

## WORKING PAPER 1/2014

### Elaborazioni statistiche e territoriali per la definizione del Societal Risk

**Sara Malinverni**

Università degli Studi di Pavia  
Facoltà di Ingegneria Civile ed Architettura  
Email: *sara.malinverni01@unipv.it*

#### Abstract

*L'obiettivo del presente lavoro è quello di definire un metodo per calcolare il Rischio Sismico di una città a partire dalla scala dei tessuti da cui essa è formata. Grazie a tale studio è possibile capire quali siano i tessuti più a rischio e procedere così ad a ipotesi di scenari urbanistici di modifiche areali o funzionali. I tessuti sono identificati in base alla loro densità (Alta, Media, Bassa e Isolato dei Servizi) prendendo come riferimento la città di Pavia, che presenta una morfologia tipica di molte città storiche italiane. Per calcolare il rischio, si sono dapprima trovati i valori degli Indici di Esposizione e di Vulnerabilità riferiti a ciascuna tipologia di tessuto, basandosi su una valutazione statistica delle ore in cui ciascuna delle quattro macro funzioni individuate (Residenza, Commercio, Terziario e Servizi) era occupata da una specifica fascia d'età (Bambini, Adulti, Anziani) durante la giornata, che, per comodità, viene suddivisa in fasce orarie (Mattina, Pomeriggio, Sera e Notte). Tale studio si propone come obiettivo di elaborare, a livello statistico e territoriale, un valore di rischio a livello sociale, non individuale.*

#### Strategie urbanistiche di prevenzione sismica

I terremoti, come da sempre sottolineato dall'INGV, non sono ancora prevedibili; ma grazie ai nuovi studi e ai lavori eseguiti su tutta Italia (che hanno portato alla formulazione della mappa MS04), è oggi possibile sapere in che zona sismica si collocano i comuni italiani e quindi prendere gli adeguati provvedimenti di prevenzione.

Oltre ad adottare misure ingegneristiche sugli edifici più pericolanti è possibile pensare anche a soluzioni preventive a livello urbanistico, grazie alla modellizzazione di un impianto cittadino, che permetta l'adattamento a qualsiasi realtà locale.

Per questo lavoro dunque, si è partiti dalla definizione classica di rischio  $R$  che è uguale al prodotto di Pericolosità ( $P$ ), Vulnerabilità ( $V$ ) e Esposizione ( $E$ ).

L'obiettivo è stato quello di definire il valore di rischio per ciascuna tipologia di densità (Alta, Media o Bassa) e confrontarlo con la mappa di micro zonazione sismica della città in esame per capire quali sono gli isolati cittadini più a rischio e adottare così gli adeguati provvedimenti.

L'obiettivo dello studio è cercare di ridurre, tramite tecniche di pianificazione urbanistica, una delle componenti del rischio agendo puntualmente sul territorio. Si parlerà quindi di Modifica Areale, nel caso si voglia ridurre la componente di pericolosità del rischio, e di Modifica Funzionale nel momento in cui si sceglie di agire direttamente sull'edificio modificandone la sua funzione e destinazione d'uso, andando così a ridurre la componente di esposizione.

### *Analisi della popolazione*

Si è partiti da un'analisi della popolazione in Italia per sapere qual è la percentuale di persone che si trova, nelle diverse ore della giornata, in una determinata funzione. Infatti sia per il calcolo dell'indice di Esposizione sia per l'indice di Vulnerabilità, è necessario capire le tipologie di funzioni presenti in un determinato isolato e dove si trovano le persone nell'arco della giornata. Per semplicità, sono state individuate quattro macro funzioni: Residenza, Commercio, Servizi (intesi solo come scuole) e Terziario che, oltre ad includere gli uffici, assorbe anche tutti gli altri servizi generici non scolastici. Per gli ospedali invece, è necessario fare uno studio specifico a causa della complessità dovuta alla tipologia di utenti. In questo lavoro di tesi si è deciso di non considerare tale servizio poiché non si sarebbe riusciti a trattarlo in maniera esaustiva.

Grazie ai dati Istat, recuperati dal sito internet, è stato possibile sapere il numero di persone residenti in Italia, suddivise per fasce d'età:

<b>POPOLAZIONE ITALIANA nel 2012 (Fonte: Istat)</b>	
<b>FASCE D'ETA'</b>	<b>N° POPOLAZIONE</b>
0 - 5	3,300,874.00
6 - 10	2,801,713.00
11 - 13	1,686,866.00
14 - 18	2,800,751.00
19 - 24	3,669,431.00
25 - 50	21,956,872.00
51 - 70	14,716,467.00
71 - 100	8,791,253.00
<b>TOTALE</b>	<b>59,724,227.00</b>

Questi dati hanno permesso di iniziare a fare una stima sulla percentuale di persone che occupavano le quattro macro funzioni sopracitate. Tuttavia, si ottenevano dati "generalisti" e non riferiti a un contesto ben preciso e ristretto, come può essere quello di una città.

Il passo successivo è stato quello di fare lo stesso studio e ragionamento applicandolo alla città di Pavia. Dal sito Istat si sono estratti i dati riferiti alla popolazione pavese nel 2012:

<b>POPOLAZIONE PAVESE nel 2012 (Fonte: Istat)</b>	
<b>FASCE D'ETA'</b>	<b>N° POPOLAZIONE</b>
0 - 5	2,477.00
6 - 10	2,351.00
11 - 13	2,444.00
14 - 18	2,559.00
19 - 24	3,510.00
25 - 50	26,339.00
51 - 70	19,442.00
71 - 100	12,092.00
<b>TOTALE</b>	<b>71,214.00</b>

Sempre basandosi sui dati Istat riferiti alla città di Pavia, è stato possibile sapere il numero di persone che vanno a scuola e che lavorano, suddivise per fasce d'età. Il numero delle persone che lavorano è stato ottenuto sommando al dato Istat trovato (che si riferiva solo al numero di lavoratori dipendenti) il numero di commercianti (ricavato rapportando il numero di commercianti totali italiani alla popolazione pavese) e il numero di personale scolastico, inclusi docenti e operatori (ottenuto ipotizzando che il 10% degli adulti a Pavia lavori nell'ambiente scolastico). Il numero delle persone che non lavorano (perché disoccupate o in pensione) è stato ottenuto facendo la semplice differenza tra il totale delle persone della fascia d'età d'interesse e le persone di quella fascia d'età che invece lavorano.

Si è ottenuta così una "fotografia" della popolazione pavese:

<b>POPOLAZIONE PAVESE nel 2012 (Fonte: Istat)</b>			
<b>FASCE D'ETA'</b>	<b>N° LAVORATORI</b>	<b>N° ISCRITTI A SCUOLA</b>	<b>N° PERSONE A CASA</b>
0 - 5	-	1,951.00	526.00
6 - 10	-	2,351.00	-
11 - 13	-	2,444.00	-
14 - 18	148.00	2,411.00	-
19 - 24	2,319.00	1,191.00	-
25 - 50	23,728.00	-	2,611.00
51 - 70	3,203.00	-	16,239.00
71 - 100	-	-	12,092.00
<b>TOTALE</b>	<b>29,398.00</b>	<b>10,348.00</b>	<b>31,468.00</b>

Si è poi suddiviso il giorno in fasce orarie adeguate in modo da rispettare gli orari scolastici e lavorativi:

- Mattina: dalle ore 7 alle ore 13
- Pomeriggio: dalle ore 13 alle ore 17
- Sera: dalle ore 17 alle ore 20
- Notte: dalle ore 20 alle ore 7

Successivamente, sapendo il numero di persone che lavorano, che sono a casa e che vanno a scuola, è stato possibile capire da chi era occupata, e in che fascia oraria, ciascuna delle quattro macro funzioni.

Per rendere più veritiero lo scenario, si è supposto che, sia alla mattina che al pomeriggio, la metà degli adulti che non lavora è a casa, mentre l'altra metà si trova nel Commercio. Lo stesso viene fatto per gli anziani: si è supposto che l'80% sia a casa sia alla mattina che al pomeriggio, mentre il restante 20% si trova nel Commercio.

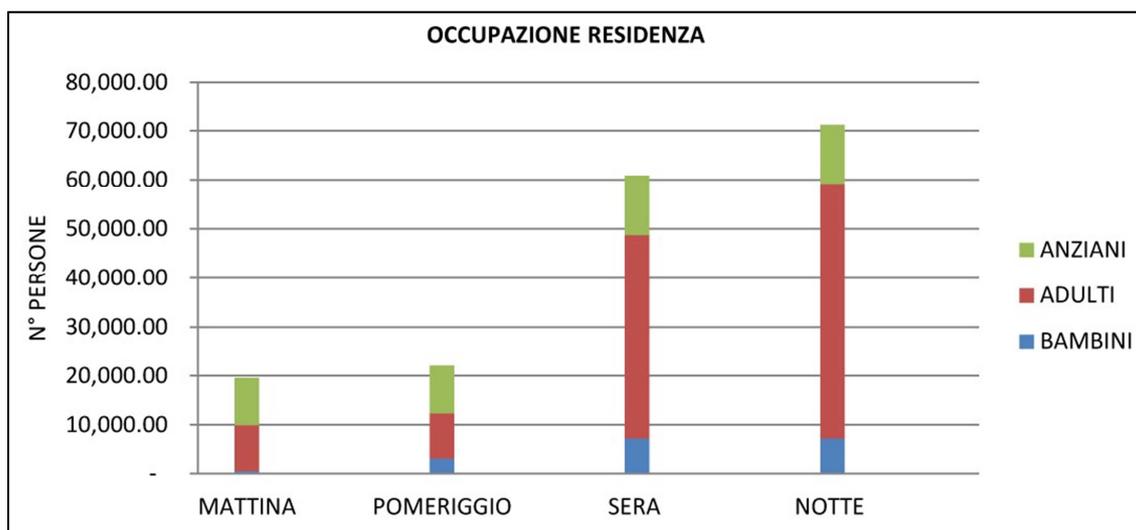
L'occupazione serale della Residenza è pensata in modo tale che il 100% di bambini e anziani sia a casa, mentre solo l'80% degli adulti sia a casa nella fascia oraria tra le 17 e le 20, in modo che il restante 20% racchiuda tutte le persone che finiscono di lavorare tardi e quelle che escono per svago.

Durante la notte la Residenza è occupata dal 100% di tutte le fasce d'età.

In base allo scenario sopra descritto, si è ottenuto il numero di pavesi che occupano la Residenza nelle diverse fasce orarie:

RESIDENZA				
FASCE D'ETA'	MATTINA	POMERIGGIO	SERA	NOTTE
BAMBINI	526.00	2,970.00	7,272.00	7,272.00
ADULTI	9,425.00	9,425.00	41,480.00	51,850.00
ANZIANI	9,674.00	9,674.00	12,092.00	12,092.00

Successivamente si è potuto costruire un istogramma per capire con più chiarezza quali sono le fasce d'età che occupano maggiormente tale funzione:

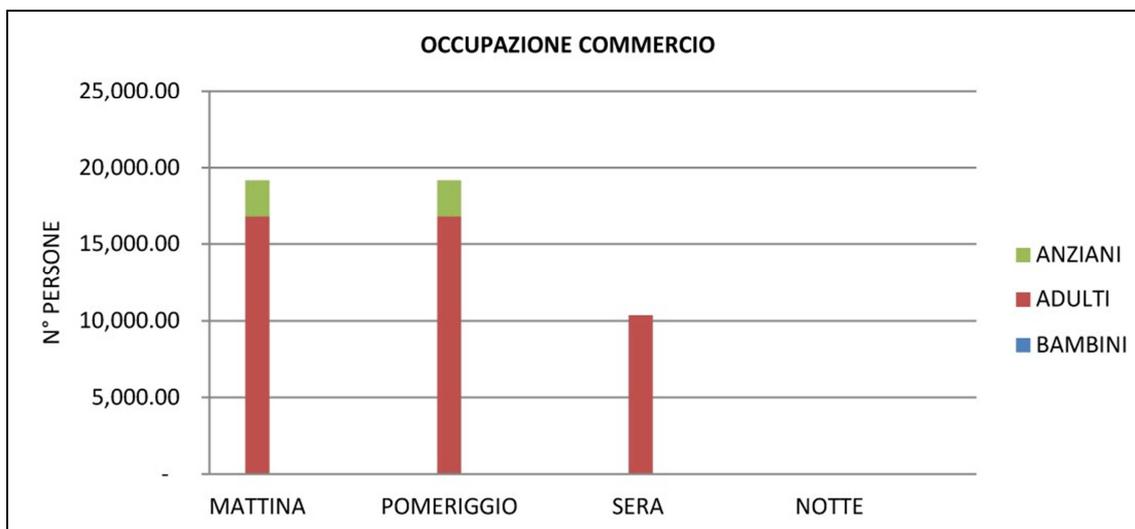


Si può così notare che durante la mattina e il pomeriggio, la Residenza è principalmente occupata dagli adulti che non lavorano e dagli anziani, mentre è molto basso il contributo d'occupazione dato dai bambini. L'aumento di occupazione cresce a mano a mano che ci si avvicina alle ore serali a causa del fatto che molti bambini e adulti tornano a casa dalla scuola e dal lavoro. L'occupazione massima si ha nelle ore notturne quando si suppone che tutte le persone stiano dormendo.

Lo stesso ragionamento è stato fatto anche per la macro funzione Commercio. Nel caso di tale funzione, si deve tenere in considerazione non solo le persone che vi lavorano ma anche le persone che si trovano all'interno per fare acquisti, che nello scenario sopra esposto corrispondono alla metà degli adulti che non lavora e al 20% degli anziani della città di Pavia. Per quanto riguarda l'occupazione serale del Commercio, si è supposto che il 20% degli adulti si trovi in tale funzione, per lavorare o per consumare, mentre si è supposta non occupata nelle ore notturne.

COMMERCIO				
FASCE D'ETA'	MATTINA	POMERIGGIO	SERA	NOTTE
BAMBINI	-	-	-	-
ADULTI	16,775.00	16,775.00	10,370.00	-
ANZIANI	2,418.00	2,418.00	-	-

Come per la Residenza, si è costruito un istogramma per vedere da chi è occupato il Commercio nelle varie fasce orarie:

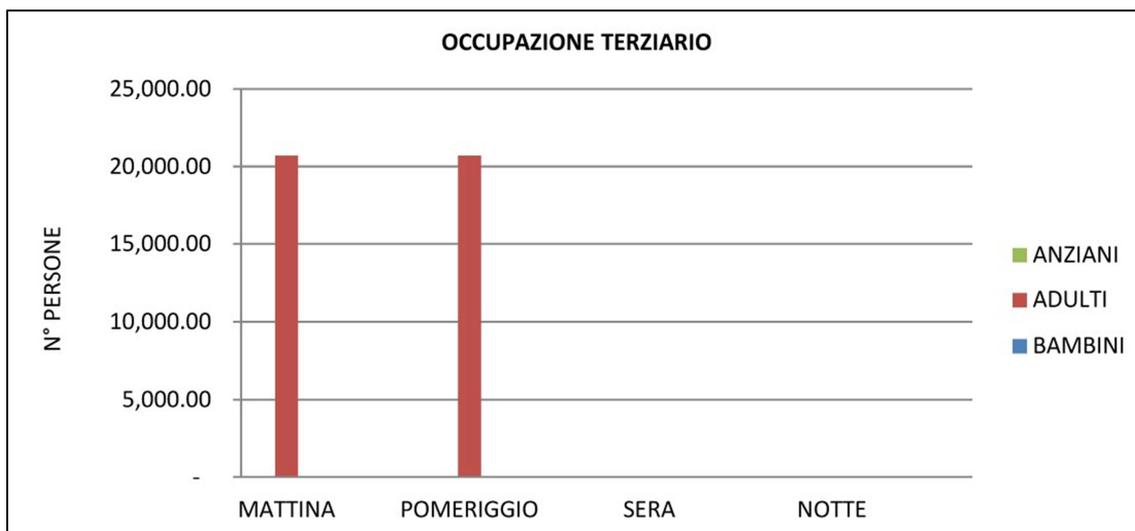


Come ci si poteva aspettare, l'occupazione maggiore è data dalla presenza degli adulti, sia di quelli che lavorano in ambito commerciale sia quelli che vi si trovano per comprare.

La funzione Terziario è occupata solo dagli adulti, che sono la fascia lavorativa. A differenza del Commercio, il Terziario è occupato solo nelle ore lavorative, dalle ore 7 alle 17.

TERZIARIO				
FASCE D'ETA'	MATTINA	POMERIGGIO	SERA	NOTTE
BAMBINI	-	-	-	-
ADULTI	20,702.00	20,702.00	-	-
ANZIANI	-	-	-	-

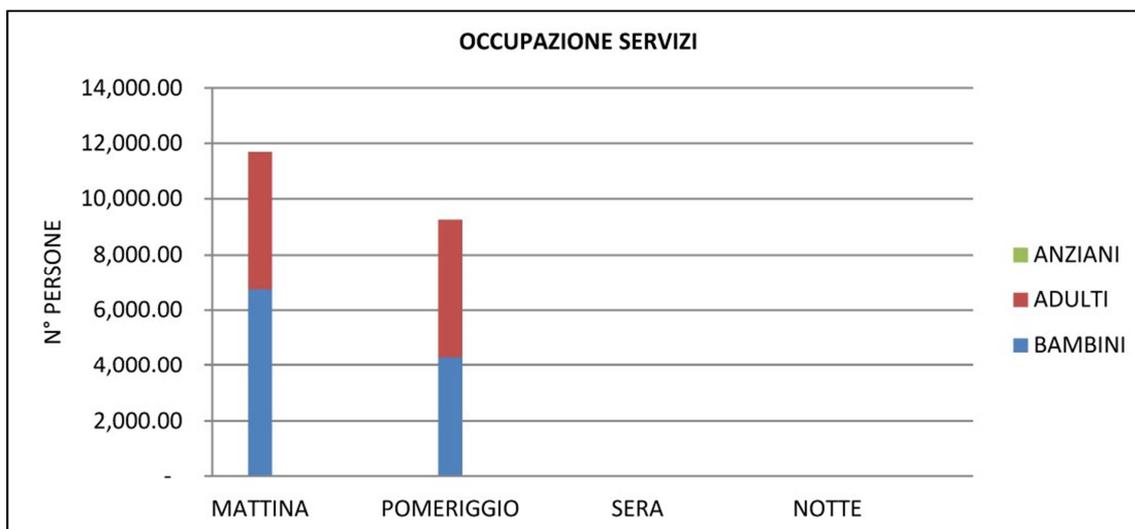
Si è poi costruito l'istogramma e, come precedentemente sottolineato, si nota che il Terziario è occupato solo da adulti nella fascia lavorativa:



Si è poi passati alla macro funzione Servizi, intesi però solo come “scuole”. Tali servizi sono occupati dagli allievi, da professori e da operatori nella fascia giornaliera. Dal momento che alcune scuole medie e superiori non prevedono il rientro pomeridiano, per i ragazzi di quella fascia d’età è stato previsto che il pomeriggio siano a casa.

SERVIZI				
FASCE D'ETA'	MATTINA	POMERIGGIO	SERA	NOTTE
BAMBINI	6,746.00	4,302.00	-	-
ADULTI	4,949.00	4,949.00	-	-
ANZIANI	-	-	-	-

Costruendone l’istogramma:



Come ci si poteva aspettare, il contributo maggiore è dato dalla presenza dei bambini, che sono molto di più rispetto agli adulti. Tra gli adulti sono considerati anche gli studenti universitari oltre che professori, operatori e tutte le persone che lavorano in una struttura scolastica.

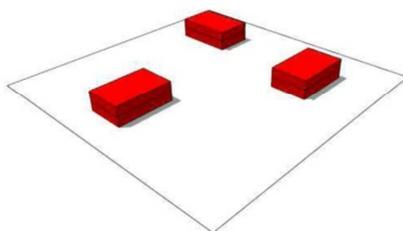
### *Idealizzazione della città*

Per rendere più generale lo studio, si è pensato di “modellizzare” la città di Pavia in modo da applicare gli scenari a una città flessibile di riferimento che metta in evidenza i caratteri tipici delle città storiche italiane sia a livello di tessuti (alta, media e bassa densità) sia a livello di morfologia.

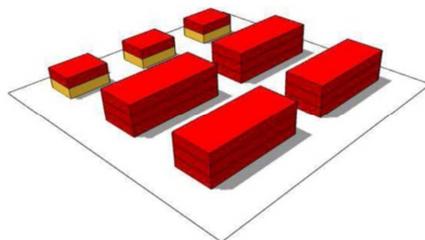
Partendo dunque dall’impianto della città di Pavia si è proposto un impianto cittadino costituito da quattro tipologie di isolati, ciascuno caratterizzato da densità e mix funzionale differente.

Sono così stati campionati quattro isolati di 80m x 80m (misure che rimandano al tipico isolato pavese):

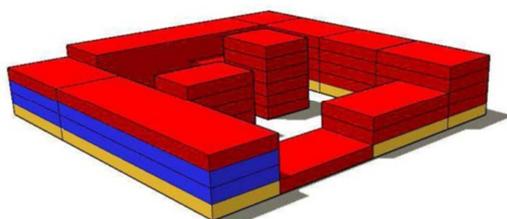
- Tessuto a Bassa Densità: è un tessuto aperto, in cui si trova solo residenza (= rosso).



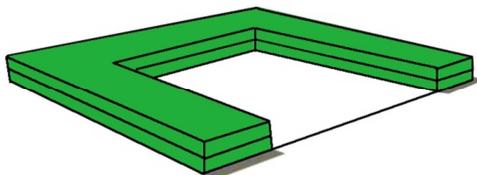
- Tessuto a Media Densità: è un tessuto misto in cui si trova un mix funzionale che comprende residenza (= rosso) e commercio (= giallo).



- Tessuto ad Alta Densità: è il tessuto compatto del centro storico in cui il mix funzionale prevede residenza (= rosso), commercio (= giallo) e terziario (= blu).



- Isolato dei Servizi: in questo tipo di isolato è presente soltanto una struttura scolastica (= verde).



E' stata fatta in seguito a ciò una modellizzazione della città intera, immaginandola composta da 14 isolati di Alta Densità (in rosso), 20 di Media Densità (in giallo), 60 di Bassa Densità (in verde) e 3 Isolati dei Servizi (in blu), intese sempre come strutture scolastiche.



Utilizzando il programma Esri ArcGis, è stato possibile trovare la Superficie Coperta degli isolati simili che si sono usati per modellizzare i quattro tessuti e i valori sono stati ripresi per poter poi calcolare il valore di Indice Territoriale (I.T.).

TIPOLOGIA ISOLATO	SUP. COPERTA (mq)
Alta Densità	4800
Media Densità	3200
Bassa Densità	1280
Isolato Servizi	4160

Grazie a un'analisi precedentemente condotta su isolati reali pavesi, si è potuto stabilire in che percentuale si distribuivano le quattro macro-funzioni individuate (Residenza, Commercio, Terziario e Servizi) rispetto alla Superficie Lorda di Pavimento (SLP) di ciascun tessuto considerato:

TIPOLOGIA ISOLATO	% R.	% C.	% T.	% S.
Alta Densità	60	20	20	/
Media Densità	90	10	/	/
Bassa Densità	100	/	/	/
Isolato Servizi	/	/	/	100

Per calcolare la SLP di ciascun isolato, è necessario moltiplicare la Superficie Coperta per il numero di piani degli edifici al suo interno. Dal momento che si tratta di una idealizzazione, si sono attribuite diverse altezze ai vari isolati: per l'Alta Densità si è ipotizzato che il 50% del valore della Superficie Coperta corrisponda a edifici con 4 piani, mentre il restante 50% a edifici con 5 piani; per la Media Densità si è invece ipotizzato che il 50% del valore della Superficie Coperta corrisponda a edifici con 3 piani, mentre il restante 50% a edifici con 4 piani; per la Bassa Densità, essendo occupata solo dalle residenze, si è ipotizzato che tutte le abitazioni avessero 2 piani, per cui la Superficie Coperta di tale isolato viene moltiplicata per 2 e infine, per l'Isolato dei Servizi, si sono attribuiti anche qui 2 piani fuori terra alla struttura scolastica.

Sapendo la SLP per ciascun isolato e conoscendo la distribuzione percentuale delle funzioni, si è potuto calcolare la SLP di ciascuna delle quattro macro – funzioni presenti nell'isolato.

A questo punto, dividendo la SLP totale di ciascun tessuto per la dimensione dell'isolato stesso (che è pari a 80m x 80 m, avendo ipotizzato gli isolati tutti uguali), si sono ottenuti i valori di I.T. per tutti i quattro tessuti considerati:

TIPOLOGIA ISOLATO	I.T. (mq/mq)
Alta Densità	3.375
Media Densità	1.75
Bassa Densità	0.4
Isolato Servizi	1.3

Successivamente si è attribuito per ciascuna funzione un "Indice di affollamento" che corrisponde a 50 mq/ab. per la Residenza; 0,25 pers./mq per il Commercio; 0,1 pers./mq per il Terziario; 8 mq/alunno e 0,06 adulti/ alunno per i Servizi scolastici.

Bisogna però sottolineare che gli Indici di Affollamento del Commercio e del Terziario (ricavati dalla normativa UNI10339) rappresentano il "massimo affollamento possibile" per la funzione a cui fanno riferimento. Come verrà spiegato in seguito, è opportuno considerare il fatto che il massimo affollamento non viene raggiunto dalle due funzioni per tutto il giorno, ma solo per determinate fasce orari o periodi dell'anno: si è così ritenuto opportuno utilizzare una percentuale di tale indice, in modo da avere un risultato più attendibile.

#### *Definizione e calcolo dell'Indice di Esposizione*

L'Indice di Esposizione (I.E.), che è un parametro adimensionale che indica l'esposizione a cui è soggetta una particolare funzione, ed è così definito:

I.E. di una funzione X di un isolato =

$$(\% \text{ persone nella funzione}) \times (\text{ore parametrizzate}) \times (\% \text{ SLP funzione})$$

dove:

% persone nella funzione =  $\frac{\text{n}^\circ \text{ di persone presenti in una delle 4 macro -funzioni considerate}}{\text{n}^\circ \text{ degli abitanti della città (che corrisponde al n}^\circ \text{ totale di abitanti di Pavia)}} \times 100$ ;

ore parametrizzate =  $\frac{\text{n}^\circ \text{ delle ore in cui una funzione viene occupata}}{\text{ore totali in un anno, in una settimana e in un giorno}} \times 100$ ;

% SLP funzione = corrisponde alla SLP della funzione considerata, divisa per la SLP totale cittadina (ottenuta moltiplicando il numero degli isolati cittadini per la loro SLP trovata precedentemente), moltiplicata poi per 100.

Utilizzando tale formula e l'Indice di Affollamento Massimo per Commercio e Terziario, si è potuto calcolare l'I.E. Massimo Annuale/ Settimanale/ Giornaliero per ciascuno dei 4 isolati.

Confrontando i valori di I.E. Massimi Annuali per ciascun isolato si ottiene:

I.E. tot I.S.max annuo	0.43581
I.E. tot A.D. max annuo	0.41641
I.E. tot M.D.max annuo	0.13760
I.E. tot B.D. annuo	0.00819



Come ci si poteva aspettare, il valore più alto di I.E. si ha nell'isolato dei Servizi, poiché in esso si trovano molti bambini per 10 ore al giorno, anche se la SLP è limitata e per un periodo annuale di soli 200 giorni, che corrispondono all'anno scolastico. Analogamente, l'I.E. della Bassa Densità, in cui vi sono solo residenze e una SLP della residenza molto minore rispetto alla SLP dell'isolato, è il valore più basso.

Per calcolare l'I.E. annuo dei servizi, infatti, si è fatto riferimento all'anno scolastico: nelle scuole il massimo affollamento si riscontra solo nei 200 giorni all'anno in cui c'è lezione, periodo in cui allievi, insegnanti e personale si trovano tutti all'interno dell'edificio. Per cui, nel momento in cui si vanno a parametrizzare le ore di occupazione rispetto alle ore annuali, anziché fare 24 x 365, si utilizzerà 24 x 200, proprio per far riferimento ai giorni scolastici.

Ipotizzando ora di utilizzare come "Indice di affollamento" per Commercio e Terziario solo il 20% del valore del rispettivo "Indice di affollamento massimo", si calcola nuovamente l'Indice di Esposizione per i quattro isolati, ottenendo un valore di I.E. Medio, ovvero quello che si risconterà più probabilmente nella quotidianità. Dal momento che l'indice di affollamento della residenza non viene cambiato (infatti è logico supporre che la residenza, tutti i giorni, raggiunga il suo massimo affollamento), l'I.E. della Bassa Densità, caratterizzata dal 100% di residenza, non varierà e per ciò non verrà riportato poiché è invariato rispetto alla precedente tabella.

Per l'isolato dei Servizi, si è fatta una media ponderata tra l'I.E. Massimo annuale fatto sui 200 giorni scolastici, e l'I.E. Minimo annuale, fatto sui restanti 165 giorni. L'I.E. Minimo fa riferimento ai tre mesi annuali in cui i bambini sono a scuola e si ipotizza quindi di avere solo 3 adulti (segretari o addetti) all'interno della struttura scolastica.

La formula utilizzata per calcolare l'I.E. Medio Annuale per l'Isolato dei Servizi è pari a:

$$\text{I.E. Medio Annuale} = (\text{I.E. Max Annuale} \times 200 + \text{I.E. Minimo Annuale} \times 165) / 365.$$

Ovviamente la formula per calcolare l'I.E. Medio Annuale/Settimanale/ Giornaliero è la medesima utilizzata per l'I.E. Massimo.

Confrontando i valori di I.E. Medi Annuali per ciascun isolato si ottiene:

I.E. tot A.D. med annuo	0.25121
I.E. tot I.S. med annuo	0.23945
I.E. tot M.D. med annuo	0.12910
I.E. tot B.D. annuo	0.00819

In questo caso il valore di I.E. medio maggiore si riscontra nell'Alta Densità: infatti in tale tessuto vi sono un gran numero di persone che vi gravitano per tutte le ore della giornata, in una SLP considerevole.

Troviamo poi al secondo posto il valore di Esposizione dei Servizi, intesi sempre come scuola: in tal caso, avendo fatto la media ponderata sulla base dei giorni in cui risulta occupata, si ottiene che il valore medio risulterà molto minore di quello massimo.

*Definizione e calcolo dell'Indice di Vulnerabilità*

L'Indice di Vulnerabilità (I.V.), che è un parametro adimensionale che indica quanto sono vulnerabili determinate fasce d'età in rapporto ai luoghi che occupano durante la giornata, ed è così definito:

I.V. di una funzione X di un isolato =

$$(\% \text{ persone fascia d'età nella funzione}) \times (\text{ore parametrizzate}) \times (\text{I.I.F.})$$

dove:

% persone fascia d'età nella funzione = n° di persone di una delle tre fasce d'età (bambini, adulti, anziani) presenti in una delle 4 macro -funzioni considerate, diviso il n° degli abitanti della città (che corrisponde al n° totale di abitanti di Pavia), moltiplicato poi per 100;

ore parametrizzate = n° delle ore in cui una funzione viene occupata diviso per le ore totali in un anno, in una settimana e in un giorno, moltiplicato poi per 100;

I.I.F. = Indice di Impedimento Fisico: è un parametro adimensionale che indica quanto una persona, in base all'età, ha bisogno di aiuto per mettersi in salvo in caso di sisma poiché non è in grado fisicamente di spostarsi.

Il valore di I.I.F. per le tre diverse fasce d'età è stato ottenuto mediante un confronto a coppie che ha portato ad attribuire ai Bambini un valore pari a 8, agli Adulti 3 e agli Anziani 9:

VALUTAZIONE COMPARATIVA CALCOLO INDICE DI IMPEDIMENTO FISICO						
	B	C	D	E	F	G
A	AB1	A2	A3	A3	A2	AG1
	B	B2	B3	BE1	B2	BG1
		C	CD1	C2	CF1	G2
			D	DE1	F2	G3
				E	F2	G3
					F	FG1
						G

1 = PARITA'  
2 = PREFERENZA MEDIA  
3 = PREFERENZA MASSIMA

A. Fascia da 0 - 5 anni  
B. Fascia da 6 - 10 anni  
C. Fascia da 11 - 13 anni  
D. Fascia da 14 - 24 anni  
E. Fascia da 25 - 50 anni  
F. Fascia da 51 - 70 anni  
G. Fascia da 71 - 100 anni

BAMBINI

---

ADULTI

---

ANZIANI

PARAMETRIZZO CON A=10					
A =	12		A =	10	
B =	10		B =	8.3333333	I.I.F. BAMBINI
C =	6		C =	5	8
D =	2		D =	1.6666667	
E =	2		E =	1.6666667	I.I.F. ADULTI
F =	6		F =	5	2.7777778
G =	11		G =	9.1666667	I.I.F. ANZIANI
					9.1666667
					9

Utilizzando la formula espressa e sapendo, dall'analisi fatta sulla popolazione, dove si trovano le persone in un determinato momento della giornata, è stato possibile calcolare l'I.V. per ogni fascia d'età in ogni momento della giornata a seconda della macro – funzione occupata.

Per sapere come variava la distribuzione per fasce d'età nella residenza, si è “spalmata” la percentuale reale di bambini (10%), adulti (73%) e anziani (13%) sui residenti di ciascun isolato.

Dal momento che si utilizza un numero di persone derivante dagli Indici di Affollamento, anche per l'I.V. si avrà un valore Massimo e un valore Medio.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive riferite a ciascun isolato:

- Alta Densità:

I.V. ANNUALE MASSIMO ALTA DENSITA'			
I.V. Residenza	0.33155		
I.V. Commercio	0.65440	I.V. tot A.D. max annuo	1.19370
I.V. Terziario	0.20775		

I.V. SETTIMANALE MASSIMO ALTA DENSITA'			
I.V. Residenza	17.2879		
I.V. Commercio	34.1225	I.V. tot A.D. max sett.	62.2429
I.V. Terziario	10.8325		

I.V. GIORNALIERO MASSIMO ALTA DENSITA'			
I.V. Residenza	121.0151		
I.V. Commercio	238.8575	I.V. tot A.D. max day	435.7004
I.V. Terziario	75.8278		

- Media Densità:

I.V ANNUALE MASSIMO MEDIA DENSITA'			
I.V. Residenza	0.25787		
I.V. Commercio	0.16966	I.V. tot M.D. max	0.42753

I.V SETTIMANALE MASSIMO MEDIA DENSITA'			
I.V. Residenza	13.4461		
I.V. Commercio	8.8466	I.V. tot M.D. max sett.	22.2927

I.V GIORNALIERO MASSIMO MEDIA DENSITA'			
I.V. Residenza	94.1228		
I.V. Commercio	61.9260	I.V. tot M.D. max day	156.0489

- Bassa Densità:

I.V ANNUALE BASSA DENSITA'			
I.V. Residenza	0.06549	I.V. tot B.D. annuo	0.06549

I.V SETTIMANALE BASSA DENSITA'			
I.V. Residenza	3.4149	I.V. tot B.D. sett.	3.4149

I.V GIORNALIERO BASSA DENSITA'			
I.V. Residenza	23.9042	I.V. tot B.D. day	23.9042

- Isolato Servizi

I.V ANNUALE MASSIMO ISOLATO SERVIZI			
I.V. Servizi	2.48874	I.V. tot I.S. max annuo	2.48874

I.V SETTIMANALE MASSIMO ISOLATO SERVIZI			
I.V. Servizi	71.1069	I.V. tot I.S. max sett.	71.1069

I.V GIORNALIERO MASSIMO ISOLATO SERVIZI			
I.V. Servizi	497.7486	I.V. tot I.S. max day	497.7486

Come precedentemente fatto per l'I.E., è possibile confrontare i valori di I.V. Massimi Annuali ottenuti per i diversi isolati:

I.V. tot I.S. max annuo	2.48874	↑
I.V. tot A.D. max annuo	1.19370	
I.V. tot M.D. max annuo	0.42753	
I.V. tot B.D. max annuo	0.06549	

Come accade per l'I.E. Massimo, il più alto valore viene raggiunto dall'Isolato dei Servizi, poiché in esso vi è un'elevata presenza di bambini, i quali hanno un I.I.F. elevato (pari a 8).

Al secondo posto troviamo ancora il tessuto dell'Alta Densità perché in esso vi sono molte persone, sia anziani, che hanno l'I.I.F. più elevato, che adulti e bambini.

Anche per l'I.V., l'isolato meno vulnerabile è quello a Bassa Densità, poiché vi sono poche persone rispetto agli altri isolati, anche se in esso vi gravitano per tutto il giorno gli anziani, che sono la fascia maggiormente vulnerabile.

Facendo ora riferimento alla quantità di persone presenti nel Commercio e nel Terziario calcolata utilizzando il 20% dell'Indice di Affollamento Massimo, è possibile trovare l'I.V. Medio per ogni isolato. Anche in questo caso è opportuno sottolineare che l'I.V. della Bassa Densità non varierà dal momento che non viene cambiata la percentuale di affollamento della Residenza, per cui non verrà riportata di seguito la tabella di calcolo di tale isolato, essendo invariata rispetto alla precedente.

Proprio come nel caso dell'I.E., nell'Isolato dei Servizi è invece opportuno parlare di I.V. Massimo, che si ottiene nei 200 giorni in cui la scuola è frequentata dai bambini, e di I.V. Minimo, ottenuto nei 165 giorni in cui i ragazzi sono in vacanza e le uniche persone presenti sono gli operatori ed eventualmente gli insegnanti.

L'I.V. Medio sarà dato dalla media ponderata tra l'I.V. Massimo, riferito ai 200 giorni scolastici, e l'I.V. Minimo, riferito ai 165 giorni in cui non c'è lezione, secondo la formula:

$$I.V. \text{ Medio Annuale} = (I.V. \text{ Max Annuale} \times 200 + I.V. \text{ Minimo Annuale} \times 165) / 365.$$

Vengono qui di seguito riportate le tabelle riassuntive di calcolo per gli isolati di Alta, Media Densità e dei Servizi, utilizzate per il calcolo di I.V. Medio:

## • Alta Densità:

I.V ANNUALE MEDIO ALTA DENSITA'			
I.V. Residenza	0.33155		
I.V. Commercio	0.13088	I.V. tot A.D. med annuo	0.48736
I.V. Terziario	0.02493		

I.V SETTIMANALE MEDIA ALTO DENSITA'			
I.V. Residenza	17.2879		
I.V. Commercio	6.8245	I.V. tot A.D. med sett.	25.4123
I.V. Terziario	1.2999		

I.V GIORNALIERO MEDIO ALTA DENSITA'			
I.V. Residenza	121.0151		
I.V. Commercio	47.7715	I.V. tot A.D. med day	177.8859
I.V. Terziario	9.0993		

## • Media Densità:

I.V ANNUALE MEDIO MEDIA DENSITA'			
I.V. Residenza	0.25787		
I.V. Commercio	0.03393	I.V. tot M.D. med	0.29180

I.V SETTIMANALE MEDIA ALTO DENSITA'			
I.V. Residenza	13.4461		
I.V. Commercio	1.7693	I.V. tot M.D. med sett.	15.2154

I.V GIORNALIERO MEDIA ALTA DENSITA'			
I.V. Residenza	94.1228		
I.V. Commercio	12.3852	I.V. tot M.D. med day	106.5080

## • Isolato Servizi:

I.V ANNUALE MEDIO SERVIZI			
I.V. tot Serv.max anno	2.48874		
I.V. tot Serv. min anno	0.00319	I.V. tot Serv. med anno	1.36514

I.V SETTIMANALE MEDIO SERVIZI			
I.V. tot Serv.max sett.	71.10694		
I.V. tot Serv.min sett.	0.07523	I.V. tot Serv. med sett.	38.99671

I.V GIORNALIERO MEDIO SERVIZI			
I.V. tot Serv.max day	497.74857		
I.V. tot Serv.min day.	0.52658	I.V. tot Serv. med day.	272.97699

Anche in questo caso è possibile fare un confronto tra gli I.V. Medi ottenuti:

I.V. tot I.S. med annuo	1.36514
I.V. tot A.D. med annuo	0.48736
I.V. tot M.D.med	0.29180
I.V. tot B.D. annuo	0.06549

Anche in questo caso, l'I.V. Medio maggiore è ottenuto dall'Isolato dei Servizi per le stesse ragioni espone per il risultato precedente.

Al secondo posto si trova sempre il valore dato dal tessuto di Alta Densità.

#### *Definizione e calcolo dell'Indice di Pericolosità*

L'indice di Pericolosità (I.P.) indica in che tipologia di zona sismica si trova la porzione di città o l'isolato considerato, in base alla carta di Microzonazione Sismica cittadina.

Come già sottolineato in precedenza, è possibile individuare quattro tipologie di zone in base all'accelerazione orizzontale:

- Zona 1: è la zona più pericolosa, in cui possono verificarsi fortissimi terremoti
- Zona 2: in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti
- Zona 3: in questa zona possono verificarsi scuotimenti modesti, anche se più rari
- Zona 4: è la zona meno pericolosa, in cui i terremoti sono rari.

In base a tale suddivisione è possibile attribuire a ciascuna zona un Indice di Pericolosità adimensionale e proporzionale alla pericolosità sismica della zona cittadina presa in esame:

I.P.	
ZONA 1	4
ZONA 2	3
ZONA 3	2
ZONA 4	1

## Scenari

Una volta trovati i valori di I.V. e I.E. si è passati al calcolo del Rischio Annuo, sia Massimo che Medio, per ciascuno dei quattro tessuti individuati ipotizzando di collocarli, di volta in volta, in una delle quattro Zone sismiche.

Una volta individuati i tessuti che si collocano nell'intervallo di Rischio elevato (sia nel caso si consideri il Rischio Massimo che Medio), sono stati creati degli scenari di modifica funzionale in cui si ipotizza di modificare le percentuali di SLP delle macro funzioni presenti negli isolati più a rischio.

Successivamente è stato calcolato nuovamente il rischio per tali isolati modificati e si è osservato se e quale modifica funzionale sia più efficace nella riduzione del valore di Rischio iniziale, che è l'obiettivo di tale studio.

Calcolando il Rischio secondo la formula:

$$\text{RISCHIO} = \text{I.P.} \times \text{I.E.} \times \text{I.V.}$$

dove, si ricorda:

I.P. = Indice di Pericolosità,

I.E. = Indice di Esposizione,

I.V. = Indice di Vulnerabilità.

vengono definiti degli intervalli in modo tale da poter distinguere una "scala" di Rischio: High (Alto), Medium (Medio) e Low (Basso):

RISCHIO	INTERVALLO
High	$R \geq 0.4$
Medium	$0.20 \leq R < 0.4$
Low	$R < 0.20$

Dal momento che i valori di I.E. e I.V. vengono sempre parametrizzati (rispetto alla popolazione pavese, alle ore del giorno e alla SLP totale) anche il valore di Rischio sarà un numero adimensionalizzato.

Per creare gli scenari è stato scelto di utilizzare i valori dell'Indice di Esposizione e di Vulnerabilità Annuì (anziché Settimanali o Giornalieri) per avere un valore di Rischio complessivo, appunto riferito all'intero anno.

Come precedentemente spiegato, si ricorda che l'Indice di Pericolosità viene così definito:

I.P.	
ZONA 1	4
ZONA 2	3
ZONA 3	2
ZONA 4	1

dove con il colore rosso viene identificata la zona più pericolosa dal punto di vista sismico, in cui si possono verificare terremoti violenti; a decrescere poi fino alla Zona 4, la zona meno pericolosa, identificata con il colore verde.

Raggruppando in una tabella i valori di I.E. e I.V. Annuì Massimi e Medi calcolati in precedenza per ogni tipologia di tessuto cittadino individuata:

I.E. Annuale Massimo		I.V. Annuale Massimo	
ALTA DENSITA'	0.416	ALTA DENSITA'	1.194
MEDIA DENSITA'	0.138	MEDIA DENSITA'	0.428
BASSA DENSITA'	0.008	BASSA DENSITA'	0.065
ISOLATO SERVIZI	0.436	ISOLATO SERVIZI	2.489

I.E. Annuale Medio		I.V. Annuale Medio	
ALTA DENSITA'	0.251	ALTA DENSITA'	0.487
MEDIA DENSITA'	0.129	MEDIA DENSITA'	0.292
BASSA DENSITA'	0.008	BASSA DENSITA'	0.065
ISOLATO SERVIZI	0.239	ISOLATO SERVIZI	1.365

è stato possibile calcolare il Rischio Annuo Massimo e il Rischio Annuo Medio per ciascun tessuto, ipotizzando di collocare ciascuno di essi nelle diverse fasce di pericolosità sismica.

#### Scenari per il Rischio Annuale Massimo

Di seguito viene riportata e commentata la tabella che si riferisce al calcolo del Rischio Annuo Massimo, basato quindi sui valori di I.E e I.V. Annuo Massimo:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
Zona 4	Alta	4	0.416	1.194	1.988
	Media	4	0.138	0.428	0.235
	Bassa	4	0.008	0.065	0.002
	Servizi	4	0.436	2.489	4.339
Zona 3	Alta	3	0.416	1.194	1.491
	Media	3	0.138	0.428	0.176
	Bassa	3	0.008	0.065	0.002
	Servizi	3	0.436	2.489	3.254
Zona 2	Alta	2	0.416	1.194	0.994
	Media	2	0.138	0.428	0.118
	Bassa	2	0.008	0.065	0.001
	Servizi	2	0.436	2.489	2.169
Zona 1	Alta	1	0.416	1.194	0.497
	Media	1	0.138	0.428	0.059
	Bassa	1	0.008	0.065	0.001
	Servizi	1	0.436	2.489	1.085

RISCHIO Annuo Max	INTERVALLO	ZONA SISMICA			
High	$R \geq 0.4$	Red	Orange	Yellow	Green
Medium	$0.20 \leq R < 0.4$	Red	White		
Low	$R < 0.20$	Red	Orange	Yellow	Green

I valori del Rischio evidenziati in rosso, sono quelli che corrispondono a Rischio Elevato. Come si può notare, i valori di Rischio elevato appartengono, in tutte le zone sismiche, al tessuto dell'Alta Densità e a quello dell'Isolato dei Servizi.

Si riscontra solo un valore di Rischio Medium, evidenziato in arancione, che si ottiene quando il tessuto di Media Densità si trova nella Zona 1, ovvero in quella più pericolosa. Osserviamo infatti che tale tessuto, nelle altre zone sismiche, ottiene valori di Rischio Low (evidenziati in verde).

Infine si può notare che l'isolato di Bassa Densità, in cui è presente solo la macro funzione residenziale, assume sempre un valore di Rischio Minimo indipendentemente dalla zona sismica in cui si trova. Questo è facilmente spiegabile dal fatto che, in tale tessuto, vi sono poche persone ed essendoci solo Residenza, la maggior parte di essa si sposterà in altri isolati per recarsi sul luogo di lavoro o a scuola.

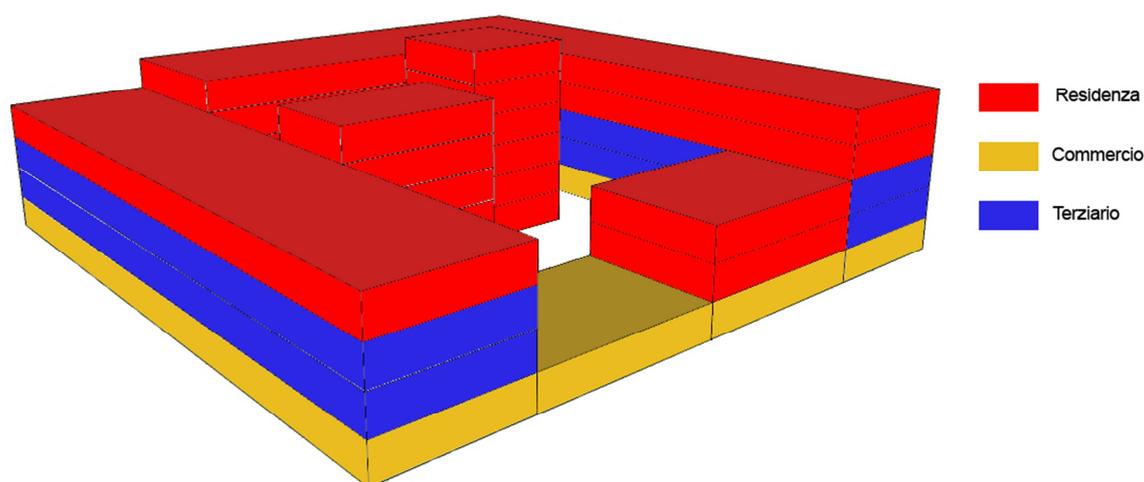
Tornando a ragionare sui valori di Rischio High ottenuti nell'Alta Densità e nei Servizi, si può constatare che il risultato ottenuto è ragionevole: il rischio maggiore lo si riscontra nel tessuto in cui gravitano più persone e vi sono più mq di costruito (Alta Densità) e in quello dove si trovano molti bambini (Isolato dei Servizi) che, si ricorda, hanno un Indice di Impedimento Fisico elevato.

Per ridurre il rischio in tali isolati, una modifica areale (ovvero ipotizzare di "spostare" tali tessuti in Zone Sismiche più sicure) risulterebbe totalmente inutile poiché, come si può osservare nella tabella, essi raggiungono comunque un Rischio High in ogni zona sismica, anche nella Zona 4, che è la meno pericolosa.

Per l'isolato ad Alta Densità si è pensato quindi ad una modifica funzionale: ovvero vengono fatte variare le percentuali di Residenza, Commercio e Terziario rispetto a quella trovata dall'analisi di isolati pavese con condizioni di densità e mix funzionale simili, con cui si sono calcolati I.E., I.V. e il Rischio. Le percentuali usate nell'Alta Densità, ricavate dall'analisi di isolati pavese con caratteristiche simili a tale tessuto, corrispondono a:

TIPOLOGIA ISOLATO	% R.	% C.	% T.	% S.
Alta Densità	60	20	20	/

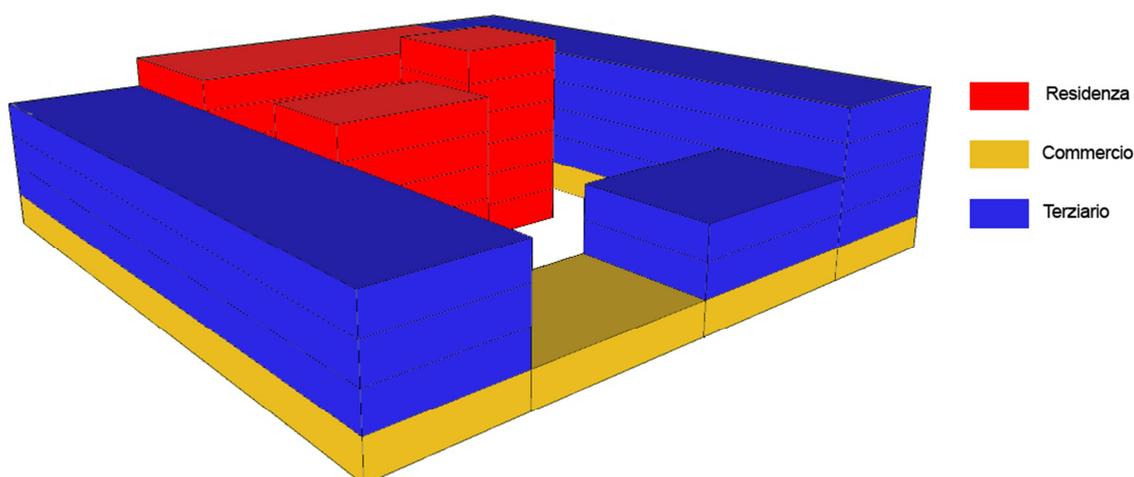
Graficamente:



La prima ipotesi di modifica è la creazione di uno scenario, che da qui in poi si indicherà con A, in cui tale isolato viene "terziarizzato" e le percentuali delle macro funzioni cambiano :

	%
RESIDENZA	30
COMMERCIO	20
TERZIARIO	50

E graficamente è possibile osservare meglio la variazione:



in modo tale che la funzione Terziario rappresenti il 50% della SLP presente nell'isolato di Alta Densità. Cambiando quindi i mq di ciascuna funzione, cambia, di conseguenza, il numero di persone che tale funzione può ospitare e cambieranno i valori di I.E. e I.V. Anni Massimi e Medi.

Si passa quindi da un valore di Rischio Annuo Massimo pari a 1,988 a un valore di Rischio pari a 2,755:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
	Alta	4	0.416	1.194	1.988



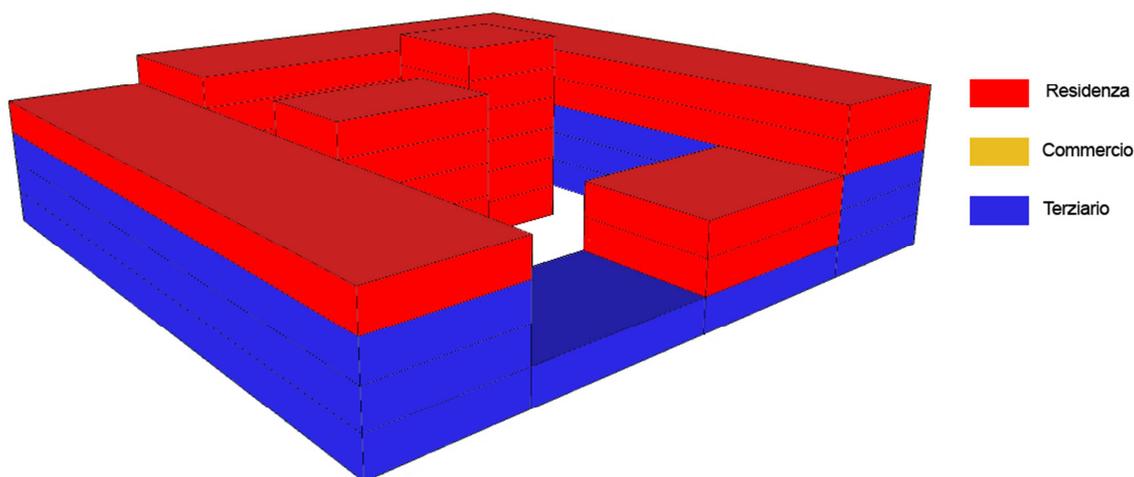
ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Scenario A
	Alta	4	0.514	1.340	2.755

Come si osserva dalle tabelle, avendo aumentato la % di Terziario (e diminuito quella della Residenza lasciando invariata quella del Commercio) il valore di Rischio è cresciuto poiché sono aumentate le persone che gravitano in tale funzione anche se le uniche persone che la occupano sono gli adulti, con l'I.I.F. minore. Tuttavia il gran numero di persone presenti nel Terziario fa sì che lo scenario A di cambiamento funzionale non comporti una riduzione di rischio rispetto alla condizione originale.

Nello scenario B di modifica funzionale, si procede sempre a una "terziarizzazione" del tessuto di Alta Densità, ipotizzando in tal caso di lasciare invariata la % di Residenza e di annullare la presenza del Commercio:

	%
RESIDENZA	60
COMMERCIO	-
TERZIARIO	40

Graficamente:



Anche in tal caso si avrà una variazione della SLP del Terziario, che passa dal 20 al 40%, con conseguente aumento delle persone che vi gravitano. In tal caso, si passa da un valore di Rischio pari a 1,988, ottenuto nel caso “ideale”, a un valore di 1,208:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
	Alta	4	0.416	1.194	1.988



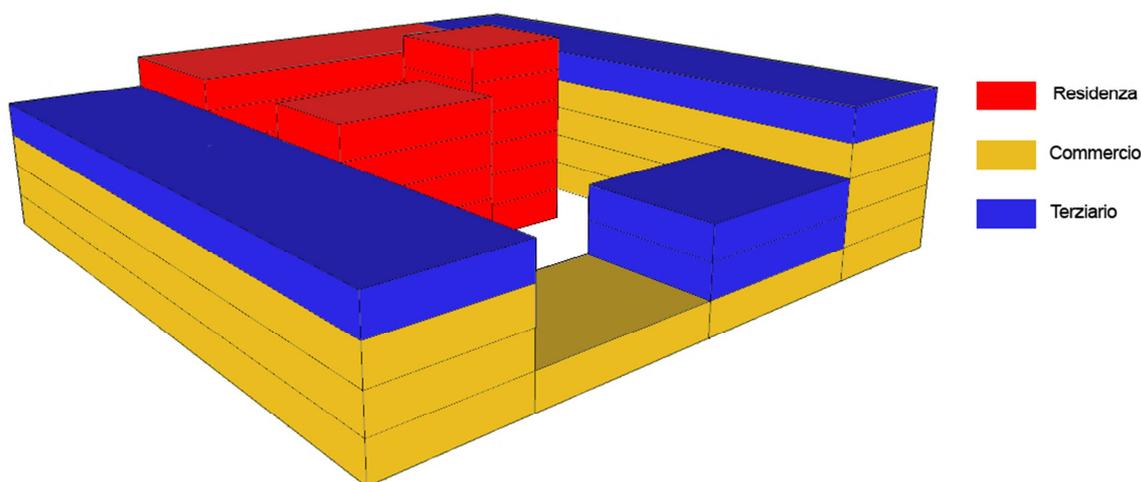
ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Scenario B
	Alta	4	0.404	0.747	1.208

In tale scenario si nota come il rischio sia diminuito rimanendo però sempre nell'intervallo di Rischio High. Questo è spiegabile considerando il fatto che in tale scenario viene azzerata la % di Commercio (in cui è sempre presente il 20% di anziani, ovvero la fascia più vulnerabile fisicamente) e che comunque la % maggiore è occupata dalla Residenza, anziché dal Terziario.

Si è ipotizzato di creare altri due scenari in cui l'Alta Densità venga “commercializzata”, ovvero venga aumentata la % della macro funzione commerciale a discapito delle altre due funzioni presenti.

Nel primo scenario di “commercializzazione”, chiamato scenario C, si ipotizza di portare al 50% la percentuale di Commercio presente nel tessuto considerato diminuendo quella della Residenza, coerentemente con quanto è stato precedentemente fatto nello scenario A in cui era il Terziario a occupare la metà della SLP dell'isolato. La SLP totale viene così distribuita:

	%
RESIDENZA	30
COMMERCIO	50
TERZIARIO	20



Anche in tale caso, variando la SLP commerciale, si assisterà a un aumento delle persone che vi sono presenti, con conseguente aumento di I.E. e I.V. che comporta una crescita elevata del Rischio Annuale Massimo per lo scenario C, che è pari a 8,746, rispetto al valore iniziale di 1,988:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
	Alta	4	0.416	1.194	1.988

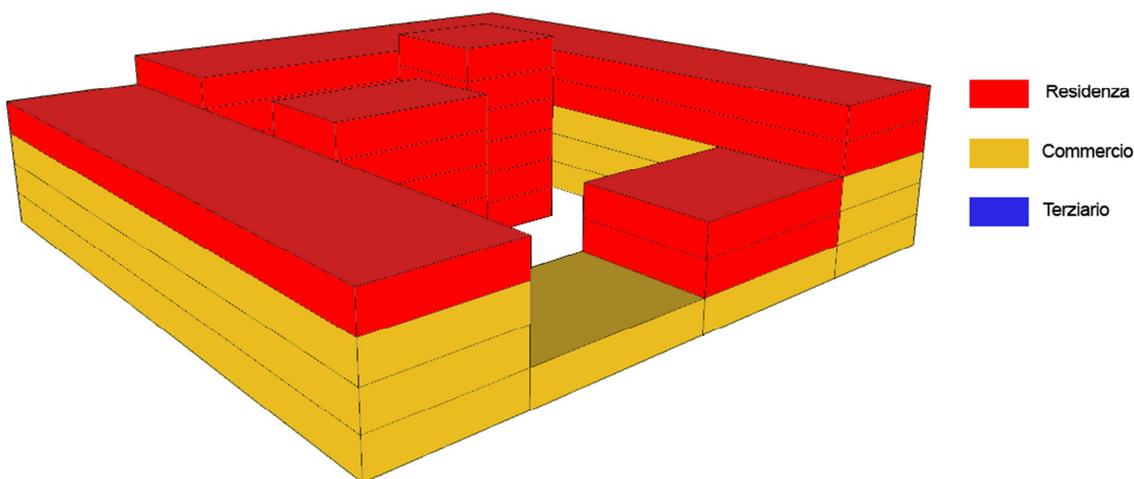


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Scenario C
	Alta	4	1.088	2.010	8.746

In tale scenario il rischio è aumentato in modo elevato poiché, avendo aumentato la % della macro funzione commerciale, si è aumentata la sua SLP e di conseguenza il numero delle persone in esso presenti. Si ricorda che nel Commercio vi è un elevata presenza di anziani, in qualità di fruitori, che rappresentano la fascia più vulnerabile fisicamente, e considerando anche l' aumento di mq, rappresenta un ulteriore aumento del rischio.

Coerentemente con quanto fatto per la “terziarizzazione”, viene creato un secondo scenario, D, di “commercializzazione” in cui viene azzerata la % di Terziario, lasciando invariata quella residenziale:

	%
RESIDENZA	60
COMMERCIO	40
TERZIARIO	-



Anche in questo caso, avendo aumentato la % di SLP commerciale, per le ragioni esposte prima, il Rischio aumenta portandosi a un valore pari a 5,52, che resta sempre nell'intervallo di Rischio High:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
	Alta	4	0.416	1.194	1.988

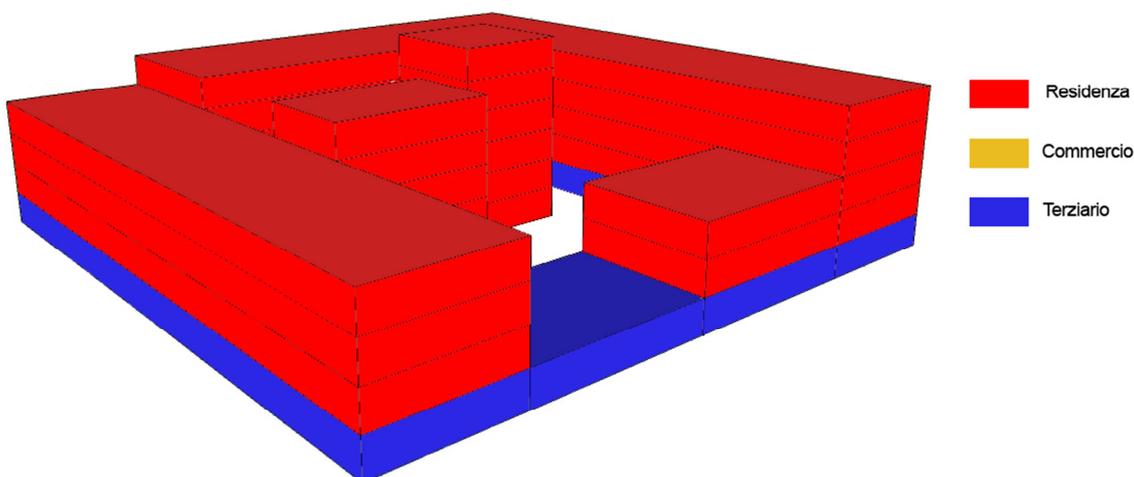


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Scenario D
	Alta	4	0.842	1.640	5.522

Per completare tutte le combinazioni possibili, si sono creati due scenari di “residenzializzazione”, in cui viene aumentata la percentuale della SLP residenziale.

Il primo scenario di “residenzializzazione” dell’Alta Densità, E, ipotizza un azzeramento della % della macro funzione commerciale, lasciando invariata quella del Terziario.

	%
RESIDENZA	80
COMMERCIO	-
TERZIARIO	20



Avendo azzerato la macro funzione commerciale che, come precedentemente osservato, è quella che comporta un aumento degli Indici di Vulnerabilità ed Esposizione, si può osservare dalla tabella sottostante che per la prima volta si diminuisce il Rischio Annuo Massimo, che passa così da un valore di 1,988 a 1,096:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
	Alta	4	0.416	1.194	1.988

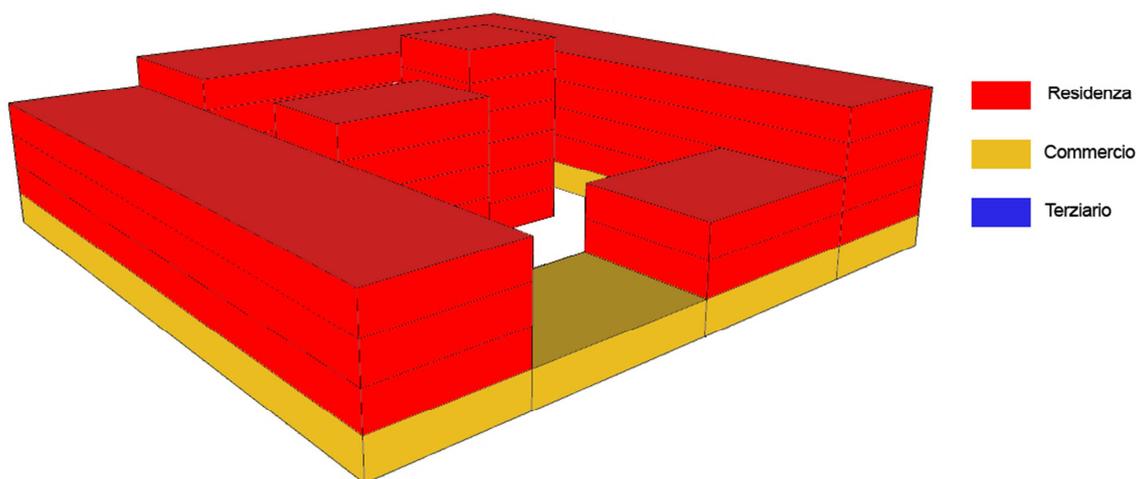


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Scenario E
	Alta	4	0.422	0.650	1.096

Nonostante si assista a una diminuzione del 55% del valore del Rischio Annuo Massimo nello scenario "ideale", il Rischio dello scenario E resta comunque in una fascia di Rischio Elevato.

L'ultimo scenario ipotizzato, F, prevede un azzeramento della macro funzione Terziario e un aumento della "residenzializzazione" del tessuto di Alta Densità, lasciando inalterata la percentuale di SLP del Commercio.

	%
RESIDENZA	80
COMMERCIO	20
TERZIARIO	-



In tale ipotesi, la % del Commercio viene aumentata rispetto al precedente scenario e, per le ragioni già illustrate, si assisterà di conseguenza a un aumento del valore di Rischio Annuo Massimo di tale scenario rispetto a quello trovato nelle condizioni iniziali, con la percentuale di mix funzionale data da un'analisi di reali isolati della città di Pavia.

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Annuo Max.
	Alta	4	0.416	1.194	1.988



ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Max.	I.V. Annuale Max.	RISCHIO Scenario F
	Alta	4	0.531	1.096	2.329

Confrontando tutti gli scenari creati, si può vedere quale risulta essere quello più vantaggioso e quale quello più sfavorevole, rispetto a quello dello scenario basato sui dati raccolti dagli isolati pavese, il cui valore è evidenziato in azzurro:

RISCHIO Annuo Max		RESIDENZA	COMMERCIO	TERZIARIO
RISCHIO Scenario I.	1.988	60%	20%	20%
RISCHIO Scenario A	2.755	30%	20%	50%
RISCHIO Scenario B	1.208	60%	0%	40%
RISCHIO Scenario C	8.746	30%	50%	20%
RISCHIO Scenario D	5.522	60%	40%	0%
RISCHIO Scenario E	1.096	80%	0%	20%
RISCHIO Scenario F	2.329	80%	20%	0%

Come si può notare, la modifica funzionale più vantaggiosa, che diminuisce del 55% il valore di Rischio iniziale, si riscontra nello scenario E, ovvero nello scenario di “residenzializzazione” dell’isolato di Alta Densità in cui viene azzerata la percentuale di Commercio presente e aumentata del 20% quella residenziale rispetto allo scenario reale di partenza. Tuttavia è opportuno sottolineare che, nonostante ci sia stata un’elevata diminuzione del Rischio, non si è riusciti a portare, in nessun caso, il valore di Rischio in una fascia di pericolosità inferiore alla High.

Questi scenari di modifica funzionale fatti sull’isolato di Alta Densità (tessuto che risulta essere sempre a rischio elevato, anche quando si cambia la zona sismica) ipotizzando che esso si collochi sempre nella Zona 1, la più pericolosa, dimostrano che, anche variando la percentuale del mix funzionale presente non è possibile portare il valore di Rischio in un intervallo Medium o Low.

Tale risultato risulta essere ragionevole se si considera il fatto che tale isolato possiede un’elevata metratura di costruito e, facendone variare la % di mix funzionale, varierà anche il numero delle persone che vi si trovano e, di conseguenza, varieranno anche gli indici I.E. e I.V. che andranno a modificare il valore di Rischio. Si ricorda inoltre che tali valori di Rischio sono calcolati utilizzando l’Indice di Affollamento Massimo di occupazione per le funzioni Commercio e Terziario, e per l’Isolato dei Servizi si è considerato che il valore di Rischio Massimo corrisponda a un giorno scolastico, ovvero quando sono presenti tutti i bambini e gli adulti che occupano l’edificio scolastico.

Tali valori di Rischio rappresentano dunque il “Rischio Massimo” nella situazione più sfavorevole, ovvero quando tutte le macro funzioni considerate sono occupate dal numero maggiore di persone che esse possono ospitare.

Gli scenari di modifica funzionale non sono stati invece fatti sull’Isolato dei Servizi, proprio perché, avendo un’unica funzione nel tessuto, non ha senso modificarne la percentuale. Avendo osservato che tale isolato resta sempre in un intervallo di Rischio High indipendentemente dalla zona sismica in cui si trovi, ecco quindi che per tali isolati, per ridurre il valore di Rischio, sarà necessario agire con interventi ingegneristici di adeguamento sismico per ciascun edificio scolastico. Tali interventi andranno a ridurre l’Indice di Vulnerabilità poiché i bambini e gli adulti si ritroveranno in un ambiente più sicuro.

Gli stessi calcoli e ragionamenti possono essere fatti se si considera il Rischio Annuo Medio: in questo caso ci si baserà sui valori di I.E. e I.V. Medi ottenuti utilizzando, come descritto nei capitoli 7.3. e 7.4, il 20% dell’Indice di Massimo Affollamento per Commercio e Terziario e la media ponderata dei giorni scolastici e non nel caso dell’Isolato dei Servizi.

### Scenari per il Rischio Annuale Medio

Usando i valori di I.E. e I.V. Anni Medi riportati nella tabella sottostante, si è proceduto al calcolo del Rischio Annuo Medio riferito a ciascuno dei quattro tessuti individuati, ponendoli nelle quattro zone sismiche:

I.E. Annuale Medio	
ALTA DENSITA'	0.251
MEDIA DENSITA'	0.129
BASSA DENSITA'	0.008
ISOLATO SERVIZI	0.239

I.V. Annuale Medio	
ALTA DENSITA'	0.487
MEDIA DENSITA'	0.292
BASSA DENSITA'	0.065
ISOLATO SERVIZI	1.365

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
1	Alta	4	0.251	0.487	0.490
	Media	4	0.129	0.292	0.151
	Bassa	4	0.008	0.065	0.002
	Servizi	4	0.239	1.365	1.3075
2	Alta	3	0.251	0.487	0.367
	Media	3	0.129	0.292	0.113
	Bassa	3	0.008	0.065	0.002
	Servizi	3	0.239	1.365	0.9807
3	Alta	2	0.251	0.487	0.245
	Media	2	0.129	0.292	0.075
	Bassa	2	0.008	0.065	0.0011
	Servizi	2	0.239	1.365	0.6538
4	Alta	1	0.251	0.487	0.122
	Media	1	0.129	0.292	0.038
	Bassa	1	0.008	0.065	0.0005
	Servizi	1	0.239	1.365	0.3269

Mantenendo sempre gli stessi intervalli di Rischio usati anche in precedenza:

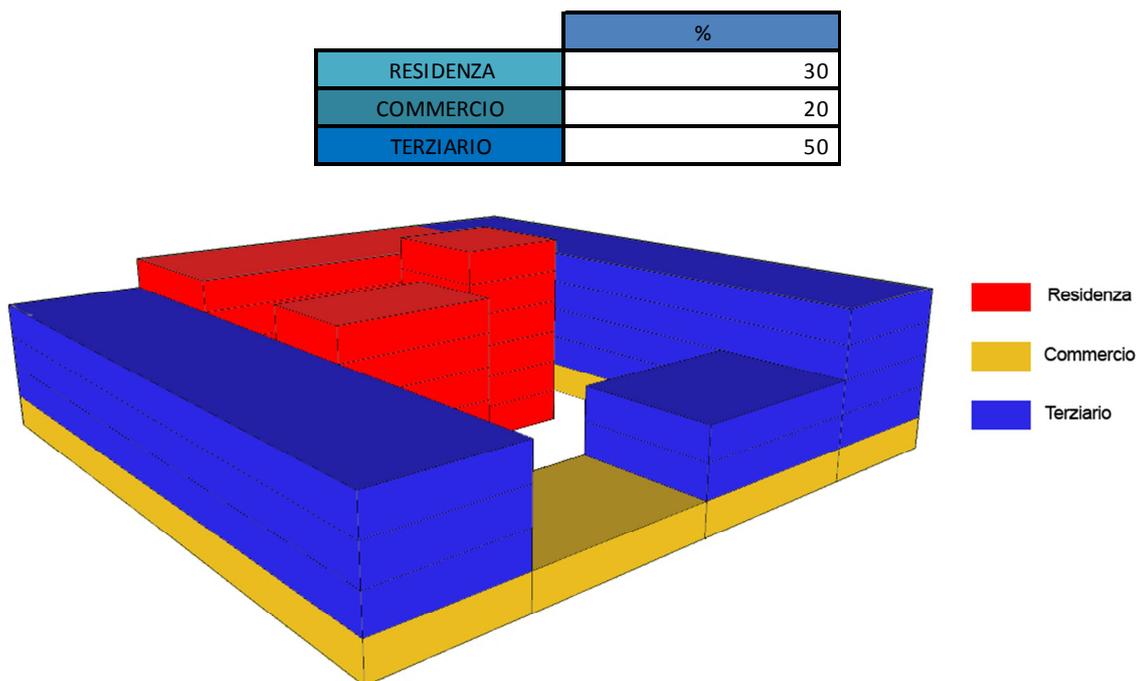
RISCHIO	INTERVALLO	ZONA SISMICA			
High	$R \geq 0.4$	1	2	3	4
Medium	$0.20 \leq R < 0.4$	2	3	4	1
Low	$R < 0.20$	3	4	1	2

Si può notare che, anche in questo caso, i valori elevati di Rischio si ottengono nel tessuto di Alta Densità, nel caso in cui esso si trovi nella Zona 1, e nell'Isolato dei Servizi, nel caso in cui si collochi nelle Zone 1, 2 e 3, mentre nella zona meno pericolosa assume un valore di Rischio che rientra nell'intervallo Medium.

Come prima, si andrà a ipotizzare una modifica funzionale per l'isolato di Alta Densità così da vedere come cambiano i valori di Rischio, sempre nel caso in cui tale tessuto si trovi all'interno della Zona 1, la più pericolosa dal punto di vista sismico.

Gli scenari ipotizzati sono i medesimi utilizzati in precedenza, in modo da rendere possibile un confronto tra i valori di Rischi Annuo Massimi e i valori di Rischi Annuo Medi calcolati nell'Alta Densità.

Partendo dallo scenario A di "terziarizzazione", vengono fatte variare le percentuali di mix funzionale:



Utilizzando i valori delle tabelle sovrastanti di I.E. Medio e I.V. Medio Annuo, è stato possibile calcolare il valore di Rischio Annuo Medio per lo scenario A e confrontarlo con lo scenario standard ottenuto usando un mix funzionale derivante dall'analisi degli isolati reali di Alta Densità di Pavia:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
	Alta	4	0.251	0.487	0.490

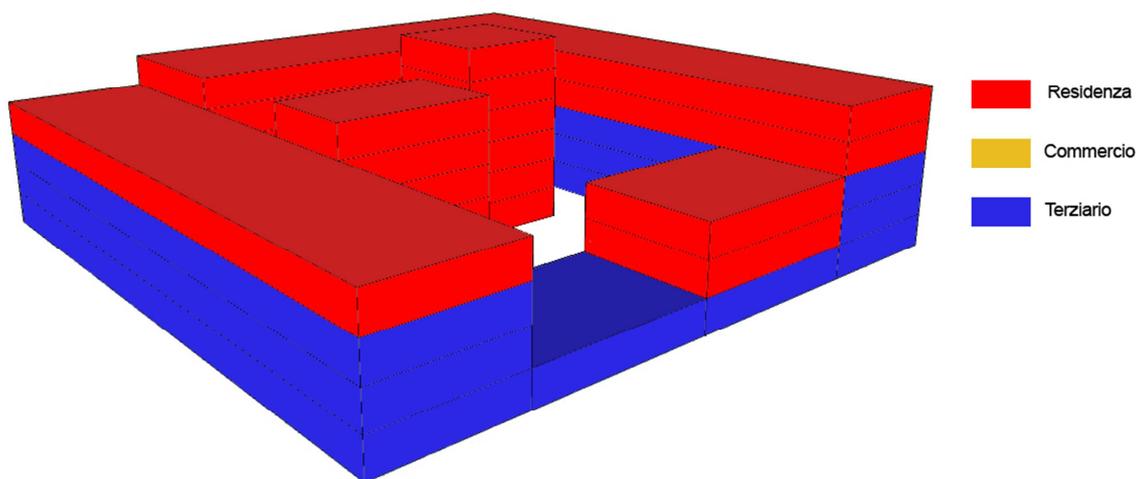


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Medio A
	Alta	4	0.145	0.359	0.208

Come si può notare, in tale caso, in cui , si ricorda, viene usato solo il 20% dell'Indice di Affollamento Massimo per Commercio e Terziario, andando a diminuire la Residenza (in cui Indice di Affollamento resta il medesimo usato per il calcolo di I.E. e I.V. Massimi), il valore di Rischio diminuisce portandosi nell'intervallo Medium.

Passando allo scenario di "terziarizzazione" B del tessuto ad Alta Densità, in cui viene azzerata la percentuale di SLP della macro funzione commerciale, si ottiene la seguente suddivisione:

	%
RESIDENZA	60
COMMERCIO	-
TERZIARIO	40



Avendo aumentato ancora la percentuale di Residenza, si assisterà a un aumento del valore Rischio rispetto al precedente scenario A:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
	Alta	4	0.251	0.487	0.490

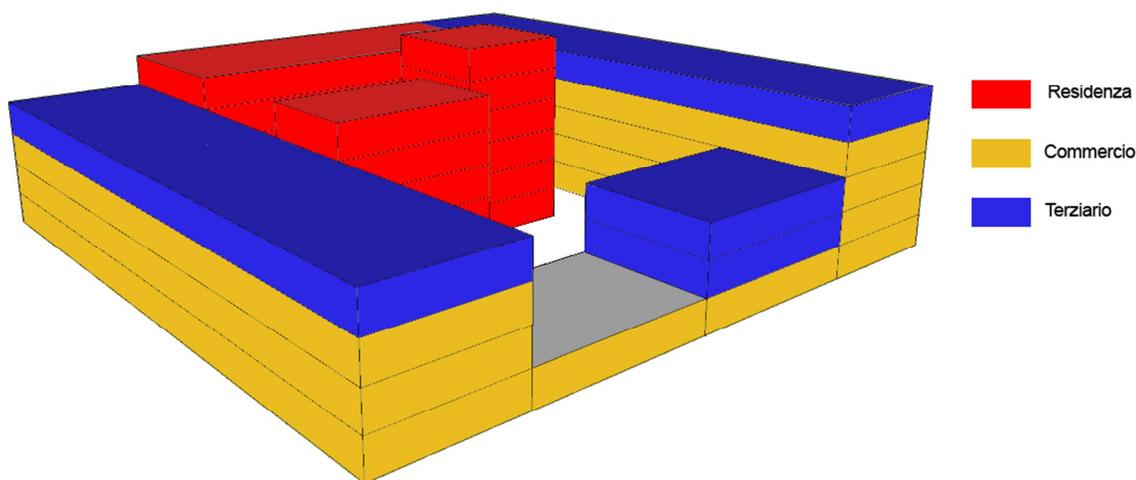


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Medio B
	Alta	4	0.249	0.381	0.380

Tuttavia si può notare che il valore di Rischio raggiunto in tale scenario è comunque inferiore rispetto al valore di partenza, pari a 0.490, e che può essere collocato in un intervallo di Rischio minore (Rischio Medium).

Passando agli scenari di “commercializzazione” del tessuto a elevata densità, la prima variazione di mix funzionale, C, prevede un aumento del Commercio pari a +30% rispetto allo scenario iniziale, a scapito della funzione residenziale:

	%
RESIDENZA	30
COMMERCIO	50
TERZIARIO	20



Passando al calcolo del Rischio Annuo Medio:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
	Alta	4	0.251	0.487	0.490

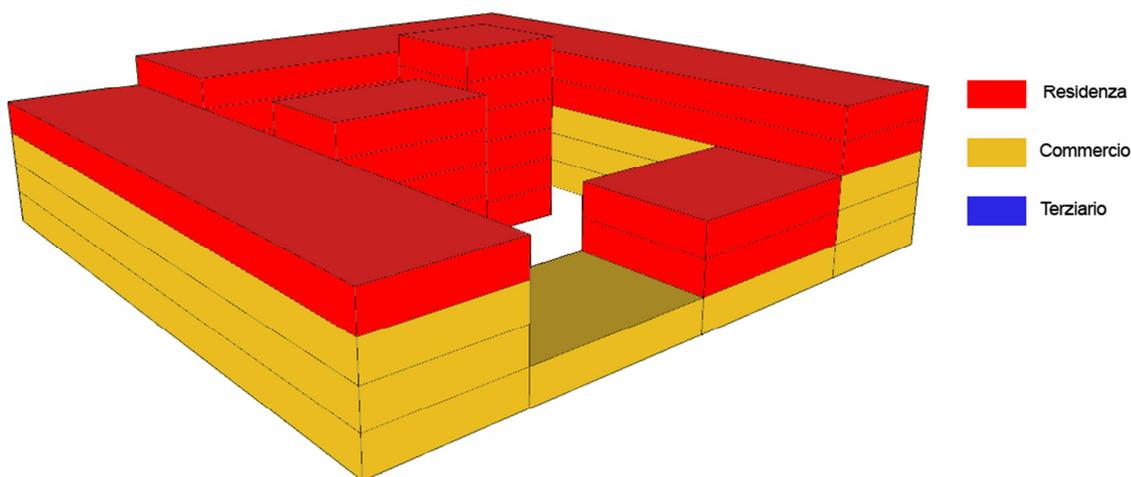


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Medio C
	Alta	4	0.260	0.518	0.538

Aumentando la percentuale di SLP della funzione commercio, aumenta molto anche il numero di persone che lo frequentano (sia come lavoratori che clienti) rispetto a quello dello scenario di partenza e ciò comporta, proprio come accade nello stesso scenario per il calcolo del Rischio Annuo Massimo, un aumento del valore di rischio, che quindi si conferma essere nella fascia di Rischio massima (High).

Nel secondo scenario di “commercializzazione”, D, si ipotizza un azzeramento della macro funzione terziario, lasciando inalterata la SLP della Residenza:

	%
RESIDENZA	60
COMMERCIO	40
TERZIARIO	-



Confrontando il valore di Rischio Medio di tale scenario con quello di partenza:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
	Alta	4	0.251	0.487	0.490

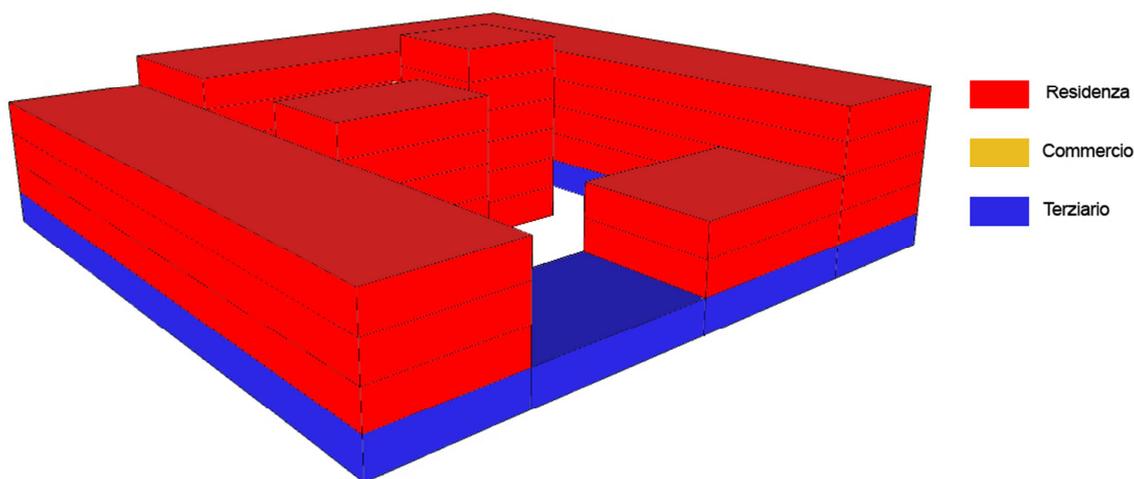


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Medio D
	Alta	4	0.336	0.593	0.798

Proprio come accade nel precedente scenario, avendo una percentuale elevata di Commercio, il valore di Rischio risulterà di gran lunga maggiore rispetto a quello iniziale. Questo valore risulta essere maggiore anche del valore ottenuto nello scenario C: infatti in quest'ultimo scenario si ha anche un'elevata SLP di Residenza, che inevitabilmente contribuisce a incrementare il fattore di rischio, che risulterà essere sempre in una fascia elevata.

Si passa poi a ipotizzare due scenari di "residenzializzazione" in cui, nel primo, E, si immagina un azzeramento della macro funzione commerciale a favore di un incremento della SLP residenziale:

	%
RESIDENZA	80
COMMERCIO	-
TERZIARIO	20



Precedendo con il calcolo del valore di Rischio e confrontandolo con quello inizialmente ottenuto:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
	Alta	4	0.251	0.487	0.490

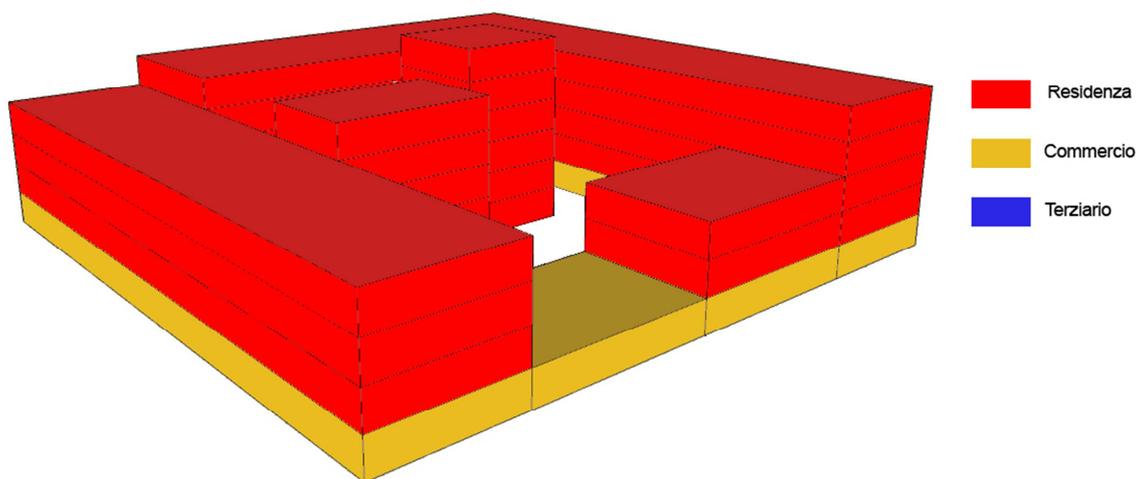


ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Medio E
	Alta	4	0.383	0.467	0.715

Questo scenario dimostra ancora una volta che, avendo aumentato del 20% la percentuale di SLP residenziale, il Rischio Annuo Medio cresce. Ciò è dovuto al fatto che per la funzione residenziale si è ipotizzato di utilizzare sempre i residenti che effettivamente sono presenti, ottenuti dall'analisi di isolati simili pavese, mentre per il Commercio e Terziario si è utilizzato un valore di affollamento pari a solo il 20% dell'Indice di Affollamento Massimo, che risulta essere un dato più vicino alla realtà.

L'ultimo scenario, F, prevede invece una "residenzializzazione" che azzerava la percentuale di SLP del Terziario:

	%
RESIDENZA	80
COMMERCIO	20
TERZIARIO	-



Confrontando i valori di Rischio:

ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Annuo Med.
	Alta	4	0.251	0.487	0.490



ZONA	DENSITA'	I.P.	I.E. Annuale Medio	I.V. Annuale Medio	RISCHIO Medio F
	Alta	4	0.405	0.573	0.928

Per le ragioni già precedentemente esposte, anche in questo scenario, avendo aumentato la percentuale di Residenza si assiste a un incremento del valore di Rischio inizialmente ottenuto.

Analogamente a quanto fatto in precedenza con i valori di Rischio Annuale Massimi calcolati nei vari scenari di modifica funzionale, è possibile confrontare tutti i valori di Rischio Annuale Medi per capire quale risulta essere quello più vantaggioso e quale quello più sfavorevole, rispetto a quello dello scenario basato sui dati raccolti dagli isolati pavese, il cui valore è evidenziato in azzurro:

RISCHIO Annuo Medio	RESIDENZA	COMMERCIO	TERZIARIO	
RISCHIO Scenario I.	0.490	60%	20%	20%
RISCHIO Scenario A	0.208	30%	20%	50%
RISCHIO Scenario B	0.380	60%	0%	40%
RISCHIO Scenario C	0.538	30%	50%	20%
RISCHIO Scenario D	0.798	60%	40%	0%
RISCHIO Scenario E	0.715	80%	0%	20%
RISCHIO Scenario F	0.928	80%	20%	0%

La modifica funzionale più vantaggiosa è raggiunta dallo scenario A in cui viene dimezzata la percentuale di Residenza (rispetto al valore iniziale) e in cui quella del Commercio ha un valore contenuto, pari al 20% della SLP totale dell'isolato. Come già sottolineato, nel calcolo del Rischio Medio si utilizza il 20% dell'affollamento massimo possibile per Commercio e Terziario, mentre per la Residenza non ha senso parlare di "occupazione media", in quanto tutte le persone residenti, sia alla sera che la notte, si trovano nella propria casa.

Per cui nel momento in cui si calcolano valori di I.E., I.V. e di Rischio Medi, la Residenza è la macro funzione che maggiormente contribuisce a innalzare il valore di Rischio, seguita dal Commercio (si ricorda

che in tale funzione sono presenti sia molti adulti che anziani, i quali hanno un Indice di Impedimento Fisico più elevato) e poi dal Terziario, occupato esclusivamente da adulti.

Lo scenario che incrementa del 62% il valore iniziale di Rischio, è il D. In tale scenario si ha un azzeramento della macro funzione del Terziario, cosa che fa sì che l'SLP venga distribuita tra Residenza e Commercio che, come sottolineato in precedenza, sono le macro funzioni che più incrementano il valore di Rischio Annuo Medio.

Nell'ipotesi di modifica funzionale più vantaggiosa (quella fornita dallo scenario A) si nota come il Rischio si porti dall'intervallo High a quello Medium: a differenza di quanto accadeva nelle modifiche funzionali applicate all'Alta Densità nel calcolo del Rischio Annuo Massimo, in questo caso si è riusciti a portare a un livello inferiore il valore del Rischio sempre nel caso in cui tale tessuto risulti essere in Zona 1.

## Bibliografia

- Bellodi I.(2013) - *Terremoto e stress:conseguenze sulla popolazione, quali interventi?*
- Bommer J.J., Stafford P.J. (2009) - *Seismic hazard and earthquake actions*
- Bramerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2008) – *Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica*
- Castellani A. , Faccioli E. (2004) - *Metodi di analisi e criteri di progetto*
- Calvi G. M., Dacarro F. (2010) - *Dispense dal corso di Progetto di strutture in zona sismica*
- Calvi G.M., Petrini L., Pinho R. (2006) – *Criteri di progettazione antisismica degli edifici*
- Clemente I. , Bedon C. (a.a. 2009/2010) - *Dispense del corso di Ingegneria sismica*
- Cutter S.L. (1996) - *Vulnerability to enviromental hazards*
- Cutter S.L., Boruff B.J., Shirley W.L. (2003) – *Social Vulnerability to Enviromental Hazard*
- De Lotto Roberto (2013) – *Abstract sul calcolo del rischio sismico*
- Dolce M. , Martelli A. , Panza G. (2005) - *Moderni metodi di progettazione dagli effetti del terremoto*
- Dow K. (1992) - *Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global enviromental change*
- Dow K. and Downing T.E. (1995) - *Vulnerability research: where things stands*
- Dri G. (2013) – *Il modello Friuli: testimonianza di un’esperienza*
- Fabietti V. (1999) – *Vulnerabilità e trasformazione dello spazio urbano*
- Fabietti V., Giannino C., Sepe M. (2013) – *La ricostruzione dopo una catastrofe: da spazio in attesa a spazio pubblico*
- Facciorusso J. (2012) – *Micro – zonazione Sismica: uno strumento consolidato per la riduzione del rischio sismico*
- Giglielmi M., Sholl S. (2013) – *Il potere rigenerativo dello spazio pubblico*
- Liverman D., (1990) - *Vulnerability of urban areas to technological risks*
- Mastellone M.L. (2008) – *Gli strumenti di support alle decisioni: la valutazione del rischio ambientale*
- Meletti C. (2007) – *Rendicontazione scientifica finale del progetto S1*
- Menoni S. (2005) – *Costruire la prevenzione: Strategie di riduzione e mitigazione dei rischi territoriali*
- Ordinanza P.C.D.M. 3274/2003
- Ordinanza P.C.D.M. 3219/2006
- Pellegrini P. (2013) – *Varianti del “come era dove era”*

Regione Umbria (2010) – *Linee guida per la definizione della Struttura Urbana Minima del PRG*

Spasa M. (2013) – *Ricostruzione e rigenerazione urbana*

Stucchi M. (2004) – *Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica: rapporto conclusivo*

Teodosio A. (2013) – *Oltre le macerie. Ricostruzione in Irpinia tra antichi luoghi e nuovi spazi*

The World Bank (2012) – *Building urban resilience – Managing the risk of disasters in East Asia and the Pacific – Principles Tools and Practice*

Turchetti G. (2008) – *Modelli di valutazione della densità dinamica nello spazio urbano*

Ungers O.M. (1997) – *La città dialettica*

<http://esse1.mi.ingv.it>

[www.fisicaondemusica.unimore.it](http://www.fisicaondemusica.unimore.it) (Data consultazione: 20 feb. 14)

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)

[www.istat.it](http://www.istat.it)

[www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it) (Data consultazione: 20 Dic. 2013)

[www.seismo.ethz.ch](http://www.seismo.ethz.ch) (Data consultazione: 20 Dic. 2013)