

Allegato 3

Stima dei costi unitari medi degli interventi di prevenzione sismica degli edifici pubblici in Toscana



Report

a cura dell'Ufficio Prevenzione sismica
del Settore Sismica della Regione Toscana

Ottobre 2023

INDICE

1. Premessa	pag. 2
2. Stima dei costi unitari medi degli interventi di prevenzione sismica	pag. 3
2.1 Interventi oggetto di analisi	pag. 3
2.2 Parametri per la stima dei costi unitari medi	pag. 7
2.3. Stima dei costi unitari medi per tipologia di intervento	pag. 10
3. Analisi dei parametri per la valutazione dei costi	pag. 17
3.1 Ubicazione geografica	pag. 17
3.2 Destinazione d'uso	pag. 19
3.3 Epoca costruttiva	pag. 20
3.4 Tipologia costruttiva	pag. 23
3.5 Indice di rischio	pag. 24
3.6 Dimensione degli edifici	pag. 25
4. 4. Studi precedenti sui costi medi e contributi ammissibili	pag. 32
5. Conclusioni	pag. 34

APPENDICI **pag. 35**

1. Analisi delle macro categorie di spesa
2. Studio sugli interventi degli edifici pubblici realizzati in Toscana nel periodo 2000-2008 a cura del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della Regione Toscana - 2009
3. Studio sui costi medi per la prevenzione sismica in Italia a seguito dei contributi della Legge 77/2009 a cura dell'Ufficio Prevenzione sismica del Settore sismica della Regione Toscana sulla base dei dati forniti dal Dipartimento della protezione civile – 2021
4. Analisi sui costi standard per l'edilizia scolastica di nuova costruzione in Toscana a cura della Task Force edilizia scolastica – Nuvec area 1 - 2020
5. Limiti di contributo delle Direttive regionali D.1.9 approvate con Delibera di GRT 286/2023
6. Limiti di contributo dell'Ordinanza 978/2023 per gli interventi di prevenzione finanziati con le risorse della L. 77/2009
7. Costo medio unitario per interventi di prevenzione: confronto
8. Glossario statistico

1. Premessa

La Regione Toscana, nell'ambito delle attività di riduzione del rischio sismico avviate da oltre 30 anni, ha impostato una programmazione pluriennale di interventi finalizzati alla prevenzione del rischio sismico, modulati in relazione alle risorse statali e regionali, tra cui quelle relative alla L.R. 58/2009, che annualmente si sono rese disponibili sul bilancio regionale. Tale politica di prevenzione sismica è stata fortemente accelerata grazie all'utilizzo di ulteriori fondi di provenienza nazionali di cui alla L. 289/2002, L. 77/2009 e più recentemente ad altri canali di finanziamento nazionali finalizzati in particolare ad interventi strutturali, come quelli previsti dalla L. 145/2018 art.1 c.134 e la Programmazione UE relativa ai fondi PR-FESR 2021-2027.

L'attività di prevenzione sismica in Toscana prevede in particolare la realizzazione di interventi strutturali su edifici pubblici strategici e rilevanti, principalmente scuole e municipi.

Questo documento descrive lo studio per la **stima dei costi unitari degli interventi di prevenzione sismica in Toscana realizzati con finanziamenti pubblici negli ultimi 20 anni.**

L'obiettivo principale è stimare il **costo unitario medio**, cioè il costo a metro quadrato (€/mq), riferito a tre tipologie di intervento previste dalla normativa tecnica per le costruzioni: miglioramento sismico, adeguamento sismico e nuova costruzione (cfr. NTC 2018 cap. 8.4) e fornire indicazioni per l'erogazione di eventuali **contributi** per programmi di intervento di prevenzione sismica.

In secondo luogo è stata sviluppata un'analisi statistica dei dati per valutare eventuali correlazioni fra i costi unitari in riferimento ad alcuni parametri caratteristici degli edifici, quali ad esempio l'epoca e la tipologia costruttiva, le dimensioni, l'indice di rischio ante operam e anche l'ubicazione geografica, con un approfondimento sulle macro categorie di spesa, con l'obiettivo di comprendere meglio le variabili che possono influire sui costi di realizzazione.

Per completezza di informazione sono stati messi a confronto i risultati del presente lavoro con studi analoghi realizzati negli anni precedenti ed illustrati sinteticamente in Appendice.

Il campione di interventi oggetto di analisi è stato individuato attraverso il **Quadro conoscitivo (QC_EPSR)** predisposto dal Settore Sismica della Regione Toscana, per complessivi 204 interventi realizzati nel corso degli ultimi 20 anni circa dal 2004 al 2022 e finanziati per interventi strutturali di prevenzione sismica. Tra i molti dati raccolti, l'analisi dei costi ha considerato il costo totale espresso in Euro, al lordo dell'Iva, comprensivo di tutte le spese relative alle opere strutturali, alle finiture strettamente connesse, agli impianti e delle spese tecniche. Sono stati inoltre utilizzati i dati relativi alla tipologia di intervento e alla superficie totale oggetto di intervento di ciascun edificio espressa in metri quadrati (mq). Visto l'arco temporale considerato, si è tenuto conto della rivalutazione monetaria dei prezzi al consumo utilizzando i coefficienti forniti dall'Istat, con le modalità indicate nel paragrafo 2.2.

La raccolta e verifica dei dati ha richiesto più tempo del previsto, sia per la configurazione degli edifici costituiti spesso da più corpi di fabbrica, che per le differenti tipologie di intervento, ma anche per le molteplici fonti di finanziamento. Una volta inseriti in un database, i dati sono stati elaborati per consentire un'analisi statistica, i cui risultati sono stati sinteticamente rappresentati in forma tabellare e grafica. Si precisa che, trattandosi di dati sensibili per la collettività, questi sono rappresentati in forma aggregata.

2. Stima dei costi unitari medi degli interventi di prevenzione sismica

2.1 Interventi oggetto di analisi

Il presente studio sui costi unitari degli interventi di prevenzione sismica in Toscana, considera gli interventi realizzati con i finanziamenti pubblici europei, statali e regionali, erogati fin dal 1996 fino ad oggi e censiti nel Quadro Conoscitivo (QC_EPSR) della Regione Toscana che consta ad oggi di **1.859** edifici pubblici strategici e rilevanti di cui 880 edifici scolastici, pari al 47% del totale, 675 edifici pubblici (municipi, centri civici, ecc.), ed ulteriori 216 edifici con altre funzioni strategiche o rilevanti (sanità, protezione civile, ecc.). Gli edifici censiti nell'ambito del quadro conoscitivo del rischio sismico sono georeferenziati all'interno del Sistema Informativo per la Sismica (**Sin.Te.Sis.**) consultabile, ma al momento solo ad uso interno, mediante il Portale regionale WEB-GIS BD-EPSR in cui è possibile visualizzare tutte le informazioni generali e tecniche e i finanziamenti per le diverse attività di prevenzione sismica collegate ai medesimi edifici.

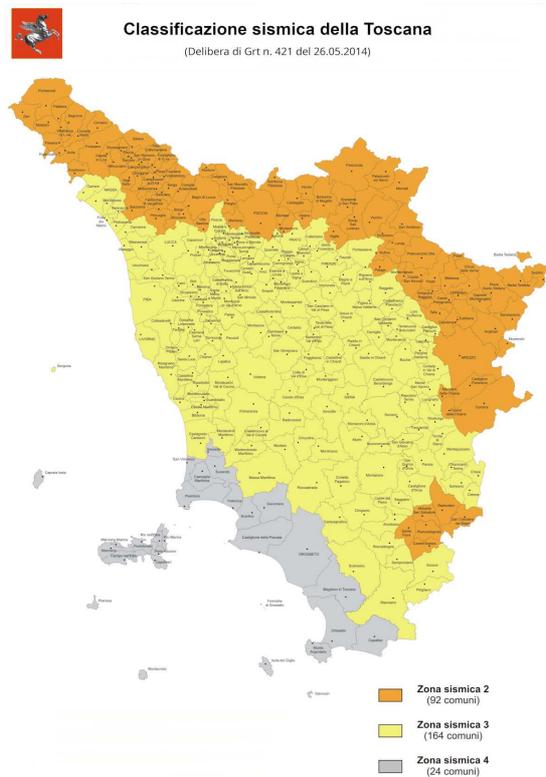


Fig. 1 – Classificazione sismica della Toscana (Delibera GRT 421/2014)

I 1.859 edifici sono ubicati negli 89 comuni classificati in zona sismica 2 della Toscana (vedi carta della classificazione sismica in Toscana ai sensi della Delibera di GRT n. 421/2014 riportata in Figura n. 1) di cui 752 risultano in sicurezza, sia perché oggetto di interventi strutturali già realizzati o sia perché costruiti recentemente (vedi schema di dettaglio di Figura n. 2).

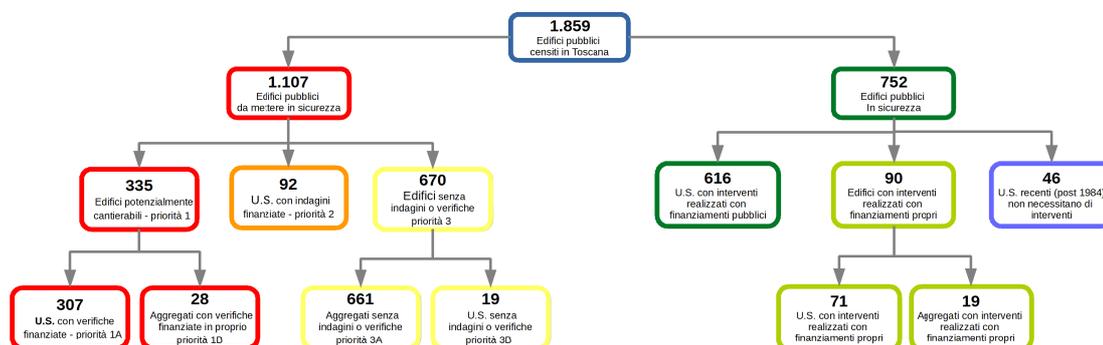


Fig. 2 – Schema di dettaglio degli edifici pubblici strategici e rilevanti inseriti nel database regionale

Per la stima dei costi unitari sono stati estrapolati dal suddetto Quadro Conoscitivo gli interventi di prevenzione sismica realizzati negli ultimi 20 anni con finanziamenti pubblici, che fossero completi dei dati necessari. Tale campione è composto da **204**

interventi, di cui 158 scuole, 19 municipi e 27 altri edifici civili, ubicati prevalentemente nelle province di Arezzo, Firenze, Lucca e Massa Carrara per il 90% del totale, aree storicamente a maggior rischio sismico e prioritariamente individuate per l'assegnazione delle risorse, e il restante 10% nelle province di Grosseto, Prato, Pistoia e Siena.

Per quanto riguarda le tipologie di intervento¹ si tratta di 40 interventi di miglioramento sismico, 115 di adeguamento sismico e 49 di nuova costruzione, come sintetizzato nelle tabelle e grafici seguenti (Figure n. 3, 4).

Si sottolinea che tali interventi sono stati oggetto di controllo in fase progettuale da parte del Settore Regionale competente sotto il profilo tecnico-economico in applicazione delle Direttive Tecniche regionali vigenti al momento del finanziamento, come anche specificato nel successivo capitolo 4. Questo significa che c'è stato un controllo delle proposte progettuali, tese al rispetto dei limiti massimi di contributo.

Prov.	Miglioramento	Adeguamento	Nuova costruzione	Totale	Costo totale
AR	19	34	18	71	€ 69.621.479,31
FI	3	34	5	42	€ 44.792.668,86
GR	0	1	0	1	€ 384.000,00
LU	4	23	14	41	€ 40.565.842,32
MS	6	14	12	32	€ 29.214.240,23
PO	1	3	0	4	€ 4.436.737,40
PT	2	6	0	8	€ 6.322.205,13
SI	5	0	0	5	€ 2.690.461,09
Totale	40	115	49	204	€ 198.027.634,34

Fig. 3 Numero di interventi per provincia e tipo di intervento e costo totale
(costo totale rivalutato ad oggi)

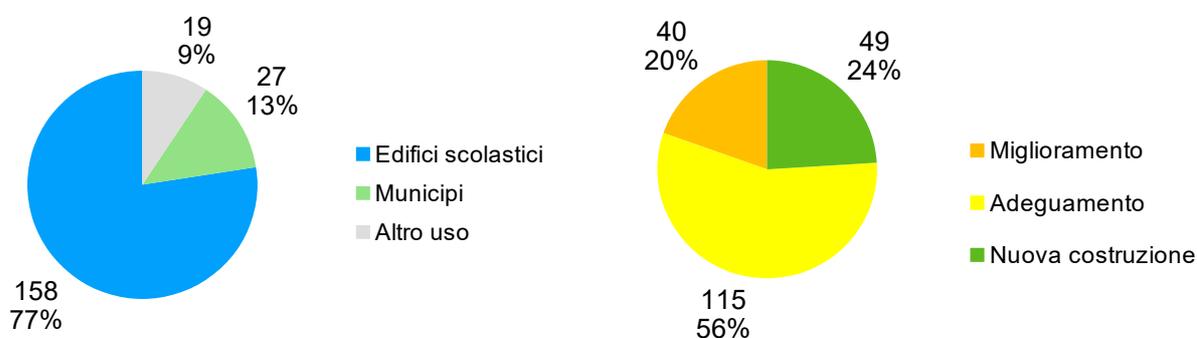


Fig. 4 Numero di edifici per tipologia d'uso e tipo di intervento

1 Per le tipologie di intervento si rimanda alle definizioni di miglioramento sismico e adeguamento sismico riportate nel cap.8.4 delle NTC 2018

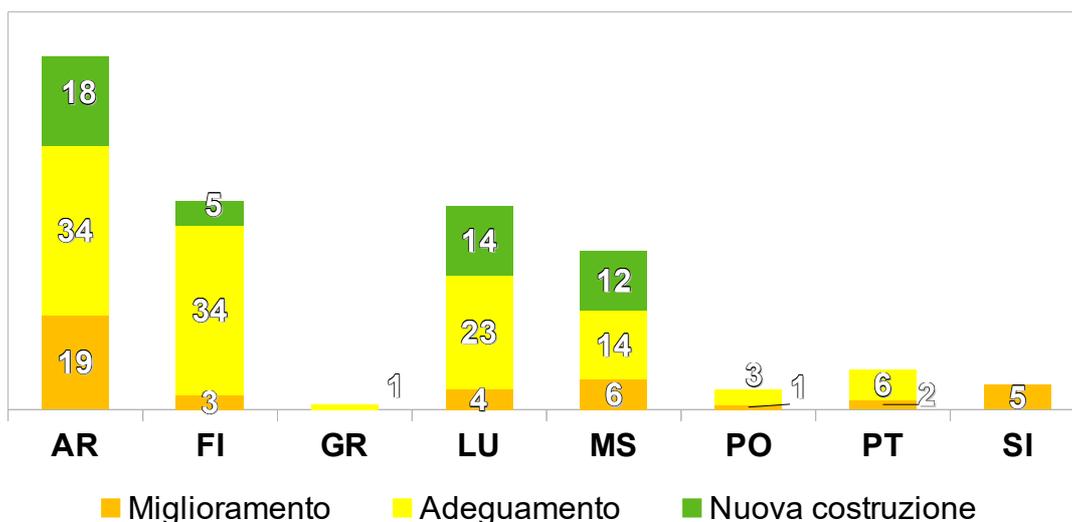


Fig. 5 – Numero di interventi per provincia e per tipo di intervento

I canali di finanziamento degli interventi sono stati molteplici e in alcuni casi si è trattato di combinazione di finanziamenti tra quelli di seguito elencati:

- L. 23/1996 norme per l'edilizia scolastica;
- L. 289/2002 piano straordinario per l'edilizia scolastica;
- L. 326/2003 interventi di riduzione del rischio sismico degli edifici pubblici;
- fondi POR Creo 2007-2013 per interventi sul patrimonio edilizio pubblico (scuole e non scuole);
- L. 244/2007 (finanziaria 2008) per l'adeguamento e le nuove costruzioni scolastiche;
- L.R. 58/2009 interventi su edifici pubblici;
- L. 77/2009 piano nazionale pluriennale per la prevenzione del rischio sismico degli edifici strategici ai fini di protezione civile (scuole e non scuole);
- L. 145/2018 fondo per la prevenzione del rischio sismico degli edifici pubblici (scuole e non scuole)

Nel database elaborato per questo studio, il costo totale di ciascun intervento è comprensivo dei finanziamenti ad esso relativo e laddove la spesa accertata sia riferibile a più unità strutturali, queste sono state opportunamente distinte per ciascuna di esse. Una delle difficoltà riscontrate nella raccolta delle informazioni è stata infatti quella di associare i finanziamenti ai singoli edifici oggetto di intervento, trattandosi spesso di aggregati composti da più corpi di fabbrica, come ad esempio nel caso di plessi scolastici con annessa palestra, in cui l'intervento ha interessato solo una parte di essi.

L'ammontare complessivo dei costi di intervento dei 204 interventi, rivalutato ad oggi, ammonta a circa **€ 200 milioni**, ripartiti fra le diverse fonti di finanziamento come meglio rappresentato nelle seguenti tabelle e grafici (Figure n. 6, 7). Le principali fonti di finanziamento fanno riferimento alla L. 289/2002 per le scuole, ai fondi POR e alla L. 77/2009 queste ultime sia per le scuole che per altri edifici pubblici.

Fonte finanziaria	Miglioramento	Adeguamento	Nuova costruzione	Interventi	Finanziamento complessivo
L. 145/2018	1	11	0	12	€ 9.426.107
L. 244/2007	0	11	3	14	€ 11.102.923
L. 289/2002	6	30	30	66	€ 74.092.160
L. 289/02 + POR	2	10	2	14	€ 24.306.190
POR	19	27	1	47	€ 34.445.226
L.77/2009	12	22	6	40	€ 32.069.667
altro	0	4	7	11	€ 41.661.418
Totale	40	115	49	204	€ 198.027.634

Fig. 6 – Tabella fonte di finanziamento finanziaria: numero di interventi e costo complessivo

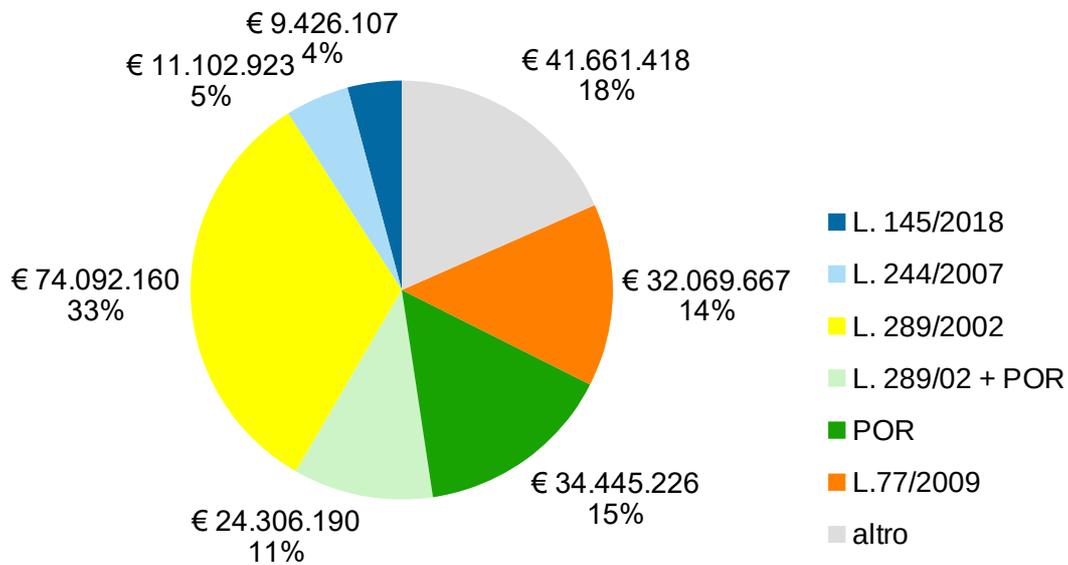


Fig. 7 – Importo totale di spesa per canale di finanziamento

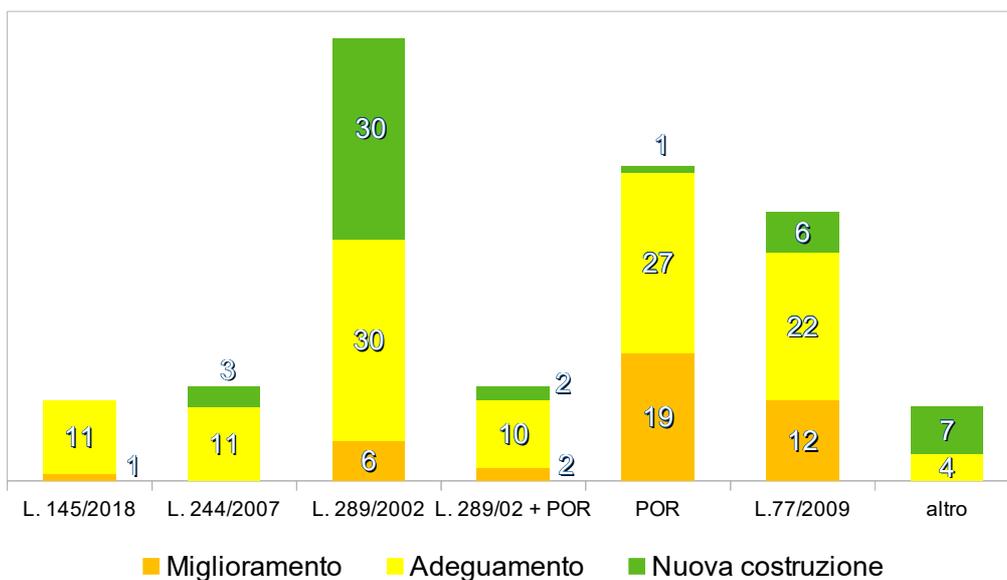


Fig. 8 – Numero e tipo di interventi per canale di finanziamento

2.2 Parametri per la stima dei costi unitari medi

Sulla scorta dell'esperienza acquisita negli anni e anche di precedenti studi è stato avviato uno studio dei costi medi riferiti ad unità di superficie per la realizzazione di interventi di prevenzione sismica di edifici pubblici strategici o rilevanti in Toscana degli ultimi 20 anni circa.

Per calcolare il costo unitario di ciascun intervento oggetto di studio, sono stati raccolti e validati per ogni intervento strutturale, i seguenti dati:

- tipologia di intervento
- costo totale intervento
- superficie dell'edificio oggetto di intervento
- anno di riferimento della spesa

Il rapporto tra il costo totale e la superficie espressa in mq rappresenta il **costo unitario** (€/mq).

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo totale intervento}}{\text{Superficie totale}}$$

dove:

Costo unitario è espresso in Euro a metro quadrato (€/mq)

Costo totale intervento è espresso in euro (€)

Superficie totale lorda dell'intervento è espressa in metri quadrati (mq)

Tipologia di intervento

Le tipologie di intervento strutturale, previste ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2018 cap. 8.4 e diversificate per costi e capacità di riduzione della vulnerabilità sono le seguenti:

- **miglioramento sismico**
- **adeguamento sismico**
- **nuova costruzione**

Per quanto riguarda la nuova costruzione si tratta di opere di demolizione e ricostruzione in situ degli edifici esistenti, valutate a seguito della non convenienza tecnico-economica all'adeguamento sismico; in casi più sporadici si è trattato di delocalizzazione degli edifici conseguenti problematiche di natura geologica (es. situazioni di frana attiva, presenza di faglie attive e capaci, liquefazione dei terreni, ecc.) o di scelte di tipo urbanistico da parte delle amministrazioni proprietarie.

Costo totale intervento

I dati raccolti per la determinazione del **costo totale** degli interventi fanno riferimento a diverse fonti: pareri istruttori rilasciati dagli uffici del Settore Sismica competenti per territorio, rendiconti di spesa sui capitoli di bilancio regionale, relazioni tecniche asseverate delle amministrazioni locali rilasciate in fase di richiesta di saldo.

Il costo totale comprende le seguenti macro categorie di spesa che fanno riferimento alle citate Direttive Tecniche regionali (l'ultima versione è stata approvata con Delibera di GRT n. 286/2023) e così ripartite:

- opere strutturali comprese le eventuali opere di demolizione (opere A);
- opere di finitura e impianti strettamente conseguenti l'esecuzione delle suddette opere strutturali, o complementari ad esse (opere B);
- opere relative ad interventi di consolidamento dei terreni, ivi comprese le opere di sostegno per mettere in sicurezza l'area dell'edificio (opere C). Queste rientrano fra le opere strutturali;

- spese per prestazioni professionali e indagini: oneri e onorari per la redazione dei progetti, le indagini sugli edifici e di carattere geologico e geotecnico, sondaggi, oltre alle fasi di esecuzione, controllo e collaudo degli interventi (direzione dei lavori, collaudo statico), coordinamento della sicurezza, redazione di relazioni, contabilità dei lavori, compenso al Rup, l'Iva ad essi relativa (opere D).

Nel presente studio sono state considerate anche le spese relative alle opere escluse dal finanziamento, sebbene facenti parte dell'appalto, sia perché eccedenti il limite di contributo ammissibile, sia perché non rientranti nelle finalità del finanziamento stesso, come ad esempio altre opere strutturali, le finiture e gli impianti non conseguenti o complementari alle opere strutturali, altri oneri e onorari, l'Iva ad essi relativa (opere E).

Risultano invece del tutto assenti altre spese concernenti le spese non afferenti alla azione di messa in sicurezza sismica, come ad esempio le spese per l'efficientamento energetico.

Per un approfondimento relativo all'analisi delle macro categorie di spesa, variabile per ciascuna tipologia di intervento, si rimanda al capitolo 1 dell'Appendice.

Superficie dell'edificio oggetto di intervento

Per quanto riguarda la **superficie** è stata considerata la somma delle superfici lorde di ogni piano dell'edificio oggetto di intervento. Il dato è stato acquisito tramite la documentazione presente nella verifica tecnica, dai dati di progetto, dai pareri tecnico-economici, dal citato Quadro conoscitivo regionale se disponibili o, in alternativa, da osservazioni e misurazioni su mappa (es. Google Map, cartografia tecnica regionale, ecc.).

Anno di riferimento della spesa

L'anno di riferimento considerato per ciascun intervento è quello in cui sono stati approvati formalmente i prezzi per la realizzazione delle opere e per i quali sono state pubblicate le relative procedure di gara a cura degli Enti.

Dato che gli interventi oggetto di analisi sono stati realizzati in un arco di tempo di circa 20 anni, si è ritenuto opportuno aggiornare i costi per un confronto degli stessi, utilizzando i coefficienti di rivalutazione monetaria forniti dall'Istat (<https://rivaluta.istat.it/Rivaluta/>) i cui valori sono quelli della tabella degli Indici nazionali dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati - valori aggiornati al 2022 – e riportati nella seguente Figura n. 9.

Pertanto Il costo unitario di ciascun intervento è stato moltiplicato per il coefficiente di rivalutazione monetaria fornito dall'Istat (Figura n. 9), in base all'anno di riferimento della spesa

$$\text{Costo unitario rivalutato} = \frac{\text{Costo totale intervento} \times \text{Coeff. rivalutazione}}{\text{Superficie totale}}$$

dove:

Costo unitario rivalutato è espresso in Euro a metro quadrato (€/mq)

Costo totale intervento è espresso in euro (€)

Coefficiente di rivalutazione monetaria fornito dall'Istat così come riportato in tabella di fig. 9

Superficie totale dell'intervento espressa in metri quadrati (mq)

FOI(nt) - Indici nazionali dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati
Generale al netto dei tabacchi (a partire dal Febbraio 1992)

Coefficienti per tradurre valori monetari dei periodi sottoindicati in valori del 2022



1947	43,310	1948	40,905	1949	40,313	1950	40,864	1951	37,245
1952	35,727	1953	35,046	1954	34,128	1955	33,198	1956	31,624
1957	31,024	1958	29,607	1959	29,729	1960	28,961	1961	28,139
1962	26,773	1963	24,901	1964	23,508	1965	22,529	1966	22,087
1967	21,654	1968	21,381	1969	20,797	1970	19,791	1971	18,849
1972	17,846	1973	16,169	1974	13,537	1975	11,553	1976	9,915
1977	8,396	1978	7,466	1979	6,451	1980	5,325	1981	4,486
1982	3,856	1983	3,353	1984	3,033	1985	2,792	1986	2,632
1987	2,516	1988	2,397	1989	2,248	1990	2,119	1991	1,991
1992	1,889	1993	1,813	1994	1,744	1995	1,656	1996	1,594
1997	1,566	1998	1,539	1999	1,515	2000	1,477	2001	1,439
2002	1,404	2003	1,371	2004	1,344	2005	1,321	2006	1,296
2007	1,274	2008	1,234	2009	1,225	2010	1,206	2011	1,174
2012	1,140	2013	1,127	2014	1,125	2015	1,126	2016	1,127
2017	1,115	2018	1,103	2019	1,097	2020	1,101	2021	1,081
2022	1,000								

Fig. 9 – Indici nazionali dei prezzi al consumo e coefficienti per la rivalutazione monetaria (fonte: Istat, 2022)

E' possibile aggiornare i risultati del presente studio ogni volta che l'Istat fornisce un aggiornamento della suddetta tabella, che di regola ha cadenza annuale.

Si tenga presente che tali costi attualizzati tengono conto solo in parte dell'effetto inflazionistico che ha determinato un drastico aumento dei costi dei materiali nel campo delle costruzioni a partire dal secondo semestre 2021 a causa del c.d. "caro materiali" (vedasi D.L. 50/2022 – c.d. *Decreto Aiuti*).

Tali aumenti sono sufficientemente considerati negli indici di rivalutazione dell'Istat per gli anni precedenti al 2021 quando l'inflazione era costante e molto contenuta, mentre per quelli successivi la variazione è più elevata e sarebbe necessario un approfondimento più specifico. A tal proposito si riportano, a titolo puramente informativo, alcuni grafici estrapolati dai report dell'Istat relativi all'inflazione e all'andamento dei prezzi per l'intera collettività (Indice NIC) e i prezzi alla produzione delle costruzioni (Figure n. 10 e 11).

INDICE DEI PREZZI AL CONSUMO NIC

Gennaio 2018 – settembre 2023, variazioni percentuali congiunturali e tendenziali (base 2015=100)

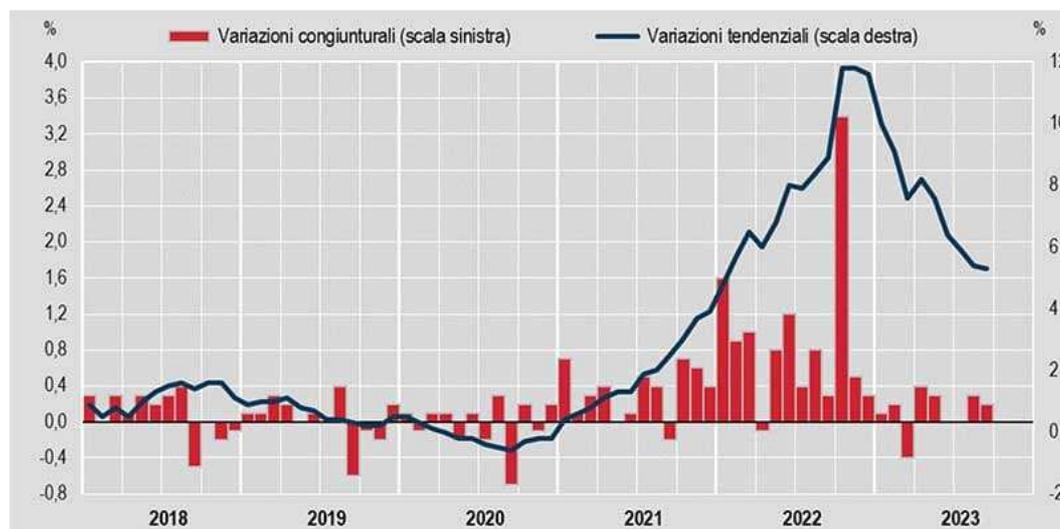


Fig. 10 – Indici dei prezzi al consumo NIC (fonte: Istat, giugno 2023)

FIGURA 4. NUMERI INDICE DEI PREZZI ALLA PRODUZIONE DELLE COSTRUZIONI. EDIFICI RESIDENZIALI E NON RESIDENZIALI

Gennaio 2018 – marzo 2023 (base 2015=100)

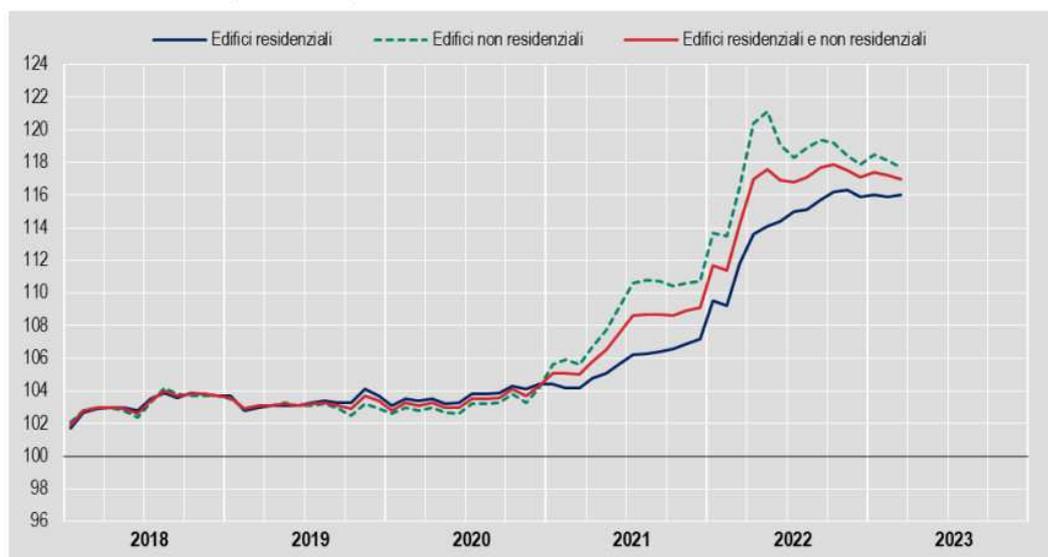


Fig. 11 – Indici dei prezzi alla produzione delle costruzioni (fonte: Istat, marzo 2023)

2.3 Stima dei costi unitari medi per tipologia di intervento

Dopo aver calcolato il costo unitario parametrico (€/mq) di ogni singolo intervento, come descritto nel precedente paragrafo 2.2, per la stima del costo unitario standard si è proceduto analizzando la distribuzione dei dati con analisi statistiche e l'osservazione dei grafici associati per ciascuna tipologia di intervento: miglioramento, adeguamento, nuova costruzione.

Nelle figura n. 12 sono rappresentati, per ciascun intervento, contraddistinti da colori diversi, i valori di costo unitario (€/mq) in ordine decrescente.

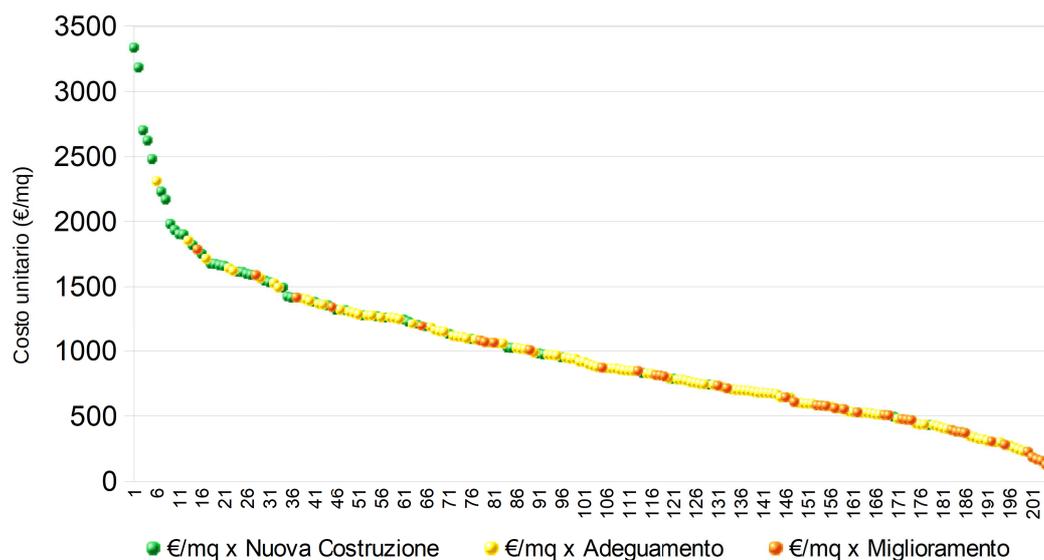


Fig. 12 Distribuzione in ordine decrescente degli interventi per costo unitario (€/mq)

Da una preliminare osservazione del grafico risulterebbe una certa variabilità dei dati, che può dipendere da un insieme di aspetti come ad esempio le dimensioni, le caratteristiche costruttive degli edifici, e le soluzioni progettuali intraprese che si differenziano di volta in volta. Questi aspetti saranno infatti oggetto di approfondimento nel successivo paragrafo 3.

Ad esempio nella figura 13 che segue, sono rappresentati i costi unitari di ciascun intervento in funzione della dimensione dell'edificio (mq) riportata in ascissa. Si osservi che il costo unitario tendenzialmente decresce con l'aumentare della superficie.

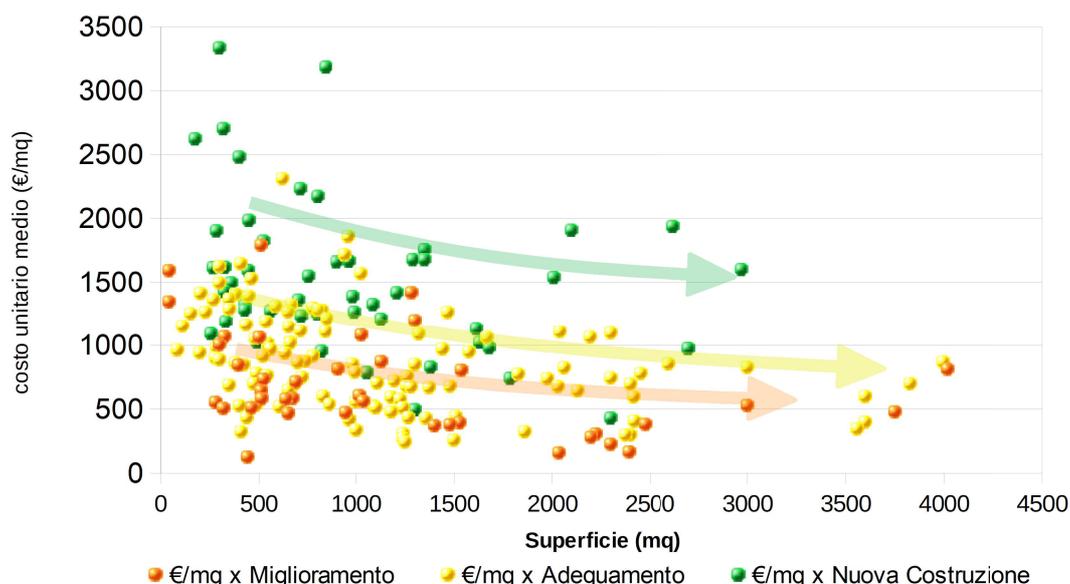


Fig. 13 - Distribuzione dei costi unitari medi (€/mq) per tipo di intervento in funzione della superficie

Dai grafici precedenti si osserva una distribuzione dei dati variabile, con escursioni ampie di valori estremi. Da un punto di vista statistico, con valori molto variabili e in presenza di anomalie, il valore della media aritmetica potrebbe risultare poco rappresentativo a vantaggio del valore mediano, per questo motivo è stato necessario un approfondimento per calcolare sia la **media aritmetica** con la deviazione standard che la **mediana** con i quartili (1° e 3°) e rappresentare i risultati sia dal punto di vista tabellare (Figure n. 14, 15) che grafico con i relativi box-plot (Figure 16, 17).

	Miglioramento	Adeguamento	iova costruzio
N. interventi	40	115	49
Mediana	580	850	1430
Q3+1,5*(Q3-Q1)	1541	1538	2639
Q3	850	1110	1752
Q1	389	593	1188
Q1-1,5*(Q3-Q1)	124	164	301

Fig. 14 – Tabella Costi unitari (€/mq) risultante dalla mediana

	Miglioramento	Adeguamento	Nuova costruzione
N. interventi	40	115	49
Media	680	870	1530
Media + 1,5dev. st.	1279	1455	2442
Media + dev. st.	1079	1260	2138
Media – dev. st.	281	480	922
Media – 1,5dev. st.	124	285	618

Fig. 15 – Tabella Costi unitari (€/mq) risultanti dalla media aritmetica

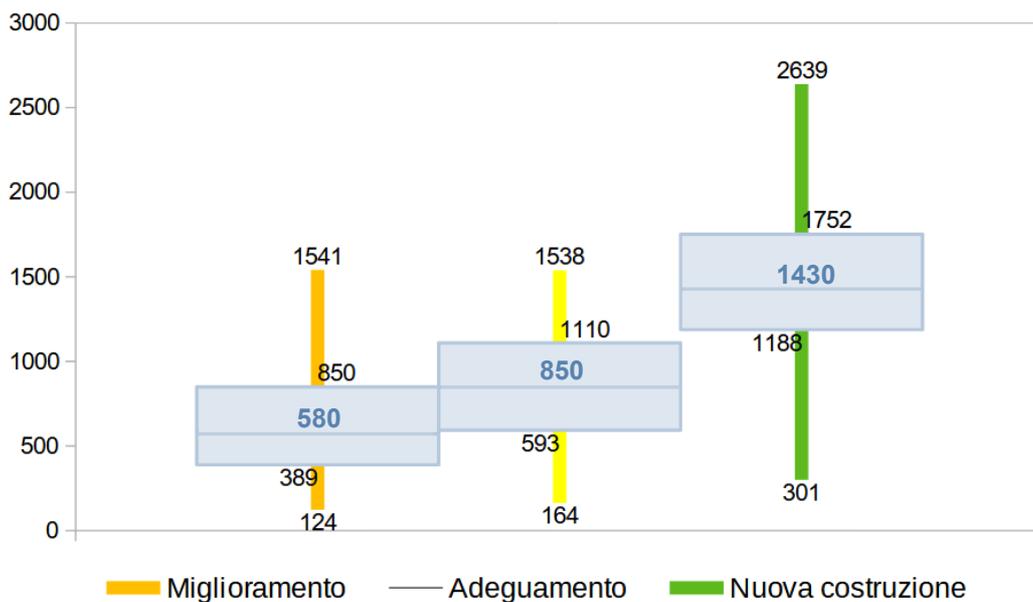


Fig. 16 – Box-Plot riferito alla mediana (valori in €/mq)

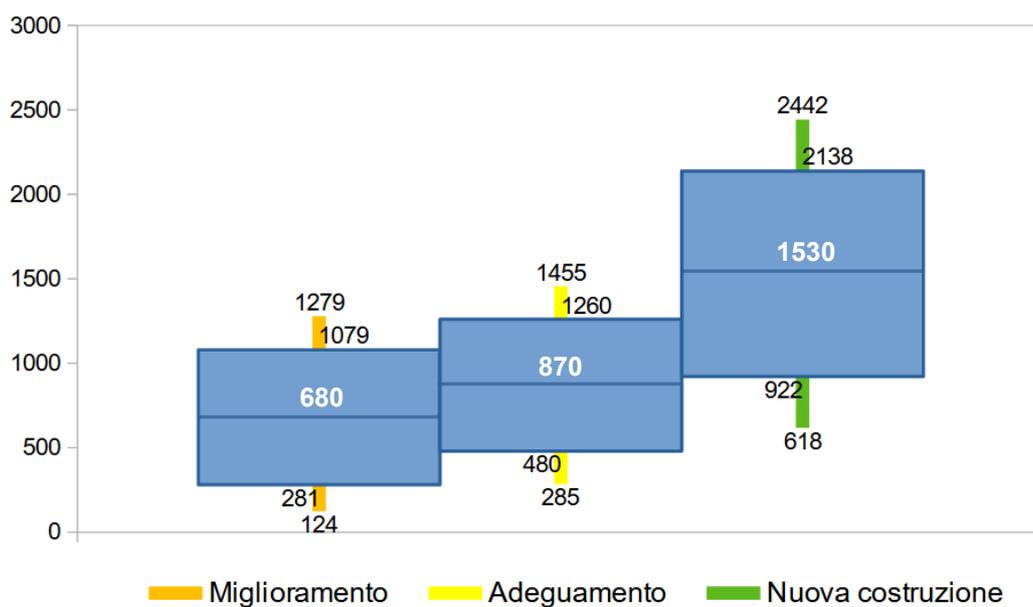


Fig. 17 – Box-Plot riferito alla media aritmetica (valori in €/mq)

Da un primo confronto fra la media aritmetica e la mediana non emergono sostanziali differenze, la differenza fra quest'ultima e la media aritmetica varia nella misura del 3% per l'adeguamento sismico, dell'8% per le nuove costruzioni, mentre risulta più alta per il miglioramento sismico (17%).

Osservando il box-plot della mediana sembrano più evidenti le asimmetrie dei valori del miglioramento sismico e della nuova costruzione, con una discreta dispersione dei dati rispetto al valore centrale e data dalla lunghezza dei baffi. Nel box-plot riferito alla media e deviazione standard questi aspetti risultano meno evidenti.

Nella tabella della Figura 18 sono riportati, per completezza di informazione, gli **indici di posizione** (media aritmetica e mediana) con i rispettivi **indici di variazione** e di **forma**: deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria – calcolata con differenti modelli di calcolo – il valore della curtosi (forma più o meno appuntita), IQR, i valori massimi e minimi, il range e i valori di asimmetria rispetto ai quartili.

	Miglioramento	Adeguamento	Nuova costruzione
Numero valori	40	115	49
media aritmetica	678	870	1531
<i>deviazione standard</i>	399	390	608
<i>coefficiente di variazione</i>	0,59	0,45	0,40
<i>asimmetria (Fischer)</i>	0,92	0,67	0,95
<i>asimmetria (Yule-Bowley)</i>	0,18	0,04	0,15
<i>asimmetria (2° Pearson)</i>	0,75	0,19	0,53
<i>curtosi</i>	0,60	0,67	1,42
mediana	578	845	1470
<i>Q3 (3° quartile)</i>	850	1110	1750
<i>Q1 (1° quartile)</i>	389	593	1188
<i>IQR = Q3 - Q1</i>	461	517	564
<i>X_{max}</i>	1787	2309	3333
<i>X_{min}</i>	124	230	430
<i>range (X_{max}-X_{min})</i>	1663	2080	2903

<i>asimmetria (Q3-Q2)</i>	279	264	328
<i>asimmetria (Q2-Q1)</i>	289	252	237

Fig. 18 – Tabella di confronto dei valori della media aritmetica e della mediana con i rispettivi indici di variazione e di forma

Nelle figure 19, 20 e 21 che seguono è rappresentata la frequenza di distribuzione dei dati per ciascun tipo di intervento con 8 classi ciascuna.

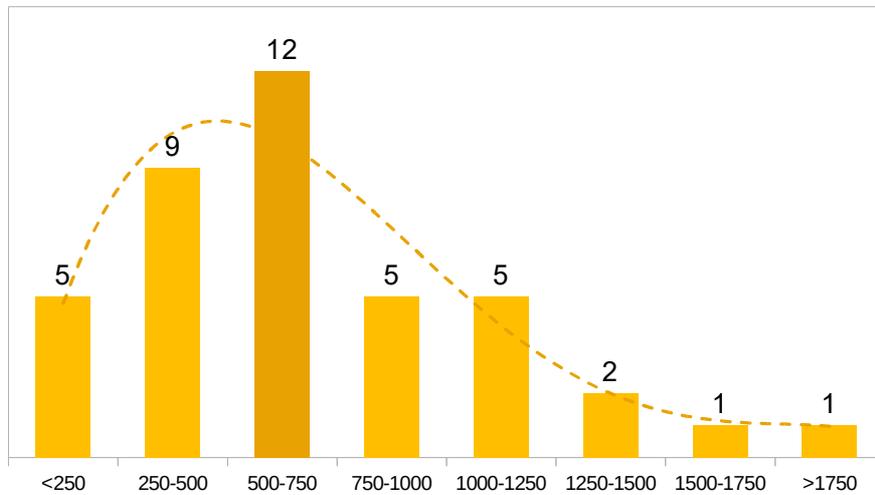


Fig. 18 – Distribuzione per classi della frequenza dei dati per costo unitario (€/mq) - Miglioramento sismico

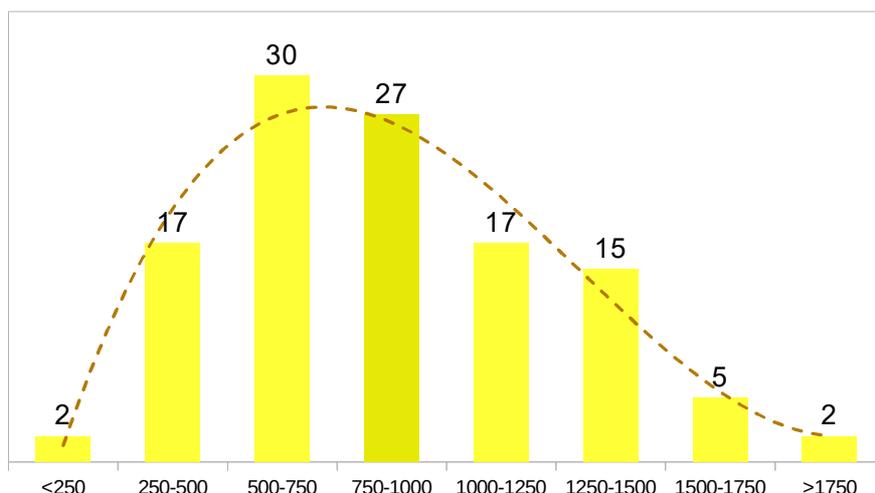


Fig. 19 – Distribuzione per classi della frequenza dei dati per costo unitario (€/mq) - Adeguamento sismico

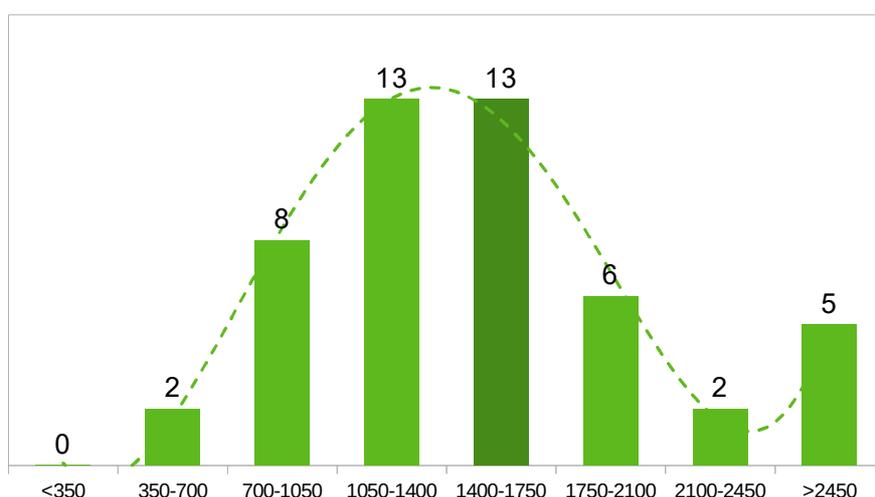


Fig. 20 – Distribuzione per classi della frequenza dei dati per costo unitario (€/mq) – Nuova costruzione

Analisi dei dati

L'analisi dei dati ha evidenziato le seguenti caratteristiche:

- la quantità dei dati è diversa per i tre gruppi di dati: maggiore per l'adeguamento (115) e più rappresentativo, rispetto al miglioramento (40) e alla nuova costruzione (49) che possono risentire maggiormente dei valori estremi;
- la deviazione standard è elevata: miglioramento sismico (399), adeguamento (390) e nuove costruzioni (608);
- non risulta dispersione dei dati per l'adeguamento e la nuova costruzione, confermata dai coefficienti di variazione (valori compresi tra 0,40 e 0,45 comunque minori di 0,5)
- più variabili i risultati del miglioramento sismico in cui c'è una maggiore dispersione (0,59 maggiore di 0,5 ma comunque inferiore a 1);
- la forma delle distribuzioni dei dati risulta lievemente appiattita per il miglioramento e l'adeguamento (curtosi comprese tra 0,60 e 0,67 inferiori a 1) e lievemente appuntita per le nuove costruzioni proprio in corrispondenza della media (curtosi 1,419 > 1);
- ciascuna distribuzione risulta asimmetrica, più marcata per il miglioramento;
- l'asimmetria è confermata sia dai dati numerici, con i valori positivi (dunque con una "coda a destra") che apprezzabile dalla rappresentazione grafica;

- pertanto la media aritmetica risulta maggiore della mediana, in particolare per il miglioramento sismico, meno per le nuove costruzioni e ancora meno per l'adeguamento sismico che ha il campione più elevato di dati;
- sono stati riscontrati alcuni valori estremi elevati (*outliers*) nel caso dell'adeguamento sismico, che tuttavia non si ritiene di escludere in quanto non costituiscono delle eccezionalità;
- lo scostamento tra la media e la mediana è del 3% per l'adeguamento, dell'8% per la nuova costruzione e del 17% per il miglioramento;
- non esiste una moda, in quanto i valori sono singolari e non continui.

Conclusioni

Dall'analisi statistica dei dati accompagnata anche dalle rappresentazioni grafiche, si può osservare che la media aritmetica non si discosta sostanzialmente dalla mediana, se non in minima parte, più spiccata per il miglioramento, e pertanto si può assumere la **media aritmetica** associata agli indici di variazione e di forma della tabella di figura 18, il costo unitario parametrico per i tre tipi di intervento.

Pertanto la stima del costo unitario medio standard, per unità di superficie, risulta come segue (vedi figura 21):

- **1.530 €/mq per interventi di nuova costruzione**
- **870 €/mq per interventi di adeguamento sismico**
- **680 €/mq per interventi di miglioramento sismico**

che, per unità di volume, risulta:

- **390 €/mc per interventi di nuova costruzione**
- **230 €/mc per interventi di adeguamento sismico**
- **180 €/mc per interventi di miglioramento sismico**

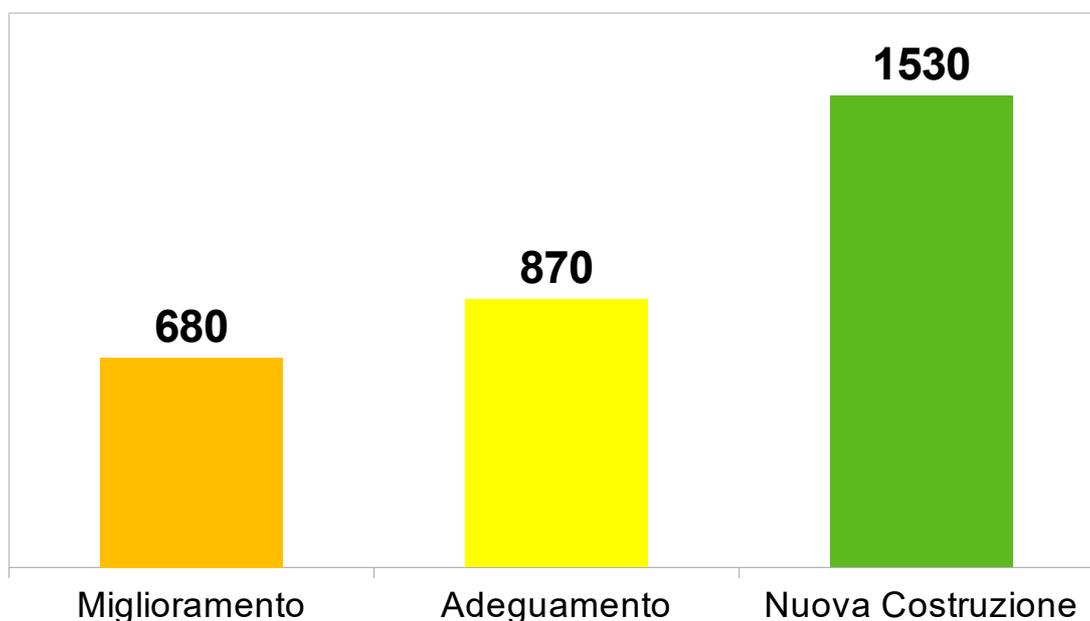


Fig. 21 Costo medio unitario parametrico (€/mq) per ciascuna tipologia di intervento

--	--	--	--

3 Analisi dei parametri per la valutazione dei costi

Come anticipato in premessa, laddove disponibili ulteriori informazioni, sono stati presi in esame alcuni ulteriori parametri degli edifici oggetto di intervento, per valutare possibili correlazioni con i costi unitari.

I parametri fanno riferimento alle caratteristiche intrinseche ed estrinseche dell'edificio:

- ubicazione geografica (che tenga conto della zona sismica, dimensioni dei Comuni, area montana, livello socio-economico, ecc.)
- destinazione d'uso
- epoca costruttiva
- tipologia costruttiva
- indice di rischio ante-operam risultante dalle verifiche tecniche
- dimensione degli edifici (mq)

Nei successivi paragrafi sono illustrati in dettaglio i risultati relativi a ciascun parametro.

3.1 Ubicazione geografica

Gli interventi sono ubicati prevalentemente nei comuni classificati in zona sismica 2 della Toscana, in particolare il 90% appartiene a 4 province: Arezzo, Firenze, Lucca e Massa Carrara per le quali il campione è rappresentativo, mentre il restante 10% è ubicato nelle province di Grosseto, Pistoia, Prato e Siena. Non ci sono edifici delle province di Pisa e Livorno. Pertanto il campione è rappresentativo delle prime 4 aree di cui è possibile un confronto dei valori.

Innanzitutto non è possibile stabilire alcuna correlazione tra i costi unitari e la zona sismica perché la quasi totalità degli interventi si trova in zona sismica 2 e prevalentemente nelle aree dell'appennino. Per quanto riguarda invece le caratteristiche demografiche, fisiche ed economiche delle amministrazioni locali proprietarie si è fatto riferimento alla definizione di "**Comuni disagiati**" ai sensi della L.R. 68/2011 a cui sono attribuiti punteggi di c.d. "disagio" con Delibera di GRT 1429/2022 che definisce sinteticamente le caratteristiche dei comuni. Si sono considerati molto disagiati i comuni oltre il 3° quartile del punteggio (89).

Le figure seguenti (Figure n. 22, 21, 22, 23 e 24) mostrano i dati in modo sintetico.

Prov.	Miglioramento	Adeguamento	Nuova costruzione	Totale	Costo totale
AR	19	34	18	71	€ 69.621.479,31
FI	3	34	5	42	€ 44.792.668,86
GR	0	1	0	1	€ 384.000,00
LU	4	23	14	41	€ 40.565.842,32
MS	6	14	12	32	€ 29.214.240,23
PO	1	3	0	4	€ 4.436.737,40
PT	2	6	0	8	€ 6.322.205,13
SI	5	0	0	5	€ 2.690.461,09
Totale	40	115	49	204	€ 198.027.634,34

Fig. 22 – Numero di interventi per provincia e costo totale per tipo di intervento

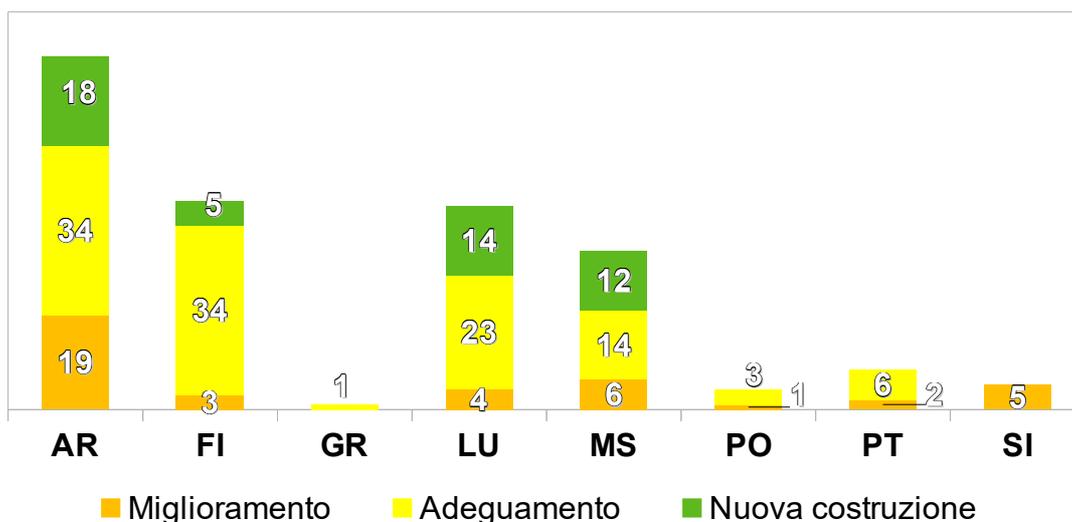


Fig. 23 – Numero di interventi per provincia e tipo di intervento

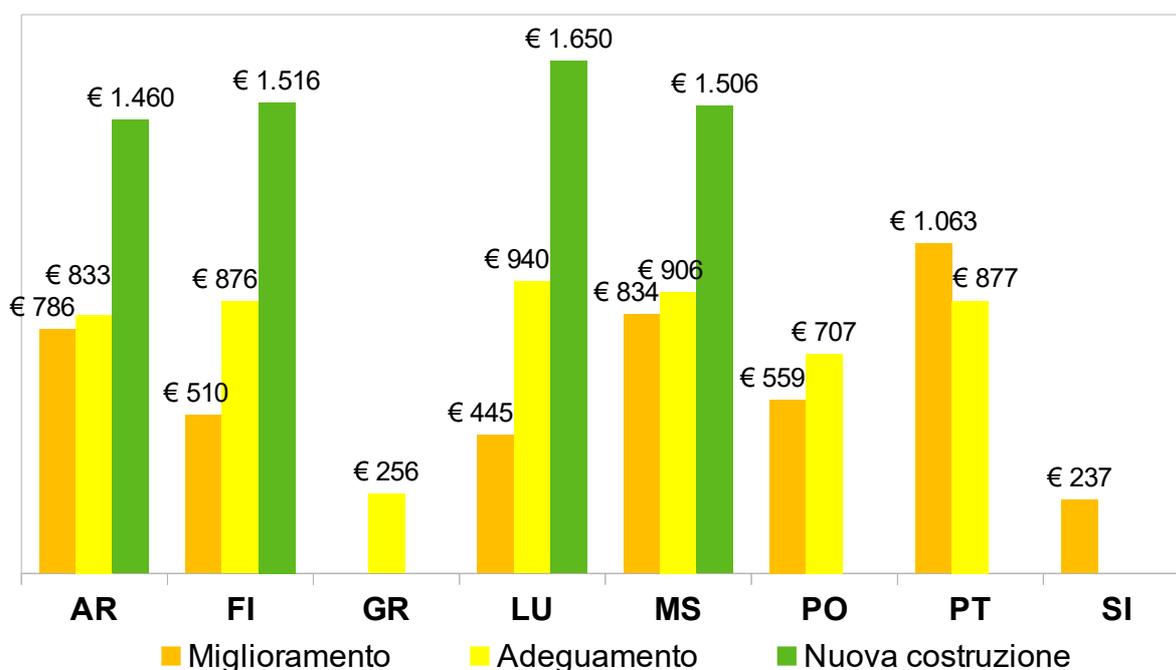


Fig. 24 – Costi unitari medi (€/mq) per provincia e tipo di intervento

Nelle figure seguenti (Figure 25, 26) si osserva la distribuzione del numero di interventi per comuni “disagiati”, in cui risulta che il 65% degli interventi ricade in comuni “disagiati” con punteggio oltre il valore mediano (69) e circa il 25% in comuni “molto disagiati” con punteggio superiore al 3° quartile (89).

Considerata la popolazione di dati significativa per sole 4 province (Arezzo, Firenze, Lucca e Massa Carrara), le considerazioni sono limitate a queste province. Tuttavia non è riscontrabile una correlazione tra l’area geografica e il costo unitario parametrico degli interventi. Tanto meno per quanto riguarda il livello di “Comune disagiato”.

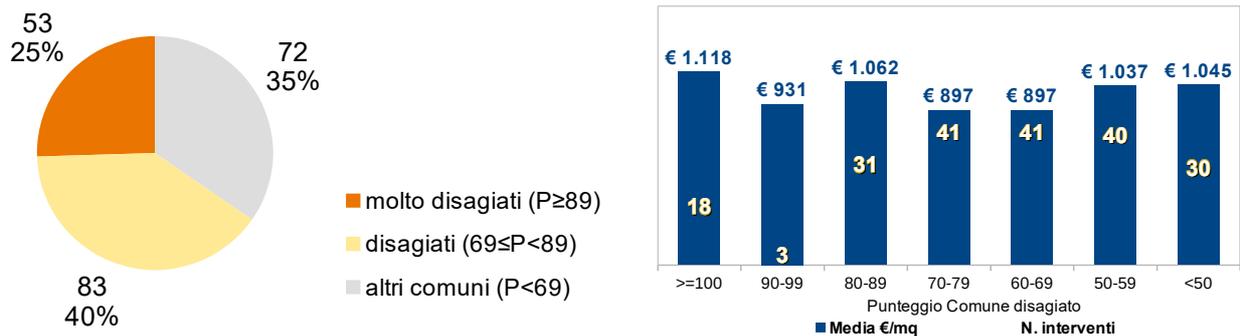


Fig. 25– Numero dei comuni per classe di disagio e costi unitari medi (€/mq)

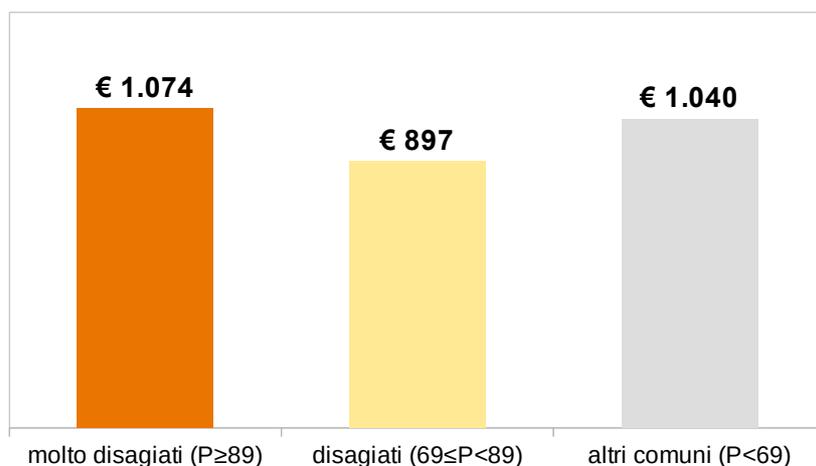


Fig. 26 – Costi unitari medi (€/mq) per livello di disagio dei comuni

3.2 Destinazione d'uso

Per quanto riguarda la destinazione d'uso degli edifici sono state considerate tre categorie principali: gli edifici scolastici con annesse palestre, i municipi e gli altri edifici con funzioni strategiche o rilevanti. Le scuole rappresentano il 77% del campione, i municipi il 13% e gli altri edifici il 9%. Per quanto riguarda invece le tipologie di intervento, la prevalenza dell'adeguamento e delle nuove costruzioni riguarda quasi esclusivamente gli edifici scolastici (circa l'86%). Di seguito le tabelle e i grafici (Figure n. 27, 28 e 29).

Prov.	N. interventi	Media €/mq	N. interventi	Media €/mq	N. interventi	Media €/mq	N. interventi
	M	M	M	A	NC	NC	Totale
Edifici scolastici	17	€ 637	97	€ 857	44	€ 1.478	158
Municipi	17	€ 761	9	€ 897	1	€ 1.820	27
Altro uso	6	€ 558	9	€ 985	4	€ 2.048	19
Totale	40	€ 678	115	€ 870	49	€ 1.531	204

Fig. 27 – Tabella con il numero di interventi per tipologia d'uso e tipo di intervento e costi medi unitari

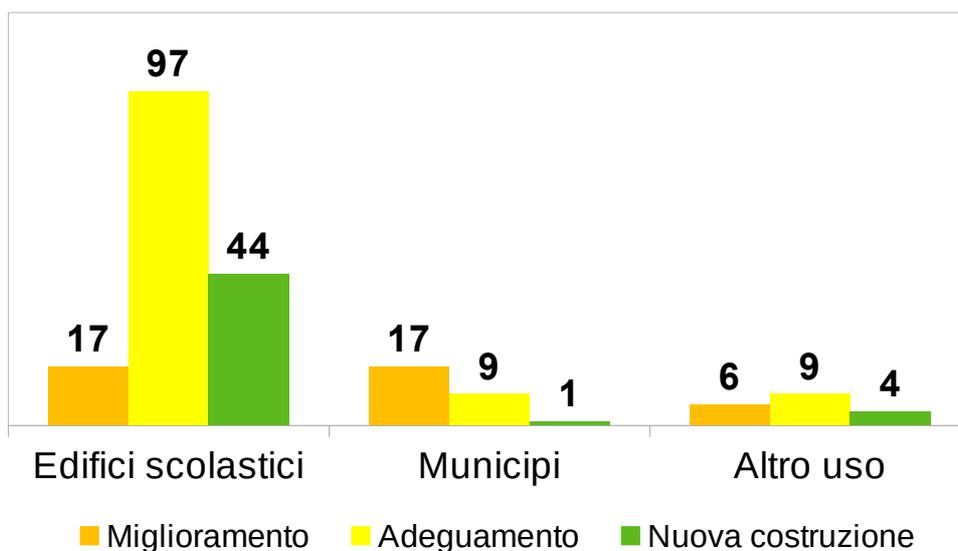


Fig. 28 – Numero di interventi per tipologia d'uso e tipo di intervento

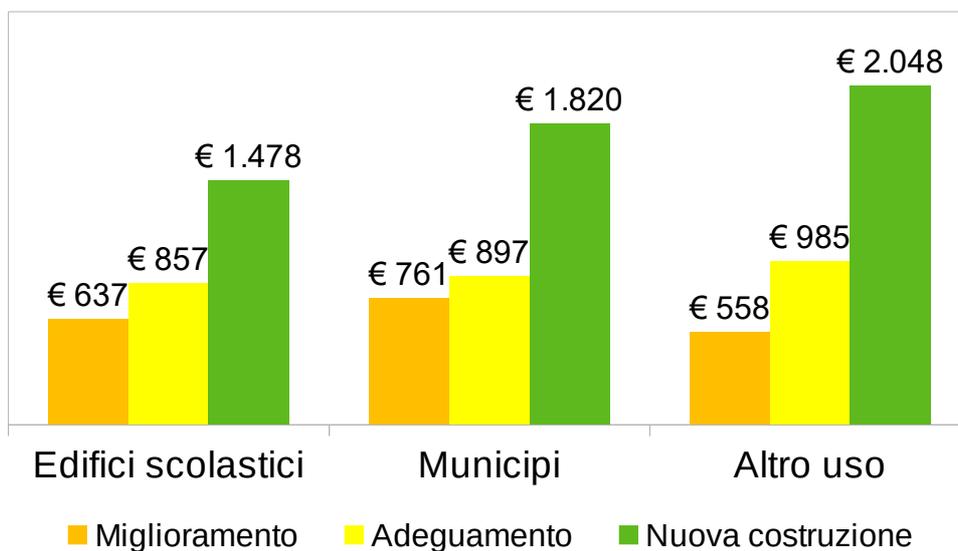


Fig. 29 – Costo unitario medio (€/mq) per destinazione d'uso per tipo di intervento

Considerato che il campione è costituito prevalentemente da edifici scolastici, è molto difficile osservare una correlazione dei costi unitari medi in funzione della sola destinazione d'uso. Possiamo solo constatare un generale minor costo unitario per interventi su edifici scolastici.

3.3 Epoca costruttiva

Le epoche costruttive, per semplicità di rappresentazione, sono state raggruppate in 5 classi che rappresentano in una certa misura la vulnerabilità delle costruzioni, dovuta sia alla vetustà che allo stato di manutenzione, ma anche all'applicazione delle norme tecniche delle costruzioni al momento della progettazione.

Si fa presente che l'epoca di realizzazione di un edificio non sempre è di facile individuazione, sia per la difficoltà a reperire tale dato, ma anche a seguito degli interventi che si sono stratificati nel tempo.

Di seguito i risultati in tabella con i grafici (Figure n. 30, 31, 32 e 33).

Epoca	N. Miglioramento	Media – costo/mq M	N. Adeguamento	Media - Costo/mq A	N. Nuova costruzione	Media - Costo/mq NC	N. Totale
Edificio storico	€ 17,00	€ 665	9	€ 1.043	1	€ 1.546	27
Tra il 1900 e il 1945	10	€ 788	12	€ 897	4	€ 1.365	26
Tra il 1946 e il 1970	7	€ 571	44	€ 895	24	€ 1.524	75
Tra il 1971 e il 1985	5	€ 694	46	€ 808	10	€ 1.597	61
Dopo il 1985	1	€ 471	3	€ 800	10	€ 1.547	14
ND	0	€ 0	1	€ 939	0	€ 0	1
Totale	40	€ 678	115	€ 870	49	€ 1.531	204

Fig. 30 – Tabella Epoca di costruzione: numero di interventi per tipo di intervento e costo unitario medio (€/mq)

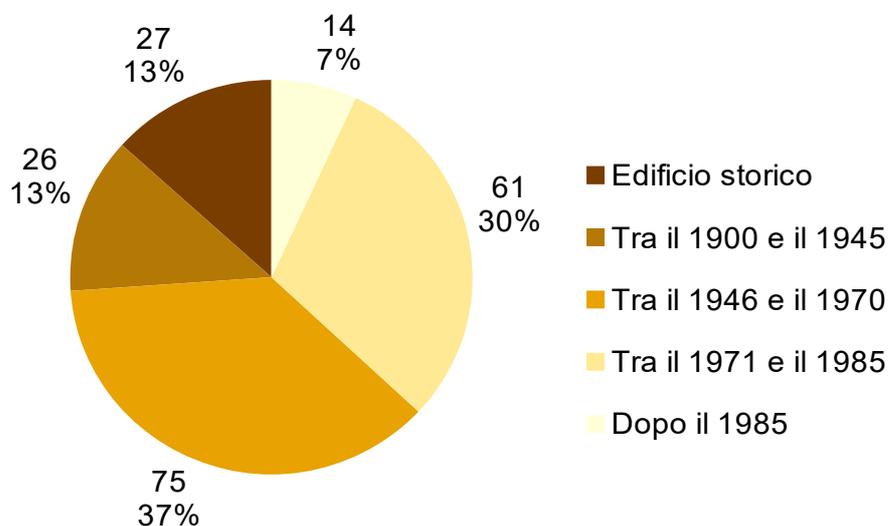


Fig. 31 – Numero di interventi per epoca di costruzione

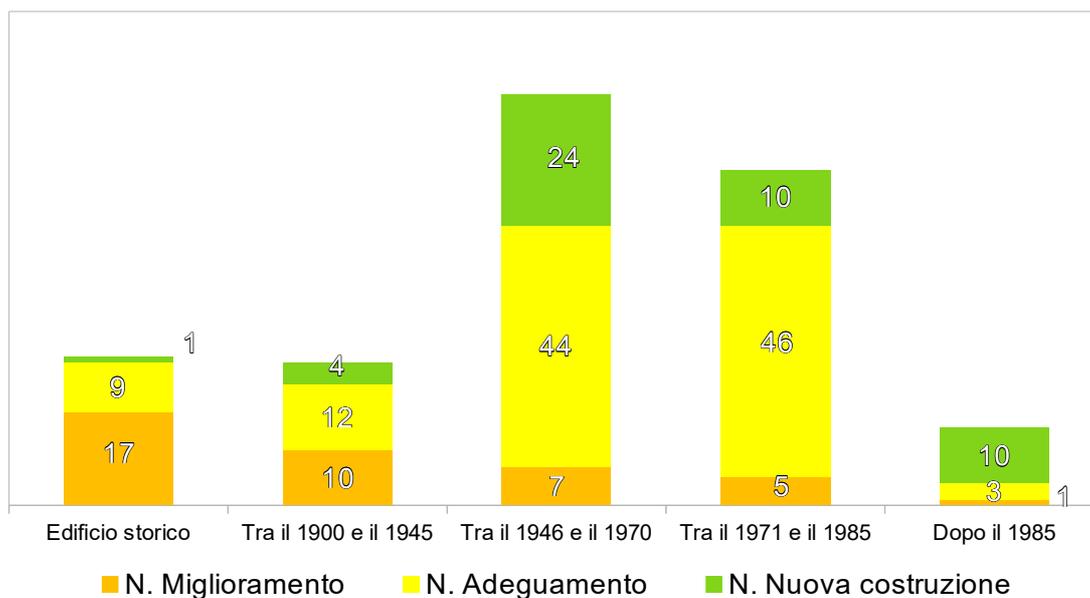


Fig. 32 – Numero di interventi per epoca di costruzione e per tipo di intervento

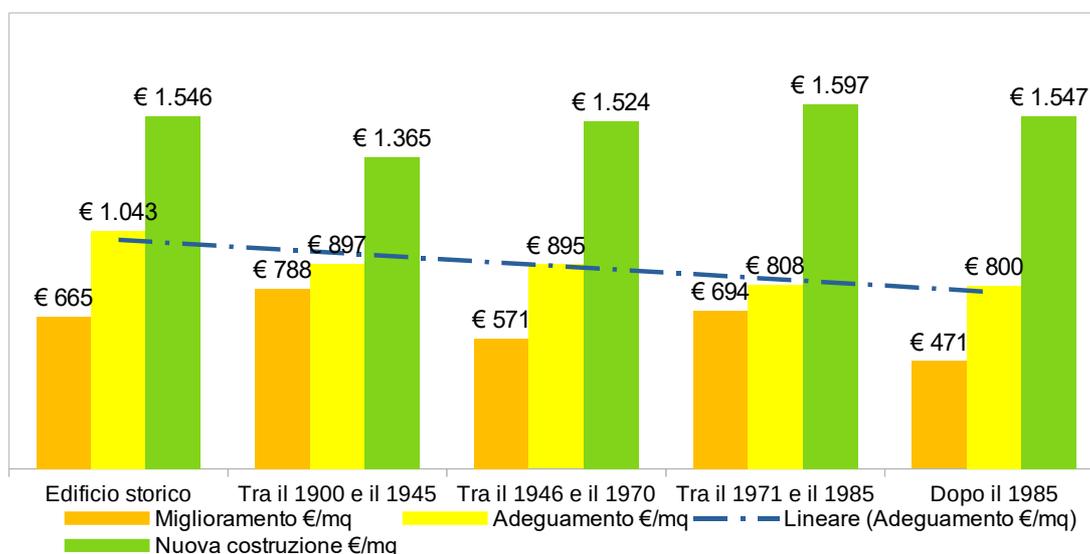


Fig. 33 – Costo unitario medio per epoca di costruzione e per tipo di intervento

Per quanto riguarda gli interventi di adeguamento sismico si osserva un andamento lineare decrescente del costo unitario medio in funzione dell'epoca costruttiva degli edifici. Risulta invece di difficile interpretazione il risultato per gli edifici oggetto di miglioramento sismico, a causa del numero limitato del campione, mentre non c'è variazione significativa dei costi unitari per le nuove costruzioni.

Per gli interventi di adeguamento è stata inoltre approfondita l'analisi dei dati combinando l'Indice di rischio ante-operam con l'epoca costruttiva, come rappresentato in sintesi nella figura seguente (Fig. 34). Sono stati scelti per l'epoca costruttiva solo i periodi dal 1946 al 1970 e dal 1971 al 1985, a seguito della popolosità del campione di dati; negli altri periodi i dati sono rarefatti e quindi poco significativi. Risulta confermata la generale tendenza evidenziata nel grafico precedente di Fig. 33 che mostra una diminuzione del costo unitario con l'aumento dell'indice di rischio ante-operam indipendentemente dall'epoca costruttiva.

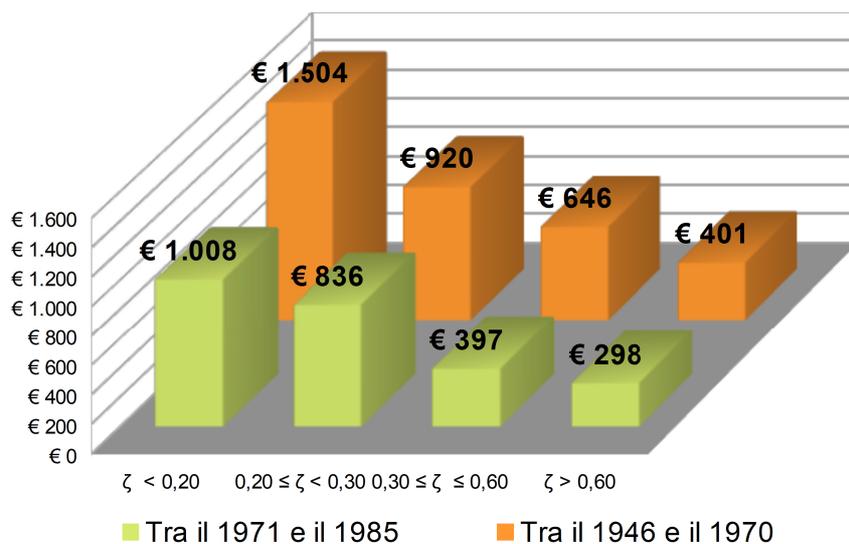


Fig. 34 – Costi unitari medi (€/mq) solo per interventi di adeguamento sismico per Indice di rischio ante-operam per le due fasce numericamente più significative di epoca costruttiva (1946-70 e 1971-85)

3.4 Tipologia costruttiva

Le tipologie costruttive degli edifici oggetto di intervento considerate sono tre: muratura, calcestruzzo armato e altro; comprendendo in quest'ultima categoria le strutture miste, prefabbricate, in acciaio o legno. L'analisi vuole verificare la eventuale differenza di costo di intervento tra gli edifici in muratura, generalmente di epoca più antica, rispetto agli edifici in calcestruzzo armato. Di seguito i risultati in tabella con il grafico (Figure n. 35, 36).

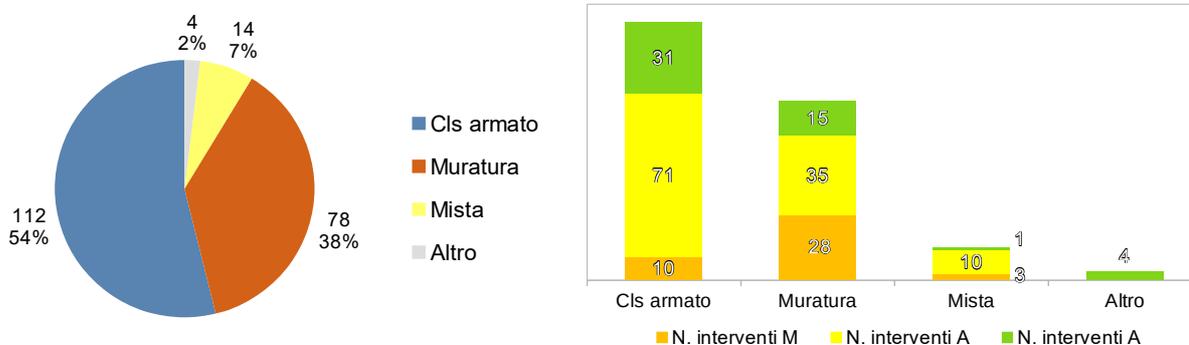


Fig. 35 – Numero di interventi per tipologia costruttiva e per tipo di intervento

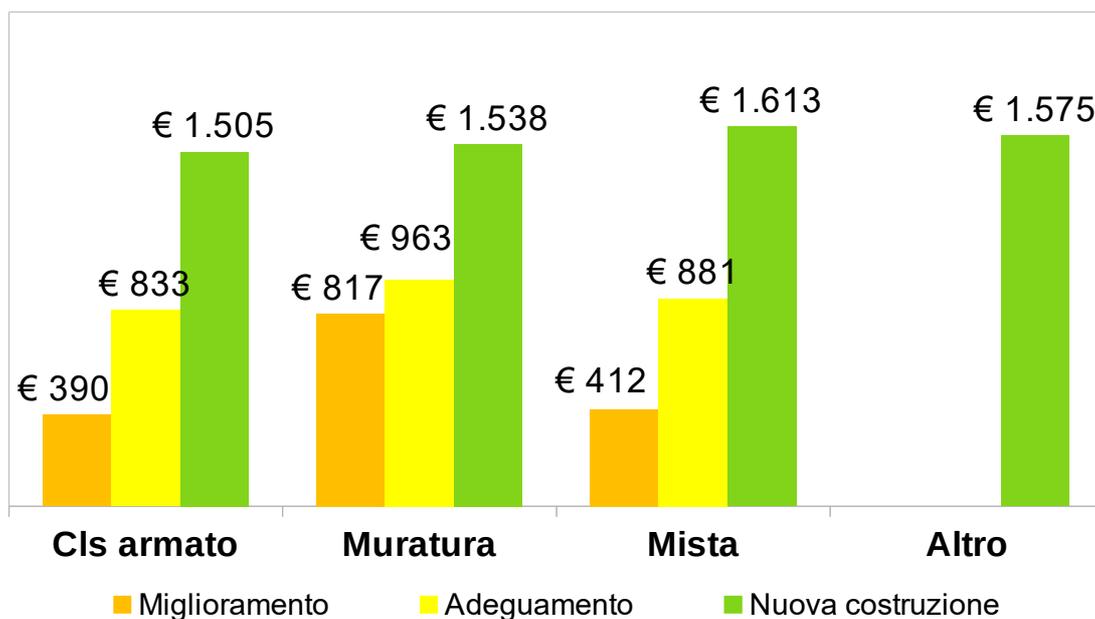


Fig. 36 – Costo unitario medio (€/mq) per tipologia costruttiva e per tipo di intervento

Dall'esame della Figura n. 36, si apprezza una differenza di costo unitario tra la muratura e il cemento armato, sia per il miglioramento che per l'adeguamento. Tuttavia tale indicazione, in riferimento al campione analizzato, composto prevalentemente da edifici scolastici, potrebbe essere condizionata dal fatto che generalmente le scuole in cemento armato sono più grandi e più recenti e quindi con costi di intervento più bassi rispetto agli edifici in muratura, generalmente di dimensioni minori e di epoca più antica, che presentano costi un po' più elevati.

3.5 Indice di rischio

L'indice di rischio ante-operam è un indicatore della vulnerabilità dell'edificio calcolato a seguito delle verifiche tecniche obbligatorie per gli edifici strategici e rilevanti costruiti prima del 1984 o successivi ma con classificazione sismica variata in senso sfavorevole, come previsto dall'Opcm 3274/2003.

L'informazione sull'Indice di rischio ante-operam, è riferita ad un campione di 157 interventi, da cui sono stati estratti n. 83 interventi, 14 di miglioramento (il 34%) e 69 di adeguamento (il 60%). Non si è tenuto conto del suddetto Indice in caso di nuove costruzioni.

I dati sono stati aggregati per classi di valori tenendo conto della distribuzione rispetto al campione e scegliendo scaglioni significativi. L'obiettivo è stato quello di individuare una eventuale correlazione statistica tra i valori dell'Indice di rischio, che esprime in una certa misura la vulnerabilità degli edifici, l'epoca di costruzione e il costo di intervento. Di seguito i risultati presentati in tabella e in grafico (Figure n. 37, 38), e la distribuzione dei costi medi (€/mq) al variare dell'indice di rischio per i soli interventi di adeguamento sismico (Figure n. 39, 40).

Ind_rischio	N. interventi M	Media - Costo/mq M	N. interventi A	Media - Costo/mq A
$\zeta \leq 0,30$	3	€ 653	55	€ 904
$0,30 < \zeta < 0,60$	11	€ 776	11	€ 647
$\zeta \geq 0,60$	0		3	€ 367
Totale	14		69	

Fig. 37 – Tabella Indice di rischio: numero di interventi di miglioramento e adeguamento e costo unitario medio

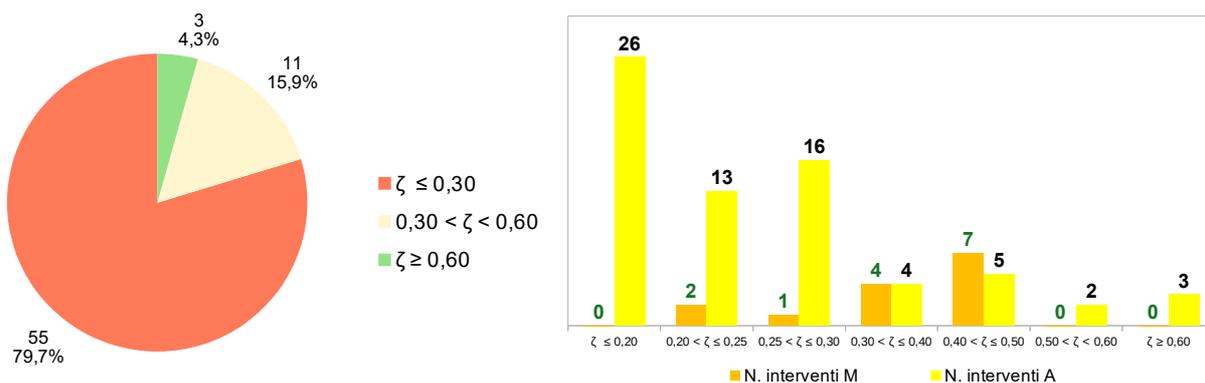


Fig. 38 – Numero di interventi di miglioramento e adeguamento per Indice di rischio

Considerato che il campione è numericamente rappresentativo solo per gli interventi di adeguamento, è stato condotto un approfondimento solo di quest'ultima tipologia di intervento, tenendo altresì conto che la maggior parte si concentra per valori dell'Indice di rischio inferiori a 0,30.

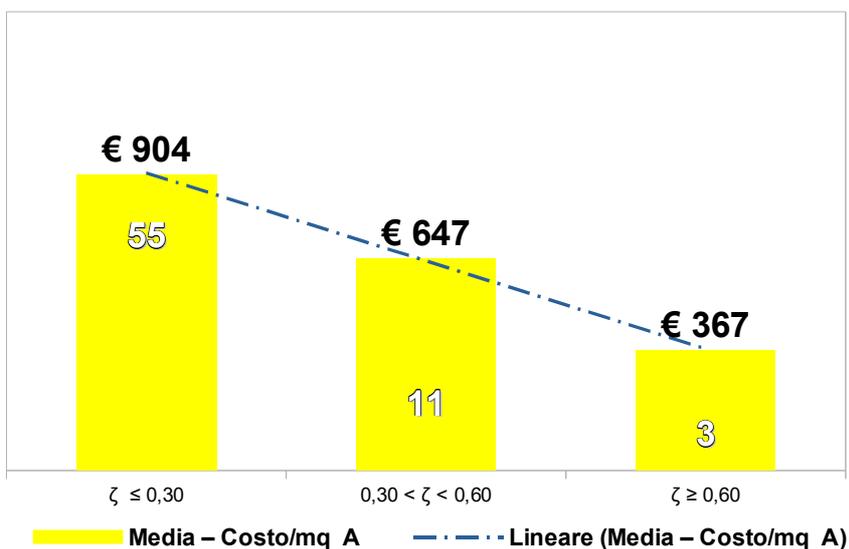


Fig. 39 – Interventi di adeguamento sismico: numero e costo unitario medio per Indice di rischio

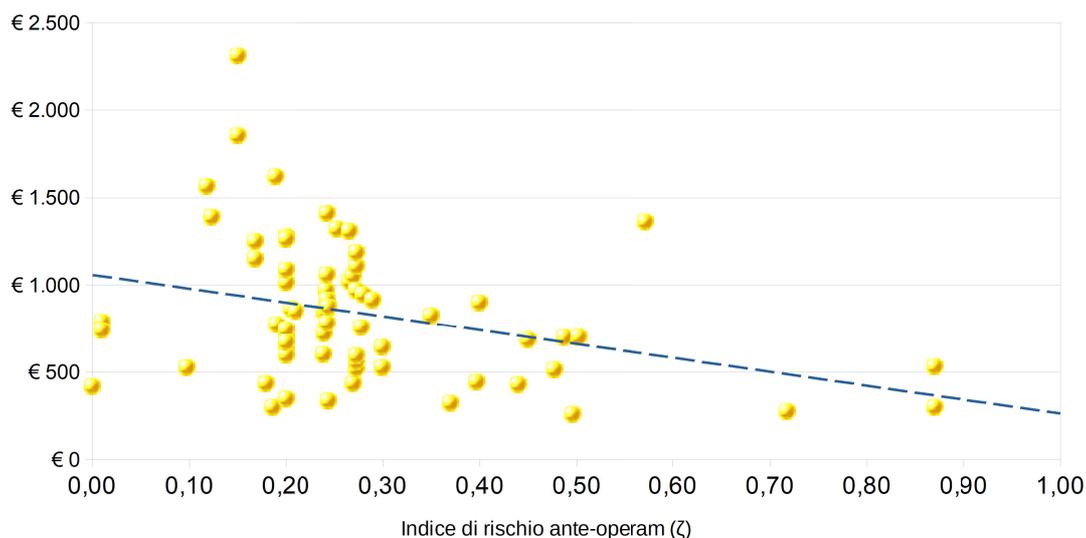


Fig. 40 – Distribuzione del costo unitario medio (€/mq) degli interventi di adeguamento sismico in funzione dell'Indice di rischio ante-operam

Per gli interventi di adeguamento sismico risulta apprezzabile una linearità decrescente dei costi unitari medi al crescere del valore dell'Indice di rischio, confermando le ipotesi di partenza. Più difficile stimare il decremento medio per ogni incremento del valore dell'Indice di rischio, comunque nell'ordine di circa il 15% per ogni incremento di I_r pari a 0,10.

3.6 Dimensione degli edifici

Uno dei parametri su cui è stata posta particolare attenzione è la dimensione degli edifici, in considerazione di eventuali economie di spesa. Gli interventi sono stati raggruppati per classi di superficie, come visibile nella tabella di figura n. 41. Sono state quindi individuati scaglioni significativi anche in base alla distribuzione numerica di ciascun intervallo.

Superficie (MQ)	N. interventi M	Miglioramento €/mq	N. interventi A	Adeguamento €/mq	N. interventi NC	Nuova costruzione €/mq	N. interventi Totale	Totale €/mq
<350	6	€ 1.009	12	€ 1.184	9	€ 1.943	27	€ 1.398
350-500	3	€ 492	17	€ 970	7	€ 1.595	27	€ 1.079
500-750	9	€ 793	20	€ 1.030	5	€ 1.582	34	€ 1.049
750-1000	2	€ 642	13	€ 1.064	9	€ 1.674	24	€ 1.258
1000-1500	8	€ 809	25	€ 654	9	€ 1.240	42	€ 809
1500-2000	2	€ 598	7	€ 648	4	€ 968	13	€ 739
2000-2500	6	€ 252	13	€ 708	3	€ 1.290	22	€ 663
2500-3000	0		1	€ 854	3	€ 1.501	4	€ 1.340
>=3000	4	€ 367	7	€ 448	0		11	€ 418
Totale	40		115		49		204	

Fig. 41 – Tabella Dimensione edifici: numero di interventi e costo unitario medio per dimensioni e tipo di intervento

Nei grafici che seguono è rappresentata il numero di interventi per ogni categoria di superficie e tipo di intervento (Figura n. 42) e la distribuzione ordinata degli interventi per dimensione totale (Figura n. 43).

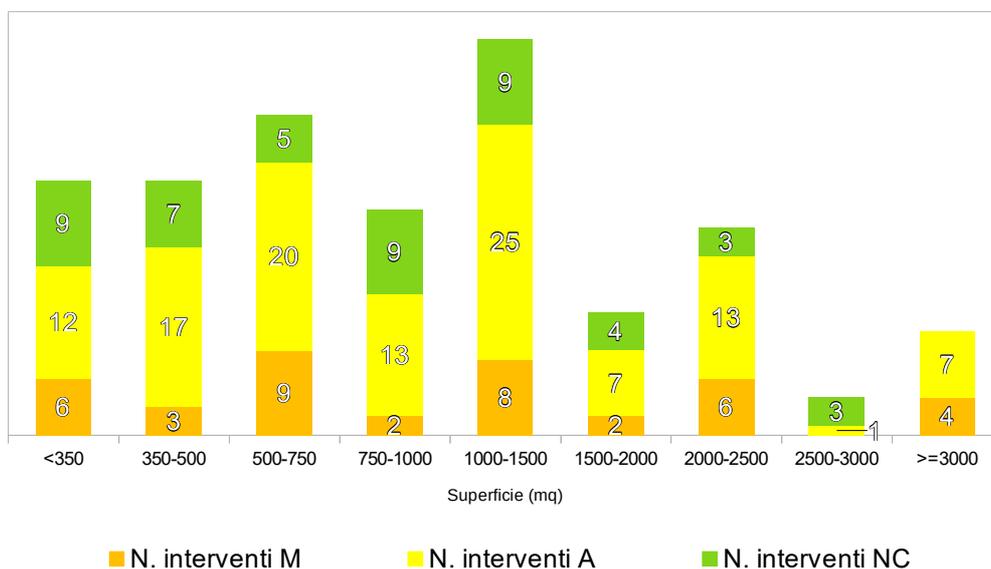


Fig. 42 – Numero di interventi per dimensioni e per tipo di intervento realizzato

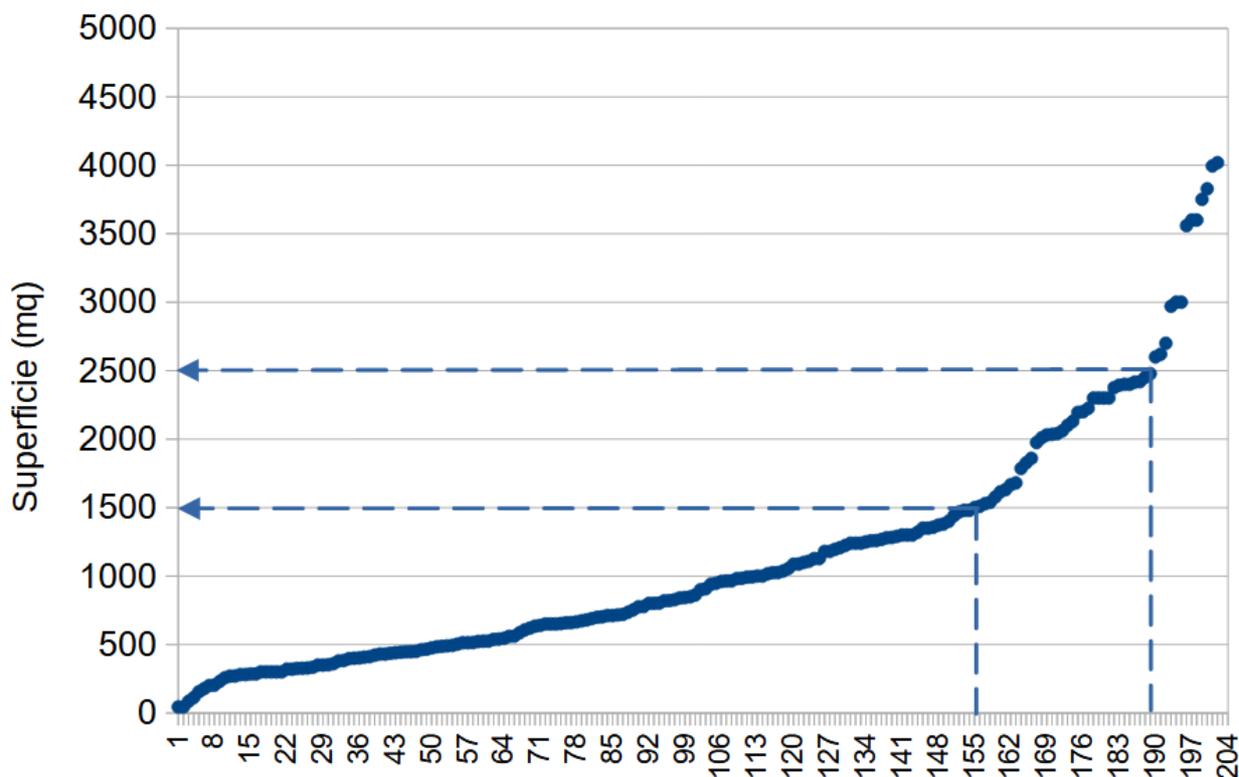


Fig. 43 – Distribuzione ordinata del numero di interventi per dimensioni (superficie totale in mq) dove sono stati evidenziati i punti di variazione della pendenza della retta che li descrive

Dalla precedente figura n. 43, si osserva che la distribuzione di tutti gli interventi in ordine crescente di superficie mostra un andamento lineare fino a 1.500 mq di superficie, con un incremento esponenziale oltre i 2.500 mq di superficie, con due punti di flesso in corrispondenza di questi valori. Nel primo insieme si collocano il 17% degli interventi totali e nell'ultimo poco più del 7%. In questa rappresentazione sono stati esclusi i valori estremi (*outliers*).

Per quanto riguarda i costi medi (€/mq) in relazione alla superficie totale le figure che seguono mostrano i risultati in dettaglio per ogni tipologia di intervento (Figure n. 44, 45, 46 e 47).

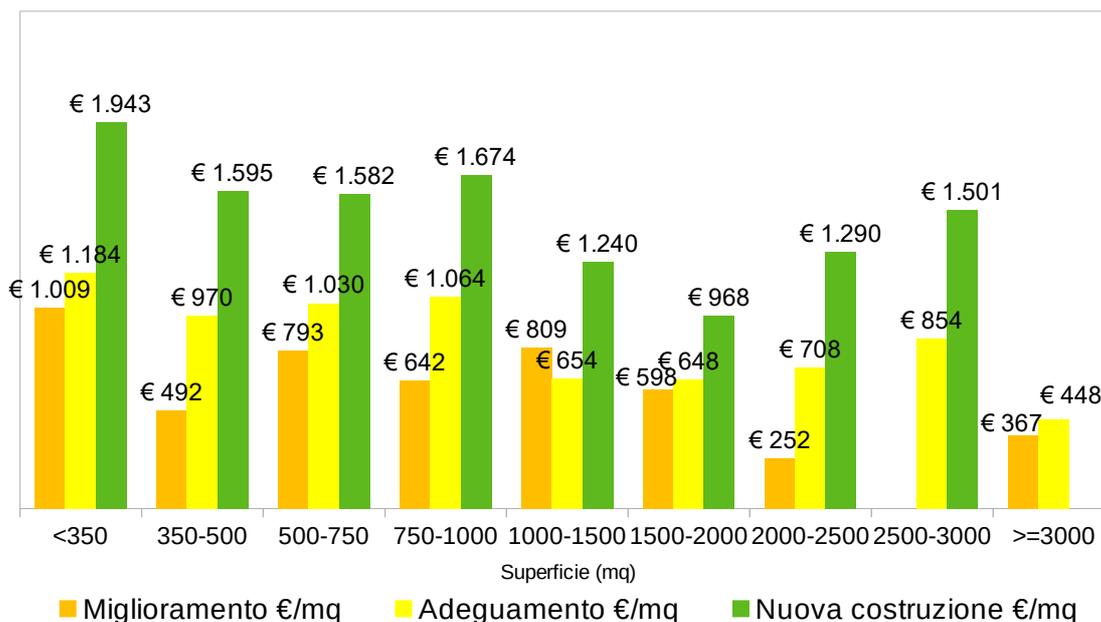


Fig. 44 – Costo unitario medio (€/mq) per classe di superficie (mq) e tipo di intervento

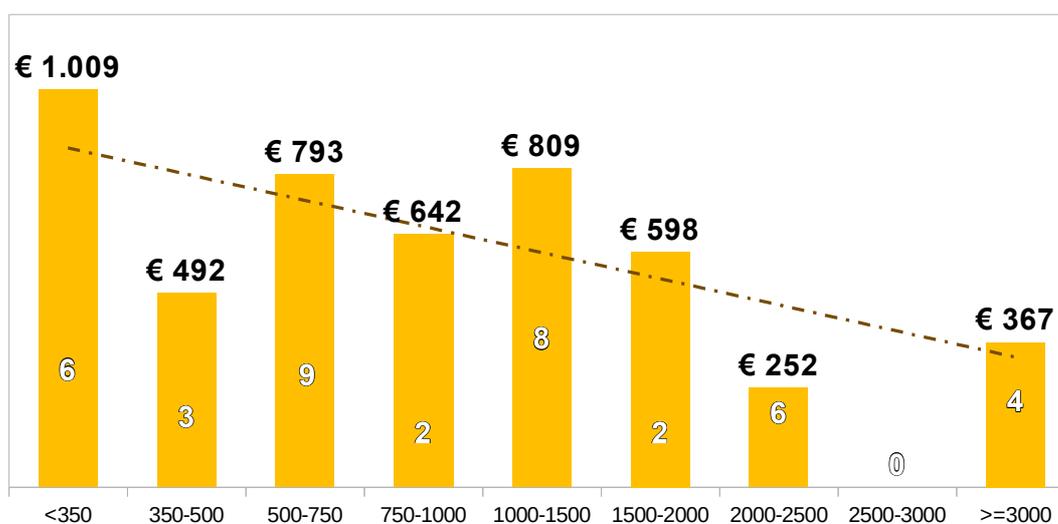


Fig. 45 – Numero di interventi di miglioramento sismico per classe di superficie e costo €/mq

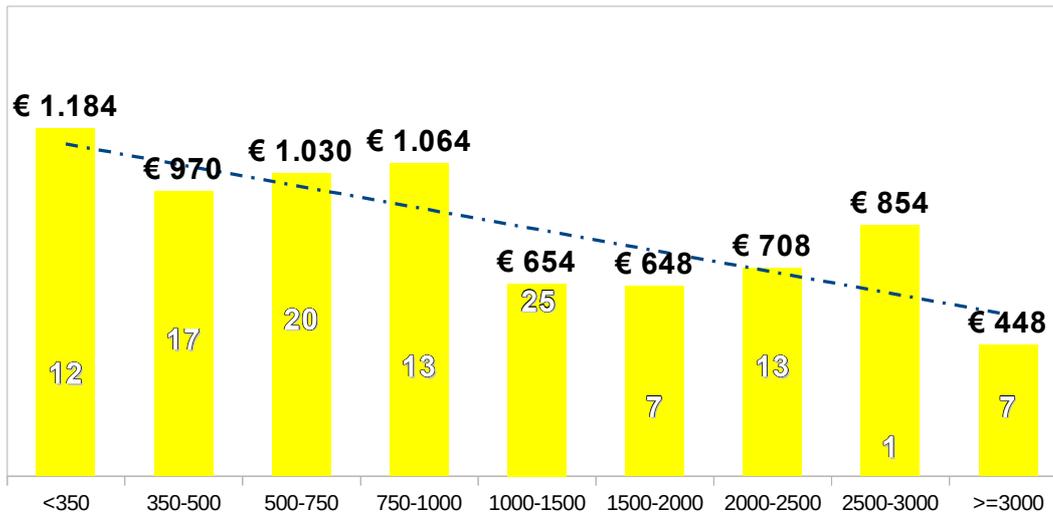


Fig. 46 – Numero di interventi di adeguamento sismico per classe di superficie e costo €/mq

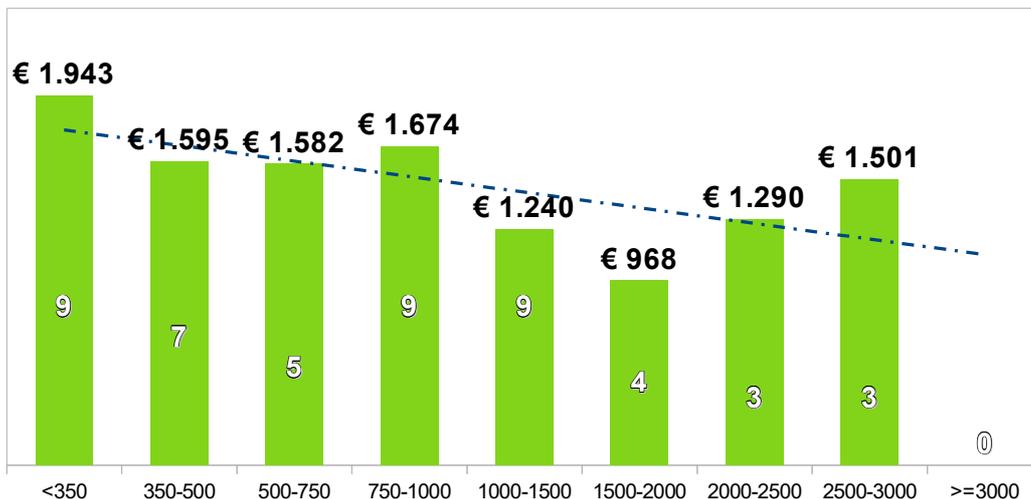


Fig. 47 – Numero di interventi di nuova costruzione per classe di superficie e costo €/mq

In tutti e tre i grafici delle figure precedenti (Fig. 45,46 e 47) risulta una regressione lineare dei valori al crescere delle dimensioni degli edifici. Il campione più rappresentativo è quello degli interventi di adeguamento sismico.

Per valutare più approfonditamente i risultati si è osservata la distribuzione degli interventi in funzione della superficie totale (mq) e del costo unitario medio (€/mq) per ciascun tipo di intervento nei seguenti grafici (Fig. 48, 49 e 50).

Sull'asse delle ascisse è riportata la superficie (mq) e sull'asse delle ordinate il costo unitario (€/mq).

La retta parallela all'asse delle ascisse (tratteggiata) rappresenta il valore medio (€/mq) dell'insieme dei dati, mentre la curva (punto-linea) rappresenta la curva esponenziale ("potenza") che minimizza gli scarti, quella cioè che meglio approssima la distribuzione dei dati al variare del valore dell'ascissa (superficie).

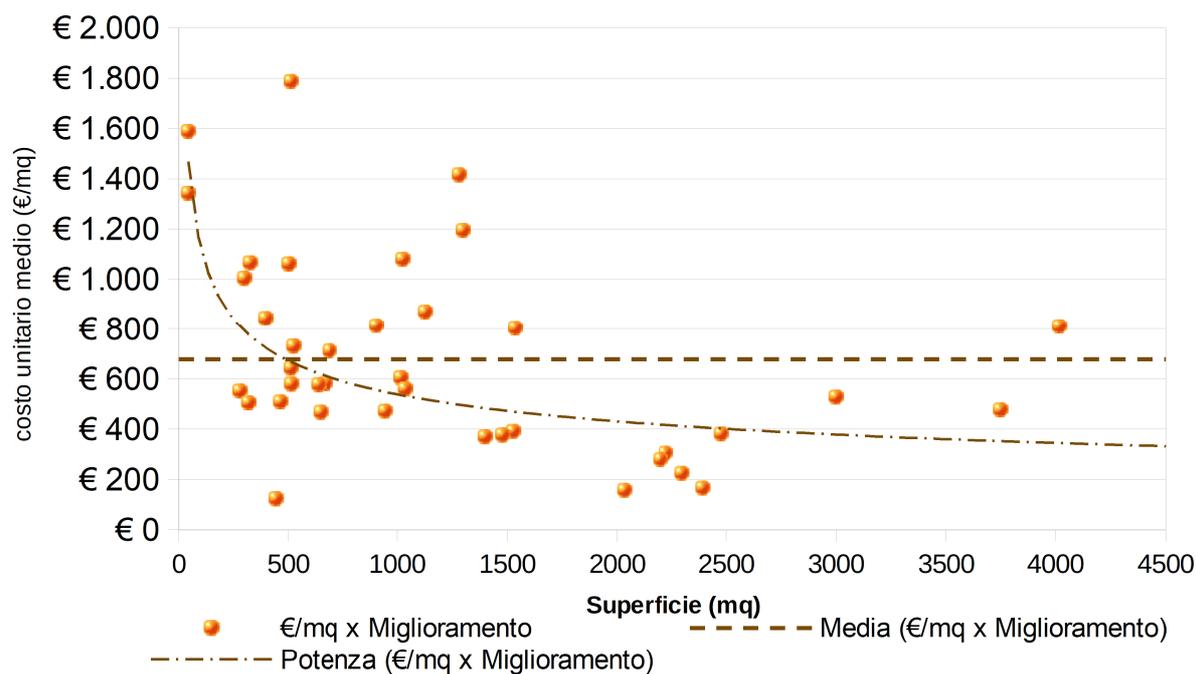


Fig. 48 - Distribuzione degli interventi di adeguamento sismico in funzione della superficie e del costo unitario (€/mq)

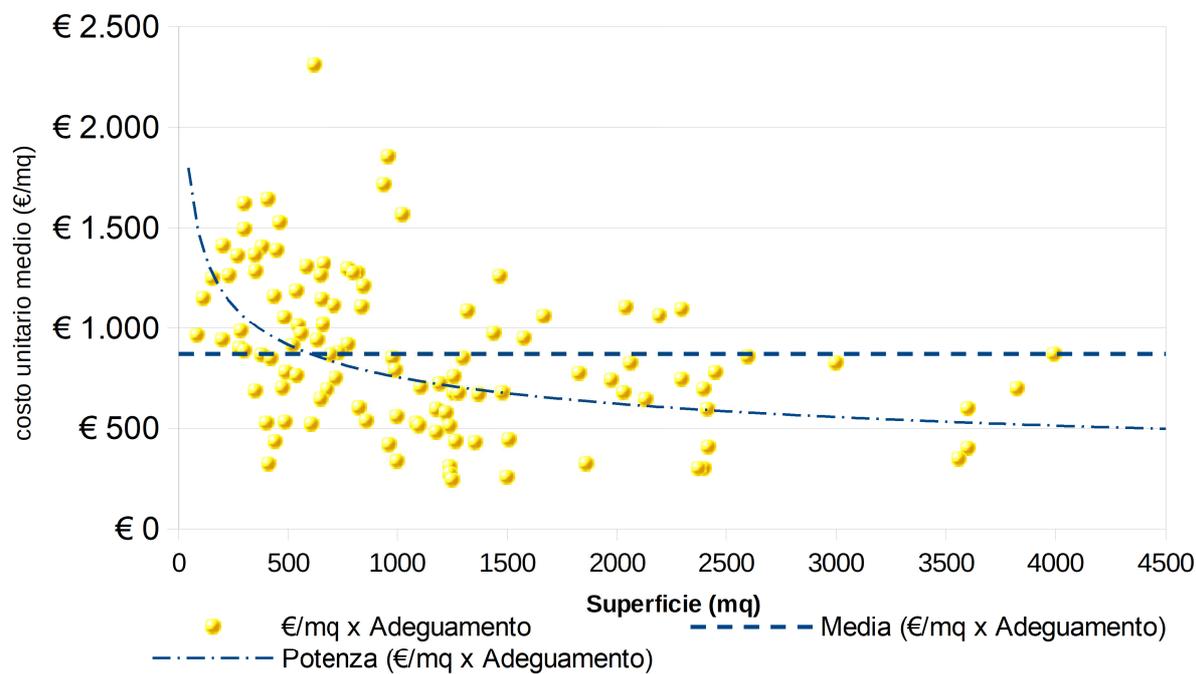


Fig. 49 - Distribuzione degli interventi di miglioramento sismico in funzione della superficie e del costo unitario (€/mq)

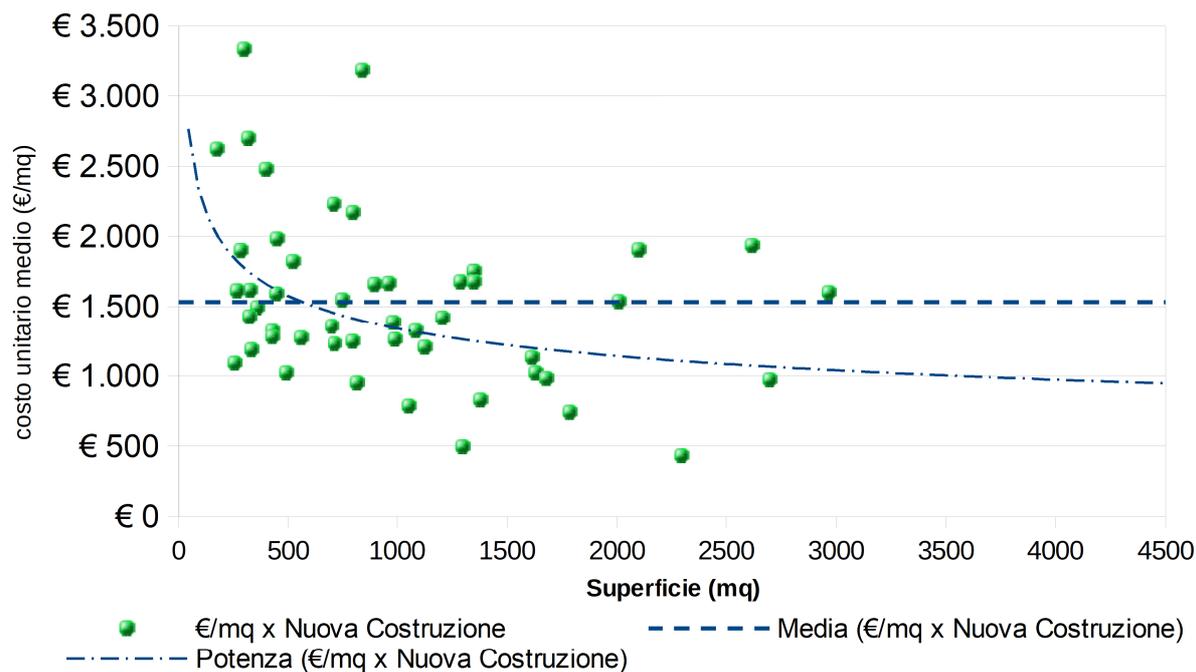


Fig. 50 - Distribuzione degli interventi di nuova costruzione in funzione della superficie e del costo unitario (€/mq)

Si può osservare che il costo unitario medio diminuisce con l'aumentare delle dimensioni complessive dell'edificio oggetto di intervento.

Lo scostamento tra i valori della media aritmetica e quelli della curva esponenziale espresso in percentuale risulta di circa il 20-25% per l'adeguamento sismico e la nuova costruzione per superfici intorno a 1.500 mq, e arriva fino al 30% circa per superfici pari a 2.500 mq, con incrementi anche maggiori per il miglioramento sismico.

4. Studi precedenti sui costi medi e contributi ammissibili degli interventi

A corredo dello studio del documento si presentano brevemente in forma tabellare i risultati di altri studi precedenti che hanno fornito i costi medi degli interventi realizzati in Toscana, rivalutati ad oggi, a cui si aggiungono anche i limiti massimi erogabili dei contributi come previsto dalle direttive regionali e dalle ordinanze nazionali per fornire un quadro complessivo e un confronto dei risultati.

La descrizione dei suddetti studi sono riportati in appendice.

Gli studi fanno riferimento a:

- studio sui costi standard per interventi su edifici pubblici realizzati in Toscana nel periodo 2000-2008 a cura del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica (Regione Toscana) - 2009
- studio sui costi medi per la prevenzione sismica in Italia a seguito dei contributi della Legge 77/2009 a cura dell'Ufficio Prevenzione sismica del Settore sismica della Regione Toscana sulla base dei dati forniti dal Dipartimento della protezione civile - 2021
- analisi sui costi standard per l'edilizia scolastica in Toscana (nuova costruzione) a cura della Task Force edilizia scolastica – Nuvec area 1 - 2020

A questi si aggiungono due paragrafi inerenti i limiti massimi di contributo per interventi di prevenzione sismica approvati in Regione Toscana con direttive regionali e ordinanze statali:

- limiti massimi di contributo delle Direttive regionali D.1.9 approvate con Delibera di GRT 286/2023
- limiti massimi di contributo dell'Ordinanza 978/2023 per gli interventi di prevenzione finanziati con le risorse della L. 77/2009

Per ciascuno studio si forniscono i costi unitari medi per unità sia di superficie (€/mq) che di volume (€/mc) anche qualora nella versione originale siano presentati in un'unica modalità, utilizzando il rapporto di conversione convenzionale pari a 3,9 dato dal rapporto tra il volume e la superficie a cui è stato fatto riferimento dallo studio del 2009. Inoltre i valori sono stati tutti attualizzati alla data odierna applicando l'indice dei prezzi al consumo fornito dall'Istat per il 2022 e rendendo omogenei i valori per tutti gli studi con riferimento all'anno di pubblicazione o approvazione delle rispettive normative.

Per quanto riguarda invece i limiti massimi di contributo ammissibile si fa riferimento agli interventi di miglioramento, adeguamento e nuova costruzione con le Direttive regionali D.1.9 di cui sopra e agli interventi solo di miglioramento e nuova costruzione per gli interventi finanziati con la L. 77/2009.

Nella tabella di figura 48 sono riportati sinteticamente i valori medi degli studi presentati in Appendice.

Per unità di **superficie** (€/mq), valori attualizzati al dicembre 2022

Tipo di intervento	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Limite max Contributo	Limite max Contributo
	studio RT 2023	studio RT 2009	L. 77/2009 Italia Studio 2021	Task Force Studio 2020	Direttive D.1.9 Del 286/2023	L. 77/2009 Opcm 978/2023
NUOVA COSTRUZIONE	1.500	1.530	900	1.845	1.440	1.170
ADEGUAMENTO	850	1.100			1.020	
MIGLIORAMENTO	650		620		660	880

Per unità di **volume** (€/mc), valori attualizzati al dicembre 2022

Tipo di intervento	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Limite max Contributo	Limite max Contributo
	studio RT 2023	studio RT 2009	L. 77/2009 Italia Studio 2021	Task Force Studio 2020	Direttive D.1.9 Del 286/2023	L. 77/2009 Opcm 978/2023
NUOVA COSTRUZIONE	380	390	230	475	370	300
ADEGUAMENTO	220	280			260	
MIGLIORAMENTO	170		160		170	225

Fig. 51 Tavola di raffronto dei costi unitari medi per superficie e volume di alcuni studi recenti

5. Conclusioni

Nel capitolo 3 è stata illustrata la metodologia per la stima del costo medio unitario degli interventi di prevenzione sismica realizzati in Toscana negli ultimi 20 anni circa, su un campione di 204 interventi, in prevalenza di adeguamento sismico.

Il presente lavoro si è basato sul data base regionale del Quadro Conoscitivo degli edifici pubblici strategici e rilevanti della Toscana (QC_EPSR), integrato da altre fonti di informazione per la completezza e la validazione dei dati.

Sono stati riportati sinteticamente in Appendice i risultati di studi precedenti relativi all'analisi dei costi degli interventi di prevenzione in Toscana.

L'obiettivo principale relativo alla analisi dei costi unitari medi per gli interventi di prevenzione sismica in Toscana è stato raggiunto fornendo i costi unitari medi in termini di superficie e volume per le varie tipologie di intervento e riportate nella seguente figura 52.

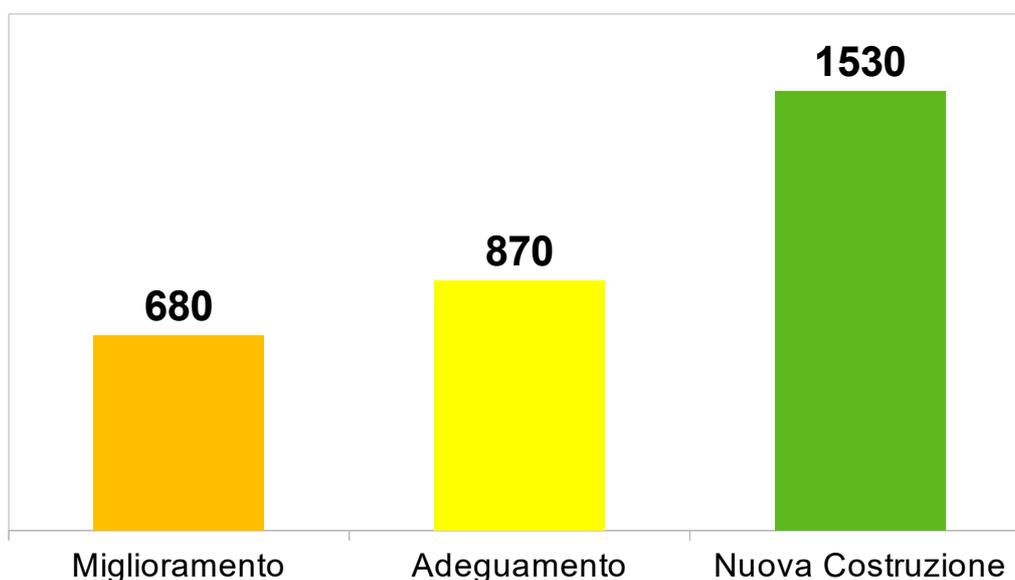


Fig. 52 – Costo unitario medio standard (€/mq) per tipo di intervento

1. Analisi delle macro categorie di spesa

In riferimento a quanto detto nel paragrafo 2.2 si riporta la descrizione delle macro categorie di opere incluse nel costo totale di ciascun intervento preso in esame:

- opere strutturali comprese le eventuali opere di demolizione (opere A);
- opere di finitura e impianti strettamente conseguenti l'esecuzione delle suddette opere strutturali, o complementari ad esse (opere B);
- opere relative ad interventi di consolidamento dei terreni, ivi comprese le opere di sostegno per mettere in sicurezza l'area dell'edificio (opere C);

spese per prestazioni professionali e indagini: onori e onorari per la redazione dei progetti, le indagini sugli edifici e di carattere geologico e geotecnico, sondaggi, oltre alle fasi di esecuzione, controllo e collaudo degli interventi (direzione dei lavori, collaudo statico), coordinamento della sicurezza, redazione di relazioni, contabilità dei lavori, compenso al Rup, l'Iva ad essi relativa (opere D).

Sono state inoltre considerate anche le spese relative a quegli interventi esclusi dal finanziamento, sebbene facenti parte dell'appalto, sia perché eccedenti il limite di contributo ammissibile, sia perché non rientranti nelle finalità del finanziamento stesso, come ad esempio altre opere strutturali, le finiture e gli impianti non conseguenti o complementari alle opere strutturali, altri oneri e onorari, l'Iva ad essi relativa, i costi sostenuti per l'acquisizione delle aree, ecc. (opere E).

Risultano invece del tutto assenti altre spese concernenti le spese non strettamente afferenti alla azione di messa in sicurezza sismica, come ad esempio le spese per l'efficientamento energetico.

L'approfondimento per l'analisi delle spese relative alle macro categorie di cui sopra, ha riguardato l'incidenza in percentuale di ciascuna macro categoria rispetto al costo totale dell'intervento, al fine di verificare l'ammontare delle spese strutturali sul totale del costo complessivo quale indicatore di qualità ed efficienza raggiunti.

Tale valutazione ha richiesto ulteriore tempo per l'acquisizione delle informazioni necessarie, recuperando i dati dai quadri economici a disposizione. Pertanto i risultati fanno riferimento ad un campione ridotto a 113 interventi (poco più del 55% del totale), di cui 75 di adeguamento, 16 di miglioramento e 22 di nuova costruzione.

Nella tabella seguente (fig. A1) sono riportati i dati relativi alle percentuali medie di incidenza di ciascuna macro categoria di opere rispetto al costo totale di intervento.

Categorie di opere	Miglioramento	Adeguamento	Nuova costruzione
opere strutturali (A+C)	63%	51%	40%
opere di finitura e impianti (B)	15%	21%	24%
opere per interventi di consolidamento dei terreni (C)	0%	0,3%	0%
spese per prestazioni professionali e indagini (D)	13%	10%	9%
altri oneri esclusi dal finanziamento (E)	9%	18%	27%
Costo totale	100%	100%	100%

Fig. A.1 – Incidenza in percentuale dei spesa per macro categoria di opere rispetto al totale complessivo , per ciascuna tipologia di intervento

Si osserva che l'incidenza delle opere strutturali si riduce percentualmente in funzione del livello di sicurezza raggiunto dell'intervento antisismico, per cui dal 60% nel caso del miglioramento, scende al 50% per l'adeguamento e al 40% per la nuova costruzione.

Al contrario le opere di finitura ed impianti connessi alle opere strutturali coincidono in misura maggiore nelle nuove costruzioni con una media del 24%, scendono al 21% per l'adeguamento e al 15% per il miglioramento.

Le spese professionali ammontano a circa il 10%, con un incremento fino al 13% nel caso del miglioramento. Infine le opere escluse dal finanziamento (opere E), sono molto variabili: 9% riscontrato negli interventi di miglioramento, 18% per l'adeguamento, fino al 27% per le nuove costruzioni.

I risultati statistici derivanti dal campione di interventi osservato, sono stati messi a confronto con i limiti massimi di contributo ammessi dalle citate Direttive tecniche regionali, che prevedono:

- opere di finitura e impianti (opere B) nella misura variabile per tipo di intervento come segue:
 - 30% delle opere strutturali (A+C) per interventi di miglioramento sismico;
 - 40% delle opere strutturali (A+C) per interventi di adeguamento sismico sismico all'80% ($0,80 \leq \zeta < 1$);
 - 50% delle opere strutturali (A+C) per interventi di adeguamento sismico sismico al 100% ($\zeta = 1$);
 - 100% delle opere strutturali (A+C) per interventi di nuova costruzione.
- spese per prestazioni professionali e indagini (opere D) nella misura fissa stimata del 15% delle opere (A+C+B), includendo in queste anche le spese per la Direzione dei lavori, collaudo, contabilità

Pertanto, è stato possibile ricavare per deduzione l'incidenza di ciascuna macro categoria rispetto al costo totale risultato della seguente espressione:

$$K_{tot} = A + C + B + D$$

dove K_{tot} = costo totale

Categorie di opere	Miglioramento	Adeguamento*	Nuova costruzione
opere strutturali (A+C)	67%	58%	43,5%
opere di finitura e impianti (B)	20%	29%	43,5%
opere per interventi di consolidamento dei terreni (C)	0%	circa 0%	0%
spese per prestazioni professionali e indagini (D)	13%	13%	13%
altri oneri esclusi dal finanziamento (E)	Non ammessi	Non ammessi	Non ammessi
Costo totale	100%	100%	100%

* gli interventi di adeguamento sismico sono stati considerati indipendentemente dal livello di sicurezza da raggiungere del 100% ($\zeta = 1$) o dell'80% ($0,80 \leq \zeta < 1$) considerando solo la percentuale dei primi.

Fig. A.2 – Calcolo dell'incidenza percentuale (Direttive D.1.9 di cui alla Delibera di GRT 286/2023):

2. Studio sugli interventi su edifici pubblici realizzati in Toscana nel periodo 2000-2008 a cura del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della Regione Toscana - 2009

Nel 2009 l'allora Coordinamento regionale prevenzione sismica della Regione Toscana condusse uno studio su un totale di 140 interventi realizzati con contributi nazionali e regionali, con l'obiettivo di stimare il costo medio di realizzazione degli interventi di messa in sicurezza degli edifici pubblici strategici finalizzato alla redazione delle redigende Direttive tecniche regionali e alla determinazione dei limiti massimi di contributo per i bandi pubblici.

I dati furono raccolti attraverso indagini conoscitive da finanziamenti precedenti, da informazioni presso enti locali, ditte e studi professionali, la cui sintesi interessava un campione di 79 interventi, di cui 28 di adeguamento sismico e 51 di nuova costruzione.

I costi di intervento comprendevano oltre le opere strutturali e le finiture e impianti, anche gli oneri per la sicurezza, le spese tecniche e l'Iva.

Furono determinati i costi per unità di volume (€/mc) e di superficie (€/mq), come di seguito riportato:

per unità di volume

- 320 €/mc per interventi di nuova costruzione
- 230 €/mc per interventi di adeguamento sismico

per unità di superficie

- 1.250 €/mq per interventi di nuova costruzione
- 900 €/mq per interventi di adeguamento sismico

I valori sono stati "attualizzati" alla data odierna mediante l'indice nazionale dei prezzi al consumo per la rivalutazione monetaria fornito dall'Istat che per l'anno 2009 è pari a 1,225.

Di seguito i valori attualizzati ad oggi per unità di superficie (€/mq)

- **1.530 €/mq per interventi di nuova costruzione**
- **1.100 €/mq per interventi di adeguamento sismico**

per unità di volume (€/mc)

- **390 €/mc per interventi di nuova costruzione**
- **280 €/mc per interventi di adeguamento sismico**

Si tenga presente che, in tale studio, i valori forniti sono il risultato della media ponderata dei valori distinti per area geografica, tipologia d'uso, materiale costruttivo, epoca di costruzione e canale di finanziamento pubblico. Mancano i dati relativi agli interventi di miglioramento sismico per insufficiente disponibilità di dati omogenei per poter fornire una stima significativa.

3. Studio sui costi medi per la prevenzione sismica in Italia a seguito dei contributi della Legge 77/2009 a cura dell'Ufficio Prevenzione sismica del Settore sismica della Regione Toscana sulla base dei dati forniti dal Dipartimento della protezione civile – 2021

Nel 2021 il Settore Sismica della Regione Toscana ha raccolto dal Dipartimento della Protezione Civile le informazioni relative ai contributi per interventi su edifici pubblici strategici e rilevanti in Italia finanziati ai sensi dell'art. 11 della L. 77/2009 con l'obiettivo di confrontarli con i limiti di contributo fissati da tempo dalle direttive in Toscana.

Il numero complessivo di interventi sono 796, di cui 723 di miglioramento sismico e 73 di nuova costruzione a seguito di demolizione e ricostruzione. A questi si aggiungono 69 interventi di rafforzamento locale di cui non si è tenuto conto ai fini statistici. Si tenga presente che tra gli interventi di miglioramento vi sono compresi certamente anche gli interventi di "adeguamento" per i quali tuttavia non è possibile ricavare un costo per unità di misura. I dati forniti erano aggregati per diversi parametri: destinazione d'uso, tipologia costruttiva e dimensione complessiva, per motivi di sintesi è stato calcolato un unico valore medio di riferimento.

I costi parametrici medi degli interventi sono forniti per unità di volume:

- 200 €/mc per interventi di nuova costruzione
- 130 €/mc per interventi di miglioramento sismico

Per tenere conto del valore rivalutato nel tempo, dato che il Piano dei finanziamenti è pluriennale (2010-2016) con una distribuzione dei fondi simmetrica, come evidenziato nel grafico seguente, si è assunto il 2013 quale anno medio di riferimento a cui far corrispondere il coefficiente di rivalutazione monetaria dell'Istat pari a 1,127.

Piano pluriennale dell'art. 11 della L. 77/2009:

2010 - € 44,0 milioni
2011 - € 145,1 milioni
2012 - € 195,6 milioni
2013 - € 195,6 milioni
2014 - € 195,6 milioni
2015 - € 145,1 milioni
2016 - € 44,0 milioni



Fig. A.3 Finanziamenti dell'art. 11 della L. 77/2009 per annualità

Di seguito i valori attualizzati ad oggi per unità di volume (€/mc):

- **370 €/mc per interventi di nuova costruzione**
- **160 €/mc per interventi di miglioramento sismico**

convertiti mediante il rapporto convenzionale 3,9 all'unità di superficie (€/mq) sono pari a:

- **900 €/mq per interventi di nuova costruzione**
- **620 €/mq per interventi di miglioramento sismico**

Per quanto già detto in precedenza, il costo unitario medio degli interventi di miglioramento può considerarsi intermedio tra il costo di adeguamento e di miglioramento così come considerato negli altri paragrafi.

4. Analisi sui costi standard per l'edilizia scolastica di nuova costruzione in Toscana a cura della Task Force edilizia scolastica – Nuvec area 1 - 2020

Nel 2020 la “Task Force Edilizia Scolastica” istituita dall’Agenzia per la Coesione Territoriale ha pubblicato un’analisi sui costi standard per l’Edilizia Scolastica in Regione Toscana sulla base di un campione di 16 nuovi interventi realizzati nel periodo 2010 – 2019.

In estrema sintesi è stato elaborato un metodo di stima speditivo per il calcolo del costo di un nuovo edificio scolastico a partire da un prezzo unitario di costruzione differenziato per tipologia di edificio (scuole dell’infanzia, scuole primarie, scuole secondarie di primo e secondo grado, palestre) sulla base del numero degli alunni.

Il modello utilizza come parametri in ingresso per il calcolo:

- il numero di studenti;
- le caratteristiche del sito (zona sismica, zona climatica, aree interne);
- la presenza di eventuali demolizioni;
- la presenza di eventuali aree esterne da includere nel progetto;

Lo studio ha consentito di ottenere dei valori di costo per unità di superficie delle nuove costruzioni compresi tra i 1.400 ed i 1.950 €/mq.

Anche in questo caso si è tenuto conto del coefficiente di rivalutazione monetaria annua fornito dall’Istat riferito al 2020, pari a 1,101 “attualizzando” tali importi alla data odierna.

I valori attualizzati espressi per unità di superficie sono:

- 1.540 - 2150 €/mq circa per interventi di nuova costruzione

che, riportati all’unità di volume sono pari a:

- 390 €/mc – 550 €/mc per interventi di nuova costruzione

La variabilità dei valori medi, dipende dai diversi fattori descritti: dimensioni dell’intervento, tipologia d’uso, caratteristiche geografiche, eventuali demolizioni o sistemazioni esterne che possono incidere complessivamente nella misura di oltre il 30% sul costo totale.

In ogni caso, è importante sottolineare come lo studio 2020 della “Task Force Edilizia scolastica”, a differenza degli altri studi (appendici 1, 2 e il presente studio 2023), si basa su un campione estremamente ridotto di interventi per i quali non sono stati applicati i criteri di finanziamento e le regole previste dalle Direttive Tecniche Regionali che si pongono l’obiettivo primario di ottimizzare l’utilizzo delle risorse in ottica di intervento. Per tali motivazioni si ritiene che i valori medi sotto riportati non debbano essere tenuti in considerazione.

Di seguito i valori attualizzati ad oggi per unità di volume (€/mc):

- **1.850 €/mq per interventi di nuova costruzione**

convertiti mediante il rapporto convenzionale 3,9 all’unità di volume (€/mc) sono pari a:

- **475 €/mc per interventi di nuova costruzione**

5. Limiti di contributo delle Direttive regionali D.1.9 approvate con Delibera di Giunta Regionale Toscana n. 286/2023

Le Direttive tecniche regionali per la progettazione (Istruzioni Tecniche D.1.9) approvate con Delibera di Giunta regionale n. 286/2023, definiscono i criteri, le modalità e le fasi per la progettazione ed esecuzione degli interventi beneficiari di contributi pubblici di prevenzione per miglioramento e adeguamento sismico ovvero di nuova costruzione. Le stesse definiscono anche (art. 4) i limiti dei contributi per gli interventi, comprensivi di tutti gli oneri accessori e Iva.

Il recente aumento dei costi delle materie prime ha reso necessario un adeguamento degli importi delle direttive precedenti (risalenti al 2012) con un incremento del 20% dei limiti di contributo.

Sono stati definiti nella citata delibera i seguenti importi massimi di contributo, per unità di superficie:

- **1.440 €/mq per interventi di nuova costruzione**
- **1.020 €/mq per interventi di adeguamento sismico**
- **660 €/mq per interventi di miglioramento sismico**

che, come detto precedentemente sono stati riportati all'unità di volume:

- **370 €/mc per interventi di nuova costruzione**
- **260 €/mc per interventi di adeguamento sismico**
- **170 €/mc per interventi di miglioramento sismico**

6. Limiti di contributo dell'Ordinanza 978/2023 per gli interventi di prevenzione finanziati con le risorse della L. 77/2009

L'Ordinanza 978/2023 in attuazione all'art. 11 del Decreto-Legge 28/04/2009, convertito con modificazioni dalla L. 24 giugno 2009, n. 77 della L. 77/2009, che finanzia interventi di nuova costruzione, miglioramento sismico e rafforzamento locale (quest'ultimo non considerato per le finalità di questo studio) ha aggiornato al rialzo i valori delle precedenti Ordinanze statali. I limiti di contributo parametrici sono stati espressi in euro per metro cubo (€/mc) e per confrontarli con i valori degli altri studi sono stati calcolati i corrispondenti valori in euro a metro quadrato (€/mq) utilizzando il rapporto tra volume e superficie pari a 3,9.

Limiti massimi di contributo per unità di superficie stimati con il rapporto volume/superficie pari a 3,9::

- **1.170 €/mq per interventi di nuova costruzione**
- **880 €/mq per interventi di miglioramento sismico**

Limiti massimi di contributo standard per unità di volume, forniti dalla citata Ordinanza 978/2023:

- **300 €/mc per interventi di nuova costruzione**
- **225 €/mc per interventi di miglioramento sismico**

Si rileva che manca un riferimento esplicito agli interventi di adeguamento sismico che, nell'ottica dell'Ordinanza, sono ricompresi negli interventi di miglioramento sismico realizzati al massimo livello di sicurezza. Pertanto possiamo supporre che l'importo dell'Ordinanza per gli interventi di miglioramento sismico possa essere riferibile ad un valore intermedio tra quelli di adeguamento e miglioramento sismico trattati negli altri paragrafi.

7. Costo medio unitario per interventi di prevenzione sismica: confronto

Nella successiva tabella di figura A.4 è riportato il quadro sinottico dei costi parametrici per unità di superficie (€/mq) e di volume (€/mc) riferiti a ciascuno studio di costi medi o limite di contributo ammissibile da normativa, descritti nei vari paragrafi dell'appendice messi a confronto con i costi medi unitari del presente studio (prima colonna).

Per unità di **superficie** (€/mq), valori atualizzati al dicembre 2022

Tipo di intervento	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Limite max Contributo	Limite max Contributo
	studio RT 2023	studio RT 2009	L. 77/2009 Italia Studio 2021	Task Force Studio 2020	Direttive D.1.9 Del 286/2023	L. 77/2009 Opcm 978/2023
NUOVA COSTRUZIONE	1.530	1.530	900	1.845	1.440	1.170
ADEGUAMENTO	870	1.100			1.020	
MIGLIORAMENTO	680		620		660	880

Per unità di **volume** (€/mc), valori atualizzati al dicembre 2022

Tipo di intervento	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Costo unitario medio	Limite max Contributo	Limite max Contributo
	studio RT 2023	studio RT 2009	L. 77/2009 Italia Studio 2021	Task Force Studio 2020	Direttive D.1.9 Del 286/2023	L. 77/2009 Opcm 978/2023
NUOVA COSTRUZIONE	390	390	230	475	370	300
ADEGUAMENTO	230	280			260	
MIGLIORAMENTO	180		160		170	225

Nota: in **corsivo** i dati ricavati dal calcolo mediante il rapporto convenzionale volume/superficie pari a 3,9.

Fig. A.4 Tavola di raffronto dei costi unitari medi per superficie e volume di alcuni studi recenti

I costi sono comprensivi delle spese per opere strutturali, finiture e impianti, delle spese professionali e indagini, degli oneri per la sicurezza, tutti comprensivi dell'Iva. Per consentire un confronto dei valori questi sono stati atualizzati a dicembre 2022 utilizzando i coefficienti di rivalutazione monetaria dell'Istat, come descritto nel paragrafo 2.2 (vedasi i coefficienti della figura 4) con riferimento all'anno di pubblicazione dello studio o di approvazione degli atti normativi.

Tutte le fonti di informazione hanno fornito valori per interventi di nuova costruzione, non tutte per interventi di adeguamento e di miglioramento sismico. Si tenga inoltre presente che nel caso del miglioramento sismico, il limite massimo di contributo della L. 77/2009 (ultima colonna), corrisponde ad un intervento "spinto" paragonabile ad un intervento di adeguamento se confrontato con le altre colonne.

Laddove non erano disponibili i dati per unità di superficie o di volume, si è utilizzato convenzionalmente il rapporto tra volume (mc) e superficie (mq) pari a 3,9 come già descritto al paragrafo 2.2, per rappresentare entrambe le unità di misura e rendere confrontabili i valori dei diversi lavori. Tali dati, desunti dal calcolo, sono riportati in **corsivo**.

Nuova costruzione

Dal confronto dei risultati, si osserva una variazione dei costi unitari per la **nuova costruzione** - per comodità si farà riferimento ai soli costi per unità di superficie (€/mq) - che oscilla da un minimo di 900 €/mq fino dello studio degli interventi della L. 77/2009, fino a 1.845 €/mq dello studio della Task Force per l'edilizia scolastica del 2021. Occorre tenere conto che quest'ultimo studio è riferito ad un campione di soli 16 nuove scuole e considera anche gli oneri per edifici accessori (es. palestra annessa), i costi di demolizione

degli edifici esistenti, e gli espropri in caso di delocalizzazione, facendo lievitare inevitabilmente i costi totali. Di contro, dallo studio dei costi medi relativi alla L. 77/2009 emergono costi più molto bassi (€/mq 900), che risentono fortemente del limite massimo di contributo erogato dallo Stato e in parte anche dalla varietà di costi di intervento in tutta Italia. Il valore stimato con il presente studio è perfettamente allineato con quello dello studio del 2009.

Di seguito i grafici dei costi unitari medi per unità di superficie e volume.



Fig. A.5 Raffronto dei costi unitari medi per superficie e volume delle nuove costruzioni

Adeguamento sismico

Per quanto riguarda gli interventi di **adeguamento sismico** il confronto è limitato soltanto allo studio del 2009 a cura del Settore regionale e ai limiti di contributo delle Direttive tecniche regionali. Nello studio 2023 il costo medio è risultato inferiore rispetto a quello dello studio del 2009 di circa il 20%.

Di seguito i grafici dei costi unitari medi per unità di superficie e volume.



Fig. A.6 Raffronto dei costi unitari medi per superficie e volume per l'adeguamento sismico

Miglioramento sismico

Come nel caso dell'adeguamento, anche per il **miglioramento sismico** non disponiamo dei dati, ma solo dello studio del 2021 sui dati forniti dal Dipartimento della protezione civile per gli interventi finanziati dalla L. 77/2009 e dei limiti di contributo delle Direttive tecniche regionali e dell'Opcom 978/2023, che abbiamo già detto trattarsi di costi che possono essere quasi assimilati all'adeguamento. I risultati del presente studio risultano leggermente superiori del 10% a quelli dello studio del 2021.

Di seguito i grafici dei costi unitari medi per unità di superficie e volume.



Fig. A.7 Raffronto dei costi unitari medi per superficie e volume per il miglioramento sismico

8. Glossario statistico

Per descrivere una media statistica di dati quantitativi – nello studio si fa riferimento alla popolazione data dal costo unitario di ciascun intervento - si fa ricorso alla media, intesa come media aritmetica, alla mediana o alla la moda. Questi valori rappresentano gli **indici di posizione**, ovvero il valore centrale o baricentrico di una distribuzione di valori. Presi da soli non spiegano molto della distribuzione dell'insieme di dati.

Per questo motivo sono associati agli **indici di variabilità** e di **forma** e accompagnati solitamente da grafici (istogrammi, grafici a torta, box-plot, ecc.).

Di seguito è riportato un breve e non esaustivo glossario dei termini utilizzati nel documento.

Indici di posizione

Media aritmetica = somma di tutti i valori delle variabili della popolazione diviso il numero di unità della popolazione (N)

$$M_1 = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \text{ con } i = 1, 2, \dots, N.$$

Mediana = La mediana è il valore che occupa la posizione centrale in un insieme ordinato di dati

a) se il numero (n) di dati è dispari, la mediana corrisponde al valore numerico del dato centrale, quello che occupa la posizione (n+1)/2;

b) se il numero (n) di dati è pari, la mediana è stimata utilizzando i due valori centrali che occupano le posizioni n/2 e n/2+1

Indici di variabilità

Con riferimento alla media aritmetica

Scarto medio assoluto è la media aritmetica del valore assoluto degli scarti

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}|}{n}$$

Varianza misura la variabilità di una popolazione, è la media aritmetica del quadrato degli scarti (utilizzato nella statistica descrittiva nel caso di un'intera popolazione)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}$$

Dove:

- N è il numero di osservazioni dell'intera popolazione
- μ è la media della popolazione
- X_i è l'i-esimo dato statistico osservato

Deviazione standard rappresenta nella stessa unità di misura dei valori della popolazione di dati lo scostamento medio dei valori della popolazione di dati. E' la radice quadrata della media dei quadrati degli scarti rispetto alla media

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Dove:

- N è il numero di osservazioni dell'intera popolazione
- μ è la media della popolazione
- X_i è l'i-esimo dato statistico osservato

Coefficiente di variazione fornisce un'indicazione di variabilità dei dati, è dato dal rapporto tra la deviazione standard e la media aritmetica. Più questo rapporto è vicino a 0 e minore è lo scostamento dei dati dalla media aritmetica, viceversa maggiore sarà la dispersione dei dati rispetto al valore medio. Per convenzione per valori di **CV** $\leq 0,5$ si considera poca variabilità, per valori di **CV** $> 0,5$ si considera una variabilità crescente, ed è preferibile utilizzare la mediana. Per **CV** = ± 1 significa che la deviazione standard è uguale alla media. Si utilizza in genere per confrontare i risultati di più gruppi di dati, come ad esempio è stato fatto nello studio per tipologie di interventi diversi.

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{X}|}$$

Range è l'ampiezza totale dei valori della popolazione di dati, ovvero la differenza tra il massimo e il minimo dei valori (detto anche campo di variazione fra i valori estremi)

$$range = x_{max} - x_{min}$$

Con riferimento alla mediana

Primo quartile (Q1) = è la mediana della porzione di dati più piccoli della mediana

Il **primo quartile** è definito come il numero (Q1) per il quale il 25% dei dati statistici è minore o uguale ad esso

Terzo quartile (Q3) = è la mediana della porzione di dati più grandi della mediana

Il **terzo quartile** è definito come un numero Q3 per il quale il 75% dei dati statistici è minore o uguale ad esso

Scarto interquartile è la differenza tra il terzo e il primo quartile \rightarrow **IQR** = (Q3-Q1)

Per determinare i valori anomali (Outliers)

Tukey fences

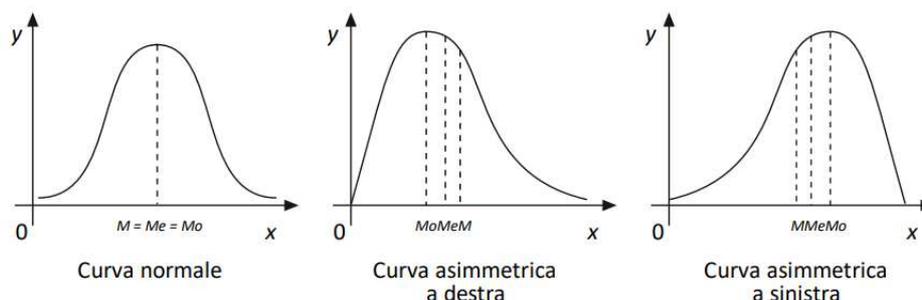
soglia degli Outliers superiori = il minimo tra il valore massimo della serie di dati e la somma $Q3 + 1,5 \cdot IQR$

soglia degli Outliers inferiori = il massimo tra il valore minimo della serie di dati e la differenza

$Q1 - 1,5 \cdot IQR$

Indici di forma (asimmetria)

Asimmetria Indica la distribuzione simmetrica di una serie di dati unimodali, con un valore centrale che può rappresentare sia la media, che la media e la moda, come nel grafico.



Con valori = 0 (simmetria) i tre valori coincidono: **media = mediana = moda**
 Con valori < 0 (asimmetria a sx) è vera la relazione: **media < mediana < moda**
 Con valori > 0 (asimmetria a dx) è vera la relazione: **moda < mediana < media**

Al crescere di tali valori la asimmetria si fa sempre più marcata.

Per l'individuazione di eventuali asimmetrie si possono applicare i seguenti indicatori:

a) con riferimento ai **quartili** → $(Q3 - Q2) - (Q2 - Q1)$

dove Q3 = terzo quartile, Q2 = mediana, Q1 = primo quartile

Per valori prossimi a 0 c'è simmetria, per valori >0 la mediana è vicina a Q1 (asimmetria a dx), per valori <0 la mediana è vicina a Q3 (asimmetria a sx).

b) con riferimento alla **media** → $(\mu - Q2)$

dove μ = media aritmetica, Q2 = mediana

Per valori prossimi a 0 c'è simmetria, per valori >0 la asimmetria è a dx, per valori <0 la asimmetria è a sx

c) con riferimento agli **indici normalizzati** si utilizzano tre espressioni:

- formula di **Yule-Bowley** (quartili) → $\frac{(Q3 - Q2) - (Q2 - Q1)}{(Q3 - Q1)}$

Per valori compresi fra -1 e +1 si considera la distribuzione abbastanza simmetrica.

Con valori >0 la mediana tende a valori vicini a Q1, per valori <0 la mediana tende a valori vicini a Q3

- formula di **Pearson** (3 indici)

$$\rightarrow (\text{moda}) \frac{\mu - \text{Moda}}{\sigma}$$

$$\rightarrow 1^\circ \text{ coeff. di Pearson (moda)} \frac{3(\mu - \text{Moda})}{\sigma}$$

$$\rightarrow 2^\circ \text{ coeff. di Pearson (mediana)} \frac{3(\mu - Q2)}{\sigma}$$

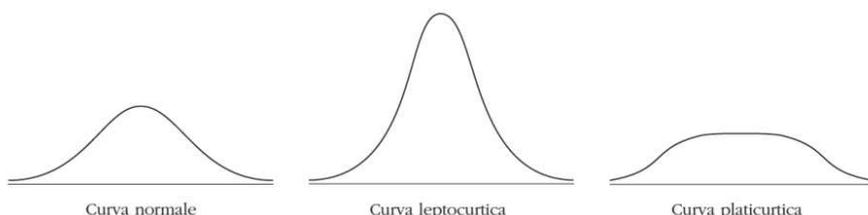
dove μ = media aritmetica, Q2 = mediana

- formula di **Fisher** (Asimmetria.P in Excel) → $\alpha_F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - M}{\sigma} \right)^3$

In tutti i suddetti casi per valori prossimi a 0 c'è simmetria.

Per valori >0 l'asimmetria ha una coda a destra, per valori <0 la coda è a sinistra.

Curtosi Indica la forma di distribuzione più o meno appuntita o appiattita di una serie di dati, e si calcola con la seguente espressione → $\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \sigma^4}$



Altri tipi di medie

Media troncata (*trimm*) si applica ai valori centrali di una serie di dati, ad esempio scartando il 5% - 10% ecc. dei valori alle estremità, si utilizza per scartare valori anomali

Media pesata che corrisponde alla media aritmetica in cui i valori sono moltiplicati per un peso in proporzione alla vicinanza di ciascun valore al valore centrale, serve per attenuare gli effetti dei valori anomali e agli estremi

Media di Turkey (*trimedia*) è una media pesata dei quartili (Q1 e Q3) e del doppio della mediana (Q2), che tende a compensare i valori estremi

$$M_t = \frac{(Q1 + Q3 + 2Q2)}{4}$$

Per le rappresentazioni grafiche

Istogrammi

Per la rappresentazione degli istogrammi si è tenuto conto di formule empiriche per la determinazione delle classi suggerite da bibliografica.

Numero di classi formula di Sturges $\rightarrow K = 1 + \frac{10}{3} \log_{10}(N)$

in prima approssimazione $\rightarrow K = \sqrt{n}$
con n = numero dei dati della popolazione

Intervallo (o ampiezza) delle classi $W = \frac{range}{K} = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + \frac{10}{3} \log_{10}(N)}$

Box-plot

Per i box-plot con riferimento alla **mediana** sono stati utilizzati i seguenti valori:

Mediana

Box \rightarrow ampiezza pari a IQR = (Q3 - Q1)

Baffi \rightarrow superiore: minore tra (Q3 + 1,5·IQR) e x_{max}

\rightarrow inferiore: maggiore tra (Q1 - 1,5·IQR) e x_{min}

Soglie per gli outliers \rightarrow superiore: Q3 + 1,5·IQR

\rightarrow inferiore: Q1 - 1,5·IQR

Soglie per gli valori estremi \rightarrow superiore: Q3 + 3·IQR

\rightarrow inferiore: Q1 - 3·IQR

Per i box-plot con riferimento alla **media** sono stati utilizzati i seguenti valori:

Media

Box \rightarrow ampiezza pari a 2 volte la deviazione standard (σ)

Baffi \rightarrow superiore: minore tra ($\sigma + 1,5 \cdot \sigma$) e x_{max}

\rightarrow inferiore: maggiore tra ($\sigma - 1,5 \cdot \sigma$) e x_{min}

Soglie per gli outliers \rightarrow superiore: $\sigma + 1,5 \cdot \sigma$

\rightarrow inferiore: $\sigma - 1,5 \cdot \sigma$

Soglie per valori estremi \rightarrow superiore: $\sigma + 3 \cdot \sigma$

\rightarrow inferiore: $\sigma - 3 \cdot \sigma$