'Istruzione, il 72% di quelli destinati in generale alla Sanità e il 70% di quelli Ospedalieri. Come si vede dalla TAb. 1.6, per ognuno dei meccanismi precedenti sono stati individuati anche dei sotto-meccanisni corrispondenti ad alcune combinazioni delle classi di vulnerabilità dei tre parametri 1,5 e 9. Essi vengono considerati esplicitamente in alcune analisi ed è da tener presente che nella numerazione identificativa assegnata, la prima cifra identifica uno dei tre meccanismi principali sopra descritti e la seconda indica il grado di scostamento crescente del meccanismo probabile dell'edificio rispetto a quello principale identificato con la prima. I grafici della Fig. 1.16 mostrano le frequenze assolute e percentuali in ognuno dei sotto-meccanismi e da essi si evidenzia come quelli relativi a tutti gli edifici in muratura e agli edifici per l'Istruzione siano marcatamente simili e questo in gran parte è sicuramente dovuto al peso (46%) che questi hanno sul totale dell'insieme di edifici in muratura rilevati. Nella Tab. 1.7 seguente i dati relativi al gruppo del meccanismo 2 fanno vedere come gli edifici sono ripartiti tra il sotto-meccanismo tagliante principale 2-1, nel quale, si ricorda, sono compresi gli edifici con le combinazioni a classi meno vulnerabili (A o B) dei parametri 1-5-9 e gli altri sotto-meccanismi che via via si discostano dal primo.

SOTTO-MECCANISMO	**Tutti gli edifici in muratura**	**Istruzione**	**Sanità**	**Ospedali**
2-1	37	42	29	23
2-2, 2-3, 2-4 e 2-5	39	38	44	46
Totale	76	80	73	70

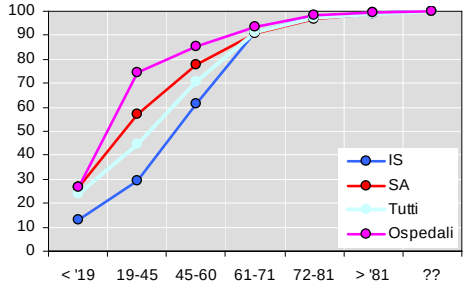
Tab. 1.7- Ripartizione percentuale degli edifici in muratura appartenenti al meccanismo tagliante (mec 2) tra sottomeccanismo principale 2-1 e gli altri sotto-meccanismi (2-1, 2-3, 2-4 e 2-5)

Si nota che gli edifici per l'Istruzione hanno una percentuale più elevata ricadente nel sotto-meccanismo 2-1 e che questa decresce passando agli edifici per la Sanità e agli Ospedali. Anche da questa osservazione si può rilevare, per questi ultimi due gruppi funzionali, una minore presenza di organismi strutturali ben configurati per esprimere un efficace comportamento scatolare e questo per varie ragioni: variabilità tipologico-costruttiva in relazione alla destinazione funzionale, epoca di costruzione ed altro ancora. In effetti, considerando il tipo di destinazione d'uso degli edifici analizzati, in rapporto anche all'epoca di costruzione, si possono trovare alcune ragioni per le percentuali elevate generalmente ottenute e anche le altre differenze relative. Dalla distribuzione percentuale degli edifici in muratura per epoca di costruzione nella Fig. 1.17 risulta che il 23.7% del totale risale a prima del 1919, poco più del 20% è stato realizzato nel periodo '19-'45, e nell'intervallo '45-'70 circa un 47% nel quale ha una forte incidenza la costruzione degli edifici per l'Istruzione, che in tale periodo vengono realizzati per oltre il 60%. Gli edifici per le attività sanitarie in generale per il 56.8% risalgono a prima del '45, il 21% circa nel periodo successivo e poi l'andamento decresce quasi linearmente con un decremento medio del 6%. La gran parte degli edifici ospedalieri in senso stretto sono stati realizzati in larga parte prima del '19 (26.9%) e nel periodo '19-'45 (47.7%), la percentuale scende al 10.6% nel intervallo '46-'60 e poi decresce costantemente di un 3% medio circa. La correlazione tra qualità costruttiva ed età si può riscontrare con evidenza nelle figure che vanno dalla Fig. 1.18 alla Fig. 1.21 che illustrano le distribuzioni degli edifici dell'Istruzione e della Sanità per tipo di meccanismo, epoca di costruzione e classe tipologica di vulnerabilità. Gli edifici per l'Istruzione, che risalgono in prevalenza agli anni successivi al secondo dopoguerra, sono quelli delle classi B, C1 e D1, con murature di discreta qualità, pareti con buoni collegamenti tra loro e con gli orizzontamenti. Quelli per la Sanità, e gli Ospedali in particolare, che hanno valori percentuali del meccanismo 2 più bassi, risultano realizzati, in maggiore misura rispetto alle scuole, nel periodo tra le due guerre mondiali, con murature in pietrame e malte aeree e orizzontamenti più deformabili e collegamenti meno efficaci con le pareti (Classi A, B). Il meccanismo 1 interessa una percentuale variabile tra il 16%, nel caso delle scuole, al 25% relativo agli Ospedali. Si tratta anche in questo caso di edifici con differenze analoghe a quelle descritte riguardo alle caratteristiche tipologiche delle scuole, con una maggiore frequenza, nel caso di quelli per la Sanità, di costruzioni di classe A e B risalenti a prima del 1919.



Età	IS	SA	Ospedali	Tutti
< '19	951	345	107	3683
19-45	1170	391	190	3225
45-60	2317	271	42	4069
61-71	2130	168	33	3195
72-81	479	81	19	913
> '81	114	27	5	322
??	53	12	2	128
Totale	7214	1295	398	15535

a)



Età	IS	SA	Ospedali	Tutti
< '19	13.2	26.6	26.9	23.7
19-45	29.4	56.8	74.6	44.5
45-60	61.5	77.8	85.2	70.7
61-71	91.0	90.7	93.5	91.2
72-81	97.7	97.0	98.2	97.1
> '81	99.3	99.1	99.5	99.2
??	100.0	100.0	100.0	100

b)

Fig. 1.17 - Edifici in muratura (tutti) per epoca di costruzione: a) – distribuzione percentuale; b) -

Numero

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	176	85	63	6	330
19-45	48	111	99	4	262
45-60	25	107	145	8	285
61-71	17	50	130	3	200
72-81	0	2	4	36	42
> '81	1	0	6	0	7
Totale	324	875	3634	773	5606

%

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	49.4	14.2	5.0	9.7	9.7
19-45	20.4	20.7	13.1	8.7	14.1
45-60	18.8	35.8	38.0	20.2	34.1
61-71	10.8	28.6	39.4	15.4	32.8
72-81	0.0	0.5	2.0	45.0	7.6
> '81	0.6	0.3	2.5	1.0	1.8

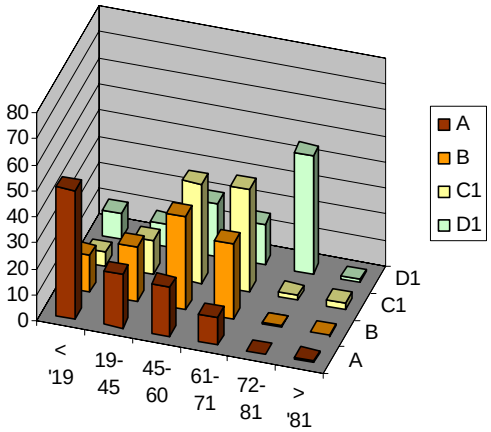


Fig. 1.18- Istruzione: edifici in muratura con meccanismo 2 per Epoca di costruzione e Classi di vulnerabilità

Numero

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	41	65	63	22	191
19-45	19	54	203	7	283
45-60	6	43	142	11	202
61-71	4	21	100	5	130
72-81	0	0	9	62	71
> '81	0	3	19	0	22
Totale	70	186	536	107	899

%

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	58.6	34.9	11.8	20.6	21.2
19-45	27.1	29.0	37.9	6.5	31.5
45-60	8.6	23.1	26.5	10.3	22.5
61-71	5.7	11.3	18.7	4.7	14.5
72-81	0.0	0.0	1.7	57.9	7.9
> '81	0.0	1.6	3.5	0.0	2.4

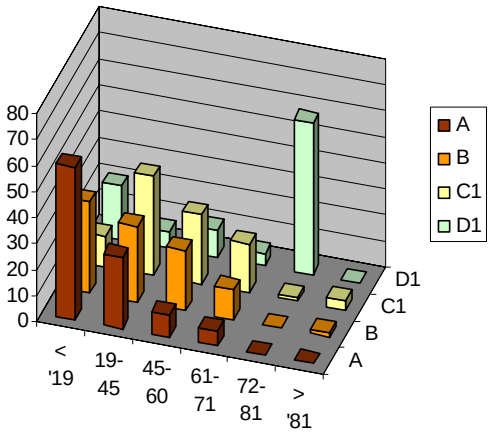


Fig. 1.19- Sanità: : edifici in muratura con meccanismo 2 per Epoca di costruzione e Classi di vulnerabilità

Numero

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	176	85	63	6	330
19-45	48	111	99	4	262
45-60	25	107	145	8	285
61-71	17	50	130	3	200
72-81	0	2	4	36	42
> '81	1	0	6	0	7
Totale	267	355	447	57	1126

%

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	65.9	23.9	14.1	10.5	29.3
19-45	18.0	31.3	22.1	7.0	23.3
45-60	9.4	30.1	32.4	14.0	25.3
61-71	6.4	14.1	29.1	5.3	17.8
72-81	0.0	0.6	0.9	63.2	3.7
> '81	0.4	0.0	1.3	0.0	0.6

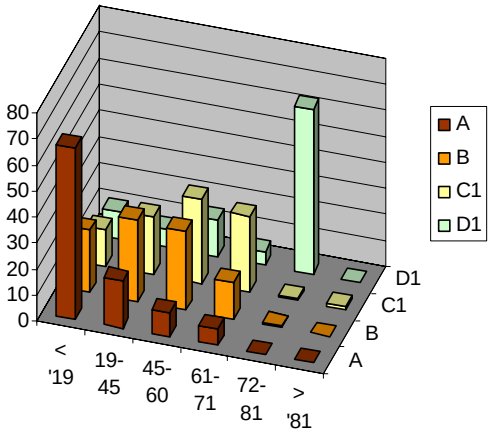


Fig. 1.20- Istruzione: : edifici in muratura con meccanismo 2 per Epoca di costruzione e Classi di vulnerabilità

Numero

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	55	40	18	2	115
19-45	21	26	30	0	77
45-60	13	15	24	1	53
61-71	3	8	20	0	31
72-81	0	0	0	8	8
> '81	1	3	0	0	4
Totale	93	92	92	11	288

%

Età	A	B	C1	D1	Totale
< '19	59.1	43.5	19.6	18.2	39.9
19-45	22.6	28.3	32.6	0.0	26.7
45-60	14.0	16.3	26.1	9.1	18.4
61-71	3.2	8.7	21.7	0.0	10.8
72-81	0.0	0.0	0.0	72.7	2.8
> '81	1.1	3.3	0.0	0.0	1.4

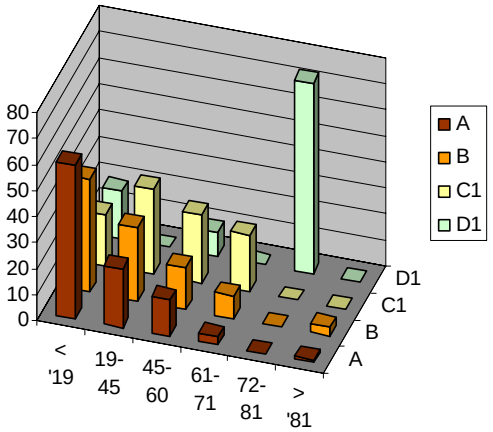


Fig. 1.21- Sanità: : edifici in muratura con meccanismo 2 per Epoca di costruzione e Classi di vulnerabilità

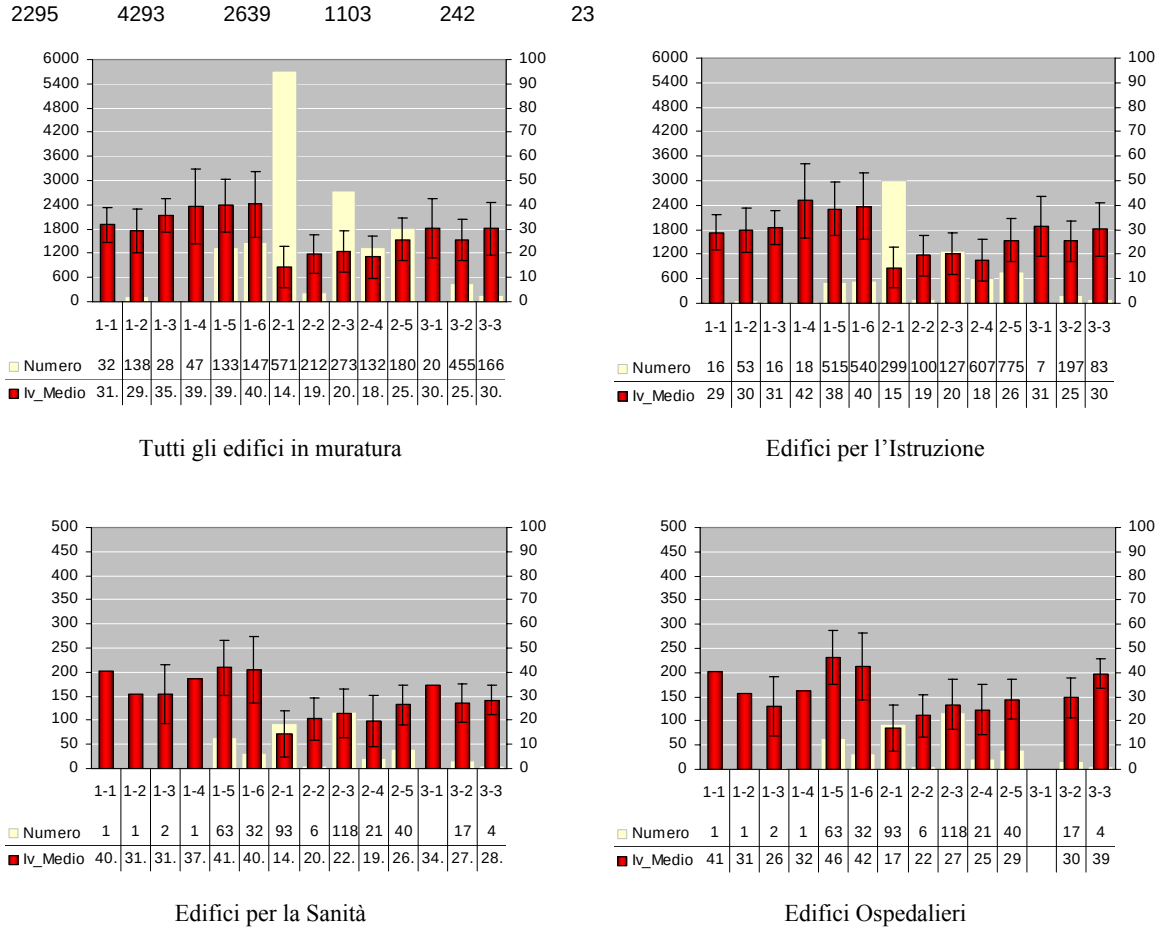


Fig. 1.22- Valori medi e DS dell'indice di vulnerabilità distinti per meccanismo di collasso:

Una ulteriore elaborazione è stata condotta per analizzare altre correlazioni relativamente agli edifici raggruppati per meccanismi di collasso rispetto alla vulnerabilità espressa dai valori dell'indice e considerando anche l'epoca di costruzione e le caratteristiche tipologiche. Una specifica indagine di questo tipo è stata svolta sulle tipologie costruttive prevalenti degli edifici scolastici individuate negli ambiti regionali e provinciali e descritte nel Volume I. I risultati ottenuti analizzando le statistiche sull'indice di vulnerabilità mettono in evidenza come i criteri adottati per l'individuazione dei meccanismi siano coerenti con l'insieme del modello.

I valori medi dell'indice mostrano un andamento praticamente crescente con la qualità del sotto-meccanismo, come ben si riscontra nel diagramma relativo all'insieme di tutti gli edifici in muratura della Fig. 1.22; salvo variazioni imputabili, in parte, ai criteri di assegnazione dei punteggi presenti nel modello e alla frequenza scarsa di dati nei campioni, e questo accade in particolare per alcuni sotto-meccanismi degli edifici per la Sanità e per gli Ospedali con singoli o pochissimi casi presenti.

Nel caso del sotto-meccanismo 2-4, al quale corrisponde la combinazione AB-C,AB dei parametri 1,5, e 9 si ha un valor medio dell'indice più basso rispetto a 2-2 e 2-3 per il fatto che il modello GNDT assegna alla classe C del parametro 5 (influenza della presenza di solai rigidi e ben collegati) un punteggio base minore (15) rispetto al parametro 1 (20) e 9 (25), mentre nei criteri di individuazione dei meccanismi, adottati nel presente lavoro illustrati nella Tab 1.6, si è data maggiore importanza al ruolo dei solai rigidi e dei loro collegamenti efficaci con le pareti perché si abbia una risposta di tipo tagliante dell'edificio.

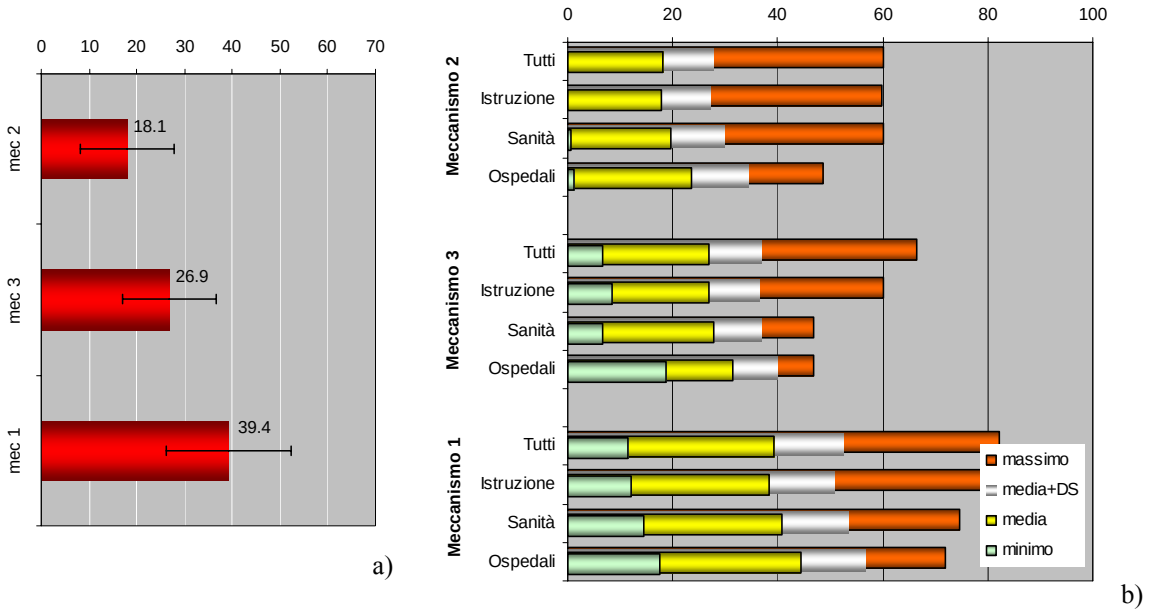


Fig. 1.23- Valori statistici dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura distinti per meccanismo di collasso: a) valori medi di tutti gli edifici; b) valori medi, minimi e massimi degli edifici distinti per tipo di funzione

I valori medi più bassi sono naturalmente associati ai sotto-meccanismi 2-x, sono compresi tra 14 e 17 ed il minimo è proprio del meccanismo base 2-1; per il meccanismo 1 l'intervallo di variazione è 29-46, con il minimo nel gruppo dell'Istruzione ed il massimo negli Ospedali; per il meccanismo misto 3 i valori estremi possono essere individuati nei valori 25 e 30, entrambi presenti nel sotto-meccanismo 3-2 che ha un numero significativo di casi.
Le medie per tutti gli edifici appartenenti ai tre tipi di meccanismo 1,2 e 3 sono all'incirca 39, 18 e 27 (Fig. 1.23a). Nella Fig. 1.23b sono evidenziati, per sintesi e confronto, le medie, il valore media+DS, il minimo e il massimo dell'indice di vulnerabilità degli edifici, distinti per funzione, all'interno di ognuno dei tre meccanismi di collasso. Si riscontra bene l'andamento crescente progressivo dei valori medi passando dal meccanismo 2 meno vulnerabile a quello più vulnerabile 1 e, anche all'interno di ogni meccanismo, passando dagli edifici Scolastici a quelli Ospedalieri. La presenza di valori massimi molto prossimi a 60 nel meccanismo 2
Sono state poi indagate le distribuzioni di frequenza degli indici di vulnerabilità degli edifici raggruppati per tipo di meccanismo di collasso. Le tabelle di Fig. 1.24 ed i relativi diagrammi della Fig. 1.25 ne illustrano i valori percentuali e quelli cumulati per il campione complessivo e per quelli funzionalmente destinati all'Istruzione, alla Sanità e quelli Ospedalieri. In tutti i tre casi sono ben caratterizzate e differenziate le distribuzioni per i tre meccanismi: il meccanismo 1 presenta le L'insieme degli edifici e il raggruppamento relativo all'Istruzione mostra

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0	2536	3	0	2539
10: 19	126	4596	162	4	4888
20: 29	669	3089	245	8	4011
30: 39	839	1255	159	12	2265
40: 49	758	298	57	10	1123
50: 59	410	25	13	4	452
60: 69	192	2	2	0	196
70: 79	55	0	0	1	56
80: 89	5	0	0	0	5
90: 100	0	0	0	0	0
Totale	3054	11801	641	39	15535

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0.0	21.5	0.5	0.0	16.3
10: 19	4.1	38.9	25.3	10.3	31.5
20: 29	21.9	26.2	38.2	20.5	25.8
30: 39	27.5	10.6	24.8	30.8	14.6
40: 49	24.8	2.5	8.9	25.6	7.2
50: 59	13.4	0.2	2.0	10.3	2.9
60: 69	6.3	0.0	0.3	0.0	1.3
70: 79	1.8	0.0	0.0	2.6	0.4
80: 89	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
90: 100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Edifici in muratura

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0	1234	2	0	1236
10: 19	42	2320	73	1	2436
20: 29	280	1506	113	2	1901
30: 39	332	570	68	2	972
40: 49	296	119	25	3	443
50: 59	135	10	5	1	151
60: 69	53	1	1	0	55
70: 79	19	0	0	0	19
80: 89	1	0	0	0	1
90: 100	0	0	0	0	0
Totale	1158	5760	287	9	7214

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0.0	21.4	0.7	0.0	17.1
10: 19	3.6	40.3	25.4	11.1	33.8
20: 29	24.2	26.1	39.4	22.2	26.4
30: 39	28.7	9.9	23.7	22.2	13.5
40: 49	25.6	2.1	8.7	33.3	6.1
50: 59	11.7	0.2	1.7	11.1	2.1
60: 69	4.6	0.0	0.3	0.0	0.8
70: 79	1.6	0.0	0.0	0.0	0.3
80: 89	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
90: 100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Edifici scolastici in muratura

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0	174	1		175
10: 19	9	332	14		355
20: 29	50	254	22		326
30: 39	85	138	21		244
40: 49	69	39	8		116
50: 59	53	1	0		54
60: 69	20	1	0		21
70: 79	4	0	0		4
80: 89	0	0	0		0
90: 100	0	0	0		0
Totale	290	939	66		1295

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0.0	18.5	1.5		13.5
10: 19	3.1	35.4	21.2		27.4
20: 29	17.2	27.1	33.3		25.2
30: 39	29.3	14.7	31.8		18.8
40: 49	23.8	4.2	12.1		9.0
50: 59	18.3	0.1	0.0		4.2
60: 69	6.9	0.1	0.0		1.6
70: 79	1.4	0.0	0.0		0.3
80: 89	0.0	0.0	0.0		0.0
90: 100	0.0	0.0	0.0		0.0
Totale	100.0	100.0	100.0		100.0

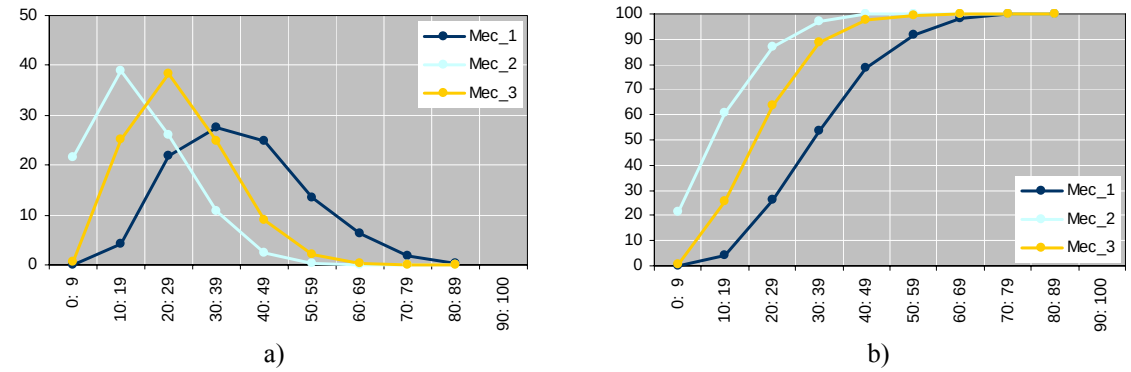
Edifici per la Sanità in muratura

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0	33	0		33
10: 19	2	72	2		76
20: 29	10	83	8		101
30: 39	26	65	6		97
40: 49	22	25	5		52
50: 59	29	0	0		29
60: 69	9	0	0		9
70: 79	2	0	0		2
80: 89	0	0	0		0
90: 100					
Totale	100	278	21		399

Iv	Mec_1	Mec_2	Mec_3	?	Totale
0: 9	0.0	11.9	0.0		8.3
10: 19	2.0	25.9	9.5		19.0
20: 29	10.0	29.9	38.1		25.3
30: 39	26.0	23.4	28.6		24.3
40: 49	22.0	9.0	23.8		13.0
50: 59	29.0	0.0	0.0		7.3
60: 69	9.0	0.0	0.0		2.3
70: 79	2.0	0.0	0.0		0.5
80: 89	0.0	0.0	0.0		0.0
90: 100					
Totale	100.0	100.0	100.0		100.0

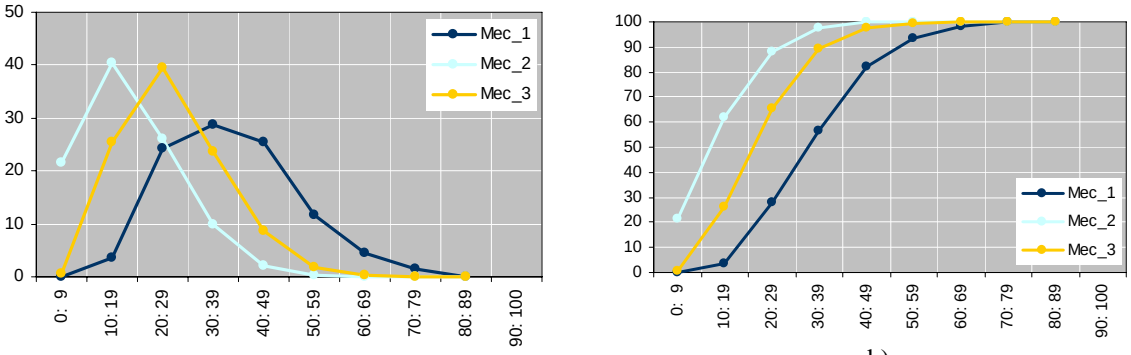
Edifici Ospedalieri in muratura

Fig. 1.24 – Frequenze assolute (tabella a sinistra) e percentuali (tabella a destra) degli edifici in muratura per tipo di meccanismo di collasso e classi dell'indice di vulnerabilità



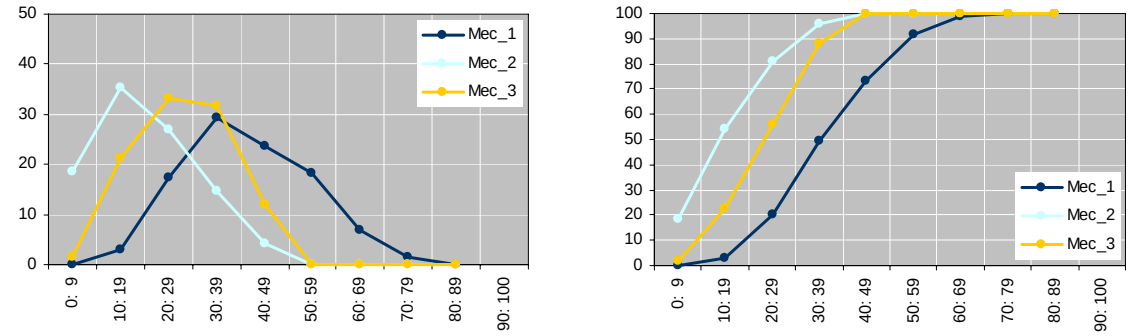
a) b)

Edifici in muratura (15535)



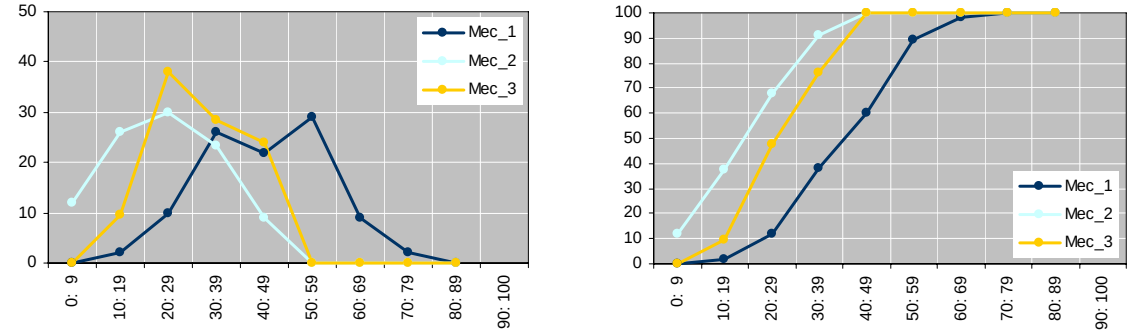
a) b)

Edifici scolastici in muratura (7214)



a) b)

Edifici per la Sanità in muratura (1295)



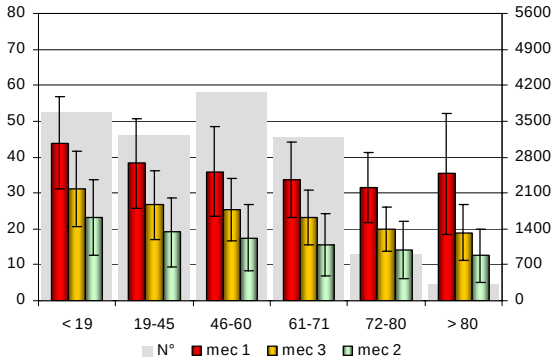
a) b)

Edifici Ospedalieri in muratura (399)

Fig. 1.25 – Grafici delle distribuzioni degli edifici in muratura per di meccanismo di collasso e per classi dell'indice di vulnerabilità, distinti per tipo di funzione: a) Distribuzione in %; b) Distribuzione cumulatativa

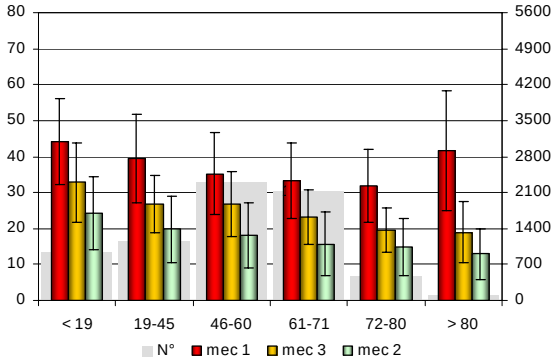
Classi di età		N° mec 1	N° mec 2	N° mec 3	N° Tot.	Iv mec 1	Iv mec 2	Iv mec 3
A	< 19	1236	2217	222	3675	44.0	23.2	31.2
B	19-45	741	2344	131	3216	38.3	19.0	26.7
C	46-60	599	3324	134	4057	35.9	17.5	25.2
D	61-71	345	2731	111	3187	33.8	15.6	23.2
E	72-80	84	802	26	912	31.5	14.1	20.0
F	> 80	25	288	9	322	35.4	12.5	19.0

Edifici in muratura (15535)



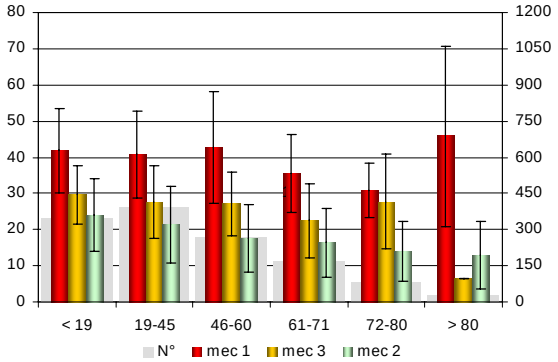
Classi di età		N° mec 1	N° mec 2	N° mec 3	N° Tot.	Iv mec 1	Iv mec 2	Iv mec 3
A	< 19	64	950	331	555	44.1	24.3	32.8
B	19-45	54	1168	268	846	39.4	19.9	26.7
C	46-60	81	2312	292	1939	35.2	17.9	26.8
D	61-71	68	2129	207	1854	33.4	15.7	23.2
E	72-80	13	479	42	424	31.9	14.8	19.5
F	> 80	3	114	7	104	41.7	12.9	18.9

Edifici scolastici in muratura (7214



Classi di età		N° mec 1	N° mec 2	N° mec 3	N° Tot.	Iv mec 1	Iv mec 2	Iv mec 3
A	< 19	115	199	31	345	41.8	24.1	29.7
B	19-45	78	296	17	391	40.7	21.4	27.6
C	46-60	53	211	7	271	42.7	17.7	27.1
D	61-71	31	130	7	168	35.4	16.5	22.5
E	72-80	8	71	2	81	30.8	14.1	27.8
F	> 80	4	22	1	27	45.8	13.0	6.6

Edifici per la Sanità in muratura (1295)



Classi di età		N° mec 1	N° mec 2	N° mec 3	N° Tot.	Iv mec 1	Iv mec 2	Iv mec 3
A	< 19	39	58	10	107	44.8	25.7	32.5
B	19-45	35	148	7	190	43.0	24.2	31.4
C	46-60	14	28	0	42	44.8	22.7	0.0
D	61-71	4	27	2	33	54.7	18.8	34.5
E	72-80	4	14	1	19	35.0	19.0	18.6
F	> 80	3	2	0	5	51.5	21.1	0.0

Edifici Ospedalieri in muratura (396)

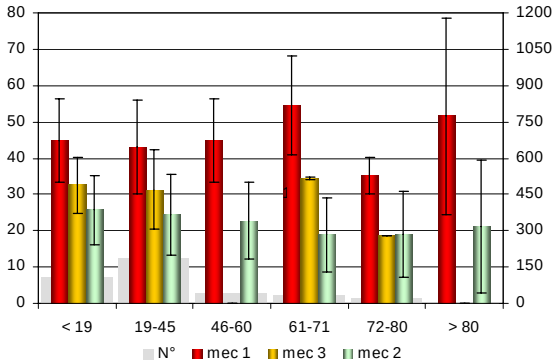
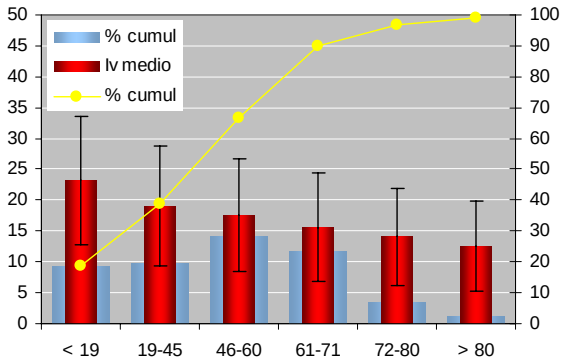


Fig. 1.26 – Valori medi dell'indice di vulnerabilità Iv degli edifici in muratura per tipo di meccanismo di collasso ed epoca di costruzione

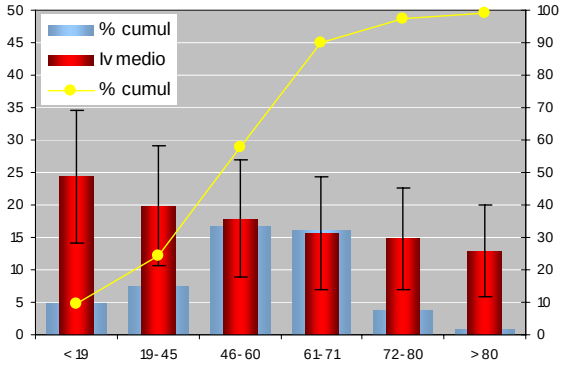
ETA'	Iv medio	DS	% Edifici	% cumul	N° Edifici
< 19	23.2	10.4	18.8	18.8	2217
19-45	19.0	9.7	19.9	38.6	2344
46-60	17.5	9.1	28.2	66.8	3324
61-71	15.6	8.7	23.1	90.0	2731
72-80	14.1	7.8	6.8	96.7	802
> 80	12.5	7.3	2.4	99.2	288
?					96
					11802

Edifici in muratura con meccanismo 2



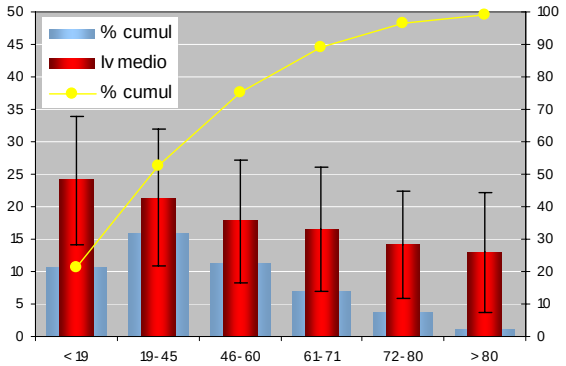
ETA'	Iv medio	DS	% Edifici	% cumul	N° Edifici
< 19	24.3	10.1	9.6	9.6	555
19-45	19.9	9.3	14.7	24.3	846
46-60	17.9	9.0	33.7	58.0	1939
61-71	15.7	8.7	32.2	90.2	1854
72-80	14.8	7.9	7.4	97.5	424
> 80	12.9	7.0	1.8	99.3	104
??					38
					5760

Edifici in muratura per l'Istruzione con meccanismo 2



ETA'	Iv medio	DS	% Edifici	% cumul	N° Edifici
< 19	24.1	9.9	21.2	21.2	199
19-45	21.4	10.6	31.5	52.7	296
46-60	17.7	9.4	22.5	75.2	211
61-71	16.5	9.5	13.8	89.0	130
72-80	14.1	8.2	7.6	96.6	71
> 80	13.0	9.2	2.3	98.9	22
??					10
					939

Edifici in muratura per la Sanità con meccanismo 2



ETA'	Iv medio	DS	% Edifici	% cumul	N° Edifici
< 19	25.7	9.4	20.9	20.9	58
19-45	24.2	11.1	53.2	74.1	148
46-60	22.7	10.6	10.1	84.2	28
61-71	18.8	10.1	9.7	93.9	27
72-80	19.0	12.0	5.0	98.9	14
> 80	21.1	18.3	0.7	99.6	2
??					1
					278

Edifici Ospedalieri con meccanismo 2

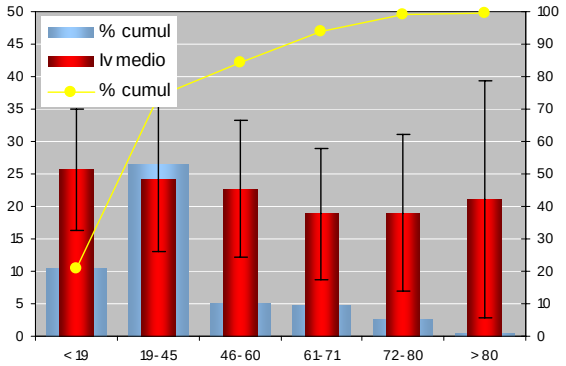


Fig. 1.27– Valori medi e DS dell'indice di vulnerabilità Iv degli edifici in muratura appartenenti al meccanismo di collasso tagliante (mec 2) per epoca di costruzione

Alcune considerazioni sono indispensabili per favorire una più chiara comprensione della valenza che riesce ad esprimere la metodologia di 2° livello attraverso l'indice di vulnerabilità e le possibilità di miglioramento che si possono perseguire. In primo luogo è bene ricordare che un valore prossimo a zero o comunque molto basso dell'indice identifica un edificio in muratura che avendo quasi tutti gli undici parametri in classe A è qualitativamente in una condizione che si avvicina molto a quella di un edificio realizzato secondo le indicazioni della vecchia normativa antisismica per una zona di Categoria 1. Questo comporta che la sua propensione al danno dovrebbe essere quella per cui è escluso il collasso ed il danneggiamento è tale da garantire una residua capacità di sostenere i carichi verticali e di fronteggiare ulteriori sollecitazioni orizzontali. Dunque una costruzione che comunque può subire un danno più o meno elevato, in relazione all'effettivo livello di scuotimento sismico. Valori via via superiori dell'indice di vulnerabilità identificano di conseguenza edifici suscettibili di danno sicuramente superiore ed anche di collasso.

Una esigenza di precisazione sempre a riguardo è emersa anche rispetto alla giusta valutazione delle graduatorie di vulnerabilità presenti nel terzo volume del primo rapporto sul censimento LSU-96 degli edifici pubblici pubblicato nel 1999. Con l'intento di fornire un primo strumento orientativo per illustrare i risultati sulle condizioni del patrimonio edilizio pubblico, gli edifici in muratura vi sono riportati elencati in ordine decrescente di vulnerabilità secondo l'appartenenza ad una delle cinque classi riportate nella Tab. 1.8 seguente, ottenute suddividendo l'intervallo 0-100 di variabilità dell'indice in fasce di 20 punti:

Indice di vulnerabilità	Codice	Fascia
$0 \leq Iv < 20$	B	Bassa
$20 \leq Iv < 40$	MB	Medio-Bassa
$40 \leq Iv < 60$	M	Media
$60 \leq Iv < 80$	MA	Medio-Alta
$80 \leq Iv \leq 100$	A	Alta

Tab. 1.8 – Classi e livelli di vulnerabilità utilizzati per le graduatorie degli edifici pubblici del censimento LSU-96

Questa classificazione in realtà non corrisponde adeguatamente alle distribuzioni delle frequenze dei valori che il modello di calcolo dell'indice fornisce nei casi reali, come ben si evince dai diagrammi della precedente Fig. 1.3., nei quali gli oltre 15.500 edifici non presentano casi con $Iv \geq 80$ e sono estremamente limitati quelli con $70 \leq Iv < 80$; circostanza questa osservata generalmente anche in altri rilievi effettuati e che dipende dalla rara possibilità di osservare edifici con tutti i parametri di vulnerabilità alta (A), se non per situazioni veramente estreme. Questa osservazione ha come conseguenza il fatto che l'effettivo campo di variabilità dell'indice è realisticamente compreso tra 0 e 80 e che quindi il valore qualificabile come medio nella scala è da ritenere piuttosto uno compreso tra 30 e 40 che non quello indicato tra 40 e 60. Dunque vulnerabilità espresse da valori dell'indice superiori a 30 sono di fatto da considerare sicuramente indicativi di situazioni da valutare con attenzione. Attenzione che viene chiamata in causa anche per un'altra ragione che scaturisce dalla scelta di una formula additiva per la combinazione dei punteggi di vulnerabilità assegnati ai parametri, per la quale, ovviamente, si possono avere edifici con indici di pari valore, ma scaturiti da contributi derivanti da parametri diversi che hanno anche una diversa valenza nel misurare l'effettiva incidenza sul comportamento sismico, valenza che non è spesso ben colta dai pesi loro assegnati nel modello. Un altro inconveniente deriva dalla modalità di assegnazione della classe di vulnerabilità di ogni parametro attraverso un valore di soglia: anche l'ingresso nella classe a vulnerabilità più elevata (D) avviene per semplice superamento di tale soglia e non viene discriminata in alcun modo l'entità del suo superamento che può anche essere notevole. Si possono così avere casi di edifici con gli stessi parametri in classe D ma con condizioni relative di vulnerabilità anche significativamente diverse. L'indice non riesce a cogliere in sostanza alcune situazioni estreme che si possono verificare e che

comunque sono documentate nelle informazioni contenute negli elementi di valutazione associati ai parametri. Da quest'ultima osservazione ben si comprende come nell'impostazione e nello svolgimento del lavoro di ricerca si sia posta particolare attenzione nel cercare di formulare procedure e strumenti più efficaci per sfruttare al massimo le informazioni presenti sulla scheda di secondo livello.

Si può pertanto esprimere una valutazione di sintesi e qualificare in generale la condizione di vulnerabilità degli edifici pubblici in muratura esaminati come caratterizzata da distribuzioni prevalentemente spostate su valori medio-bassi con code verso valori alti variabili territorialmente, come d'altra parte era da ritenere per lo meno auspicabile per costruzioni in prevalenza realizzati da enti pubblici e per scopi di pubblica utilità. Naturalmente da questi dati già si comprende come sia comunque presente un certo numero di casi che prefigurano il problema di migliorare le loro condizioni di vulnerabilità. L'effettiva rilevanza del problema deve essere valutata attraverso le analisi di rischio sismico e quindi mediante il confronto con le condizioni di pericolosità del territorio nel quale gli edifici più vulnerabili sono ubicati.

1.3.2 Descrizione della nuova procedura di valutazione della vulnerabilità per edifici con meccanismo di collasso prevalente di tipo tagliante

Il nuovo modello di valutazione della vulnerabilità, di tipo meccanicistico, per gli edifici in muratura caratterizzati da un comportamento prevalentemente tagliante, è stato ideato e messo a punto per disporre di uno nuovo strumento in grado di valorizzare il contenuto informativo dei dati di 2 livello della scheda GNDT. Modello e procedura di elaborazione relativa sono stati utilizzati per migliorare la conoscenza della vulnerabilità e del rischio sismico degli edifici pubblici dell'Italia meridionale contenuti nella della base dati LSU-96.
L'idea guida, come già in precedenza accennato, è stata quella di valorizzare l'attendibilità del calcolo della resistenza sismica del parametro 3 (Resistenza convenzionale) presente nella scheda di secondo livello, per quegli edifici che, avendo un meccanismo di collasso prevalente di tipo 2, si può ritenere compatibile il modello semplificato di calcolo del coefficiente sismico "C" e quindi anche stimare con una certa attendibilità l'accelerazione di collasso al suolo e le condizioni di rischio attraverso il confronto con la pericolosità localmente rappresentata dai valori di PGA attesi.

Il Parametro 3 - Resistenza convenzionale del 2° livello GNDT

Il parametro 3 della scheda di 2° livello GNDT valuta la resistenza sismica dell'edificio considerando il valore minimo tra quelli delle risultanti delle forze di taglio ultime dei setti murari presenti ad ogni piano. Più precisamente valuta il coefficiente sismico "C" quale rapporto fra la minima forza tagliante resistente ultima di piano dell'edificio ed il peso dell'edificio che insiste su tale piano. Esso esprime quindi il valore dell'azione orizzontale massima che la costruzione è in grado di sopportare al piano che per primo raggiunge il limite del collasso, come aliquota del peso della parte di edificio che insiste su di esso e in tal senso può essere considerato come valore dell'accelerazione orizzontale minima che determina il collasso dell'edificio.
Per un edificio di p piani il coefficiente sismico "C" è così dato dal rapporto tra la minima resistenza tagliante $T^*_{u,pv}$, presente ad un certo piano, che nella scheda GNDT è detto "piano di verifica", ed il peso W_{pv} della parte di edificio agente sul tale piano.

Coefficiente sismico $$C = \frac{T^*_{u.pv}}{W^*_{pv}}$$

Il tagliante ultimo di piano T_u^* ed il peso W^* vengono calcolati con le seguenti modalità ed approssimazioni.

- La resistenza a taglio dei singoli setti murari è data dalla relazione di Turnsek e Cakovic;

Taglio resistente ultimo di un setto $$T_u = A \cdot \tau_k \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1{,}5 \cdot \tau_k}}$$

Per ognuno dei *p* piani dell'edificio, la resistenza di taglio ultima di piano $T^*_{u,p}$, è calcolata come somma dei tagli ultimi dei singoli setti T_u, ed è la minore tra le due valutate secondo due direzioni ortogonali X e Y;

Taglio resistente ultimo di piano $$T^*_{u,p} = \min(T^X_{u,p}, T^Y_{u,p})$$

$$T^X_{u,p} = \sum_{ix} T_{u,ix} = \sum_{ix} A_{ix} \cdot \tau_{k,p} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0,p}}{1{,}5 \cdot \tau_{k,p}}} = A_{X,p} \cdot \tau_{k,p} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0,p}}{1{,}5 \cdot \tau_{k,p}}}\ ; \qquad (ix = \text{setti in direzione X})$$

$$T^Y_{u,p} = \sum_{jy} T_{u,iy} = \sum_{iy} A_{jy} \cdot \tau_{k,p} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0,p}}{1{,}5 \cdot \tau_{k,p}}} = A_{Y,p} \cdot \tau_{k,p} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0,p}}{1{,}5 \cdot \tau_{k,p}}} \qquad (iy = \text{setti in direzione Y})$$

- Si assume che tutti i setti di muratura resistente del piano abbiano valori costanti della resistenza specifica a taglio $\tau_{k,p}$ e della tensione media verticale $\sigma 0$. Per la τk si considera un valore convenzionale e rappresentativo delle caratteristiche medie di resistenza della muratura presente al piano; la tensione σ_0 è il valore medio della pressione che il peso della parte dell'edificio sovrastante il piano considerato *Wp* esercita sull'insieme della muratura resistente del piano.

$$\tau_{k,p} = \textit{resistenza specifica a taglio convenzionale della muratura del piano } p$$
$$A_X = \textit{Somma delle aree resistenti dei setti in direzione X del piano } p$$
$$A_Y = \textit{Somma delle aree resistenti dei setti in direzione Y del piano } p$$
$$\sigma_{0,p} = \frac{W_p}{(A_X + A_Y)}; \quad W_p = \textit{peso della parte di edificio che sovrasta il piano } p$$

Nella scheda di 2° livello il coefficiente sismico "C" è calcolato mediante l'espressione compatta:

$$C = \frac{T^*_{u.pv}}{W^*_{pv}} = \frac{a_0 \cdot \tau_k}{q \cdot N} \sqrt{1 + \frac{q \cdot N}{1{,}5 \cdot a_0 \cdot \tau_k \cdot (1 + \gamma)}}$$

dopo aver preventivamente individuato il piano di verifica, ovvero il piano della resistenza tagliante minima, aver assegnato il valore convenzionale τ_k della resistenza al taglio della muratura e calcolato in maniera approssimata il peso W_p degli *N* piani la cui massa produce l'azione sismica al livello di verifica (vedere riquadro).
La stima della resistenza sismica di un edificio in muratura mediante il calcolo del coefficiente "C" è tanto più significativa quanto più il suo comportamento è di tipo scatolare, prossimo a quello del meccanismo 2-1 descritto in precedenza, adatto quindi ad essere interpretato con un modello che simula una risposta al terremoto che impegna prevalentemente le pareti con azioni di taglio. La bontà della stima dipende anche da una corretta scelta della resistenza al taglio della muratura e inoltre è anche sensibilmente condizionata dalla presenza di eventuali irregolarità plano-altimetriche della struttura. La procedura messa a punto, e di seguito descritta, prevede il ricalcolo del coefficiente di resistenza sismica "C" con l'assunzione di valori della resistenza specifica τ_k a taglio non convenzionali, ma più realisticamente prossimi a quelli reali di rottura e di utilizzare le informazioni disponibili sugli altri aspetti di vulnerabilità per la definizione empirica di coefficienti correttivi.

Parametro 3 – Resistenza convenzionale

3	**RESISTENZA CONVENZIONALE**	13 |_|	24 |_|	Numero di piani **N** 35 |__|__| Area totale coperta $\mathbf{A_t}$ (mq) 37 |__|__|__|_.| Area $\mathbf{A_x}$ (mq) 41 |__|__|_.| Area $\mathbf{A_y}$ (mq) 44 |__|__|_.| τ_x (t/mq) 47 |__|__|_.| Alt. media interpiano **h** (m) 50 |_.|__| Peso specifico pareti $\mathbf{p_m}$ (t/mc) 52 |_.|__| Carico permanente solai $\mathbf{p_s}$ (t/mq) 54 |_.|__|

Tipologia strutture verticali — τ_x (t/mq)

_____ _____

_____ _____

_____ _____

_____ _____

Minimo tra A_x ed A_y — A (mq) _____

Massimo tra A_x ed A_y — A (mq) _____

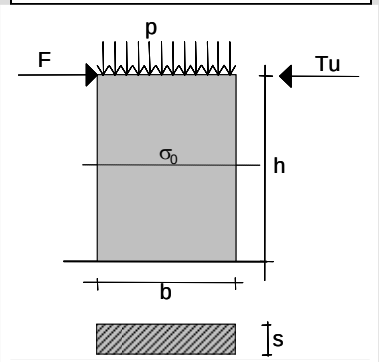
Coeff. $a_0 = A/A_t$ _____ Coeff. $\gamma = B/A$ _____

$q = (A_x + A_y)\, h\, p_m / A_t + p_s$ _____

$$C = \frac{a_0 \tau_k}{qN}\sqrt{1+\frac{qN}{1{,}5\, q_i\, \tau_k\, (1+\gamma)}}$$

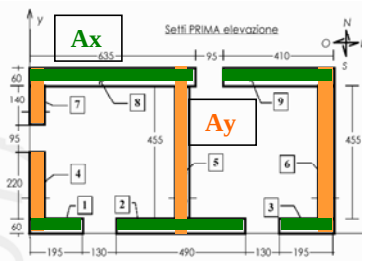
$\alpha = C/0{,}4$ _____

N Numero di piani a partire dal piano di verifica
A_t Area totale coperta media degli N piani compresi nella verifica
A_x Area totale resistente dei setti in direzione X
A_y Area totale resistente dei setti in direzione y
τ_k Resistenza specifica a tagli della muratura del piano di verifica
h Altezza media di interpiano degli N piani compresi nella verifica
p_m Peso specifico medio della muratura degli N piani della verifica
p_s Carico permanente medio dei solai degli N della verifica



A = Minimo tra A_x e A_y ; *B = Massimo tra A_x e A_y*
$a_0 = A/A_t$ *$\gamma = B/A$*

$$q = \frac{(A_X + A_Y)\cdot h \cdot p_m}{A_t} + p_s \quad \rightarrow \quad \textit{peso di un mq di piano}$$



Valutazione del taglio ultimo minimo al piano di verifica $T^*_{u,pv}$

Forza orizzontale ultima per un setto di muratura: $T_u = A \cdot \tau_k \cdot \sqrt{1+\frac{\sigma_0}{1{,}5\cdot\tau_k}}$

T_u= taglio ultimo resistente; A = area della sezione del setto
τ_k= resistenza specifica a taglio; σ_0=tensione verticale media nel setto

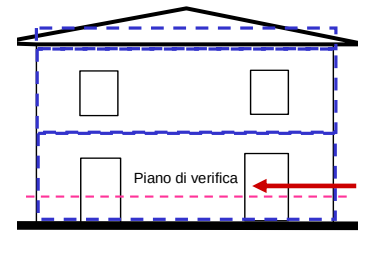
Nella scheda si assumono valori medi per τ_k e σ_0 costanti per i setti del piano e si calcolano i taglianti di piano in due direzioni ortogonali X,Y. Per un edificio di *n* piani il tagliante ultimo al piano *p* è dato da:

$$T^*_{u,p} = \min(T^X_{u,p}, T^Y_{u,p})$$

quello di collasso dell'edificio è il minimo T^*_{up} in corrispondenza del piano di minore resistenza identificato come *piano di verifica pv*:

$$T^*_{u,pv} = \min(T^*_{u,p})$$

$$T^*_{u,pv} = \min(A_{X,pv}, A_{Y,pv})\cdot\tau_{k,pv}\sqrt{1+\frac{\sigma_{0,pv}}{1{,}5\cdot\tau_{k,pv}}} = A\cdot\tau_{k,pv}\sqrt{1+\frac{\sigma_{0,pv}}{1{,}5\cdot\tau_{k,pv}}}$$



Valutazione del peso al piano di verifica W_{pv} e della tensione media $\sigma_{0,pv}$

Considerando il peso a mq *q* e il numero di piani *N* dal piano di verifica: $W_{pv} = q\cdot N\cdot A_t$

La tensione media nei setti al piano di verifica è data da: $\sigma_{0,pv} = \frac{q\cdot N\cdot A}{(A_x+A_y)} = \frac{q\cdot N}{\left(\frac{A_x}{A_t}+\frac{A_y}{A_t}\right)} = \frac{q\cdot N}{\frac{A}{A_t}\left(1+\frac{B}{A}\right)} = \frac{q\cdot N}{a_0\cdot(1+\gamma)}$

Espressione per la valutazione del coefficiente sismico "C"

$$C = \frac{T^*_{u.pv}}{W^*_{pv}} = \frac{A\cdot\tau_{k,pv}\cdot\sqrt{1+\frac{\sigma_{0,pv}}{1{,}5\cdot\tau_{k,pv}}}}{q\cdot N\cdot A_t} = \frac{a_0\cdot\tau_k}{q\cdot N}\sqrt{1+\frac{q\cdot N}{1{,}5\cdot a_0\cdot\tau_k\cdot(1+\gamma)}}$$

Fig. 1.28 – Modalità di calcolo della resistenza convenzionale associata al Parametro 3 della scheda GNDT di 2° livello

In particolare sono stati presi in considerazione i dati legati alle regolarità in pianta (parametro 6), in elevazione (parametro 7), la distanza massima tra pareti strutturali (parametro 8) e l'altezza d'interpiano, quest'ultima desumibile dai dati metrici del 1° livello della scheda. Dal valore della resistenza così rivalutata la procedura prevede la stima della PGA al suolo considerando le correzioni che introducono il coefficiente di duttilità o struttura, quello di partecipazione modale e quello di risposta spettrale, in funzione del tipo di suolo, opportunamente valutati.

Descrizione della procedura

1. Il coefficiente di resistenza sismica convenzionale "C" presente sulla scheda GNDT di 2° livello viene in primo luogo rivalutato per ottenere un valore realisticamente più prossimo a quello di collasso, correggendo i valori delle resistenze specifiche al taglio convenzionali assunti dai rilevatori per la muratura caratteristica dell'edificio nel modo di seguito indicato.

   2a) Sono stati stabiliti, in base ai dati sperimentali in letteratura e a valutazioni esperte, valori minimi e massimi per le τ_k convenzionali per le tipologie di muratura indicate nella scheda e dei moltiplicatori che convertono i valori convenzionali in valori a rottura Tab. 1.9;

TIPO MURATURA SR = Senza Ricorsi; CR = Con Ricorsi;PS = Param. Scollegati; PC = Param. collegati		Valori massimi τ_k	Valori minimi τ_k	Moltiplic. *Km*
A	Pietra arrotondata, grezza, lastriforme e pseudoregolare – SR - PS	4.0	2.0	2.0
B	Pietra arrotondata, grezza, lastriforme e pseudoregolare - CR - PS	5.1	2.6	2.0
C	Pietra grezza, pseudoregolare - SR - PC	7.0	3.9	2.0
D	Pietra grezza, pseudoregolare. - CR - PC	8.9	5.0	2.0
E	Pietra arrotondata, - SR - PC	5.3	2.0	2.0
F	Pietra arrotondata, - CR - PC	6.8	2.6	2.0
G	Pietra squadrata, - CR - PC	13.0	3.8	2.0
H	Blocchi cls pesanti - SR - PC	18.0	6.0	1.5
I	Blocchi cls leggeri - SR - PC	18.0	6.0	1.5
L	Mattoni pieni o doppio UNI - SR - PC	20.0	6.0	1.5
M	Mattoni forati > 45%	10.0	3.0	1.5
N	Cls non armato	15.0	6.0	1.5
T	Mista(1)	20.0	2.0	1.5 / 2.0
(1) – *Km* dipende dal valore della τ_k, indicata sulla scheda: è pari a 1.5 per τ_k > 10 e pari a 2.0 per τ_k <= 10.				

Tab. 1.9 – Valori convenzionali minimi e massimi della resistenza a taglio delle tipologie di muratura e dei moltiplicatori di conversione in valori ultimi a rottura

   2b) Il valore della τ_k presente sulla scheda, se necessario, viene ricondotto nei limiti fissati nella tabella, assumendo il valore minimo se inferiore, il massimo se superiore; il valore viene quindi amplificato con il moltiplicatore *Km* associato al tipo di muratura ed inoltre corretto mediante il coefficiente riduttivo *Kq*, in funzione della classe di vulnerabilità assegnata dal rilevatore al Parametro 2, che è relativo alla "qualità del sistema resistente", ossia alla qualità dei materiali, alla tessitura e connessione dei paramenti e alla omogeneità, (Tab. 1.10). Il valore τ_k' corretto si ottiene moltiplicando τ_k per e *Kq,* con l'unica particolarità che riguarda il tipo "T- mista", per il quale il moltiplicatore *Km* dipende dal valore della τ_k, ed è stato assunto pari a 1.5 per τ_k > 10 e 2.0 per τ_k <= 10.

$$\tau_k' = \tau_k \cdot Km \cdot Kq$$

	A	B	C	D
Kq	1	0.95	0.90	0.85

Tab. 1.10 – Coefficienti correttivi della resistenza specifica della muratura definiti in base alla classe di vulnerabilità del Parametro 2 – Qualità del sistema resistente

2. Per portare in conto gli altri fattori di vulnerabilità dell'edificio associati ai parametri della scheda di 2° livello, il coefficiente "C" rivalutato con il valore corretto τ_{kc} viene ulteriormente modificato attraverso i fattori *K6*, *K7*, *K8* e *Kh*, correlati ai Parametri 6 (regolarità in pianta), 7 (regolarità in elevazione), 8 (rapporto massimo L/s, tra lunghezza e spessore delle pareti) della scheda di 2° livello (Fig. 1.29) e alla altezza d'interpiano; ad essi sono stati empiricamente assegnati dei valori in funzione delle classi di vulnerabilità attribuite dai rilevatori considerando in alcuni casi anche i valori effettivi degli elementi di valutazione correlati. In ogni caso la variabilità dei fattori correttivi Ki è stata contenuta nell'intervallo 1.0 - 0.80, in modo che la correzione, per combinazione di valori minimi, comporti una riduzione massima del 40-50%.

2a) I valori dei fattori K6, K7, K8 vengono inizialmente assunti in funzione della classe di vulnerabilità dei parametri corrispondenti secondo la Tab. 1.11.

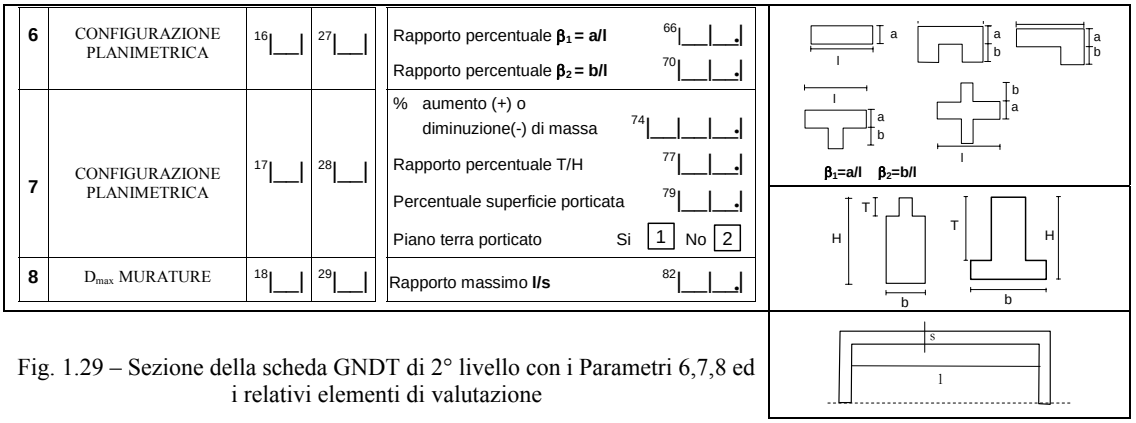


Fig. 1.29 – Sezione della scheda GNDT di 2° livello con i Parametri 6,7,8 ed i relativi elementi di valutazione

Fattori correttivi	Classe di vulnerabilità dei Parametri 6,7,8			
	A	B	C	D
K6 (Par. 6 – Regolarità in pianta)	1.00	0.95	0.90	0.85
K7 (Par. 7 – Regolarità in elevazione)	1.00	0.95	0.90	0.85
K8 (Par. 8 – Distanza massima tra muri)	1.00	0.95	0.90	0.85

Tab. 1.11 – Valori empirici assunti per i coefficienti correttivi *K6*, *K7*, *K8* in funzione della classe di vulnerabilità dei Parametri corrispondenti

2b) Poiché l'attribuzione delle classi di vulnerabilità dei parametri 6,7,8 nella procedura prevista dalla scheda avviene in base a valori di soglia prefissati degli elementi di valutazione riportati nella Fig. 1.29, si ha che anche l'ingresso nella classe ad alta vulnerabilità D è determinato dal semplice superamento dei valori posti a limite superiore e questo porta a non distinguere edifici nei quali i valori di misura delle irregolarità superano anche marcatamente tali limiti. Si possono così avere casi, per esempio, nei quali il rapporto delle dimensioni del corpo dell'edificio in pianta *a/L* scende ben al di sotto del valore limite 30, fino a valori anche minori di 10. Si riscontrano anche casi nei quali il rapporto *l/s*, che misura la massima flessibilità in orizzontale delle pareti comprese tra muri di controvento, supera di molto il limite di 25 che segna l'ingresso nella classe D, anche oltre 35÷40. In quest'ultimo caso edifici con pareti di 50 cm di spessore comprese tra muri di controvento a distanza di 12÷13 m (*l/s* di poco superiore a 25) e quelli con analoghe pareti ma controventate a distanza superiori a 18÷20 m vengono classificati allo stesso livello di elevata vulnerabilità. Un altro aspetto da rimarcare è che il livello di vulnerabilità effettivo viene sottostimato anche quando si verifica un superamento dei valori di soglia per più parametri, con evidente effetto di combinazione negativa. I valori dei fattori correttivi *K* sono stati pertanto estesi oltre la classe D in accordo

con i risultati di una analisi dei valori numerici degli elementi di valutazione effettivamente presenti nei campioni esaminati, come illustrato nella Fig. 1.30 e Fig. 1.31, che evidenzia le frequenze in intervalli che eccedono i limiti fissati per i criteri di valutazione associati ai tre parametri esaminati. Si possono così individuare meglio i casi estremi, nei quali le condizioni di elevata vulnerabilità dell'edificio sono effettivamente determinati da condizioni particolarmente negative, legate al singolo parametro o alla combinazione moltiplicativa di più parametri.

Fattori correttivi	Valori degli elementi di valutazione			Valore del fattore correttivo
K6 (par. 6)	Rapporto a/L 20 ≤ β1 <30 10 ≤ β1 <20 β1 <10	Rapporto b/L 45< β2 ≤60 60< β2 ≤75 β2 >75		0.80 0.75 0.70
K7 (par. 7)	Variaz. massa 40< Δm ≤60 Δm >60	Rapporto T/H 60< T/H ≤80 T/ >80	Sup. porticata 30< sp ≤40 sp >40	0.80 0.70
K8 (par. 8)	Rapporto L/s 35< L/s ≤45 45< L/s ≤55 L/s >55			0.80 0.75 0.70

Tab. 1.12 – Fattori correttivi estesi ai casi estremi nei quali gli elementi di valutazione che portano in classe D i Parametri 6,7,8 eccedono significativamente i valori di soglia

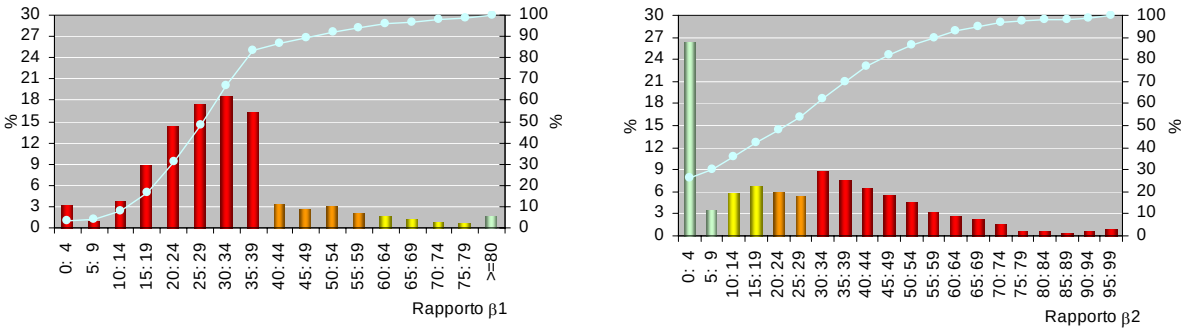


Fig. 1.30 – Distribuzioni degli edifici con *Parametro 6 – Configurazione planimetrica* in classe di vulnerabilità alta D per intervalli dei rapporti percentuali β1 e β2. Si nota la consistente percentuale di edifici con rapporti oltre i valori di soglia: rapporti tra le dimensioni massime in pianta β1=a/L molto minori di 40 e rapporti tra estensione dell'appendice rispetto al lato del corpo principale β 2=b/L molto maggiori di 30

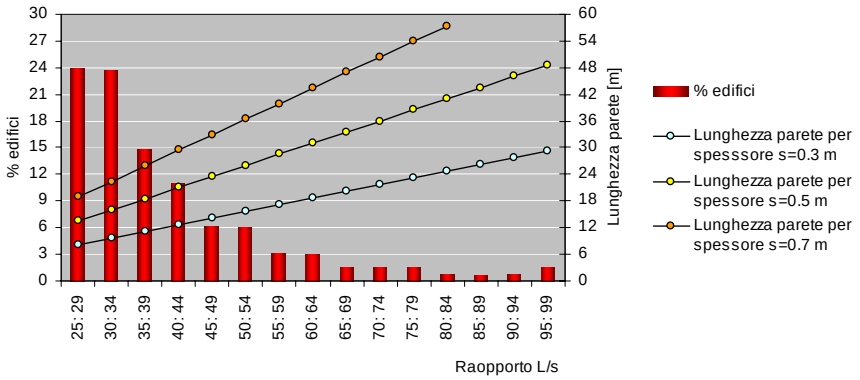


Fig. 1.31 - Distribuzioni degli edifici con *Parametro 8 – Distanza massima murature* in classe di vulnerabilità alta D per intervalli dei rapporti del rapporto percentuale *L/s*. Si nota anche in questo caso la consistente percentuale di edifici oltre la soglia: rapporti *L/s* tra lunghezza libera della parete e spessore molto maggiori 25. Le linee indicano per il valore centrale della classe del rapporto L/s le lunghezze corrispondenti per delle pareti di spesore 0.3, 0.5 0.7 metri

2c) L'incremento di vulnerabilità correlato alla presenza di una altezza di interpiano maggiore e quindi il fattore riduttivo *Kh,* è stato definito prendendo in considerazione l'altezza d'interpiano massima dei piani fuori terra dell'edificio. La scelta dell'altezza d'interpiano massima dei piani fuori terra risulta adatta a identificare in generale i casi in cui è comunque presente un interpiano di dimensioni più elevate nella parte dell'edificio maggiormente coinvolta nella risposta sismica. La procedura considera per detta altezza delle classi di valori e assegna in primo luogo assegna all'edificio il valore dell'estremo superiore della classe d'appartenenza (Tab. 1.13) e, successivamente e in funzione del valore assegnato, calcola il fattore correttivo in maniera differenziata in relazione al numero di piani fuori terra, secondo la relazione funzionale rappresentata nel diagramma della Fig. 1.32. La Fig. 1.33 mostra delle distribuzioni di frequenza degli edifici in muratura per l'Istruzione (7214) per classi di valori dell'altezza di interpiano massima e media calcolata considerando tutti i piani, solo quelli compresi nel calcolo della resistenza convenzionale o quelli fuori terra. Le distribuzioni dei massimi, praticamente coincidenti, denotano una limitatissima presenza di piani di altezza maggiore nei livelli interrati e seminterrati; il contenuto scostamento delle distribuzioni relative ai valori medi rispetto alle precedenti denuncia una prevalente uniformità della dimensione dell'interpiano degli edifici; essa risulta soprattutto evidente per gli edifici ricadenti nella classe modale, dove le frequenze sono tutte comprese fra il 28.4% e il 29.2%.

	Classi di valori delle altezze d'interpiano					
	Hi ≥ 5.5	5.0≤ Hi< 5.5	4.5≤ Hi< 5.0	4.0≤ Hi< 4.5	3.5≤ Hi< 4.0	Hi < 3.5
Altezze convenzionali	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5

Tab. 1.13 – Valori delle altezze d'interpiano assunte nella procedura in maniera convenzionale, in relazione all'intervallo di appartenenza dell'altezza di interpiano media dei piani fuori terra ricavate dai dati metrici della scheda GNDT di 1° livello

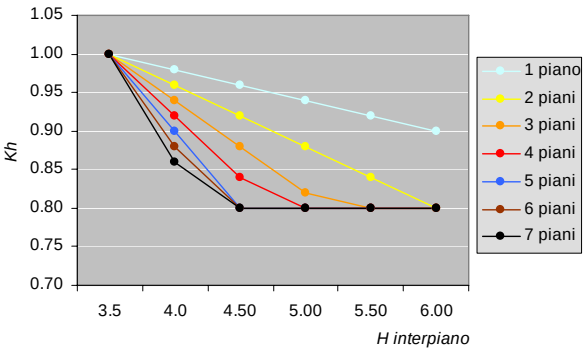


Fig. 1.32- Valori del fattore correttivo *Kh* in funzione dell'altezza d'interpiano e del numero di piani fuori terra dell'edificio

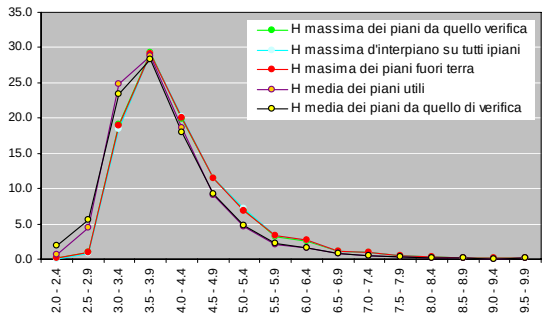


Fig. 1.33- Distribuzioni di frequenza degli edifici in muratura per l'Istruzione (7214) per classi di altezza d'interpiano. Sono confrontate le distribuzioni relative ai valori massimi e medi.

3. Pertanto il valore finale del coefficiente sismico "C" come nuovo indicatore di vulnerabilità per gli edifici in muratura con meccanismo di collasso prevalente di tipo 2-tagliante è dato dalla seguente espressione:

$$C^* = min\ (C'x,\ C'y) \cdot K6 \cdot K7 \cdot K8 \cdot Kh = C_2TK \cdot K^*$$

Dove $C_2TK=min\ (C'x,\ C'y)$ indica il valore minimo tra le due resistenze sismiche calcolate indipendentemente secondo le direzioni ortogonali x e y utilizzando i valori delle resistenze specifiche a taglio aggiornate τ_k'.

4. Come ultimo passo la procedura prevede la determinazione del valore dell'accelerazione di picco al suolo rigido che determina il collasso dell'edificio. Infatti, il valore di "C", determinato quale rapporto tra la resistenza ultima a taglio al piano di verifica ed il peso dell'edificio a tale piano, si può assumere come stima approssimata dell'accelerazione sismica spettrale di collasso dell'edificio S_a e, tenuto conto che il valore di S_a è di tipo statico lineare, è possibile risalire alla accelerazione di picco al suolo rigido attraverso la relazione seguente:

$$PGA = C \cdot \frac{q}{P_{Mod} \cdot \eta \cdot A_{Spett} \cdot S}$$

Dove:

q è il coefficiente di duttilità (o coefficiente di struttura) ed è posto uguale a:
- 1.0 per edifici con meccanismo 1;
- 1.5 per edifici con meccanismo 2;
- 1.25 per gli edifici con meccanismo 3;

P_{Mod} è il coefficiente di partecipazione modale ed è assunto pari a:
- 0.8 per edifici con più di due piani;
- 0.9 per edifici con 2 piani;
- 1 per edifici con 1 piano.

η è il fattore che tiene conto dello smorzamento, espresso come nelle "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", allegate alla OPCM 3274, attraverso un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ nella forma $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)}$, avendo assunto ξ pari al 5% e di conseguenza il fattore di smorzamento è $\eta = 1$;

S è il fattore che tiene conto degli effetti locali legati al profilo stratigrafico del suolo di fondazione e per il quale, non essendoci informazioni specifiche per ciascun edificio sulla scheda, si assume il valore che nelle Norme Tecniche allegate all'OPCM 3274 è associato a terreni del tipo B,C,E di caratteristiche intermedie per i quali S = 1.25.

A_{Spett} è il coefficiente di amplificazione spettrale desunto dallo spettro elastico di normativa relativo ai suoli B,C,E e con il fattore di smorzamento η assunto (valutato stimando il periodo proprio fondamentale dell'edificio mediante l'espressione riportata al punto 4.5.2. delle Norme Tecniche allegate all'OPCM 3274: $T = 0.05 \cdot H^{3/4}$;

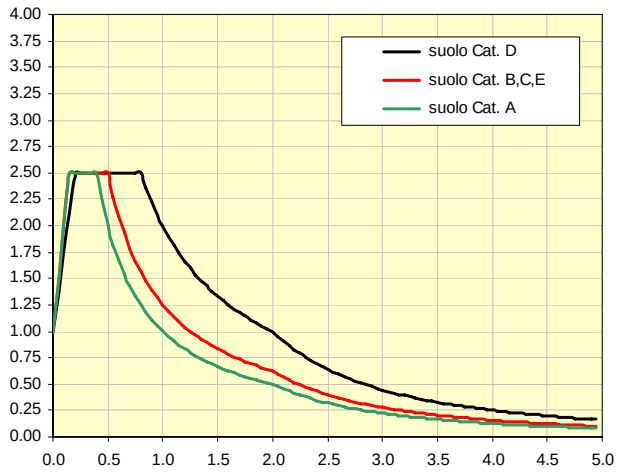


Fig. 1.34 – Spettri elastici normalizzati delle Norme Tecniche per le costruzioni

CALCOLO APPROSSIMATO DELLA PGA SU SUOLO RIGIDO DALLA RESISTENZA SISMICA C

DATI INIZIALI	
C	0.25
Duttilità	2
Coefficiente di partecipazione modale	0.8
Smorzamento	5
Altezza della struttura	9.39
Tipo di terreno	B

DATI CALCOLATI	
Tb	0.15
Tc	0.5
Td	2.0
Coefficiente iniziale di amplificazione spettrale	2.5
Coefficiente di smorzamento η	1
Coefficiente del tipo di terreno	1.25
Periodo proprio (formula sempl. normativa) T	0.27
Coefficiente di amplificazione spettrale * η per T < Tb	3.682064
Coefficiente di amplificazione spettrale * η Tb < T < Tc	2.5
Coefficiente di amplificazione spettrale * η Tc < T < Td	4.660589
Coefficiente di amplificazione spettrale * η Td < T	34.75375
Coefficiente di amplificazione spettrale * η considerato	2.5
PGA	0.2

Si è assunto:
Per il coefficiente di duttilità: per mec 1 = 1; per mec 2 = 1.5; per mec 3 = 1.25
Per il coefficiente di partecipazione modale: 1Piano=1; 2 Piani=0.9; >2 Piani=0.8
Per lo smorzamento: per mec 2, η = 10%; per mec 1 e 3, η = 10%
Per Altezza della struttura = N° di piani x altezza media di interpiano (NP_UTILI x HMED_PUTI)

Il valore di C (resistenza convenzionale) calcolato in base alle schede di II livello GNDT è valutato come il rapporto tra la resistenza ultima a taglio di piano e la forza tagliante di piano; esso corrisponde al valore di Sa, accelerazione spettrale dello spettro di progetto definito nella 3274.

$$PGA = C \cdot \frac{q}{P_{Mod} \cdot \eta \cdot A_{Spett} \cdot S}$$

Per determinare la PGAc su suolo rigido, il valore di C viene moltiplicato per il coefficiente di duttilità e diviso per il coefficiente di partecipazione modale P_{Mod}, il coefficiente di smorzamento η, il coefficiente di amplificazione spettrale A_{Spett} e il valore del fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del terreno S.
Il coefficiente di smorzamento è stato calcolato con una formula approssimata (Dolce – modello semplificato).
Il periodo proprio è stato calcolato con la formula riportata sulla 3274, (abbastanza rispondente alla realtà per edifici con caratteristiche "antisismiche", per gli altri edifici lo sottostima).
Il coefficiente di amplificazione spettrale è stato determinato in base alle formule dello spettro elastico della 3274.

Fig. 1.35 – Foglo di calcolo della PGA di collasso su suolo rigido a partire dal valore della resistenza sismica C per un edificio in muratura

Elaborazioni di controllo sulla procedura

Per quanto riguarda le assunzioni fatte circa i valori delle resistenze specifiche a taglio delle murature, sono stati esaminati i valori assunti dai rilevatori per la valutazione del Parametro 3 relativo al calcolo della resistenza sismica ed è stato effettuato un confronto con i valori di riferimento (convenzionali) assunti e riportati nella Tab. 1.9. I grafici della Fig. 1.36 illustrano i dati della Tab. 1.14 relativi alle frequenze di tutti gli edifici presenti nella base dati, in numero e percentuale, per valori delle sopra citate resistenze specifiche a taglio di tipo convenzionale, distinte anche in relazione alla classe di vulnerabilità assegnata alla qualità del sistema resistente al Parametro 2. Si osserva come complessivamente i valori delle τ_k, siano contenuti al di sotto di 13 t/mq; oltre il 70% degli edifici ha valori ≥ 7, quasi il 24% ha esattamente valore 7 con classe del Parametro 2 prevalentemente in B e C; quelli con valori > 7 hanno coerentemente classe di vulnerabilità in prevalenza in A e B. Gli edifici con valori < 7 sono concentrati nei valori 2 e 4 con classe di vulnerabilità prevalentemente in C e D.

	N° di edifici per Classe di vulnerabilità del Parametro 2						% di edifici per Classe di vulnerabilità del Parametro 2				
τ_k	A	B	C	D	TOT		A	B	C	D	TOT
1	0	2	2	0	4		0.00	0.05	0.08	0.00	0.03
2	45	48	424	225	743		0.54	1.19	16.25	37.75	4.78
3	30	17	80	29	156		0.36	0.42	3.07	4.87	1.00
4	253	329	539	94	1219		3.06	8.19	20.66	15.77	7.85
5	173	246	169	22	612		2.09	6.12	6.48	3.69	3.94
6	588	331	160	15	1096		7.11	8.24	6.13	2.52	7.06
7	1547	1208	826	105	3695		18.69	30.07	31.66	17.62	23.79
8	1404	598	167	25	2204		16.97	14.89	6.40	4.19	14.19
9	821	385	92	35	1336		9.92	9.58	3.53	5.87	8.60
10	1528	378	55	4	1967		18.47	9.41	2.11	0.67	12.66
11	285	96	59	22	463		3.44	2.39	2.26	3.69	2.98
12	1099	193	26	15	1334		13.28	4.80	1.00	2.52	8.59
13	2	2	0	0	4		0.02	0.05	0.00	0.00	0.03
14	28	10	1	1	40		0.34	0.25	0.04	0.17	0.26
15	33	9	2	0	44		0.40	0.22	0.08	0.00	0.28
16	20	7	1	0	28		0.24	0.17	0.04	0.00	0.18
17	0	1	0	0	1		0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
18	338	71	4	3	416		4.08	1.77	0.15	0.50	2.68
19	3	1	0	0	4		0.04	0.02	0.00	0.00	0.03
20	76	79	1	0	156		0.92	1.97	0.04	0.00	1.00

Tab. 1.14 – Numero e percentuale di edifici per valori della resistenza specifica della muratura τ_k, assunti per il calcolo della resistenza convenzionale "C" del Parametro 3, distinti per classe di vulnerabilità assegnata alla muratura al Parametro 2 (qualità del sistema resistente)

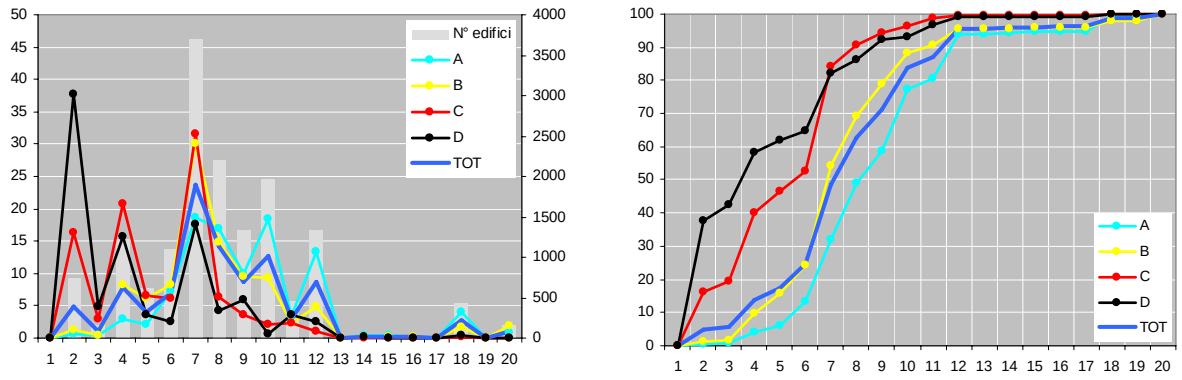


Fig. 1.36 – Distribuzione percentuale dei valori delle τ_k della muratura assunte dai tecnici rilevatori per il calcolo della resistenza convenzionale "C" al Parametro 3 della scheda GNDT di 2° livello, distinti per classe di vulnerabilità assegnata alla muratura al Parametro 2 (qualità del sistema resistente)

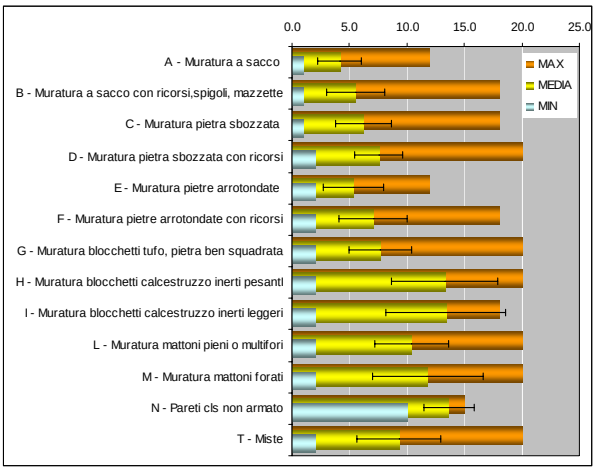


Fig. 1.37 – Valori medi, minimi e massimi delle resistenze specifiche a taglio per tipo di muratura degli edifici scolastici della base dati

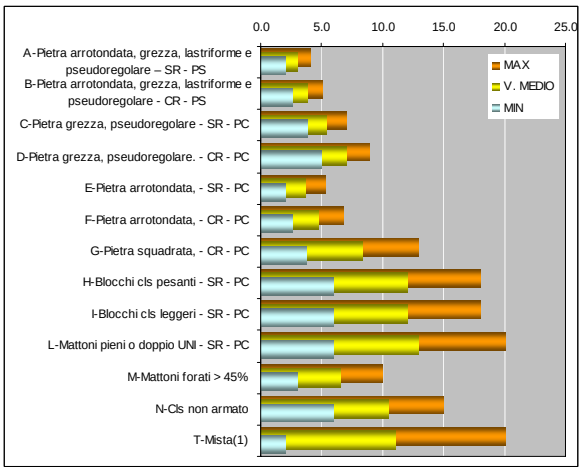


Fig. 1.38– Valori medi, minimi e massimi delle resistenze specifiche a taglio convenzionali assunti nella procedura per tipologia di muratura riportati nella Tab. 1.9

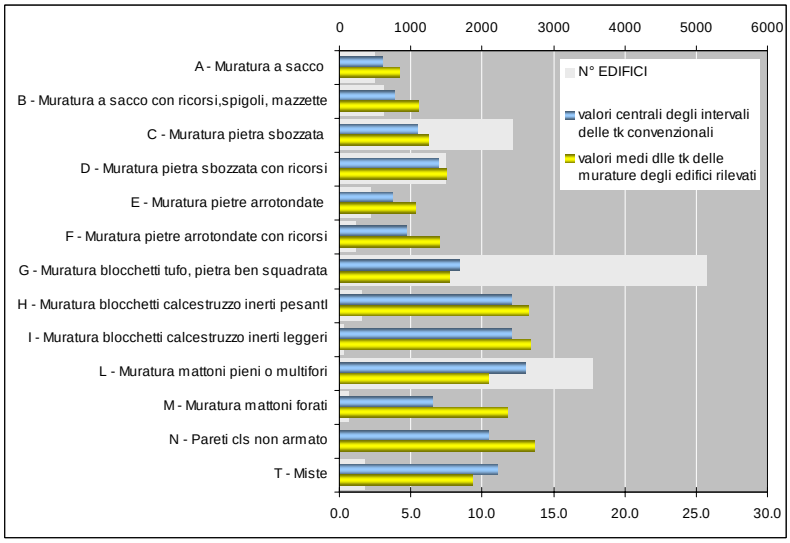
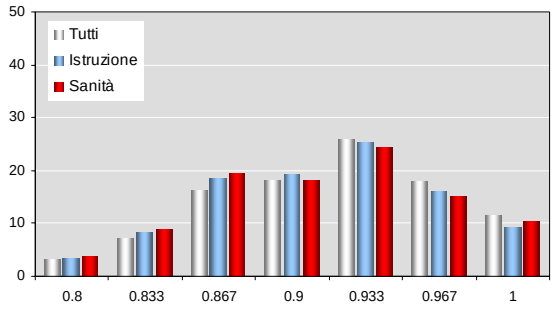


Fig. 1.39– Confronto tra i valori medi delle resistenze specifiche e taglio delle tipologie di muratura della base dati e quelli intermedi convenzionali assunti nella procera riportati nelle due figure precedenti. Sono indicati anche le frequenze asolute di ciascuna tipolgia di muratura.

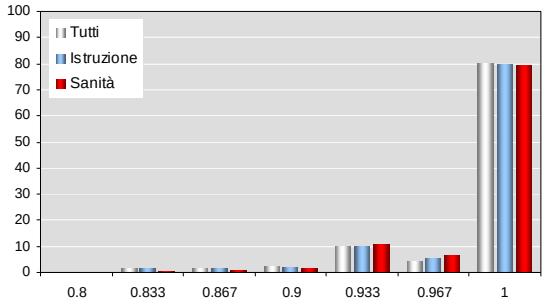
Nella Fig. 1.37 sono illustrati i valori statistici delle resistenze specifiche a taglio τ_k delle varie tipologie di muratura degli edifici scolastici presenti nella base dati e nella Fig. 1.38 sono riportati i valori limite convenzionali della Tab. 1.9, assunti nella procedura con i relativi valori medi. La Fig. 1.39, che evidenzia anche la frequenza assoluta di ogni tipologia muraria, mette a confronto i valori medi delle due precedenti che risultano generalmente prossimi.

Si esaminano poi alcune elaborazioni fatte sui dati relative ai coefficienti correttivi *K* allo scopo di controllare la accettabilità dei criteri assunti per la loro determinazione, rispetto alle finalità del modello prefigurato. Si riportano in particolare le distribuzioni dei valori di detti coefficienti per gli edifici in muratura con meccanismo 2, relativamente a tutti gli edifici in muratura e a quelli per l'Istruzione e la sanità. Le distribuzioni dei valori del fattore *K6* evidenziano una presenza di edifici con diverso grado di irregolarità in pianta anche con casi nei quali essa è particolarmente accentuata, come di fatto frequentemente si riscontra nella conformazione articolata degli edifici scolastici in particolare. Si osserva la scarsa influenza del fattore *K7* legato alla regolarità in elevazione in quanto gli elementi di valutazione associati al parametro 7, che riguardano la variazione di massa e di forma con l'altezza e la presenza di superficie porticata, generalmente si presentano in casi limitati ed in misura contenuta negli edifici in muratura ed in particolare nel caso delle scuole.

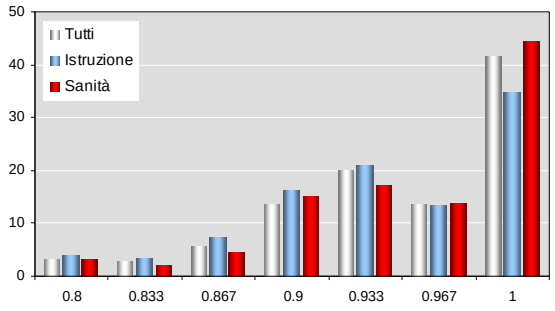
Fattore correttivo *K6* – Regolarità in pianta



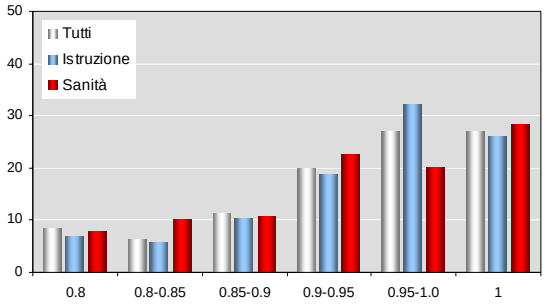
Fattore correttivo *K7* – Regolarità in elevazione



Fattore correttivo *K8*– Lunghezza/spessore delle pareti



Fattore correttivo *Kh* – Altezza d'interpiano



Fattore correttivo globale *K*= K6*K7*K8*Kh*

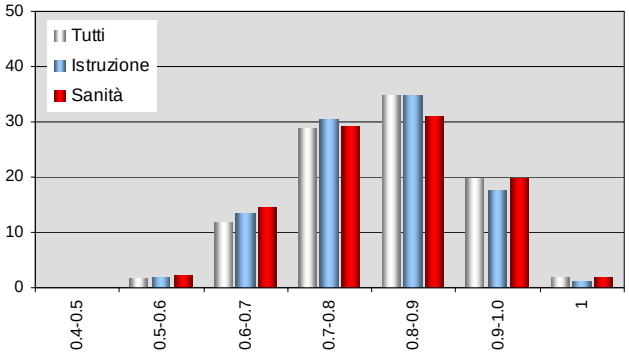


Fig. 1.40– Frequenze percentuali dei valori dei fattori correttivi *K6, K7, K8, Kh* e di quello globale *K*= K6*K7*K8*Kh*.

Per quanto riguarda le distribuzioni dei valori del fattore *K8*, si può osservar che la presenza di edifici con pareti strutturali con un elevato rapporto tra lunghezza, compresa tra pareti di controvento, e spessore è significativa e questo è sicuramente riconducibile al fatto che gli edifici scolastici, ma anche quelli destinati ad altre funzioni pubbliche, sono con frequenza caratterizzati dalla presenza di ambienti di grandi dimensioni. In alcuni casi questo dato può risultare condizionato dal fatto che è stato rilevato in corrispondenza dei corridoi, che naturalmente presentano un elevato sviluppo longitudinale. Ma è da sottolineare il fatto che molti dei casi estremi, più frequentemente riscontrabili nelle zone non classificate, possono invece essere identificati con morfologie costruttive caratterizzate dalla presenza di sole pareti strutturali perimetrali, con suddivisioni interne realizzate con pareti di spessore ridotto, non in grado di esplicare una efficace azione di controventamento o anche addirittura di tipo non strutturale. Questi casi possono risultare particolarmente vulnerabili e dare luogo a condizioni di rischio elevato, specialmente se situati in zone che la riclassificazione del territorio pone a più elevata pericolosità sismica. Il fattore *Kh* relativo all'altezza di interpiano presenta una

distribuzione con frequenze consistenti in tutti i valori, con circa un 26% tra 0.8 e 0.9 che evidenzia l'entità dei casi più sfavorevoli. Anche questo fattore è significativamente collegato alle caratteristiche tipologiche e funzionali degli edifici scolastici ed ospedalieri che presentano dimensioni in altezza degli ambienti mediamente superiori a quelle dell'edilizia ordinaria, specialmente gli edifici progettati e realizzati in epoche meno recenti.
Le distribuzioni risultate dal prodotto dei 4 fattori K^* si presenta con un andamento quasi normale, con valori compresi tra 0.5 e 1, frequenze di poco meno del 2% in corrispondenza di questi estremi e un massimo modale nell'intervallo 0.8-0.9. Come si nota quindi le scelte fatte per i 4 fattori che tengono conto delle irregolarità e l'applicazione della loro combinazione moltiplicativa portano ad un numero molto limitato di edifici (<2%) a dimezzare la resistenza sismica e circa il 40% del totale ad una riduzione compresa tra il 20% e il 40%.

1.3.3 Applicazione della procedura e illustrazione dei risultati relativi alla valutazione delle resistenze sismiche ultime a taglio

La procedura sopra descritta è stata implementata in un programma di calcolo utilizzato per l'elaborazione dell'insieme dei dati relativi a tutti gli edifici pubblici in muratura caratterizzati da un meccanismo di collasso di tipo tagliante (mec2). I risultati ottenuti riguardanti la rivalutazione della resistenza sismica a collasso "*C*" sono stati esaminati e vengono di seguito illustrati. Un primo esame eseguito sui valori delle resistenze specifiche a taglio ottenuto apportando le modifiche descritte in precedenza viene illustrato attraverso l'esame di alcune elaborazioni.
Le statistiche relative ai valori delle τ_k a rottura degli edifici scolasti assunte nella procedura riportati nella Fig. 1.41 mostrano valori medi che per le murature di pietrame variano tra poco più di 6 t/mq a poco più di 13 t/mq e per quelle in elementi artificiali da 12 t/mq a poco più di 20 t/mq; i massimi sono tutti minori di 30 t/mq. La Fig. 1.42 evidenzia le differenze percentuali tra i valori medi corretti e quelli dei dati rilevati sempre relativamente alle scuole, differenze che sono più marcate per le murature in pietra sbozzata C e D e per quelle in blocchi di tufo G e che mediamente sono intorno al 45%.

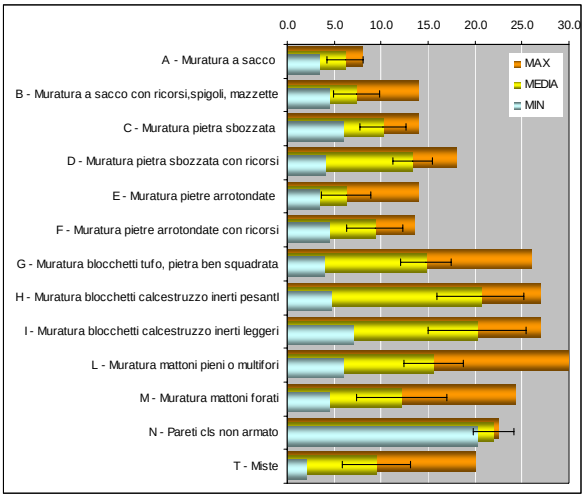


Fig. 1.41 – Edifici per l'Istruzione: valori medi, minimi e massimi delle resistenze a rottura τ_k delle varie tipologie murarie corrette secondo le assunzioni della procedura,

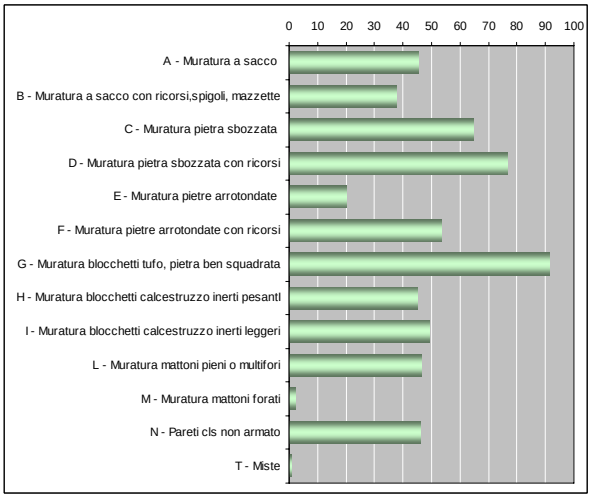
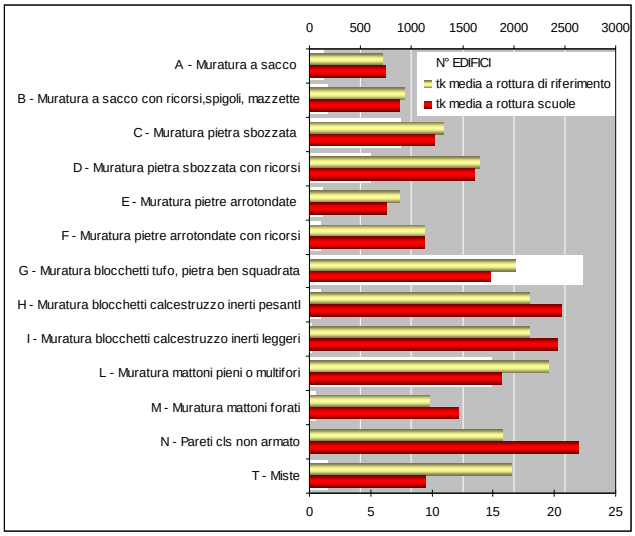
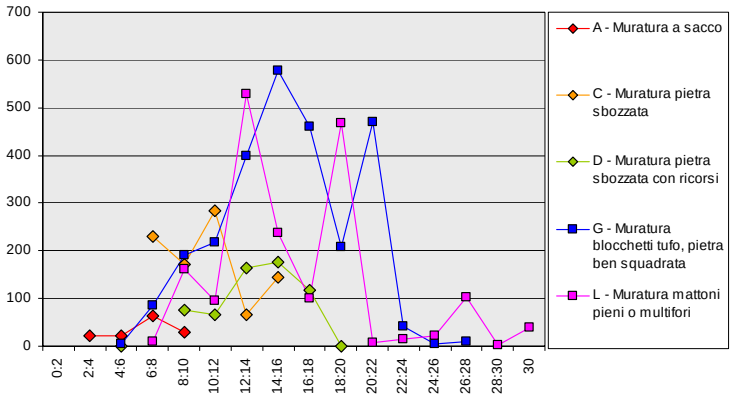


Fig. 1.42- Edifici per l'Istruzione: differenze percentuali nei valori medi per le varie tipologie murarie tra le resistenze a rottura τ_k,corrette secondo le assunzioni della procedura, e quelle di rilievo della base dati



Tipologia muraria	τ_k media a rottura dai dati delle scuole	τ_k media a rottura di riferimento
A	6.18	6.0
B	7.36	7.7
C	10.23	10.9
D	13.38	13.9
E	6.27	7.3
F	9.35	9.4
G	14.78	16.8
H	20.60	18.0
I	20.23	18.0
L	15.59	19.5
M	12.17	9.8
N	21.94	15.8
T	9.50	16.5

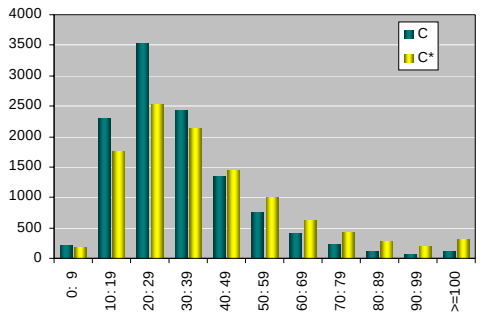
Fig. 1.43- Edifici per l'Istruzione: confronto tra i valori medi delle resistenze τ_k a rottura corretti secondo la procedura ed i valori assunti come riferimento



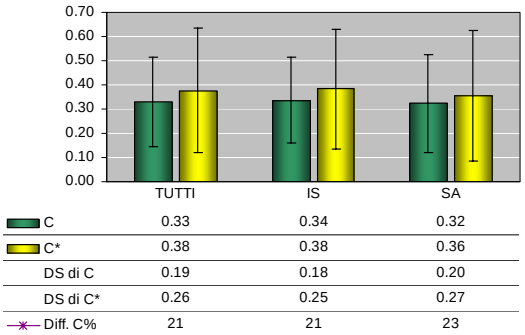
τ_k	A	C	D	G	L
0:2					
2:4	22				
4:6	22		1	4	
6:8	63	230		86	10
8:10	30	172	75	192	161
10:12		284	67	218	96
12:14		65	164	400	528
14:16		144	177	577	237
16:18			118	459	100
18:20			1	208	467
20:22				469	7
22:24				42	15
24:26				6	21
26:28				10	102
28:30					3
30					38
	137	895	603	2671	1785

Fig. 1.44- Edifici per l'Istruzione: distribuzioni dei valori delle resistenze τk a rottura corretti secondo la procedura relativi alle tipologie di muratura più frequenti

Il grafico e la tabella della Fig. 1.43 mettono a confronto i valori medi delle τ_k a rottura delle varie tipologie murarie, risultanti dalla correzione effettuata secondo le assunzioni della procedura, con i valori di riferimento; questi ultimi sono il prodotto dei valori intermedi tra quelli estremi indicati nella Tab. 1.9 per i relativi moltiplicatori. Si vede che l'aggiornamento apportato ha di fatto prodotto valori medi di resistenza a taglio specifica per le varie tipologie molto vicini a quelli di riferimento, ad eccezione di alcuni casi particolari come la N (pareti in cls non armato) e T (miste) che sono anche poco frequenti. Nella successiva Fig. 1.44 sono esaminate in dettaglio le distribuzioni di frequenza delle τ_k per le tipologie maggiormente ricorrenti per le scuole in muratura presenti nella base dati: per la muratura A - a sacco i valori risultano distribuiti tra 2 e 10 con una leggera prevalenza nell'intervallo 6-8; per quella C-pietra sbozzata e D- sbozzata con ricorsi, il campo di variabilità è tra 7 e 17, con punta per il primo tipo nell'intervallo 10-12 e concentrazione per il secondo in 12-18; le due tipologie G-blocchi in tufo o pietra squadrata e L-mattoni pieni o multifori, presentano entrambe due picchi, che risultano spostati verso valori più elevati per la tipologia G, che sono determinati dalla compresenza in entrambe di elementi qualitativamente diversi per costituzione e/o per stato di conservazione.



(a)



(b)

Fig. 1.45- Resistenze sismiche a collasso relative a tutti gli edifici in muratura: in (a) sono confrontate le distribuzioni in numero di quelle di rilievo *C* con quelle ricalcolate con la procedura $C^* = C_2TK \cdot K^*$; in (b) i valori medi con le deviazioni standard, anche per gli edifici dell'Istruzione e della Sanità

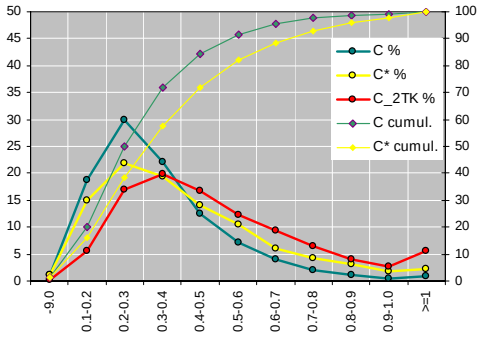


Fig. 1.46- Edifici Scolastici: distribuzioni percentuali dei valori delle resistenze sismiche a collasso *C*, *C** e *C_2TK*

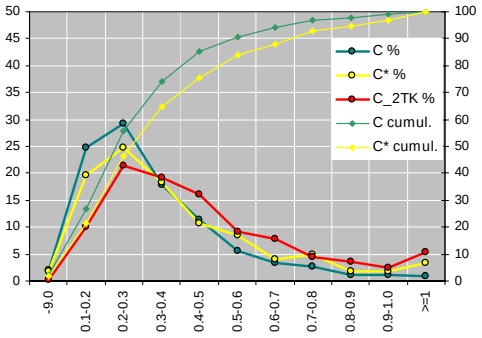
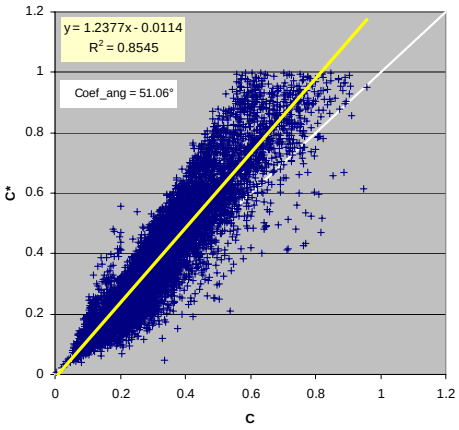
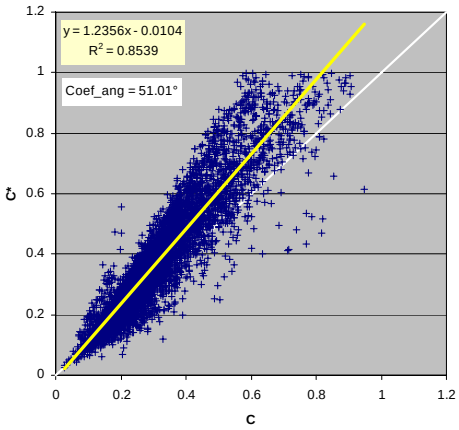


Fig. 1.47- Edifici per la Sanità: distribuzioni percentuali dei valori delle resistenze sismiche a collasso *C*, *C** e *C_2TK*



(a)



(b)

Fig. 1.48 – Correlazioni tra i valori di C e C* relativi a tutti gli edifici (a) e a quelli per l'Istruzione (b)

Valori della resistenza sismica a collasso più appropriati per edifici con meccanismo 2, chiamati *C_2TK*, sono stati calcolati, come già detto in precedenza, impiegando all'interno della procedura valori delle resistenze specifiche a taglio controllati ed eventualmente adeguati; essi poi sono quindi stati corretti attraverso i moltiplicatori *K**, che tengono conto degli altri fattori di vulnerabilità considerati, per conseguire il valore definitivamente corretto della resistenza sismica *C**. Il diagramma a blocchi della Fig. 1.45 (a) fornisce un confronto fra le distribuzioni di frequenza dei valori di *C* e *C** relative all'insieme di tutti gli edifici in muratura della base dati; la Fig. 1.45 (b) mostra il confronto dei valori medi con riferimento anche agli edifici dell'Istruzione e della Sanità. Le

modifiche apportate dalla procedura determinano un generale incremento dei valori della resistenza, mediamente contenuto, e un incremento nella dispersione che naturalmente riflette la correzione introdotta dai fattori *K,* il cui prodotto *K** ha un valor medio intorno a 0.8 come si riscontra anche dalla distribuzione nella Fig. 1.40. Per gli edifici dell'Istruzione e per quelli della Sanità sono riportate le distribuzioni percentuali delle resistenze *C*, *C_2TK* e *C** nei grafici in Fig. 1.46 e Fig. 1.47 rispettivamente: da essi si rileva che gli edifici sanitari esaminati presentano una percentuale leggermente maggiore con resistenze sismiche basse e che la procedura migliora, sempre in misura contenuta, di più quelle degli edifici scolastici, segno che i primi di fatto hanno caratteristiche di maggiore vulnerabilità. I diagrammi a dispersione in Fig. 1.48 forniscono, attraverso la rappresentazione di *C** in funzione di *C* e la relativa retta di regressione, una rappresentazione globale dell'entità dell'effettivo incremento prodotto dall'applicazione della procedura sull'insieme degli edifici della base dati e sulle scuole.

Di seguito sono riportati (da Fig. 1.49 a Fig. 1.52) alcuni diagrammi con i valori statistici delle resistenze sismiche *C* e *C** per le regioni e le province censite, relativi al totale degli edifici, a quelli dell'Istruzione, della Sanità ed Ospedalieri. Essi mostrano il già evidenziato incremento determinato dalla procedura che si rivela tuttavia più contenuto in alcune regioni e province in relazione sicuramente con le tipologie murarie prevalenti presenti, per le quali, come osservato in precedenza, vengono apportate correzioni in misura diversa della resistenza specifica. Risulta anche abbastanza evidente la sussistenza di differenze nei livelli medi di resistenza sismica anche significative tra le regioni e anche tra province in alcune regioni. Si notano subito i valori più bassi presenti nella regione Molise e la differenza tra le sue due province. La Tab. 1.15 riassume i valori medi e le relative dispersioni per regione: quelle con valori medi più bassi (evidenziate) sono Sicilia, Molise e Basilicata; nel caso degli edifici per la Sanità e gli Ospedali in particolare, il valore medio più basso si trova in Basilicata; anche la Campania presenta valori bassi per questo tipo di edifici, mentre per l'Abruzzo i valore scendono solo per quelli ospedalieri.

	Tutti gli edifici			Istruzione			Sanità			Ospedali		
Regione	C* media	DS	CV%	C* media	DS	CV%	C* media	DS	CV%	C* media	DS	CV%
Abruzzo	0.361	0.252	70	0.384	0.249	65	0.368	0.326	89	0.204	0.147	72
Basilicata	0.300	0.254	85	0.301	0.222	74	0.228	0.142	62	0.141	0.082	58
Calabria	0.343	0.263	77	0.369	0.271	73	0.332	0.262	79	0.266	0.245	92
Campania	0.335	0.239	71	0.350	0.236	68	0.279	0.246	88	0.204	0.183	90
Molise	0.280	0.199	71	0.261	0.141	54	0.284	0.148	52	0.230	0.036	16
Puglia	0.362	0.258	71	0.311	0.170	55	0.367	0.293	80	0.333	0.235	70
Sicilia	0.265	0.213	80	0.260	0.209	80	0.260	0.197	76	0.243	0.190	78

Tab. 1.15 – Valori medi, deviazioni standard e coefficienti di variazione delle resistenze sismiche *C** degli edifici in muratura per regione e tipo di funzione (le intensità di colore indicano valori progressivamente decrescenti)

Una analisi è stata anche condotta per osservare la relazione tra le resistenze sismiche e le tipologie di muratura degli edifici. Nelle figure da Fig. 1.53 a Fig. 1.66, per ogni regione, sono riportati alcuni diagrammi che illustrano, per i tipi murari prevalenti nelle province, le distribuzioni degli edifici relativi per classi di valori delle resistenze *C* e *C**; altri diagrammi mostrano anche come variano le distribuzioni della sola resistenza *C**, sempre per tipologia di muratura, per gli edifici costruiti prima del 1945 e dopo.

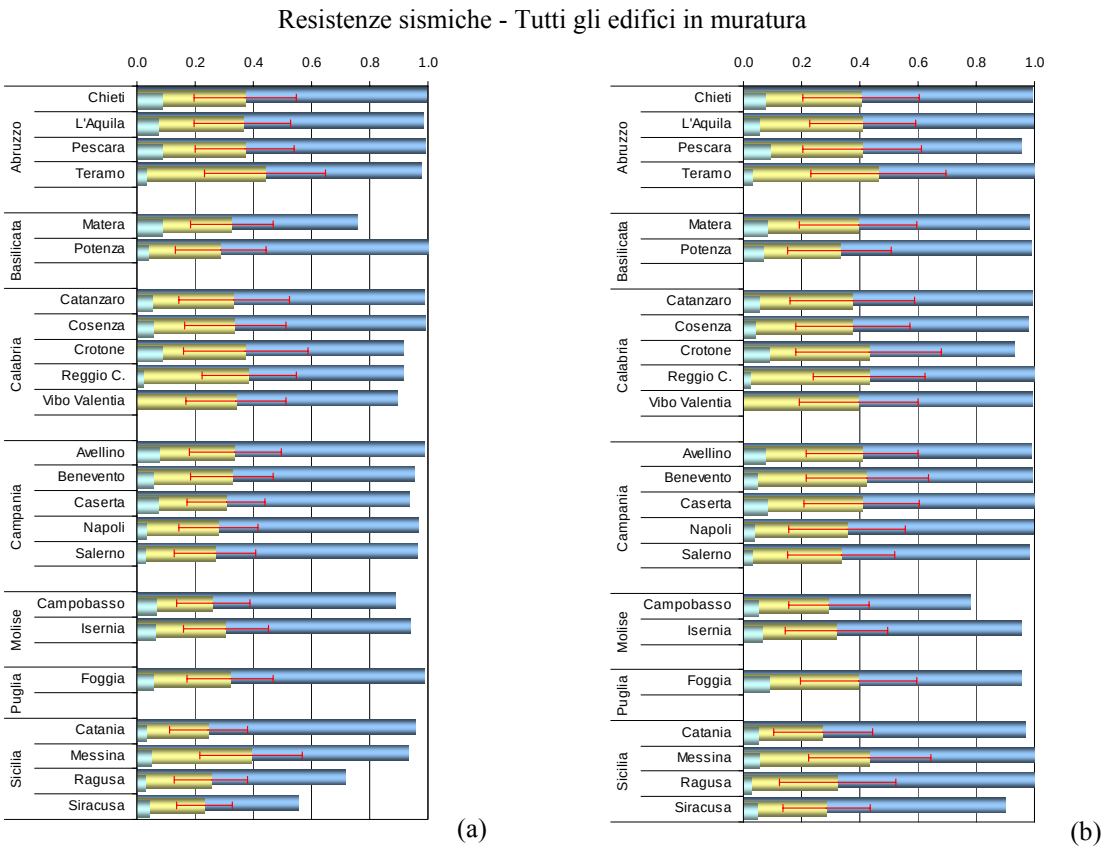


Fig. 1.49 – Valori medi con DS, minimi e massimi per provincia delle resistenze sismiche C (a) e C* (b)

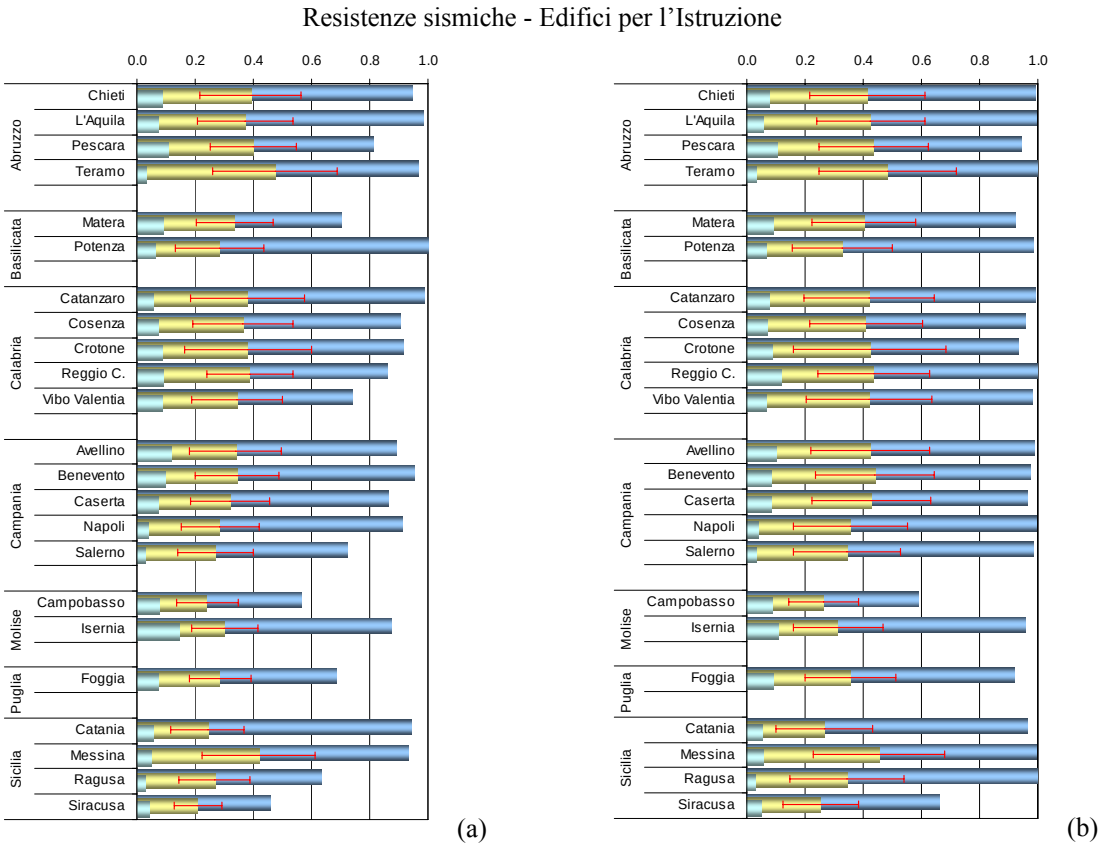


Fig. 1.50 – Valori medi con DS, minimi e massimi per provincia delle resistenze sismiche C (a) e C* (b)

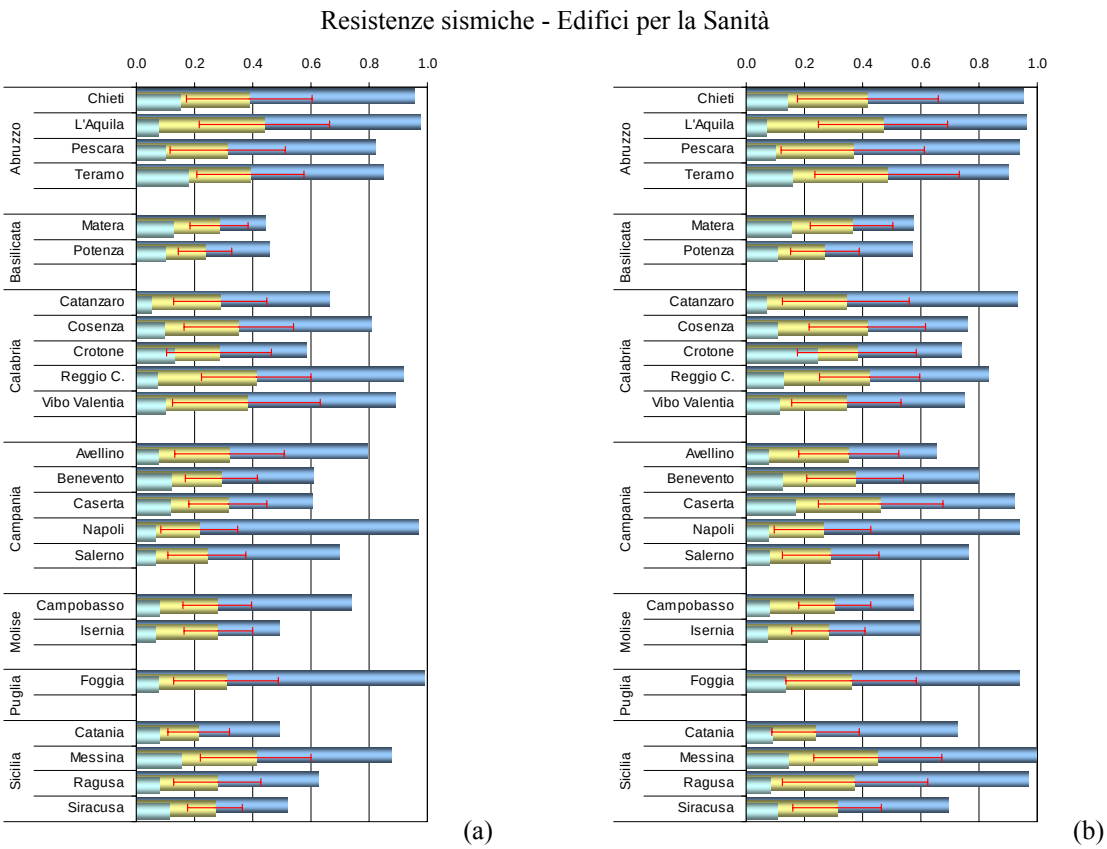


Fig. 1.51 – Valori medi con DS, minimi e massimi per provincia delle resistenze sismiche C (a) e C* (b)

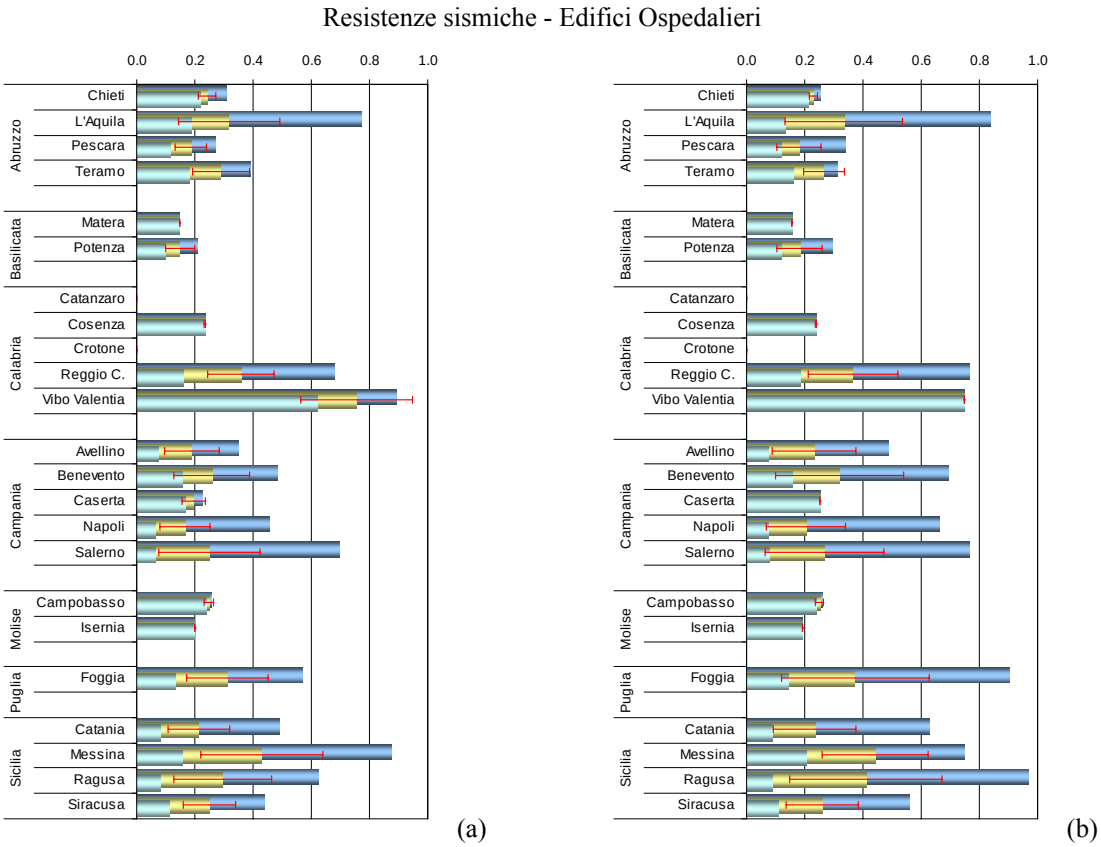


Fig. 1.52 – Valori medi con DS, minimi e massimi per provincia delle resistenze sismiche C (a) e C* (b)

ABRUZZO – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

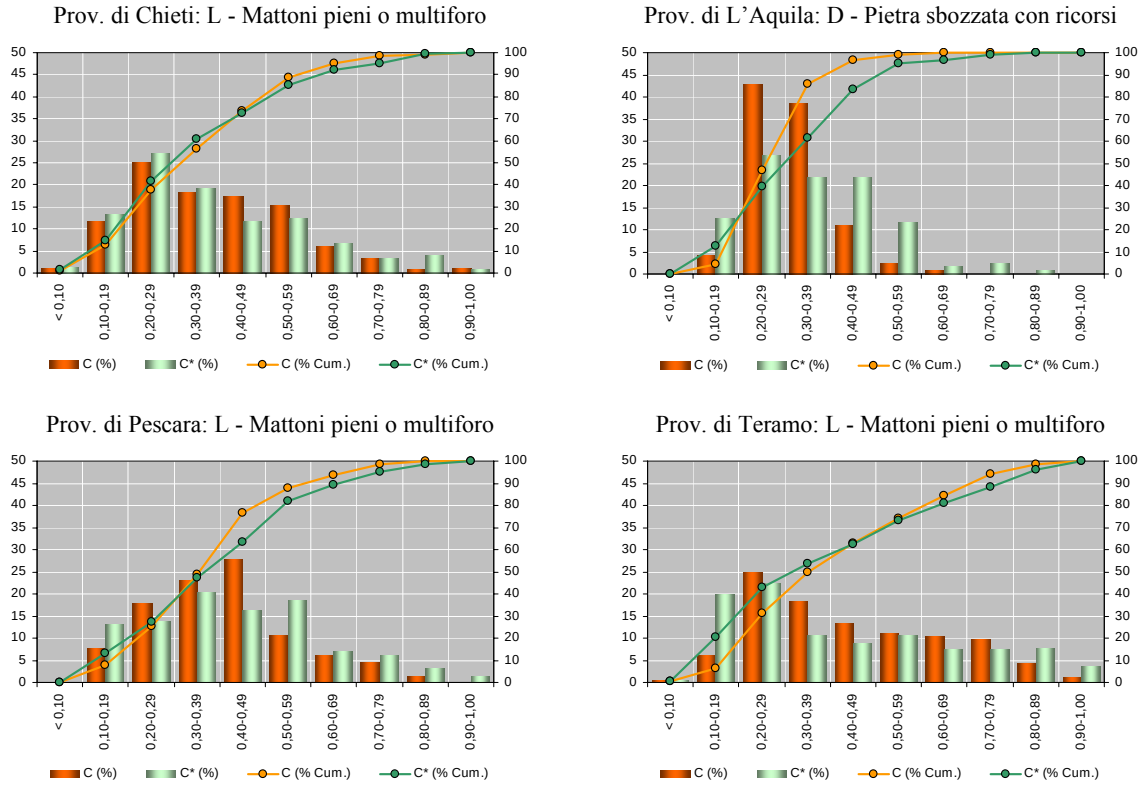


Fig. 1.53 – Abruzzo: distribuzioni percentuali delle resistenze sismiche C e C* degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia

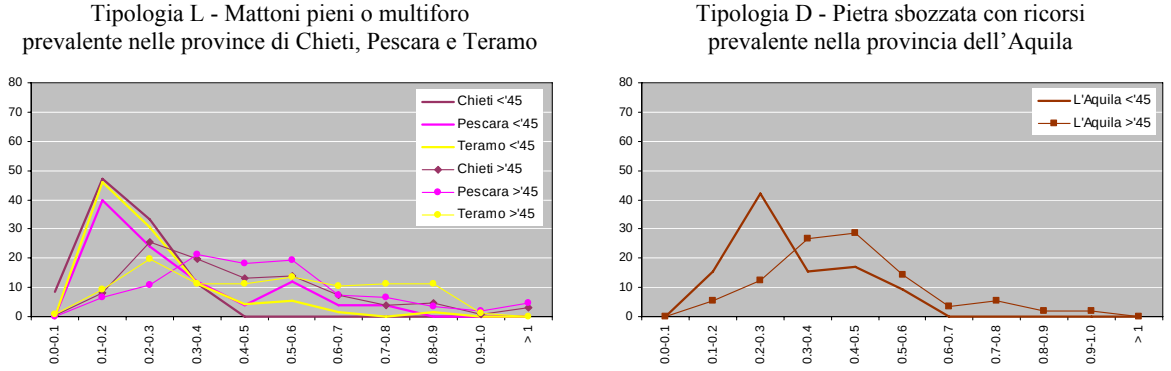


Fig. 1.54 – Abruzzo: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria L e D prevalenti nella regione

BASILICATA – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

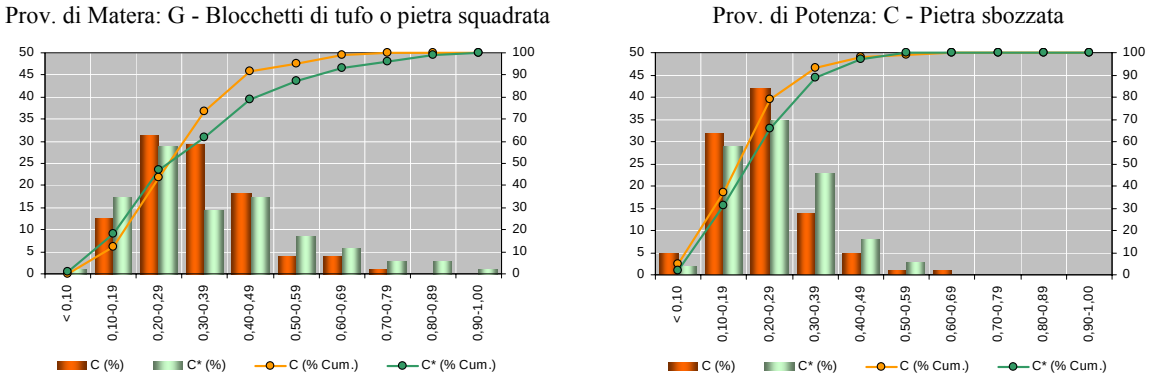


Fig. 1.55 – Basilicata: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

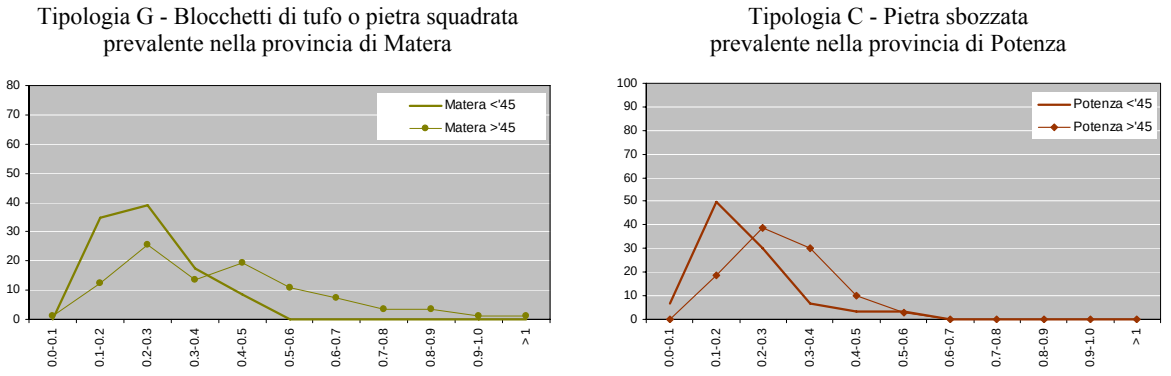
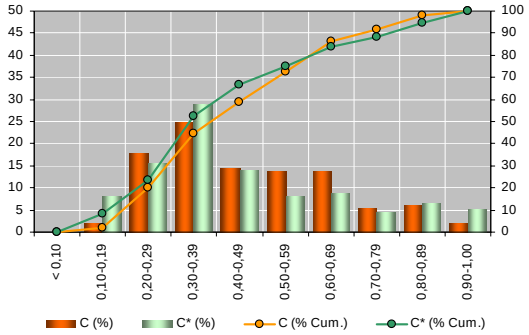


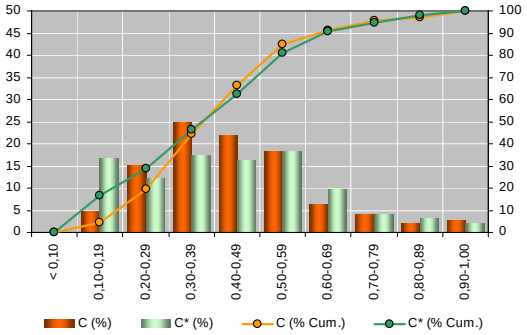
Fig. 1.56 – Basilicata: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria L e D prevalenti nella regione

CALABRIA – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

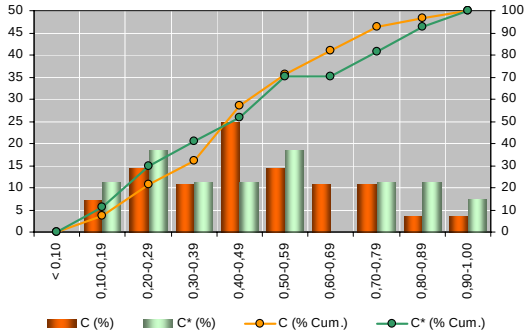
Prov. di Catanzaro: L - Mattoni pieni o multiforo



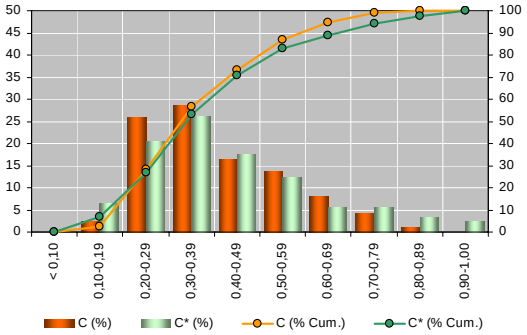
Prov. di Cosenza: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Crotone: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Reggio Calabria: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Vibo Valentia: L - Mattoni pieni o multiforo

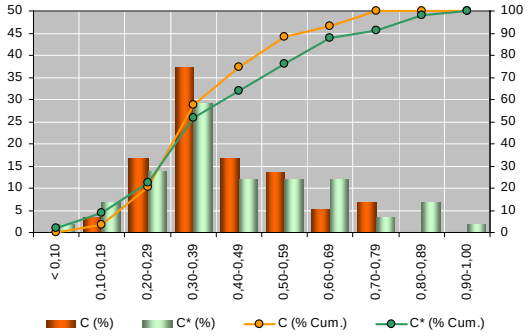
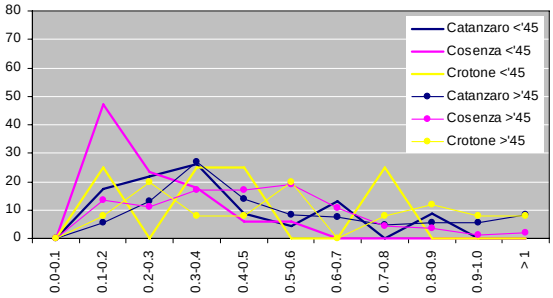


Fig. 1.57 – Calabria: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per calssi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata prevalente nella provincia di Matera



Tipologia C - Pietra sbozzata prevalente nella provincia di Potenza

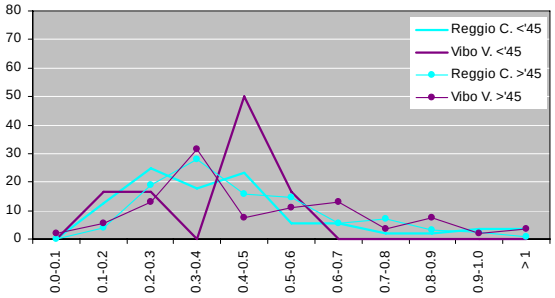
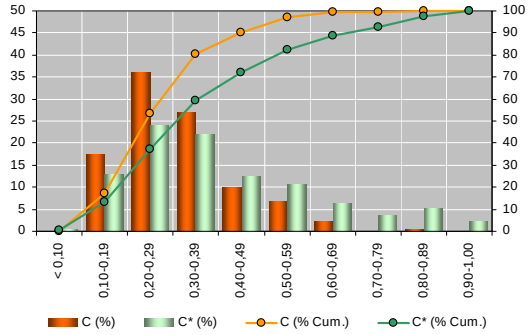


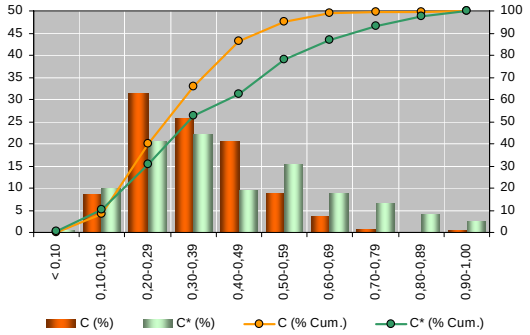
Fig. 1.58 – Basilicata: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria L e D prevalenti nella regione

CAMPANIA – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

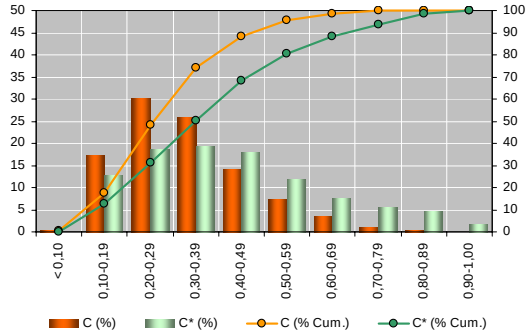
Prov. di Avellino: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



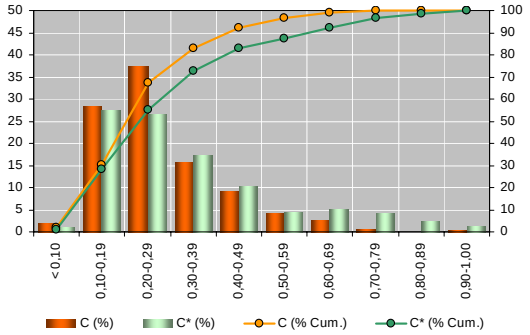
Prov. di Benevento: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Caserta: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Napoli: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Salerno: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

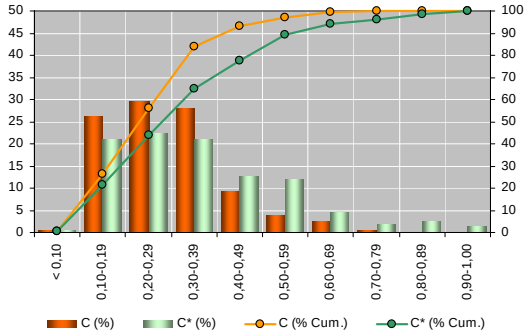
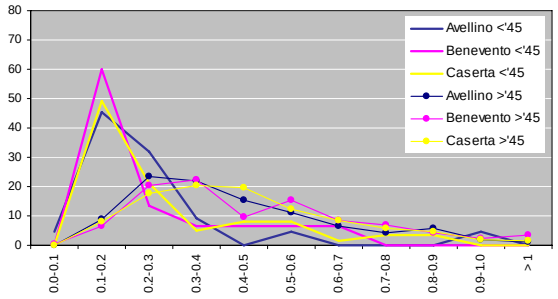


Fig. 1.59 – Campania: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata
prevalente nella provincia di Matera



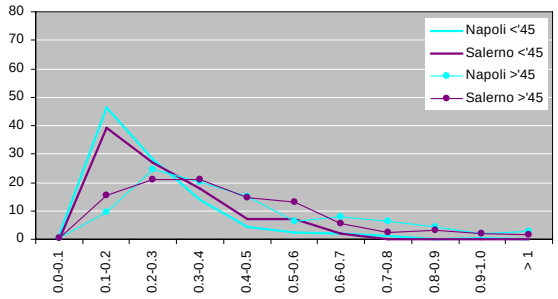
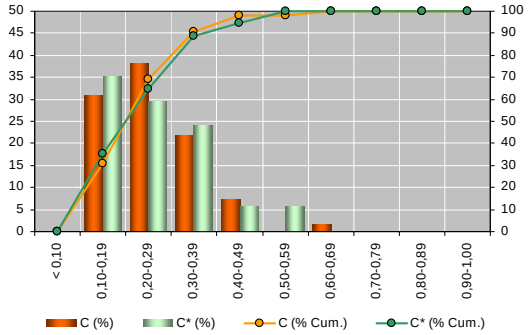


Fig. 1.60 – Campania: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria G prevalente nella regione

MOLISE – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

Prov. di Campobasso: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Isernia: E - Pietra arrotondata

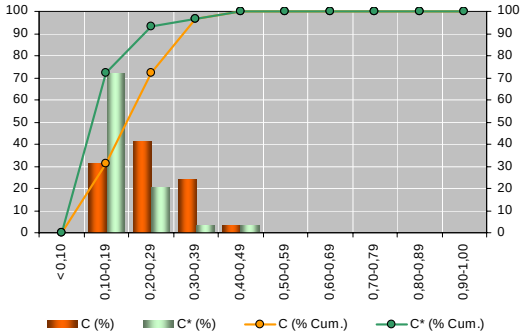
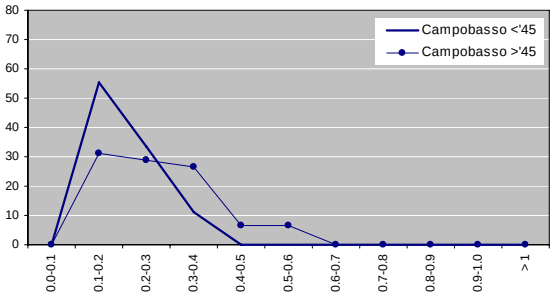


Fig. 1.61– Molise: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo
prevalente nella provincia di Campobasso



Tipologia E - Pietra arrotondata
prevalente nella provincia di Isernia

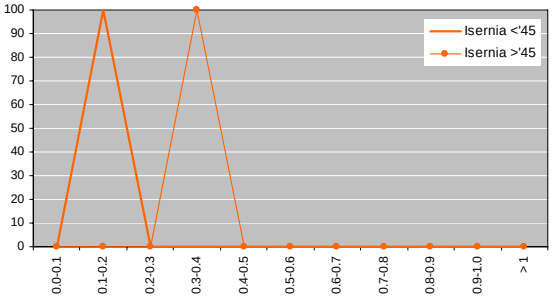


Fig. 1.62 – Molise: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria L ed E prevalenti nella regione

PUGLIA – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

Prov. di Foggia: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

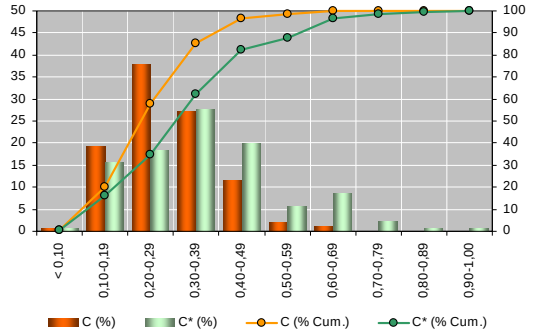


Fig. 1.63– Puglia: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata
prevalente nella provincia di Foggia

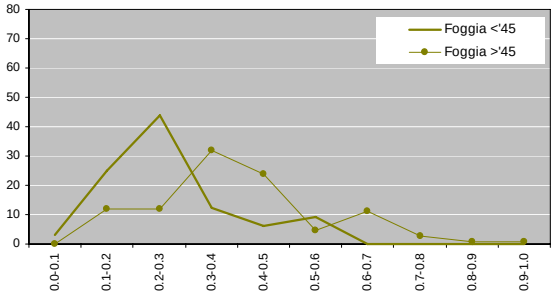
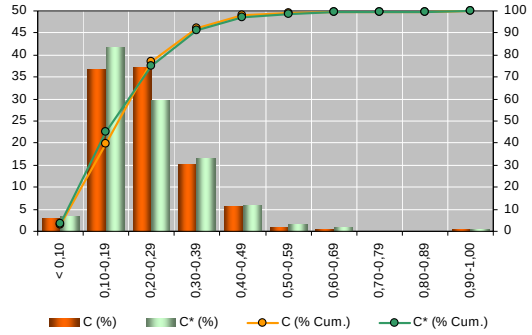


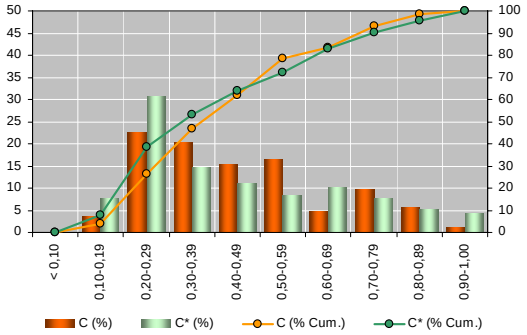
Fig. 1.64 – Puglia: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria G prevalente nella Provincia

SICILIA – Edifici scolastici: resistenze sismiche C* delle tipologie murarie prevalenti

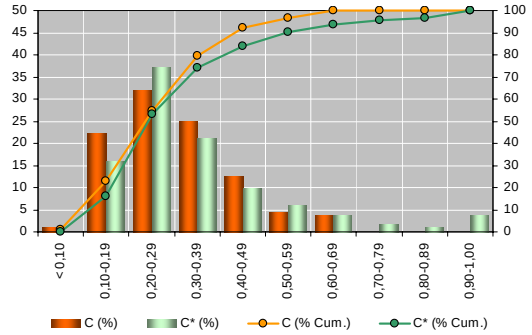
Prov. di Catania: C - Pietra sbozzata



Prov. di Messina: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Ragusa: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Siracusa: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

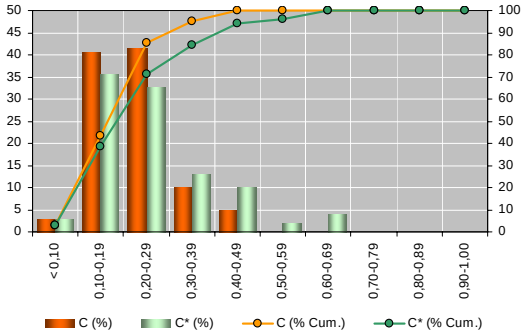
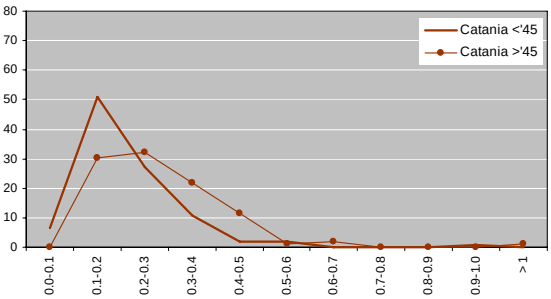
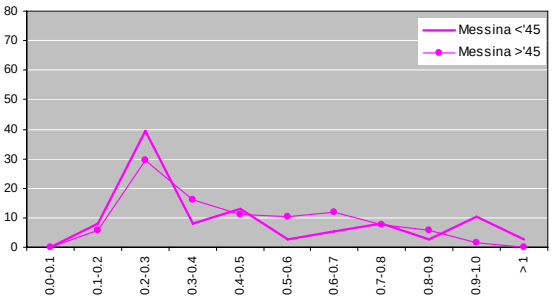


Fig. 1.65 – Sicilia: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

Tipologia C - Pietra sbozzata
prevalente nella provincia di Catania



Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo
prevalente nella provincia di Messina



Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata
prevalente nelle province di Ragusa e Siracusa

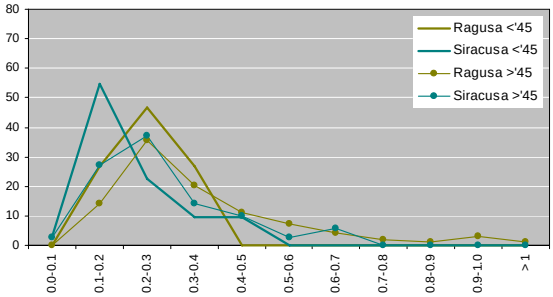


Fig. 1.66 – Sicilia: distribuzioni delle resistenze sismiche C* degli edifici scolastici costruiti prima e dopo il 1945 con tipologia muraria C, L ed G prevalenti nella regione

OSPEDALI

Tutte le regioni: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

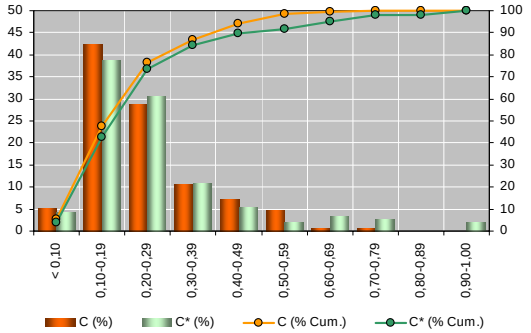


Fig. 1.67– Ospedali: distribuzioni percentuali degli edifici ospedalieri con la tipologia muraria prevalente in tutte le regioni censite per classi dei valori delle resistenze sismiche C e C*

Una particolare analisi è stata fatta relativamente alla correlazione tra indice di vulnerabilità *Iv* e resistenza sismica *C**. Nelle successive tabelle e figure sono illustrati i risultati per tutti gli edifici in muratura della base dati, per quelli scolastici ed ospedalieri, attraverso le distribuzioni e le statistiche effettuate correlando i valori di *Iv* per classi intervallate di 5 punti e quelli di *C** per classi intervallate di 0.1. L'insieme di tutti gli edifici e quelli scolastici mostrano distribuzioni (Tab. 1.17, Fig. 1.68 e Fig. 1.69) ben distinte che per valori di *Iv* < 20 presentano code degradanti verso valori di resistenza sismica *C** generalmente più elevati, per Iv compreso tra 20 e 30, dove si colloca il valore medio di vulnerabilità, la distribuzione di *C** presenta un picco tra 0.2-0.3 e valori al di sotto di 0.5; mentre gli edifici ricadenti nelle classi di valori di *Iv* 30-40 e 40-50 gli edifici sono concentrati sui valori di 0.1 0.2 con un 20-25% di casi al di sotto di 0.1. Risultati analoghi riguardano anche gli edifici ospedalieri per i quali si osserva tuttavia una più sensibile riduzione dei valori medi di *C** al crescere dell'indice di vulnerabilità (in particolare per *Iv* > 10).

Le precedenti considerazioni hanno suggerito l'opportunità di analizzare più a fondo la correlazione fra *Iv* e *C** per verificare la possibilità di poterla utilizzare per assegnare anche agli edifici con meccanismi di collasso diverso da quello tagliante, generalmente caratterizzati da più elevati valori dell'indice di vulnerabilità, un valore dell'accelerazione di collasso per ricomprenderli, in maniera indiretta ma coerente, nell'ambito della nuova valutazione di vulnerabilità proposta per gli edifici pubblici in muratura e nelle analisi di rischio. Il paragrafo che segue illustra l'analisi fatta sui dati ed i criteri adottati per la definizione della funzione di correlazione cercata.

TUTTI GLI EDIFICI IN MURATURA
Correlazione Indice di vulnerabililtà Iv e resistenza sismica C*

	Classi dell'indice di vulnerabilità Iv											
Classe di	0 < Iv <10		10 ≤ Iv <20		20 ≤ Iv <30		30 ≤ Iv <40		40 ≤ Iv <50		50 ≤Iv <60	
C*	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
0.0-0.09	164	6.2	324	6.9	305	10.5	216	17.6	70	26.7	6	25.0
0.1-0.19	15	0.6	167	3.5	763	26.3	633	51.5	152	58.0	18	75.0
0.2-0.29	113	4.3	981	20.8	1103	38.0	301	24.5	34	13.0		
0.3-0.39	439	16.6	1207	25.6	422	14.5	54	4.4	5	1.9		
0.4-0.49	476	18.0	784	16.7	157	5.4	18	1.5	1	0.4		
0.5-0.59	412	15.5	527	11.2	66	2.3	5	0.4				
0.6-0.69	339	12.8	252	5.4	30	1.0	2	0.2				
0.7-0.79	229	8.6	177	3.8	24	0.8						
0.8-0.89	156	5.9	109	2.3	18	0.6						
0.9-0.99	108	4.1	83	1.8	7	0.2						
1.0-1.09	72	2.7	41	0.9	2	0.1						
1.1-1.19	36	1.4	11	0.2	2	0.1						
1.2-1.29	41	1.5	18	0.4			1	0.1				
1.3-1.39	13	0.5	5	0.1								
1.4-1.49	11	0.4	10	0.2								
>=1.5	26	1.0	12	0.3	2	0.1						
	2650		4708		2901		1230		262		24	

Tab. 1.16 - Tutti gli edifici in muratura: distribuzioni in numero e in percentuale per classi di valori i delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi di valori dell'indice di vulnerabilità

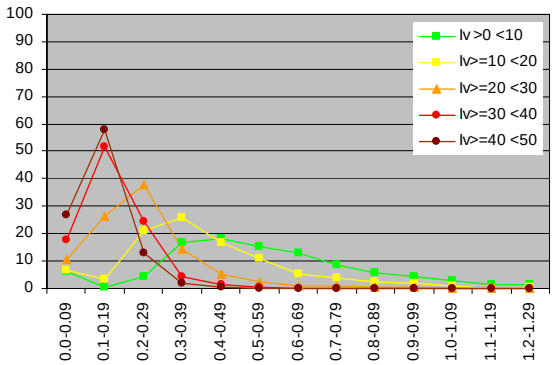


Fig. 1.68- Tutti gli edifici in muratura: distribuzioni percentuali per classi di valori delle resistenze sismiche a collasso C* e classi dell'indice di vulnerabilità

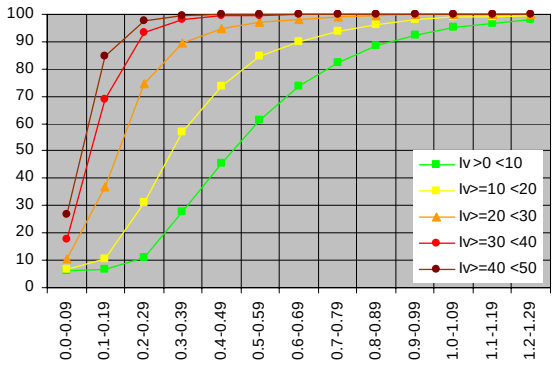


Fig. 1.69- Tutti gli edifici in muratura: distribuzioni cumulative per classi di valori delle resistenze sismiche a collasso C* e classi dell'indice di vulnerabilità

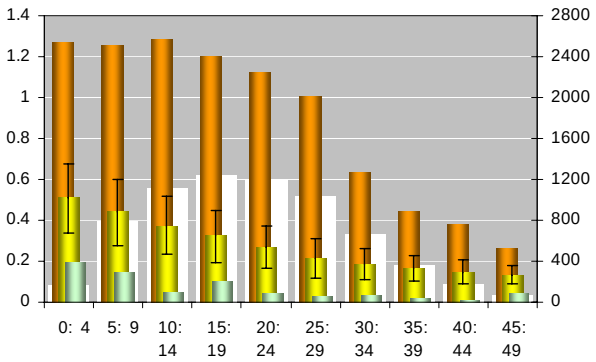


Fig. 1.70- Tutti gli edifici in muratura: numero di edifici, valori medi, minimi e massimi delle resistenze sismiche a collasso C* per classi dell'indice di vulnerabilità

ISTRUZIONE
Correlazione Indice di vulnerabilità Iv e resistenza sismica C*

Classe di C*	Classi dell'indice di vulnerabilità Iv											
	0 < Iv <10		10 ≤ Iv <20		20 ≤ Iv <30		30 ≤ Iv <40		40 ≤ Iv <50		50 ≤Iv <60	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
0.0-0.09	92	7.1	167	7.0	140	10.0	83	14.9	22	22.0	3	30.0
0.1-0.19	4	0.3	71	3.0	373	26.6	286	51.3	57	57.0	7	70.0
0.2-0.29	34	2.6	458	19.2	512	36.5	145	26.0	17	17.0		
0.3-0.39	201	15.5	594	24.9	209	14.9	27	4.8	3	3.0		
0.4-0.49	233	18.0	428	18.0	77	5.5	10	1.8	1	1.0		
0.5-0.59	221	17.0	292	12.3	39	2.8	3	0.5				
0.6-0.69	176	13.6	129	5.4	18	1.3	2	0.4				
0.7-0.79	123	9.5	88	3.7	15	1.1						
0.8-0.89	90	6.9	67	2.8	12	0.9						
0.9-0.99	51	3.9	41	1.7	5	0.4						
1.0-1.09	30	2.3	22	0.9	2	0.1						
1.1-1.19	13	1.0	6	0.3	1	0.1						
1.2-1.29	17	1.3	7	0.3			1	0.2				
1.3-1.39	4	0.3	3	0.1								
1.4-1.49	3	0.2	4	0.2								
>=1.5	5	0.4	5	0.2								

Tab. 1.17 - Edifici per l'Istruzione: distribuzioni in numero e in percentuale per classi di valori i delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi di valori dell'indice di vulnerabilità

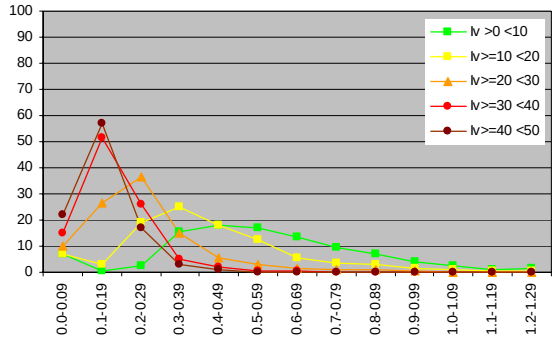


Fig. 1.71 - Edifici per l'Istruzione: distribuzioni percentuali per classi di valori delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi dell'indice di vulnerabilità

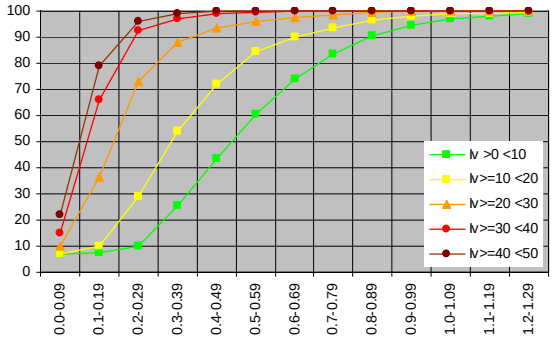


Fig. 1.72 - Edifici per l'Istruzione: distribuzioni cumulative per classi di valori delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi dell'indice di vulnerabilità

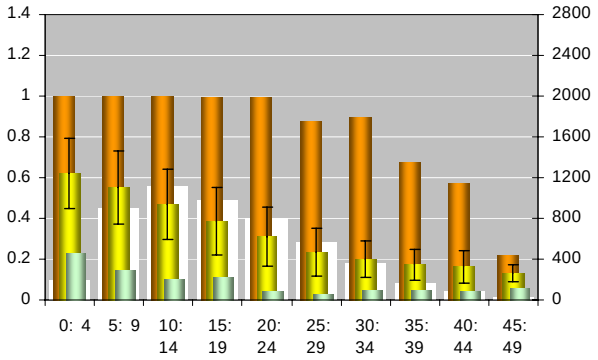


Fig. 1.73 - Istruzione: numero di edifici, valori medi, minimi e massimi delle resistenze sismiche a collasso C* per classi dell'indice di vulnerabilità

OSPEDALI
Correlazione Indice di vulnerabilità Iv e resistenza sismica C*

Classe di C*	Classi dell'indice di vulnerabilità Iv											
	0 < Iv <10		10 ≤ Iv <20		20 ≤ Iv <30		30 ≤ Iv <40		40 ≤ Iv <50		50 ≤Iv <60	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
0.0-0.09	4	12.1	10	12.5	12	15.4	9	12.9	1	5.9	3	30.0
0.1-0.19	1	3.0	3	3.8	19	24.4	48	68.6	15	88.2	7	70.0
0.2-0.29	2	6.1	27	33.8	35	44.9	11	15.7	1	5.9		
0.3-0.39	5	15.2	20	25.0	8	10.3	2	2.9				
0.4-0.49	2	6.1	10	12.5	2	2.6						
0.5-0.59	6	18.2	4	5.0	2	2.6						
0.6-0.69	6	18.2	3	3.8								
0.7-0.79	1	3.0	2	2.5								
0.8-0.89	3	9.1										
0.9-0.99	2	6.1										
1.0-1.09	1	3.0	1	1.3								
1.1-1.19												
1.2-1.29												
1.3-1.39												
1.4-1.49												
>=1.5												

Tab. 1.18 - Ospedali: distribuzioni in numero e in percentuale per classi di valori i delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi di valori dell'indice di vulnerabilità

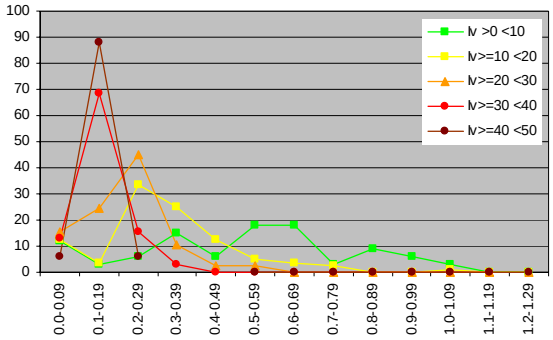


Fig. 1.74 - Ospedali: distribuzioni percentuali per classi di valori delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi dell'indice di vulnerabilità

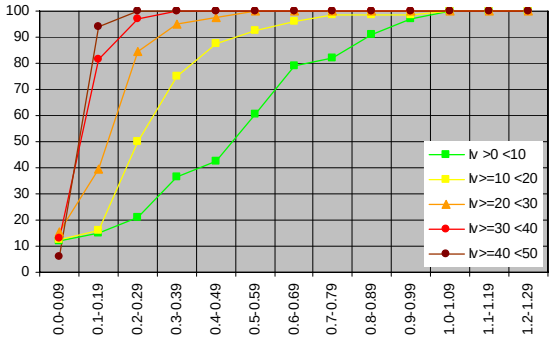


Fig. 1.75 - Ospedali: distribuzioni cumulative per classi di valori delle resistenze sismiche a collasso C* e per classi dell'indice di vulnerabilità

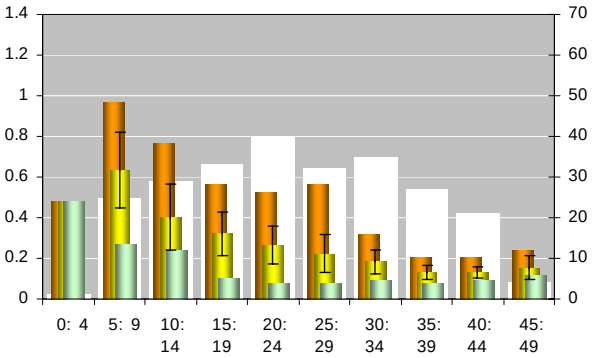


Fig. 1.76 - Ospedali: numero di edifici, valori medi, minimi e massimi delle resistenze sismiche a collasso C* per classi dell'indice di vulnerabilità

1.3.4 Estensione del modello agli edifici con meccanismo di collasso prevalente di tipo flessionale o misto

Come accennato, si è esplorata la possibilità di estendere i risultati ottenuti nella valutazione delle resistenze sismiche degli edifici con meccanismo 2 agli edifici con meccanismo 1 e 3, attraverso una correlazione con l'indice di vulnerabilità che si riscontra già nei grafici delle figure precedenti. Sulla base di questi sono state valutate le statistiche dei valori di C^* nell'ambito delle classi dell'indice di vulnerabilità di ampiezza 10 riportati nella Tab. 1.19 e nella Fig. 1.77. Da quest'ultima risultano evidenti l'andamento decrescente delle resistenze medie e delle relative dispersioni al crescere di Iv *Iv*, tuttavia per le classi 10-20, 20-30 e 30-40 oltre il 70% degli edifici presentano valori di C^* tra il valor medio più o meno una deviazione standard, con coefficienti di variazione di 0,42, 0,4 e 0,42. Nella classe con *Iv*=50-60 sono presenti appena 23 edifici e di conseguenza le statistiche sono poco significative e sarebbero da considerare tali anche per il fatto che a così elevati valori dell'indice di vulnerabilità prevalgono percentualmente gli edifici che si discostano maggiormente dal meccanismo 2 puro e quindi quelli dei sotto meccanismi 2-3, 2-4 e 2-5.

	Iv_0-10	Iv_10-20	Iv_20-30	Iv_30-40	Iv_40-50	Iv_50-60
N° edifici	2295	4293	2639	1103	242	23
VAS	0.999	0.828	0.484	0.346	0.248	0.192
Q3	0.674	0.504	0.303	0.218	0.166	0.154
Mediana	0.516	0.371	0.234	0.166	0.142	0.122
Q1	0.395	0.288	0.182	0.132	0.108	0.092
VAI	0.127	0.102	0.026	0.022	0.040	0.076
Media	0.543	0.414	0.263	0.182	0.146	0.150
DS	0.184	0.174	0.129	0.077	0.062	0.039
Coeff. Var.	0.34	0.42	0.49	0.42	0.43	0.26
% tra Media±DS	65.9	73.1	81.1	76.4	74.8	43.5

Tab. 1.19 – Valori statistici delle resistenze sismiche C^* calcolati per classi di valori dell'indice di vulnerabilità: VAS=valore adiacente superiore; Q3=Q75° o 3° quartile; Q1=Q25° o 1° quartile; VAI=valore adiacente inferiore. VAS è il valore massimo dei minori di Q3 + 1.5 (Q3-Q1); VAI è il minore dei valori maggiori di Q1 - 1.5 (Q3-Q1).

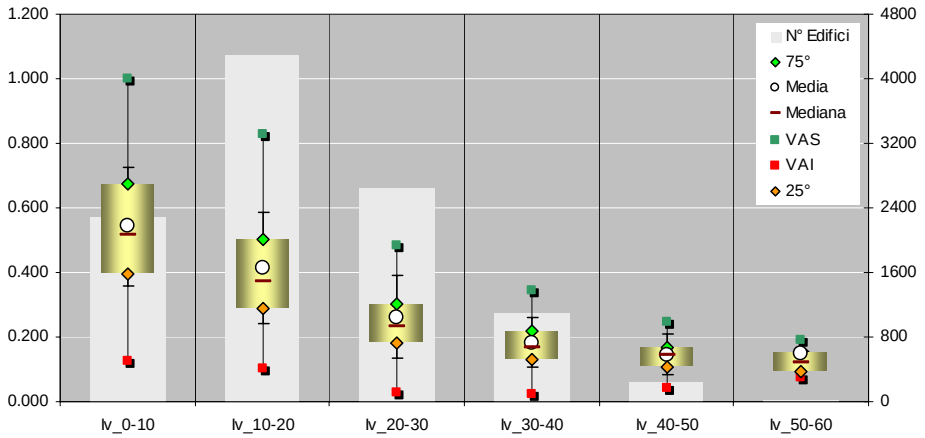


Fig. 1.77 – Diagramma box che illustra le statistiche della tabella precedente. Gli istogrammi sullo sfondo indicano il numero di edifici appartenenti a ciascuna classe di Iv; nei box è contenuto il 50% di essi.

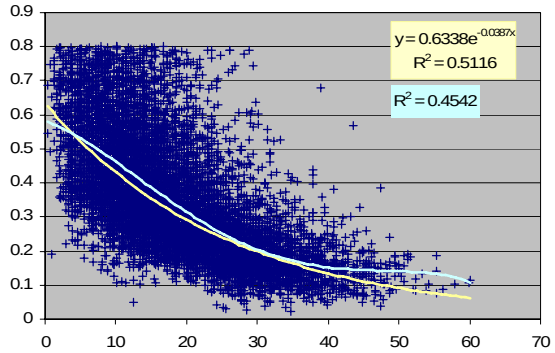


Fig. 1.78 – Correlazione tra valori dell'Indice di vulnerabilità e resistenze sismiche C* relativa a tutti gli edifici con meccanismo 2. Sono considerati i valori di C* < 0.8

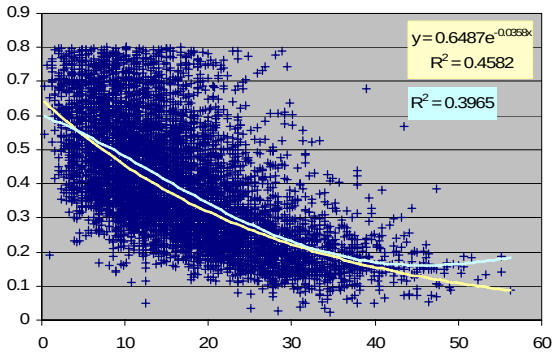


Fig. 1.79 - Correlazione tra valori dell'Indice di vulnerabilità e resistenze sismiche C* relativa a tutti gli edifici con meccanismo 2 e meno di 3 piani.

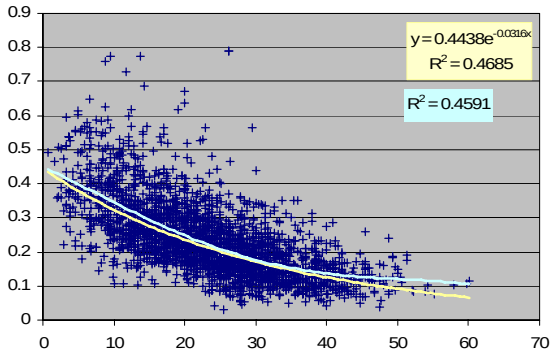


Fig. 1.80 - Correlazione tra valori dell'Indice di vulnerabilità e resistenze sismiche C* relativa a tutti gli edifici con meccanismo 2 e più di 2 piani.

Al fine di identificare una forma della funzione per la correlazione sono state prese in considerazione una polinomiale ed una esponenziale e sono state analizzate le due interpolazioni sui diagrammi a dispersione rappresentate nelle figure seguenti . È stato considerato il caso dell'insieme di tutti gli edifici con meccanismo due (Fig. 1.79) e si è voluto poi osservare anche l'influenza del numero di piani suddividendo gli edifici tra quelli con massimo 2 piani (Fig. 1.80) e quelli con più di 2 piani (Fig. 1.80); in tutti i casi sono stati considerati solo i casi con $C^*<0.8$. Le figure evidenziano come per valori dell'indice inferiori a 40 le due funzioni si discostino di poco anche se la forma esponenziale abbia un coefficiente di determinazione un pò più alto, tuttavia è evidente come la forma polinomiale tenda a risalire verso valori per valori di *Iv* superiori a 40 in modo marcato ed in contrasto con il reale andamento della correlazione espressa dai dati. Il confronto tra le figure Fig. 1.79 e Fig. 1.80 mostra l'influenza del numero di piani con chiara valori più bassi delle resistenze associati agli edifici con più di 2 piani che si distribuiscono anche verso valori di vulnerabilità più alta.

Per meglio valutare sotto l'aspetto statistico la scelta della funzione, è stata eseguita una analisi della regressione che relativamente alla scelta del modello polinomiale ha ottenendo un coefficiente di determinazione pari a 0,43 ed ha evidenziato una eteroschedasticità dei residui tale da suggerire una trasformazione logaritmica. È stata pertanto effettuata una analisi di regressione multipla basata sul modello esponenziale considerando anche il parametro numero di piani fuori terra *np*:

$$y = e^{a \cdot I_v + b \cdot np + c}$$

Analizzando lo scatter plot tridimensionale di seguito riportato nella Fig. 1.81, risulta verosimile l'ipotesi considerata e viene inoltre evidenziata la non linearità della funzione F e il ruolo di variabile Dummy relativa la numero di piani fuori terra *np*.
Mediante l'analisi della varianza (Tab. 1.20) è stata testata l'esistenza della relazione funzionale ipotizzata e sono stati stimati i parametri ed è stato effettuato il relativo *test t* per verificare statisticamente la non singolarità degli stessi (Tab. 1.21). La regressione ottenuta presenta un coefficiente di determinazione pari a 0,54 (Tab. 1.22). Effettuando una analisi dei residui Studentizzati si rivela una omoschedasticità degli stessi evidenziando che il modello esponenziale ben adatta i dati (Fig. 1.82) .

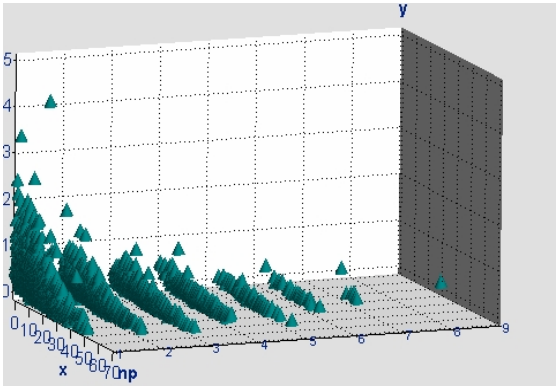


Fig. 1.81 – Diagramma scatter tridimensionale delle resistenze sismiche C* relativa a tutti gli edifici con meccanismo 2. in funzione dell'indice di vulnerabilità (x) e del numero di piani fuori terra.

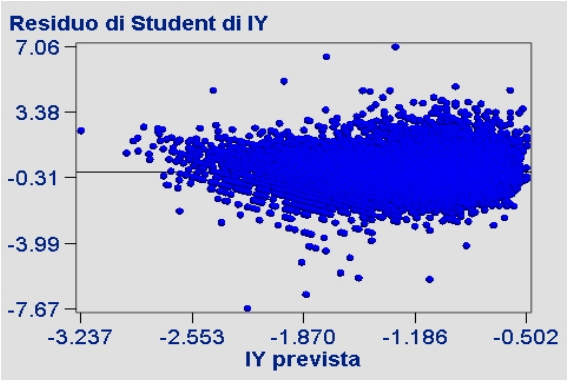


Fig. 1.82– Diagramma scatter dei residui studentizzati della regressione.

Analysis of variance					
Origine	**DF**	**Sum of Squares**	**Mean Square**	**Valore F**	**Pr > F**
Model	2	2021.54736	1010.77368	6300.14	<.0001
Error	10883	1746.03139	0.16044		
Corrected Total	10885	3767.57875			

Tab. 1.20– Risultati dell'analisi della varianza

Parameter estimates						
Variable	**DF**	**Parameter Estimate**	**Standard Error**	**Valore t**	**Pr > |t|**	**Variance Inflation**
Intercept (c)	1	-0.33279	0.00949	-35.05	<.0001	0
np (b)	1	-0.16942	0.00423	-40.04	<.0001	1.20968
Iv (a)	1	-0.03421	0.00043484	-78.67	<.0001	1.20968

Tab. 1.21– Risultati della stima dei parametri della funzione di regressione esponenziale ipotizzata

Root MSE	0.40055	**R-Square**	0.5366
Dependent Mean	-1.27646	**Adj R-Sq**	0.5365
Coeff Var	-31.37930		

Tab. 1.22– Analisi dei residui

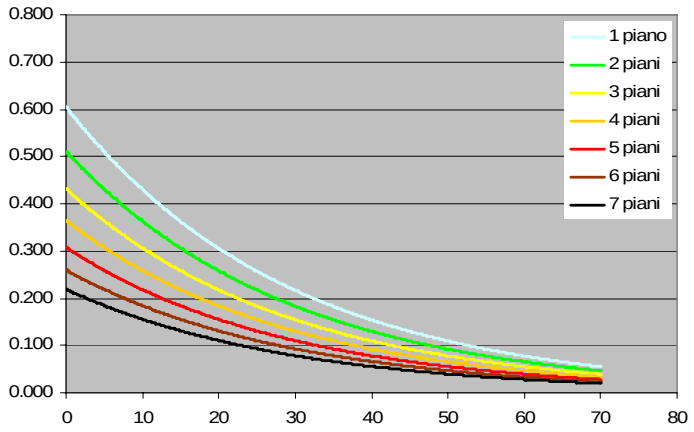


Fig. 1.83 – Curve di correlazione tra le resistenze sismiche a collasso e l'indice di vulnerabilità per gli edifici in muratura al variare del numero di piani da 1 a 7 ottenute dalla regressione multipla esponenziale sui dati degli edifici con meccanismo 2 ed estrapolate ai valori di vulnerabilità > 40.

Iv	Duttilità		Piani			
			1	2	3	4
5		C*	0.510	0.431	0.363	0.307
	1.5	PGA	0.269	0.230	0.218	0.184
15		C*	0.362	0.306	0.258	0.218
	1.5	PGA	0.191	0.163	0.155	0.131
25		C*	0.257	0.217	0.183	0.155
	1.5	PGA	0.135	0.116	0.110	0.093
35		C*	0.183	0.154	0.130	0.110
	1.5	PGA	0.096	0.082	0.078	0.066
45		C*	0.130	0.110	0.093	0.078
	1.2	PGA	0.055	0.047	0.044	0.037
55		C*	0.092	0.078	0.066	0.055
	1	PGA	0.032	0.028	0.026	0.022
65		C*	0.065	0.055	0.047	0.039
	1	PGA	0.023	0.020	0.019	0.016

Tab. 1.23– Alcuni valori di resistenza sismica e delle corrispondenti PGA su suolo rigido determinati mediante le curve di correlazione per e edifici con indice di vulnerabilità da 5 a 65 e piani da 1 a 4.

Nella Fig. 1.83 sono infine disegnate in grafico le funzioni della correlazione cercata tra resistenze sismiche *C** e indice di vulnerabilità *Iv* attraverso la regressione sui dati ottenuti dalla applicazione della nuova procedura agli edifici con meccanismo 2 distinti per numero di piani. Le funzioni quindi sono state utilizzate per assegnare un valore della accelerazione di collasso anche agli edifici con meccanismo 1 e 3 attraverso gli indici di vulnerabilità. Dalle curve ottenute si possono derivare alcune casi di riferimento come quelli riportati nella Tab. 1.23, nella quale per edifici con vulnerabilità crescente da 5 a 65 con intervallo di 10 punti sono stati determinati i valori di resistenza sismica media forniti dalle curve e anche i relativi valori della PGA al bedrock valutati con i criteri esposti nella procedura ed utilizzando il foglio di calcolo della Fig. 1.35, considerando altezze medie di interpiano di 3.5 m, le duttilità riportate nella tabella stessa ed un terreno di tipo medio (BCE) . Sui casi in tabella si può osservare quanto segue:

- per edifici con vulnerabilità molto bassa (5) di 1-2 piani si ha una resistenza media di 0.5-0.4 g e una PGA corrispondente di 0.27-0.23 g;
- per edifici con vulnerabilità media (25), quale all'incirca quella risultante per gli edifici pubblici esaminati, di 2-3 piani si hanno resistenze media di 0.22-0.18 g e una PGA corrispondenti di 0.11 g;
- per edifici con vulnerabilità alta (55-65) di 2-3 piani si ha una resistenza media che va da 0.08-0.05 g circa e valori di PGA corrispondenti di 0.028-0.02 g, che naturalmente possono essere considerati valori da associare a più probabili meccanismi di collasso fuori dal piano.

1.4 APPLICAZIONE DEL NUOVO MODELLO A TUTTA LA BASE DATI E VALUTAZIONE DELLE ACCELERAZIONI DI COLLASSO SU SUOLO RIGIDO

Una volta stabilita la modalità per assegnare un valore di resistenza sismica *C**, come descritto, anche agli edifici con meccanismo 1 e 3, la procedura è stata integrata e quindi applicata all'intero insieme di edifici in muratura presenti nella base dati. Si descrivono pertanto nel seguito alcuni risultati ottenuti relativamente all'insieme completo degli edifici in muratura, alle scuole e alle strutture sanitari e con alcuni dati sintetici riguardanti anche le PGA di collasso su suolo rigido stimate. Le elaborazioni di dettaglio sono poi riportate e commentate nelle successive parti 1ª e 2ª; nella 2ª sono contenute le mappe con indicatori medi di vulnerabilità a livello comunale, espressi attraverso valori medi dell'indice Iv e della PGA di collasso.
Le figure Fig. 1.84, Fig. 1.85 e Fig. 1.86 illustrano per tutti gli edifici in muratura, quelli destinati all'Istruzione e quelli per le attività Sanitarie le distribuzioni dei valori ottenuti per le accelerazioni di collasso per ogni insieme esaminato; sono riportate anche quelle per i due sotto-insiemi formati considerando gli edifici appartenenti al meccanismo tagliante 2 e quelli a quelli flessionali 1 e 3. Si nota la netta separazione che la procedura adottata opera tra i due meccanismi di collasso: agli edifici caratterizzati da meccanismi flessionali risultano mediamente associati valori elevati dell'indice di vulnerabilità e quindi vengono attribuiti coerentemente valori concentrati su livelli più bassi delle PGA di collasso. Gli edifici con meccanismo tagliante sono distribuiti con una certa riconoscibile uniformità tra i valori 0.05 – 0.30 g e quindi quasi linearmente verso la frequenza 0% in corrispondenza di valori di poco più di 0.7 g. Anche in questo caso la maggiore vulnerabilità degli edifici sanitari si manifesta con frequenze maggiori sui valori più bassi delle PGAc.
Nei diagrammi della Fig. 1.87 sono rappresentati i valori medi con le deviazioni standard e i minimi delle PGAc degli edifici distinguendo il caso di quelli con un numero di piani inferiore a 3 e quello con più di due piani. I valori massimi non sono stati rappresentati per il fatto che nella statistica sono stati esclusi i casi con valori > 0.8 g. Nel primo caso i valori medi sono contenuti tra 0.2 e poco più di 0.3 g; nel secondo scendono nell'intervallo 0.1 – 0,2 g. Naturalmente sono presenti anche valori minimi bassi al di sotto di 0.05 g. Per gli edifici scolastici si osserva come Molise e Sicilia presentino i valori medi più bassi, più marcatamente per edifici con meno di 3 piani; per gli edifici sanitari sono Basilicata e Sicilia ad avere i valori medi più bassi.
Nella seguente Tab. 1.24 sono riportate le medie relative alle PGA,in ambito regionale, degli edifici raggruppati per numero di piani: sono stati considerati quelli d da 1 a 5 in quanto quelli di numero superiore, seppur presenti, sono in numero limitato. Nella tabella Tab. 1.25 sono riportate le statistiche complete con deviazioni standard, coefficienti di variazione, minimi, massimi e numero di casi. I diagrammi delle figure Fig. 1.89 e Fig. 1.90 illustrano con maggiore evidenza i dati statistici. La variabilità dei valori delle PGAc è espressa da un valore del coefficiente di variazione che è intorno al 48%. Gli edifici della regione Sicilia presentano le statistiche peggiori.
Altre elaborazioni di ulteriore dettaglio sono riportate nei paragrafi 2.2, 4.2 e 6.2 nelle successive Parti 1ª e 2ª.

	Numero di piani				
Regione	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Abruzzo	0.37	0.25	0.21	0.16	0.14
Basilicata	0.30	0.22	0.18	0.15	0.12
Calabria	0.34	0.23	0.20	0.15	0.12
Campania	0.37	0.24	0.20	0.15	0.12
Molise	0.29	0.22	0.18	0.15	0.12
Puglia	0.39	0.22	0.21	0.17	0.18
Sicilia	0.28	0.18	0.15	0.13	0.11

Tab. 1.24– Valori medi delle PGA di collasso degli edifici raggruppati per regione e per numero di piani da 1 a 5

Edifici in muratura TUTTI - PGA di collasso

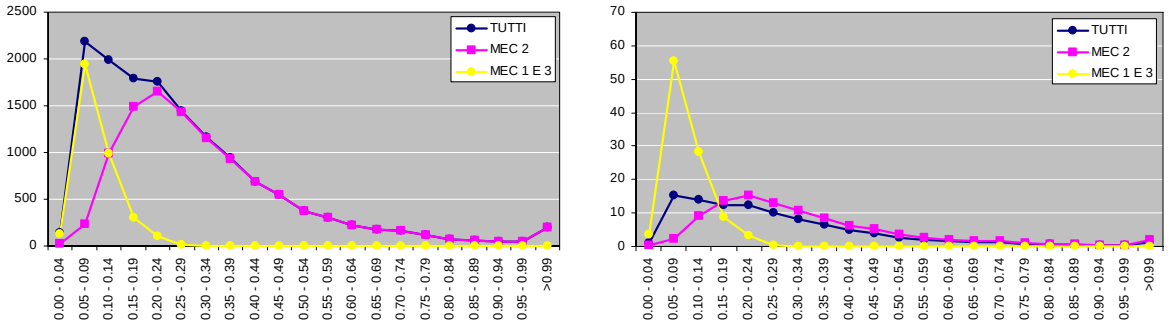


Fig. 1.84– Distribuzioni, in numero e percentuale (grafico a destra), degli edifici in muratura (tutti) per classi di valori della PGA di collasso distinte relativamente a tutti gli edifici del campione esaminato e per quelli appartenenti al meccanismo 2 e ai meccanismi 1 e 3.

Edifici in muratura per l'ISTRUZIONE - PGA di collasso

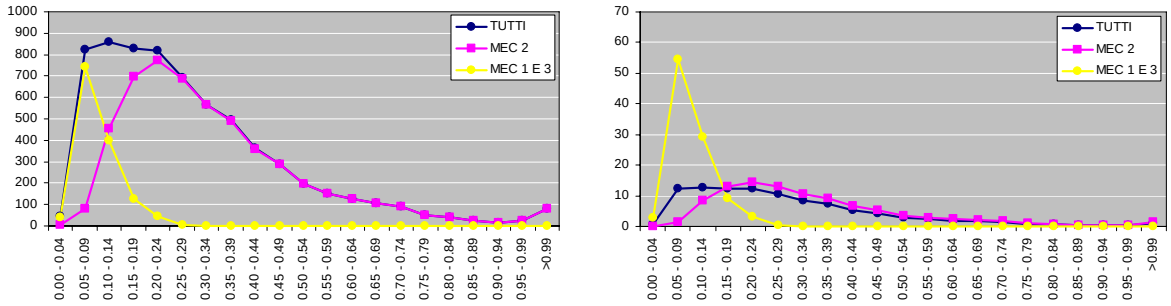


Fig. 1.85 – Distribuzioni, in numero e percentuale (grafico a destra), degli edifici in muratura per l'Istruzione per classi di valori della PGA di collasso distinte relativamente a tutti gli edifici del campione esaminato e per quelli appartenenti al meccanismo 2 e ai meccanismi 1 e 3.

Edifici in muratura per la SANITÀ - PGA di collasso

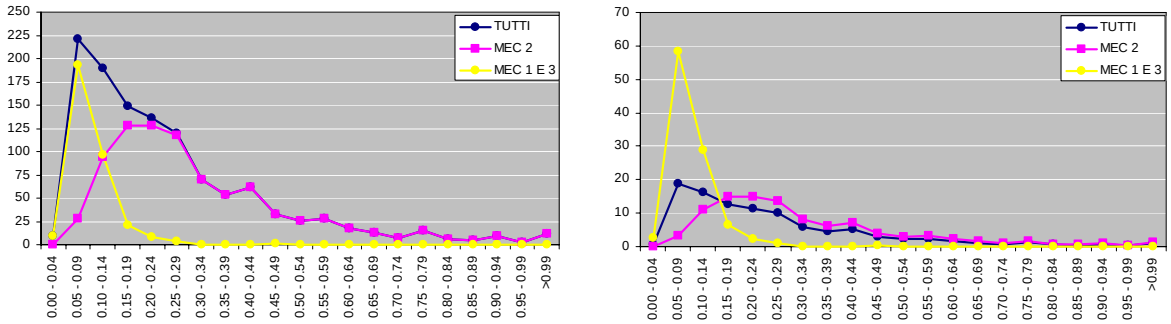


Fig. 1.86 – Distribuzioni, in numero(grafico a sinistra) e percentuale (grafico a destra), degli edifici in muratura, per la Sanità per classi di valori della PGA di collasso distinte relativamente a tutti gli edifici del campione esaminato e per quelli appartenenti al meccanismo 2 e ai meccanismi 1 e 3.

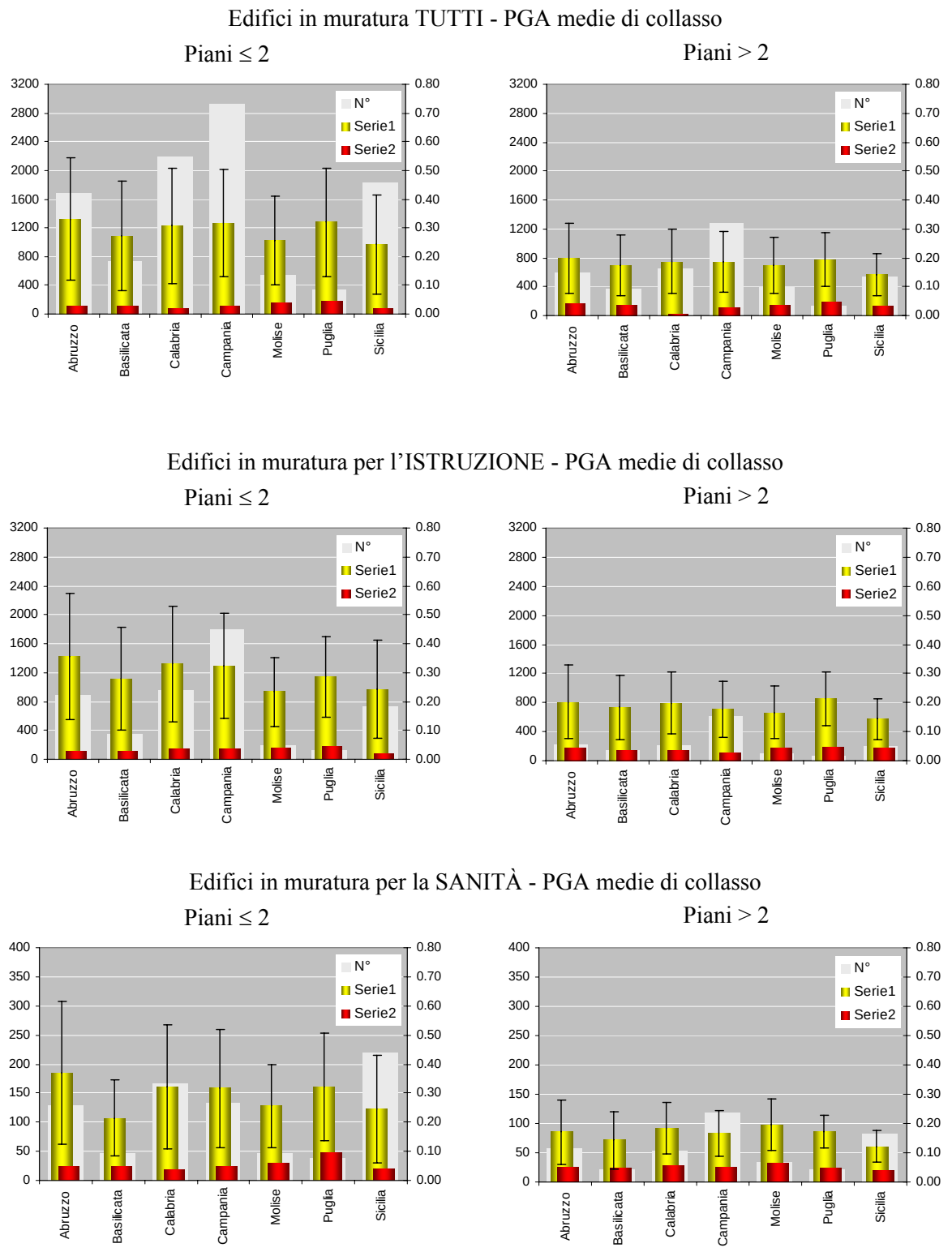


Fig. 1.87– Valori medi, minimi e deviazioni standard delle accelerazioni di collasso degli edifici con meno di 3 piani (a sinistra e con più di 2 piani (a destra). Le barre sullo sfondo indicano il numero di edifici per regione.

REGIONE	Piani fuori terra	PGAc media	DS	Coeff. di var. (%)	PGAc minima	PGAc max	N° edifici
Abruzzo	1	0.368	0.199	54	0.038	0.781	702
	2	0.254	0.150	59	0.027	0.795	869
	3	0.210	0.126	60	0.041	0.766	443
	4	0.159	0.080	50	0.049	0.468	130
	5	0.141	0.050	35	0.067	0.241	24
Basilicata	1	0.299	0.199	67	0.030	0.777	300
	2	0.220	0.127	58	0.038	0.784	405
	3	0.185	0.116	63	0.038	0.771	259
	4	0.153	0.077	50	0.037	0.366	95
	5	0.124	0.065	53	0.046	0.300	19
Calabria	1	0.343	0.193	56	0.036	0.788	1112
	2	0.227	0.132	58	0.018	0.764	970
	3	0.198	0.108	54	0.005	0.629	492
	4	0.152	0.093	61	0.037	0.574	123
	5	0.116	0.070	60	0.034	0.266	21
Campania	1	0.368	0.182	49	0.034	0.799	1461
	2	0.238	0.126	53	0.030	0.776	1381
	3	0.205	0.111	54	0.043	0.776	856
	4	0.151	0.082	54	0.029	0.583	319
	5	0.121	0.065	54	0.043	0.405	82
Molise	1	0.287	0.162	57	0.050	0.796	238
	2	0.218	0.117	54	0.042	0.637	284
	3	0.184	0.102	55	0.035	0.670	263
	4	0.154	0.082	53	0.042	0.493	94
	5	0.120	0.048	40	0.052	0.219	19
Puglia	1	0.389	0.180	46	0.056	0.797	173
	2	0.222	0.110	50	0.043	0.474	162
	3	0.206	0.097	47	0.047	0.533	92
	4	0.167	0.079	47	0.048	0.493	32
	5	0.180	0.063	35	0.096	0.243	7
Sicilia	1	0.284	0.185	65	0.035	0.797	926
	2	0.178	0.096	54	0.021	0.578	850
	3	0.148	0.074	50	0.034	0.468	383
	4	0.128	0.059	46	0.049	0.411	120
	5	0.110	0.032	29	0.066	0.173	20

Tab. 1.25– Valori statistici delle PGA di collasso degli edifici in muratura raggruppati per regione e per numero di piani

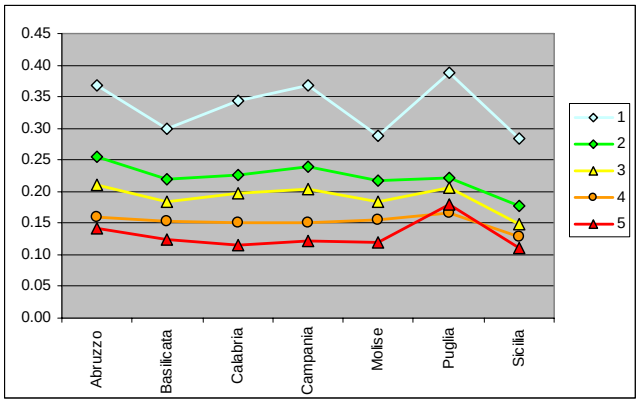


Fig. 1.88– Valori medi, delle accelerazioni di collasso degli edifici in muratura (tutti) per numero di piano da 1 a 5 per regioni.

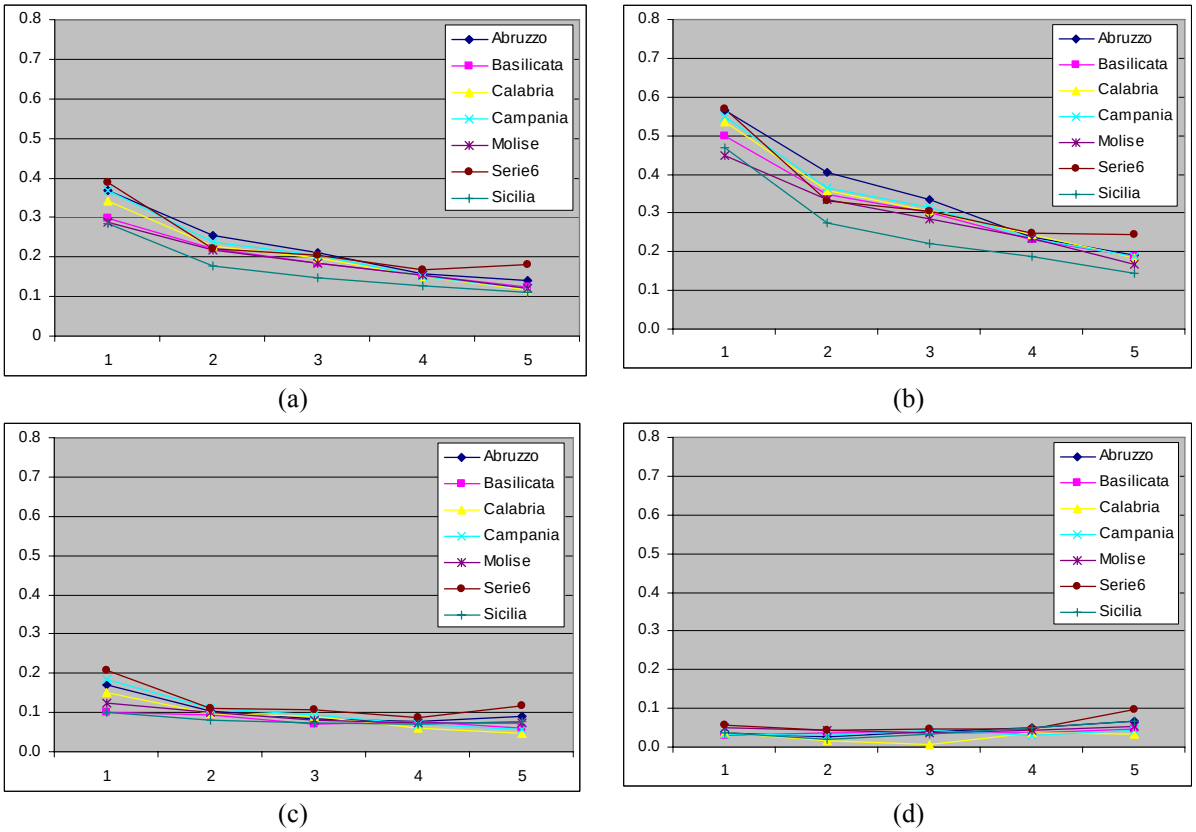


Fig. 1.89– Valori statistici, delle accelerazioni di collasso degli edifici in muratura (tutti) in ognuna delle regioni esaminate per numero di piani.: in (a) i valori medi; in (b) I valori medi + 1DS; in (c) i valori medi -1DS; in (d) i valori minimi.

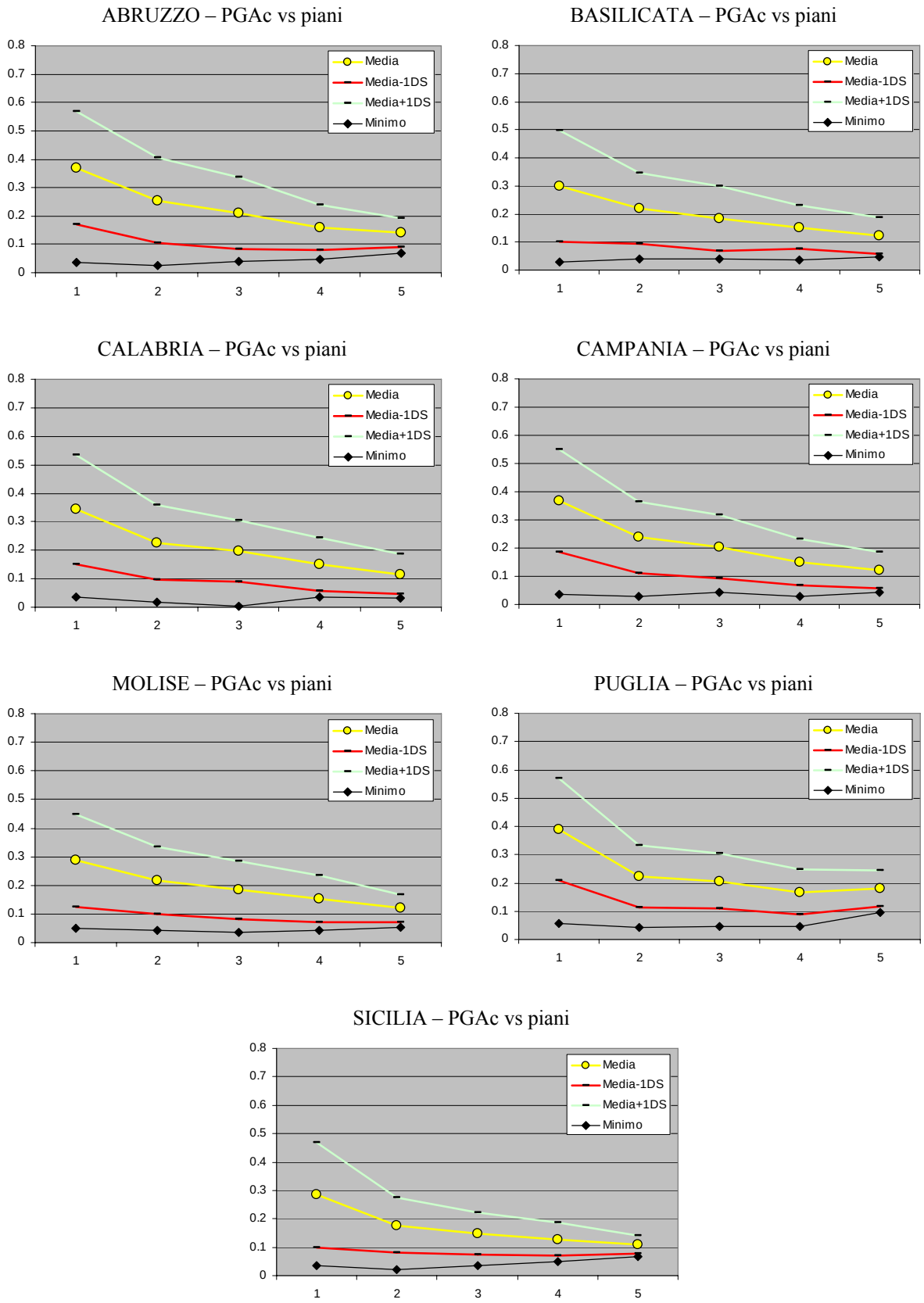


Fig. 1.90– Andamento dei valori medi, medi ± 1DS e minimi delle accelerazioni di collasso degli edifici in muratura (tutti) con il numero di piani in ognuna delle regioni esaminate.

Nelle tabelle che seguono sono riportate, per gli edifici scolastici, le statistiche delle PGA di collasso (valori medi, DS, coefficienti di variazione ed il numero di edifici), distinte per numero di piani da 1 a5, riferite ai gruppi di edifici appartenenti a quelle che sono state individuate come tipologie di muratura prevalenti nelle province delle regioni censite. In alcuni casi, per numero di piani superiore a 3, i dati sono mancanti o in numero poco significativo. Le tabelle consentono quindi di individuare dei valori di riferimento della vulnerabilità media e della relativa variabilità per le tipologie di edifici scolastici maggiormente ricorrenti in ambito provinciale.

ABRUZZO - Istruzione

	D - Pietra sbozzata con ricorsi					L - Mattoni pieni o multiforo					C - Pietra sbozzata				
	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°
Chieti	1	0.296	0.177	60	6	1	0.363	0.173	48	107	1				
	2	0.210	0.145	69	13	2	0.277	0.142	51	103	2				
	3	0.197	0.081	41	4	3	0.259	0.146	56	54	3				
	4					4	0.181	0.076	42	20	4				
	5					5	0.107	0.046	43	3	5				
					23					**287**					
L'Aquila	1	0.343	0.140	41	41	1	0.462	0.155	34	32	1	0.206	0.149	72	23
	2	0.266	0.113	42	53	2	0.373	0.162	43	19	2	0.163	0.115	71	35
	3	0.212	0.064	30	19	3	0.201	0.073	36	6	3	0.125	0.098	79	12
	4					4					4	0.105	0.041	39	2
	5					5					5				
					113					**57**					**72**
Pescara	1					1	0.385	0.159	41	49	1				
	2					2	0.300	0.126	42	34	2				
	3					3	0.250	0.175	70	25	3				
	4					4	0.228	0.119	52	2	4				
	5					5	0.094			1	5				
										111					
Teramo	1					1	0.426	0.210	49	100	1				
	2					2	0.293	0.200	68	89	2				
	3					3	0.197	0.128	65	36	3				
	4					4	0.099	0.045	45	9	4				
	5					5					5				
										234					

BASILICATA - Istruzione

	C - Pietra sbozzata					G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata					L - Mattoni pieni o multiforo				
	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°
Matera	1					1	0.322	0.190	59	45	1	0.208	0.078	38	13
	2					2	0.246	0.117	47	40	2	0.256	0.155	61	9
	3					3	0.242	0.196	81	12	3	0.240	0.168	70	3
	4					4	0.161	0.089	55	5	4				
	5					5					5	0.060			1
										102					**26**
											D - Pietra sbozzata con ricorsi				
Potenza	1	0.266	0.111	42	24	1	0.358	0.191	53	29	1	0.291	0.147	50	9
	2	0.198	0.083	42	44	2	0.275	0.140	51	49	2	0.274	0.154	56	16
	3	0.178	0.106	59	21	3	0.193	0.093	48	14	3	0.228	0.087	38	22
	4	0.125	0.058	47	11	4	0.226	0.053	23	5	4	0.112	0.013	12	3
	5					5					5				
					100					**97**					**50**

CALABRIA - Istruzione															
	L - Mattoni pieni o multiforo					D - Pietra sbozzata con ricorsi					C - Pietra sbozzata				
	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°
Catanzaro	1	0.404	0.200	50	76	1	0.350	0.099	28	12	1	0.219	0.104	48	5
	2	0.273	0.107	39	33	2	0.204	0.089	43	18	2	0.161	0.040	25	12
	3	0.241	0.086	36	20	3	0.251	0.064	25	6	3	0.159	0.100	63	8
	4					4					4				
	5					5					5				
					129					**36**					**25**
Cosenza	1	0.380	0.177	47	115	1	0.367	0.158	43	19	1	0.282	0.157	56	37
	2	0.279	0.128	46	60	2	0.204	0.092	45	16	2	0.142	0.089	63	36
	3	0.269	0.111	41	25	3	0.208	0.062	30	9	3	0.158	0.067	43	23
	4	0.194	0.090	46	6	4					4	0.110	0.061	55	9
	5					5					5				
					206					**44**					**105**
Crotone	1	0.486	0.213	44	16	1					1				
	2	0.217	0.100	46	10	2					2				
	3					3					3				
	4					4					4				
	5					5					5				
					26										
Reggio C.	1	0.378	0.196	52	97	1					1				
	2	0.299	0.115	39	76	2					2				
	3	0.269	0.090	33	30	3					3				
	4					4					4				
	5					5					5				
					203										
Vibo V.	1	0.410	0.176	43	33	1	0.407	0.207	51	24	1				
	2	0.265	0.103	39	19	2	0.239	0.076	32	10	2				
	3	0.323	0.118	36	5	3	0.324			1	3				
	4					4	0.086			1	4				
	5					5					5				
					57					**36**					

CAMPANIA - Istruzione															
	G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata														
	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°
Avellino	1	0.382	0.179	47	92	1					1				
	2	0.287	0.135	47	79	2					2				
	3	0.243	0.092	38	30	3					3				
	4	0.226	0.067	30	9	4					4				
	5	0.207	0.096	46	2	5					5				
					212										
Benevento	1	0.421	0.168	40	112	1					1				
	2	0.281	0.131	47	84	2					2				
	3	0.249	0.119	48	31	3					3				
	4	0.176	0.086	49	10	4					4				
	5					5					5				
					237										
						A - Pietra a sacco									
Caserta	1	0.397	0.185	46	339	1	0.173	0.070	41	6	1				
	2	0.255	0.116	45	153	2	0.083	0.046	55	20	2				
	3	0.194	0.092	47	50	3	0.089	0.032	36	15	3				
	4	0.199	0.160	80	9	4	0.069	0.024	35	3	4				
	5					5					5				
					551					**44**					
						A - Pietra a sacco					B - Pietra a sacco con ricorsi				
Napoli.	1	0.429	0.216	50	174	1	0.196	0.072	37	4	1	0.182	0.107	59	2
	2	0.252	0.113	45	220	2	0.120	0.063	53	5	2	0.102	0.056	55	7
	3	0.186	0.094	50	149	3	0.128	0.036	28	5	3	0.123	0.050	41	4
	4	0.140	0.071	50	72	4	0.054			1	4	0.072	0.008	11	3
	5	0.129	0.070	55	23	5					5				
					638					15					16
						D - Pietra sbozzata con ricorsi					C - Pietra sbozzata				
Salerno	1	0.375	0.185	49.234	92	1	0.361	0.119	33	43	1	0.200	0.120	60	35
	2	0.258	0.109	42	83	2	0.187	0.08	41	33	2	0.174	0.075	43	42
	3	0.225	0.109	49	55	3	0.218	0.07	31	21	3	0.197	0.073	37	14
	4	0.143	0.083	58	20	4	0.145	0.05	32	6	4	0.128	0.053	42	8
	5	0.095	0.026	27	4	5	0.060			1	5				
					254					**104**					**99**

MOLISE - Istruzione

	L - Mattoni pieni o multiforo					C - Pietra sbozzata					D - Pietra sbozzata con ricorsi				
	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°
Campobasso	1	0.281	0.120	43	10	1	0.186	0.102	55	15	1	0.316	0.055	18	9
	2	0.211	0.098	47	20	2	0.172	0.088	51	20	2	0.206	0.07	32	3
	3	0.168	0.071	43	14	3	0.117	0.047	41	11	3	0.183			1
	4	0.134	0.031	23	9	4	0.112	0.025	22	6	4				
	5	0.071			1	5					5	0.146			1
					54					**52**					14
	E – Pietra arrotondata										D - Pietra sbozzata con ricorsi				
Idernia	1	0.162	0.098	60	9	1	0.256	0.103	40	13	1	0.322	0.099	30.762	9
	2	0.145	0.024	17	8	2	0.249	0.070	28	6	2	0.345	0.099	28.801	10
	3	0.159	0.039	25	8	3	0.210	0.032	15	2	3	0.321	0.135	41.91	7
	4	0.138	0.008	6	2	4	0.196			1	4	0.158			1
	5	0.117			1	5					5				
					28					22					27

SICILIA - Istruzione

	C - Pietra sbozzata					G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata					D - Pietra sbozzata con ricorsi				
	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°	Piani FT	PGA MEDIA	DS	CV%	N°
Catania	1	0.227	0.137	61	76	1	0.277	0.167	60	26	1	0.298	0.168	56	15
	2	0.140	0.058	42	77	2	0.189	0.089	47	24	2	0.156	0.062	39	13
	3	0.113	0.035	31	36	3	0.134	0.033	24	17	3	0.153	0.036	23	10
	4	0.114	0.022	19	11	4	0.124	0.006	5	3	4	0.104	0.027	26	7
	5	0.066			2	5	0.085			1	5	0.173			1
					202					**71**					**46**
											L - Mattoni pieni o multiforo				
Messina	1	0.331	0.109	33	10	1					1	0.405	0.228	56	87
	2	0.149	0.050	33	8	2					2	0.258	0.090	35	49
	3	0.179	0.035	20	2	3					3	0.244	0.094	38	16
	4	0.125			1	4					4	0.282	0.140	50	3
	5					5					5				
					21										**155**
											B - Pietra a sacco con ricorsi				
Ragusa	1	0.293	0.134	46	11	1	0.266	0.194	73	62	1	0.108	0.085	79	4
	2	0.199	0.089	45	3	2	0.238	0.089	38	32	2	0.105	0.067	64	19
	3	0.087	0.048	55	3	3	0.199	0.066	33	15	3	0.133	0.088	66	6
	4					4	0.135	0.050	37	3	4	0.080	0.023	29	2
	5					5					5				
					17					112					**31**
Siracusa	1	0.171	0.044	25	3	1	0.252	0.149	59	32	1				
	2	0.106	0.048	45	16	2	0.185	0.088	48	39	2				
	3	0.122	0.085	70	6	3	0.161	0.056	35	19	3				
	4	0.088	0.023	27	2	4	0.138	0.056	41	8	4				
	5					5	0.115			1	5				
					27					99					

1.5 ANALISI DI RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

Per valutare le condizioni di rischio sismico degli edifici pubblici in muratura, una volta stimate le PGA di collasso su suolo rigido, è stato effettuato un confronto con i valori delle PGA massime attese (PGAmax) nell'ambito del territorio comunale di appartenenza. Per questi valori di riferimento della pericolosità sono stati assunti i valori massimi forniti dall'ultima valutazione fatta in ambito INGV nel corso del 2004 (Fig. 1.91). In base a tali valori nella Fig. 1.92 viene proposta anche una classificazione del territorio dell'Italia meridionale nelle 4 zone sismiche definite con i criteri della OPCM-3274. Ai fini della valutazione delle condizioni di rischio è opportuno anche tenere presente le modificazioni introdotte nel gruppo dei comuni censiti dalla riclassificazione del 2003 e quella che stimata che potrebbe conseguire alla pericolosità 2004. A questo proposito nelle tabelle Tab. 1.26 e Tab. 1.27 sono indicati i passaggi di classe dalla vecchia classificazione a quella del 2003 e del 2004 rispettivamente. Con riferimento alla seconda, si mette in evidenza come risultino 312 i comuni che passano dalla zona 2 alla zona 1, 41 dalla 3 alla 2, 51 dalla 4 alla 2 e 138 dalla 4 alla 3. Come già detto, per il rischio si è fatto riferimento alla classificazione 2004 e di conseguenza i risultati dell'analisi che si illustrano nel seguito tengono conto implicitamente della condizione che ne deriva.
Si illustrano nel seguito alcuni risultati ottenuti e si rimanda ai paragrafi 2.2, 4.2 e 6.2 per le ulteriori elaborazioni fatte in relazione ai vari raggruppamenti degli edifici e anche al capitolo 8 dove sono presentate le mappe di rischio.

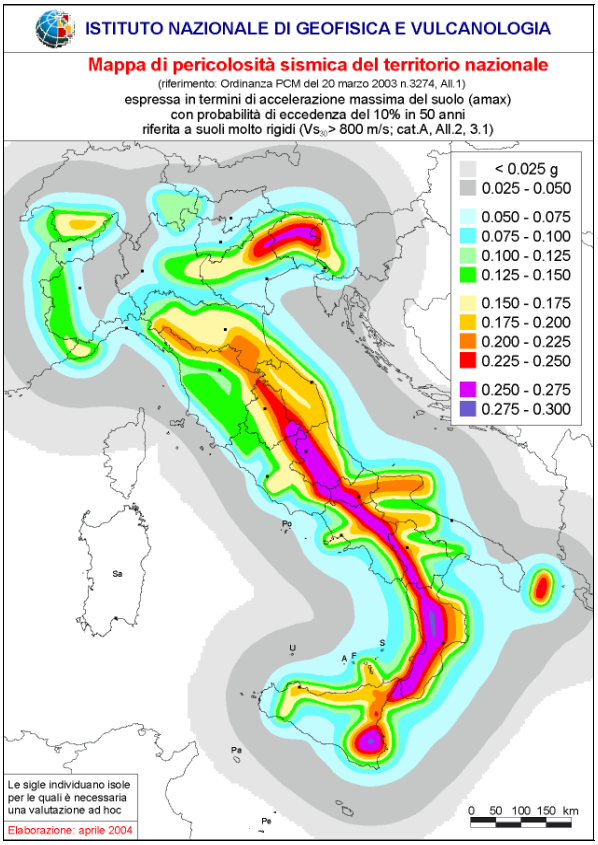


Fig. 1.91 – Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in accelerazioni massime al suolo rigido (amax) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV-2004)

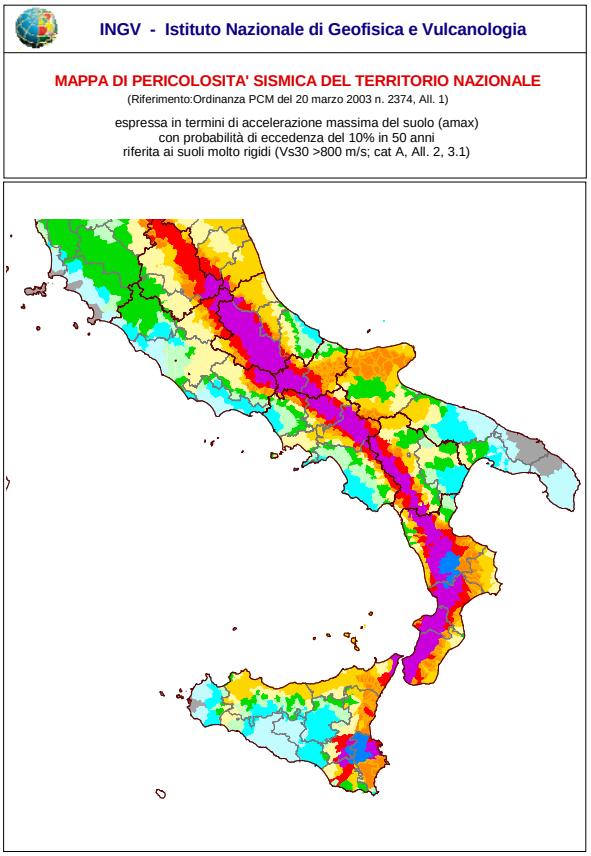


Fig. 1.92– Mappa della classificazione sismica dei comuni del territorio nazionale fatta in base ai valori massimi delle accelerazioni al suolo rigido della pericolosità sismica INGV-2004

Zona	Passaggi di zona da 1984 a 2003	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	CAMPANIA	MOLISE	PUGLIA	SICILIA		Totale
1	1→1	85	7	147	30	3	10	2		284
	2→1	6	38	114	101	23		15		297
2	2→2	144	76	148	246	78	52	141		885
	3→2				85		2			87
	4→2	12			29	17				58
3	3→3		1		3					4
	4→3	56	8		52	15				131
	Totale	303	130	409	546	136	64	158		1746

Tab. 1.26– Variazioni nella classificazione sismica dei comuni censiti nel passaggio dalla vecchia classificazione a quella della OPCM 3274/2003

Zona	Passaggi di zona da 1984 a 2004	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	CAMPANIA	MOLISE	PUGLIA	SICILIA		Totale
1	1→1	34		84	19	1		2		140
	2→1	52	26	108	59	46		21		312
2	2→2	75	57	134	197	55	39	123		680
	1→2	51	7	62	11	2	10			143
	3→2		1		38		2			41
	4→2	26	2		6	17				51
3	3→3				50					50
	1→3			1						1
	2→3	23	31	20	91		13	12		190
	4→3	42	6		75	15				138
	Totale	303	130	409	546	136	64	158		1746

Tab. 1.27– Variazioni nella classificazione sismica dei comuni censiti nel passaggio dalla vecchia classificazione a quella derivata dalla mappa di pericolosità INGV/2004 in Fig. 1.92

Per la valutazione del rischio è stato pertanto calcolato per ogni edificio il rapporto R tra l'accelerazione di collasso su suolo rigido PGAc, stimata con la procedura messa a punto, e quella massima attesa PGAmax derivante dalla pericolosità 2004. I grafici della Fig. 1.93, riportano le distribuzioni percentuali degli edifici per classi di valori di tale rapporto espressi in percentuale. Sono rappresentati tutti gli edifici ed i gruppi distinti per tipo di funzione; i grafici di destra illustrano le distribuzioni degli edifici con meccanismo 2 appartenenti agli stessi raggruppamenti. Sono anche messi in evidenza, con la colorazione in rosso, le frequenze percentuali associate ai valori dei rapporti < 1, che naturalmente identificano gli edifici a maggior rischio. Le linee verticali segnano le frequenze che si collocano nelle classi immediatamente al di sotto e al di sopra di 1 e vogliono evidenziare le situazioni prossime alla linea di soglia della sicurezza (nera). È evidente come siano rilevanti le percentuali di edifici che in vario grado, risultano comunque in una situazione di resistenza insufficiente rispetto allo scuotimento atteso e come su di esse incidano anche quegli edifici che hanno un comportamento prevalentemente flessionale.
Per un più immediato raffronto, nella Fig. 1.94 sono riportate le distribuzioni cumulative di frequenza degli edifici per classi dei valori del rapporto PGAc/PGAmax. Si osserva come circa il 50% di tutti gli edifici (linea nera), e poco meno nel caso di quelli scolastici, siano da ritenere in condizioni di rischio avendo un valore del rapporto minore di uno; la stessa percentuale sale al 60% e al 70% per gli edifici sanitari e per gli ospedalieri in particolare. Le percentuali di quelli con un rapporto inferiore al 65% sono comunque rilevanti e vanno dal 30% circa per le scuole, al 40% e 50% per gli altri.

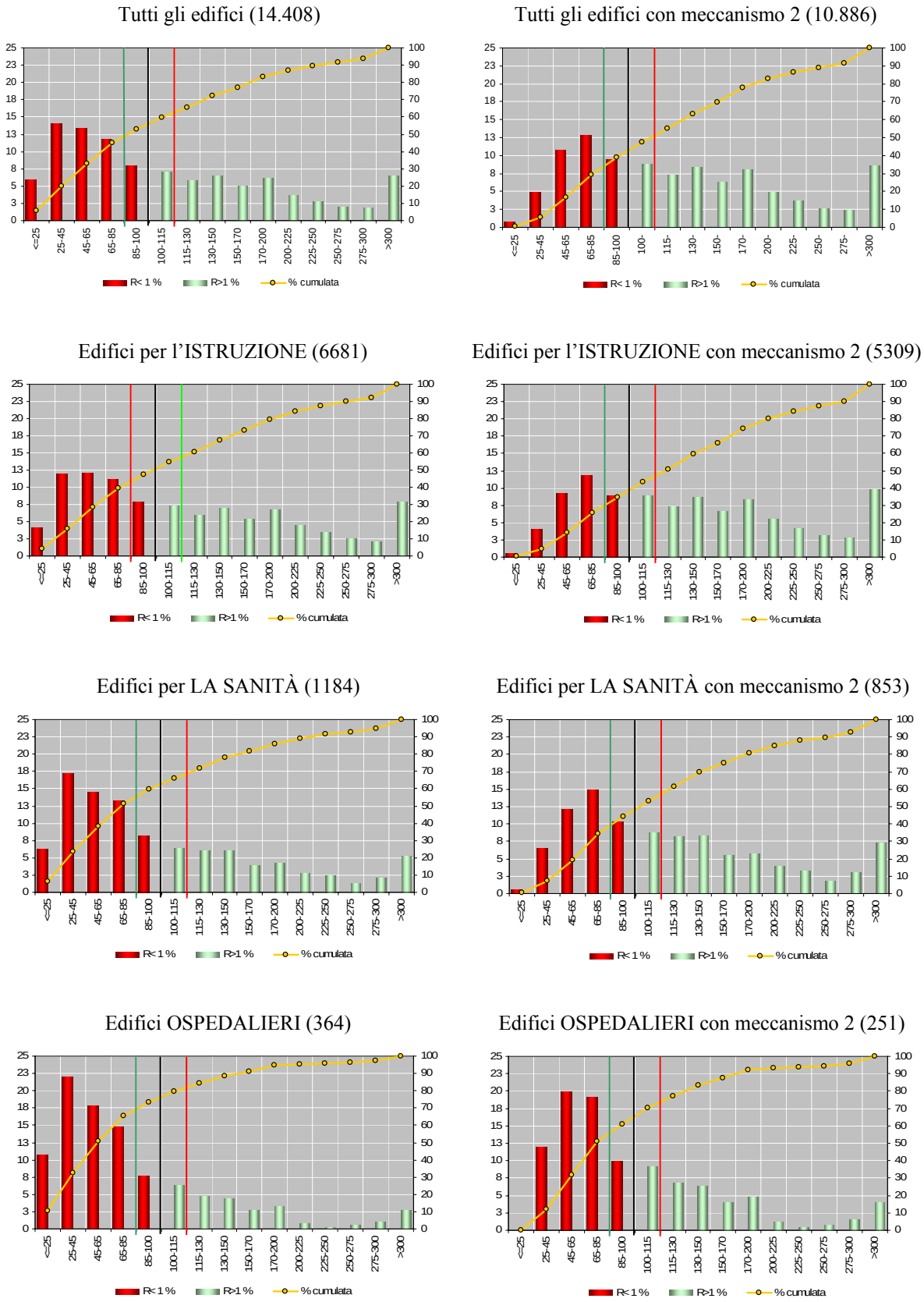


Fig. 1.93– Distribuzione percentuale degli edifici per classi di valori (%) del rapporto PGAc/PGAmax tra accelerazione di collasso su suolo rigido stimata e accelerazione massima attesa nel comune secondo la pericolosità sismica valutata da INGV nel 2004

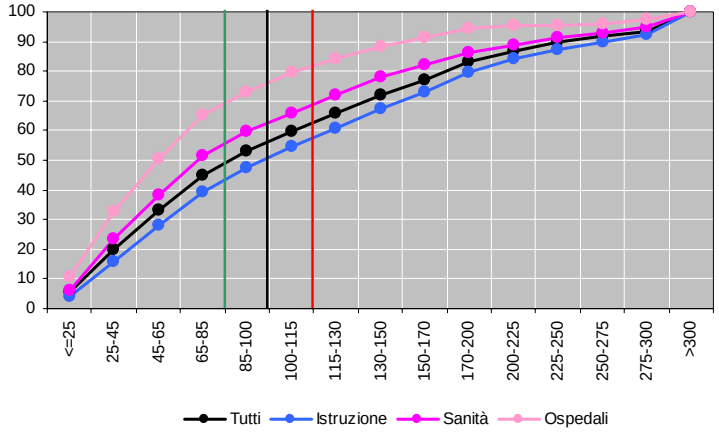


Fig. 1.94– Confronto tra le distribuzione cumulative percentuale degli edifici per classi di valori (%) del rapporto PGAc/PGAmax tra accelerazione di collasso su suolo rigido stimata e accelerazione massima attesa nel comune secondo la pericolosità sismica valutata da INGV nel 2004

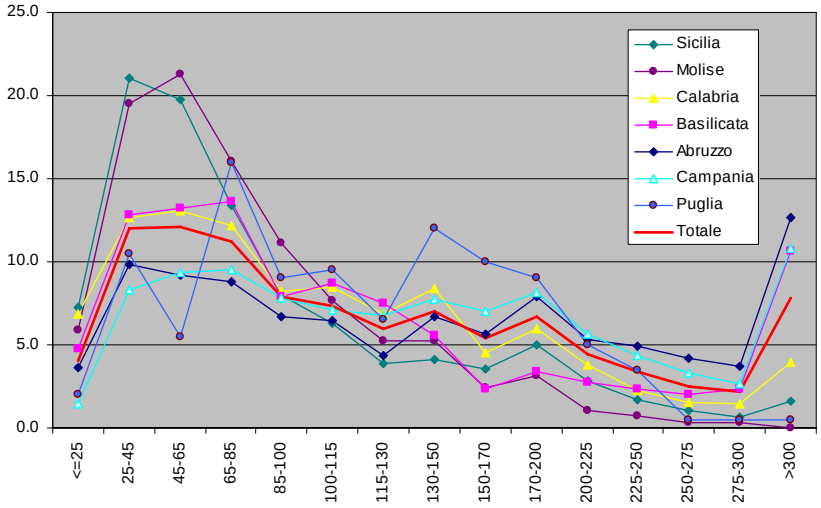


Fig. 1.95– Confronto tra le distribuzione percentuali, per regioni, degli edifici per classi di valori (%) del rapporto PGAc/PGAmax tra accelerazione di collasso su suolo rigido stimata e accelerazione massima attesa nel comune secondo la pericolosità sismica valutata dall'INGV nel 2004

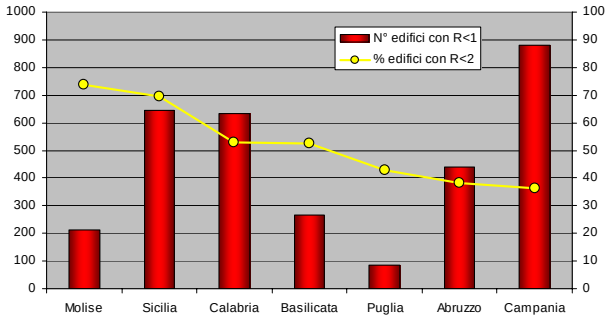


Fig. 1.96– Confronto tra il numero e le percentuali di edifici in muratura con rapporto R=PGAc/PGAmax < 1.

Il confronto tra le distribuzioni percentuali dei rapporti PGAc/PGAmax della Fig. 1.95 mostra come le regioni Sicilia e Molise presentino una percentuale di edifici nettamente maggiore nelle classi 25-45% e 45-65% rispetto alle altre regioni; seguono poi Basilicata e Calabria e quindi Abruzzo Campania e Puglia. La Fig. 1.96 mette in evidenza il confronto fra regioni rispetto al numero

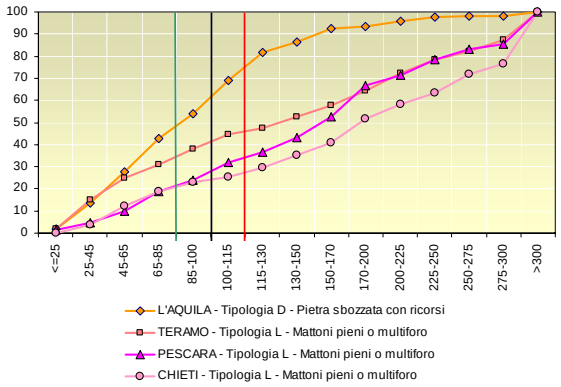
complessivo di edifici con R<1 e la percentuale: il numero maggiore è in Campania con oltre 800 edifici, ma ad esso corrisponde anche il valore percentuale più basso; nella situazione inversa si tova invece il Molise.

Una analisi rispetto alle condizioni di rischio è stata anche effettuata prendendo in considerazione gli edifici raggruppati per tipologie murarie prevalenti nelle province. I risultati sono rappresentati nelle distribuzioni, per classi di valori del rapporto R, nei grafici delle figure da Fig. 1.98 a Fig. 1.104, e per un più facile confronto anche nelle distribuzioni cumulative nella Fig. 1.97 seguente. Nella tabella Tab. 1.28 seguente sono riassunti i dati relativi al numero e alla percentuale di edifici scolastici, appartenenti alle tipologie murarie prevalenti nelle province, che presentano un rapporto R <1. Sono segnati in grassetto i valori percentuali più elevati. Dall'esame dei grafici e della tabella si può notare come alle murature in pietrame (C, D, E) siano associati livelli di rischio più elevati: nella provincia dell'Aquila, di Isernia e Catania. Gli edifici in muratura di blocchi di tufo o pietra squadrata (G), che prevalgono in tutta la regione Campania si presentano in condizioni di rischio più basso nelle province di Casera e Salerno e più elevato in Sicilia nelle province di Siracusa e Ragusa. Gli edifici in mattoni pieni o multiforo hanno valori percentuali mediamente più bassi in Abruzzo e punte più elevate a Campobasso, a Messina e anche nella Calabria.

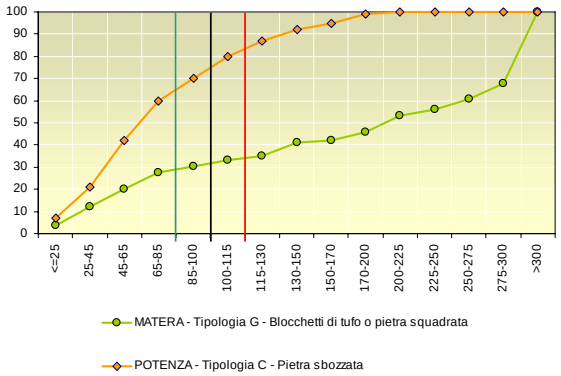
REGIONE	PROVINCIA – Tipologia muraria prevalente	N° con R<1	% con R<1
ABRUZZO	CHIETI - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	70	23.0
	L'AQUILA - Tipologia D - Pietra sbozzata con ricorsi	64	**53.8**
	PESCARA - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	31	24.0
	TERAMO - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	96	38.1
BASILICATA	MATERA - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	32	30.5
	POTENZA - Tipologia C - Pietra sbozzata	70	**70.0**
CALABRIA	CATANZARO - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	64	44.1
	COSENZA - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	83	38.4
	CROTONE - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	8	27.6
	REGGIO C. - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	94	43.9
	VIBO V. - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	28	**46.7**
CAMPANIA	AVELLINO - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	86	39.3
	BENEVENTO - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	100	40.5
	CASERTA - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	101	18.2
	NAPOLI - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	272	**41.6**
	SALERNO - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	58	22.7
MOLISE	CAMPOBASSO - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	31	**57.4**
	ISERNIA - Tipologia E - Pietra arrotondata	27	**93.1**
PUGLIA	FOGGIA - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	43	30.5
SICILIA	CATANIA - Tipologia C - Pietra sbozzata	177	**85.5**
	MESSINA - Tipologia L - Mattoni pieni o multiforo	67	41.1
	RAGUSA - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	60	53.1
	SIRACUSA - Tipologia G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata	72	**71.3**

Tab. 1.28– Tipologie murarie prevalenti nelle province: numero e percentuale di edifici con R < 1.

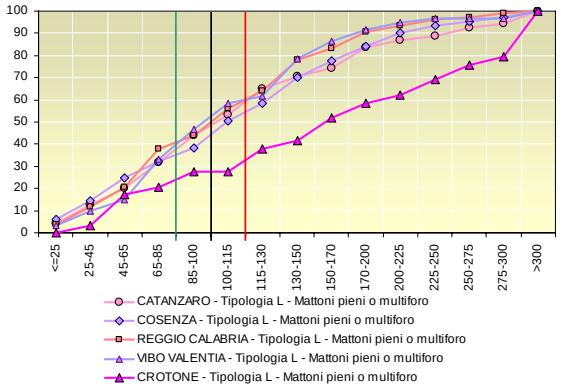
ABRUZZO – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti



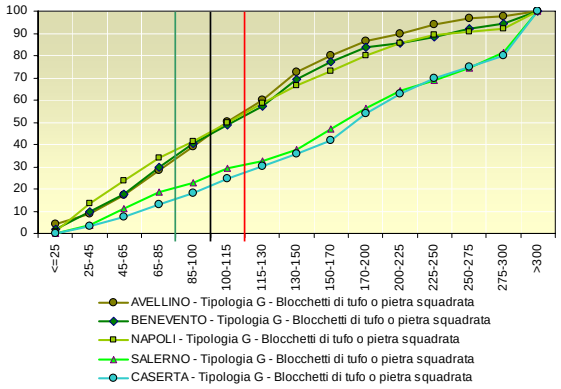
BASILICATA – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti



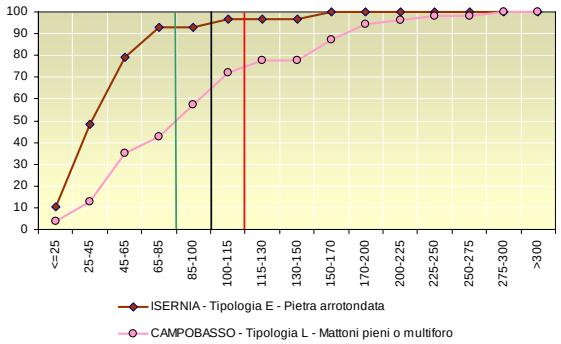
CALABRIA – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti



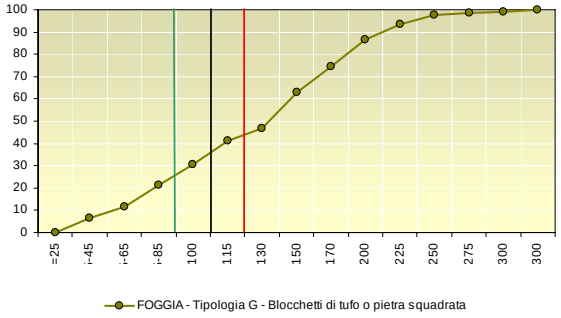
CAMPANIA – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti



MOLISE – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti



PUGLIA – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti



SICILIA – Edifici scolastici:
rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

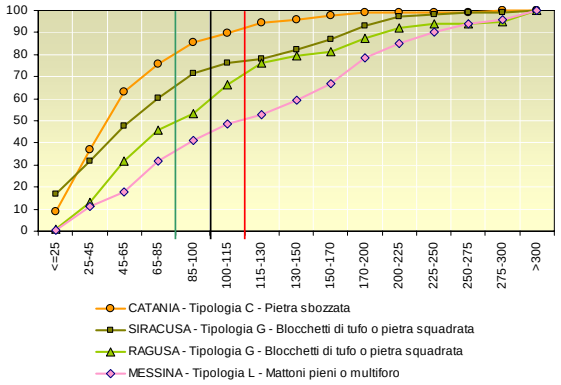
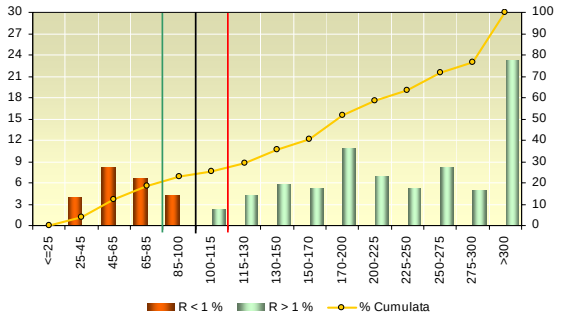


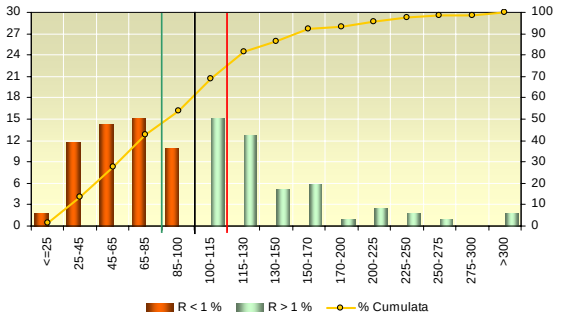
Fig. 1.97– Tipologie prevalenti nelle province:
confronto tra le distribuzioni cumulative percentuali degli edifici per classi di valori (%) del rapporto PGAc/PGAmax tra accelerazione di collasso su suolo rigido stimata e accelerazione massima attesa nel comune secondo la pericolosità sismica valutata da INGV nel 2004

ABRUZZO – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

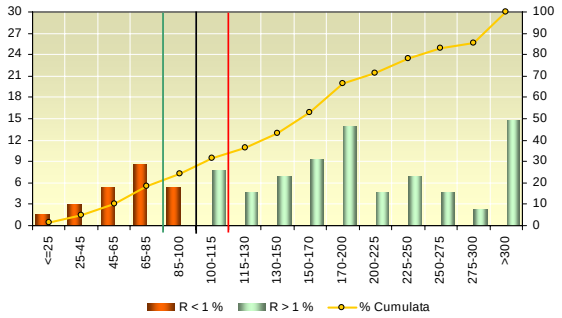
Prov. di Chieti: L - Mattoni pieni o multiforo (70, 23.0%)



Prov. di L'Aquila: D - Pietra sbozzata con ricorsi (64, 54%)



Prov. di Pescara: L - Mattoni pieni o multiforo (31, 24%)



Prov. di Teramo: L - Mattoni pieni o multiforo (96, 38%)

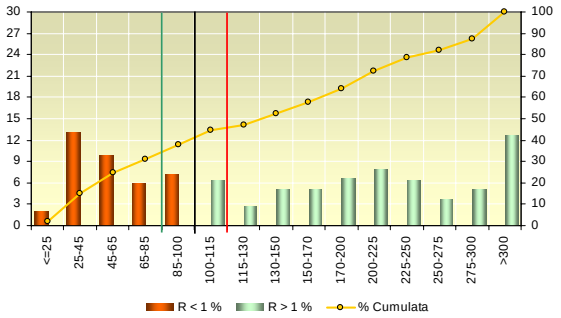
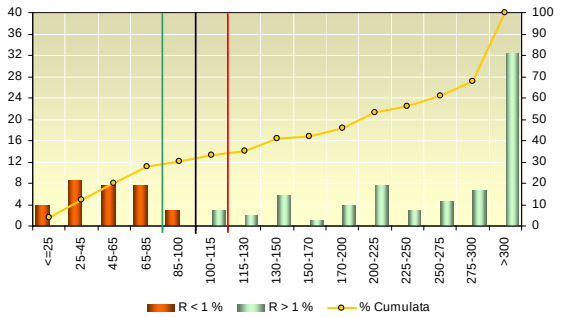


Fig. 1.98 – Abruzzo: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

BASILICATA – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

Prov. di Matera: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Potenza: C - Pietra sbozzata

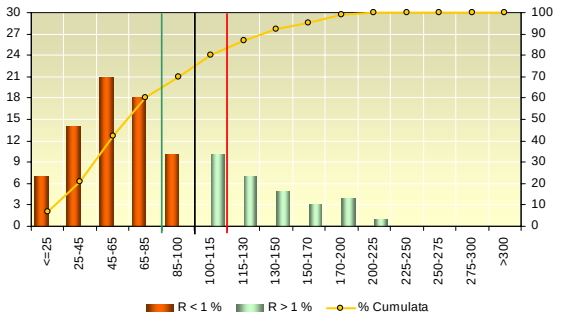


Fig. 1.99 – Basilicata: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

CALABRIA – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

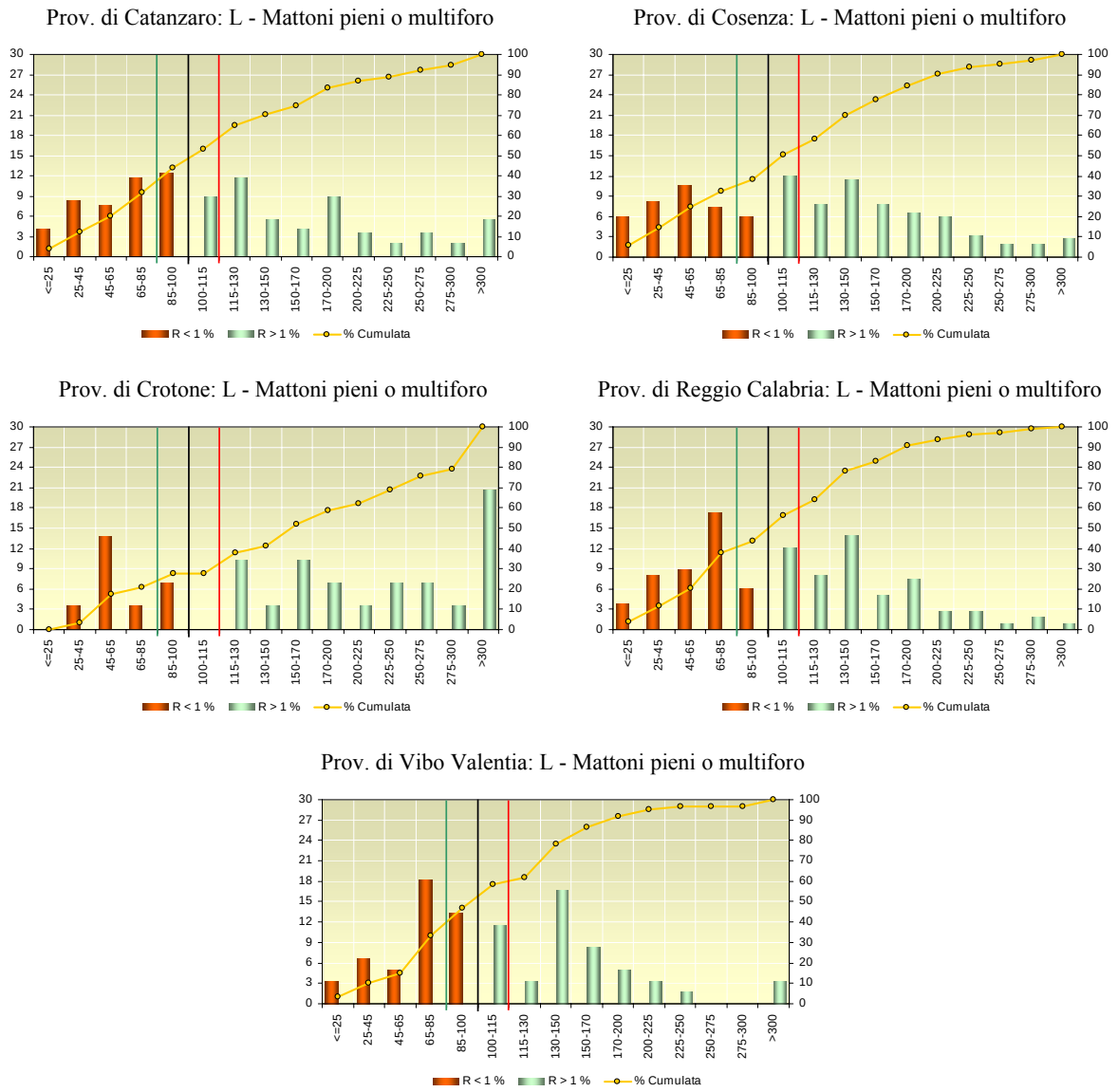
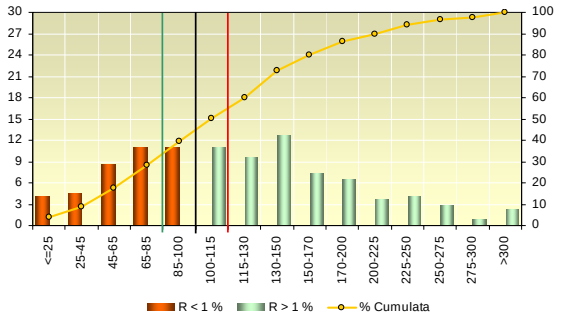


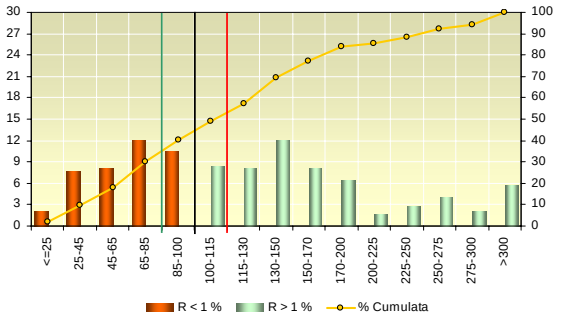
Fig. 1.100 – Calabria: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

CAMPANIA – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

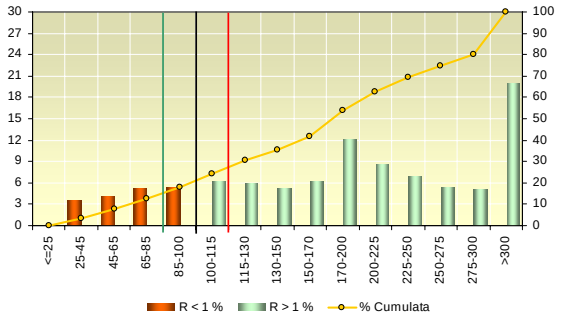
Prov. di Avellino: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



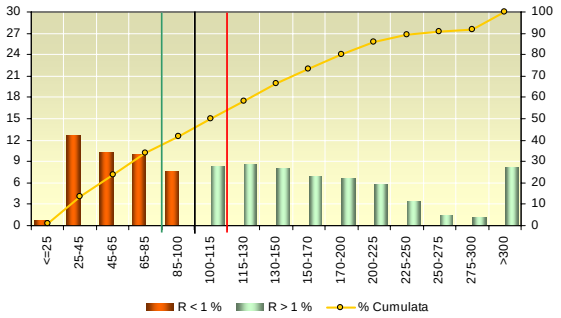
Prov. di Benevento: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Caserta: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Napoli: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Salerno: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

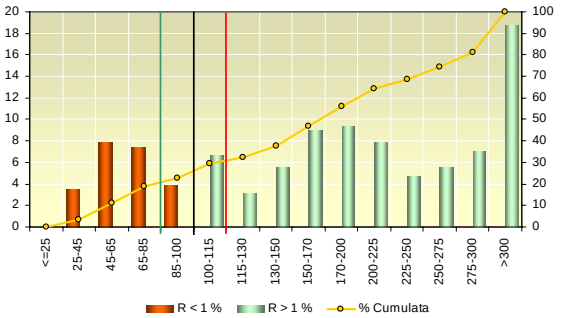
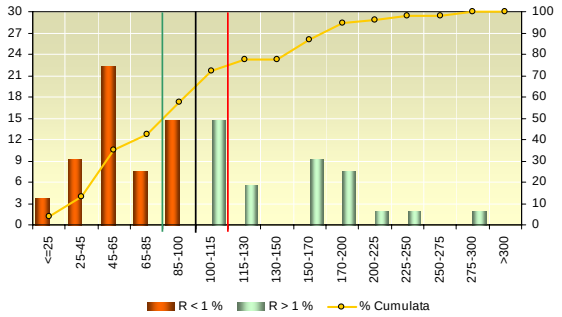


Fig. 1.101 – Campania: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

MOLISE – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

Prov. di Campobasso: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Isernia: E - Pietra arrotondata

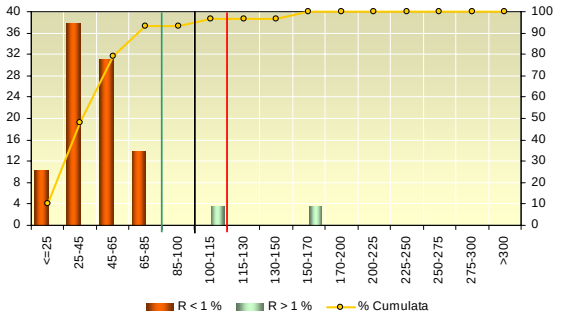


Fig. 1.102– Molise: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

PUGLIA – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

Prov. di Foggia: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

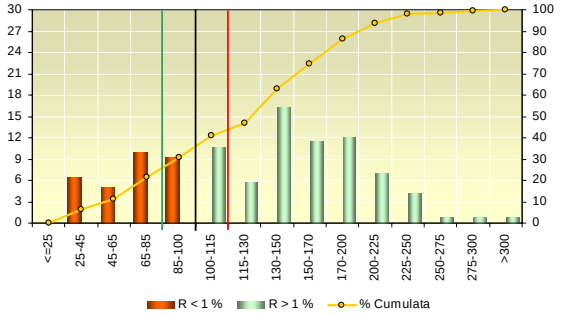
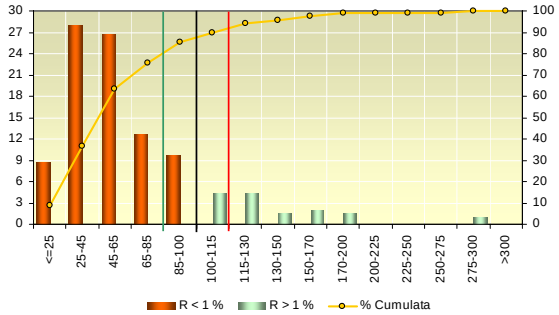


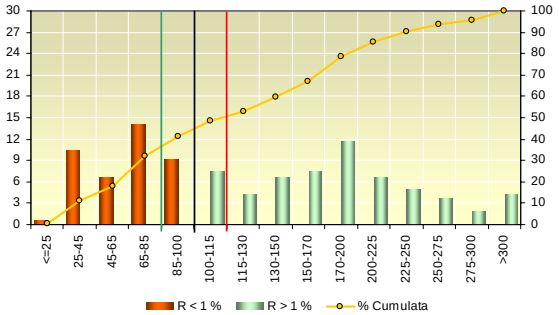
Fig. 1.103– Puglia: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

SICILIA – Edifici scolastici: rapporti PGAc/PGAmax delle tipologie murarie prevalenti

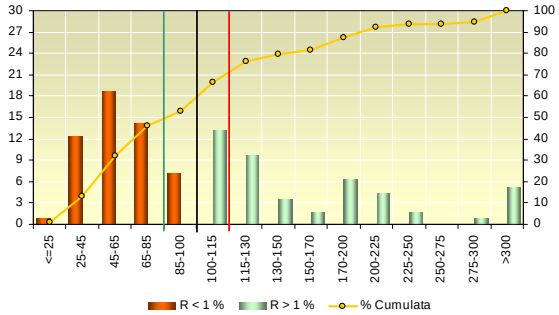
Prov. di Catania: C - Pietra sbozzata



Prov. di Messina: L - Mattoni pieni o multiforo



Prov. di Ragusa: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata



Prov. di Siracusa: G - Blocchetti di tufo o pietra squadrata

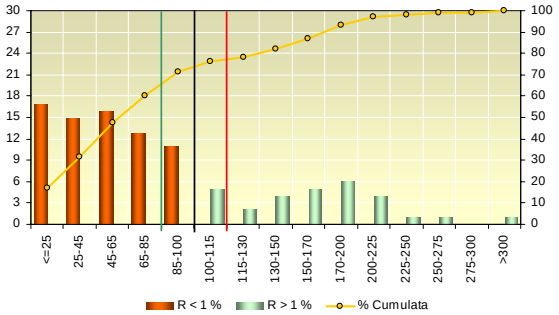


Fig. 1.104 – Sicilia: distribuzioni percentuali degli edifici scolastici con tipologia muraria prevalente nella Provincia per classi dei valori dei rapporti PGAc/PGAmax

1.6 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DEL CEMENTO ARMATO

Il rilievo della vulnerabilità degli edifici in c.a. con la scheda GNDT è stato condotto utilizzando il solo primo livello che, come ricordato nella parte generale, contiene solo pochissime informazioni sulla tipologia costruttiva. Non potendosi pertanto effettuare ulteriori approfondimenti sui dati, si è proceduto ad una revisione, sulla base delle correzioni apportate alla base dati, della valutazione fatta in occasione della stesura del primo rapporto, la cui modalità viene qui di seguito brevemente riproposta.
Per gli edifici in c.a. sono quindi disponibili le sole informazioni di primo livello e, 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.
La chiave di lettura dei dati rilevati riproposta consente di sintetizzare tutte le informazioni disponibili, per pervenire ad una classificazione degli edifici è da considerare non tanto in nel senso di una differenziazione per livelli di vulnerabilità sisnica in senso stretto, ma piuttosto come attribuzione di una classe che individua un livello di attenzione rispetto al problema. Nella analisi sono state 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 delle classi sulla base degli indicatori citati. Di tale schema è stata anche presa in considerazione una variante, nella quale alla tipologia C2OR costruita prima del 1981 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.

CODICI IDENTIFICATIVI DELLE STRUTTURE VERTICALI DEGLI EDIFICI IN C.A. NELLA SCHEDA DI 1°LIV.

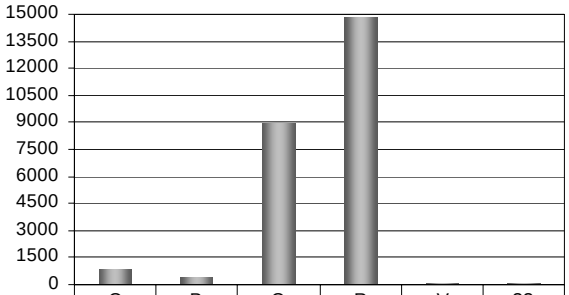
O : strutture verticali in pareti in calcestruzzo armato
P : telai in calcestruzzo armato non tamponati
Q : telai in calcestruzzo armato con tamponature deboli
R: telai in cemento armato con tamponature consistenti

Età e classificazione sismica / Tipologia costruttiva	Edifici costruiti prima del 1981, o in comuni non classificati	Edifici costruiti in comuni classificati con S=6	Edifici costruiti in comuni classificati con S=9 dopo il 1981	Edifici costruiti in comuni classificati con S=12 dopo il 1981
Telai in c.a. non tamponati o con tamponature deboli (P,Q)	*A	*MA	*M	*MB
Telai in c.a. con tamponature consistenti (R)	*MA (*M)	*M (*MB)	*MB	*MB
Pareti in c.a. (O)	*MB	*B	*B	*B

Fig. 1.105– Criteri di assegnazione della classe di vulnerabilità (livello di attenzione) per gli edifici in c.a. in base alle poche informazioni di primo livello disponibili: tipologia delle strutture verticali, epoca di costruzione in relazione alla zona di classificazione

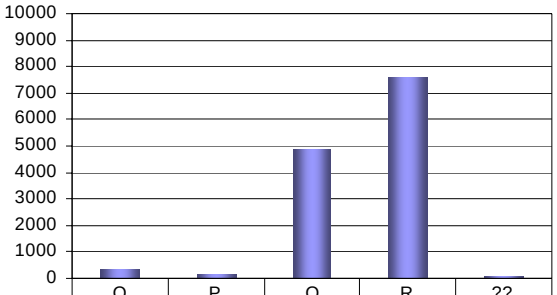
Si è infatti spesso riscontrato, anche nel terremoto in Umbria e Marche, che le tamponature possono contribuire in maniera sostanziale all'assorbimento della sollecitazione sismica e che il loro ruolo diventa determinante, ai fini della sicurezza, quando sono robuste e disposte regolarmente, e quando 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 tamponatura mediante 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. Nei grafici che seguono sono riportate le frequenze di tutti gli edifici in c.a presenti nella base dati, di quelli per l'Istruzione, la Sanità e per gli ospedalieri, relativamente al tipo di strutture verticali, all'epoca di costruzione e alla classificazione sismica vigente prima dell'OPCM 3274. Risultano appartenere per la quasi totalità alle due tipologie di strutture Q ed R, telai con tamponature deboli (tra 35%-40%) e consistenti (tra 55% e 59%) rispettivamente. Rispetto all'epoca di costruzione le scuole risultano per un 7% anteriori al 1960 e per la quasi totalità della restante parte realizzate negli anni '60 (27%), '70 (29%) e 80 (32%); gli edifici per le attività sanitarie mostrano una distribuzione analoga a quella delle scuole con una leggera diminuzione nel gruppo degli anni '80 (25.5%); gli ospedali risultano mediamente meno recenti, presentano un andamento decrescente nei successivi tre decenni, passando dal 37% al 31% e quindi al 18%

Edifici in CA - TUTTI



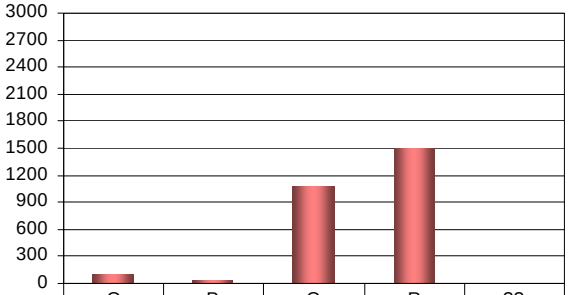
	O	P	Q	R	V	??
N°	836	415	8932	14841	100	104
%	3.3	1.6	35.4	58.8	0.4	

Edifici in CA - ISTRUZIONE



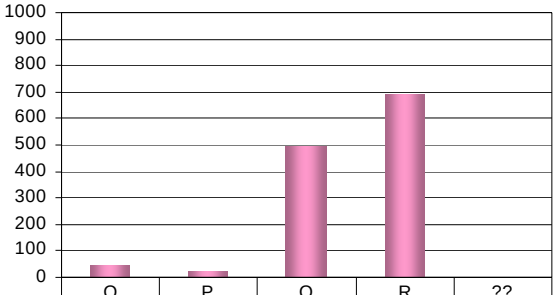
	O	P	Q	R	??
N°	352	175	4879	7594	41
%	2.7	1.3	37.4	58.2	0.3

EDIFICI IN CA - SANITÀ



	O	P	Q	R	??
N°	94	31	1073	1502	3
%	3.5	1.1	39.7	55.6	0.1

Edifici in CA - OSPEDALI



	O	P	Q	R	??
N°	43	21	497	695	
%	3.4	1.7	39.6	55.3	0.0

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 cemento armato con tamponature consistenti

Fig. 1.106– Edifici n c.a. per tipologia delle strutture verticali

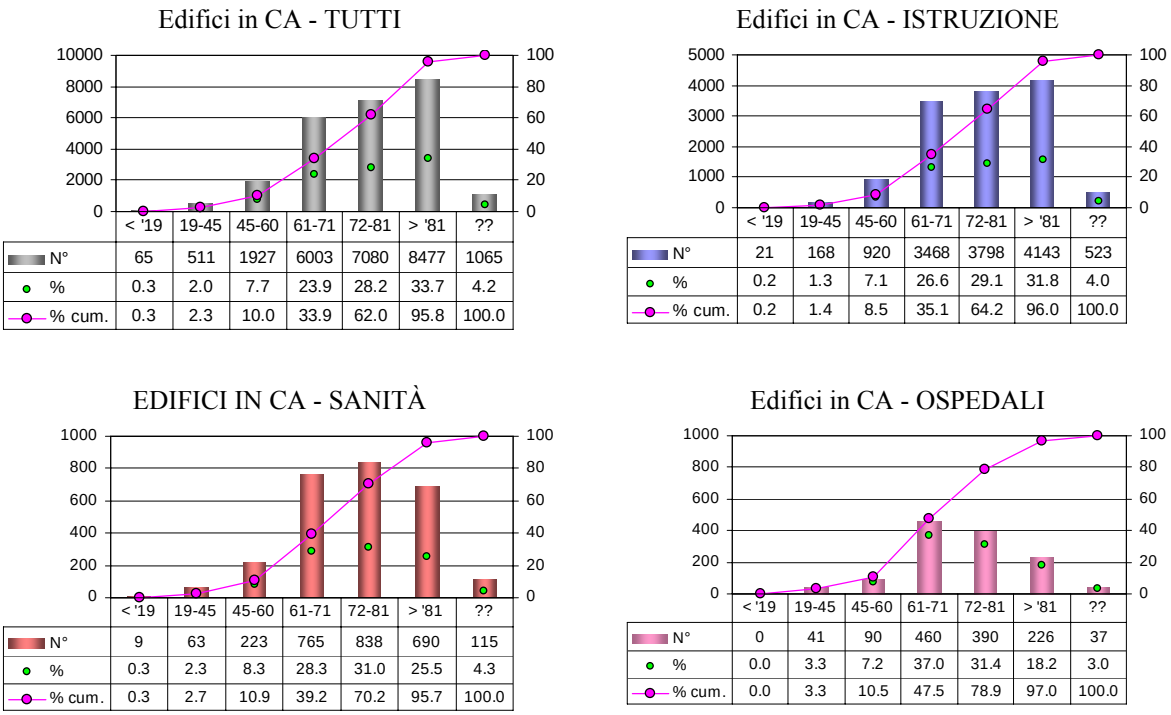


Fig. 1.107– Edifici n c.a. per epoca di costruzione

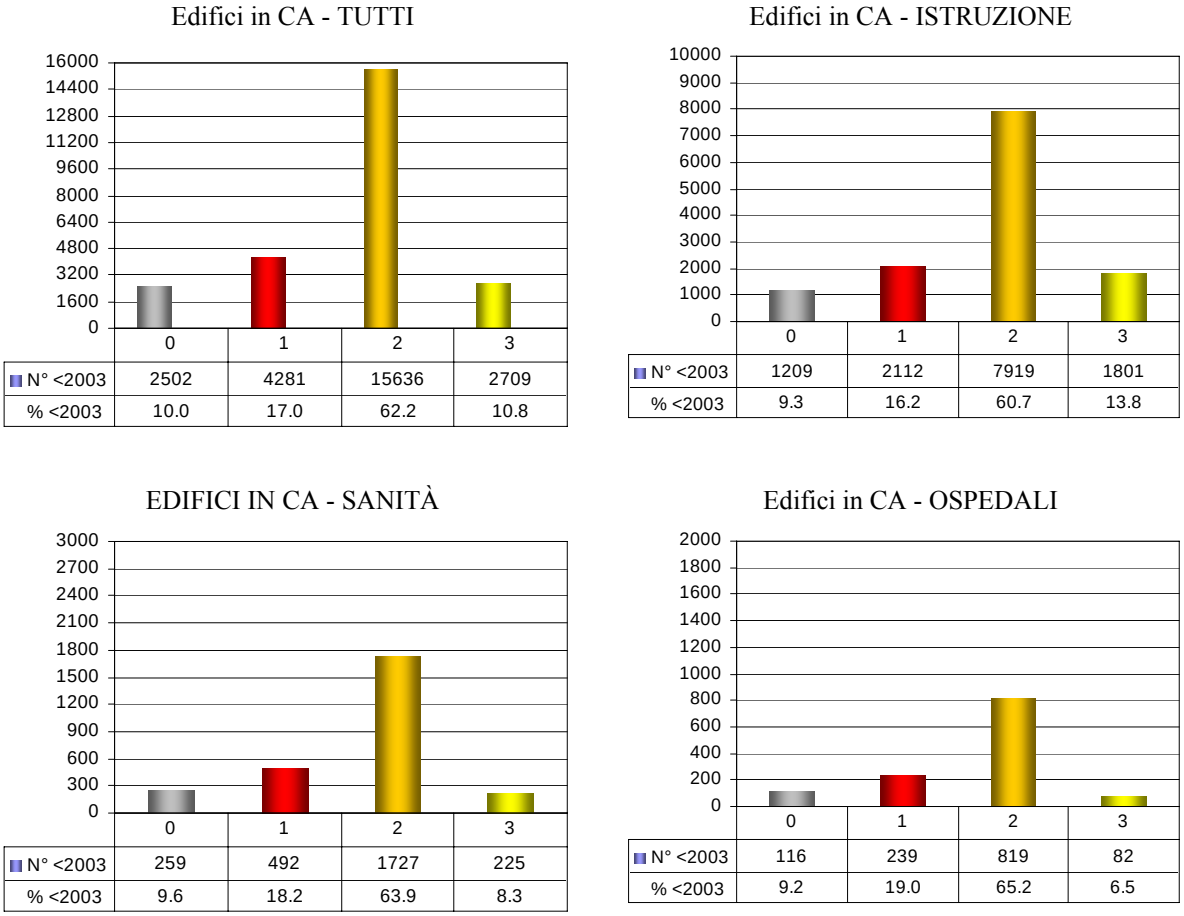
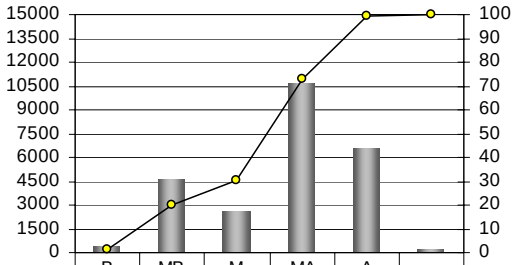


Fig. 1.108– Edifici n c.a. per zona di classificazione sismica anteriore alla riclassificazione dell'OPCM 3274.

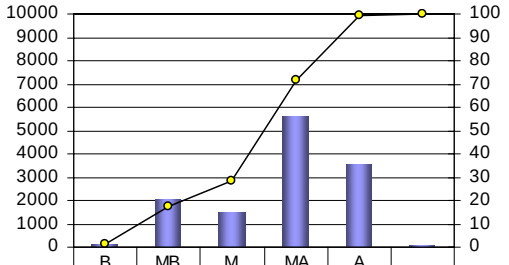
Rispetto alla classificazione si nota che oltre il 60% ricade in zona 2 e che è maggiore la percentuale maggiori di quelli sanitari ed ospedalieri in zona 1 rispetto a quelli per l'istruzione, che a loro volta sono maggiormente presenti in zona 3.
Dall'esame dei dati risulta quindi una prevalenza di edifici costruiti prima degli anni '80 e quindi prima dell'introduzione e dell'effettiva applicazione della normativa antisismica nazionale più aggiornata e di conseguenza, con i criteri della Fig. 1.105, sono molti gli edifici per i quali il livello di attenzione rispetto alle condizioni di vulnerabilità e rischio sono da ascrivere alle classi medio alta (MA) e alta e (A). Infatti, nei grafici che seguono questo si riscontra con evidenza, con una prevalenza di presenze in classe MA; gli edifici in condizioni presumibilmente migliori sono collocati in prevalenza nella classe MB, con un 16% delle scuol3 e un 14% di edifici sanitari; i casi in classe M sono relativamente pochi (11.6% di scuole e 7.5% di sanitari) perché essa viene assegnata solo a quelli di tipo R in zona 3, che sono pochi, e a quelli di tipo P o Q e in zona 2 successivi al 1981.
Questa valutazione piuttosto limitata, che la limitatezza dei dati disponibili consente, mette comunque in giusta evidenza come il problema delle condizioni di sicurezza delle strutture pubbliche in c.a. sia sostanzialmente rilevante se si considera anche semplicemente che dai dati elaborati risulta che un 30% circa degli edifici ha sicuramente superato i cinquanta anni di vita e che questo fatto implica sicuramente per molti di essi problemi di qualità originaria e di degrado dei materiali e che circa un 70% e oltre sicuramente è stato realizzando o in assenza o con criteri antisismici del tutto inadeguati, soprattutto se si pensa a quelli di concezione più recente come quelli recentemente introdotti dalla nuova normativa, rispetto alla quale la OPCM 3274 impone la verifica di sicurezza.

Edifici in CA - TUTTI



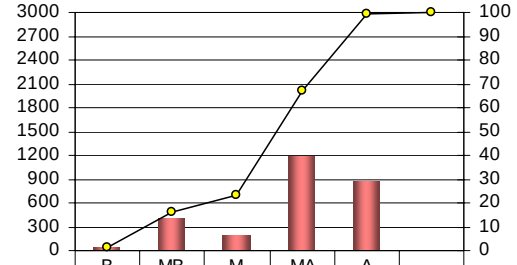
	B	MB	M	MA	A	
N°	374	4688	2599	10677	6565	225
%	1.5	18.7	10.3	42.5	26.1	
% cum.	1.5	20.1	30.5	73.0	99.1	100.0

Edifici in CA - ISTRUZIONE



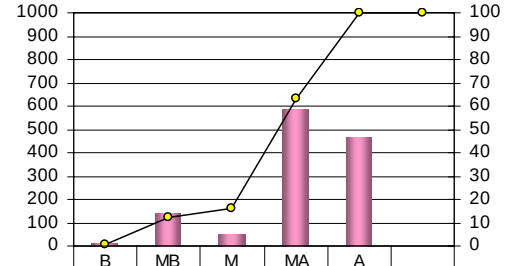
	B	MB	M	MA	A	
N°	135	2095	1511	5632	3576	92
%	1.0	16.1	11.6	43.2	27.4	
% cum.	1.0	17.1	28.7	71.9	99.3	100.0

EDIFICI IN CA - SANITÀ



	B	MB	M	MA	A	
N°	34	399	203	1178	880	9
%	1.3	14.8	7.5	43.6	32.6	
% cum.	1.3	16.0	23.5	67.1	99.7	100.0

Edifici in CA - OSPEDALI



	B	MB	M	MA	A	
N°	12	143	49	587	464	1
%	1.0	11.4	3.9	46.7	36.9	
% cum.	1.0	12.3	16.2	63.0	99.9	100.0

Fig. 1.109– Edifici n c.a. per fascia di vulnerabilità (livello di attenzione).

Osservazioni conclusive

Il lavoro raccolto nei due volumi costituisce un resoconto della ricerca: *Valorizzazione dei dati di vulnerabilità degli edifici pubblici rilevati, nell'ambito del Progetto LSU-96, in 1.510 comuni nelle regioni: Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia (provincia di Foggia) e Sicilia orientale (province di Catania, Ragusa, Siracusa e 67 comuni della fascia orientale della provincia di Messina).*Essa è stata svolta nell'ambito del TEMA 1 - *Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale* del Programma quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti dall'Unità di Ricerca del CNR/ITC - Istituto per le Tecnologie della Costruzione, sede dell'Aquila, come contributo al *Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale* del **Progetto SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani.**
Con particolare attenzione agli edifici destinati all'Istruzione, alle attività Sanitarie ed agli Ospedali, la ricerca è stata finalizzata all'approfondimento della loro caratterizzazione tipologica in ambito regionale e provinciale, al miglioramento della conoscenza delle condizioni di vulnerabilità e rischio sismico.
Una prima parte iniziale del lavoro è stata dedicata alla revisione dei dati presenti nell'archivio informatizzato al fine di ridurre le carenze e le incongruenze presenti, attraverso una operazione di controllo condotta sia per mezzo di procedure informatizzate sia attraverso riscontri diretti sull'archivio cartaceo. Questa attività ha permesso di in particolare di ridurre al minimo alcune eterogeneità presenti nei dati causate dall'uso di versioni diverse della scheda di rilevamento GNDT (in particolare quella riguardante l'epoca di costruzione degli edifici). Altre pre-elaborazioni sono state effettuate per estrapolare informazioni non esplicitamente contenute nella raccolta documentata dalla scheda di rilevamento, come quelle per determinare il numero di piani significativi (utilizzabili e fuori terra).
Le analisi e le elaborazioni sono state indirizzate ad un approfondito utilizzo dei dati per conseguire la migliore conoscenza della caratteristiche tipologiche e di vulnerabilità degli edifici pubblici destinati all'Istruzione, alla Sanità in generale e alle attività propriamente Ospedaliere in particolare. Riguardo a queste ultime è stato fatto un lavoro specifico mediante una paziente indagine compiuta sui complessi ospedalieri esistenti nei territori rilevati, eseguita con il ricorso alle informazioni diffuse anche in internet, che ha portato alla loro corretta identificazione (denominazione e indirizzo) con il numero di aggregati strutturali e di edifici e la tipologia strutturale prevalente. È stato realizzato quindi un database che permette di descrivere in maniera completa 200 complessi ospedalieri censiti che annoverano 1704 edifici
Attraverso l'individuazione di alcune caratteristiche metriche e descrittive del tipo di elementi strutturali costitutivi degli edifici, compatibilmente con le informazioni disponibili, sono state condotte elaborazioni sui dati ed analisi statistiche, riferite alle destinazioni d'uso scelte, con disaggregazioni per grado di studio nel caso delle scuole e naturalmente raggruppamenti territoriali regionali e provinciali. L'intero primo volume, dedicato ai risultati di queste elaborazioni rivolte alla caratterizzazione tipologica, costituisce un repertorio di viste sui vari aspetti esaminati che porta al conseguimento di un quadro dettagliato della composizione della popolazione di edifici censiti e nello stesso tempo consente di individuare i caratteri specifici dei vari gruppi e la loro connotazione nei vari ambiti territoriali. Le caratteristiche esaminate riguardano il numero di piani (totali e fuori terra), la volumetria, le altezze d'interpiano (massime e medie), l'epoca di costruzione, il tipo di intervento più recente e significativo e la sua epoca di esecuzione, la tipologia delle strutture verticali e, attraverso l'incrocio di quest'ultima con quella delle strutture orizzontali, si perviene all'attribuzione e all'esame delle classi tipologiche di vulnerabilità di tipo macrosismico. Per gli edifici dell'Istruzione, della Sanità e per quelli ospedalieri, distinguendo muratura e c.a., l'esame dei precedenti caratteri viene sviluppato attraverso lo studio delle distribuzioni e delle statistiche descrittive, come già detto, per ambiti territoriali regionali e provinciali e, nel caso delle scuole, anche per grado di istruzione (asili nido e scuole materne, elementari, medie, superiori, università, accademie e conservatori). Nel caso degli edifici in muratura sono state individuate le tipologie di murature prevalenti e le combinazioni murature-orizzontamenti prevalenti in ambito provinciale. Per le destinazioni funzionali prese in

esame queste sono state anche illustrate in mappe a livello provinciale che ben rappresentano le diverse tradizioni costruttive presenti nell'Italia meridionale.

Nel secondo volume, dedicato all'approfondimento della valutazione della vulnerabilità sismica, l'attenzione è prevalentemente posta all'illustrazione di una proposta metodologica nuova per una definizione della vulnerabilità degli edifici in muratura di tipo meccanico. Il censimento con la scheda GNDT ha prodotto in generale dati di primo livello e solo per gli edifici in muratura dati di secondo livello. Solo per gli edifici in muratura, pertanto, era possibile pensare di ricercare una possibile modalità di concreto miglioramento della valutazione della vulnerabilità.
Partendo dalle informazioni sulle caratteristiche di resistenza sismica contenute nei dati di secondo livello la metodologia proposta consente di esprimere la vulnerabilità in termini di resistenza sismica ed il rischio mediante un confronto tra l'accelerazione di collasso al suolo stimata per l'edificio e l'accelerazione di picco attesa.
La considerazione di partenza è stata che il modello semplificato di calcolo della resistenza sismica assunto nel parametro 3 di secondo livello, che si basa sulla ipotesi di comportamento sismico con impegno delle pareti nel proprio piano e di una modalità di collasso per superamento della resistenza globale di un piano dell'edificio, sia sufficientemente valido per edifici come la gran parte di quelli pubblici realizzati in epoche e con materiali e tecniche relativamente recenti.
Le informazioni sul buon collegamento tra le pareti (Parametro 1), la presenza di solai rigidi e ben collegati (parametro 5) e di coperture ben realizzate e non spingenti (Parametro 9), desumibili dalla scheda, sono assunte come parametri per il riconoscimento della sussistenza, più o meno marcata, delle condizioni di validità del modello. Le classi di vulnerabilità presenti associate ai tre parametri 1,5 e 9 sono state utilizzate per identificare un probabile meccanismo (e anche sotto-meccansimo) di collasso. L'esame dei dati ha dimostrato che la gran parte degli edifici pubblici presente nella base dati, per oltre il 75% (e per oltre l'80% nel caso delle scuole) possiede caratteristiche che consentono di assegnare loro un meccanismo di collasso di tipo tagliante, chiamato meccanismo di tipo 2 (5 sotto-meccanismi) e nei casi rimanenti meccanismi di collasso di tipo flessionale o misto chiamati di tipo 1 (con 6 sotto-casi) e 3 (con 3 sottocasi).
Identificati i possibili meccanismi di collasso e verificata l'ipotesi di partenza, la procedura messa a punto prevede la rivalutazione della resistenza sismica ultima C di piano attraverso l'assunzione di resistenze di rottura specifiche a taglio realistiche (generalmente più elevate), correggendo quella parte di convenzionalità che viene introdotta dalle assunzioni presenti nella procedura di rilevamento, e la considerazione di fattori correttivi che tengono conto di quegli aspetti di vulnerabilità che sono dovuti alle irregolarità e che sono o indicati da parametri ed informazioni rilevate o comunque da queste derivabili. Di questi fattori Sono state esaminate le conseguenze delle assunzioni fatte per questi fattori sulla base dati per controllarne la coerenza ed in particolare quella relativa alla loro variabilità fissata nell'intervallo 0.8 1 che, alla verifica, porta la resistenza sismica C ad valore corretto C* che mediamente è del 20% e che per i casi estremi giunge al 50% circa. Ottenuto il valore della resistenza sismica ultima di piano, che può essere visto anche come valore della accelerazione che porta a collasso il piano più debole dell'edificio, il passo successivo stabilito nella procedura è quello di determinare il valore dell'accelerazione di collasso al suolo, attraverso assunzioni opportune sui valori del fattore di struttura, dei coefficienti di partecipazione modale, di smorzamento e di amplificazione spettrale, secondo le indicazioni presenti nella OPCM 3274/2003. Infine si stabilisce un valore di riferimento per la accelerazione di collasso su suolo rigido PGAc mediante dividendo il valore precedentemente calcolato per un valore del fattore S per tenere conto delle caratteristiche del suolo, assunte di tipo medie in corrispondenza di quelli classificati come B,C,E, non disponendo di informazioni attendibili per operare una scelta più accurata. Quest'ultimo passaggio è pensato ovviamente per aprire la strada alla possibilità di operare una vera e propria analisi di rischio sismico, potendosi confrontare, per ciascun edificio il valore della PGAc con l'accelerazione attesa, per la quale nelle elaborazioni svolte si è scelto il valore massimo nel territorio comunale stimato dall'ONGV nella più recente mappa della pericolosità nazionale del 2004.
L'applicazione della metodologia è stata naturalmente fatta sul sotto insieme di edifici con meccanismo di collasso tagliente di tipo 2 e dai risultati ottenuti si è constatato un aumento medio dei valori delle resistenze rispetto a quelli calcolati dai rilevatori e riportati sulle schede.

L'esame dei valori medi per regione e tipo di funzione mostrano come siano sempre le regioni Sicilia, Molise e Basilicata ad avere le situazioni più critiche in generale per l'insieme di tutti gli edifici e pere le scuole; passando a quelli della Sanità ed Ospedalieri, diminuiscono in generale le medie ed in particolare per la Basilicata.

Una analisi è stata anche fatta per verificare i livelli di resistenza ottenuti per gli edifici raggruppati secondo le tipologie prevalenti individuate nella caratterizzazione tipologica. Nell'ambito di questa analisi, una suddivisione ulteriore fatta fra edifici costruiti prima del 1945 e dopo ha evidenziato una generale minore resistenza media dei primi, per tutte le tipologie in tutte le regioni (un pò meno evidente nel caso della Calabria).

Una approfondita analisi della correlazione tra resistenze ricalcolate e indice di vulnerabilità GNDT è stata svolta che ha poi portato a realizzare una regressione multipla di tipo esponenziale che assume come ulteriore parametro anche il numero di piani. Mediante le estrapolazioni derivate da questa regressione è stato possibile assegnare con buona coerenza valori di resistenza sismica anche agli edifici con meccanismi di collasso di tipo flessionale.

Il successivo passaggio ai valori alle PGA di collasso e quindi alle accelerazioni di collasso su suolo rigido ha consentito di ottenere una serie di risultati significativi, articolati in relazione ai vari raggruppamenti degli edifici, alle tipologie e risultati generali che, anche se da testare, si dimostrano ragionevolmente calibrati per costituire un valido riferimento per analisi preliminari di vulnerabilità e rischio e anche per valutazioni più accurate, soggette, come sono quest'ultime, a tutta una serie di incertezze che, se non ben dominate dall'esperienza, possono condurre spesso a esiti discutibili.

L'analisi di rischio sismico attraverso il calcolo dei rapporti delle PGAc rispetto alle pga massime attese nei comuni secondo la pericolosità INGV-2004, costituisce una valutazione aggiornata importante per avere un quadro preliminare riguardo alla necessità di procedere a specifiche attività di indagine e di prevenzione mediante interventi . Anche in questo ambito i risultati sono numerosi. Risultano particolarmente significati quelli relativi alle distribuzione dei valori dei rapporti per classi che evidenziano bene le situazioni più a rischi, quelle di maggiore incertezza e quelle decisamente più sicure.

Riguardo alla vulnerabilità degli edifici in c.a., la disponibilità di fatto di dati di solo primo livello, ha consentito solo la riproposizione della classificazione fatta in occasione della stesura del primo rapporto sul censimento; riproposizione che trae vantaggio dagli aggiornamenti e correzioni operati sull'archivio e che costituisce solo un sistema per discriminare diversi livelli di attenzione.

L'insieme di tutta l'attività di lavoro svolto ha generato una notevole mole di risultati e di conseguenza alla realizzazione dei seguenti prodotti:

Un revisionato ed aggiornato archivio dei dati degli edifici pubblici LSU, al quale sono state in particolare aggiunte anche informazione che individuano con esattezza le strutture ospedaliere con i relativi aggregati strutturale ed edifici;

Una nuova metodologia, di tipo meccanicistico, per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura;

I due volumi di documentazione che costituiscono un vasto e approfondito repertorio di dati, analisi, classificazione e valutazioni sulle caratteristiche degli edifici:

Volume I: CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE PR L'ISTRUZIONE E LA SANITÀ

Volume II: ANALISI DELLA VULNERABILITÀ E DEL RISCHIO SISMICO;

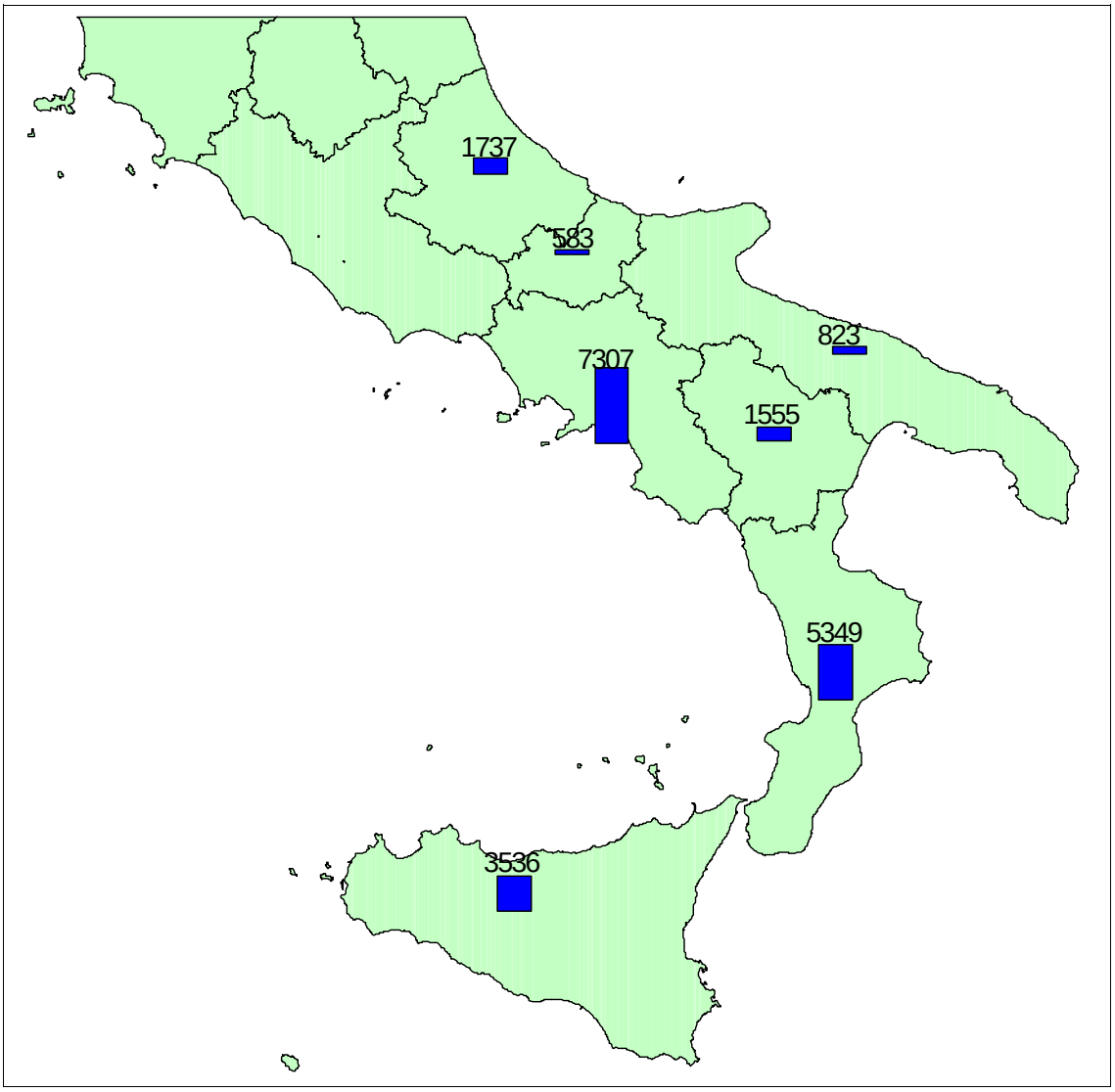
Mappe di vulnerabilità e rischio sismico;

Infine uno strumento software interattivo per una facile consultazione dell'archivio dati che propone una lettura di dettaglio delle informazioni, una lettura più semplice, di tipo qualitativo basata su enunciazioni testuali che traducono le analisi più formali e specialistiche della prima e mette anche a disposizione una modalità per la formazione delle schede di livello 0.

I prodotti sono stati pensati e proposti anche come utili strumenti a supporto della programmazione dell'attività di controllo delle condizioni di sicurezza sismica degli edifici strategici e speciali prescritta dalla OPCM 3274/2003

PARTE 1ª
EDIFICI SCOLASTICI

ANALISI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO



Edifici per l'Istruzione rilevati nelle 7 regioni con il Progetto LSU-1996

2 EDIFICI SCOLASTICI IN MURATURA PER AMBITI TERRITORIALI E GRADO DI ISTRUZIONE

2.1 ANALISI DI VULNERABILITÀ

Viene analizzato il dato relativo ai parametri di vulnerabilità e all'indice di vulnerabilità degli edifici scolastici in muratura determinabile dalle informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità di 2º livello.
La classificazione degli edifici scolastici in muratura riguardo i parametri di vulnerabilità e l'attribuzione di un indice di vulnerabilità viene fatta secondo i criteri esposti in precedenza.
Ai fini della rappresentazione dei risultati relativi alla vulnerabilità degli edifici scolastici in muratura la scala dei valori che l'indice di vulnerabilità può assumere, compresi tra 0 e 100, è stata suddivisa in 10 intervalli.
Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito territoriale considerato nonché la percentuale cumulata.
Si evidenzia innanzi tutto che gli edifici scolastici in muratura hanno associati livelli di vulnerabilità che sono descrivibili da indici compresi prevalentemente tra 10 e 30 con lievi variazioni tra una regione e l'altra. Si osserva in generale che i valori assunti dall'indice di vulnerabilità sono piuttosto ridotti e sono poco frequenti gli edifici che appaiono caratterizzati da elevata vulnerabilità; i massimi valori assunti dall'indice sono comunque inferiori a 80.
Si riscontrano lievi differenze tra le regioni; in particolare nel Molise, in Puglia e in Basilicata gli edifici scolastici in muratura presentano con maggiore frequenza indici di vulnerabilità compresi nell'intervallo tra 20 e 30, mentre in tutte le altre regioni prevalgono valori compresi nell'intervallo tra 10 e 20.
All'interno delle singole regioni non si apprezzano differenze rilevanti tra le situazioni rilevate nelle diverse province. In Calabria gli edifici mediamente più vulnerabili si individuano nella provincia di Crotone, così come in Molise la provincia di Campobasso è più vulnerabile di quella di Isernia; infine in Sicilia si distingue la provincia di Messina dove gli edifici scolastici in muratura risultano mediamente meno vulnerabili.
Con riferimento ai raggruppamenti realizzati rispetto al grado di istruzione degli edifici scolastici in muratura si osserva che gli edifici più vulnerabili sono generalmente accademie o conservatori, università e scuole superiori; in accordo con i risultati emersi nelle analisi relative ai dati geometrici, di epoca di costruzione e di classi tipologiche MSK. In particolare le scuole superiori e le università presentano buone percentuali di edifici con indice di vulnerabilità superiore a 40 (24,6% per le università e 19,5% per le scuole superiori).
Il dato è confermato anche nell'analisi dei risultati ottenuti nelle singole regioni e si evidenzia come la distribuzione dell'indice di vulnerabilità tende gradualmente verso valori maggiori all'aumentare del grado di istruzione.
Concorre a definire l'indice di vulnerabilità l'attribuzione degli edifici alle classi definite per ognuno dei parametri di vulnerabilità di 2º livello. È interessante osservare a tal proposito le distribuzioni degli 11 parametri di vulnerabilità nelle classi A, B, C e D a vulnerabilità crescente.
A tal proposito si può evidenziare come i parametri che risultano a vulnerabilità più ridotta (caratterizzati da elevate percentuali di edifici collocati in classe A, oltre il 75%) negli edifici scolastici in muratura siano quelli che descrivono la posizione dell'edificio e le condizioni delle fondazioni e la configurazione in elevazione (parametri: 4 e 7).
Una situazione non molto diversa (con ridotte percentuali di edifici in classi C e D) riguarda i parametri relativi a: gli orizzontamenti e la copertura (che risultano per la maggior parte costituiti da laterocemento o solette in c.a.), la qualità del sistema resistente, gli elementi non strutturali e lo stato

di fatto (parametri: 2, 5, 9, 10 e 11). Tendenzialmente meno buona è però la situazione descritta dal parametro 5 (orizzontamenti) con circa il 35% di edifici in classi C e D.
In condizioni intermedia si collocano i parametri 1 e 3, caratterizzanti il tipo ed organizzazione del sistema resistente e la resistenza convenzionale, che presentano comunque una percentuale di edifici attribuiti alle classi A e B superiore al 50%.
I parametri più vulnerabili risultano infine quelli che descrivono la configurazione planimetrica e la distanza massima tra le murature (parametri 6 e 8), con oltre il 50% degli edifici in classe C e D (circa il 75% per il parametro 6).
Questi risultati rispecchiano le caratteristiche peculiari degli edifici scolastici, generalmente poco vulnerabili, regolari in elevazione ma poco regolari in pianta e con distanze elevate tra le murature portanti.
Sostanzialmente analoga è la situazione che si presenta all'interno dei diversi ambiti regionali con alcune variazioni relativamente al parametro 5 (orizzontamenti) che in alcune regioni (Basilicata, Calabria e sopratutto Molise, Puglia e Sicilia) si presenta con maggiore frequenza in classi C e D.
Lo stesso può dirsi per il parametro 3 (resistenza convenzionale) che risulta essere il più variabile da regione a regione e si sposta verso condizioni di vulnerabilità peggiori in regioni come la Basilicata, il Molise e la Puglia. Il Molise inoltre è la regione che più si discosta dal resto del campione analizzato riguardo le distribuzioni analizzate.
Confrontando le classificazioni dei parametri di vulnerabilità tra i diversi gradi di istruzione degli edifici scolastici in muratura non si evidenziano situazioni di particolare rilievo ma si osservano ancora una volta variazioni nel parametro 5 ed inoltre situazioni di vulnerabilità generalmente più elevata per gli edifici sedi di università ed accademie o conservatori.
Ulteriori considerazioni interessanti riguardano la correlazione tra gli indici di vulnerabilità e le classi tipologiche MSK di appartenenza degli edifici.
A tal proposito, per i diversi ambiti territoriali e per i differenti gradi di istruzione, sono state tracciate le distribuzioni dell'indice di vulnerabilità degli edifici del campione analizzato nelle classi tipologiche MSK e sono stati calcolati i valori medi dell'indice di vulnerabilità ed i coefficienti di variazione nelle classi MSK.
I risultati ottenuti mostrano come nel passaggio da una classe tipologica all'altra, procedendo dalla classe D1 alla A, le rispettive distribuzioni dell'indice di vulnerabilità si spostino verso valori più elevati e diventino al contempo più disperse; allo stesso modo i valori medi dell'indice crescono ed in maniera più decisa passando dalla classe C1 alla B e dalla B alla A.
In accordo con la definizione stessa delle classi tipologiche MSK la situazione si ripete in maniera analoga nelle diverse regioni. Un comportamento irregolare tuttavia si presenta in Sicilia dove la classe D1 assume valori medi dell'indice di vulnerabilità superiori anche alla classe B ed in Molise dove la classe B risulta poco più vulnerabile della A.
Estendendo l'analisi a livello provinciale le osservazioni fatte trovano riscontro ma fanno eccezione la provincia di Matera dove le diverse classi tipologiche hanno associati indici di vulnerabilità medi pressoché identici e le province di Catania e Ragusa che presentano valori elevati di vulnerabilità nella classe D1 (anche superiori a quelli della classe A).
Con riferimento alla distinzione per grado di istruzione degli edifici scolastici in muratura la situazione si ripresenta come descritto.
Tuttavia anche in questo caso le categorie di edifici che presentano singolarità rispetto all'andamento generale sono rappresentate dalle università, con vulnerabilità elevata della classe tipologica D1, e dalle accademie o conservatori con valori medi degli indici di vulnerabilità molto simili per tutte le classi tipologiche MSK.

2.1.1 Indice di vulnerabilità degli edifici per regione

I.V.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
0: 9	213	60	237	530	22	36	133	1231
10: 19	469	158	498	866	79	84	272	2426
20: 29	309	168	309	612	106	61	342	1907
30: 39	124	96	141	323	57	25	210	976
40: 49	62	43	70	167	22	15	66	445
50: 59	23	14	32	46	5	2	32	154
60: 69	8	6	11	14	4	1	11	55
70: 79	1	3	3	6	2	1	3	19
80: 89	1	0	0	0	0	0	0	1
90: 100	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	1210	548	1301	2564	297	225	1069	7214

I.V.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
0: 9	17,6	10,9	18,2	20,7	7,4	16,0	12,4	17,1
10: 19	38,8	28,8	38,3	33,8	26,6	37,3	25,4	33,6
20: 29	25,5	30,7	23,8	23,9	35,7	27,1	32,0	26,4
30: 39	10,2	17,5	10,8	12,6	19,2	11,1	19,6	13,5
40: 49	5,1	7,8	5,4	6,5	7,4	6,7	6,2	6,2
50: 59	1,9	2,6	2,5	1,8	1,7	0,9	3,0	2,1
60: 69	0,7	1,1	0,8	0,5	1,3	0,4	1,0	0,8
70: 79	0,1	0,5	0,2	0,2	0,7	0,4	0,3	0,3
80: 89	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90: 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 2.1 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per regione, in numero e percentuale

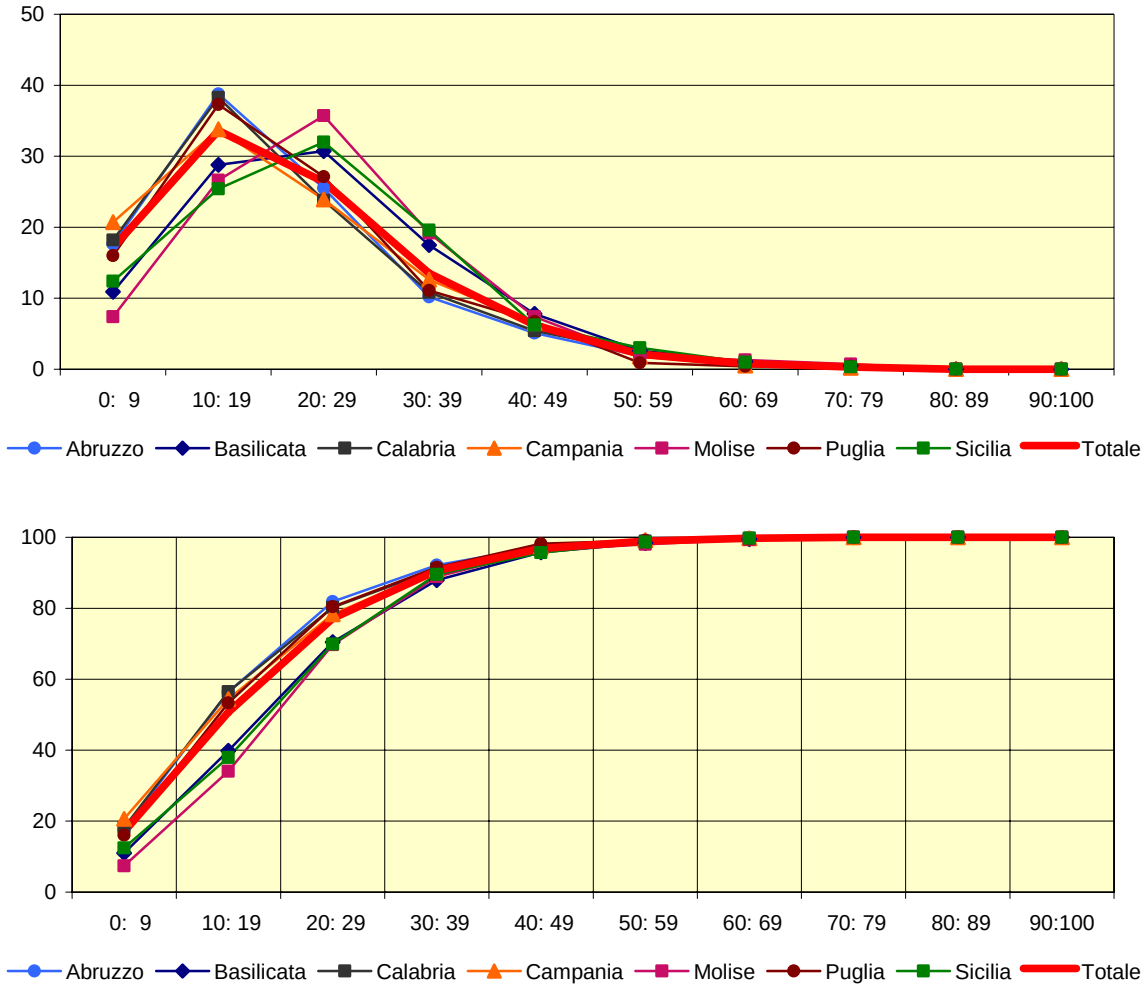
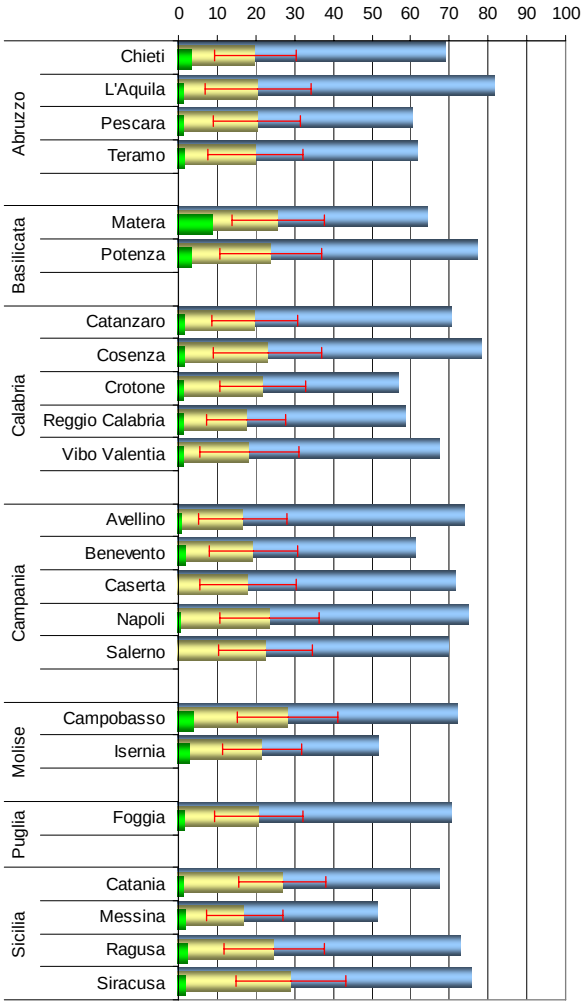


Fig. 2.1 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	19,88	10,57	4	69
	AQ	20,52	13,68	1	82
	PE	20,28	11,27	1	60
	TE	20,00	12,24	2	62
Basilicata	MT	25,75	11,98	9	64
	PZ	23,92	13,09	4	77
Calabria	CZ	19,71	11,06	2	71
	CS	23,05	13,98	2	78
	KR	21,76	10,97	1	57
	RC	17,51	10,19	1	59
	VV	18,45	12,75	1	68
Campania	AV	16,69	11,37	1	74
	BN	19,28	11,37	2	61
	CE	18,04	12,45	0	72
	NA	23,57	12,82	1	75
	SA	22,41	12,20	0	70
Molise	CB	28,29	13,06	4	72
	IS	21,54	10,16	3	52
Puglia	FG	20,61	11,44	2	71
Sicilia	CT	26,85	11,27	1	68
	ME	17,10	9,76	2	52
	RG	24,72	12,84	2	73
	SR	29,01	14,16	2	76

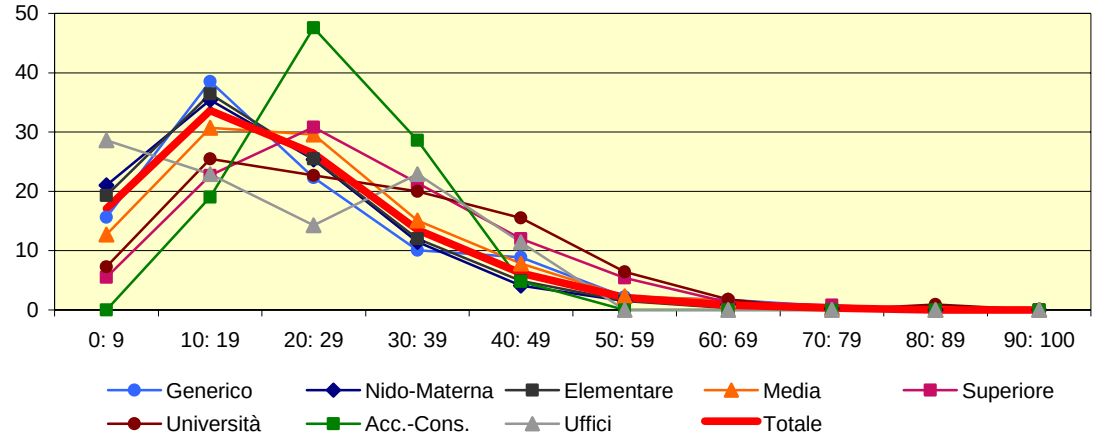
Fig. 2.2 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard degli indici di vulnerabilità degli edifici scolastici

2.1.2 Indice di vulnerabilità degli edifici per grado di istruzione

I.V.	Generico	Nido Materna	Elementare	Media	Superiore	Università	Acc. o Cons.	Uffici	Totale
0: 9	28	370	662	106	46	8	0	10	1230
10: 19	69	623	1249	256	189	28	4	8	2426
20: 29	40	448	875	247	256	25	10	5	1906
30: 39	18	203	413	126	178	22	6	8	974
40: 49	16	73	170	65	100	17	1	4	446
50: 59	4	26	52	19	45	7	0	0	153
60: 69	3	16	10	13	11	2	0	0	55
70: 79	1	3	5	3	7	0	0	0	19
80: 89	0	0	0	0	0	1	0	0	1
90: 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	179	1762	3436	835	832	110	21	35	7210

I.V.	Generico	Nido Materna	Elementare	Media	Superiore	Università	Acc. o Cons.	Uffici	Totale
0: 9	15,6	21,0	19,3	12,7	5,5	7,3	0,0	28,6	17,1
10: 19	38,5	35,4	36,4	30,7	22,7	25,5	19,0	22,9	33,6
20: 29	22,3	25,4	25,5	29,6	30,8	22,7	47,6	14,3	26,4
30: 39	10,1	11,5	12,0	15,1	21,4	20,0	28,6	22,9	13,5
40: 49	8,9	4,1	4,9	7,8	12,0	15,5	4,8	11,4	6,2
50: 59	2,2	1,5	1,5	2,3	5,4	6,4	0,0	0,0	2,1
60: 69	1,7	0,9	0,3	1,6	1,3	1,8	0,0	0,0	0,8
70: 79	0,6	0,2	0,1	0,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,3
80: 89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
90: 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 2.2 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per grado di istruzione, in numero e percentuale



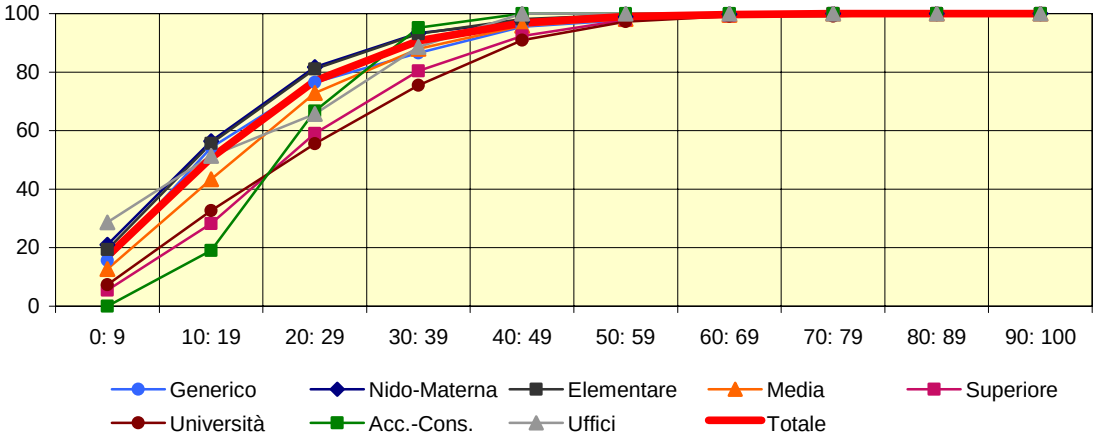


Fig. 2.3 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per grado di istruzione, in percentuale e cumulata

2.1.3 Correlazione dell'indice di vulnerabilità con le classi tipologiche MSK

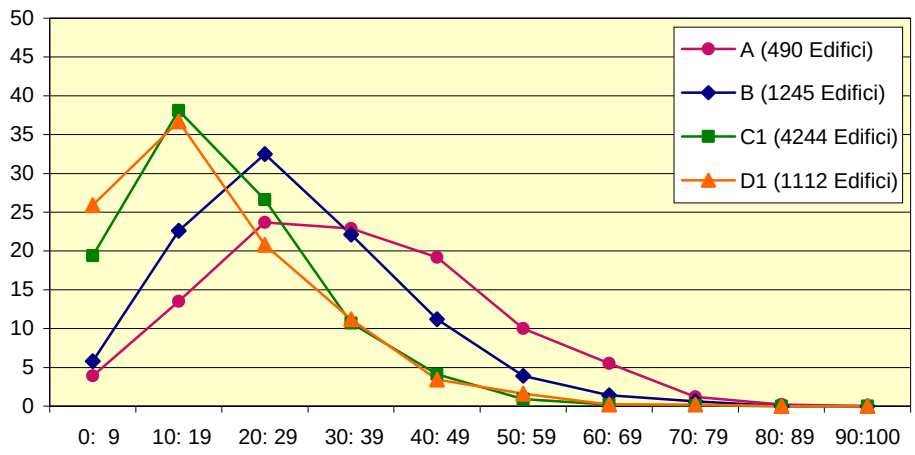


Fig. 2.4 – Distribuzione percentuale dell'indice di vulnerabilità degli edifici scolastici nelle classi tipologiche MSK

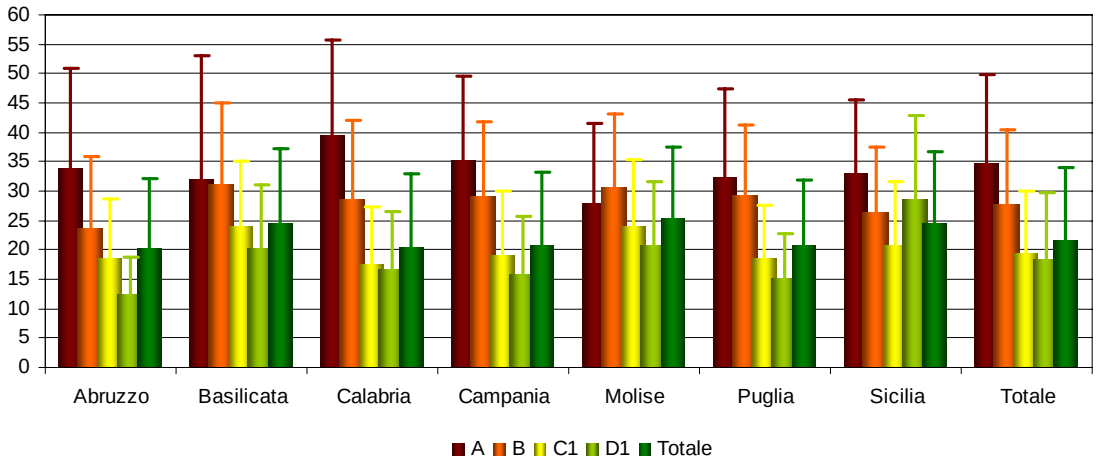


Fig. 2.5 – Distribuzione dei valori medi dell'indice di vulnerabilità degli edifici scolastici nelle classi tipologiche MSK e coefficiente di variazione, per regione

MSK		Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
A	Media di A	33,66	31,90	39,42	35,09	27,97	32,14	32,87	34,47
	CV	51,46	66,10	41,20	41,03	48,79	47,61	38,76	44,52
B	Media di B	23,70	31,00	28,40	29,02	30,61	29,17	26,16	27,72
	CV	52,00	45,35	48,33	44,29	40,46	41,59	42,95	46,09
C1	Media di C1	18,53	23,79	17,53	18,89	23,85	18,39	20,65	19,20
	CV	55,22	47,62	56,60	58,74	48,54	49,62	52,63	56,16
D1	Media di D1	12,37	20,18	16,56	15,80	20,76	14,87	28,33	18,23
	CV	52,57	53,61	60,16	62,82	52,40	53,58	51,59	62,99
Media di Totale		20,17	24,38	20,44	20,57	25,31	20,57	24,26	21,51
CV di Totale		59,79	52,29	61,61	60,96	48,56	55,42	51,32	58,35

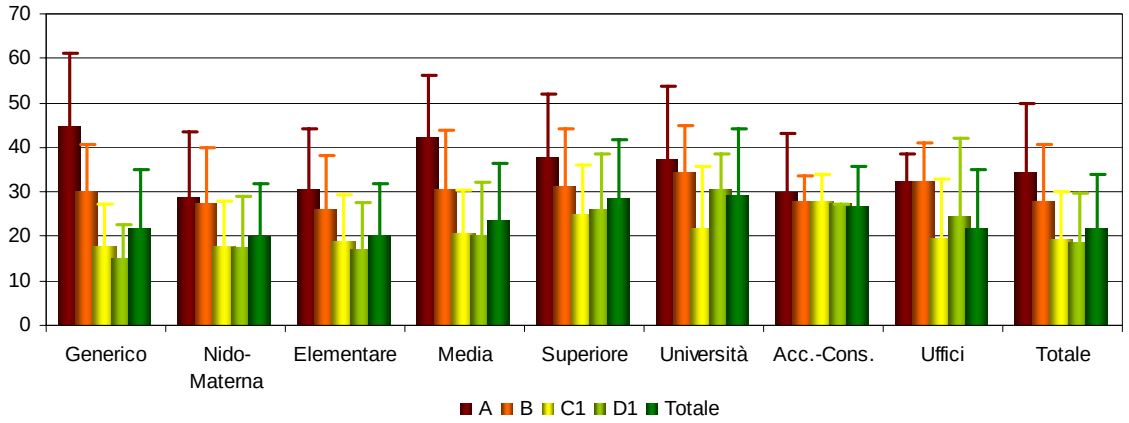


Fig. 2.6 – Distribuzione dei valori medi dell'indice di vulnerabilità degli edifici scolastici nelle classi tipologiche MSK e coefficiente di variazione, per grado di istruzione

MSK		Generico	Nido Materna	Element.	Media	Superiore	Università	Acc. o Cons.	Uffici	Totale
A	Media di A	44,69	28,53	30,45	41,91	37,42	37,25	29,87	32,11	34,43
	CV	36,50	52,94	45,59	33,91	39,21	44,53	44,97	20,43	44,53
B	Media di B	30,01	27,06	25,74	30,32	31,22	34,24	27,50	32,07	27,71
	CV	35,46	48,02	47,77	44,75	41,44	31,12	22,36	27,96	46,11
C1	Media di C1	17,54	17,69	18,73	20,33	24,64	21,44	27,45	19,38	19,20
	CV	55,80	58,15	57,05	49,60	46,98	67,17	23,34	69,39	56,16
D1	Media di D1	15,02	17,34	16,89	20,19	25,73	30,42	27,20	24,51	18,23
	CV	49,74	66,35	63,26	59,98	49,15	26,53	0,00	71,65	62,99
Media di Totale		21,72	19,68	20,05	23,44	28,29	28,84	26,51	21,52	21,51
CV di Totale		61,53	60,82	57,91	55,23	48,02	52,72	34,56	63,31	58,34

2.1.4 Classificazione dei parametri di vulnerabilità

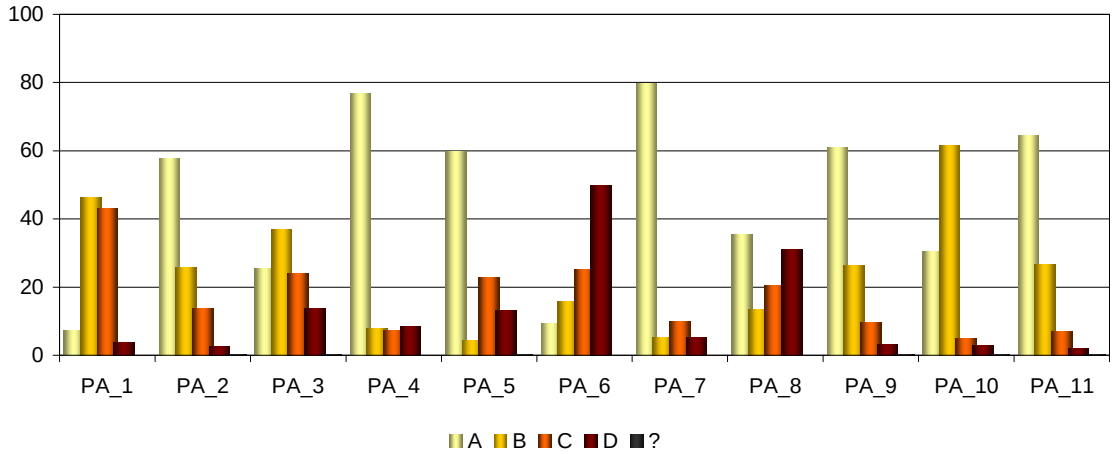


Fig. 2.7 – Distribuzione percentuale delle frequenze dei parametri di vulnerabilità di secondo livello degli edifici scolastici nelle classi A, B, C e D

Classe	PA_1	PA_2	PA_3	PA_4	PA_5	PA_6	PA_7	PA_8	PA_9	PA_10	PA_11
A	7,2	57,6	25,4	76,7	59,8	9,4	79,7	35,3	60,9	30,4	64,6
B	46,2	25,7	36,8	7,8	4,2	15,7	5,3	13,4	26,4	61,5	26,5
C	42,9	13,8	24,0	7,1	22,9	25,1	9,8	20,4	9,6	5,0	6,9
D	3,7	2,6	13,7	8,5	13,0	49,8	5,1	30,9	3,1	3,0	1,9
?	0,0	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

2.2 ACCELERAZIONI DI COLLASSO DEGLI EDIFICI

Viene analizzato il dato relativo alle accelerazioni di collasso degli edifici scolastici in muratura, riferite al suolo di fondazione di tipo B, C, E, e valutate secondo i criteri indicati nel capitolo precedente sulla base delle informazioni di secondo livello contenute nelle schede di vulnerabilità.
L'analisi dei risultati ottenuti viene presentata distinguendo gli edifici in muratura rilevati in funzione del diverso tipo di comportamento a collasso che li caratterizza, in quanto questo parametro è significativamente influente ai fini della determinazione della resistenza sismica ultima dell'edificio. Si distinguono quindi gli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso prevalentemente tagliante e quelli a comportamento di tipo flessionale o misto, così come definiti ed individuati in base ai criteri esposti nel capitolo precedente.
Si osserva a tale riguardo che la maggioranza degli edifici scolastici in muratura presenta meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante (circa l'80%), mentre il 16% di essi è descritto da comportamento di tipo flessionale ed il 4% di tipo intermedio tra i primi due.
Dall'analisi svolta sugli edifici rilevati si evidenzia innanzi tutto che le accelerazioni di collasso degli edifici pubblici in muratura dell'Italia centro - meridionale assumono valori che possono variare tra poco più di 0 fino a più di 2.
Ai fini della rappresentazione delle distribuzioni delle PGA di collasso degli edifici scolastici in muratura la scala dei valori assunti da tale grandezza è stata partizionata in intervalli ad ampiezza costante. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito territoriale considerato nonché la percentuale cumulata.
Per quanto riguarda gli edifici scolastici in muratura caratterizzati da comportamento di tipo tagliante, generalmente più resistenti, si evidenzia innanzi tutto che essi hanno associati valori delle accelerazioni di collasso compresi prevalentemente tra 0,15 e 0,30 (circa il 40% di essi) con lievi variazioni tra una regione e l'altra. Si osserva in generale che le PGA di collasso poco frequentemente assumono valori elevati e solo il 10% circa di essi supera 0,6. Risulta tuttavia ridotta anche la percentuale di edifici caratterizzati da valori eccessivamente bassi delle accelerazioni di collasso, infatti valori di PGA inferiori a 0,10 sono attribuibili ad appena il 2% degli edifici scolastici rilevati.
Si riscontrano alcune differenze tra le regioni; le situazioni estreme sono rappresentate dall'Abruzzo e dalla Calabria, i cui edifici sono caratterizzati da valori di PGA tendenzialmente più elevati (il 62% degli edifici scolastici in muratura dell'Abruzzo hanno associati valori di accelerazioni di collasso superiori a 0,30), e da Molise e Sicilia dove la tendenza si inverte e più del 65% degli edifici scolastici in muratura (il 71,2% nel Molise) è caratterizzato da accelerazioni di collasso inferiori a 0,3.
All'interno delle singole regioni non si apprezzano differenze rilevanti tra le situazioni rilevate nelle diverse province. In Sicilia si distinguono gli edifici scolastici in muratura della provincia di Messina, rispetto a quelli rilevati nelle altre quattro province dell'area orientale, in quanto caratterizzati da accelerazioni di collasso mediamente superiori e prossimi a 0,4.
Con riferimento ai raggruppamenti realizzati rispetto al grado di istruzione degli edifici scolastici in muratura si osserva che gli edifici meno resistenti sono generalmente rappresentati dalle accademie o conservatori e dalle scuole superiori; mentre quelli caratterizzati da valori più elevati delle accelerazioni di collasso sono le scuole di ordine inferiore ed in particolare le scuole nido e materne, in accordo con i risultati emersi nelle analisi relative ai dati di vulnerabilità. In particolare le scuole superiori e le accademie o conservatori presentano percentuali significative di edifici caratterizzati da valori di PGA inferiori a 0,30 (circa l'80% per le scuole superiori e la totalità delle accademie o conservatori); mentre circa il 60% delle scuole nido e materne sono caratterizzate da accelerazioni di collasso superiori a tale limite. Il dato è confermato anche nell'analisi dei risultati ottenuti nelle singole regioni e si evidenzia come la distribuzione delle PGA di collasso tende gradualmente verso valori minori all'aumentare del grado di istruzione.
Riguardo i risultati ottenuti per gli edifici scolastici in muratura distinti da meccanismo di collasso prevalentemente flessionale o misto, che, come anzidetto, rappresentano una percentuale ridotta dell'intero campione degli edifici in muratura, si osserva la netta riduzione generale dei valori di

accelerazioni di collasso che caratterizzano gli edifici e che nella maggioranza dei casi (più della metà del campione) si attestano nell'intervallo tra 0,05 e 0,10. Una buona percentuale di essi (circa il 30%) arriva a valori di PGA di collasso compresi nell'intervallo tra 0,10 e 0,15, mentre risulta ininfluente la percentuale di edifici che superano 0,20 (3,2% sul totale).
Per quanto riguarda la distinzione fatta relativamente ai diversi ambiti territoriali si evidenzia che non sussistono differenze sensibili tra gli edifici scolastici rilevati nelle diverse regioni ed anche i valori medi delle PGA di collasso nelle diverse province rilevate variano in un range molto ristretto compreso tra 0,08 e 0,12. In maniera analoga non si manifestano differenze tra gli andamenti dei valori di PGA di collasso riferiti ai raggruppamenti individuati in funzione del diverso grado di istruzione degli edifici scolastici in muratura.
Risulta significativo analizzare inoltre i rapporti tra le accelerazioni di collasso valutate per gli edifici scolastici in muratura e riferite al suolo di categoria A (bad rock) e le PGA di riferimento definite, per ciascun territorio comunale, nella nuova mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM n° 3274 del 20 Marzo 2003 e redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (versione Aprile 2004). Anche in questo caso l'analisi dei risultati viene proposta distinguendo gli edifici in relazione al tipo di meccanismo di collasso prevalente. Ai fini della rappresentazione delle distribuzioni dei rapporti delle PGA di collasso degli edifici scolastici in muratura la scala dei valori assunti da tale grandezza è stata partizionata in intervalli ad ampiezza costante. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti.
Per quanto riguarda gli edifici scolastici in muratura caratterizzati da comportamento di tipo tagliante, si evidenzia innanzi tutto che gli edifici appartengono con maggiore frequenza all'intervallo dei valori compresi tra 0,6 e 1,5, con valore medio pari a 1,6 sul totale dell'intero campione. Si osserva poi che meno dell'1% degli edifici considerati presenta una PGA di collasso che è inferiore al 30% della PGA di riferimento mentre circa il 10% di essi è caratterizzato da accelerazioni di collasso che risultano più di 3 volte superiori alle PGA di riferimento.
Come nel caso dei valori assunti dalle PGA si riscontrano alcune differenze tra le diverse regioni; le situazioni estreme sono rappresentate dal Molise e dalla Sicilia (si ricorda che della Sicilia si è considerata la zona orientale), caratterizzate dalla maggiore frequenza di valori ridotti dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e le PGA di riferimento, e da Abruzzo e Campania dove la tendenza si inverte. Nel Molise quasi il 60% degli edifici scolastici in muratura presenta valori delle PGA di collasso inferiori alle PGA di riferimento, mentre in Abruzzo circa l'80% degli edifici risulta realizzato in modo tale da assicurare accelerazioni di collasso superiori a quelle di riferimento.
Bisogna osservare tuttavia che le migliori condizioni riscontrate in Abruzzo possono essere spiegate considerando il fatto che il suo territorio risulta classificato da tempi più antichi e questo ha contribuito a diffondere una migliore cultura antisismica tra la popolazione.
All'interno delle singole regioni non si apprezzano differenze rilevanti tra le situazioni rilevate nelle diverse province. In Abruzzo la provincia dell'Aquila presenta rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e PGA di riferimento mediamente minori che ne resto della regione; mentre in Basilicata gli edifici della provincia di Matera risultano caratterizzati da rapporti mediamente maggiori rispetto alla provincia di Potenza.
Con riferimento ai raggruppamenti realizzati rispetto al grado di istruzione degli edifici scolastici in muratura si verificano le stesse osservazioni fatte relativamente ai valori assunti dalle PGA e quindi si riscontra che gli edifici scolastici di ordine superiore (principalmente accademie o conservatori e scuole superiori) sono caratterizzati generalmente da valori più ridotti dei rapporti tra le PGA di collasso e quelle di riferimento. In particolare mentre l'80% delle accademie o conservatori e più del 50% delle scuole superiori presentano valori delle PGA di collasso inferiori a quelle di riferimento, circa l'80% delle scuole nido e materne risultano caratterizzate da accelerazioni di collasso superiori alle rispettive PGA di riferimento.
Riguardo gli edifici scolastici in muratura distinti da meccanismo di collasso prevalentemente flessionale o misto i risultati evidenziati nell'analisi dei valori delle PGA di collasso sono trasferibili anche all'osservazione dei rapporti tra questi e le PGA di riferimento; si può rimarcare che oltre il 90% degli edifici analizzati è caratterizzato da accelerazioni di collasso inferiori alle PGA di riferimento, con valore medio pari a 0,46, e non si osservano differenze sensibili all'interno dei diversi raggruppamenti individuati.

2.2.1 PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante per regione

PGA	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,05	1	0,1	0	0,0	0	0,0	3	0,2	0	0,0	0	0,0	4	0,7	8	0,2
0,05 - 0,10	6	0,7	9	2,4	12	1,3	34	1,8	5	2,5	3	1,9	20	3,3	89	1,8
0,10 - 0,15	38	4,4	29	7,8	71	7,9	143	7,6	35	17,2	11	7,1	89	14,8	416	8,4
0,15 - 0,20	78	9,0	57	15,3	89	10,0	227	12,1	44	21,6	21	13,5	120	19,9	636	12,8
0,20 - 0,25	119	13,7	65	17,4	97	10,9	279	14,9	36	17,6	22	14,2	105	17,4	723	14,5
0,25 - 0,30	87	10,0	60	16,1	128	14,3	254	13,6	25	12,3	28	18,1	54	9,0	636	12,8
0,30 - 0,35	84	9,6	45	12,1	95	10,6	206	11,0	24	11,8	17	11,0	54	9,0	525	10,6
0,35 - 0,40	92	10,6	29	7,8	89	10,0	174	9,3	16	7,8	22	14,2	44	7,3	466	9,4
0,40 - 0,45	73	8,4	23	6,2	76	8,5	133	7,1	9	4,4	10	6,5	23	3,8	347	7,0
0,45 - 0,50	56	6,4	9	2,4	63	7,0	108	5,8	6	2,9	11	7,1	23	3,8	276	5,5
0,50 - 0,55	44	5,1	5	1,3	32	3,6	80	4,3	0	0,0	4	2,6	17	2,8	182	3,7
0,55 - 0,60	35	4,0	10	2,7	28	3,1	60	3,2	2	1,0	2	1,3	7	1,2	144	2,9
0,60 - 0,65	29	3,3	6	1,6	26	2,9	49	2,6	0	0,0	1	0,6	11	1,8	122	2,5
0,65 - 0,70	28	3,2	8	2,1	17	1,9	37	2,0	1	0,5	0	0,0	7	1,2	98	2,0
0,70 - 0,75	20	2,3	3	0,8	22	2,5	32	1,7	1	0,5	1	0,6	8	1,3	87	1,7
0,75 - 0,80	14	1,6	3	0,8	12	1,3	15	0,8	0	0,0	0	0,0	8	1,3	52	1,0
0,80 - 0,85	10	1,1	3	0,8	7	0,8	10	0,5	0	0,0	1	0,6	3	0,5	34	0,7
0,85 - 0,90	11	1,3	1	0,3	6	0,7	6	0,3	0	0,0	0	0,0	1	0,2	25	0,5
0,90 - 0,95	8	0,9	1	0,3	1	0,1	3	0,2	0	0,0	0	0,0	1	0,2	14	0,3
0,95 - 1,00	11	1,3	2	0,5	6	0,7	5	0,3	0	0,0	1	0,6	1	0,2	26	0,5
> 1,00	27	3,1	5	1,3	17	1,9	16	0,9	0	0,0	0	0,0	2	0,3	67	1,3
Totale	871	100,0	373	100,0	894	100,0	1874	100,0	204	100,0	155	100,0	602	100,0	4973	100,0

Tab. 2.3 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per regione, in numero e percentuale

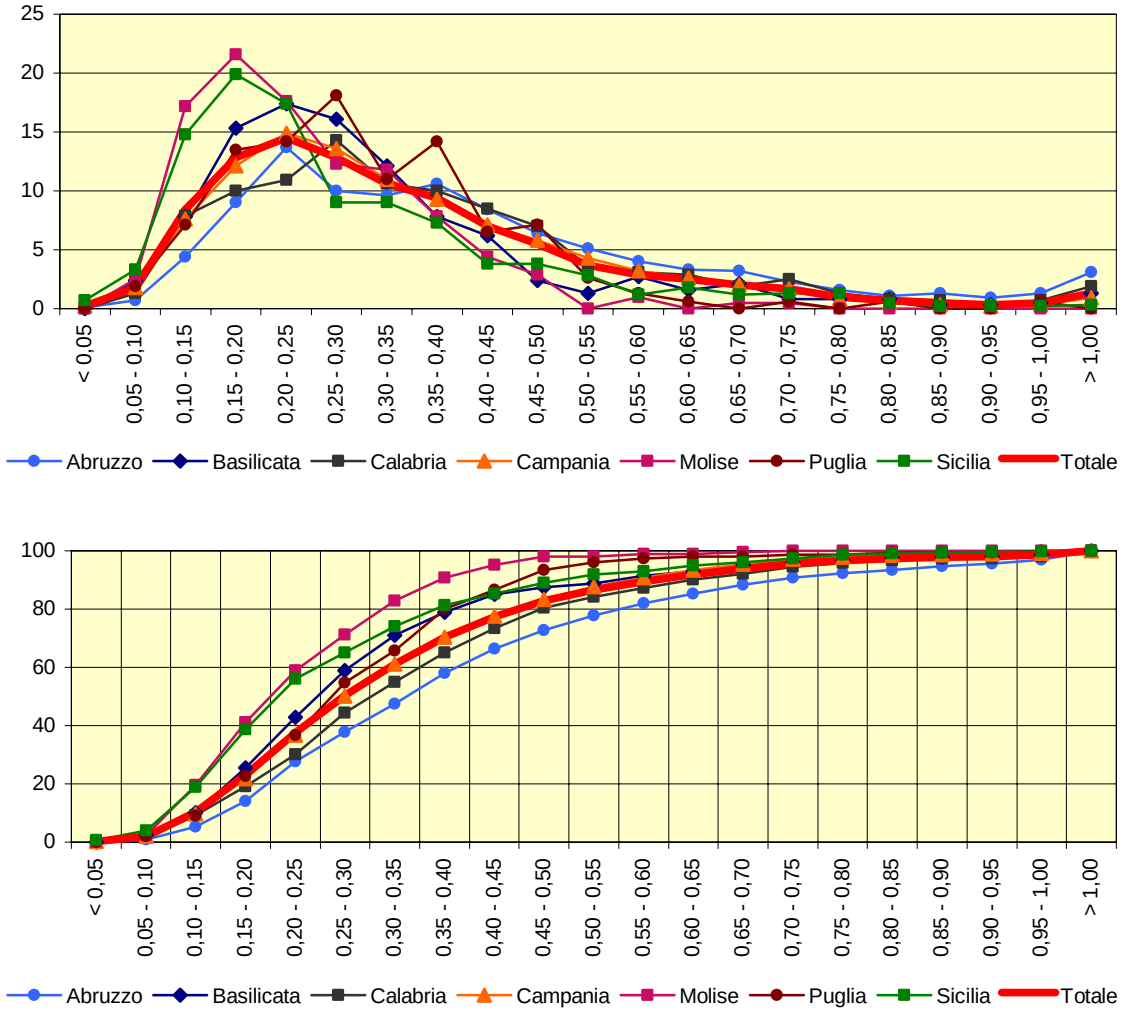
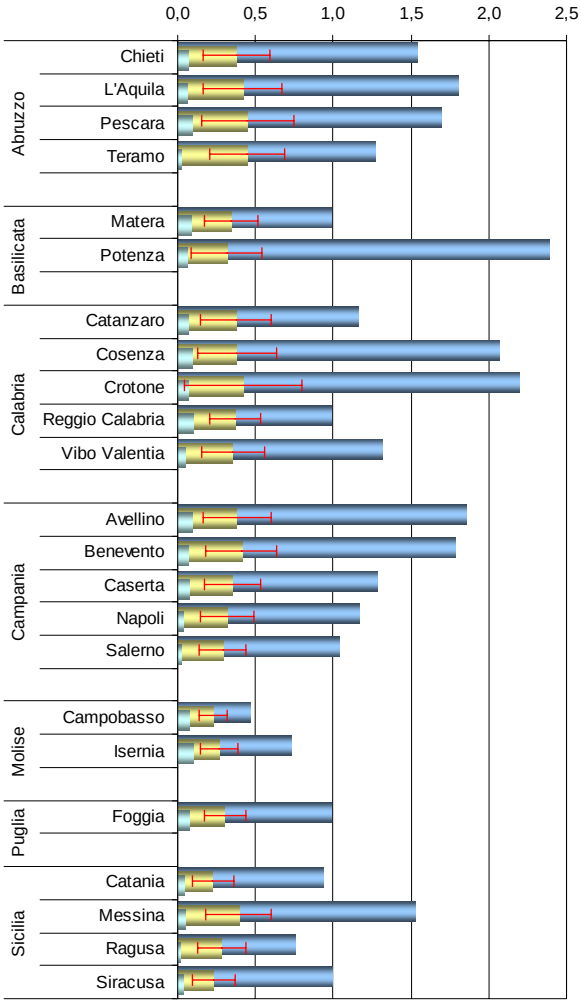


Fig. 2.8 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,38	0,21	0,07	1,53
	AQ	0,42	0,25	0,06	1,81
	PE	0,45	0,30	0,09	1,69
	TE	0,45	0,24	0,03	1,27
Basilicata	MT	0,34	0,17	0,09	0,99
	PZ	0,31	0,23	0,06	2,39
Calabria	CZ	0,38	0,23	0,07	1,16
	CS	0,38	0,25	0,09	2,07
	KR	0,42	0,38	0,07	2,20
	RC	0,37	0,16	0,10	0,99
	VV	0,35	0,20	0,06	1,32
Campania	AV	0,38	0,22	0,09	1,85
	BN	0,41	0,23	0,07	1,79
	CE	0,36	0,18	0,08	1,28
	NA	0,32	0,17	0,04	1,17
	SA	0,29	0,15	0,03	1,04
Molise	CB	0,23	0,09	0,08	0,46
	IS	0,26	0,12	0,10	0,73
Puglia	FG	0,30	0,14	0,07	0,98
Sicilia	CT	0,23	0,13	0,05	0,94
	ME	0,39	0,21	0,05	1,53
	RG	0,29	0,15	0,02	0,76
	SR	0,23	0,14	0,04	0,99

Fig. 2.9 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard delle accelerazioni di collasso degli edifici scolastici caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante

2.2.2 PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto per regione

PGA	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,05	9	3,8	8	7,0	11	5,1	19	5,8	3	4,5	3	10,7	11	4,7	64	5,2
0,05 - 0,10	119	50,4	60	52,6	110	50,7	207	62,7	32	47,8	16	57,1	124	53,0	668	54,5
0,10 - 0,15	75	31,8	34	29,8	63	29,0	69	20,9	24	35,8	7	25,0	79	33,8	351	28,6
0,15 - 0,20	22	9,3	9	7,9	20	9,2	25	7,6	7	10,4	2	7,1	19	8,1	104	8,5
0,20 - 0,25	7	3,0	2	1,8	10	4,6	10	3,0	1	1,5	0	0,0	1	0,4	31	2,5
0,25 - 0,30	2	0,8	0	0,0	2	0,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	4	0,3
0,30 - 0,35	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,35 - 0,40	1	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,1
0,40 - 0,45	1	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,1
0,45 - 0,50	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,50 - 0,55	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,55 - 0,60	0	0,0	1	0,9	1	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	0,2
0,60 - 0,65	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,65 - 0,70	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,70 - 0,75	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,75 - 0,80	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,80 - 0,85	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,85 - 0,90	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,90 - 0,95	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,95 - 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	236	100,0	114	100,0	217	100,0	330	100,0	67	100,0	28	100,0	234	100,0	1226	100,0

Tab. 2.4 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per regione, in numero e percentuale

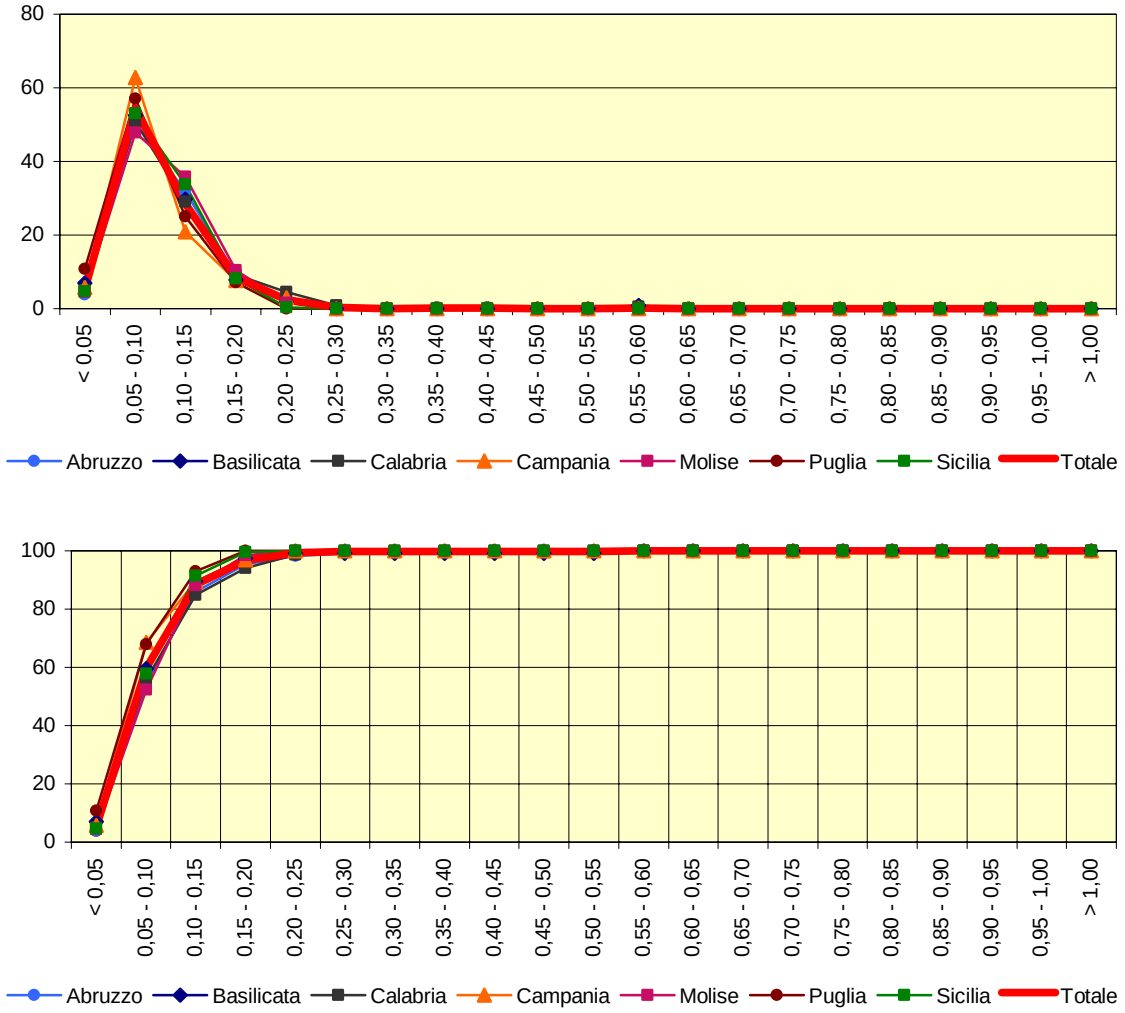
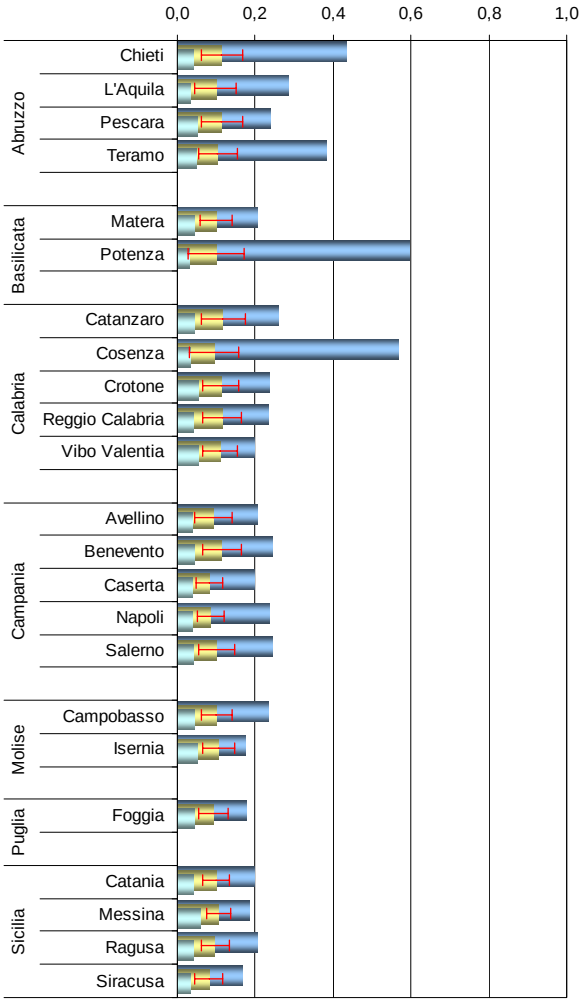


Fig. 2.10 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,11	0,05	0,04	0,43
	AQ	0,10	0,05	0,03	0,28
	PE	0,11	0,05	0,05	0,24
	TE	0,10	0,05	0,05	0,38
Basilicata	MT	0,10	0,04	0,04	0,21
	PZ	0,10	0,07	0,03	0,60
Calabria	CZ	0,12	0,06	0,04	0,26
	CS	0,10	0,06	0,04	0,57
	KR	0,11	0,05	0,05	0,24
	RC	0,12	0,05	0,04	0,23
	VV	0,11	0,04	0,06	0,20
Campania	AV	0,09	0,05	0,04	0,20
	BN	0,11	0,05	0,05	0,24
	CE	0,08	0,03	0,04	0,20
	NA	0,09	0,03	0,04	0,24
	SA	0,10	0,05	0,04	0,24
Molise	CB	0,10	0,04	0,04	0,23
	IS	0,11	0,04	0,05	0,18
Puglia	FG	0,09	0,04	0,04	0,18
Sicilia	CT	0,10	0,03	0,04	0,20
	ME	0,11	0,03	0,06	0,18
	RG	0,10	0,04	0,04	0,20
	SR	0,08	0,04	0,03	0,17

Fig. 2.11 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard delle accelerazioni di collasso degli edifici scolastici caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto

2.2.3 PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante per grado di istruzione

PGA	Generico		Nido-Materna		Elementare		Media		Superiore		Università		Acc.-Cons.		Uffici	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,05	0	0,0	1	0,1	2	0,1	1	0,2	4	0,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,05 - 0,10	2	1,6	8	0,6	27	1,1	20	3,5	30	7,1	2	7,7	0	0,0	0	0,0
0,10 - 0,15	11	8,9	54	4,1	173	6,9	79	13,8	91	21,6	1	3,8	4	40,0	1	6,3
0,15 - 0,20	14	11,3	128	9,8	296	11,8	103	18,0	86	20,4	4	15,4	2	20,0	4	25,0
0,20 - 0,25	20	16,1	168	12,9	352	14,1	101	17,7	70	16,6	5	19,2	3	30,0	4	25,0
0,25 - 0,30	15	12,1	175	13,4	325	13,0	66	11,6	54	12,8	1	3,8	1	10,0	0	0,0
0,30 - 0,35	9	7,3	136	10,4	288	11,5	59	10,3	29	6,9	4	15,4	0	0,0	0	0,0
0,35 - 0,40	14	11,3	144	11,1	234	9,4	41	7,2	24	5,7	4	15,4	0	0,0	4	25,0
0,40 - 0,45	6	4,8	128	9,8	174	7,0	26	4,6	10	2,4	2	7,7	0	0,0	1	6,3
0,45 - 0,50	11	8,9	77	5,9	161	6,4	22	3,9	2	0,5	0	0,0	0	0,0	2	12,5
0,50 - 0,55	3	2,4	50	3,8	116	4,6	8	1,4	4	0,9	1	3,8	0	0,0	0	0,0
0,55 - 0,60	2	1,6	47	3,6	84	3,4	10	1,8	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,60 - 0,65	7	5,6	38	2,9	66	2,6	7	1,2	3	0,7	1	3,8	0	0,0	0	0,0
0,65 - 0,70	0	0,0	40	3,1	50	2,0	6	1,1	2	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,70 - 0,75	3	2,4	26	2,0	43	1,7	6	1,1	8	1,9	1	3,8	0	0,0	0	0,0
0,75 - 0,80	2	1,6	20	1,5	24	1,0	5	0,9	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,80 - 0,85	0	0,0	11	0,8	18	0,7	3	0,5	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,85 - 0,90	1	0,8	14	1,1	10	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,90 - 0,95	1	0,8	5	0,4	7	0,3	0	0,0	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,95 - 1,00	2	1,6	7	0,5	12	0,5	4	0,7	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 1,00	1	0,8	25	1,9	37	1,5	4	0,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	124	100,0	1302	100,0	2499	100,0	571	100,0	422	100,0	26	100,0	10	100,0	16	100,0

Tab. 2.5 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per grado di istruzione, in numero e percentuale

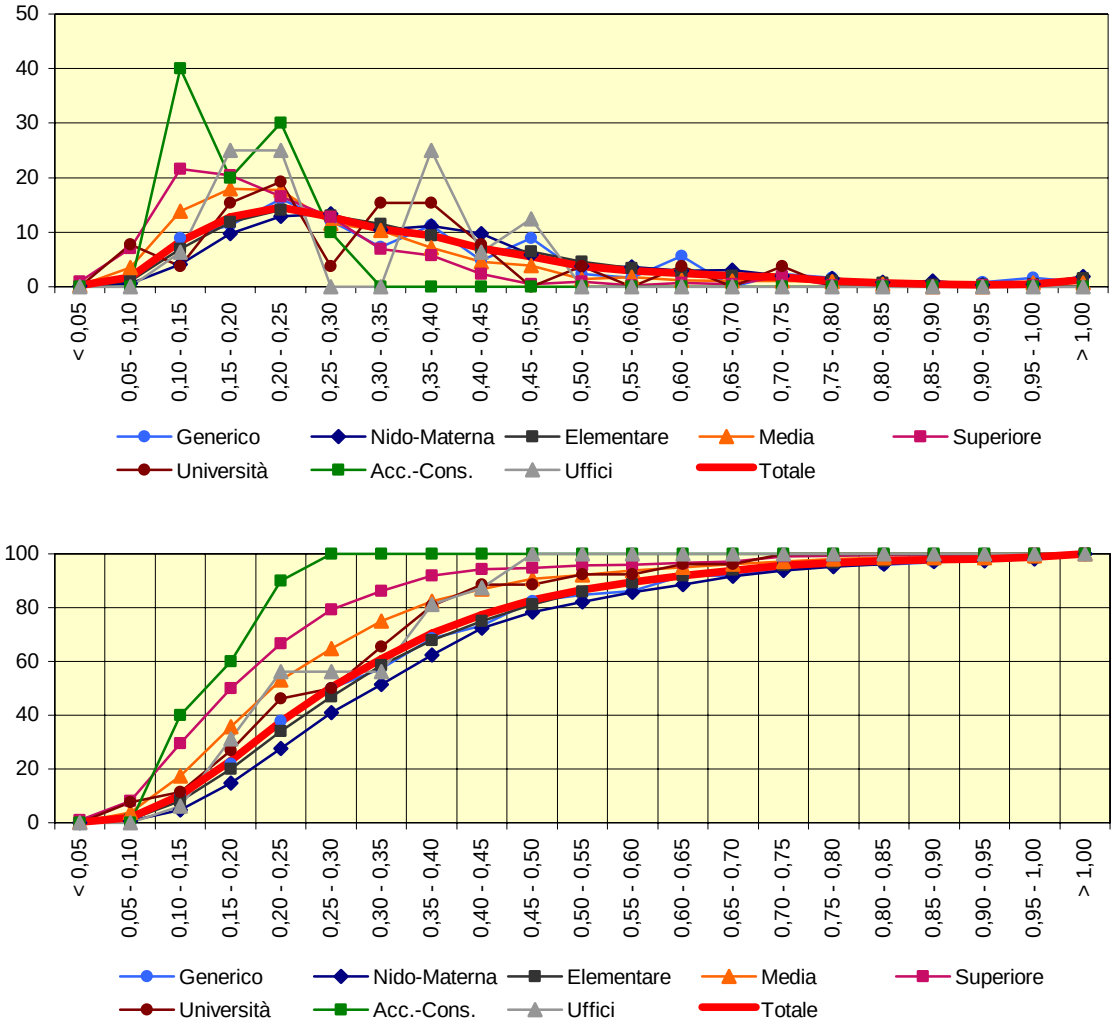


Fig. 2.12 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per grado di istruzione, in percentuale e cumulata

2.2.4 PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto per grado di istruzione

PGA	Generico		Nido-Materna		Elementare		Media		Superiore		Università		Acc.-Cons.		Uffici	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,05	3	7,7	13	4,4	16	3,2	8	6,2	19	8,9	4	12,5	0	0,0	0	0,0
0,05 - 0,10	16	41,0	141	48,0	273	54,6	80	61,5	132	62,0	20	62,5	3	42,9	4	66,7
0,10 - 0,15	17	43,6	94	32,0	146	29,2	27	20,8	51	23,9	6	18,8	4	57,1	2	33,3
0,15 - 0,20	2	5,1	27	9,2	50	10,0	14	10,8	8	3,8	2	6,3	0	0,0	0	0,0
0,20 - 0,25	1	2,6	18	6,1	9	1,8	1	0,8	2	0,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,25 - 0,30	0	0,0	0	0,0	4	0,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,30 - 0,35	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,35 - 0,40	0	0,0	0	0,0	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,40 - 0,45	0	0,0	0	0,0	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,45 - 0,50	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,50 - 0,55	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,55 - 0,60	0	0,0	1	0,3	0	0,0	0	0,0	1	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,60 - 0,65	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,65 - 0,70	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,70 - 0,75	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,75 - 0,80	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,80 - 0,85	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,85 - 0,90	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,90 - 0,95	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,95 - 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	39	100,0	294	100,0	500	100,0	130	100,0	213	100,0	32	100,0	7	100,0	6	100,0

Tab. 2.6 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per grado di istruzione, in numero e percentuale

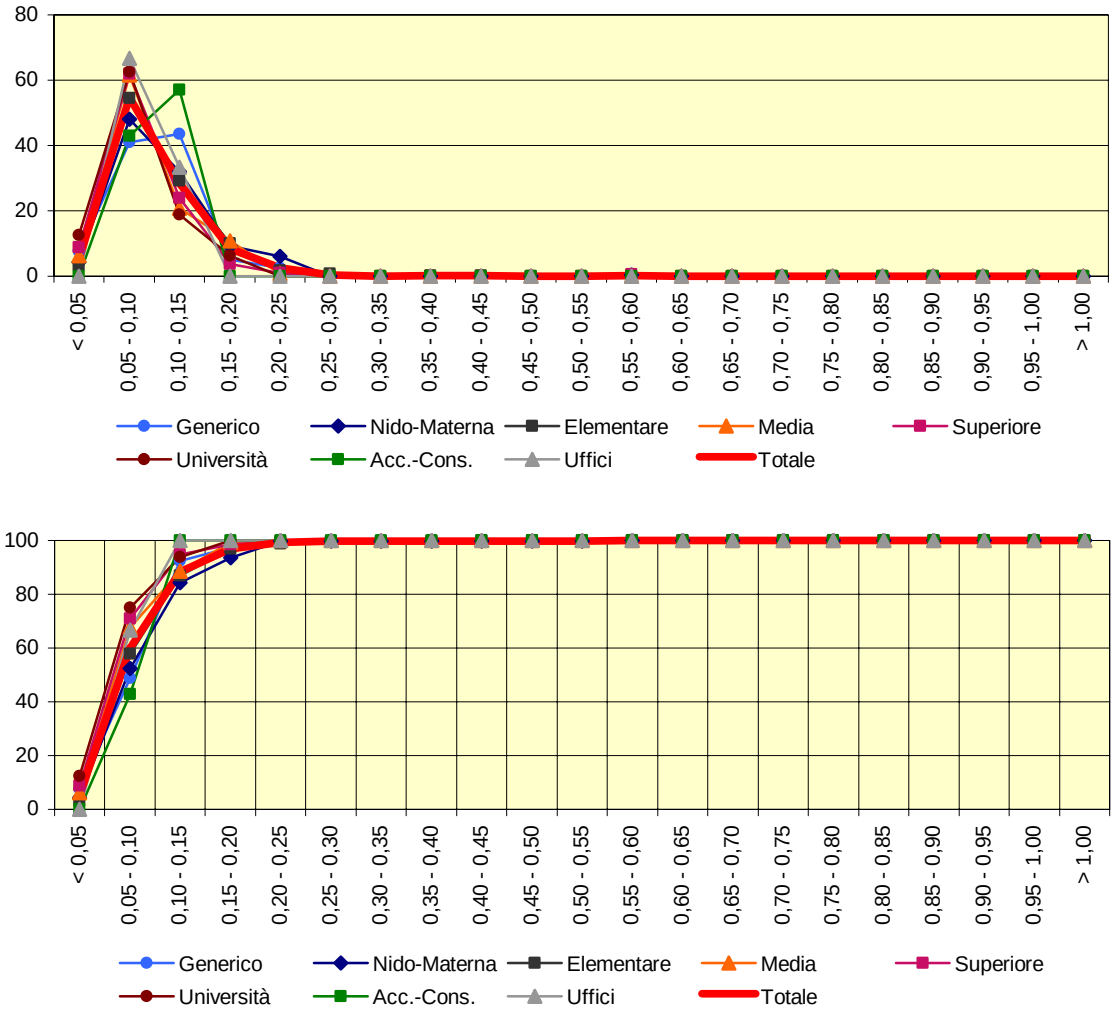


Fig. 2.13 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per grado di istruzione, in percentuale e cumulata

2.2.5 Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante e le PGA di riferimento per regione

PGA/PGA_{rif}	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,3	2	0,2	5	1,3	8	0,9	10	0,5	0	0,0	1	0,6	14	2,3	40	0,8
0,3 - 0,6	37	4,2	43	11,5	125	14,0	74	3,9	54	26,5	8	5,2	120	19,9	461	9,3
0,6 - 0,9	109	12,5	67	18,0	183	20,5	243	13,0	64	31,4	30	19,4	164	27,2	860	17,3
0,9 - 1,2	123	14,1	79	21,2	174	19,5	302	16,1	39	19,1	30	19,4	106	17,6	853	17,2
1,2 - 1,5	103	11,8	50	13,4	151	16,9	257	13,7	25	12,3	30	19,4	51	8,5	667	13,4
1,5 - 1,8	87	10,0	19	5,1	78	8,7	228	12,2	10	4,9	21	13,5	53	8,8	496	10,0
1,8 - 2,1	86	9,9	15	4,0	60	6,7	178	9,5	6	2,9	21	13,5	35	5,8	401	8,1
2,1 - 2,4	65	7,5	15	4,0	42	4,7	139	7,4	3	1,5	6	3,9	25	4,2	295	5,9
2,4 - 2,7	64	7,3	13	3,5	18	2,0	105	5,6	1	0,5	4	2,6	13	2,2	218	4,4
2,7 - 3,0	52	6,0	14	3,8	18	2,0	85	4,5	2	1,0	1	0,6	6	1,0	178	3,6
3,0 - 3,3	38	4,4	12	3,2	9	1,0	66	3,5	0	0,0	1	0,6	3	0,5	129	2,6
3,3 - 3,6	26	3,0	5	1,3	9	1,0	43	2,3	0	0,0	0	0,0	6	1,0	89	1,8
3,6 - 3,9	17	2,0	10	2,7	3	0,3	41	2,2	0	0,0	1	0,6	0	0,0	72	1,4
3,9 - 4,2	16	1,8	6	1,6	5	0,6	29	1,5	0	0,0	0	0,0	1	0,2	57	1,1
4,2 - 4,5	15	1,7	3	0,8	4	0,4	22	1,2	0	0,0	0	0,0	2	0,3	46	0,9
4,5 - 4,8	10	1,1	2	0,5	1	0,1	17	0,9	0	0,0	0	0,0	1	0,2	31	0,6
4,8 - 5,1	3	0,3	3	0,8	0	0,0	8	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	14	0,3
5,1 - 5,4	4	0,5	2	0,5	0	0,0	9	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	15	0,3
5,4 - 5,7	5	0,6	4	1,1	1	0,1	5	0,3	0	0,0	1	0,6	0	0,0	16	0,3
5,7 - 6,0	1	0,1	0	0,0	0	0,0	3	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	4	0,1
> 6,0	8	0,9	6	1,6	5	0,6	10	0,5	0	0,0	0	0,0	2	0,3	31	0,6
Totale	871	100,0	373	100,0	894	100,0	1874	100,0	204	100,0	155	100,0	602	100,0	4973	100,0

Tab. 2.7 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per regione, in numero e percentuale

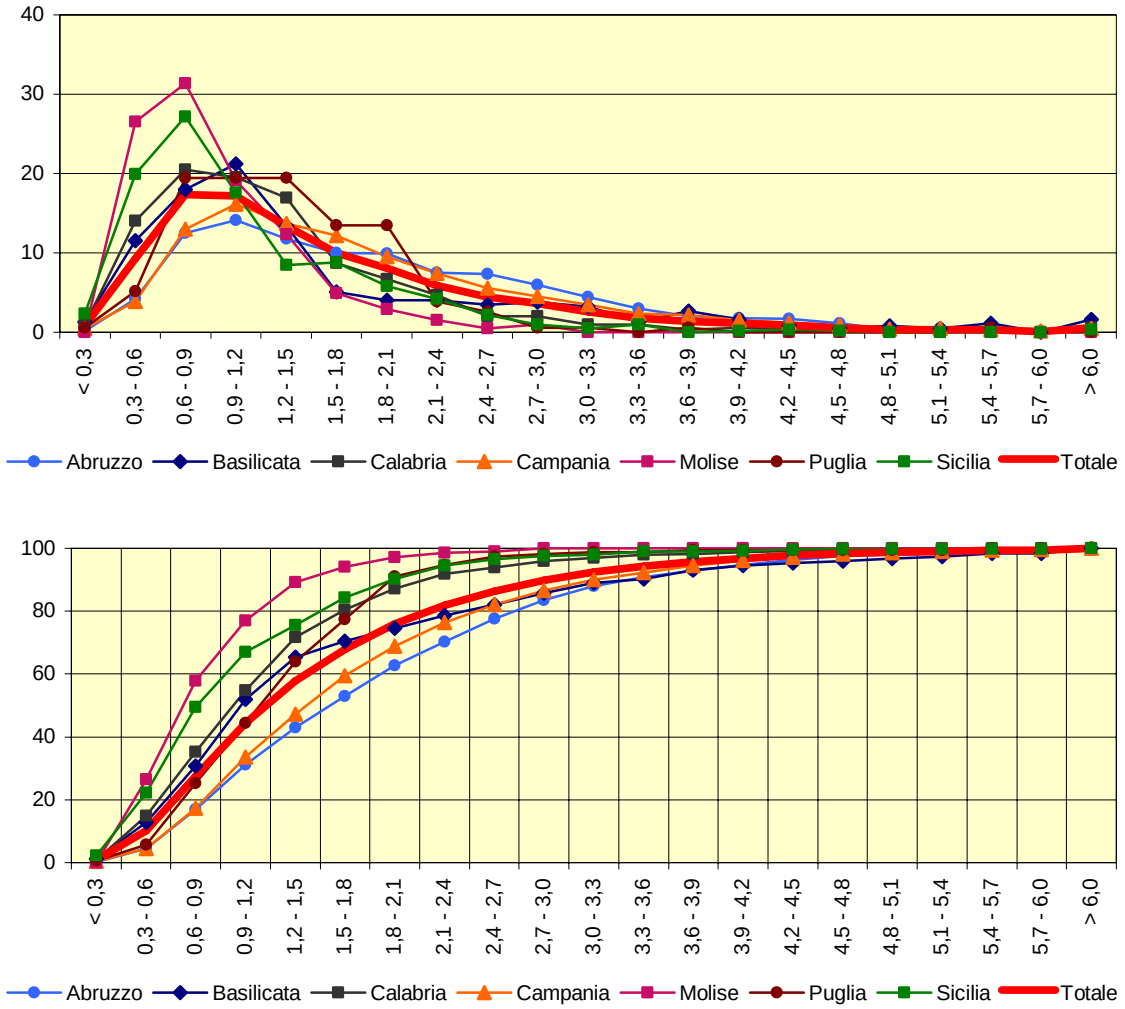
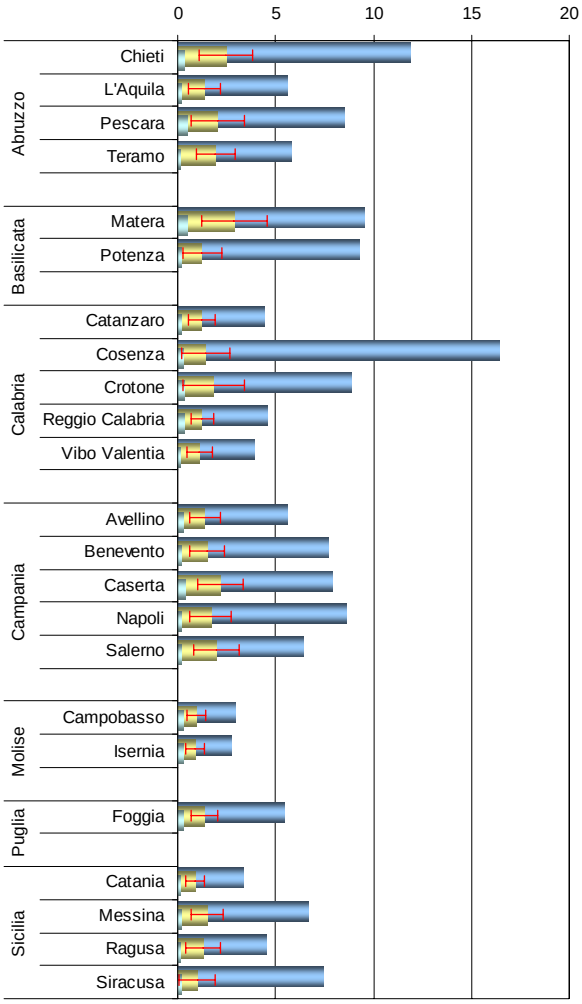


Fig. 2.14 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	2,44	1,38	0,35	11,91
	AQ	1,36	0,81	0,20	5,59
	PE	2,06	1,34	0,46	8,54
	TE	1,94	1,01	0,12	5,78
Basilicata	MT	2,89	1,67	0,48	9,56
	PZ	1,26	0,98	0,21	9,27
Calabria	CZ	1,23	0,71	0,20	4,43
	CS	1,43	1,26	0,28	16,47
	KR	1,86	1,56	0,32	8,86
	RC	1,24	0,58	0,34	4,59
	VV	1,12	0,62	0,17	3,92
Campania	AV	1,40	0,77	0,28	5,57
	BN	1,50	0,92	0,22	7,74
	CE	2,17	1,15	0,41	7,91
	NA	1,68	1,06	0,20	8,61
	SA	1,97	1,13	0,21	6,42
Molise	CB	0,97	0,48	0,30	2,94
	IS	0,89	0,47	0,30	2,71
Puglia	FG	1,36	0,66	0,27	5,48
Sicilia	CT	0,87	0,50	0,17	3,34
	ME	1,51	0,81	0,20	6,72
	RG	1,32	0,88	0,13	4,53
	SR	1,00	0,90	0,17	7,42

Fig. 2.15 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici scolastici caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento

2.2.6 Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione

PGA/PGA$_{rif}$	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,3	51	21,6	39	34,2	86	39,6	44	13,3	23	34,3	8	28,6	72	30,8	323	26,3
0,3 - 0,6	118	50,0	46	40,4	104	47,9	187	56,7	36	53,7	18	64,3	131	56,0	640	52,2
0,6 - 0,9	42	17,8	19	16,7	24	11,1	66	20,0	7	10,4	0	0,0	27	11,5	185	15,1
0,9 - 1,2	16	6,8	8	7,0	1	0,5	19	5,8	1	1,5	2	7,1	2	0,9	49	4,0
1,2 - 1,5	4	1,7	1	0,9	1	0,5	7	2,1	0	0,0	0	0,0	2	0,9	15	1,2
1,5 - 1,8	4	1,7	0	0,0	0	0,0	6	1,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	10	0,8
1,8 - 2,1	0	0,0	0	0,0	1	0,5	1	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	0,2
2,1 - 2,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,4 - 2,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,7 - 3,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,0 - 3,3	0	0,0	1	0,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,1
3,3 - 3,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,6 - 3,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,9 - 4,2	1	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,1
4,2 - 4,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,5 - 4,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,8 - 5,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,1 - 5,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,4 - 5,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,7 - 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	236	100,0	114	100,0	217	100,0	330	100,0	67	100,0	28	100,0	234	100,0	1226	100,0

Tab. 2.8 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione, in numero e percentuale

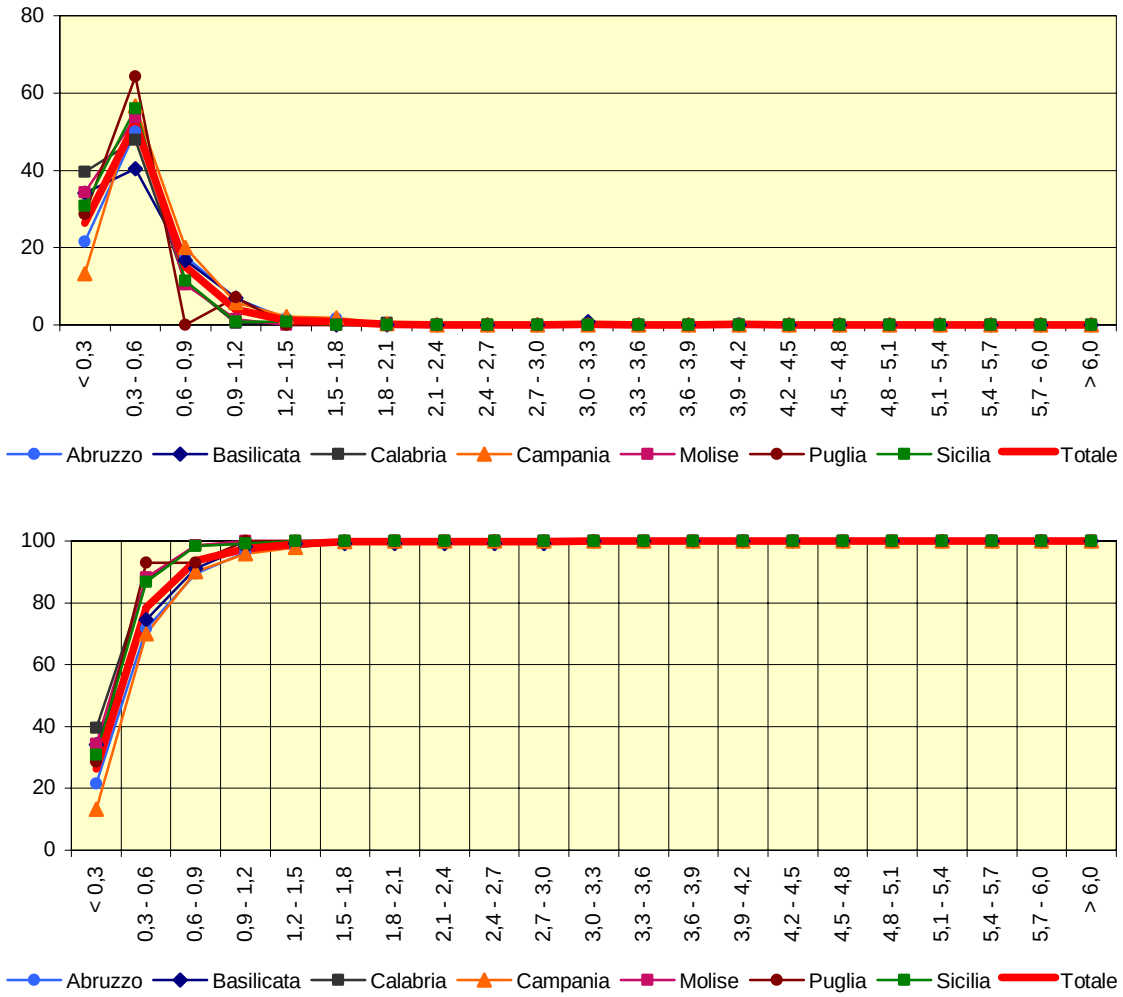
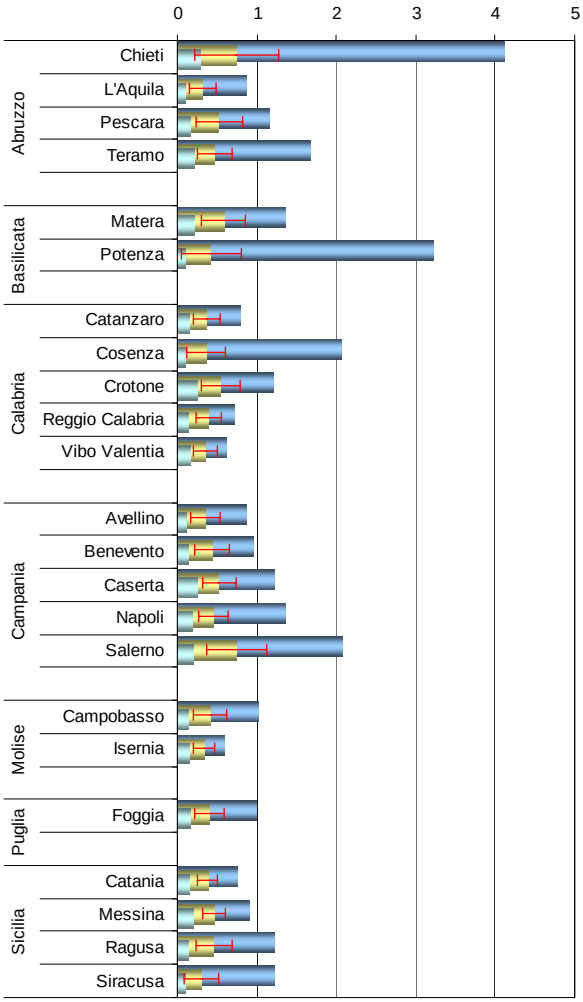


Fig. 2.16 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,75	0,52	0,29	4,11
	AQ	0,32	0,17	0,10	0,88
	PE	0,53	0,29	0,17	1,16
	TE	0,47	0,22	0,21	1,68
Basilicata	MT	0,58	0,28	0,21	1,35
	PZ	0,43	0,39	0,10	3,22
Calabria	CZ	0,37	0,17	0,15	0,78
	CS	0,36	0,24	0,11	2,07
	KR	0,54	0,24	0,25	1,21
	RC	0,39	0,16	0,13	0,72
	VV	0,36	0,15	0,17	0,62
Campania	AV	0,35	0,19	0,12	0,88
	BN	0,44	0,22	0,14	0,96
	CE	0,53	0,21	0,25	1,23
	NA	0,45	0,18	0,18	1,37
	SA	0,74	0,38	0,19	2,08
Molise	CB	0,42	0,21	0,14	1,03
	IS	0,34	0,14	0,16	0,58
Puglia	FG	0,40	0,19	0,17	1,00
Sicilia	CT	0,38	0,13	0,15	0,75
	ME	0,46	0,15	0,20	0,91
	RG	0,46	0,23	0,13	1,23
	SR	0,30	0,22	0,10	1,22

Fig. 2.17 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici scolastici caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento

2.2.7 Rapporto tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante e le PGA di riferimento per grado di istruzione

PGA/PGA$_{rif}$	Generico		Nido-Materna		Elementare		Media		Superiore		Università		Acc.-Cons.		Uffici	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,3	1	0,8	2	0,2	11	0,4	11	1,9	12	2,8	2	7,7	0	0,0	0	0,0
0,3 - 0,6	8	6,5	65	5,0	198	7,9	81	14,2	101	23,9	2	7,7	3	30,0	2	12,5
0,6 - 0,9	20	16,1	167	12,8	441	17,6	111	19,4	108	25,6	6	23,1	5	50,0	2	12,5
0,9 - 1,2	19	15,3	221	17,0	407	16,3	123	21,5	76	18,0	6	23,1	0	0,0	4	25,0
1,2 - 1,5	22	17,7	187	14,4	343	13,7	71	12,4	38	9,0	1	3,8	1	10,0	3	18,8
1,5 - 1,8	10	8,1	152	11,7	263	10,5	45	7,9	19	4,5	2	7,7	0	0,0	2	12,5
1,8 - 2,1	14	11,3	116	8,9	198	7,9	44	7,7	27	6,4	2	7,7	0	0,0	1	6,3
2,1 - 2,4	5	4,0	91	7,0	155	6,2	23	4,0	17	4,0	2	7,7	0	0,0	2	12,5
2,4 - 2,7	6	4,8	73	5,6	118	4,7	12	2,1	9	2,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,7 - 3,0	3	2,4	56	4,3	104	4,2	9	1,6	5	1,2	0	0,0	1	10,0	0	0,0
3,0 - 3,3	5	4,0	43	3,3	67	2,7	11	1,9	0	0,0	2	7,7	0	0,0	0	0,0
3,3 - 3,6	3	2,4	30	2,3	46	1,8	6	1,1	3	0,7	1	3,8	0	0,0	0	0,0
3,6 - 3,9	1	0,8	24	1,8	38	1,5	6	1,1	3	0,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,9 - 4,2	3	2,4	20	1,5	28	1,1	6	1,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,2 - 4,5	1	0,8	16	1,2	25	1,0	2	0,4	2	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,5 - 4,8	0	0,0	12	0,9	16	0,6	3	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,8 - 5,1	0	0,0	6	0,5	6	0,2	2	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,1 - 5,4	1	0,8	4	0,3	9	0,4	0	0,0	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,4 - 5,7	1	0,8	3	0,2	10	0,4	2	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,7 - 6,0	0	0,0	2	0,2	2	0,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 6,0	1	0,8	12	0,9	14	0,6	3	0,5	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	124	100,0	1302	100,0	2499	100,0	571	100,0	422	100,0	26	100,0	10	100,0	16	100,0

Tab. 2.9 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di collasso per grado di istruzione, in numero e percentuale

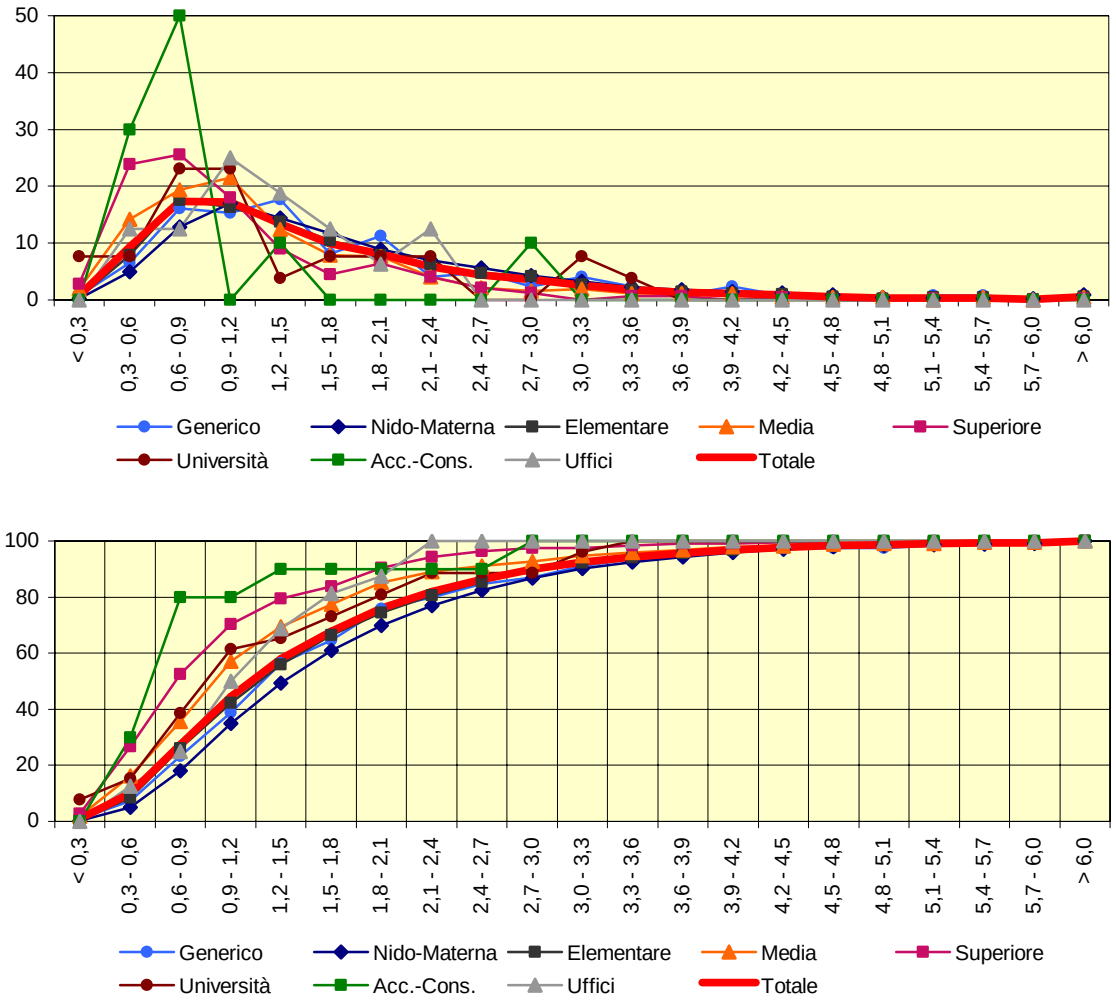


Fig. 2.18 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per grado di istruzione, in percentuale e cumulata

2.2.8 Rapporto tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto e le PGA di riferimento per grado di istruzione

PGA/PGA_{rif}	Generico		Nido-Materna		Elementare		Media		Superiore		Università		Acc.-Cons.		Uffici	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,3	14	35,9	52	17,7	122	24,4	37	28,5	79	37,1	17	53,1	0	0,0	2	33,3
0,3 - 0,6	18	46,2	159	54,1	274	54,8	60	46,2	99	46,5	14	43,8	7	100,0	4	66,7
0,6 - 0,9	4	10,3	57	19,4	69	13,8	29	22,3	25	11,7	1	3,1	0	0,0	0	0,0
0,9 - 1,2	2	5,1	15	5,1	22	4,4	3	2,3	7	3,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1,2 - 1,5	1	2,6	6	2,0	6	1,2	1	0,8	1	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1,5 - 1,8	0	0,0	3	1,0	6	1,2	0	0,0	1	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1,8 - 2,1	0	0,0	1	0,3	0	0,0	0	0,0	1	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,1 - 2,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,4 - 2,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,7 - 3,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,0 - 3,3	0	0,0	1	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,3 - 3,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,6 - 3,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,9 - 4,2	0	0,0	0	0,0	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,2 - 4,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,5 - 4,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,8 - 5,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,1 - 5,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,4 - 5,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,7 - 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	39	100,0	294	100,0	500	100,0	130	100,0	213	100,0	32	100,0	7	100,0	6	100,0

Tab. 2.10 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per grado di istruzione, in numero e percentuale

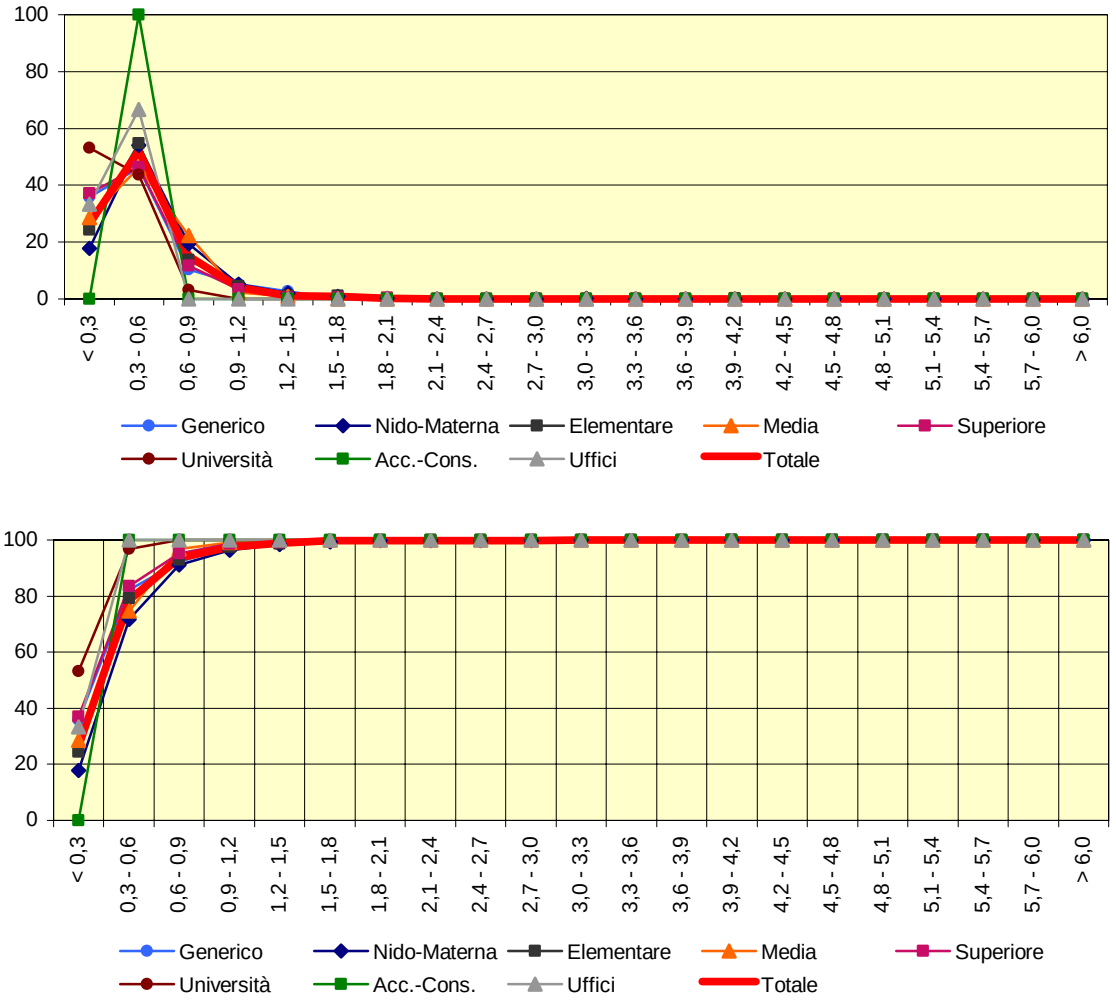


Fig. 2.19 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per grado di istruzione, in percentuale e cumulata

3 EDIFICI SCOLASTICI IN CEMENTO ARMATO PER AMBITI TERRITORIALI E GRADO DI ISTRUZIONE

3.1 VULNERABILITÀ

Viene analizzato il dato relativo alla vulnerabilità degli edifici scolastici in cemento armato determinato in base ad alcune informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità di 1º livello.
La vulnerabilità degli edifici in cemento armato viene articolata in cinque livelli qualitativi, da bassa (B) ad alta (A); determinati in funzione della tipologia costruttiva, dell'epoca di costruzione e della classificazione sismica territoriale, secondo come descritto in precedenza.
Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di vulnerabilità definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito considerato.
Si evidenzia innanzi tutto che gli edifici scolastici in cemento armato appartengono prevalentemente a classi di vulnerabilità medio-alta (43,2%) ed alta (27,4%), mentre risulta insignificante la percentuale di edifici caratterizzati da una bassa vulnerabilità (1%).
Si riscontrano lievi differenze tra le diverse regioni considerate; anche in questo caso si distingue l'Abruzzo, dove comunque il campione esaminato è eterogeneo rispetto alle altre regioni, per la più netta prevalenza delle classi di vulnerabilità alta e medio-alta, che da sole raccolgono il 96,3% degli edifici scolastici in cemento armato.
In situazione contrapposta si presenta la Puglia, caratterizzata invece da più del 30% degli edifici in classi di vulnerabilità bassa e medio-bassa.
All'interno delle singole regioni si apprezzano lievi differenze tra le situazioni rilevate nelle diverse province.
In Abruzzo si distingue la provincia di Pescara, dove la quasi totalità degli edifici scolastici in c.a. (93,2%) appartiene alla classe di vulnerabilità medio-alta; mentre nelle province di Chieti e Teramo risulta elevata la percentuale di edifici in classe A (che arriva circa al 60% nella provincia di Teramo).
In Basilicata la provincia di Potenza risulta meno vulnerabile di quella di Matera.
In Sicilia nelle province di Messina e Siracusa circa un quarto degli edifici scolastici in c.a. appartiene alle classi di vulnerabilità bassa e medio-bassa, mentre nella provincia di Catania più del 40% degli edifici appartiene alle classe A.
Infine in Campania le situazioni estreme sono rappresentate dalle province di Salerno, con la più elevata percentuale di edifici in classe di vulnerabilità alta e medio-alta (quasi l'80% degli edifici), e da quella di Avellino, dove più del 40% degli edifici appartiene alle classi bassa e medio-bassa.
Relativamente alla distinzione degli edifici scolastici in c.a. fatta con riferimento al loro grado di istruzione non si evidenziano situazioni di particolare rilievo.
Si evidenzia come gli edifici sede di Accademie o Conservatori appartengano con maggiore frequenza alle classi medio-bassa e media (globalmente quasi la metà degli edifici), mentre le categorie più vulnerabili sono rappresentate dagli uffici e delle scuole elementari, dove invece intorno al 75% degli edifici appartiene alle classi alta e medio-alta con la più elevata percentuale di edifici in classe A (circa il 30% nelle scuole elementari).
La situazione si ripresenta senza differenze significative anche all'interno delle diverse regioni.

3.1.1 Vulnerabilità degli edifici per regione

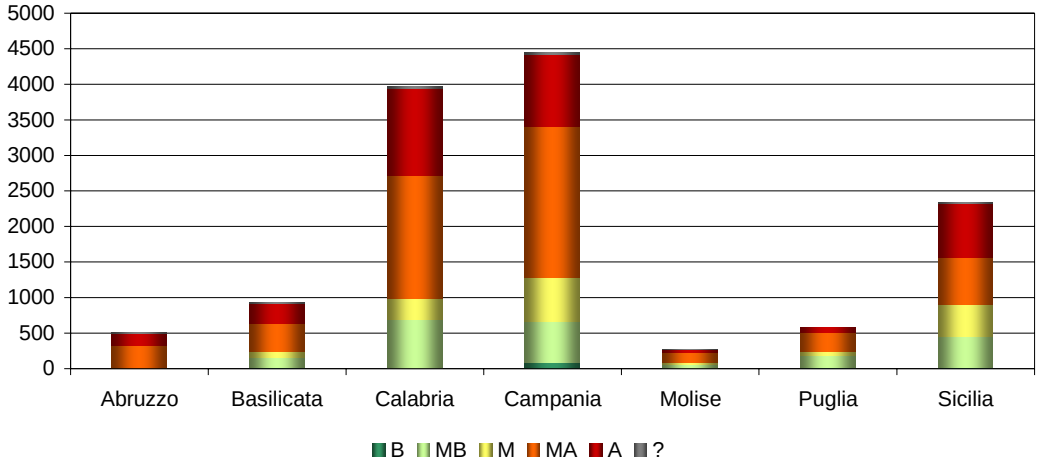


Fig. 3.1– Edifici scolastici per regione e classi di vulnerabilità, in numero

Vuln.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
B	0	19	5	79	2	17	13	135
MB	7	132	692	584	62	172	446	2095
M	0	89	286	620	16	55	445	1511
MA	314	394	1736	2130	141	260	657	5632
A	173	285	1221	1006	50	80	761	3576
?	12	9	31	24	4	2	10	92
Totale	506	928	3971	4443	275	586	2332	13041

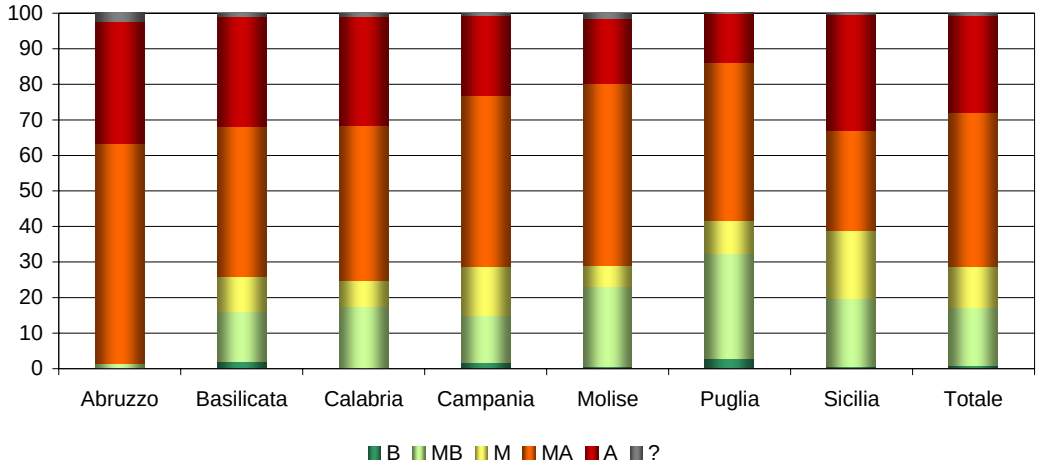


Fig. 3.2 – Edifici scolastici per regione e classi di vulnerabilità, in percentuale

Vuln.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
B	0,0	2,0	0,1	1,8	0,7	2,9	0,6	1,0
MB	1,4	14,2	17,4	13,1	22,5	29,4	19,1	16,1
M	0,0	9,6	7,2	14,0	5,8	9,4	19,1	11,6
MA	62,1	42,5	43,7	47,9	51,3	44,4	28,2	43,2
A	34,2	30,7	30,7	22,6	18,2	13,7	32,6	27,4
?	2,4	1,0	0,8	0,5	1,5	0,3	0,4	0,7
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

3.1.2 Vulnerabilità degli edifici per grado di istruzione

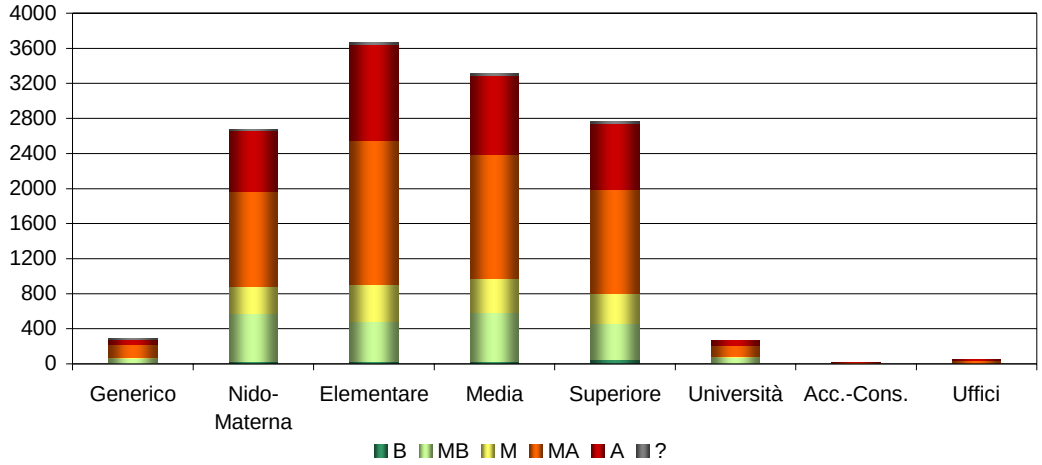


Fig. 3.3 – Edifici scolastici per grado di istruzione e classi di vulnerabilità, in numero

Vuln.	Generico	Nido Materna	Elementare	Media	Superiore	Università	Acc. o Cons.	Uffici	Totale
B	6	26	23	22	55	2	0	1	135
MB	51	548	463	559	400	66	4	4	2095
M	18	313	419	396	346	11	4	4	1511
MA	147	1073	1643	1416	1186	129	8	30	5632
A	56	701	1098	898	757	57	1	8	3576
?	6	17	25	21	22	1	0	0	92
Totale	284	2678	3671	3312	2766	266	17	47	13041

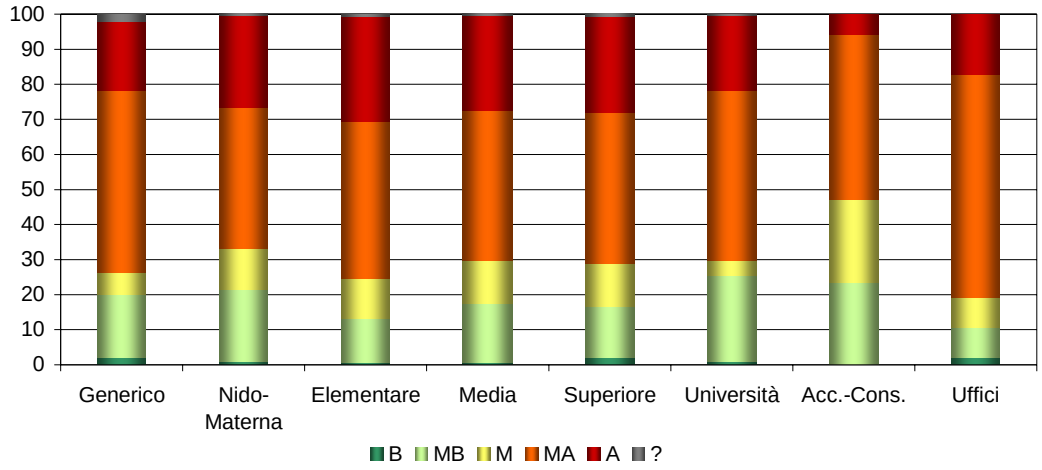
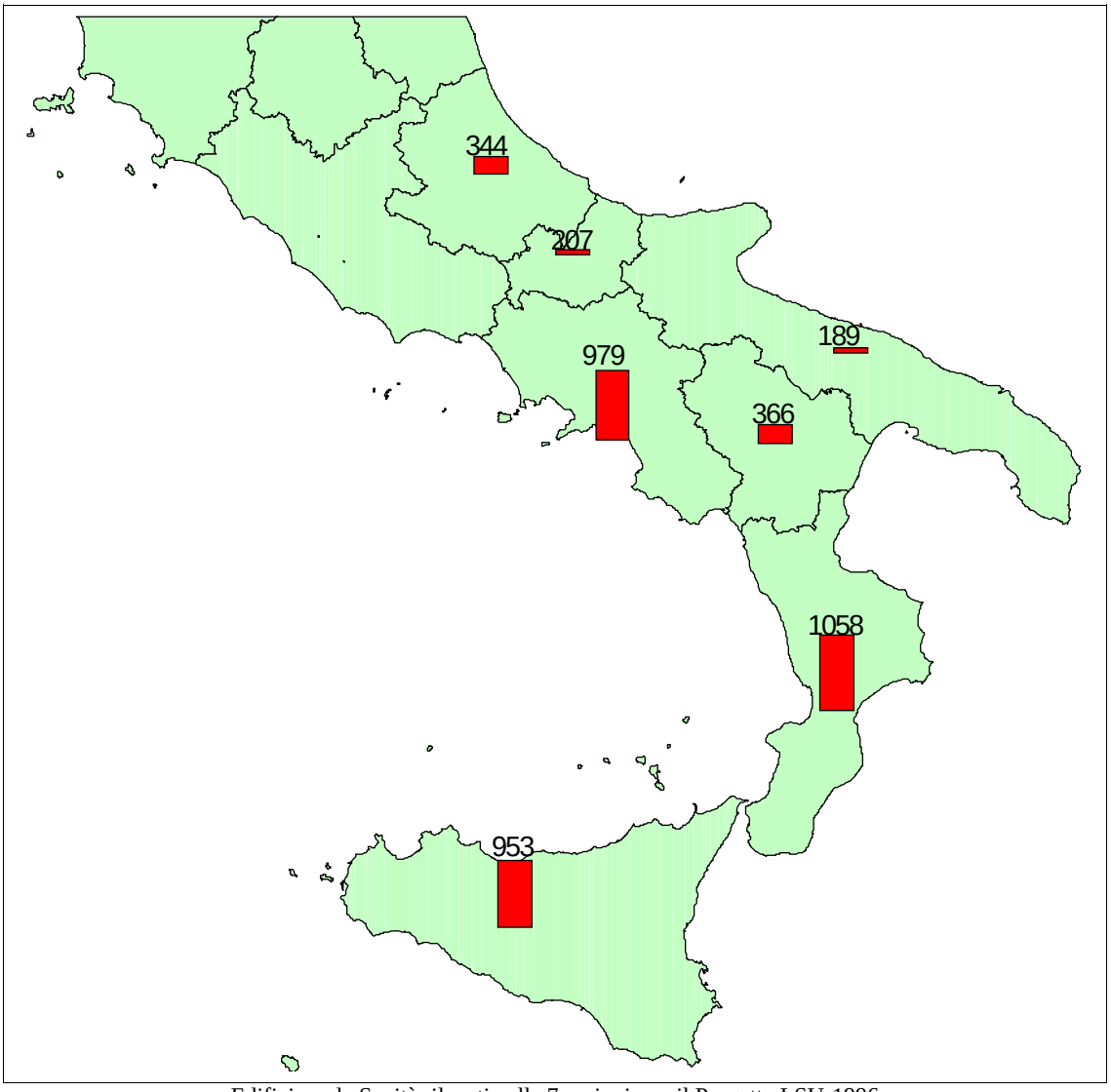


Fig. 3.4 – Edifici scolastici per grado di istruzione e classi di vulnerabilità, in percentuale

Vuln.	Generico	Nido Materna	Elementare	Media	Superiore	Università	Acc. o Cons.	Uffici	Totale
B	2,1	1,0	0,6	0,7	2,0	0,8	0,0	2,1	1,0
MB	18,0	20,5	12,6	16,9	14,5	24,8	23,5	8,5	16,1
M	6,3	11,7	11,4	12,0	12,5	4,1	23,5	8,5	11,6
MA	51,8	40,1	44,8	42,8	42,9	48,5	47,1	63,8	43,2
A	19,7	26,2	29,9	27,1	27,4	21,4	5,9	17,0	27,4
?	2,1	0,6	0,7	0,6	0,8	0,4	0,0	0,0	0,7
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PARTE 2ª - a
EDIFICI PER LA SANITÀ

ANALISI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO



Edifici per la Sanità rilevati nelle 7 regioni con il Progetto LSU-1996

4 EDIFICI PER LA SANITÀ IN MURATURA PER AMBITI TERRITORIALI

4.1 ANALISI DI VULNERABILITÀ

Viene analizzato il dato relativo ai parametri di vulnerabilità e all'indice di vulnerabilità degli edifici per la sanità in muratura determinabile dalle informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità di 2° livello.
La classificazione degli edifici per la sanità in muratura riguardo i parametri di vulnerabilità e l'attribuzione di un indice di vulnerabilità viene fatta secondo i criteri esposti in precedenza.
Ai fini della rappresentazione dei risultati relativi alla vulnerabilità degli edifici per la sanità in muratura la scala dei valori che l'indice di vulnerabilità normalizzato può assumere, compresi tra 0 e 100, è stata suddivisa in 10 intervalli.
Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito territoriale considerato nonché la percentuale cumulata.
Si evidenzia innanzi tutto che gli edifici per la sanità in muratura hanno associati livelli di vulnerabilità che sono descrivibili da indici compresi prevalentemente tra 10 e 30 con lievi variazioni tra una regione e l'altra.
Si osserva in generale che i valori assunti dall'indice di vulnerabilità sono piuttosto ridotti e sono poco frequenti gli edifici che appaiono caratterizzati da elevata vulnerabilità; i massimi valori assunti dall'indice sono comunque inferiori a 80.
Si riscontrano lievi differenze tra le regioni; le situazioni estreme sono rappresentate dalla Puglia dove si riscontrano valori più ridotti dell'indice di vulnerabilità (più dell'80% degli edifici presenta indice di vulnerabilità inferiore a 30) e dalla Basilicata dove invece il 46% degli edifici è caratterizzato da valori dell'indice di vulnerabilità superiore a 30.
All'interno delle singole regioni si possono apprezzare lievi differenze tra le situazioni rilevate nelle diverse province.
In Abruzzo gli edifici per la sanità in muratura risultano mediamente più vulnerabili nelle province di Teramo e Pescara; così come in Sicilia la provincia di Catania è più vulnerabile delle altre mentre la meno vulnerabile risulta essere la provincia di Messina. In Calabria infine si distingue la provincia di Reggio Calabria dove gli edifici per la sanità in muratura risultano mediamente poco vulnerabili.
Concorre a definire l'indice di vulnerabilità l'attribuzione degli edifici alle classi definite per ognuno dei parametri di vulnerabilità di 2° livello. È interessante osservare a tal proposito le distribuzioni degli 11 parametri di vulnerabilità nelle classi A, B, C e D a vulnerabilità crescente.
A tal proposito si può evidenziare come i parametri che risultano a vulnerabilità più ridotta (caratterizzati da elevate percentuali di edifici collocati in classe A, oltre il 70%), per gli edifici per la sanità in muratura, siano quelli che descrivono la posizione dell'edificio e le condizioni delle fondazioni e la configurazione in elevazione (parametri: 4 e 7).
Una situazione non molto diversa (con ridotte percentuali di edifici in classi C e D) riguarda i parametri relativi a: la qualità del sistema resistente, la copertura, gli elementi non strutturali e lo stato di fatto (parametri: 2, 9, 10 e 11). Tendenzialmente meno buona è però la situazione descritta dal parametro 2 (qualità del sistema resistente) con circa il 21% di edifici in classi C e D.
In condizioni intermedia si collocano i parametri 3, 5 e 8, caratterizzanti la resistenza convenzionale, gli orizzontamenti e la distanza massima tra le murature, che presentano comunque una percentuale di edifici attribuiti alle classi A e B superiore al 50%.
I parametri più vulnerabili risultano infine quelli che descrivono il tipo ed organizzazione del sistema resistente e la configurazione planimetrica (parametri 1 e 6), con oltre il 50% degli edifici in classe C e D (circa il 75% per il parametro 6).

Questi risultati permettono di descrivere le caratteristiche peculiari degli edifici per la sanità, generalmente non molto vulnerabili, regolari in elevazione ma poco regolari in pianta e distinti da una mediocre organizzazione del sistema resistente.
Sostanzialmente analoga è la situazione che si presenta all'interno dei diversi ambiti regionali.
Ulteriori considerazioni interessanti riguardano la correlazione tra gli indici di vulnerabilità e le classi tipologiche MSK di appartenenza degli edifici.
A tal proposito, per i diversi ambiti territoriali, sono state tracciate le distribuzioni dell'indice di vulnerabilità degli edifici del campione analizzato nelle classi tipologiche MSK e sono stati calcolati i valori medi dell'indice di vulnerabilità ed i coefficienti di variazione nelle classi MSK.
I risultati ottenuti mostrano come nel passaggio da una classe tipologica all'altra, procedendo dalla classe D1 alla A, le rispettive distribuzioni dell'indice di vulnerabilità si spostino verso valori più elevati e diventino al contempo più disperse.
Tale andamento è più evidente osservando i risultati relativi al campione globale ma diventa più confuso se ci si riferisce ai singoli ambiti regionali a causa del ridotto numero di casi a disposizione.
Si osserva inoltre come i valori medi dell'indice di vulnerabilità crescono al passaggio da una classe tipologica all'altra (procedendo dalla classe D1 alla classe A) e si attestano intorno a V = 16 per la classe D1, V = 22 per la C1, V = 29 per la B e V = 36 per la classe A.
In accordo con la definizione stessa delle classi tipologiche MSK la situazione si ripete in maniera analoga nelle diverse regioni. Un comportamento irregolare tuttavia si presenta in Sicilia dove la classe D1 assume valori medi dell'indice di vulnerabilità superiori alla classe C1 ed in Basilicata dove la classe B risulta sensibilmente più vulnerabile della A.
Estendendo l'analisi a livello provinciale le osservazioni fatte trovano riscontro ma gli andamenti dei valori medi nelle diverse classi tipologiche si dimostrano meno regolari sempre a causa dell'esiguità del campione analizzato.

4.1.1 Indice di vulnerabilità degli edifici per regione

I.V.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
0: 9	45	3	47	32	8	6	34	175
10: 19	48	14	91	77	34	22	68	354
20: 29	55	23	43	74	19	29	81	324
30: 39	26	17	40	50	17	6	87	243
40: 49	23	4	14	38	4	5	31	119
50: 59	13	7	12	6	0	0	17	55
60: 69	3	6	4	1	0	1	6	21
70: 79	0	0	1	0	0	0	3	4
80: 89	0	0	0	0	0	0	0	0
90: 100	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	213	74	252	278	82	69	327	1295

I.V.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
0: 9	21,1	4,1	18,7	11,5	9,8	8,7	10,4	13,5
10: 19	22,5	18,9	36,1	27,7	41,5	31,9	20,8	27,3
20: 29	25,8	31,1	17,1	26,6	23,2	42,0	24,8	25,0
30: 39	12,2	23,0	15,9	18,0	20,7	8,7	26,6	18,8
40: 49	10,8	5,4	5,6	13,7	4,9	7,2	9,5	9,2
50: 59	6,1	9,5	4,8	2,2	0,0	0,0	5,2	4,2
60: 69	1,4	8,1	1,6	0,4	0,0	1,4	1,8	1,6
70: 79	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,9	0,3
80: 89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90: 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 4.1 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per regione, in numero e percentuale

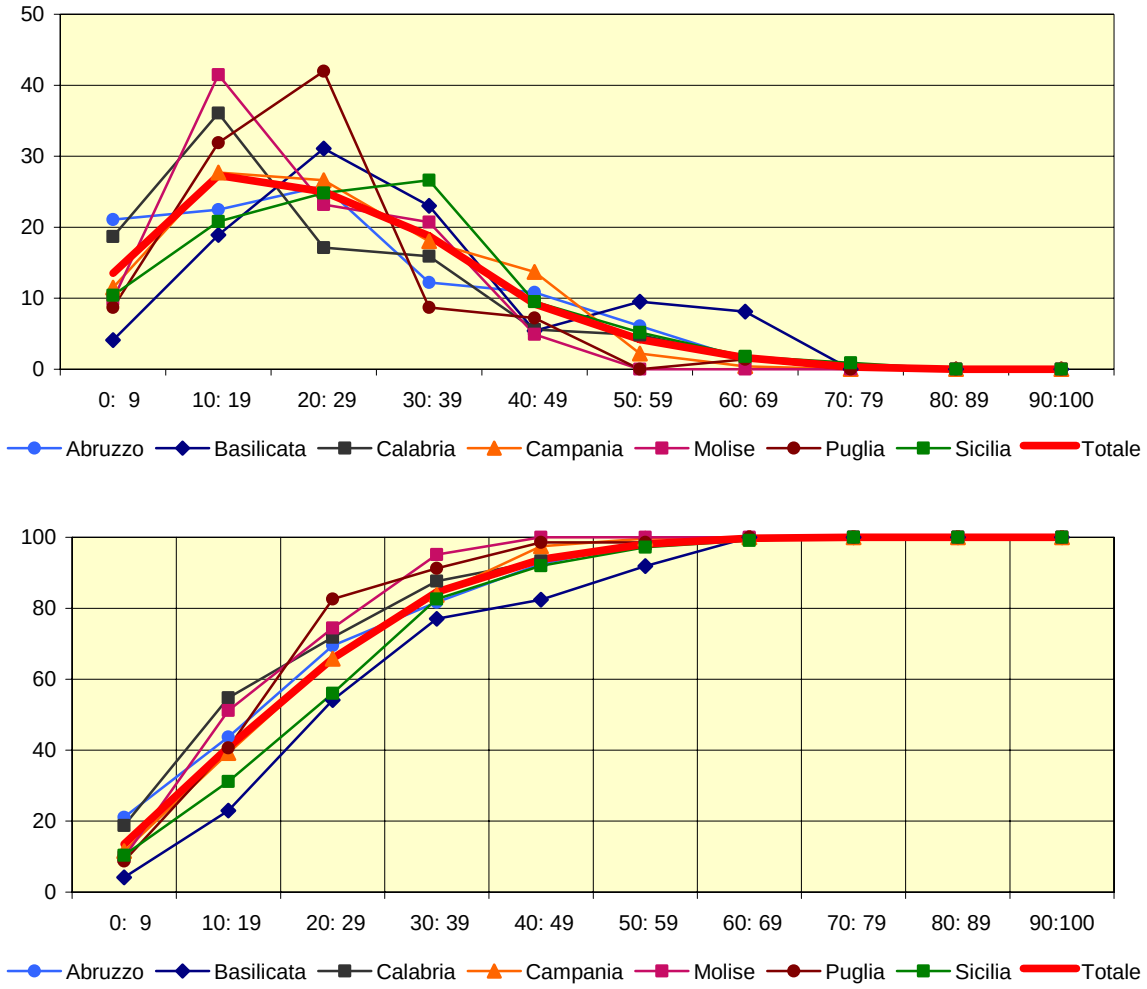
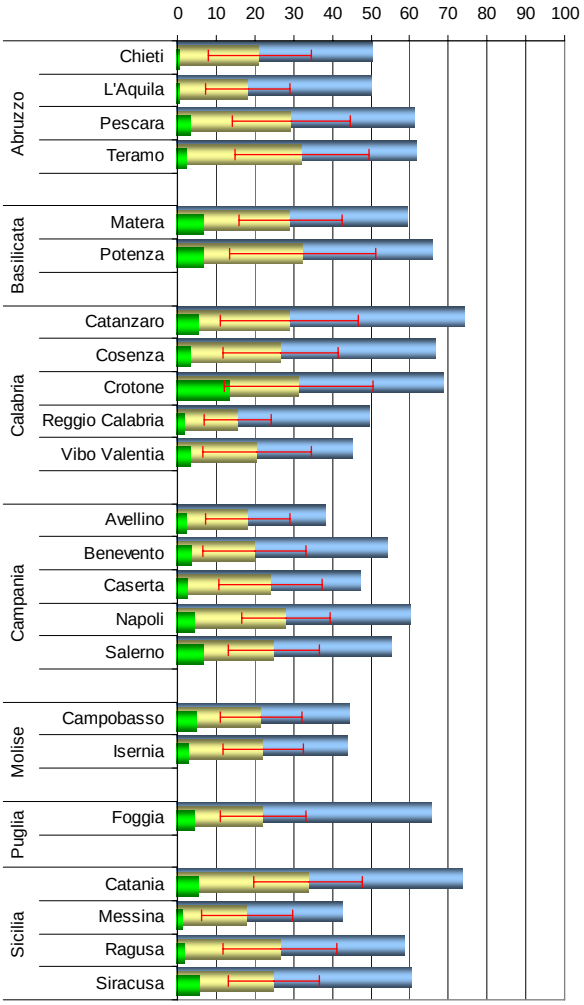


Fig. 4.1 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	21,26	13,30	1	51
	AQ	18,17	11,01	1	50
	PE	29,35	15,12	4	61
	TE	32,24	17,34	2	62
Basilicata	MT	29,11	13,34	7	59
	PZ	32,37	18,85	7	66
Calabria	CZ	28,94	17,72	6	75
	CS	26,77	14,86	4	67
	KR	31,37	19,09	13	69
	RC	15,53	8,71	2	50
	VV	20,57	13,88	4	45
Campania	AV	18,30	10,88	2	39
	BN	19,90	13,46	4	54
	CE	24,06	13,34	3	47
	NA	28,14	11,43	5	60
	SA	24,92	11,67	7	55
Molise	CB	21,58	10,56	5	45
	IS	22,04	10,41	3	44
Puglia	FG	22,21	11,06	5	66
Sicilia	CT	33,88	13,99	6	74
	ME	18,01	11,74	1	43
	RG	26,55	14,70	2	59
	SR	24,75	11,76	6	60

Fig. 4.2 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard degli indici di vulnerabilità degli edifici per la sanità

4.1.2 Correlazione dell'indice di vulnerabilità con le classi tipologiche MSK

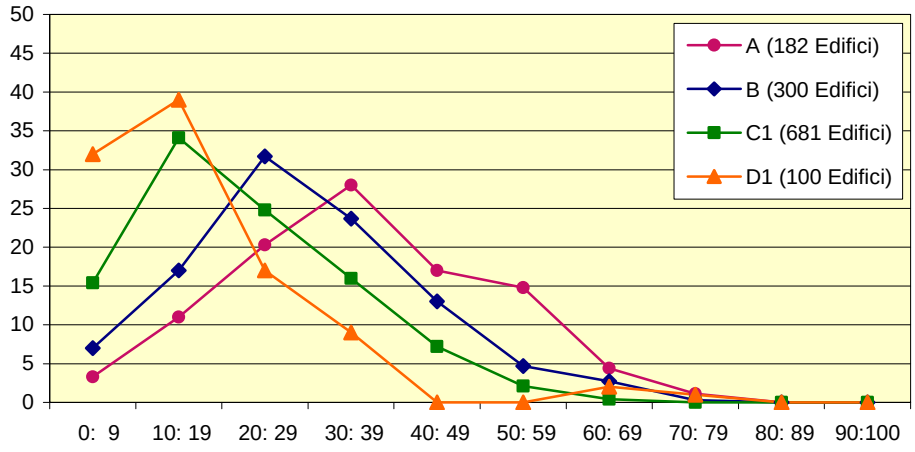


Fig. 4.3 – Distribuzione percentuale dell'indice di vulnerabilità degli edifici per la sanità nelle classi tipologiche MSK

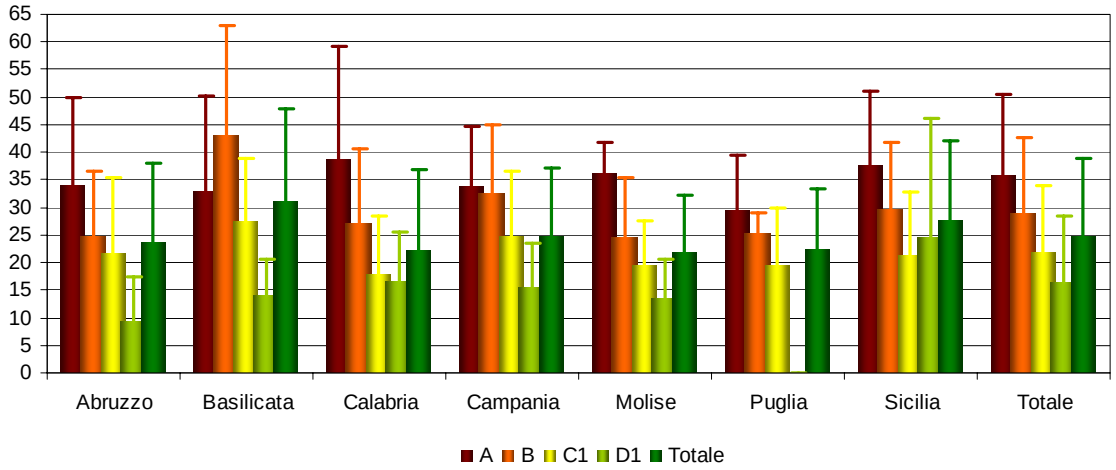


Fig. 4.4 – Distribuzione dei valori medi dell'indice di vulnerabilità degli edifici per la sanità nelle classi tipologiche MSK e coefficiente di variazione, per regione

MSK		Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
A	Media di A	33,98	32,90	38,61	33,79	35,89	29,28	37,48	35,68
	CV	47,08	52,38	53,23	32,32	16,36	35,23	36,01	41,24
B	Media di B	24,75	42,89	26,87	32,46	24,38	25,28	29,57	28,82
	CV	47,81	46,78	50,84	38,21	44,87	14,91	41,23	47,70
C1	Media di C1	21,33	27,28	17,59	24,66	19,31	19,36	21,30	21,79
	CV	66,10	43,05	61,10	48,22	43,44	54,10	54,57	55,64
D1	Media di D1	9,37	13,89	16,52	15,34	13,47		24,45	16,35
	CV	84,98	49,19	53,86	53,79	53,74		89,22	74,22
Media di Totale		23,46	31,00	22,20	24,78	21,74	22,21	27,56	24,79
CV di Totale		62,48	53,99	65,79	50,13	48,06	49,79	52,26	56,71

4.1.3 Classificazione dei parametri di vulnerabilità

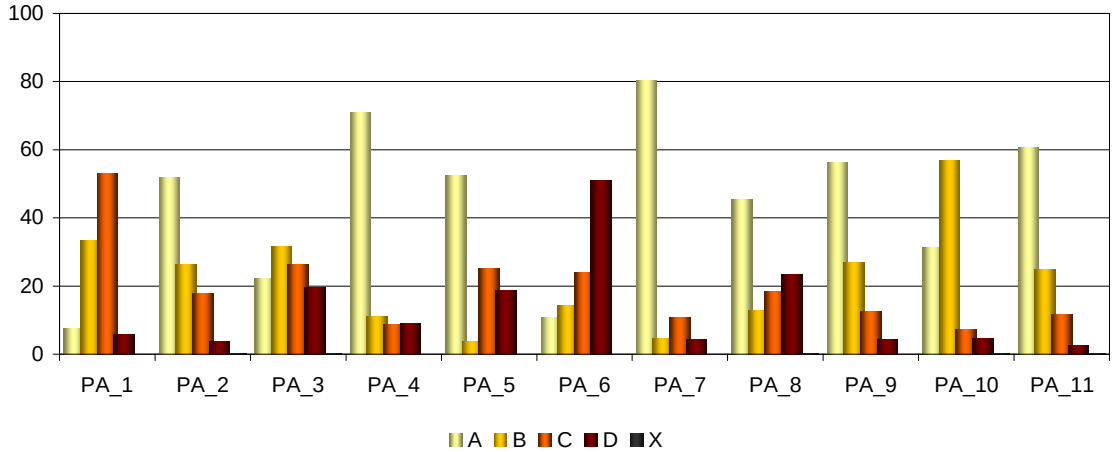


Fig. 4.5 – Distribuzione percentuale delle frequenze dei parametri di vulnerabilità di secondo livello degli edifici per la sanità nelle classi A, B, C e D

Classe	PA_1	PA_2	PA_3	PA_4	PA_5	PA_6	PA_7	PA_8	PA_9	PA_10	PA_11
A	7,6	51,9	22,1	71,0	52,4	10,7	80,4	45,3	56,3	31,3	60,5
B	33,4	26,2	31,7	11,1	3,7	14,4	4,6	12,7	26,9	56,8	24,9
C	53,1	17,8	26,4	8,7	25,2	23,9	10,8	18,5	12,5	7,3	11,8
D	5,9	3,8	19,7	9,1	18,8	51,0	4,2	23,3	4,2	4,6	2,6
X	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

4.2 ACCELERAZIONI DI COLLASSO DEGLI EDIFICI

Viene analizzato il dato relativo alle accelerazioni di collasso degli edifici per la sanità in muratura, riferite al suolo di fondazione di tipo B, C, E, e valutate secondo i criteri indicati nel capitolo precedente sulla base delle informazioni di secondo livello contenute nelle schede di vulnerabilità.
L'analisi dei risultati ottenuti viene presentata distinguendo gli edifici in muratura rilevati in funzione del diverso tipo di comportamento a collasso che li caratterizza, in quanto questo parametro è significativamente influente ai fini della determinazione della resistenza sismica ultima dell'edificio. Si distinguono quindi gli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso prevalentemente tagliante e quelli a comportamento di tipo flessionale o misto, così come definiti ed individuati in base ai criteri esposti nel capitolo precedente.
Si osserva a tale riguardo che la maggioranza degli edifici per la sanità in muratura presenta meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante (più del 70%), mentre circa il 20% di essi è descritto da comportamento di tipo flessionale ed il 5% di tipo intermedio tra i primi due.
Ai fini della rappresentazione delle distribuzioni delle PGA di collasso degli edifici per la sanità in muratura la scala dei valori assunti da tale grandezza è stata partizionata in intervalli ad ampiezza costante. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito territoriale considerato nonché la percentuale cumulata.
Per quanto riguarda gli edifici per la sanità in muratura caratterizzati da comportamento di tipo tagliante, generalmente più resistenti, si evidenzia innanzi tutto che essi hanno associati valori delle accelerazioni di collasso compresi prevalentemente tra 0,15 e 0,30 (più del 40% di essi) ed un valore medio pari a 0,33, con lievi variazioni tra una regione e l'altra.
Si osserva in generale che le PGA di collasso poco frequentemente assumono valori elevati e meno del 10% di essi supera 0,6. Risulta tuttavia ridotta anche la percentuale di edifici caratterizzati da valori eccessivamente bassi delle accelerazioni di collasso, infatti valori di PGA inferiori a 0,10 sono attribuibili ad appena il 3,7% degli edifici per la sanità rilevati.
Si riscontrano alcune differenze tra le regioni; le situazioni estreme sono rappresentate dall'Abruzzo e dalla Calabria, i cui edifici sono caratterizzati da valori di PGA tendenzialmente più elevati (il 60% degli edifici per la sanità in muratura dell'Abruzzo e circa il 53% di quelli della Calabria hanno associati valori di accelerazioni di collasso superiori a 0,30), mentre nelle altre regioni (in particolare nel Molise) la tendenza si inverte e la maggior parte degli edifici per la sanità in muratura (quasi il 70% nel Molise) è caratterizzato da accelerazioni di collasso inferiori a 0,3.
All'interno delle singole regioni non si apprezzano differenze rilevanti tra le situazioni rilevate nelle diverse province.
Riguardo i risultati ottenuti per gli edifici per la sanità in muratura distinti da meccanismo di collasso prevalentemente flessionale o misto, che, come anzidetto, rappresentano una percentuale ridotta dell'intero campione degli edifici in muratura, si osserva la netta riduzione generale dei valori di accelerazioni di collasso che caratterizzano gli edifici e che nella maggioranza dei casi (quasi il 60% degli edifici) si attestano nell'intervallo tra 0,05 e 0,10. Una buona percentuale di essi (circa il 25%) arriva a valori di PGA di collasso compresi nell'intervallo tra 0,10 e 0,15, mentre risulta ininfluente la percentuale di edifici che superano 0,20 (3,7% sul totale).
Per quanto riguarda la distinzione fatta relativamente ai diversi ambiti territoriali si evidenzia che non sussistono differenze sensibili tra gli edifici per la sanità rilevati nelle diverse regioni; unica osservazione può essere fatta relativamente al Molise dove l'andamento delle PGA di collasso degli edifici per la sanità a comportamento flessionale o misto si presenta lievemente spostato verso valori maggiori.
Risulta significativo analizzare inoltre i rapporti tra le accelerazioni di collasso valutate per gli edifici per la sanità in muratura e riferite al suolo di categoria A (bad rock) e le PGA di riferimento definite, per ciascun territorio comunale, nella nuova mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM n° 3274 del 20 Marzo 2003 e redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (versione Aprile 2004).

Anche in questo caso l'analisi dei risultati viene proposta distinguendo gli edifici in relazione al tipo di meccanismo di collasso prevalente. Ai fini della rappresentazione delle distribuzioni dei rapporti delle PGA di collasso degli edifici per la sanità in muratura la scala dei valori assunti da tale grandezza è stata partizionata in intervalli ad ampiezza costante. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti.
Per quanto riguarda gli edifici per la sanità in muratura caratterizzati da comportamento di tipo tagliante, si evidenzia innanzi tutto che essi appartengono con maggiore frequenza all'intervallo dei valori compresi tra 0,6 e 1,5 (57% degli edifici), con valore medio pari a 1,42 sul totale dell'intero campione. Si osserva poi che l'1% degli edifici considerati presenta una PGA di collasso che è inferiore al 30% della PGA di riferimento mentre il 7,5% di essi è caratterizzato da accelerazioni di collasso che risultano più di 3 volte superiori alle PGA di riferimento.
Si riscontrano alcune differenze tra le diverse regioni; le situazioni estreme sono rappresentate dal Molise e dalla Sicilia, caratterizzate dalla maggiore frequenza di valori ridotti dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e le PGA di riferimento, e da Abruzzo e Basilicata dove la tendenza si inverte. Nella Sicilia circa il 70% degli edifici per la sanità in muratura presenta valori delle PGA di collasso inferiori alle PGA di riferimento, mentre in Abruzzo più del 60% degli edifici risulta realizzato in modo tale da assicurare accelerazioni di collasso superiori a quelle di riferimento.
Bisogna osservare tuttavia che le migliori condizioni riscontrate in Abruzzo possono essere spiegate considerando il fatto che il suo territorio risulta classificato da tempi più antichi e questo ha contribuito a diffondere una migliore cultura antisismica tra la popolazione.
All'interno delle singole regioni non si apprezzano differenze rilevanti tra le situazioni rilevate nelle diverse province. In Abruzzo si distingue la provincia di Chieti per la presenza di edifici per la sanità in muratura caratterizzati da rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e PGA di riferimento mediamente maggiori che nel resto della regione; mentre in Basilicata gli edifici della provincia di Matera risultano caratterizzati da rapporti mediamente maggiori rispetto alla provincia di Potenza.
Riguardo gli edifici per la sanità in muratura distinti da meccanismo di collasso prevalentemente flessionale o misto si osserva ancora la netta riduzione globale dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e le PGA di riferimento nelle diverse zone. Si può rimarcare che la quasi totalità degli edifici analizzati è caratterizzato da accelerazioni di collasso inferiori alle PGA di riferimento, il valore medio di tale rapporto è pari a 0,42 sull'intero raggruppamento e non si osservano differenze sensibili all'interno dei diversi ambiti territoriali individuati.

4.2.1 PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante per regione

PGA	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,05	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,05 - 0,10	2	1,5	1	2,7	5	3,1	12	6,8	2	3,4	0	0,0	7	4,0	29	3,7
0,10 - 0,15	8	6,2	4	10,8	7	4,3	19	10,7	5	8,5	5	10,2	35	20,1	83	10,5
0,15 - 0,20	7	5,4	6	16,2	17	10,4	37	20,9	12	20,3	15	30,6	26	14,9	120	15,2
0,20 - 0,25	18	13,8	5	13,5	15	9,2	25	14,1	13	22,0	3	6,1	32	18,4	111	14,1
0,25 - 0,30	17	13,1	7	18,9	33	20,2	20	11,3	9	15,3	7	14,3	17	9,8	110	13,9
0,30 - 0,35	12	9,2	7	18,9	14	8,6	14	7,9	8	13,6	5	10,2	11	6,3	71	9,0
0,35 - 0,40	8	6,2	1	2,7	16	9,8	12	6,8	5	8,5	1	2,0	9	5,2	52	6,6
0,40 - 0,45	8	6,2	4	10,8	18	11,0	10	5,6	0	0,0	2	4,1	12	6,9	54	6,8
0,45 - 0,50	7	5,4	0	0,0	5	3,1	6	3,4	3	5,1	3	6,1	5	2,9	29	3,7
0,50 - 0,55	3	2,3	2	5,4	7	4,3	9	5,1	1	1,7	0	0,0	4	2,3	26	3,3
0,55 - 0,60	7	5,4	0	0,0	9	5,5	4	2,3	0	0,0	0	0,0	6	3,4	26	3,3
0,60 - 0,65	5	3,8	0	0,0	6	3,7	2	1,1	0	0,0	3	6,1	2	1,1	18	2,3
0,65 - 0,70	6	4,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	4,1	2	1,1	10	1,3
0,70 - 0,75	3	2,3	0	0,0	1	0,6	2	1,1	0	0,0	0	0,0	2	1,1	8	1,0
0,75 - 0,80	7	5,4	0	0,0	1	0,6	2	1,1	0	0,0	1	2,0	2	1,1	13	1,6
0,80 - 0,85	1	0,8	0	0,0	3	1,8	1	0,6	1	1,7	0	0,0	0	0,0	6	0,8
0,85 - 0,90	0	0,0	0	0,0	1	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	1,1	3	0,4
0,90 - 0,95	4	3,1	0	0,0	4	2,5	1	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	9	1,1
0,95 - 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,1
> 1,00	7	5,4	0	0,0	1	0,6	0	0,0	0	0,0	2	4,1	0	0,0	10	1,3
Totale	130	100,0	37	100,0	163	100,0	177	100,0	59	100,0	49	100,0	174	100,0	789	100,0

Tab. 4.2 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per regione, in numero e percentuale

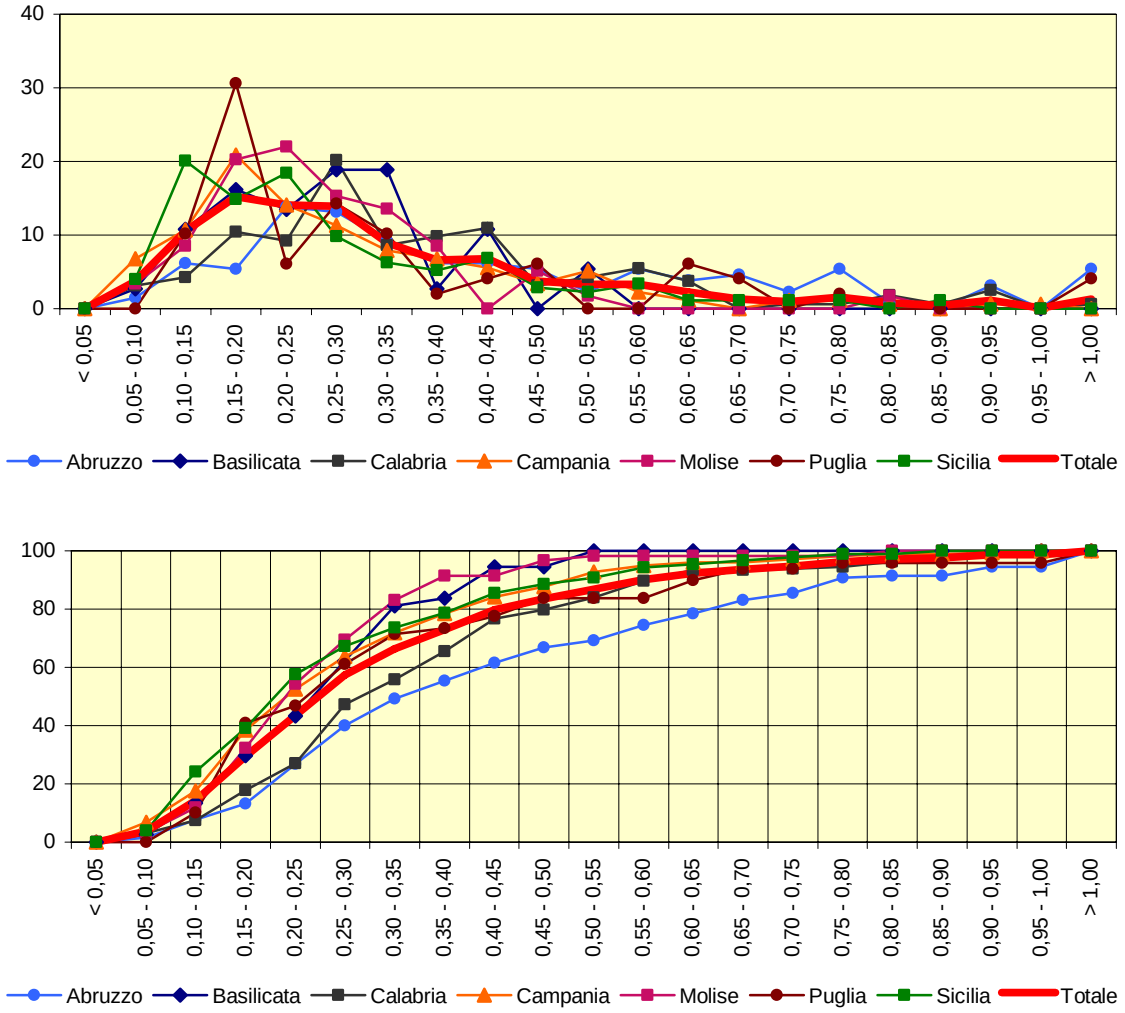
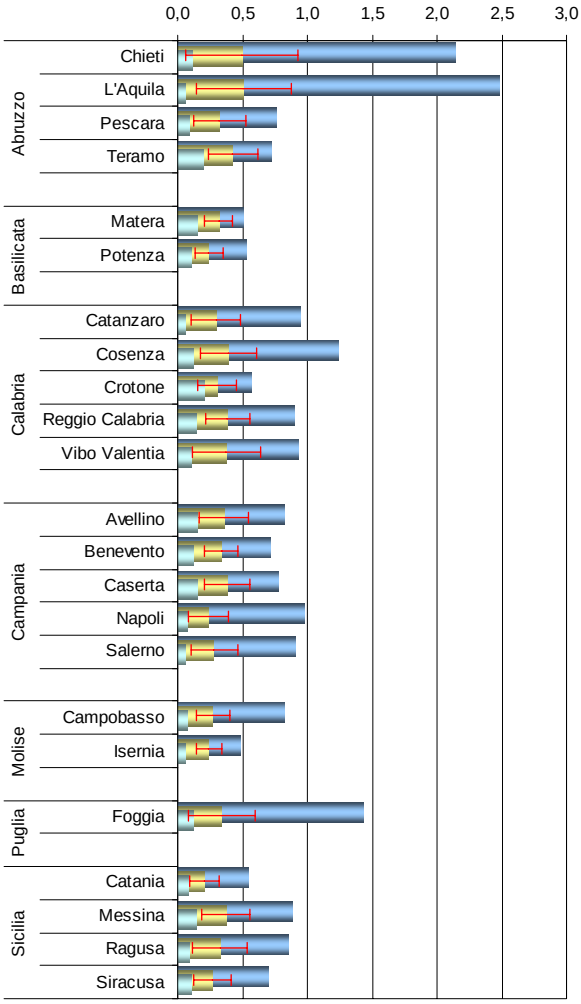


Fig. 4.6 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per regione, in percentuale e cumulata



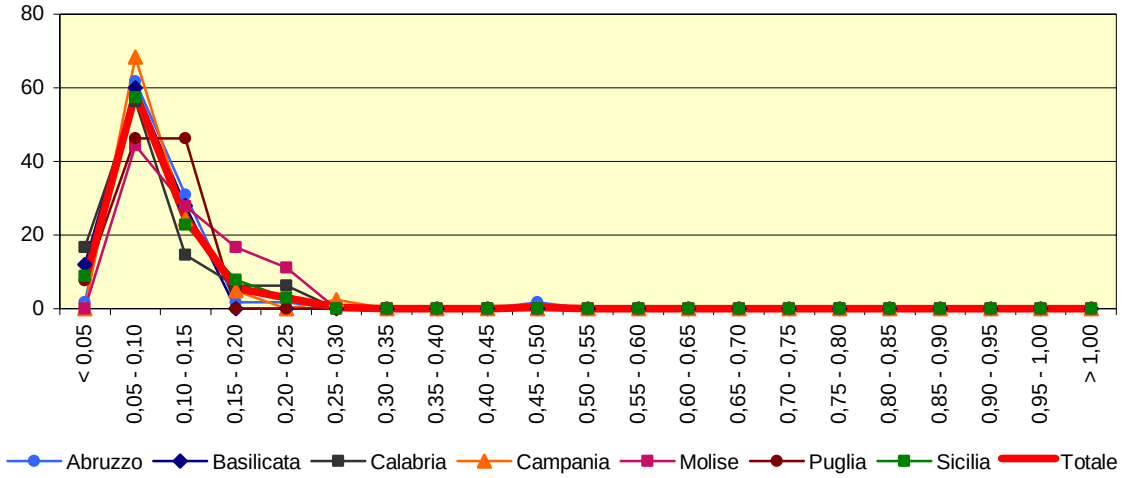
REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,49	0,43	0,11	2,15
	AQ	0,51	0,37	0,06	2,49
	PE	0,32	0,20	0,09	0,77
	TE	0,43	0,19	0,20	0,72
Basilicata	MT	0,31	0,11	0,16	0,51
	PZ	0,24	0,11	0,10	0,52
Calabria	CZ	0,30	0,19	0,06	0,95
	CS	0,39	0,22	0,12	1,24
	KR	0,31	0,15	0,20	0,57
	RC	0,39	0,17	0,15	0,90
	VV	0,38	0,26	0,10	0,93
Campania	AV	0,36	0,19	0,15	0,83
	BN	0,34	0,13	0,12	0,72
	CE	0,38	0,17	0,15	0,77
	NA	0,24	0,16	0,07	0,98
	SA	0,28	0,18	0,06	0,90
Molise	CB	0,27	0,13	0,07	0,82
	IS	0,24	0,10	0,07	0,49
Puglia	FG	0,34	0,25	0,12	1,44
Sicilia	CT	0,21	0,11	0,08	0,55
	ME	0,37	0,19	0,14	0,89
	RG	0,33	0,22	0,09	0,86
	SR	0,27	0,15	0,10	0,70

Fig. 4.7 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard delle accelerazioni di collasso degli edifici per la sanità caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante

4.2.2 PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto per regione

PGA	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,05	1	1,8	3	12,0	8	16,7	0	0,0	0	0,0	1	7,7	9	8,9	22	7,3
0,05 - 0,10	34	61,8	15	60,0	27	56,3	28	68,3	8	44,4	6	46,2	58	57,4	176	58,5
0,10 - 0,15	17	30,9	7	28,0	7	14,6	10	24,4	5	27,8	6	46,2	23	22,8	75	24,9
0,15 - 0,20	1	1,8	0	0,0	3	6,3	2	4,9	3	16,7	0	0,0	8	7,9	17	5,6
0,20 - 0,25	1	1,8	0	0,0	3	6,3	0	0,0	2	11,1	0	0,0	3	3,0	9	3,0
0,25 - 0,30	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	2,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,3
0,30 - 0,35	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,35 - 0,40	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,40 - 0,45	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,45 - 0,50	1	1,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,3
0,50 - 0,55	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,55 - 0,60	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,60 - 0,65	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,65 - 0,70	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,70 - 0,75	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,75 - 0,80	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,80 - 0,85	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,85 - 0,90	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,90 - 0,95	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,95 - 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 1,00	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	55	100,0	25	100,0	48	100,0	41	100,0	18	100,0	13	100,0	101	100,0	301	100,0

Tab. 4.3 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per regione, in numero e percentuale



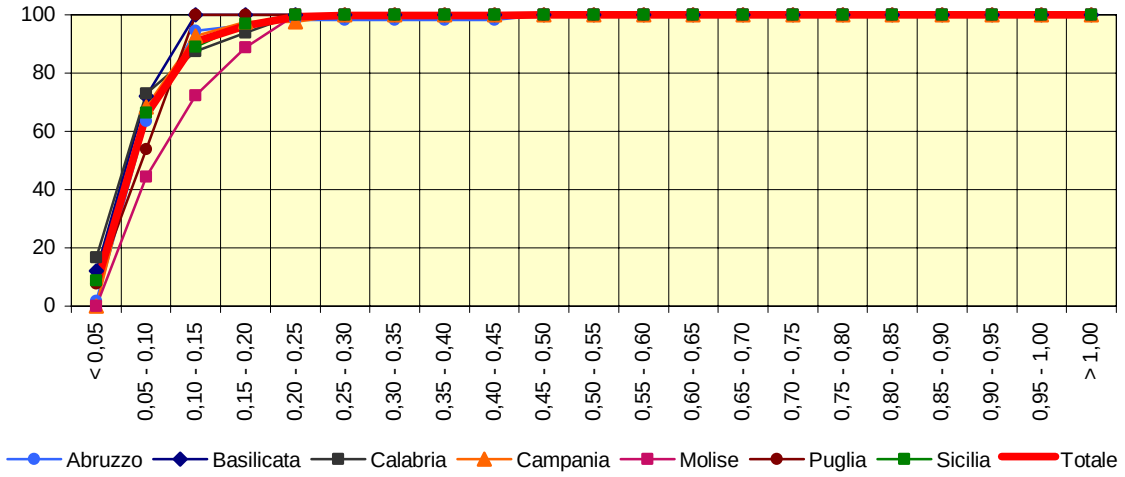
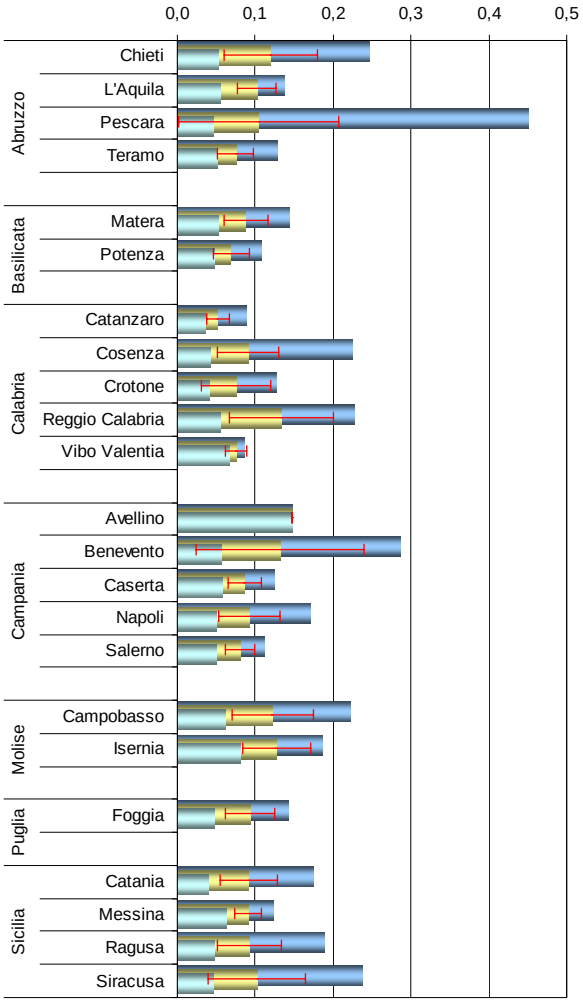


Fig. 4.8 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,12	0,06	0,05	0,25
	AQ	0,10	0,02	0,05	0,14
	PE	0,10	0,10	0,05	0,45
	TE	0,07	0,02	0,05	0,13
Basilicata	MT	0,09	0,03	0,05	0,14
	PZ	0,07	0,02	0,05	0,11
Calabria	CZ	0,05	0,02	0,04	0,09
	CS	0,09	0,04	0,04	0,22
	KR	0,08	0,05	0,04	0,13
	RC	0,13	0,07	0,05	0,23
	VV	0,08	0,01	0,07	0,09
Campania	AV	0,15	0,00	0,15	0,15
	BN	0,13	0,11	0,06	0,29
	CE	0,09	0,02	0,06	0,13
	NA	0,09	0,04	0,05	0,17
	SA	0,08	0,02	0,05	0,11
Molise	CB	0,12	0,05	0,06	0,22
	IS	0,13	0,04	0,08	0,19
Puglia	FG	0,09	0,03	0,05	0,14
Sicilia	CT	0,09	0,04	0,04	0,17
	ME	0,09	0,02	0,06	0,12
	RG	0,09	0,04	0,05	0,19
	SR	0,10	0,06	0,05	0,24

Fig. 4.9 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard delle accelerazioni di collasso degli edifici per la sanità caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto

4.2.3 Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante e le PGA di riferimento per regione

PGA/PGA$_{rif}$	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,3	1	0,8	0	0,0	4	2,5	0	0,0	2	3,4	0	0,0	1	0,6	8	1,0
0,3 - 0,6	6	4,6	6	16,2	13	8,0	15	8,5	10	16,9	2	4,1	41	23,6	93	11,8
0,6 - 0,9	22	16,9	7	18,9	40	24,5	38	21,5	17	28,8	12	24,5	46	26,4	182	23,1
0,9 - 1,2	23	17,7	3	8,1	34	20,9	31	17,5	10	16,9	10	20,4	36	20,7	147	18,6
1,2 - 1,5	21	16,2	8	21,6	25	15,3	33	18,6	6	10,2	9	18,4	18	10,3	120	15,2
1,5 - 1,8	8	6,2	1	2,7	18	11,0	18	10,2	8	13,6	3	6,1	6	3,4	62	7,9
1,8 - 2,1	6	4,6	1	2,7	7	4,3	11	6,2	2	3,4	4	8,2	6	3,4	37	4,7
2,1 - 2,4	12	9,2	1	2,7	4	2,5	4	2,3	2	3,4	1	2,0	5	2,9	29	3,7
2,4 - 2,7	8	6,2	3	8,1	5	3,1	5	2,8	1	1,7	3	6,1	1	0,6	26	3,3
2,7 - 3,0	8	6,2	4	10,8	4	2,5	6	3,4	0	0,0	1	2,0	3	1,7	26	3,3
3,0 - 3,3	5	3,8	0	0,0	1	0,6	5	2,8	0	0,0	0	0,0	5	2,9	16	2,0
3,3 - 3,6	2	1,5	1	2,7	2	1,2	2	1,1	0	0,0	0	0,0	2	1,1	9	1,1
3,6 - 3,9	1	0,8	0	0,0	1	0,6	2	1,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	4	0,5
3,9 - 4,2	2	1,5	2	5,4	1	0,6	2	1,1	0	0,0	3	6,1	1	0,6	11	1,4
4,2 - 4,5	1	0,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,6	2	0,3
4,5 - 4,8	0	0,0	0	0,0	2	1,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,6	3	0,4
4,8 - 5,1	0	0,0	0	0,0	1	0,6	2	1,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	0,4
5,1 - 5,4	1	0,8	0	0,0	0	0,0	2	1,1	0	0,0	0	0,0	1	0,6	4	0,5
5,4 - 5,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	1,7	1	2,0	0	0,0	2	0,3
5,7 - 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,1
> 6,0	3	2,3	0	0,0	1	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	4	0,5
Totale	130	100,0	37	100,0	163	100,0	177	100,0	59	100,0	49	100,0	174	100,0	789	100,0

Tab. 4.4 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per regione, in numero e percentuale

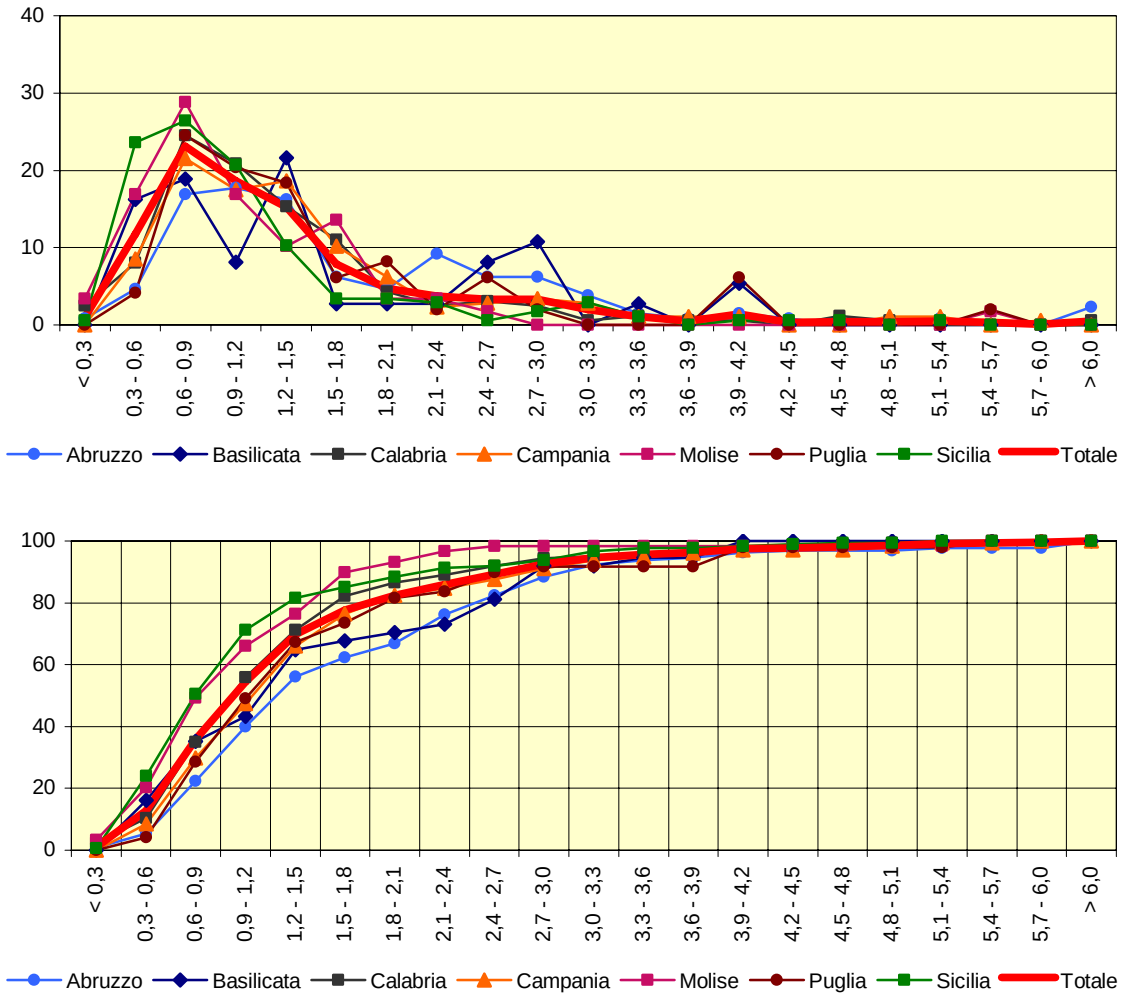
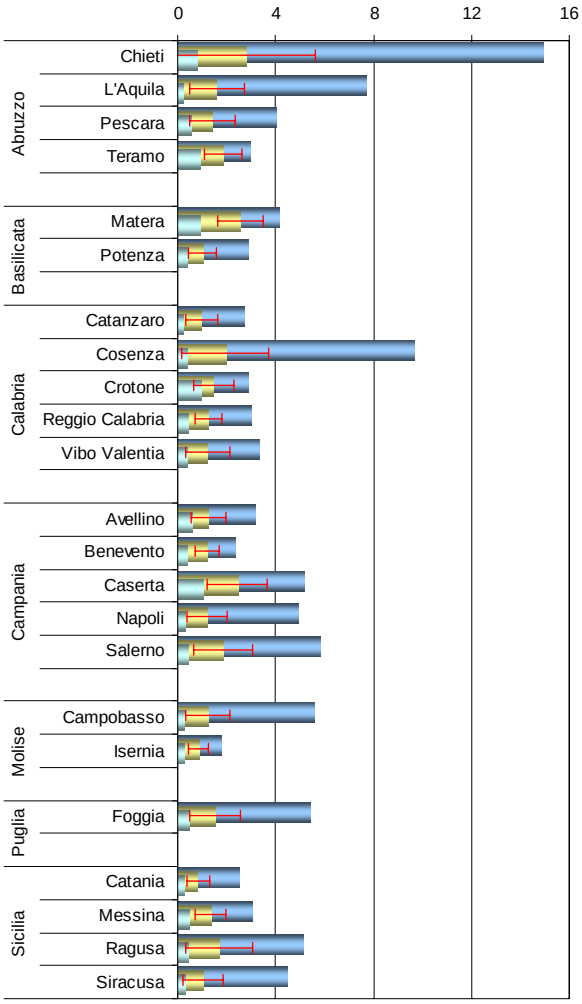


Fig. 4.10 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	2,80	2,84	0,80	14,94
	AQ	1,60	1,14	0,20	7,68
	PE	1,43	0,93	0,55	4,04
	TE	1,85	0,76	0,92	2,97
Basilicata	MT	2,56	0,95	0,91	4,16
	PZ	1,02	0,57	0,38	2,91
Calabria	CZ	0,98	0,63	0,20	2,75
	CS	1,95	1,78	0,36	9,67
	KR	1,49	0,81	1,01	2,92
	RC	1,26	0,56	0,45	3,01
	VV	1,22	0,89	0,39	3,33
Campania	AV	1,26	0,71	0,61	3,17
	BN	1,20	0,49	0,39	2,33
	CE	2,44	1,25	1,03	5,18
	NA	1,18	0,81	0,32	4,91
	SA	1,84	1,20	0,45	5,83
Molise	CB	1,24	0,90	0,26	5,55
	IS	0,86	0,40	0,29	1,78
Puglia	FG	1,53	1,06	0,48	5,42
Sicilia	CT	0,83	0,46	0,29	2,52
	ME	1,35	0,65	0,47	3,08
	RG	1,70	1,37	0,45	5,15
	SR	1,03	0,80	0,31	4,45

Fig. 4.11 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici per la sanità caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento

4.2.4 Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione

PGA/PGA$_{rif}$	Abruzzo		Basilicata		Calabria		Campania		Molise		Puglia		Sicilia		Totale	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
< 0,3	17	30,9	8	32,0	24	50,0	5	12,2	2	11,1	5	38,5	43	42,6	104	34,6
0,3 - 0,6	32	58,2	12	48,0	16	33,3	21	51,2	12	66,7	4	30,8	46	45,5	143	47,5
0,6 - 0,9	4	7,3	4	16,0	7	14,6	14	34,1	3	16,7	4	30,8	10	9,9	46	15,3
0,9 - 1,2	0	0,0	1	4,0	1	2,1	1	2,4	0	0,0	0	0,0	2	2,0	5	1,7
1,2 - 1,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	5,6	0	0,0	0	0,0	1	0,3
1,5 - 1,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1,8 - 2,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,1 - 2,4	2	3,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	0,7
2,4 - 2,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2,7 - 3,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,0 - 3,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,3 - 3,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,6 - 3,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
3,9 - 4,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,2 - 4,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,5 - 4,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
4,8 - 5,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,1 - 5,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,4 - 5,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
5,7 - 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
> 6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totale	55	100,0	25	100,0	48	100,0	41	100,0	18	100,0	13	100,0	101	100,0	301	100,0

Tab. 4.5 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione, in numero e percentuale

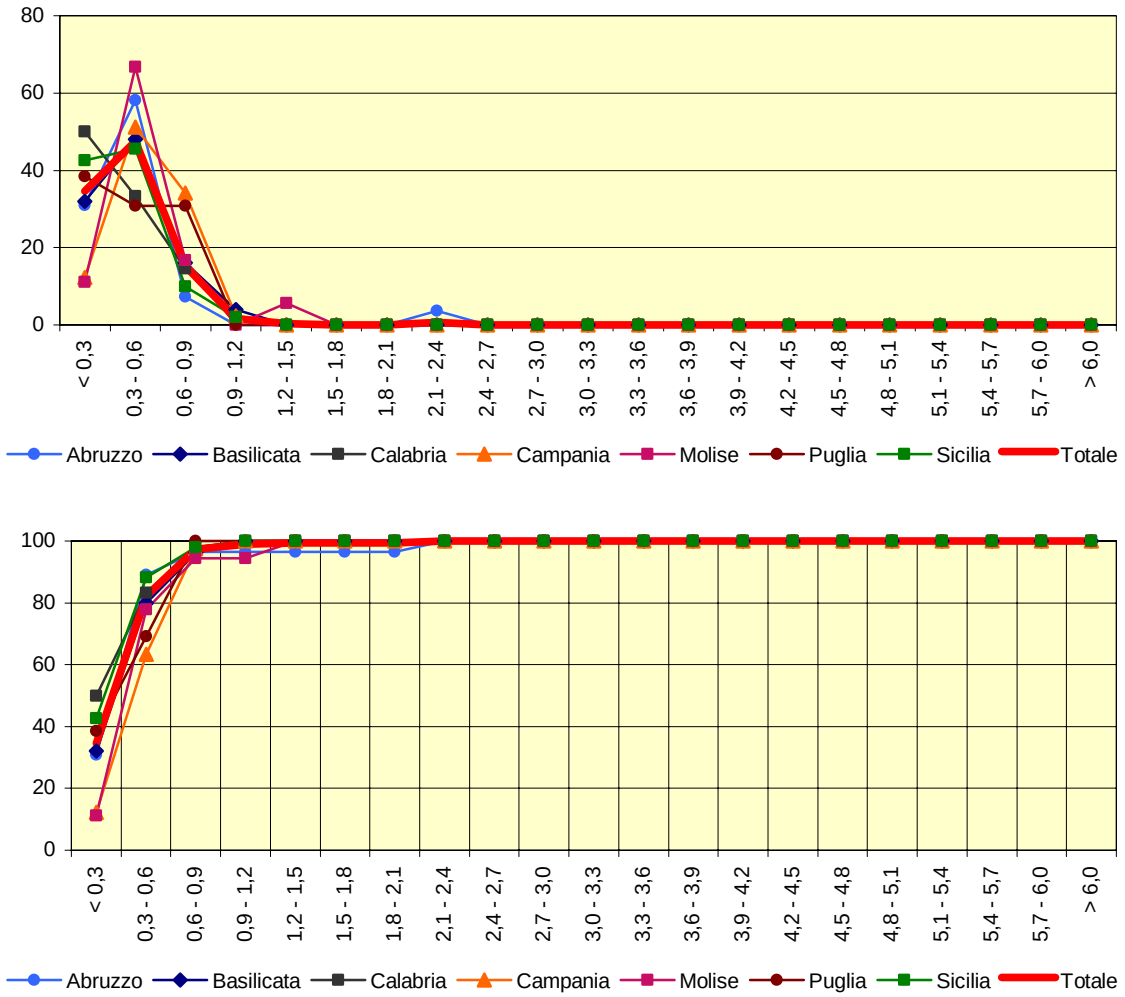
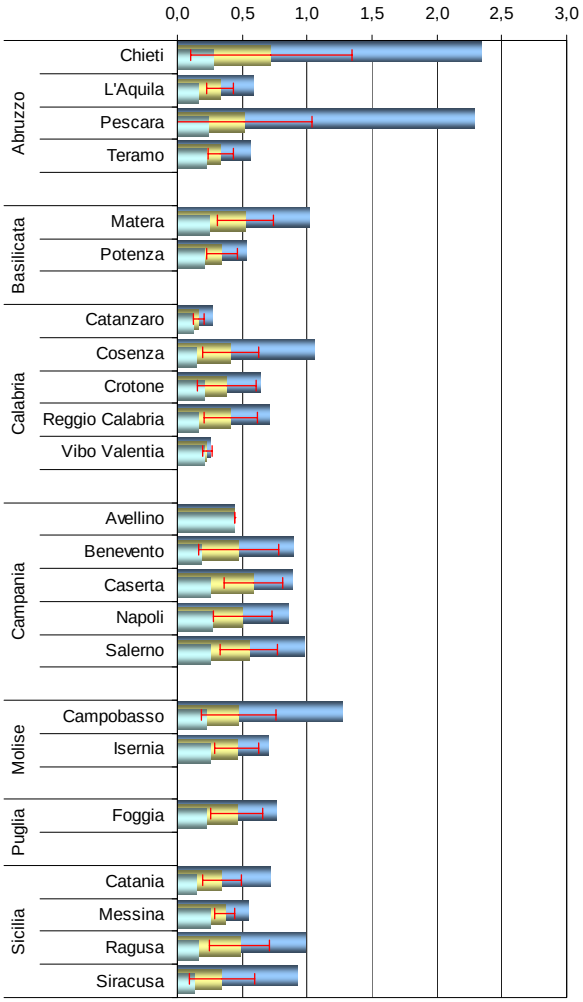


Fig. 4.12 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,72	0,62	0,28	2,34
	AQ	0,33	0,10	0,17	0,58
	PE	0,52	0,52	0,23	2,29
	TE	0,33	0,10	0,22	0,56
Basilicata	MT	0,52	0,22	0,25	1,02
	PZ	0,34	0,12	0,21	0,53
Calabria	CZ	0,16	0,04	0,12	0,26
	CS	0,41	0,22	0,14	1,06
	KR	0,38	0,23	0,21	0,64
	RC	0,41	0,20	0,17	0,71
	VV	0,23	0,04	0,20	0,26
Campania	AV	0,44	0,00	0,44	0,44
	BN	0,47	0,31	0,19	0,89
	CE	0,59	0,23	0,25	0,88
	NA	0,50	0,22	0,27	0,86
	SA	0,55	0,22	0,26	0,97
Molise	CB	0,47	0,29	0,23	1,27
	IS	0,46	0,17	0,25	0,70
Puglia	FG	0,46	0,20	0,23	0,76
Sicilia	CT	0,34	0,15	0,14	0,72
	ME	0,37	0,08	0,26	0,54
	RG	0,48	0,23	0,16	0,99
	SR	0,34	0,25	0,13	0,93

Fig. 4.13 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici per la sanità caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento

5 EDIFICI PER LA SANITÀ IN CEMENTO ARMATO PER AMBITI TERRITORIALI

5.1 VULNERABILITÀ

Viene analizzato il dato relativo alla vulnerabilità degli edifici per la sanità in cemento armato determinato in base ad alcune informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità di 1° livello.
La vulnerabilità degli edifici in cemento armato viene articolata in cinque livelli qualitativi, da bassa (B) ad alta (A); determinati in funzione della tipologia costruttiva, dell'epoca di costruzione e della classificazione sismica territoriale, secondo come descritto in precedenza.
Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di vulnerabilità definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito considerato.
Si evidenzia innanzi tutto che gli edifici per la sanità in cemento armato appartengono prevalentemente a classi di vulnerabilità medio-alta (43,6%) ed alta (32,6%), mentre risulta insignificante la percentuale di edifici caratterizzati da una bassa vulnerabilità (1,3%).
Si riscontrano lievi differenze tra le diverse regioni considerate.
Le situazioni estreme sono rappresentate dall'Abruzzo, dove si evidenzia la più marcata prevalenza degli edifici a vulnerabilità alta (44%) e medio-alta (48%), e dal Molise dove invece cresce la percentuale di edifici a bassa e medio-bassa vulnerabilità (poco più del 30% complessivamente).
All'interno delle singole regioni si apprezzano lievi differenze tra le situazioni rilevate nelle diverse province.
In Abruzzo si distingue la provincia di Chieti dove prevale la classe di vulnerabilità alta (57,3%), mentre nelle altre province la maggior parte degli edifici appartiene alla classe medio-alta (86,4% nella provincia di Pescara), e compare una percentuale modesta (circa il 10%) di edifici appartenenti alla classe medio-bassa, che risulta invece vuota nelle altre province.
In Basilicata la provincia di Potenza risulta meno vulnerabile di quella di Matera dove il 75,3% degli edifici per la sanità in cemento armato appartiene alla classe di vulnerabilità alta.
In Sicilia nella provincia di Catania circa il 60% degli edifici è caratterizzato da elevata vulnerabilità, mentre nella provincia di Messina più del 25% degli edifici appartiene alle classi di vulnerabilità bassa o medio-bassa.
In Campania le situazioni estreme sono rappresentate dalle province di Napoli e Salerno, con la più elevata percentuale di edifici in classe di vulnerabilità alta e medio-alta (circa l'80% degli edifici), e da quella di Avellino, dove il 40,3% degli edifici appartiene alle classi bassa e medio-bassa e solo il 2,4% a quella alta.
In Calabria infine si distingue la provincia di Crotone con il 75,3% degli edifici per la sanità in c.a. classificati ad elevata vulnerabilità.

5.1.1 Vulnerabilità degli edifici per regione

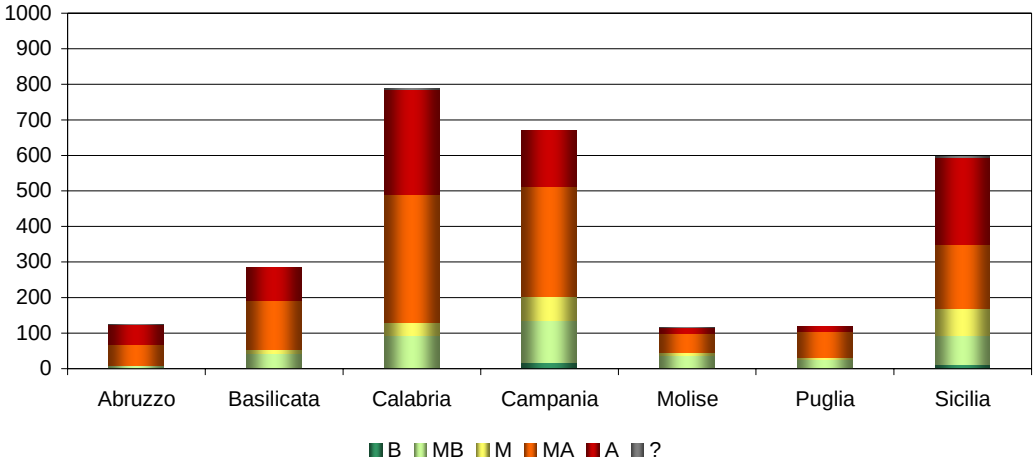


Fig. 5.1– Edifici per la sanità per regione e classi di vulnerabilità, in numero

Vuln.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
B	0	1	0	18	2	0	13	34
MB	8	41	93	117	35	25	80	399
M	0	11	36	66	9	6	75	203
MA	60	138	360	311	54	72	183	1178
A	55	95	297	157	16	16	244	880
?	2	0	3	0	1	0	3	9
Totale	125	286	789	669	117	119	598	2703

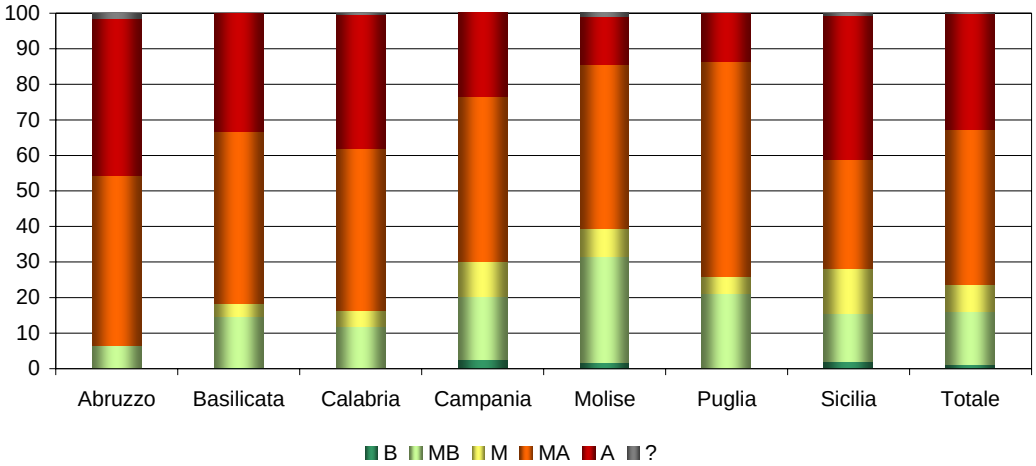
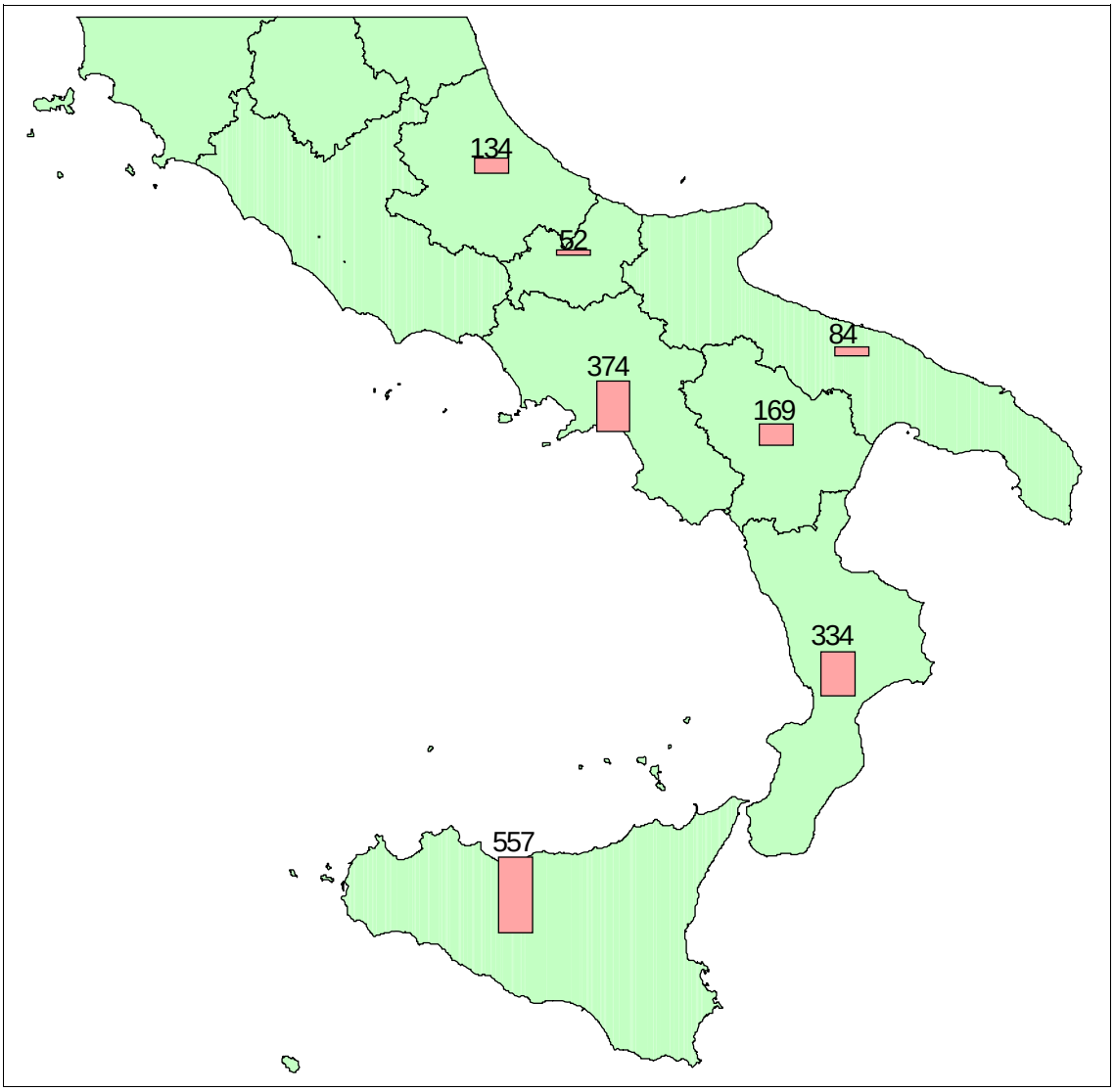


Fig. 5.2 – Edifici per la sanità per regione e classi di vulnerabilità, in percentuale

Vuln.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
B	0,0	0,3	0,0	2,7	1,7	0,0	2,2	1,3
MB	6,4	14,3	11,8	17,5	29,9	21,0	13,4	14,8
M	0,0	3,8	4,6	9,9	7,7	5,0	12,5	7,5
MA	48,0	48,3	45,6	46,5	46,2	60,5	30,6	43,6
A	44,0	33,2	37,6	23,5	13,7	13,4	40,8	32,6
?	1,6	0,0	0,4	0,0	0,9	0,0	0,5	0,3
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PARTE 2ª - b
EDIFICI OSPEDALIERI

ANALISI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO



Edifici Ospedalieri rilevati nelle 7 regioni con il Progetto LSU-1996

6 EDIFICI OSPEDALIERI IN MURATURA PER AMBITI TERRITORIALI

6.1 ANALISI DI VULNERABILITÀ

Viene analizzato il dato relativo ai parametri di vulnerabilità e all'indice di vulnerabilità degli edifici ospedalieri in muratura, determinabile dalle informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità di 2° livello. La classificazione degli ospedali in muratura riguardo i parametri di vulnerabilità e l'attribuzione di un indice di vulnerabilità viene fatta secondo i criteri esposti in precedenza.
Ai fini della rappresentazione dei risultati di vulnerabilità degli ospedali in muratura la scala dei valori che l'indice di vulnerabilità normalizzato può assumere, compresi tra 0 e 100, è stata suddivisa in 10 intervalli. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito territoriale considerato, nonché la percentuale cumulata.
Si evidenzia innanzi tutto che gli ospedali in muratura hanno associati livelli di vulnerabilità che sono descrivibili da indici compresi prevalentemente tra 10 e 40 con variazioni più o meno sensibili tra una regione e l'altra. Si osserva in generale che i valori assunti dall'indice di vulnerabilità sono piuttosto ridotti e sono poco frequenti gli edifici che appaiono caratterizzati da elevata vulnerabilità; i massimi valori assunti dall'indice sono comunque inferiori a 80.
Si riscontrano lievi differenze tra le regioni; le situazioni estreme sono rappresentate dal Molise, dove si riscontrano valori più ridotti dell'indice di vulnerabilità, e dalla Basilicata dove accade il contrario.
Bisogna tuttavia sottolineare il fatto che proprio queste regioni sono rappresentate dal minor numero di edifici ospedalieri in muratura e quindi il dato statistico è poco significativo.
Anche all'interno delle singole regioni si possono apprezzare differenze tra le situazioni rilevate nelle diverse province ma anche in questo dato va interpretato come puramente indicativo della situazione rilevata.
Concorre a definire l'indice di vulnerabilità l'attribuzione degli edifici alle classi che descrivono le condizioni di ognuno dei parametri di vulnerabilità di 2° livello. È interessante osservare a tal proposito le distribuzioni degli 11 parametri di vulnerabilità nelle classi A, B, C e D a vulnerabilità crescente.
Si osserva quindi che i parametri che risultano a vulnerabilità più ridotta (caratterizzati da elevate percentuali di edifici collocati in classe A, oltre il 70%), per gli ospedali in muratura, siano quelli che descrivono la posizione dell'edificio e le condizioni delle fondazioni e la configurazione in elevazione (parametri: 4 e 7). Una situazione non molto diversa (con ridotte percentuali di edifici in classi C e D) riguarda i parametri relativi a: la qualità del sistema resistente, la copertura, gli elementi non strutturali e lo stato di fatto (parametri: 2, 9, 10 e 11). Tendenzialmente meno buona è però la situazione descritta dal parametro 2 (qualità del sistema resistente) con circa il 24% di edifici in classi C e D. In condizioni intermedia si collocano i parametri 5 e 8, caratterizzanti gli orizzontamenti e la distanza massima tra le murature, che presentano comunque una percentuale di edifici attribuiti alle classi A e B superiore al 50%. I parametri più vulnerabili risultano infine quelli che descrivono il tipo ed organizzazione del sistema resistente, la resistenza convenzionale e la configurazione planimetrica (parametri 1, 3 e 6), con oltre il 50% degli edifici in classe C e D (87% per il parametro 6).
Questi risultati permettono di descrivere le caratteristiche peculiari degli ospedali in muratura, generalmente non molto vulnerabili, regolari in elevazione ma irregolari in pianta e distinti da una mediocre organizzazione del sistema resistente.
Ulteriori considerazioni interessanti riguardano la correlazione tra gli indici di vulnerabilità e le classi tipologiche MSK di appartenenza degli edifici. A tal proposito, per i diversi ambiti territoriali, sono state tracciate le distribuzioni dell'indice di vulnerabilità degli edifici del campione analizzato nelle classi tipologiche MSK e sono stati calcolati i valori medi dell'indice di vulnerabilità ed i coefficienti di variazione nelle classi MSK.

I risultati ottenuti mostrano come nel passaggio da una classe tipologica all'altra, procedendo dalla classe D1 alla A, le rispettive distribuzioni dell'indice di vulnerabilità si spostino tendenzialmente verso valori più elevati e diventino al contempo più disperse.
Si osserva infine come i valori medi dell'indice di vulnerabilità crescono al passaggio da una classe tipologica all'altra (procedendo dalla classe D1 alla classe A) ma in maniera poco regolare a causa della limitatezza del campione a cui ci si riferisce.

6.1.1 Indice di vulnerabilità degli edifici per regione

I.V.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
0: 9	4	0	2	5	0	3	19	33
10: 19	8	0	13	14	2	6	33	76
20: 29	12	2	4	25	1	9	47	100
30: 39	8	3	2	26	0	2	55	96
40: 49	12	1	1	18	0	0	22	54
50: 59	6	2	5	2	0	0	14	29
60: 69	3	0	2	1	0	0	3	9
70: 79	0	0	0	0	0	0	2	2
80: 89	0	0	0	0	0	0	0	0
90: 100	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	53	8	29	91	3	20	195	399

I.V.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
0: 9	7,5	0,0	6,9	5,5	0,0	15,0	9,7	8,3
10: 19	15,1	0,0	44,8	15,4	66,7	30,0	16,9	19,0
20: 29	22,6	25,0	13,8	27,5	33,3	45,0	24,1	25,1
30: 39	15,1	37,5	6,9	28,6	0,0	10,0	28,2	24,1
40: 49	22,6	12,5	3,4	19,8	0,0	0,0	11,3	13,5
50: 59	11,3	25,0	17,2	2,2	0,0	0,0	7,2	7,3
60: 69	5,7	0,0	6,9	1,1	0,0	0,0	1,5	2,3
70: 79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
80: 89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90: 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 6.1 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per regione, in numero e percentuale

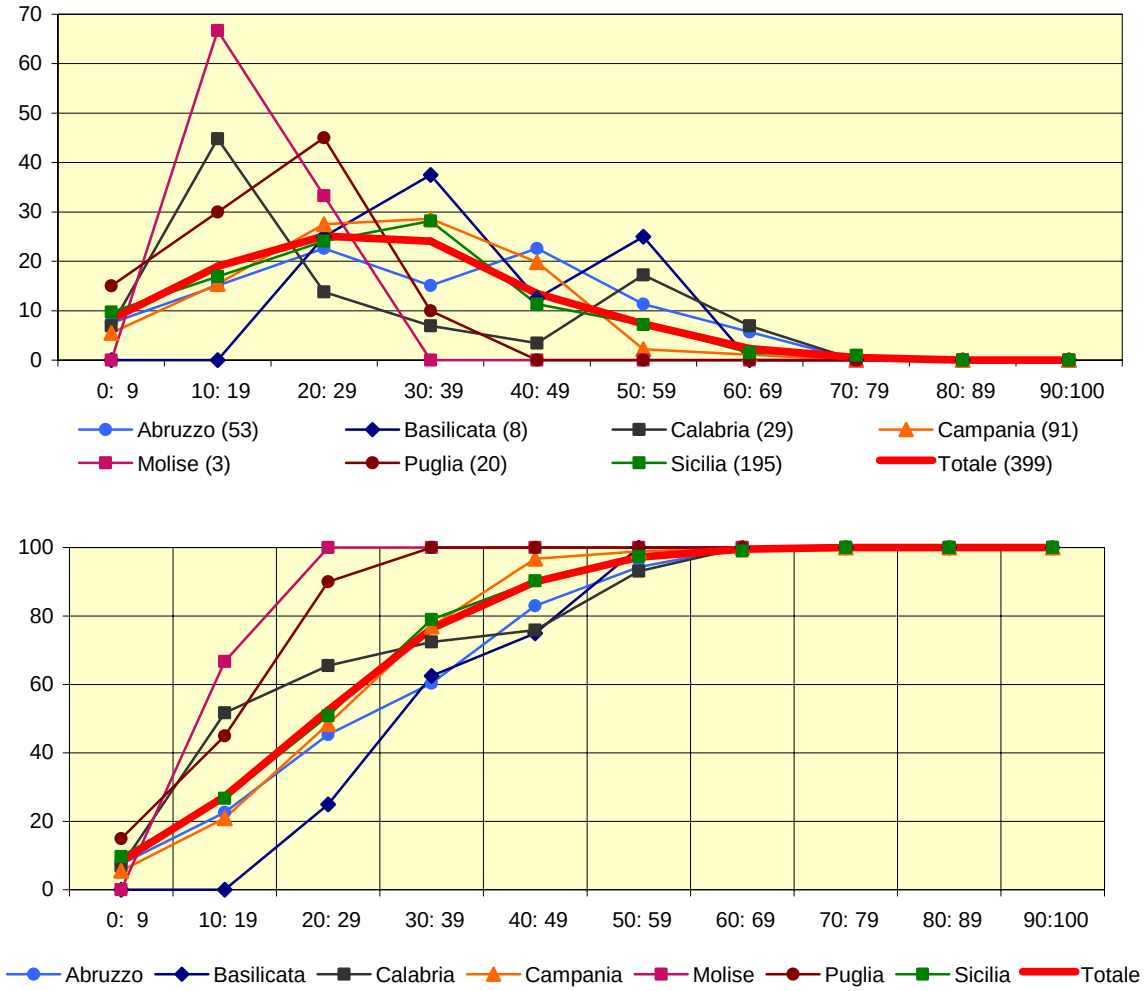
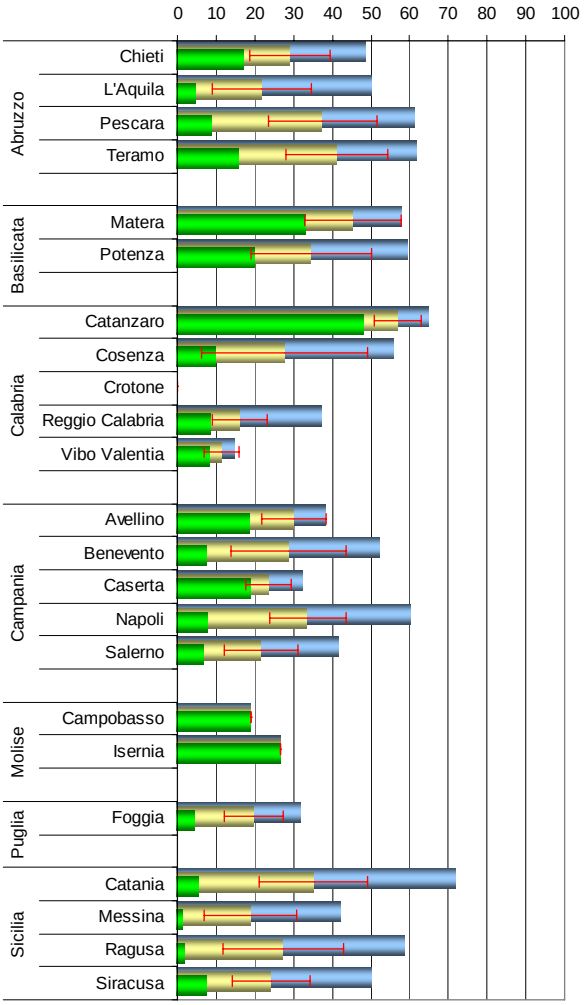


Fig. 6.1 – Distribuzione dell'indice di vulnerabilità degli edifici per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	29,00	10,42	17	49
	AQ	21,79	12,78	5	50
	PE	37,43	14,00	9	61
	TE	41,30	13,14	16	62
Basilicata	MT	45,42	12,43	33	58
	PZ	34,58	15,62	20	59
Calabria	CZ	56,96	6,19	48	65
	CS	27,83	21,47	10	56
	KR	0,00	0,00	0	0
	RC	16,12	7,14	8	37
	VV	11,44	4,62	8	15
Campania	AV	30,01	8,26	19	39
	BN	28,66	14,88	8	52
	CE	23,53	6,01	19	32
	NA	33,73	9,90	8	60
	SA	21,58	9,62	7	42
Molise	CB	18,95	0,00	19	19
	IS	26,47	0,00	26	26
Puglia	FG	19,74	7,70	5	32
Sicilia	CT	35,22	14,00	6	72
	ME	18,87	11,97	1	42
	RG	27,47	15,57	2	59
	SR	24,09	10,07	8	50

Fig. 6.2 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard degli indici di vulnerabilità degli ospedali

6.1.2 Correlazione dell'indice di vulnerabilità con le classi tipologiche MSK

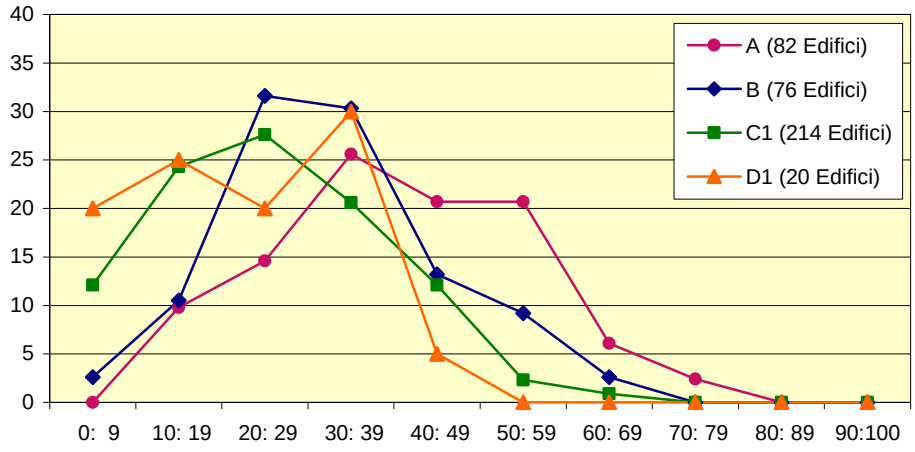


Fig. 6.3 – Distribuzione percentuale dell'indice di vulnerabilità degli ospedali nelle classi tipologiche MSK

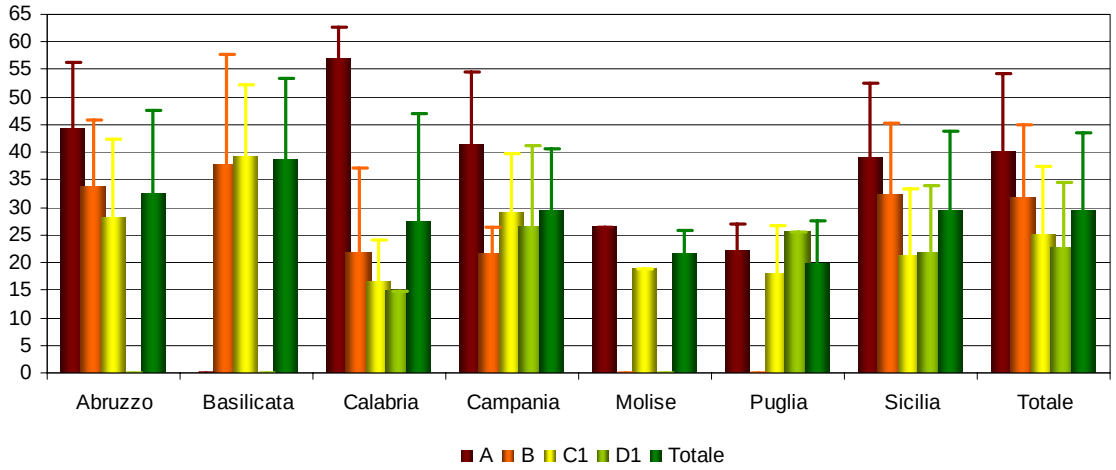


Fig. 6.4 – Distribuzione dei valori medi dell'indice di vulnerabilità degli ospedali nelle classi tipologiche MSK e coefficiente di variazione, per regione

MSK		Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
A	Media di A	44,19	0,00	56,86	41,29	26,47	22,06	38,77	40,00
	CV	27,25	0,00	10,08	31,88	0,00	21,99	35,66	35,99
B	Media di B	33,59	37,80	21,90	21,49	0,00	0,00	32,23	31,70
	CV	36,68	53,03	69,66	23,48	0,00	0,00	40,74	41,52
C1	Media di C1	28,16	39,15	16,64	29,09	18,95	17,90	21,21	25,10
	CV	50,41	33,75	45,02	36,40	0,00	49,81	57,53	49,66
D1	Media di D1	0,00	0,00	14,71	26,39	0,00	25,49	21,75	22,51
	CV	0,00	0,00	0,00	56,00	0,00	0,00	56,72	53,65
Media di Totale		32,60	38,64	27,27	29,44	21,46	19,74	29,18	29,21
CV di Totale		45,89	37,95	72,89	37,99	20,22	39,03	50,19	49,03

6.1.3 Classificazione dei parametri di vulnerabilità

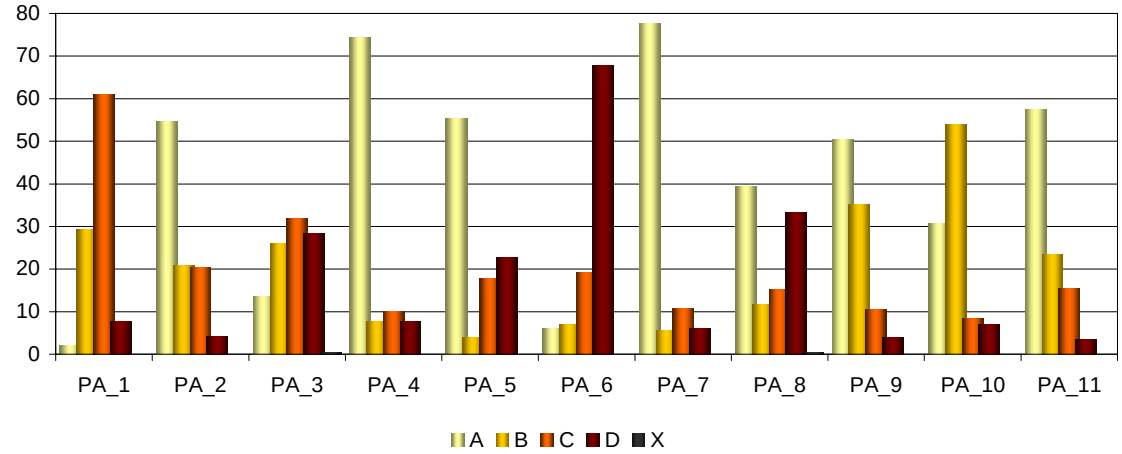


Fig. 6.5 – Distribuzione percentuale delle frequenze dei parametri di vulnerabilità di secondo livello degli ospedali nelle classi A, B, C e D

Classe	PA_1	PA_2	PA_3	PA_4	PA_5	PA_6	PA_7	PA_8	PA_9	PA_10	PA_11
A	2,0	54,6	13,5	74,4	55,4	6,0	77,7	39,3	50,4	30,6	57,6
B	29,3	20,8	26,1	7,8	4,0	7,0	5,5	11,8	35,1	53,9	23,3
C	60,9	20,3	31,8	10,0	17,8	19,3	10,8	15,3	10,5	8,5	15,5
D	7,8	4,3	28,3	7,8	22,8	67,7	6,0	33,3	4,0	7,0	3,5
X	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

6.2 ACCELERAZIONI DI COLLASSO DEGLI EDIFICI

Viene analizzato il dato relativo alle accelerazioni di collasso degli edifici ospedalieri in muratura, riferite al suolo di fondazione di tipo B, C, E, e valutate secondo i criteri indicati nel capitolo precedente sulla base delle informazioni di secondo livello contenute nelle schede di vulnerabilità.
L'analisi dei risultati ottenuti viene presentata distinguendo gli edifici in muratura rilevati in funzione del diverso tipo di comportamento a collasso che li caratterizza, in quanto questo parametro è significativamente influente ai fini della determinazione della resistenza sismica ultima dell'edificio. Si distinguono quindi gli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso prevalentemente tagliante e quelli a comportamento di tipo flessionale o misto, così come definiti ed individuati in base ai criteri esposti nel capitolo precedente.
Si osserva a tale riguardo che la maggioranza degli edifici ospedalieri in muratura presenta meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante (70%), mentre il 25% di essi è descritto da comportamento di tipo flessionale ed il 5% di tipo intermedio tra i primi due.
Ai fini della rappresentazione delle distribuzioni delle PGA di collasso degli edifici ospedalieri in muratura la scala dei valori assunti da tale grandezza è stata partizionata in intervalli ad ampiezza costante. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito territoriale considerato nonché la percentuale cumulata.
Per quanto riguarda gli edifici ospedalieri in muratura caratterizzati da comportamento di tipo tagliante, generalmente più resistenti, si evidenzia innanzi tutto che essi hanno associati valori delle accelerazioni di collasso compresi prevalentemente tra 0,10 e 0,30 (68,2%) ed un valore medio pari a 0,25, con lievi variazioni tra una regione e l'altra.
Si osserva in generale che le PGA di collasso poco frequentemente assumono valori elevati e circa il 4% di essi supera 0,6. Risulta modesta anche la percentuale di edifici caratterizzati da valori eccessivamente bassi delle accelerazioni di collasso, infatti valori di PGA inferiori a 0,10 sono attribuibili al 7,7% degli edifici ospedalieri rilevati.
Si riscontrano alcune differenze tra le regioni ma il dato osservato è poco significativo dal punto di vista statistico data l'esiguità del campione relativo agli ambiti territoriali regionali; le situazioni estreme sono rappresentate dalla Calabria, i cui edifici sono caratterizzati da valori di PGA tendenzialmente più elevati (con un valore medio pari a 0,38), e dalla Basilicata dove la tendenza si inverte e la totalità degli edifici ospedalieri in muratura è caratterizzato da accelerazioni di collasso inferiori a 0,3 ed un valore medio pari a 0,18.
Riguardo i risultati ottenuti per gli edifici ospedalieri in muratura distinti da meccanismo di collasso prevalentemente flessionale o misto, che, come anzidetto, rappresentano una percentuale ridotta dell'intero campione degli edifici in muratura, si osserva la netta riduzione generale dei valori di accelerazioni di collasso che caratterizzano gli edifici e che nella maggioranza dei casi (circa l'80% degli edifici) risultano inferiori a 0,10.
Per quanto riguarda la distinzione fatta relativamente ai diversi ambiti territoriali il campione da analizzare si riduce ulteriormente rendendo poco indicativo ogni tentativo di osservazione.
Risulta significativo analizzare inoltre i rapporti tra le accelerazioni di collasso valutate per gli edifici ospedalieri in muratura e riferite al suolo di categoria A (bad rock) e le PGA di riferimento definite, per ciascun territorio comunale, nella nuova mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM n° 3274 del 20 Marzo 2003 e redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (versione Aprile 2004).
Anche in questo caso l'analisi dei risultati viene proposta distinguendo gli edifici in relazione al tipo di meccanismo di collasso prevalente. Ai fini della rappresentazione delle distribuzioni dei rapporti delle PGA di collasso degli edifici ospedalieri in muratura la scala dei valori assunti da tale grandezza è stata partizionata in intervalli ad ampiezza costante. Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di valori definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti.
Per quanto riguarda gli edifici ospedalieri in muratura caratterizzati da comportamento di tipo tagliante, si evidenzia innanzi tutto che essi appartengono con maggiore frequenza all'intervallo dei

valori compresi tra 0,5 e 1,5 (68,6% degli edifici), con valore medio pari a 1,1 sul totale dell'intero campione. Si osserva poi che il 15% degli edifici considerati presenta una PGA di collasso che è inferiore al 50% della PGA di riferimento mentre l'8,2% di essi è caratterizzato da accelerazioni di collasso che risultano più di 2 volte superiori alle PGA di riferimento.
Le differenze tra le diverse regioni risultano modeste; le situazioni estreme sono rappresentate dalla Basilicata, caratterizzata dalla maggiore frequenza di valori ridotti dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e le PGA di riferimento e con valore medio pari a 0,84, e dalla Puglia che si discosta dalle altre regioni per le condizioni lievemente migliori degli edifici e con valore medio di tale rapporto pari a 1,65.
Riguardo gli edifici ospedalieri in muratura distinti da meccanismo di collasso prevalentemente flessionale o misto si osserva ancora la netta riduzione globale dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici e le PGA di riferimento nelle diverse zone. Si può rimarcare che la totalità degli edifici analizzati è caratterizzato da accelerazioni di collasso inferiori alle PGA di riferimento, il valore medio di tale rapporto risulta pari a 0,34 sulla totalità degli edifici ospedalieri e non si osservano differenze significative all'interno dei diversi ambiti territoriali individuati.

6.2.1 PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante per regione

PGA	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,1	0	0	0	11	0	0	6	17
0,1 - 0,2	9	2	1	28	1	4	38	83
0,2 - 0,3	14	1	6	12	2	4	28	67
0,3 - 0,4	3	0	3	4	0	0	9	19
0,4 - 0,5	1	0	0	3	0	1	10	15
0,5 - 0,6	1	0	2	3	0	0	4	10
0,6 - 0,7	2	0	0	0	0	2	0	4
0,7 - 0,8	0	0	0	1	0	0	1	2
> 0,8	0	0	1	0	0	0	2	3
Totale	30	3	13	62	3	11	98	220

PGA	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,1	0,0	0,0	0,0	17,7	0,0	0,0	6,1	7,7
0,1 - 0,2	30,0	66,7	7,7	45,2	33,3	36,4	38,8	37,7
0,2 - 0,3	46,7	33,3	46,2	19,4	66,7	36,4	28,6	30,5
0,3 - 0,4	10,0	0,0	23,1	6,5	0,0	0,0	9,2	8,6
0,4 - 0,5	3,3	0,0	0,0	4,8	0,0	9,1	10,2	6,8
0,5 - 0,6	3,3	0,0	15,4	4,8	0,0	0,0	4,1	4,5
0,6 - 0,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	1,8
0,7 - 0,8	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	1,0	0,9
> 0,8	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	2,0	1,4
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 6.2 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per regione, in numero e percentuale

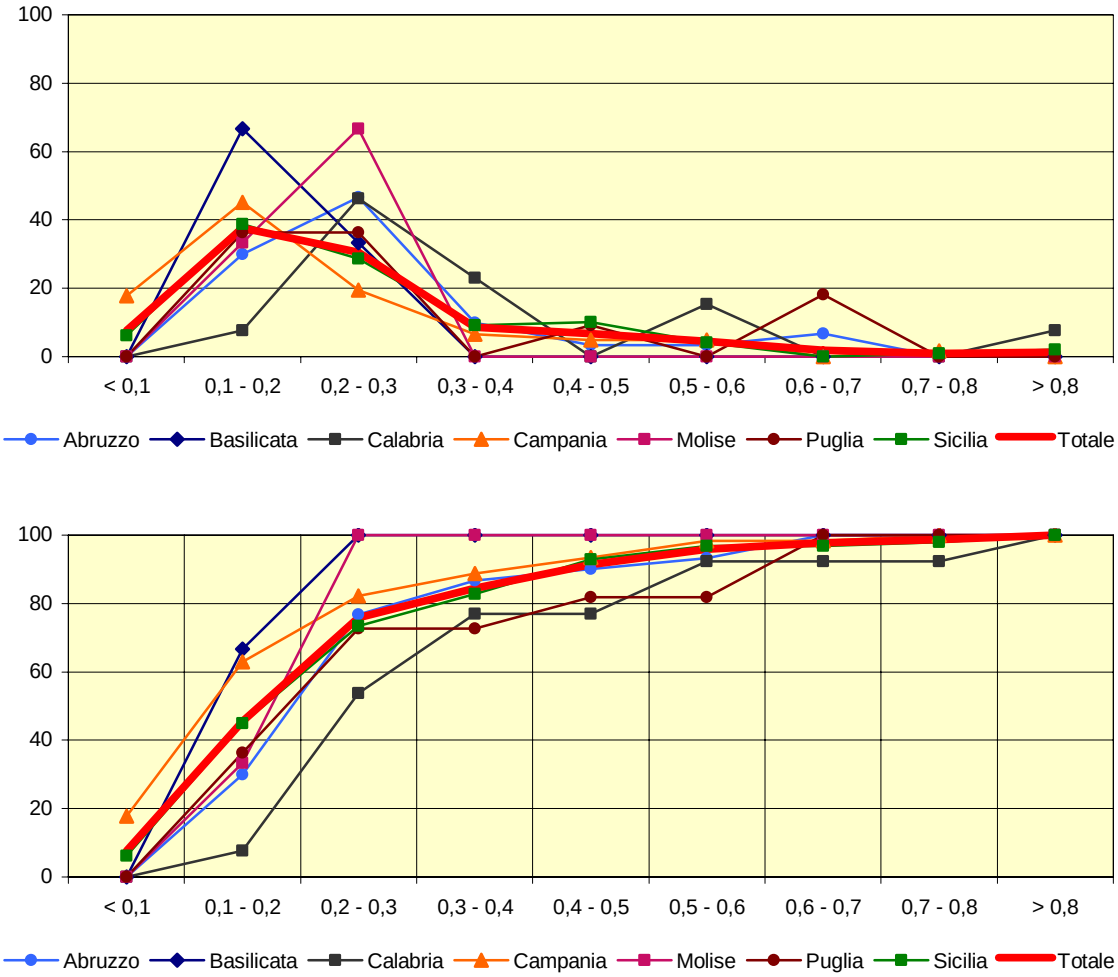
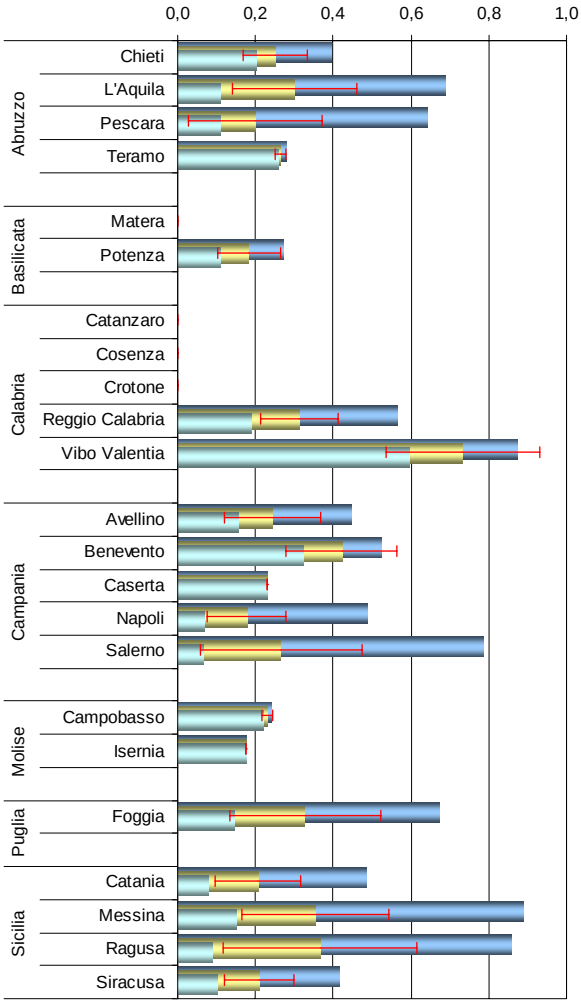


Fig. 6.6 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,25	0,08	0,20	0,40
	AQ	0,30	0,16	0,11	0,69
	PE	0,20	0,17	0,11	0,64
	TE	0,26	0,01	0,26	0,28
Basilicata	MT	0,00	0,00	0,00	0,00
	PZ	0,18	0,08	0,11	0,27
Calabria	CZ	0,00	0,00	0,00	0,00
	CS	0,00	0,00	0,00	0,00
	KR	0,00	0,00	0,00	0,00
	RC	0,31	0,10	0,19	0,56
	VV	0,73	0,20	0,59	0,87
Campania	AV	0,24	0,12	0,15	0,45
	BN	0,42	0,14	0,32	0,52
	CE	0,23	0,00	0,23	0,23
	NA	0,18	0,10	0,07	0,49
	SA	0,27	0,21	0,06	0,79
Molise	CB	0,23	0,01	0,22	0,24
	IS	0,18	0,00	0,18	0,18
Puglia	FG	0,33	0,19	0,14	0,67
Sicilia	CT	0,21	0,11	0,08	0,48
	ME	0,36	0,19	0,15	0,89
	RG	0,37	0,25	0,09	0,86
	SR	0,21	0,09	0,10	0,42

Fig. 6.7 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard delle accelerazioni di collasso degli edifici ospedalieri caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante

6.2.2 PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto per regione

PGA	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,03	0	0	0	0	0	0	0	0
0,03 - 0,06	8	1	5	1	0	0	17	32
0,06 - 0,09	7	1	0	3	0	0	21	32
0,09 - 0,12	0	0	1	0	0	1	12	14
0,12 - 0,15	0	0	0	0	0	1	9	10
0,15 - 0,18	0	0	0	0	0	0	3	3
0,18 - 0,21	0	0	0	0	0	0	1	1
0,21 - 0,24	0	0	0	0	0	0	1	1
> 0,24	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	15	2	6	4	0	2	64	93

PGA	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,03 - 0,06	53,3	50,0	83,3	25,0	0,0	0,0	26,6	34,4
0,06 - 0,09	46,7	50,0	0,0	75,0	0,0	0,0	32,8	34,4
0,09 - 0,12	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	50,0	18,8	15,1
0,12 - 0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	14,1	10,8
0,15 - 0,18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	3,2
0,18 - 0,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,1
0,21 - 0,24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,1
> 0,24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 6.3 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per regione, in numero e percentuale

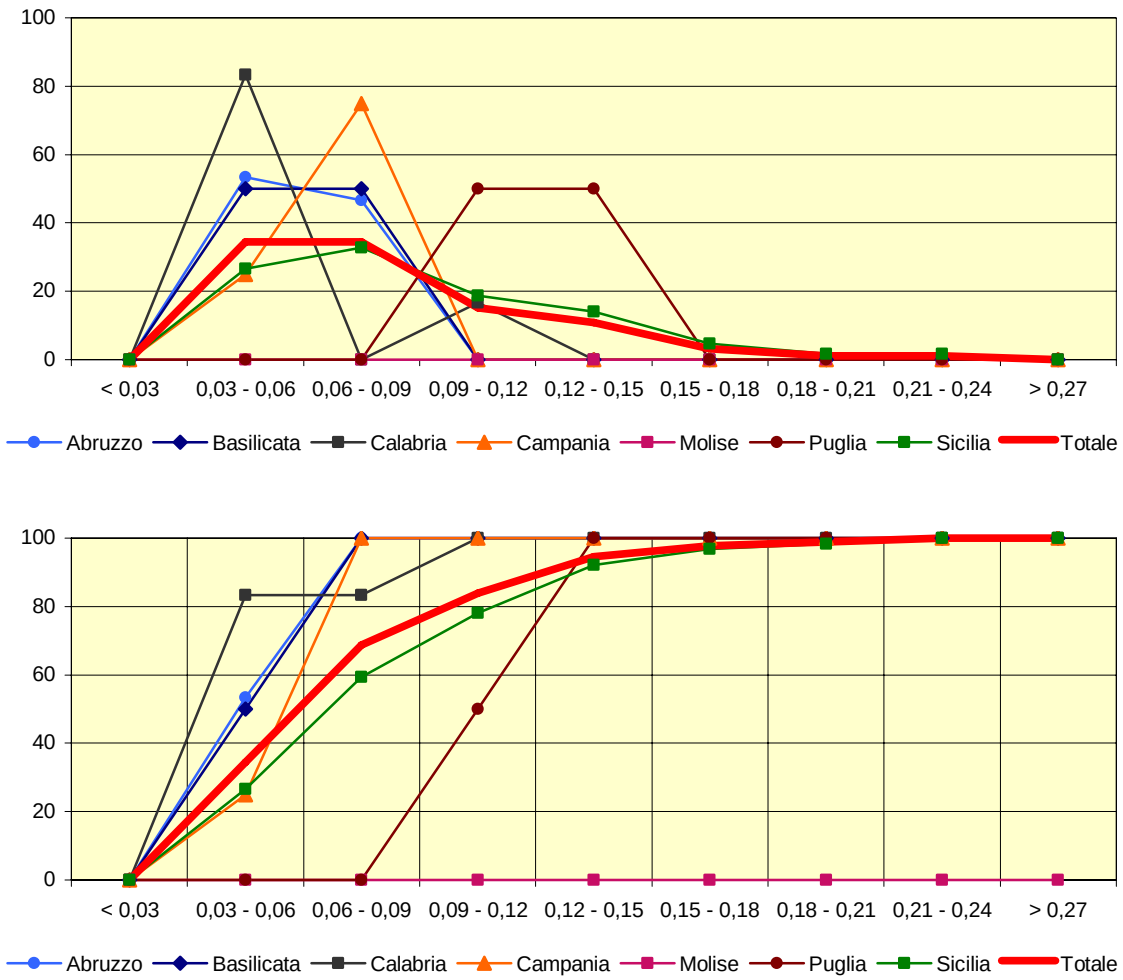
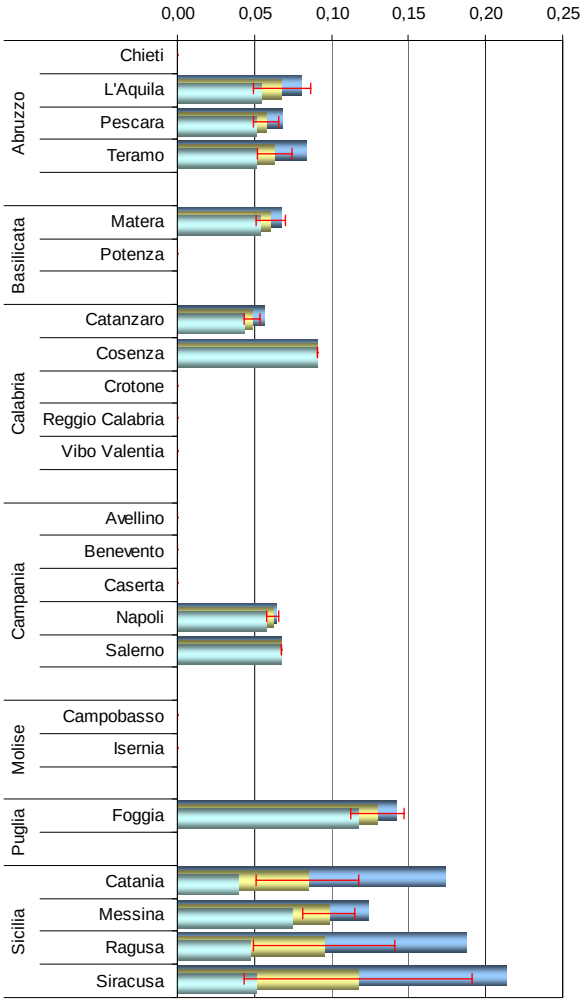


Fig. 6.8 – Distribuzione delle accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,00	0,00	0,00	0,00
	AQ	0,07	0,02	0,05	0,08
	PE	0,06	0,01	0,05	0,07
	TE	0,06	0,01	0,05	0,08
Basilicata	MT	0,06	0,01	0,05	0,07
	PZ	0,00	0,00	0,00	0,00
Calabria	CZ	0,05	0,01	0,04	0,06
	CS	0,09	0,00	0,09	0,09
	KR	0,00	0,00	0,00	0,00
	RC	0,00	0,00	0,00	0,00
	VV	0,00	0,00	0,00	0,00
Campania	AV	0,00	0,00	0,00	0,00
	BN	0,00	0,00	0,00	0,00
	CE	0,00	0,00	0,00	0,00
	NA	0,06	0,00	0,06	0,06
	SA	0,07	0,00	0,07	0,07
Molise	CB	0,00	0,00	0,00	0,00
	IS	0,00	0,00	0,00	0,00
Puglia	FG	0,13	0,02	0,12	0,14
Sicilia	CT	0,08	0,03	0,04	0,17
	ME	0,10	0,02	0,07	0,12
	RG	0,10	0,05	0,05	0,19
	SR	0,12	0,07	0,05	0,21

Fig. 6.9 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard delle accelerazioni di collasso degli edifici ospedalieri caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto

6.2.3 Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento tagliante e le PGA di riferimento per regione

PGA/PGA_{rif}	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,5	1	0	0	12	0	0	20	33
0,5 - 1,0	18	2	8	24	2	2	41	97
1,0 - 1,5	7	1	2	14	0	6	24	54
1,5 - 2,0	2	0	2	7	1	1	5	18
2,0 - 2,5	2	0	0	1	0	0	1	4
2,5 - 3,0	0	0	1	1	0	0	2	4
3,0 - 3,5	0	0	0	0	0	0	2	2
3,5 - 4,0	0	0	0	2	0	0	1	3
> 4,0	0	0	0	1	0	2	2	5
Totale	30	3	13	62	3	11	98	220

PGA/PGA_{rif}	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,5	3,3	0,0	0,0	19,4	0,0	0,0	20,4	15,0
0,5 - 1,0	60,0	66,7	61,5	38,7	66,7	18,2	41,8	44,1
1,0 - 1,5	23,3	33,3	15,4	22,6	0,0	54,5	24,5	24,5
1,5 - 2,0	6,7	0,0	15,4	11,3	33,3	9,1	5,1	8,2
2,0 - 2,5	6,7	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	1,0	1,8
2,5 - 3,0	0,0	0,0	7,7	1,6	0,0	0,0	2,0	1,8
3,0 - 3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,9
3,5 - 4,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	1,0	1,4
> 4,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	18,2	2,0	2,3
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 6.4 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per regione, in numero e percentuale

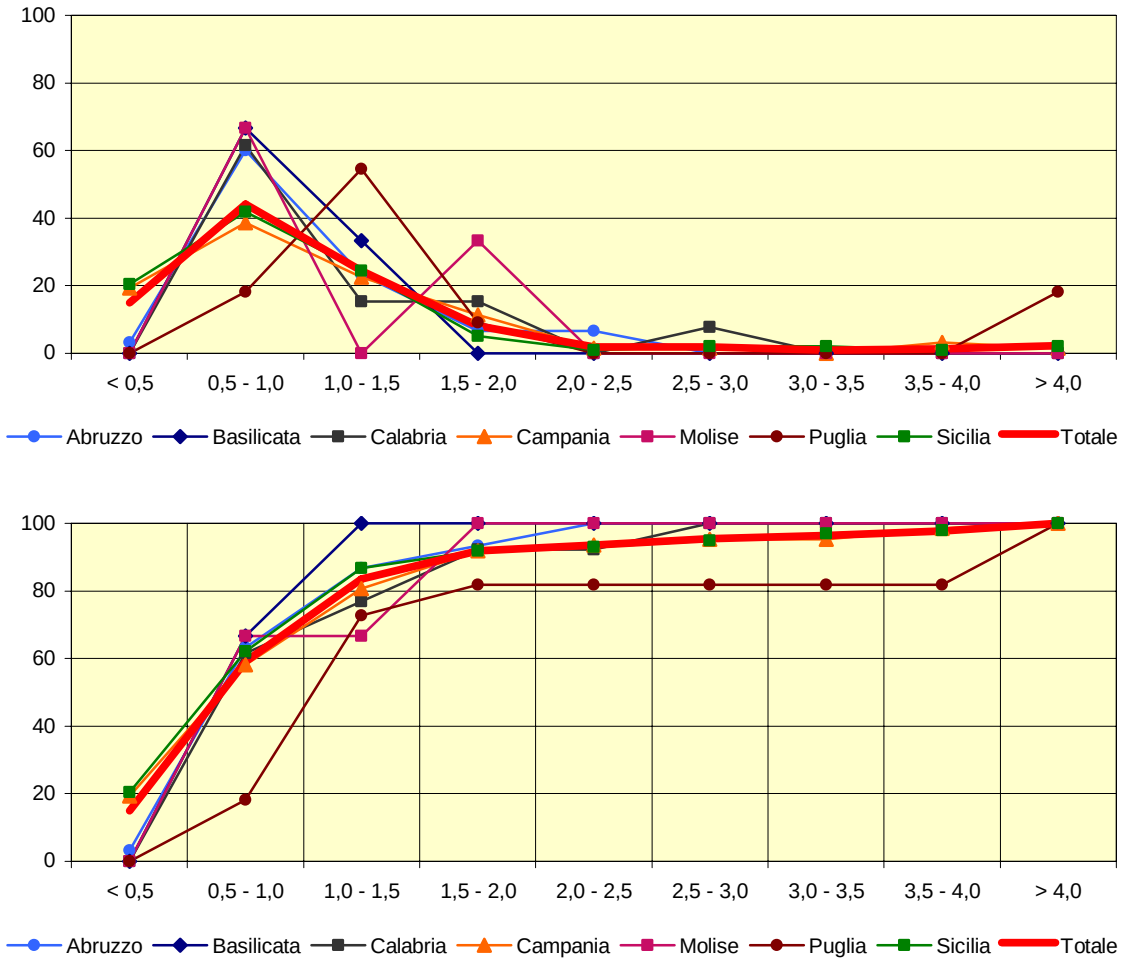
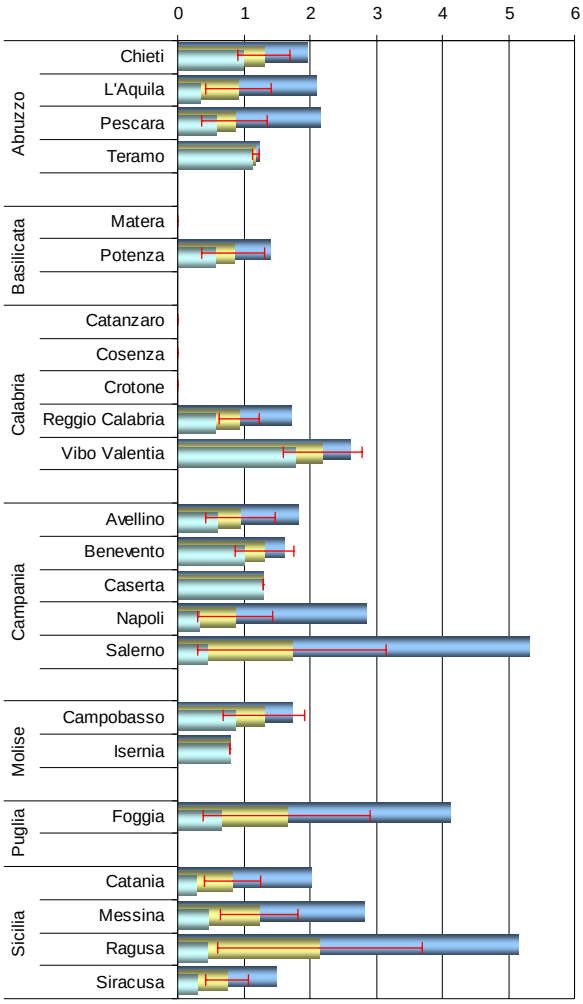


Fig. 6.10 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	1,31	0,39	0,99	1,95
	AQ	0,92	0,49	0,33	2,10
	PE	0,87	0,50	0,58	2,17
	TE	1,18	0,05	1,13	1,22
Basilicata	MT	0,00	0,00	0,00	0,00
	PZ	0,84	0,47	0,57	1,38
Calabria	CZ	0,00	0,00	0,00	0,00
	CS	0,00	0,00	0,00	0,00
	KR	0,00	0,00	0,00	0,00
	RC	0,93	0,30	0,56	1,71
	VV	2,19	0,59	1,77	2,61
Campania	AV	0,95	0,53	0,61	1,82
	BN	1,31	0,44	1,00	1,63
	CE	1,29	0,00	1,29	1,29
	NA	0,87	0,56	0,32	2,84
	SA	1,74	1,42	0,45	5,31
Molise	CB	1,31	0,61	0,87	1,74
	IS	0,79	0,00	0,79	0,79
Puglia	FG	1,65	1,27	0,66	4,12
Sicilia	CT	0,83	0,42	0,29	2,02
	ME	1,23	0,58	0,47	2,82
	RG	2,15	1,54	0,45	5,15
	SR	0,74	0,32	0,31	1,49

Fig. 6.11 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici ospedalieri caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente tagliante e le PGA di riferimento

6.2.4 Rapporti tra le PGA di collasso degli edifici a comportamento flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione

PGA/PGA_{rif}	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1 - 0,2	1	0	5	0	0	0	9	15
0,2 - 0,3	8	1	0	1	0	0	19	29
0,3 - 0,4	6	0	1	2	0	0	15	24
0,4 - 0,5	0	1	0	0	0	0	10	11
0,5 - 0,6	0	0	0	1	0	1	4	6
0,6 - 0,7	0	0	0	0	0	0	3	3
0,7 - 0,8	0	0	0	0	0	1	3	4
> 0,8	0	0	0	0	0	0	1	1
Totale	15	2	6	4	0	2	64	93

PGA/PGA_{rif}	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
< 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,1 - 0,2	6,7	0,0	83,3	0,0	0,0	0,0	14,1	16,1
0,2 - 0,3	53,3	50,0	0,0	25,0	0,0	0,0	29,7	31,2
0,3 - 0,4	40,0	0,0	16,7	50,0	0,0	0,0	23,4	25,8
0,4 - 0,5	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	11,8
0,5 - 0,6	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	50,0	6,3	6,5
0,6 - 0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	3,2
0,7 - 0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	4,7	4,3
> 0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,1
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 6.5 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione, in numero e percentuale

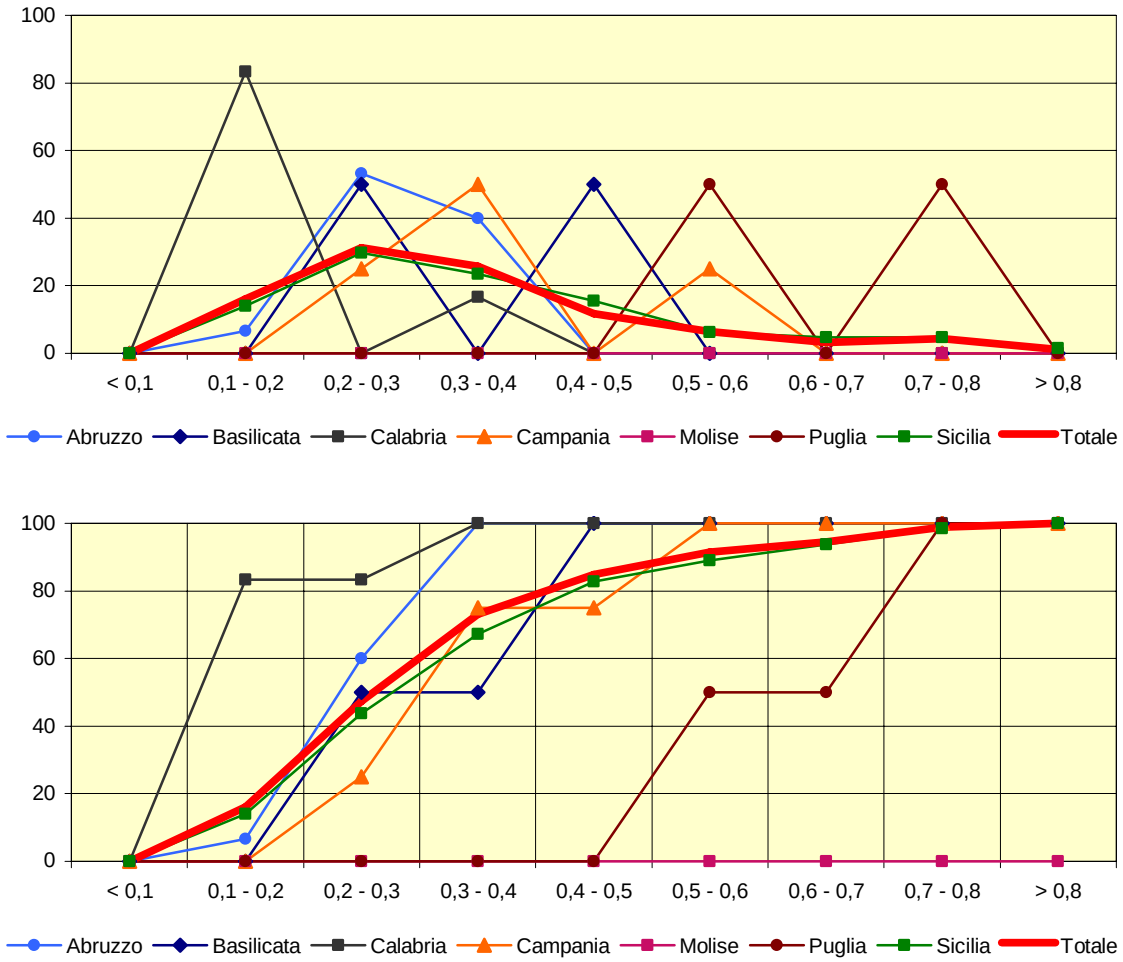
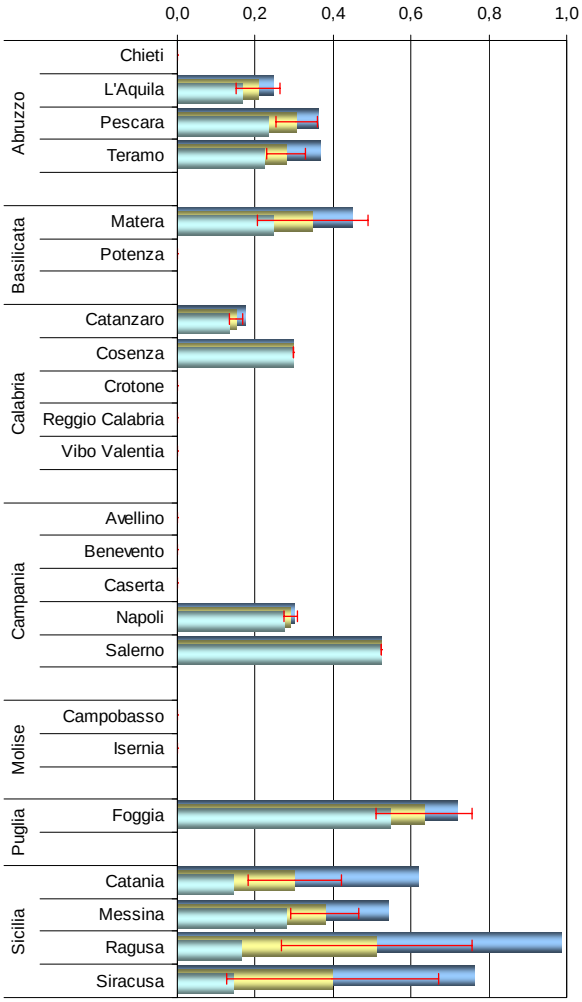


Fig. 6.12 – Distribuzione dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici caratterizzati da meccanismo di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento per regione, in percentuale e cumulata



REG	PRO	Media	DS	Min	Max
Abruzzo	CH	0,00	0,00	0,00	0,00
	AQ	0,21	0,06	0,17	0,25
	PE	0,31	0,05	0,23	0,36
	TE	0,28	0,05	0,22	0,37
Basilicata	MT	0,35	0,14	0,25	0,45
	PZ	0,00	0,00	0,00	0,00
Calabria	CZ	0,15	0,02	0,13	0,18
	CS	0,30	0,00	0,30	0,30
	KR	0,00	0,00	0,00	0,00
	RC	0,00	0,00	0,00	0,00
	VV	0,00	0,00	0,00	0,00
Campania	AV	0,00	0,00	0,00	0,00
	BN	0,00	0,00	0,00	0,00
	CE	0,00	0,00	0,00	0,00
	NA	0,29	0,02	0,27	0,30
	SA	0,52	0,00	0,52	0,52
Molise	CB	0,00	0,00	0,00	0,00
	IS	0,00	0,00	0,00	0,00
Puglia	FG	0,63	0,12	0,55	0,72
Sicilia	CT	0,30	0,12	0,14	0,62
	ME	0,38	0,09	0,28	0,54
	RG	0,51	0,25	0,16	0,99
	SR	0,40	0,27	0,15	0,76

Fig. 6.13 – Valori medi, minimi e massimi e deviazione standard dei rapporti tra le accelerazioni di collasso degli edifici ospedalieri caratterizzati da meccanismi di collasso di tipo prevalentemente flessionale o misto e le PGA di riferimento

7 EDIFICI OSPEDALIERI IN CEMENTO ARMATO PER AMBITI TERRITORIALI

7.1 VULNERABILITÀ

Viene analizzato il dato relativo alla vulnerabilità degli edifici ospedalieri in cemento armato determinato in base ad alcune informazioni contenute nelle schede di vulnerabilità di 1° livello.
La vulnerabilità degli edifici in cemento armato viene articolata in cinque livelli qualitativi, da bassa (B) ad alta (A); determinati in funzione della tipologia costruttiva, dell'epoca di costruzione e della classificazione sismica territoriale, secondo come descritto in precedenza.
Attraverso l'attribuzione di ognuno degli edifici ad una delle classi di vulnerabilità definite sono stati realizzati i grafici e le tabelle seguenti, valutando il conteggio degli edifici appartenenti a ciascuna categoria e la percentuale rispetto al totale nell'ambito considerato.
Si evidenzia innanzi tutto che gli edifici ospedalieri in cemento armato appartengono prevalentemente a classi di vulnerabilità medio-alta (46,7%) ed alta (36,9%), mentre risulta insignificante la percentuale di edifici caratterizzati da una bassa vulnerabilità (1%) o media (3,9%).
Si riscontrano alcune differenze tra le diverse regioni considerate; tuttavia nel caso degli ambiti territoriali caratterizzati da un ridotto numero di edifici ospedalieri presenti (in particolare: Molise, Puglia e Abruzzo) i risultati delle analisi non hanno un significato rilevante ai fini statistici.
Le situazioni estreme rilevate sono rappresentate da Abruzzo e Calabria, dove si evidenzia la più marcata prevalenza degli edifici a vulnerabilità alta (più del 60% in Abruzzo) e medio-alta, e dal Molise dove invece cresce la percentuale di edifici a bassa e medio-bassa vulnerabilità (34,2% complessivamente) e risulta significativa la percentuale di quelli a media vulnerabilità (quasi il 20%).

7.1.1 Vulnerabilità degli edifici per regione

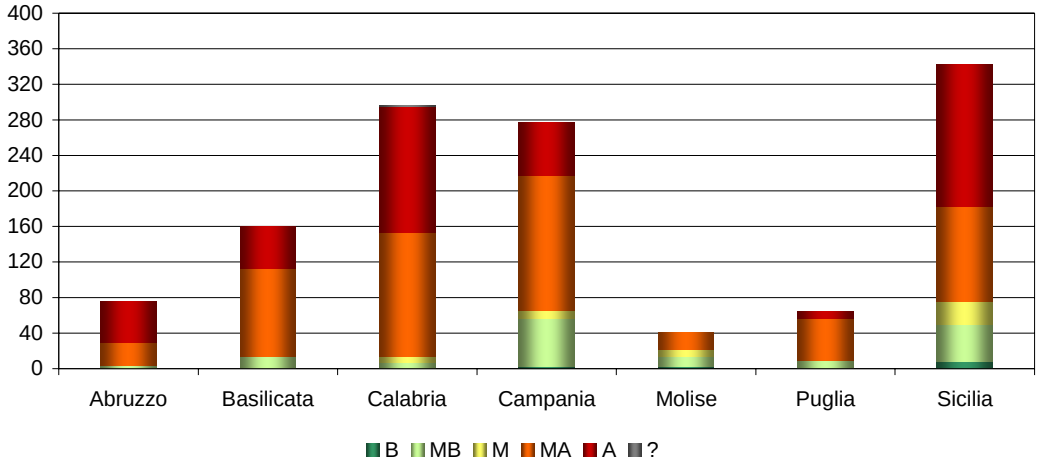


Fig. 7.1 – Ospedali per regione e classi di vulnerabilità, in numero

Vuln.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
B	0	0	0	2	2	0	8	12
MB	4	14	7	55	12	9	42	143
M	0	0	7	8	8	0	26	49
MA	25	99	139	152	19	47	106	587
A	47	47	142	60	0	8	160	464
?	0	0	1	0	0	0	0	1
Totale	76	160	296	277	41	64	342	1256

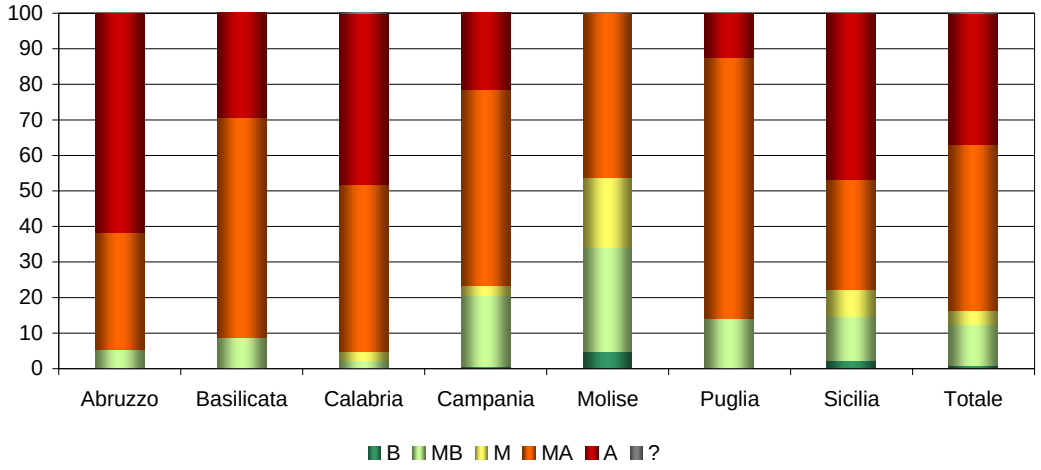


Fig. 7.2 – Ospedali per regione e classi di vulnerabilità, in percentuale

Vuln.	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sicilia	Totale
B	0,0	0,0	0,0	0,7	4,9	0,0	2,3	1,0
MB	5,3	8,8	2,4	19,9	29,3	14,1	12,3	11,4
M	0,0	0,0	2,4	2,9	19,5	0,0	7,6	3,9
MA	32,9	61,9	47,0	54,9	46,3	73,4	31,0	46,7
A	61,8	29,4	48,0	21,7	0,0	12,5	46,8	36,9
?	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

INGV - Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia

Dipartimento della Protezione Civile

GNDT - Gruppo Nazionale
per la Difesa dai Terremoti

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI
Programma quadro 2000-2002
TEMA 1 - Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale

S A V E
Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

MAPPE DI VULNERABILITA' E RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI PUBBLICI IN MURATURA DELL'ITALIA MERIDIONALE

2005

S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

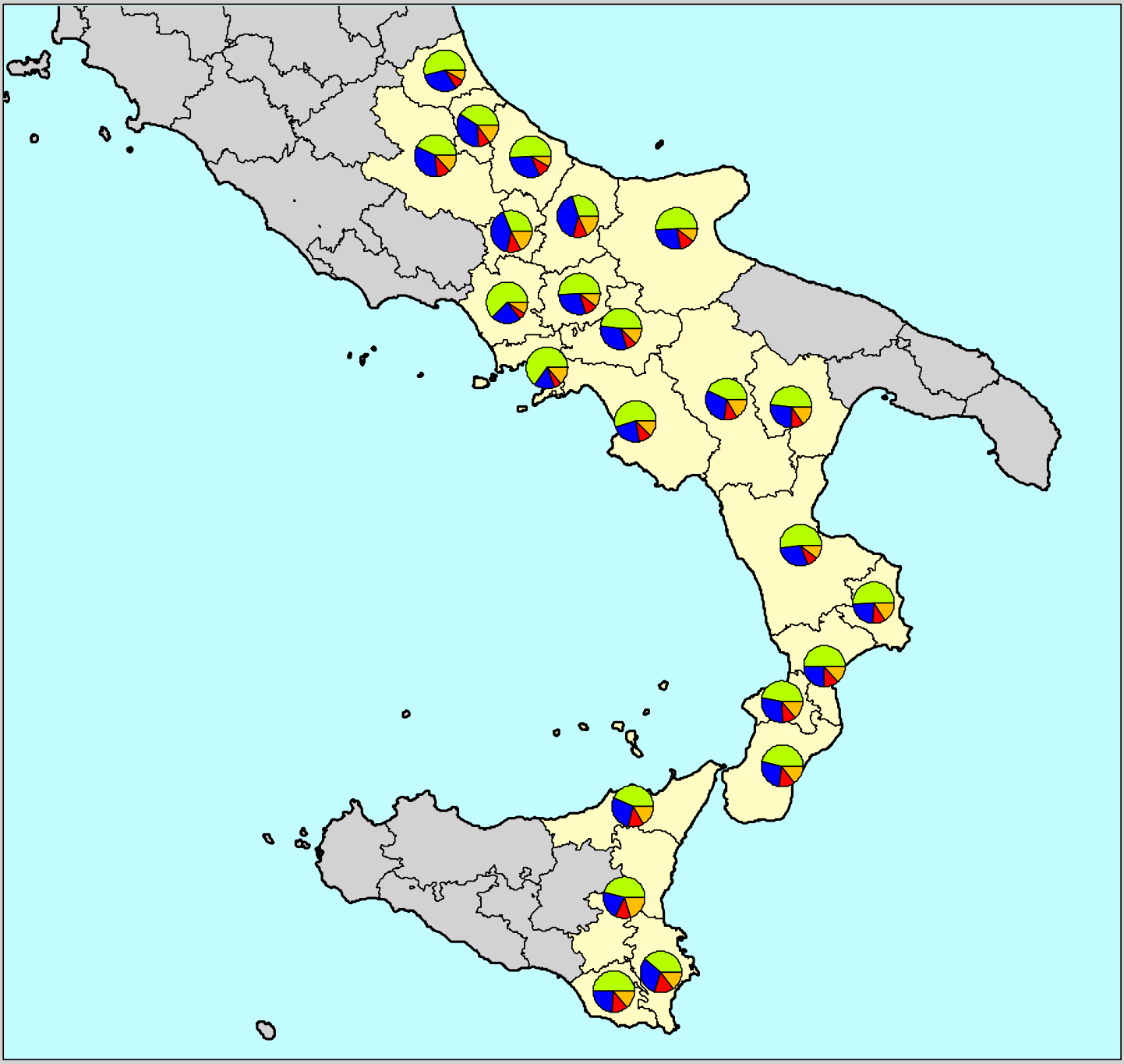
Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici publici in muratura

EDIFICI PER TIPO DI FUNZIONE

- IS - Istruzione
- CI - Civile
- SA - Sanità
- Altro

Provincie censite



MAPPE DI VULNERABILITÀ E RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI PUBBLICI IN MURATURA

TEMATISMO DELLA MAPPA	Funzione			
	TUTTI	ISTRUZIONE	SANITÀ	OSPEDALI
Indice di vulnerabilità medio GNDT per comune	Iv	Iv	Iv	Iv
PGA di collasso medie (PGAc) per comune	PGAc	PGAc	PGAc	PGAc
Valori medi del rapporto tra PGA di collasso e PGA massime attese (R = PGAc/PGAmax)	PGAc/ PGAmax	PGAc/ PGAmax	PGAc/ PGAmax	PGAc/ PGAmax
Numero di edifici con rapporto R = PGAc/PGAmax < 1	N°_R<1	N°_R<1	N°_R<1	N°_R<1
Volume degli edifici con rapporto R = PGAc/PGAmax < 1	Vol_R<1	Vol_R<1	Vol_R<1	Vol_R<1

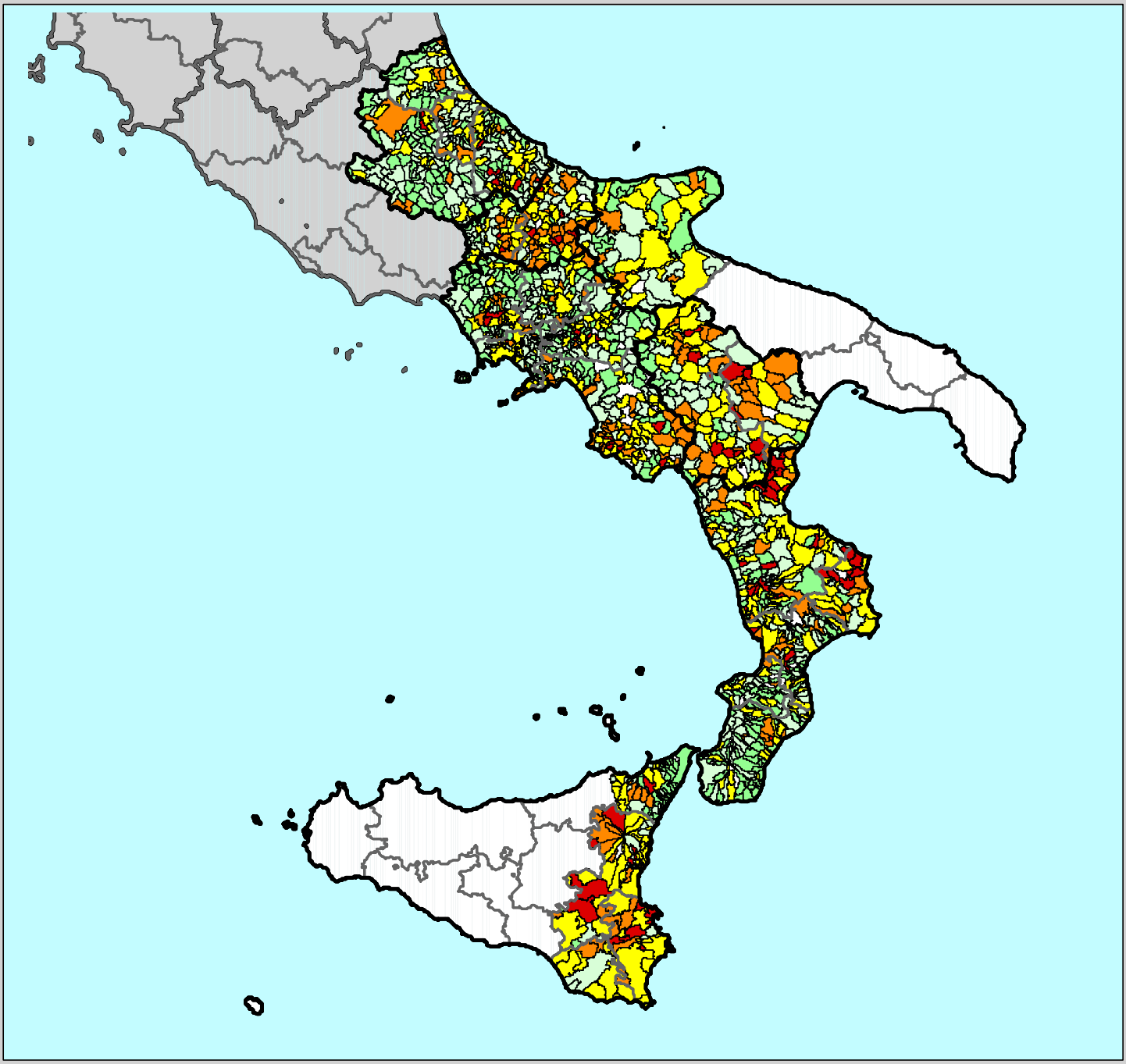
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura

VALORE MEDIO DELL'INDICE DI VULNERABILITA' GNDT

- 0 - 15
- 15 - 22
- 22 - 29
- 29 - 38
- 38 - 72



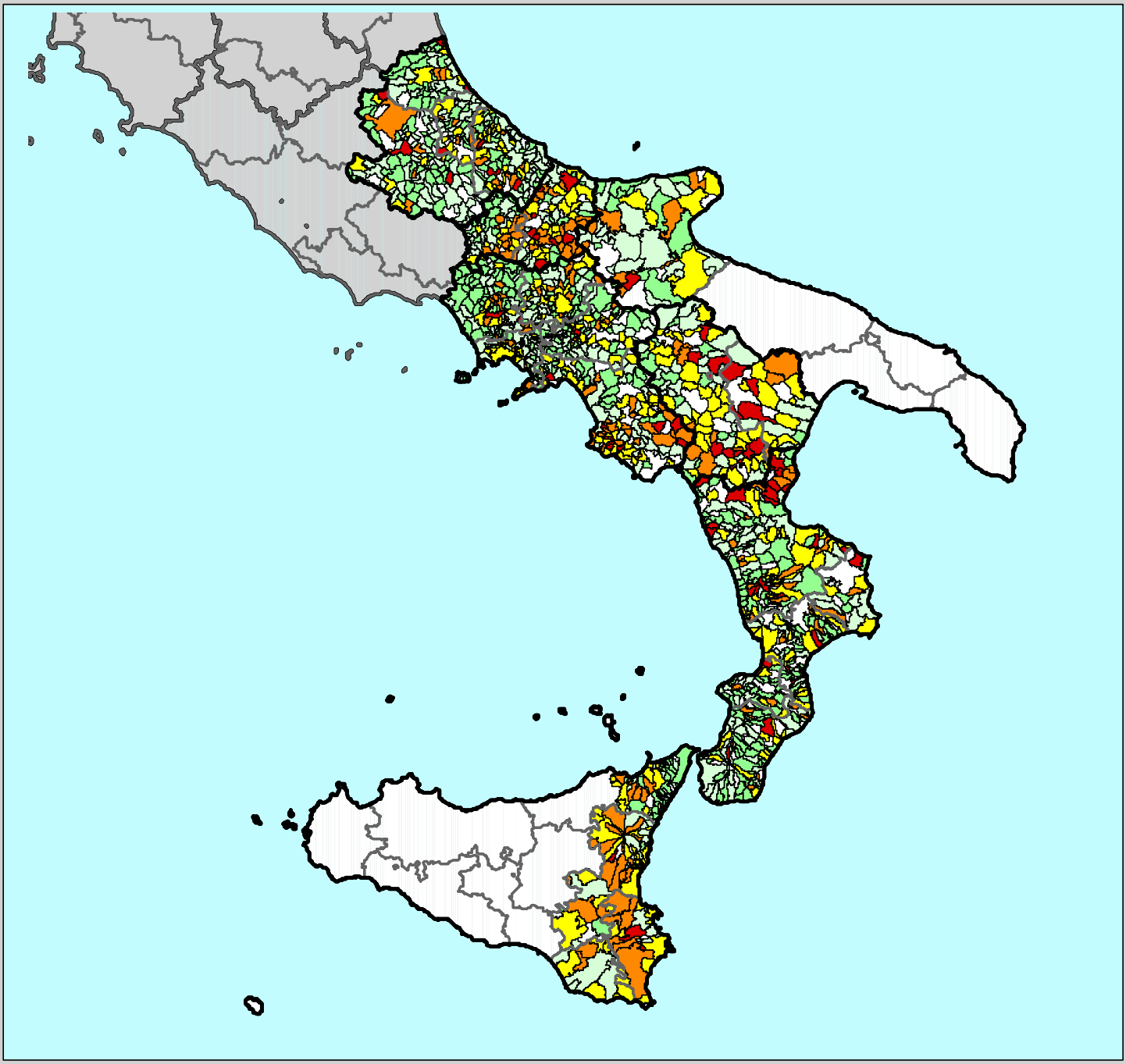
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per l'ISTRUZIONE

VALORE MEDIO DELL'INDICE DI VULNERABILITA' GNDT

- 0 - 15
- 15 - 22
- 22 - 29
- 29 - 38
- 38 - 72



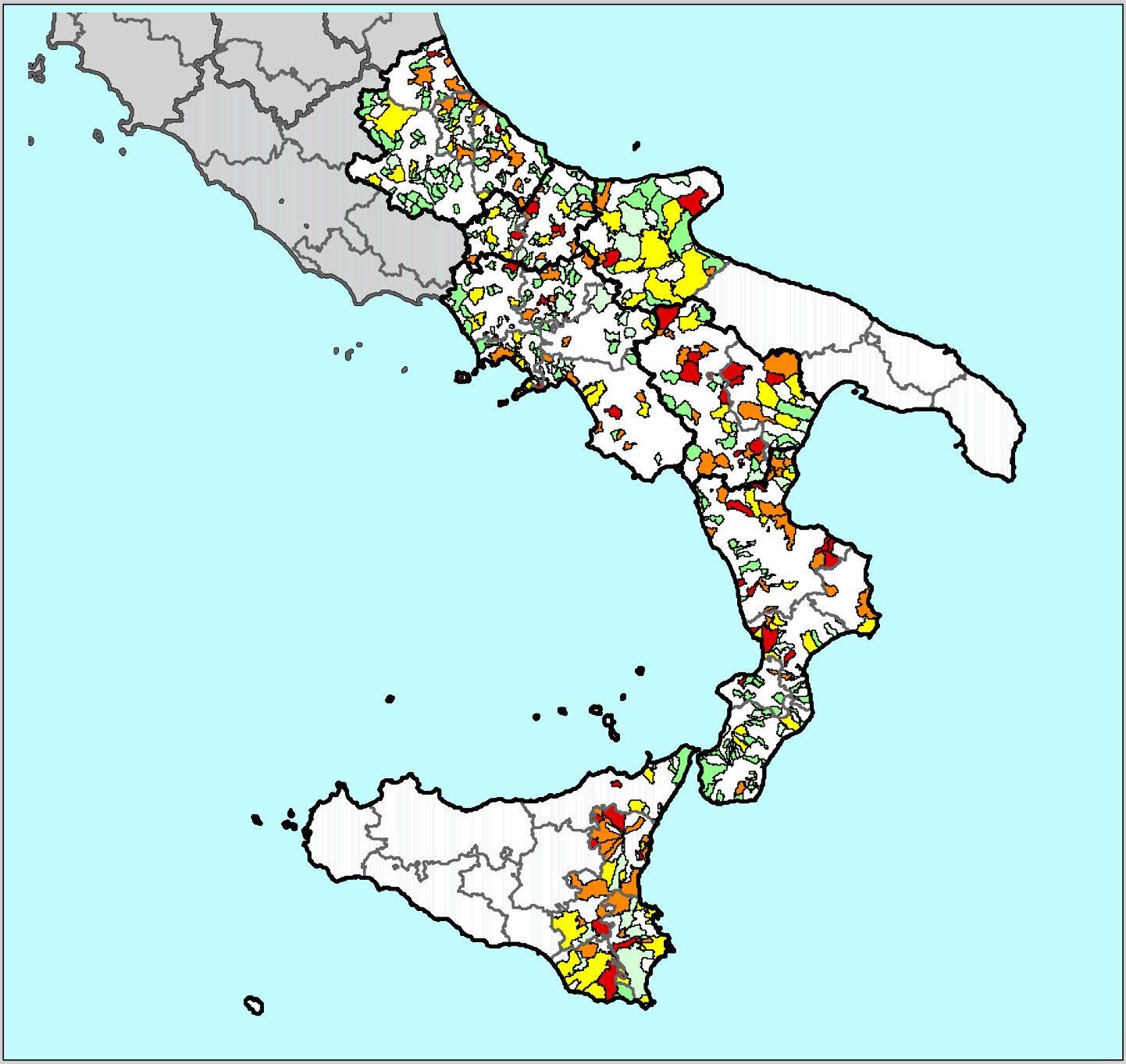
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per la SANITA'

VALORE MEDIO DELL'INDICE DI VULNERABILITA' GNDT

- 0 - 15
- 15 - 22
- 22 - 29
- 29 - 38
- 38 - 72



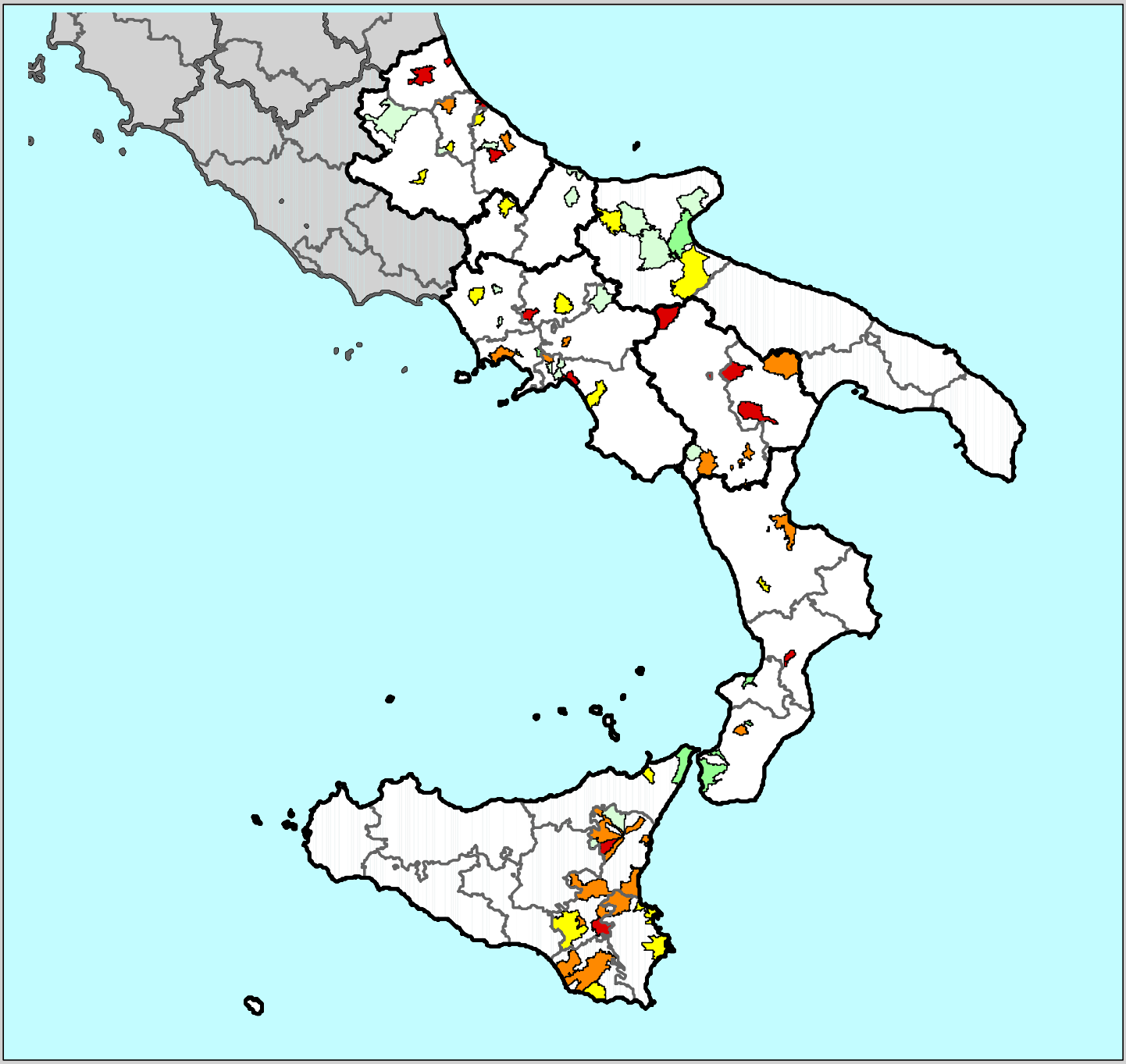
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura OSPEDALIERI

VALORE MEDIO DELL'INDICE DI VULNERABILITA' GNDT

- 0 - 15
- 15 - 22
- 22 - 29
- 29 - 38
- 38 - 72



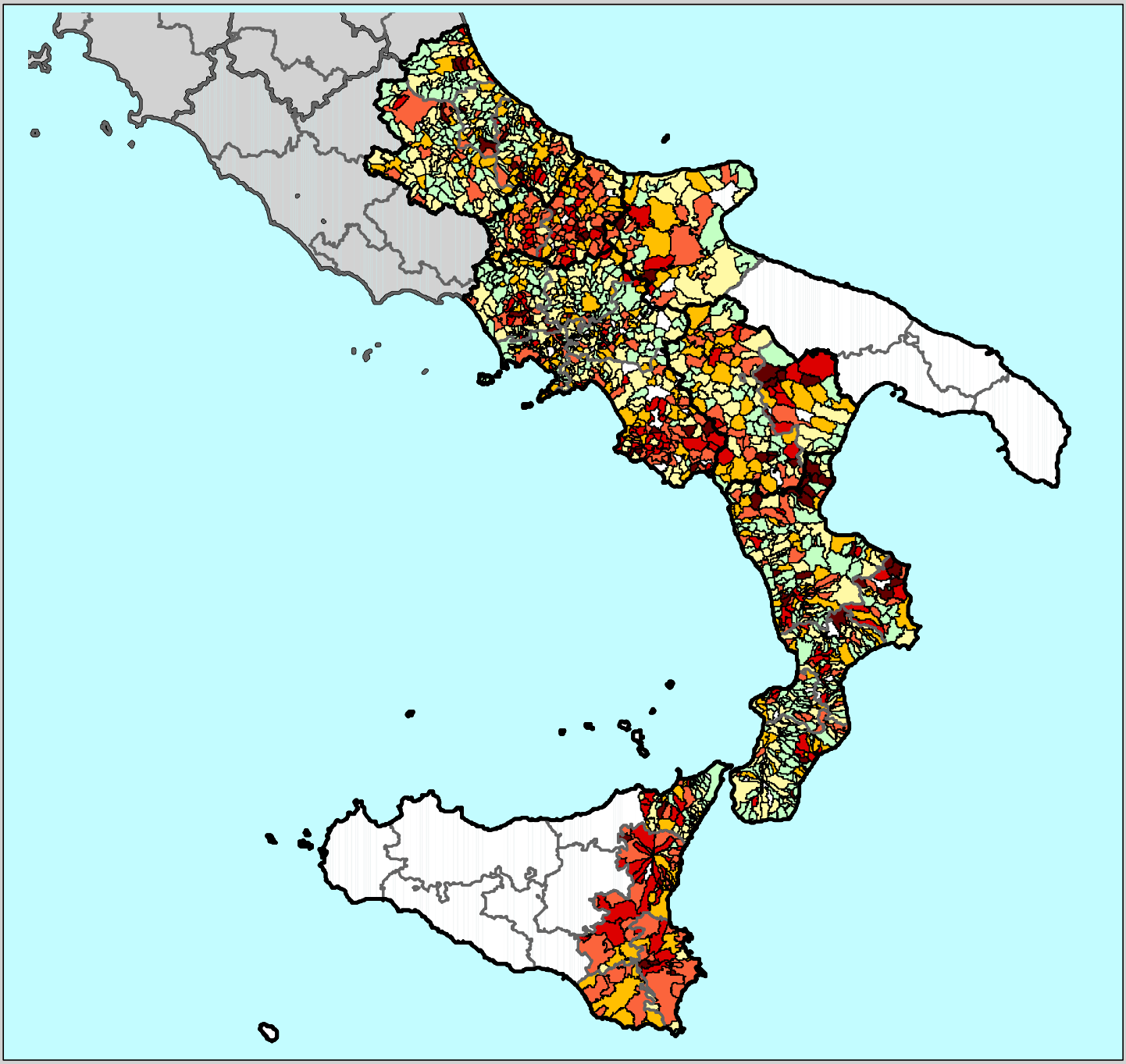
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura

ACCELERAZIONI MEDIE DI COLLASSO PER COMUNE (PGAc [a/g])

- 0.04 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 0.25
- 0.25 - 0.35
- >0.35



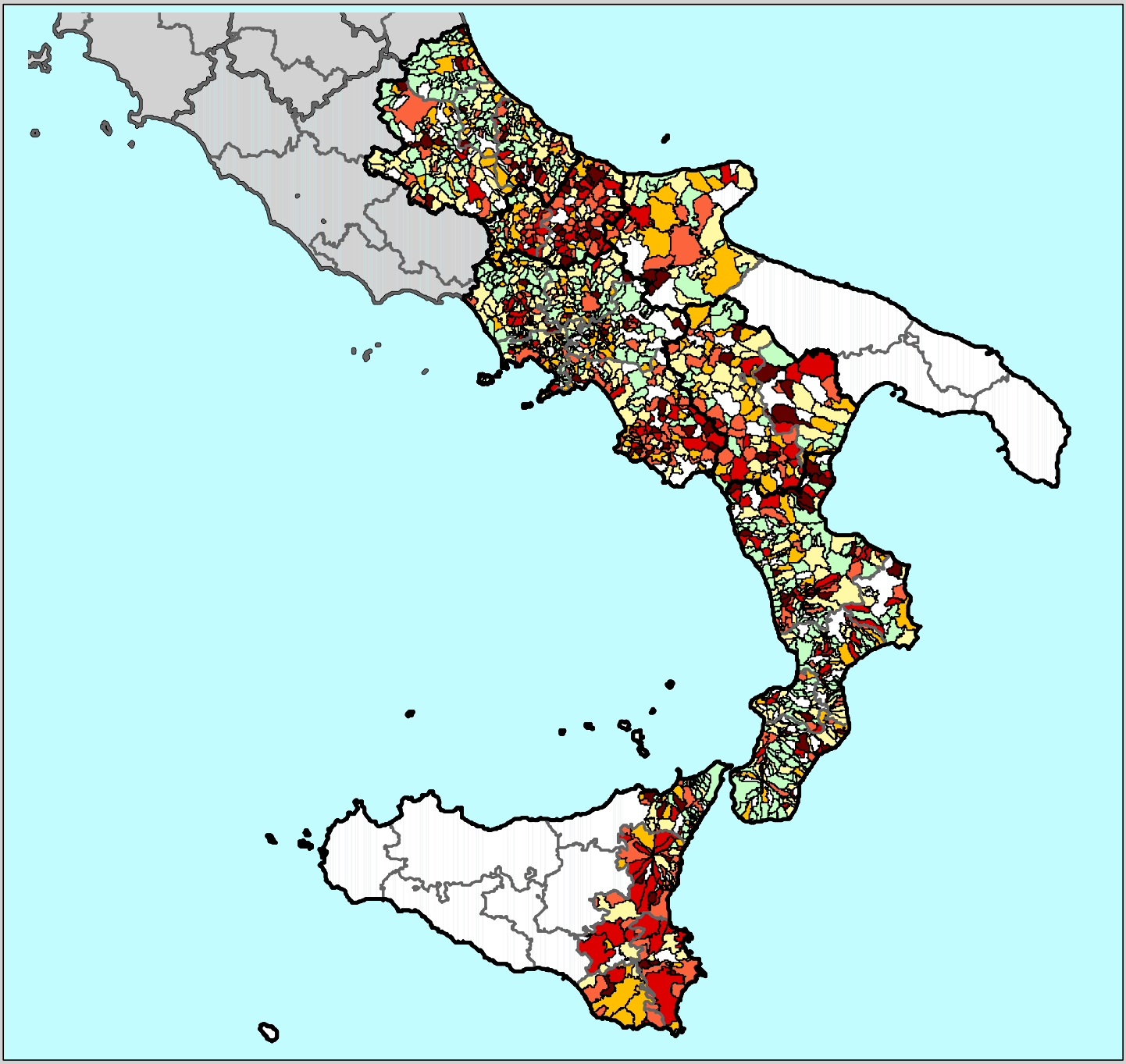
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per l'ISTRUZIONE

ACCELERAZIONI MEDIE DI COLLASSO PER COMUNE (PGAc [a/g])

- 0.04 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 0.25
- 0.25 - 0.35
- >0.35



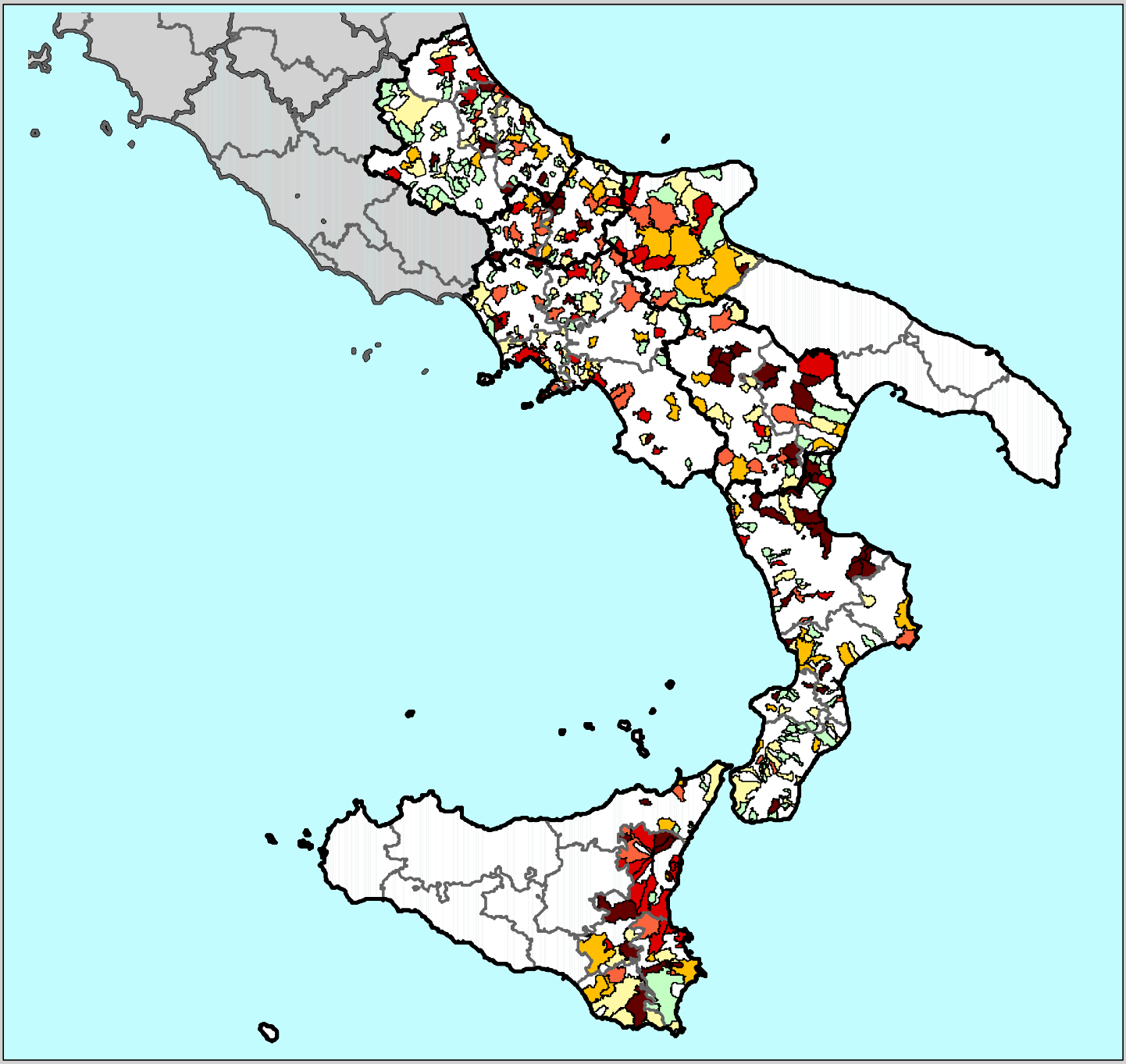
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per la SANITA'

ACCELERAZIONI MEDIE DI COLLASSO PER COMUNE (PGAc [a/g])

- 0.04 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 0.25
- 0.25 - 0.35
- >0.35



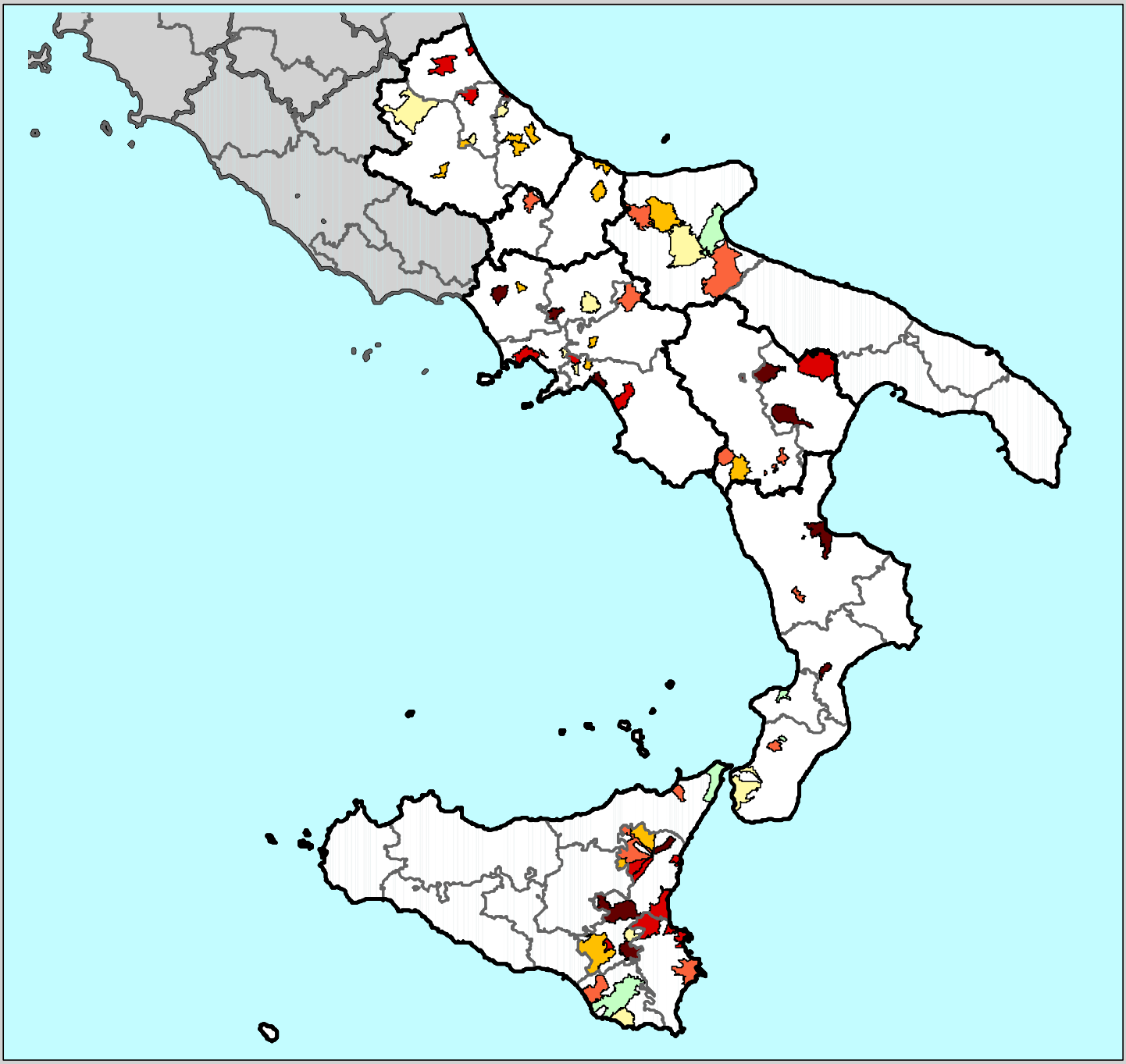
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura OSPEDALIERI

ACCELERAZIONI MEDIE DI COLLASSO PER COMUNE (PGAc [a/g])

- 0.04 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 0.25
- 0.25 - 0.35
- >0.35



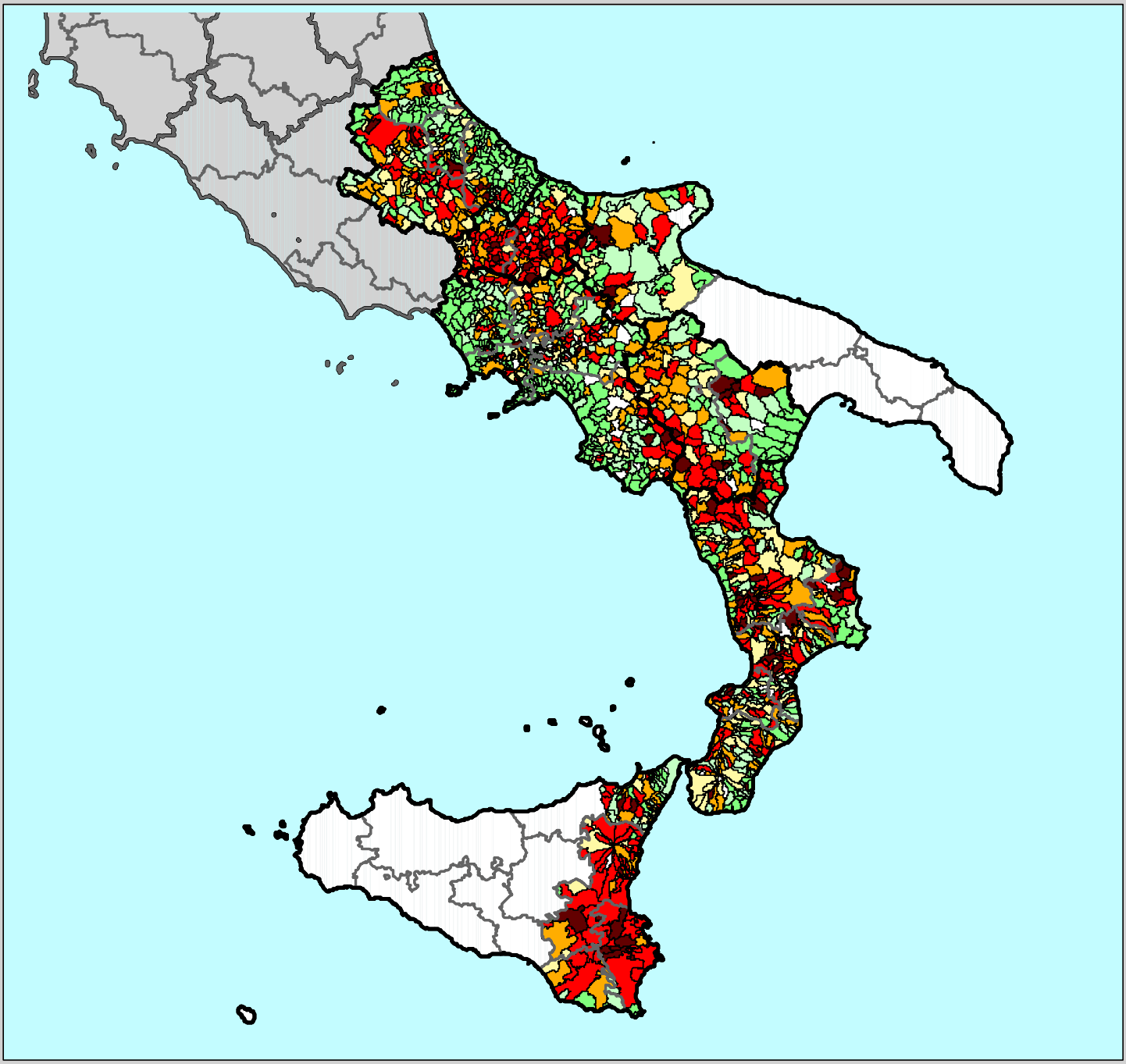
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura

VALORI MEDI DEI RAPPORTI PGAc/PGAmax PER COMUNE

- 0.16 - 0.45
- 0.45 - 0.8
- 0.80 - 1.00
- 1.00 - 1.20
- 1.20- 1.50
- > 1.50



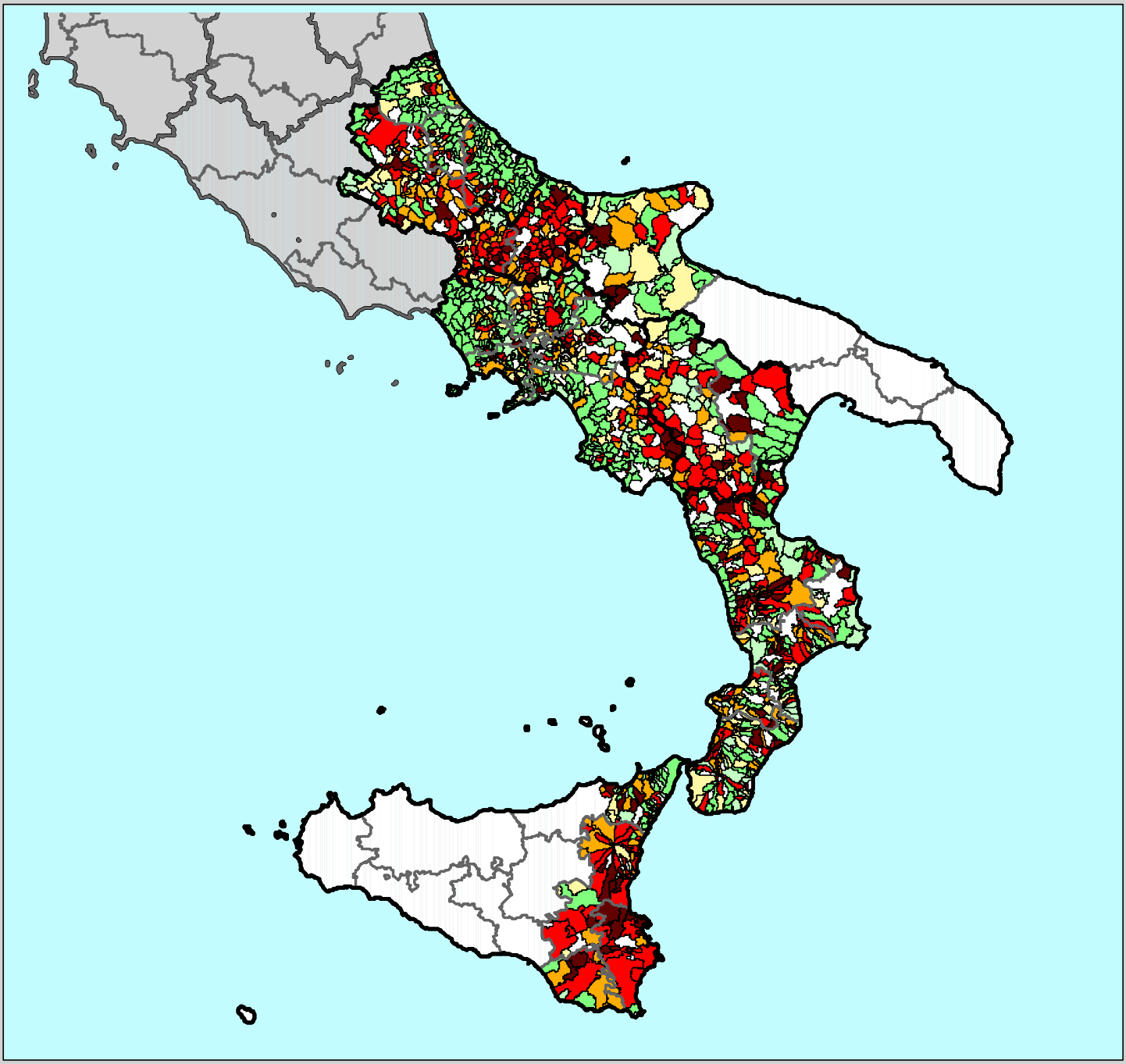
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per l'ISTRUZIONE

VALORI MEDI DEI RAPPORTI PGAc/PGAmax PER COMUNE

- 0.16 - 0.45
- 0.45 - 0.8
- 0.80 - 1.00
- 1.00 - 1.20
- 1.20- 1.50
- > 1.50



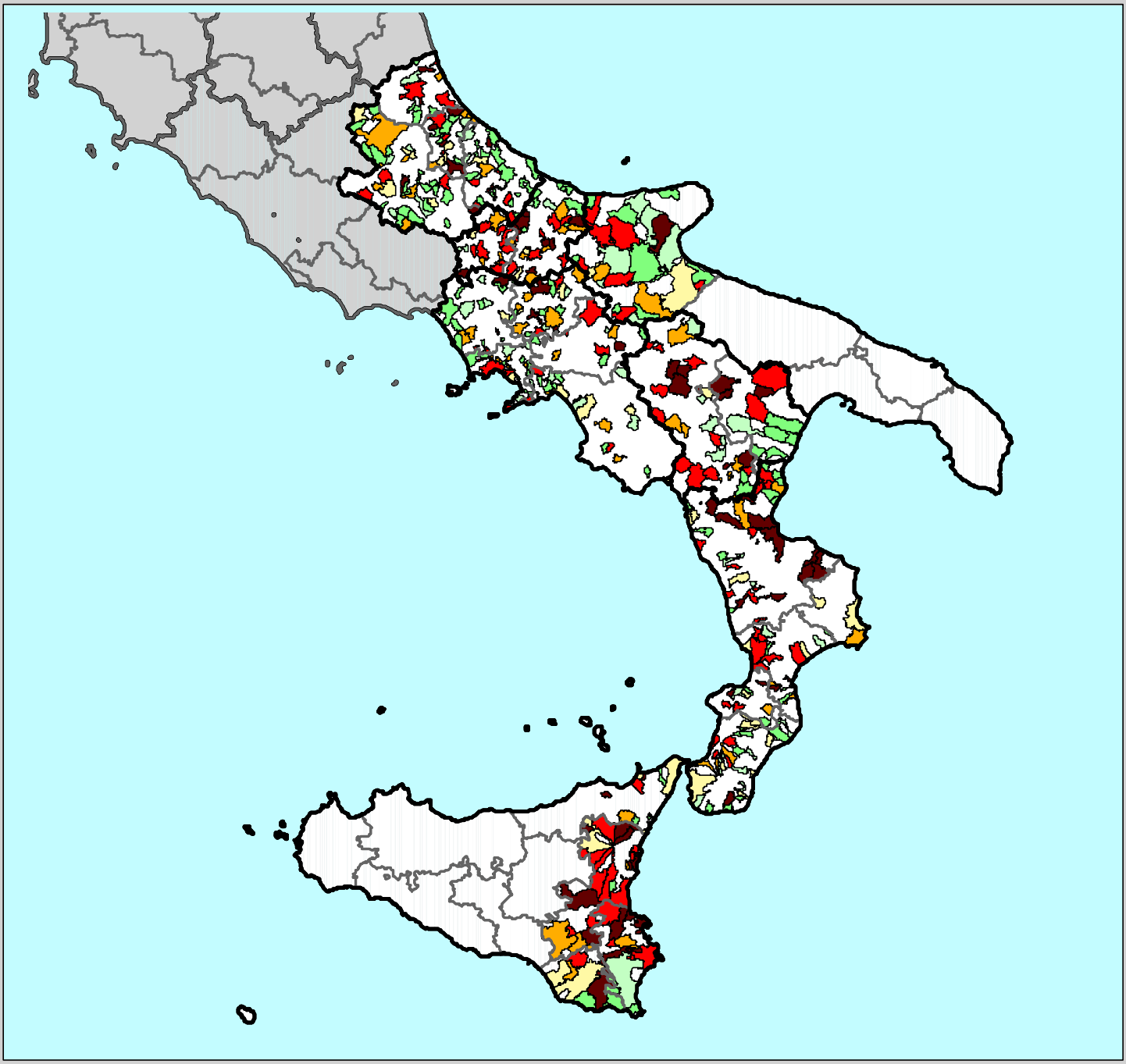
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per la SANITA'

VALORI MEDI DEI RAPPORTI PGAc/PGAmax PER COMUNE

- 0.16 - 0.45
- 0.45 - 0.8
- 0.80 - 1.00
- 1.00 - 1.20
- 1.20- 1.50
- > 1.50



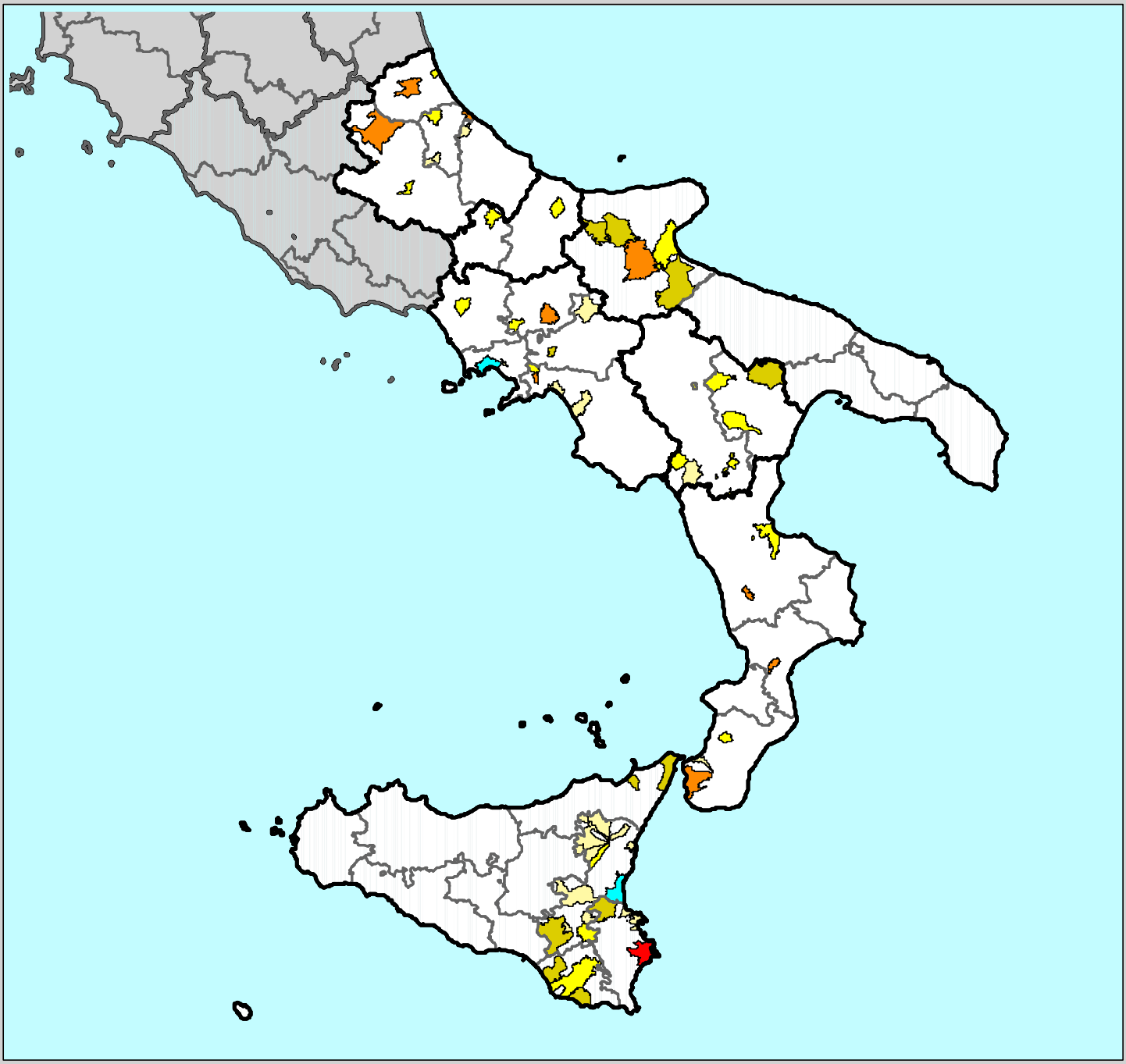
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura OSPEDALIERI

VOLUME DEGLI EDIFICI CON PGAC/PGAmax <1 PER COMUNE

- 100 - 10000
- 10000 - 25000
- 25000 - 50000
- 50000 - 100000
- 100000 - 250000
- 250000 - 500000
- 500000 - 1000000
- >1000000



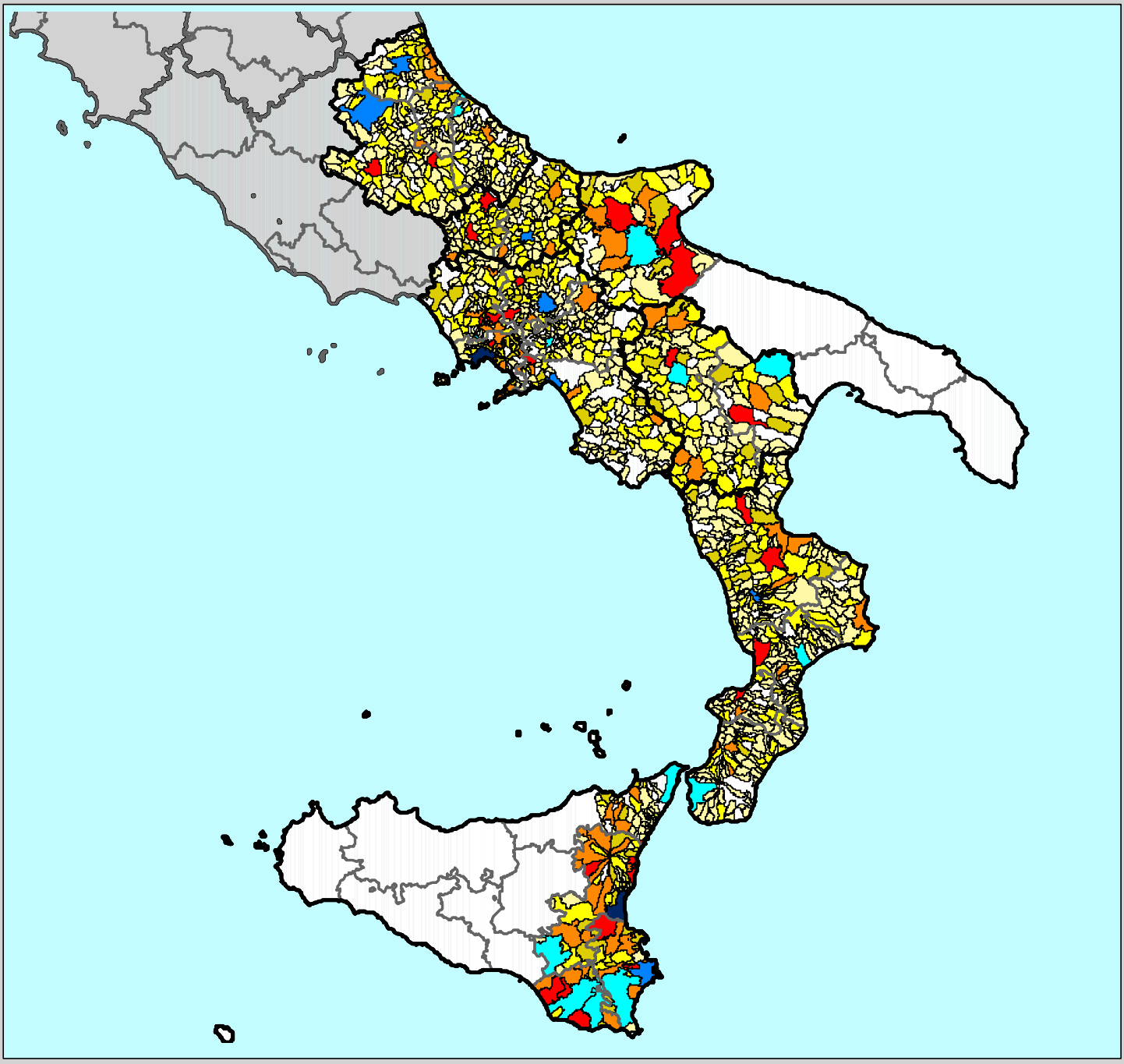
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura

N° DI EDIFCI CON PGAc/PGAmax <1 PER COMUNE

- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 8
- 8 - 16
- 16 - 32
- 32 - 64
- 64 - 128
- 128 - 240



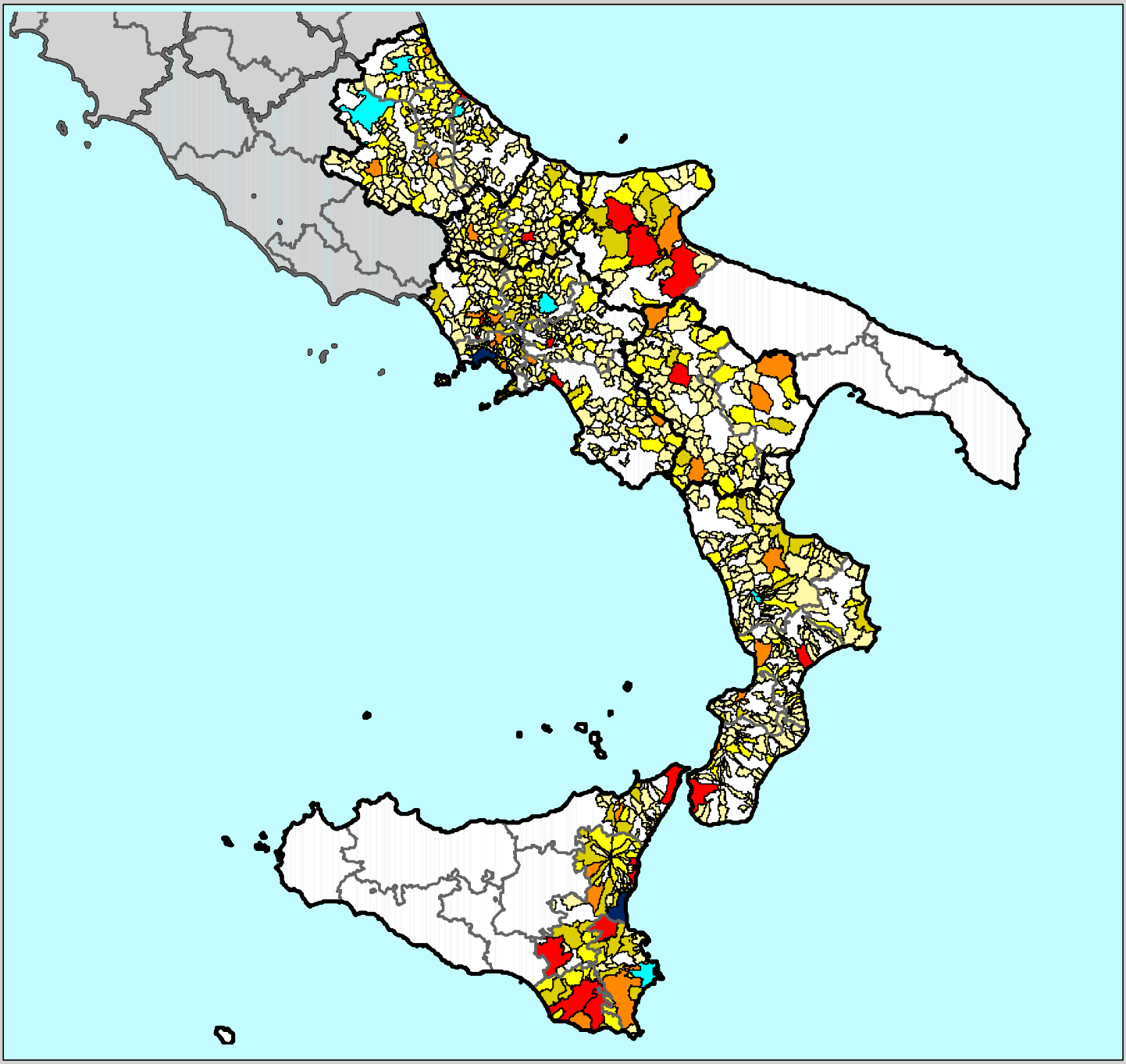
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per l'ISTRUZIONE

N° DI EDIFCI CON PGAc/PGAmax <1 PER COMUNE

- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 8
- 8 - 16
- 16 - 32
- 32 - 64
- 64 - 128
- 128 - 240



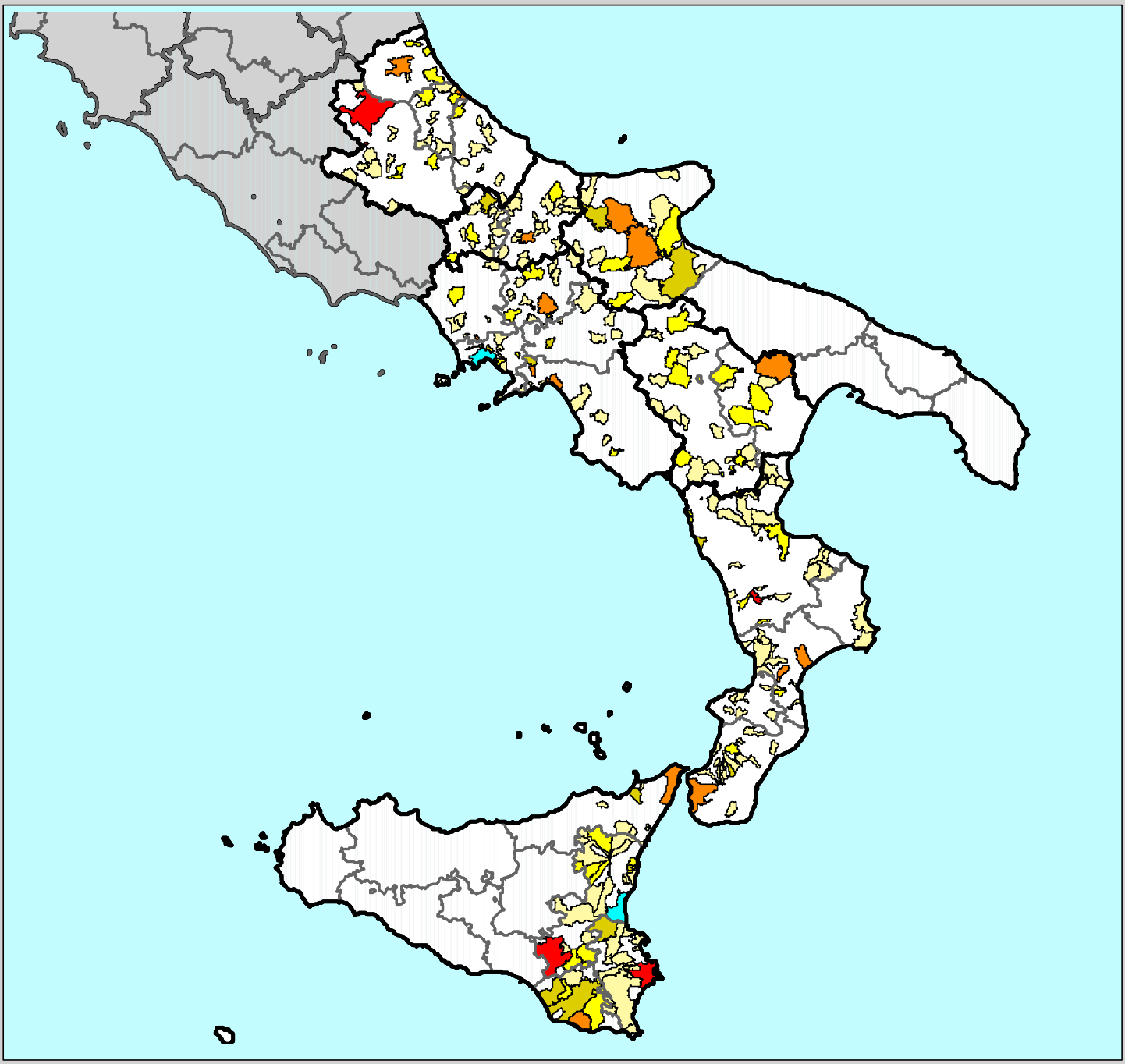
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per la SANITA'

N° DI EDIFCI CON PGAc/PGAmax <1 PER COMUNE

0 - 2	16 - 32
2 - 4	32 - 64
4 - 8	64 - 128
8 - 16	128 - 240



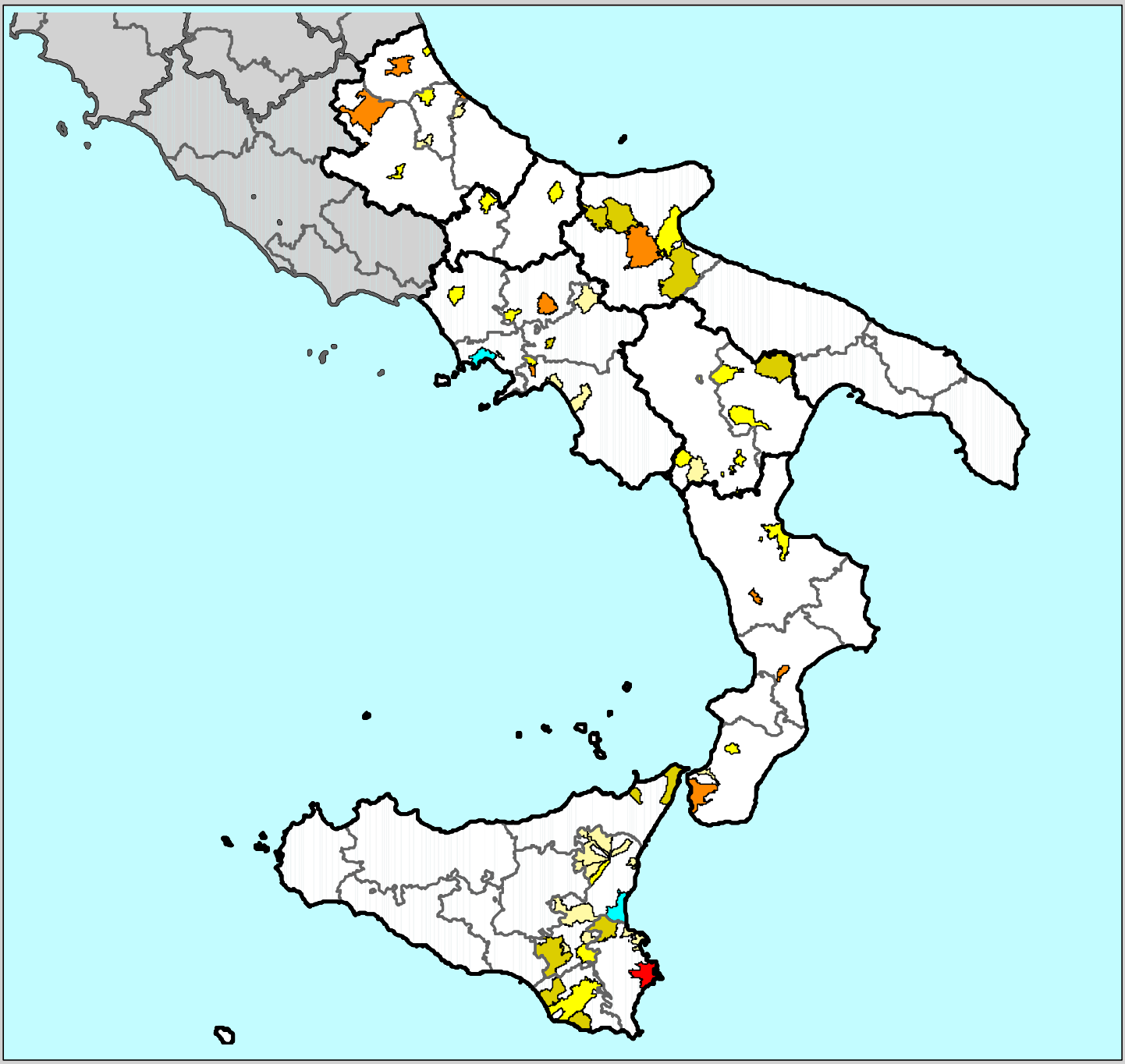
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura OSPEDALIERI

N° DI EDIFCI CON PGAc/PGAmax <1 PER COMUNE

0 - 2	16 - 32
2 - 4	32 - 64
4 - 8	64 - 128
8 - 16	128 - 240



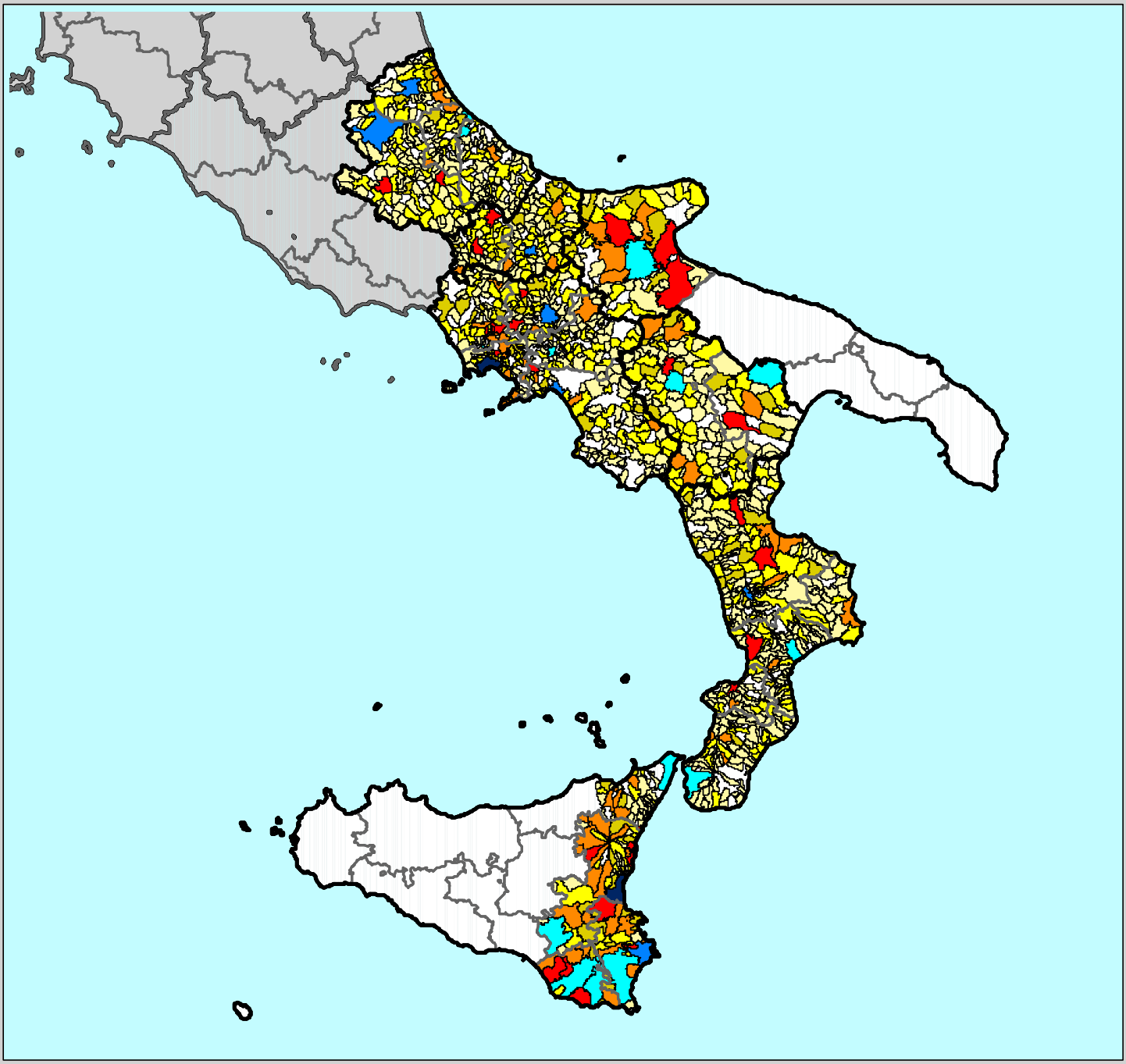
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura

VOLUME DEGLI EDIFICI CON PGAC/PGAmax <1 PER COMUNE

- 100 - 10000
- 10000 - 25000
- 25000 - 50000
- 50000 - 100000
- 100000 - 250000
- 250000 - 500000
- 500000 - 1000000
- >1000000



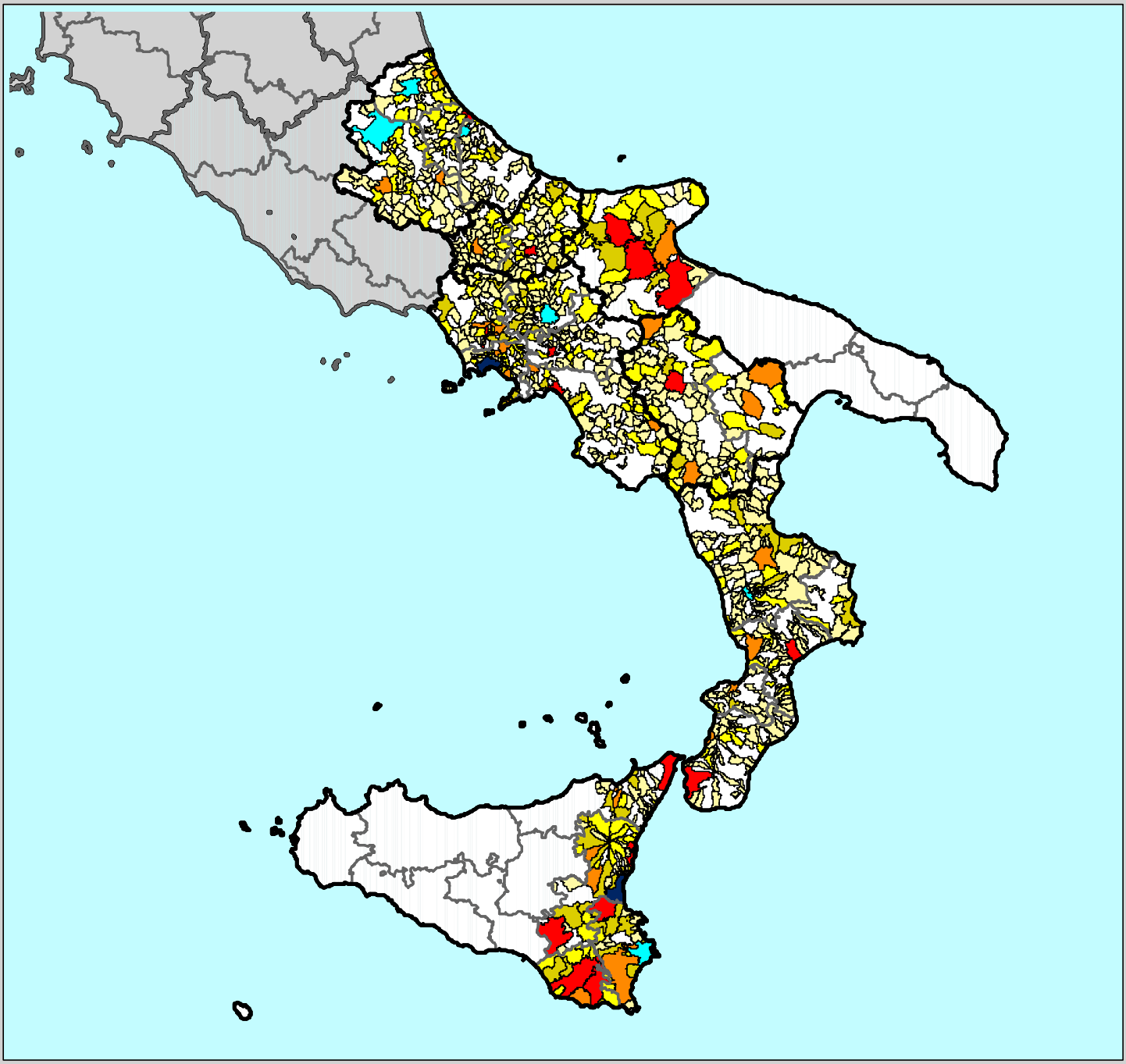
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica
del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per l'ISTRUZIONE

VOLUME DEGLI EDIFICI CON PGAC/PGAmax <1 PER COMUNE

- 100 - 10000
- 10000 - 25000
- 25000 - 50000
- 50000 - 100000
- 100000 - 250000
- 250000 - 500000
- 500000 - 1000000
- >1000000



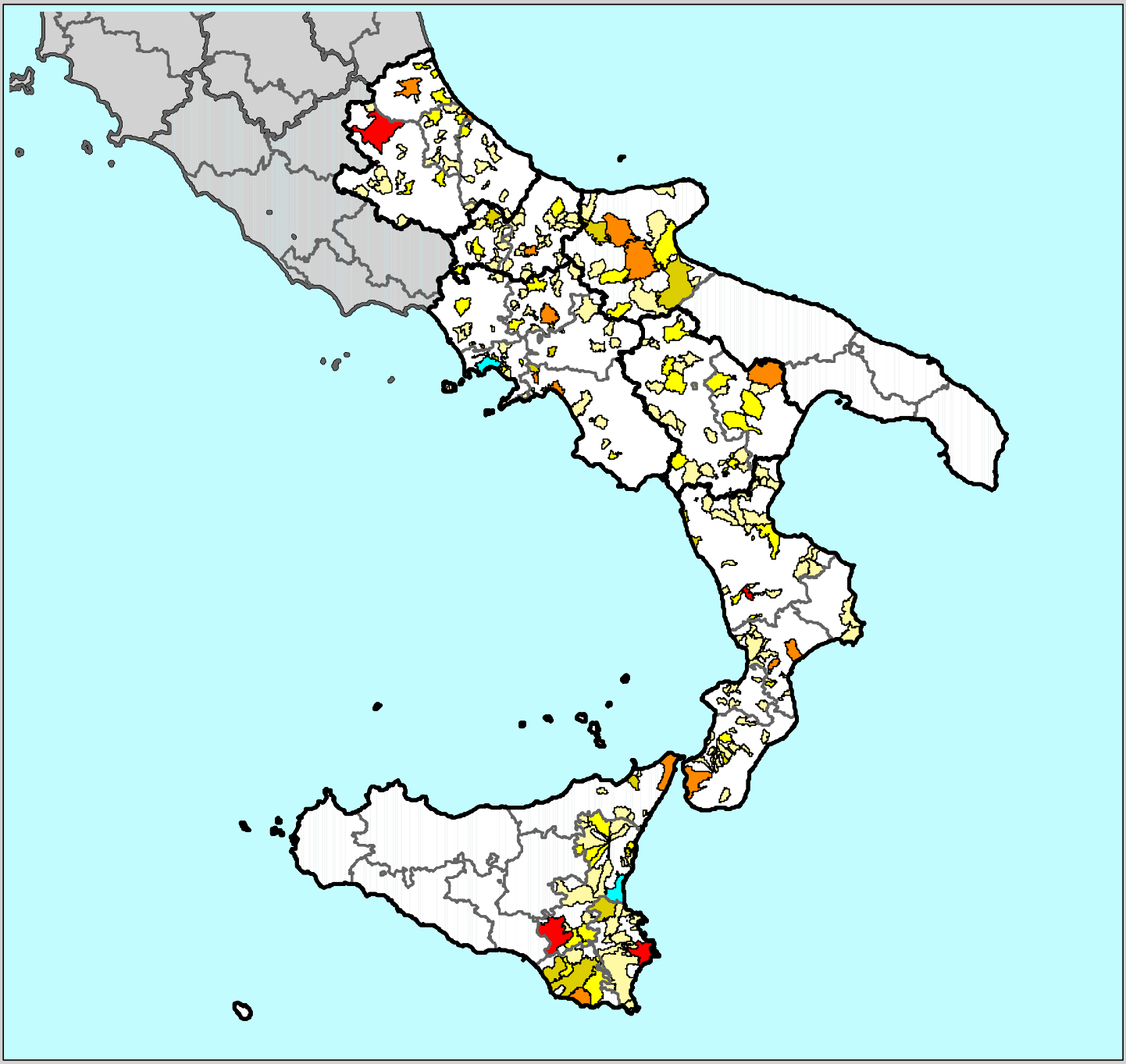
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura per la SANITA'

VOLUME DEGLI EDIFICI CON PGAC/PGAmax <1 PER COMUNE

- 100 - 10000
- 10000 - 25000
- 25000 - 50000
- 50000 - 100000
- 100000 - 250000
- 250000 - 500000
- 500000 - 1000000
- >1000000



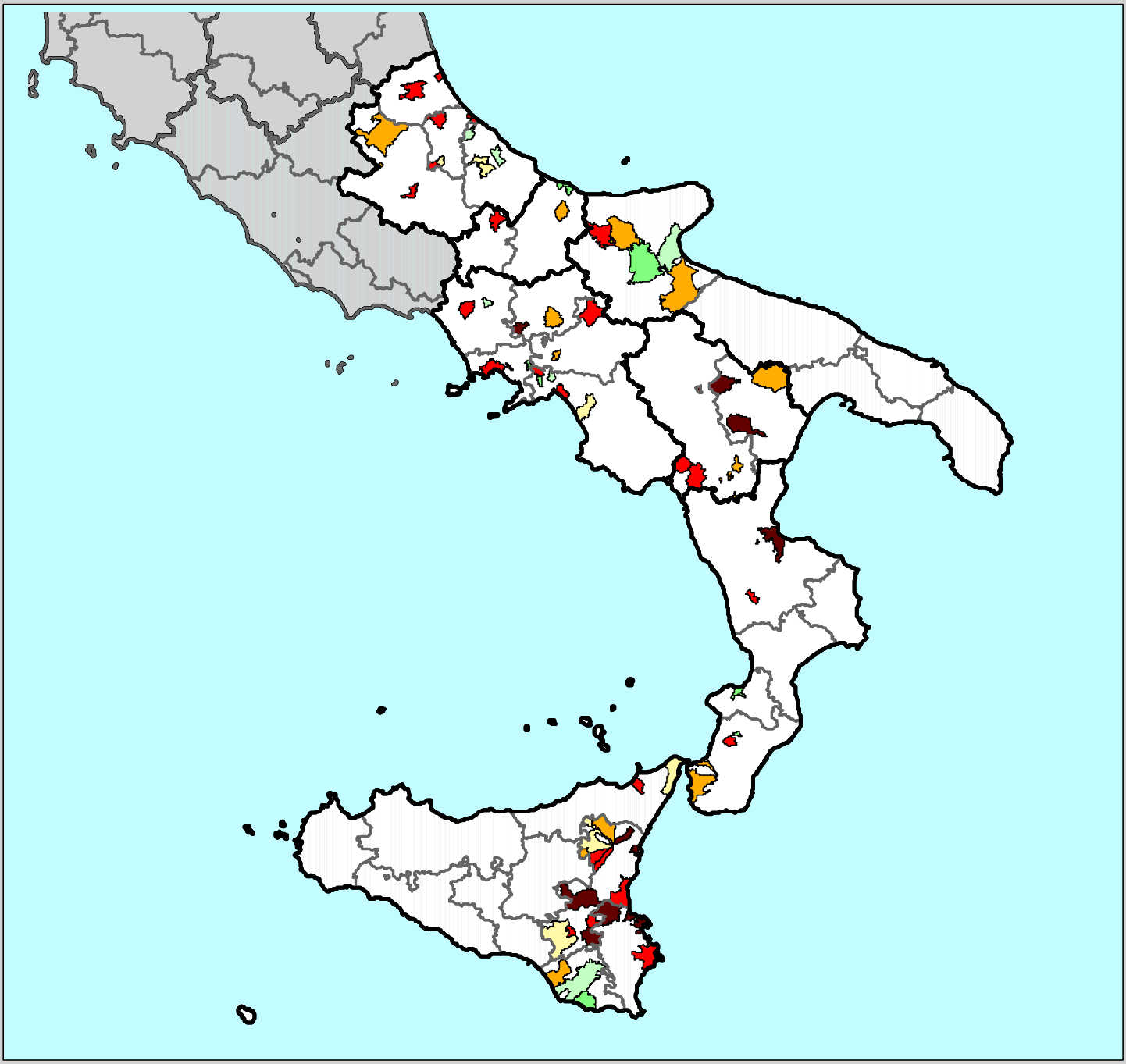
S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura OSPEDALIERI

VALORI MEDI DEI RAPPORTI PGAc/PGAmax PER COMUNE

- 0.16 - 0.45
- 0.45 - 0.8
- 0.80 - 1.00
- 1.00 - 1.20
- 1.20- 1.50
- > 1.50

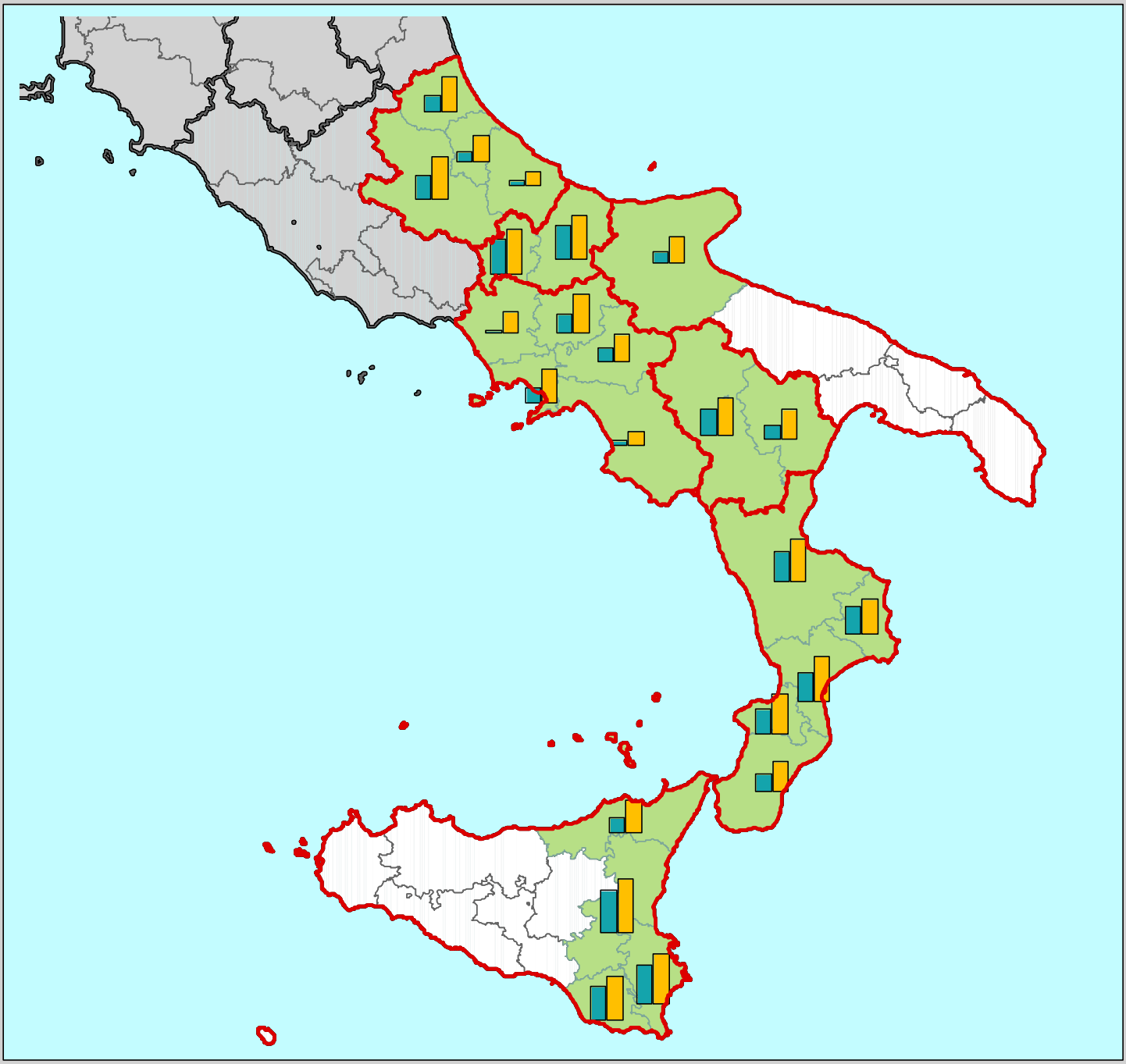


S A V E - Strumenti Aggiornati per la Vulerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

Task 2 - Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro- meridionale

Edifici pubblici in muratura

NUMERO DI EDIFICI E VOLUMI CORRSIPONDENTI CON PGAc/PGAmax <1 PER PROVINCIA (Valori %)

N° di edifici (%) conPGAc/PGAmax <1

Volume degli edifici (%) conPGAc/PGAmax <1