

# IL CALCOLO MATRICIALE DEL RISCHIO SISMICO

(Luigi Fanizzi - ECOACQUE®)

## 1. INTRODUZIONE

Nel campo della **protezione civile**, la valutazione del rischio sismico di un territorio riveste notevole importanza. In letteratura esistono numerosi esempi di calcolo del pericolo sismico, sempre però inteso solamente come effetti delle onde simiche sul suolo e cioè in *termini* di intensità macrosismica ovvero di accelerazione orizzontale massima prevista (Algermissen et Al., 1976; Faccioli, 1979; Gruppo di Lavoro Scuotibilità, 1979; Hattori, 1976). Una definizione più generale di rischio sismico è stata introdotta da Ambraseys (1983); essa definisce il rischio **R** come l'ammontare di danni potenzialmente probabili che un certo sito può subire a causa di un evento sismico. Tale concetto si può esprimere con l'equazione di D. J. Varnes (1984):

$$R = S \cdot V \cdot E$$

ove **S** è la **Scuotibilità** del sito, quantificata in termini di massima sollecitazione (*intensità od accelerazione*) prevedibile in un certo periodo, **V** è la **Vulnerabilità** antropico/ambientale del sito colpito ed **E** il Valore esposto o **Esposizione** di vite umane, delle strutture abitative, produttive e sociali esistenti nell'area considerata. Solo una corretta quantificazione dei parametri in gioco, pertanto, permette una realistica individuazione del modello che controlla il fenomeno (Ambraseys and Jackson, 1981).

## 2. QUANTIFICAZIONE DELLE VARIABILI E SCELTA DELL'AREA ESPOSTA

Lo studio sviluppato, ha significato puramente metodologico; la **scuotibilità (S)**, è la variabile meglio conosciuta anche se è il risultato di una previsione e non di un'osservazione, a differenza della vulnerabilità e del valore esposto che potrebbero essere opportunamente censiti (D. Slejko et Al., 1984). Per essa è stato utilizzato il valore **PGA** (Peak Ground Acceleration; accelerazione massima, in valore assoluto, subita dal suolo durante un terremoto), con una probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni, scuotimento che con il 90 % di probabilità non verrà superata in 50 anni, soglia che corrisponde a un periodo di ritorno di 475 anni (con periodo di ritorno si intende il tempo medio che intercorre tra due terremoti di simile magnitudo), che rappresenta una delle stime convenzionali della pericolosità sismica (INGV), secondo il modello di pericolosità di riferimento nazionale (MPS04-S1; Figura 1).

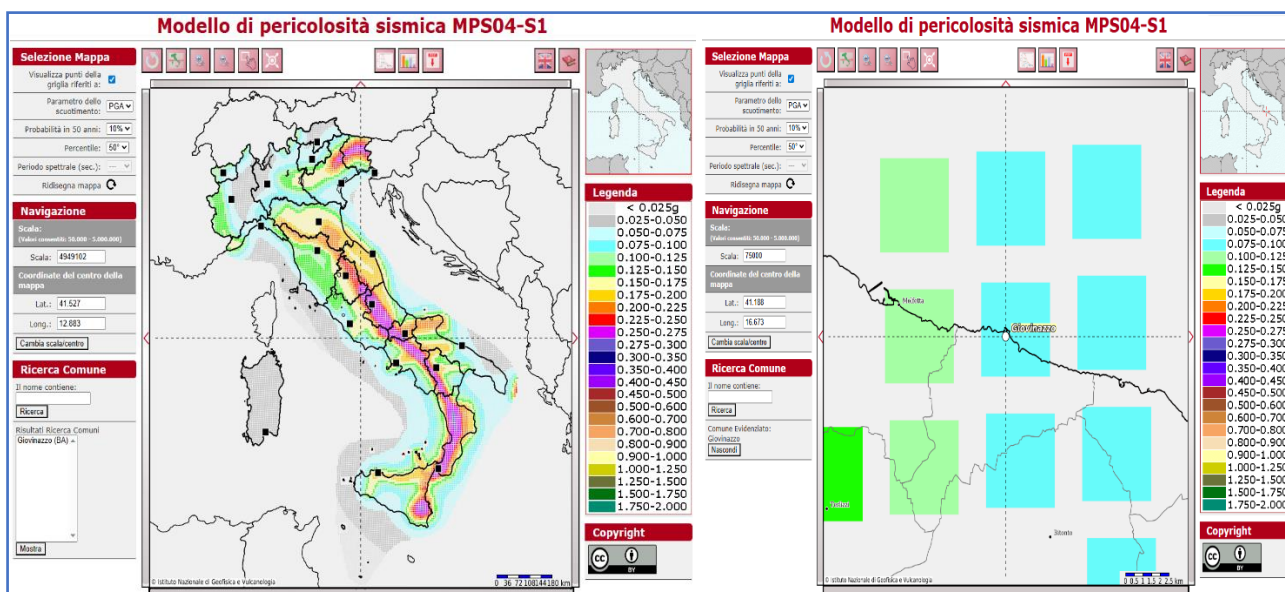


Fig. 1 – Modello di pericolosità sismica MPS4-S1 (<https://esse1-gis.mi.ingv.it>).

La **vulnerabilità (V)** esprime la propensione di una certa area ad essere danneggiata da un fenomeno a cui l'elemento stesso è esposto; può essere espressa in una scala percentuale (0,85 ÷ 1,00). La vulnerabilità è, quindi, la misura della fragilità, della impossibilità di resistere ad un evento calamitoso da parte di un elemento esposto in funzione delle proprie caratteristiche e dipende dai seguenti fattori (mod., B. Mazzorana, 2012). Essa varia non solo in funzione delle caratteristiche costruttive degli edifici (*materiali, tipologia strutturale, epoca di costruzione*), ma anche in relazione alla **destinazione d'uso** e quindi alla classe funzionale attribuita. In Italia, le **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018; DM 17.01.2018)** distinguono quattro classi d'uso (V1÷V4), corrispondenti al livello di prestazione sismica richiesto:

<b>CLASSE V1</b>	Costruzioni con <b>presenza solo occasionale di persone</b> (depositi ed edifici agricoli).	<b>0,85</b>
<b>CLASSE V2</b>	Costruzioni il cui uso preveda <b>normali affollamenti</b> (edifici residenziali, commerciali, direzionali ordinari, industrie non inquinanti, reti viarie secondarie non ricadenti nelle Classi III e IV, ponti ed opere infrastrutturali) e <b>senza funzioni pubbliche e sociali essenziali</b> .	<b>0,90</b>
<b>CLASSE V3</b>	Costruzioni con funzioni pubbliche importanti o <b>affollamenti significativi</b> (scuole, luoghi di culto, industrie inquinanti di cui all' Allegato I del D. L. N. 59/2005, dighe rilevanti, ponti, grandi infrastrutture di trasporto e reti viarie extraurbane non ricadenti nella Classe IV).	<b>0,95</b>
<b>CLASSE V4</b>	Costruzioni con <b>funzioni pubbliche o strategiche importanti per la gestione dell'emergenza</b> (ospedali, caserme, centrali operative, infrastrutture strategiche, reti viarie DM 5 novembre 2001, N. 6792) <b>in caso di calamità</b> .	<b>1,00</b>

La classificazione urbanistica fornisce, quindi, un utile criterio di correlazione: ad esempio, le aree residenziali storiche in muratura portante presentano una vulnerabilità intrinseca maggiore rispetto a quartieri recenti in cemento armato, mentre scuole e ospedali, pur essendo spesso oggetto di normative più restrittive, richiedono comunque una valutazione prioritaria per l'alto impatto sociale di un eventuale danneggiamento.

Il valore esposto o l'**esposizione (E)** è il numero di unità (*densità*) degli elementi a rischio (di tipo puntuale o di tipo poligonale), presente in una data area, di vite umane e di insediamenti. Per tale classificazione ci si è basati sulle classi DUSAF (coerenti con la classificazione CLC del Corine Land Cover di 3°/4° Livello; ISPRA, 2010 ÷ 2018), con attribuzione di valori da 0,70 ad 1,00.

<b>CLASSE E1</b>	<b>Aree naturali e non utilizzate</b> (boschi, ghiacciai, zone umide, aree degradate).	<b>0,70</b>
<b>CLASSE E2</b>	<b>Aree agricole e semi-naturali</b> (seminativi, vigneti, frutteti, prati, eccetera).	<b>0,80</b>
<b>CLASSE E3</b>	<b>Aree di attività specifiche</b> (cantieri, cave, discariche, impianti particolari).	<b>0,90</b>
<b>CLASSE E3</b>	<b>Aree urbane e infrastrutture</b> (residenziale, produttivo, servizi, reti, aree critiche).	<b>1,00</b>

ELEMENTI ESPOSTI	CLASSE
Beni culturali vincolati	E4
Immobili ed aree di notevole interesse pubblico	
Impianti Allegato I del D.L. N. 59/2005	
Aree protette per estrazione acqua ad uso potabile	
Strutture ospedaliere	
Scuole	
Dighe	
Depuratori	
Inceneritori	

Tab. 1 – Classi di Esposizione di tipo puntuale.

CLASSE E1		CLASSE E2		CLASSE E4	
DUSAF		DUSAF		DUSAF	
134	Aree degradate non utilizzate e non vegetate	211	Seminativi	1111	Tessuto residenziale denso
231	Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	1411	Parchi e giardini	1112	Tessuto residenziale continuo mediamente denso
311	Boschi di latifoglie	221	Vigneti	1121	Tessuto residenziale discontinuo
312	Boschi conifere	222	Frutteti e frutti minori	1122	Tessuto residenziale rado e nucleiforme
313	Boschi misti	223	Oliveti	1123	Tessuto residenziale sparso
314	Rimboschimenti recenti	3114	Castagneti da frutto	11231	Cascine
331	Spiagge, dune ed alvei ghiaiosi	213	Risaie	1424	Aree archeologiche
321	Praterie naturali d'alta quota	2313	Marcite	12122	Impianti di servizi pubblici e privati
322 - 324	Cespuglieti	1412	Aree verdi incolte	12111	Insedimenti industriali, artigianali, commerciali
332	Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione	2241	Pioppeti	12112	Insedimenti produttivi agricoli
333	Vegetazione rada	2242	Altre legnose agrarie	12121	Insedimenti ospedalieri
411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	<b>RETI VIARIE</b>		12123	Impianti tecnologici
3113	Formazioni ripariali	E4	Reti primarie: autostrade, strade statali/regionali, strade provinciali	1222	Reti ferroviarie e spazi accessori
3222	Vegetazione dei greti	E3	Reti secondarie: strade comunali	123	Aree portuali
3223	Vegetazione degli argini sopraelevati	<b>CLASSE E3</b>		12125	Aree militari oblitee
511	Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali	DUSAF		124	Aeroporti ed eliporti
5121	Bacini idrici naturali	133	Cantieri	1421	Impianti sportivi
5123	Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda	12124	Cimiteri	1423	Parchi divertimento
5122	Bacini idrici artificiali	132	Discariche	1422	Campeggi e strutture turistiche e ricettive
335	Ghiacciai e nevi perenni	131	Cave		
		2113	Colture orticole		
		2114	Colture floro-vivaistiche		
		2115	Orti familiari		

Tab. 2 – Classi di Esposizione di tipo poligonale.

La scelta dell'area da studiare dipende, infine, dalla reperibilità delle informazioni necessarie per le quantificazioni descritte in precedenza.

### 3. IL MODELLO MATRICIALE DI CALCOLO DEL RISCHIO SISMICO

Il modello proposto permette di stimare, in modo sistematico, il **rischio sismico** per un determinato contesto, utilizzando un approccio di tipo matriciale basato su tre componenti principali: **Scuotimento (S)**, **Vulnerabilità (V)** ed **Esposizione (E)**, ove lo scuotimento (a cui sono attribuiti valori variabili da  $S1 = 1,000$  a  $S4 = 0,143$ ), si ricorda, rappresenta l'intensità dell'evento sismico (PGA).

S	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico	Magnitudo
1	$0,25 < ag \leq 0,35g$	0,35g	<b>1,000</b>
2	$0,15 < ag \leq 0,25g$	0,25g	<b>0,714</b>
3	$0,05 < ag \leq 0,15g$	0,15g	<b>0,429</b>
4	$\leq 0,05g$	0,05g	<b>0,143</b>

**Tab. 3** – Valori della magnitudo della variabile S (scuotimento).

Il calcolo del danno **D**, viene stimato come prodotto della vulnerabilità (V) per l'esposizione (E), ossia:

$$D = V \cdot E$$

Da tale operazione si genera la matrice quadrata del danno di ordine 4 (V/E) con valori che variano da un minimo di **0,595** ad un massimo di **1,000**.

V/E	0,70	0,80	0,90	1,00
0,85	0,595	0,680	0,765	0,850
0,90	0,630	0,720	0,810	0,900
0,95	0,665	0,760	0,855	0,950
1,00	0,700	0,800	0,900	1,000

**Tabella 4** – Matrice sinottica (Quali/Quantitativa) del Danno sismico.

Infine, il rischio sismico è il risultato del prodotto tra scuotimento (S) e danno (D):

$$R = S \cdot D$$

Questo, a sua volta, genera la matrice quadra di rischio, di ordine 4 (Classi di Rischio), dove le righe rappresentano i livelli di scuotimento (S) e le colonne i livelli di danno (D):

S/D	0,595	0,730	0,865	1,000
0,143	0,085	0,104	0,124	0,143
0,429	0,255	0,313	0,371	0,429
0,714	0,425	0,521	0,618	0,714
1,000	0,595	0,730	0,865	1,000

**Tabella 5** – Matrice sinottica (Quali/Quantitativa) del Rischio sismico.

Il risultato della combinazione dei dati di input porta alla definizione del livello di rischio riassunto nella seguente Tabella 6.

RISCHIO		DESCRIZIONE
<b>R1</b>	<b>Basso</b>	Scossa leggera, percepita nelle case in orario diurno, soprattutto ai piani alti degli edifici, gli oggetti sospesi esilmente possono oscillare. Vibrazioni come al passaggio di autocarri leggeri. Stime della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.
<b>R2</b>	<b>Medio</b>	Scossa media, percepita da tutti con spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone. Tremiti di infissi e di vetrine, piatti, vetrerie. Caduta dagli scaffali di soprammobili e libri e di quadri dalle pareti. Screpolature di intonaci deboli. Qualche lesione agli edifici, suono di campanelle, stormire di alberi e cespugli.
<b>R3</b>	<b>Alto</b>	Scossa Elevata. Caduta di comignoli, lesione di edifici, rovina parziale di alcuni edifici, molte vittime. Fessurazione e crepacci nel suolo e lesioni o rottura di cavi e tubazioni sotterranei. Panico generale. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbia e fango. Vittime isolate.
<b>R4</b>	<b>Molto Alto</b>	Scossa Disastrosa. Distruzione di agglomerati urbani con crollo di parecchi edifici in cemento armato e di quasi tutte le strutture in muratura, distruzione di ponti, ampie fessure nel terreno, condutture sotterranee fuori uso. Sprofondamenti e slittamenti del terreno in suoli molli. Rotaie fortemente deviate. Crepacci evidenti sul suolo e frane, maremoto e molte vittime.

**Tabella 6** – Classi di rischio sismico ed associata descrizione.

Di seguito si propone, infine, una Matrice sinottica di ordine **4** (v. Tabella 7), che associa, per ciascuna classe di rischio sismico (R1 = **Basso** → R4 = **Molto alto**), quattro categorie di "intervento/opere di mitigazione", nella quale, in ogni cella, è riportato il livello di misura consigliata ovvero necessaria, con esemplificazioni concrete.

CLASSE	Normative e Pianificazione	Edilizia e Infrastrutture	Protezione civile e Comunità	Interventi Ambientali/Territoriali
<b>R1 (Basso)</b>	Aggiornamento minimo dei piani regolatori con vincoli su nuove costruzioni.	Verifiche di vulnerabilità solo su edifici strategici (scuole, ospedali).	Diffusione di opuscoli e campagne informative di base.	Monitoraggio del territorio e mappatura preliminare delle zone a rischio.
<b>R2 (Medio)</b>	Obbligo di adeguamento sismico per nuove costruzioni in aree sensibili.	Interventi di rinforzo leggero su edifici pubblici, scaffalature antisismiche, ancoraggi per oggetti pesanti.	Simulazioni periodiche di evacuazione nelle scuole e nei luoghi di lavoro.	Limitazioni urbanistiche in aree con terreni sciolti o instabili.
<b>R3 (Alto)</b>	Piano di emergenza comunale dettagliato e coordinato con le autorità regionali.	Rinforzo strutturale di edifici esistenti, consolidamento di ponti e viadotti.	Formazione obbligatoria della popolazione e reti di volontariato attive.	Interventi di consolidamento del terreno e opere di drenaggio per ridurre liquefazione.
<b>R4 (Molto Alto)</b>	Normative stringenti e vincolanti per tutta l'edilizia, divieto di nuove costruzioni in aree a rischio critico.	Ricostruzione antisismica completa di edifici obsoleti, progettazione con criteri avanzati.	Centri operativi di protezione civile attrezzati, sistemi di allerta precoce, piani di evacuazione dettagliati.	Opere di contenimento (muri di sostegno, trincee drenanti), gestione frane, barriere antisismiche, infrastrutture ridondanti.

**Tabella 7** – Matrice sinottica degli interventi di mitigazione associati al rischio sismico calcolato.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cornacchia, R., & Fiammelli, M. (2019): "*Classificazione della vulnerabilità sismica degli edifici e sisma bonus*". Maggioli Editore, Rimini.
- [2] EPC (2015): "*Valutare il rischio sismico*". EPC Editore, Roma.
- [3] Varnes, D. J. (1984): "*Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*". Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Paris.
- [4] B. Mazzorana (2012): "*Formulazione della vulnerabilità dinamica e schemi computazionali del rischio idraulico*", Workshop – Valutazione del rischio idraulico in ambito montano ed applicazione della Direttiva Alluvioni, Bolzano.
- [5] ISPRA (2012): "*Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio*", Manuali e Linee Guida, N. 82, Roma.
- [6] ISPRA (2010): "*La realizzazione in Italia del Progetto Corine Land Cover 2006*", Rapporti, N. 131, Roma.
- [7] Faccioli, E., (1979): "*Engineering seismic risk analys of the Friuli region*", Boll. Geof. Teor. Appl. 21.
- [8] Algermissen, S.T., Perkins, D.M., Isherwood, W., Gordon, D . , Reagor, G. and Howard, C ., (1976); "*Seismic risk evaluation of the Balkan region*", in: Proceedings of the Seminar on seismic zoning maps, Unesco, Skopje .
- [9] Ambraseys, N.N., (1983): "*Evaluatbn of seismic risk*", in: Ritsema A.R. and Gurpinar A. (eds) : Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea area. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- [10] Hattori, S., (1976); "*Regional distribution of presumable maximum earthquake motions at the base rock in the whole vicinity of Japan*", Bull. Int. Inst. Seism. Earth. Eng..
- [11] Ambraseys, N. N. and Jackson, J.A., (1981); "*Earthquake hazard and vulnerability in the northeastern MediTerranean: the Corinth earthquake sequence of February-March 1981*", Disasters 5.
- [12] D. Slejko, D. Viezzoli e F. Gasparo (1984): "*Esempio Metodologico del calcolo del rischio sismico*", Publication/237101519, ResearchGate.
- [13] Gruppo di Lavoro Scuotibilità, (1979): "*Carte preliminari di scuotibilità del territorio nazionale*". Pubbl. N. 227 dal P.F. Geodinamica del C.N.R., ESA, Roma.