

COMUNE DI CROPALATI

(Provincia di Cosenza)

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

**MESSA IN SICUREZZA E CONSOLIDAMENTO DI LUOGHI ESPOSTI
A RISCHIO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO MOLTO ELEVATO**

GEOLOGIA

TAVOLA

SCALA

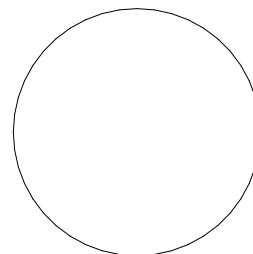
RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA'
SISMICA DI BASE

GEO.02

Timbro e Firma

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Cropalati

RESP. UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Andrea CALIO'

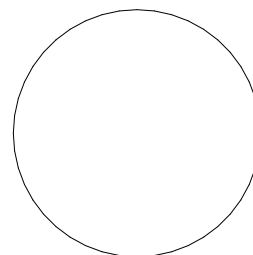
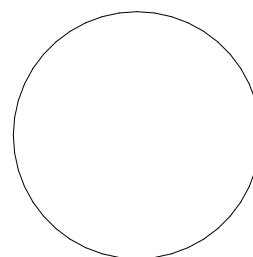


LOCALITA': C.da Circonvallazione

Timbro e Firma

PROGETTISTA - D.L. - CSP - CSE: Ing. Francesco MANGONE

GEOLOGO: Dott. Giuseppe CUFARI



PREMESSA

In relazione al progetto riguardante i “LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA E CONSOLIDAMENTO DI LUOGHI ESPOSTI A RISCHIO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO MOLTO ELEVATO” nel comune di Cropalati (Cs), finanziato con Decreto del Capo del Dipartimento per gli Affari Interni e Territoriali del Ministero dell'Interno di concerto con il Capo del Dipartimento della Ragioneria Generale dello Stato del Ministero dell'Economia e delle Finanze , il sottoscritto Dott. Giuseppe Cufari, in qualità di geologo, regolarmente iscritto all'albo Professionale al n°428, con riferimento all'Ordine Regionale dei Geologi della Calabria, è stato incaricato dall'Amministrazione Comunale, di eseguire il presente studio di pericolosità sismica locale.

Lo scopo principale di tale intervento è quello di stabilire se le strutture in progetto sono in grado o meno di resistere alla combinazione di progetto richiesta dalla normativa vigente.

Il presente studio, consiste modellazione sismica del sito, contiene quindi indicazioni della zona sismogenetica, della classificazione sismica regionale, valutazione dell'azione sismica e relativi parametri e coefficienti di amplificazione sismica.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo si è proceduto alla misura della V_s equivalente con metodi geofisici attraverso indagini indirette (sismica a rifrazione e M.A.S.W.).

Sono stati quindi calcolati e stimati, in osservanza del D.M. sopra indicato, i valori relativi alla categoria di suolo di fondazione, alla categoria topografica ed agli spettri di risposta elastico e di progetto.

STORIA SISMICA DEL SITO

Come è noto, la Calabria è una delle regioni più sismiche, con terremoti forti e diffusi di cui circa 20 sono stati fortemente distruttivi. Questa condizione è dovuta al fatto che l'Africa e l'Adriatico sono ancora connessi e il loro margine, notevolmente deformato, che svolge un ruolo di cerniera profonda tra i due blocchi, è immerso sotto l'Arco Calabro e il Tirreno meridionale fino a ca. 500 km di profondità.

I più gravi eventi sismici avvengono nello Stretto, lungo la dorsale dell'Aspromonte e delle Serre, tra i golfi di Sant'Eufemia e di Squillace, nella valle del Crati, sul versante orientale della Sila e nel Crotonese.

Altri terremoti si verificano lungo la costa settentrionale ionica e nel mar Tirreno meridionale, dove si verificano terremoti di elevata magnitudo che solitamente non provocano eccessivi danni a causa della loro localizzazione in mare e della elevata profondità ipocentrale (oltre 100 Km). Nel 1905, tuttavia, un terremoto devastante ($I=X-XI$ MCS) colpì molti centri che si affacciano sul golfo di Sant'Eufemia, causando gravi distruzioni nel territorio di Vibo Valentia.

I terremoti più forti di tutta la regione (intensità massima $I = XI$ MCS), tra i maggiori dell'intero territorio italiano, avvengono nella Calabria meridionale. Qui si sono verificati gli eventi sismici del 1783, con epicentro lungo la fascia costiera tra Vibo Valentia e Scilla, che hanno provocato distruzioni lungo tutto il versante tirrenico della dorsale appenninica (i morti furono più di 30.000), e quello del 1908, con epicentro nello stretto di Messina, che ha provocato ampie devastazioni nel settore costiero e in Aspromonte. Reggio Calabria venne rasa al suolo, le vittime furono oltre 80.000, di cui circa 2.000 inghiottite dall'onda di maremoto. In quest'area i terremoti di magnitudine 7 o superiore avvengono con periodi di ritorno di poche centinaia di anni. Sono stati inoltre frequenti eventi meno energetici ma che hanno provocato comunque danni gravi ($I = IX$ MCS - 1894, 1907, 1975, 1978) a causa della presenza di abitazioni con un livello di vulnerabilità alta.

La media e alta Valle del Crati è sede di un'attività sismica abbastanza frequente, caratterizzata sia da terremoti fortemente distruttivi che da scosse e sequenze sismiche minori.

Anche il versante orientale della Sila e il bacino crotonese sono caratterizzati da terremoti di elevata intensità ($I=X$ MCS), ma che avvengono meno frequentemente rispetto alle altre zone sismiche della regione. La zona maggiormente colpita è quella del Marchesato (1638, 1832).

Più a nord, terremoti che provocano danni anche gravi ($I = IX-X$ MCS) si verificano lungo il versante ionico della Sila greca, colpendo in particolare il territorio di Rossano (951, 1836).

Nella Calabria settentrionale, il versante meridionale e orientale del massiccio del Pollino, il territorio costiero tirrenico, tranne che per quei territori in prossimità dell'area di Cosenza, e la piana di Sibari, eccetto che per i terremoti che hanno colpito in particolare il territorio di Rossano (951 – 1836), sembrano essere aree caratterizzate da una bassa sismicità. Tuttavia, non può escludersi che forti terremoti avvengano con periodi di ritorno estremamente lunghi (migliaia di anni), così da non averne traccia nei documenti storici.

Il Comune di Pietrapaola è stato interessata diverse volte da fenomeni sismici. Il territorio comunale rientra nell'area caratterizzata a medio-alta sismicità: costa jonica compresa tra Rossano e Crotone (vedi "Macrozonazione sismica del territorio italiano" I.N.G.1996)

La classificazione sismica del Comune di Cropalati secondo quanto riportato nell'ordinanza del Presidente del Consiglio n.3274. del 20.03.2003 è la seguente:

NOME DEL COMUNE	CATEGORIA PRECEDENTE CLASSIFICAZIONE	ZONA SISMICA OPCM 3274/2003	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE SU SUOLO RIGIDO
Cropalati	II	2	0.25g

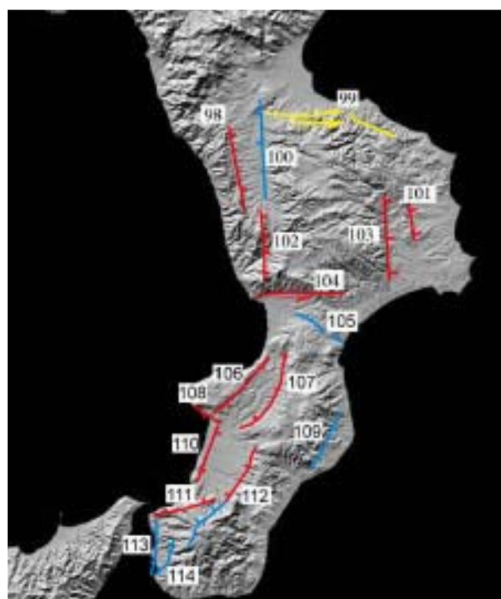
Si riporta di seguito la scheda allegata al P.P.C provinciale relativa ai terremoti rilevati negli ultimi 200 anni.

Anno	Mese	Giorno	Ora	Min	Lat	Long	Io	Int	Epicentro	Me	RC
1832	03	08	18	30	39.05	16.95	10.0	6.5	Crotonese	6.7	A
1836	04	25	00	20	39.57	16.73	9.0	8.0	Calabria Sett.	6.1	A
1887	12	03	03	45	39.53	16.17	8.0	3.0	Calabria Sett.	5.2	A
1905	09	08	01	43	38.67	16.05	10.0	6.0	Calabria	6.9	A
1908	12	28	04	20	38.18	15.68	11.0	6.0	Cal. Merid.-ME	7.2	A
1913	06	28	08	53	39.55	16.20	8.0	6.0	Calabria Sett.	5.6	A
1947	05	11	06	32	38.70	16.48	8.0	0.0	Calabria Centr.	5.5	A
1980	11	23	18	34	40.85	15.28	10.0	4.5	Irpinia-Basilic.	6.7	S

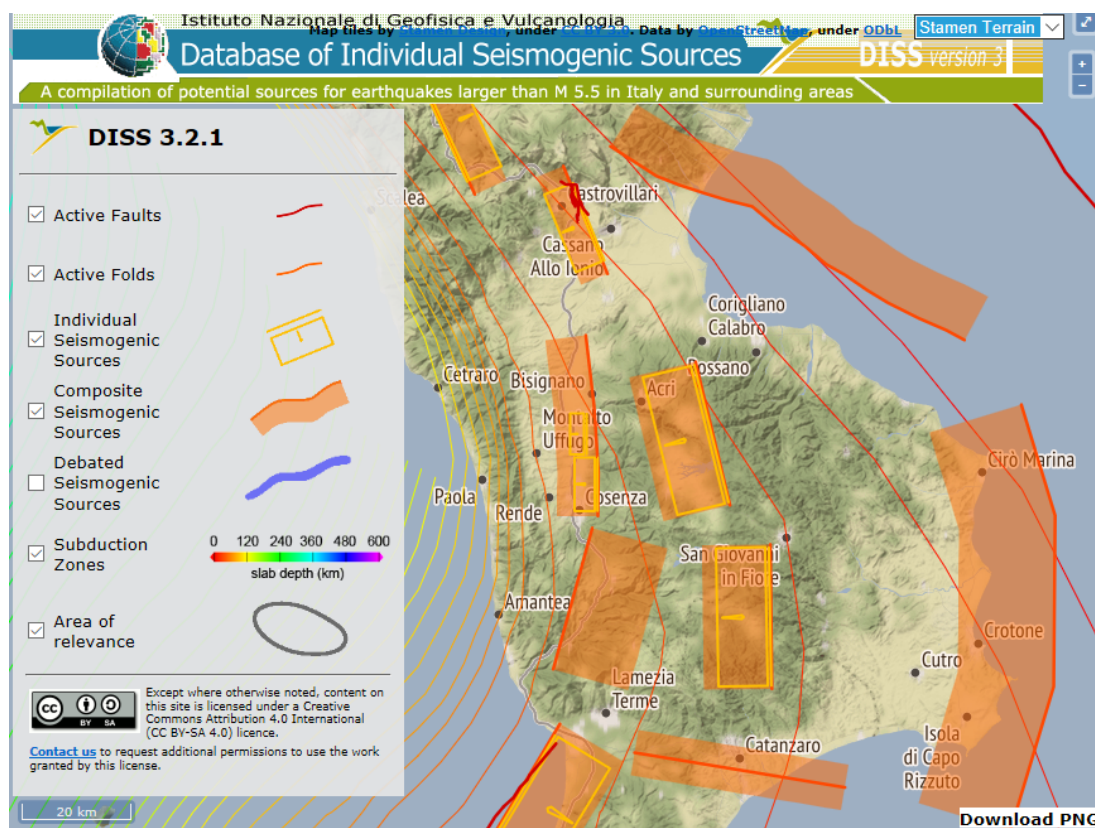
La sismicità del territorio in esame è associata alla importante struttura sismogenetica che si sviluppa per circa 47 Km e tra le località di Corigliano e Rossano.

Faglie e sistemi di faglia	Lunghezza del sistema di faglia (km)	Slip-rate verticale (mm/a)	Slip-rate verticale minimo (mm/a)	Intervallo cronologico	Intervallo di ricorrenza per eventi di fagliazione di superficie (anni)	Spessore strato sismogenetico (km)
S.Marco Argentano – Domanico (98)	35	0.5–2	-	Olocene	-	5-10
Corigliano–Rossano (99)	47	1-5	-	Olocene	-	2-15
Tarsia–Zumpano (100)	40	0.1–0.5	-	Olocene	-	5
Faglie di M.Fuscaldo (101)	16	0.1–0.3	-	Olocene	-	2-6
Piano Lago-Valle del Savuto–Decollatura (102)	25	0.2–0.5	-	Olocene	-	5-10
Faglie del Marchesato (103)	33	0.5–1.5	-	Olocene	-	5-10
Lamezia-Catanzaro (104)	35	-	-	Olocene	-	5-15
Graben Catanzaro Sud (105)	21	-	0.2	Quaternario	-	5-15
Mesima Ovest (106)	33	-	0.2	Quaternario	-	5-15
Serre (107)	37	0.8–1	-	0.24 Ma	-	5-15
Nicotera (108)	14	0.7	-	0.12 Ma	-	5-15
Serre Est (109)	26	-	0.2	Quaternario	-	5-15
Gioia Tauro (110)	23	-	-	-	-	-
S.Eufemia (111)	26	0.7	-	0.12 Ma	-	5-15
Cittanova (112)	48	0.6–0.9	-	0.12 Ma	-	5-15
Reggio Calabria (113)	21	1	-	0.24 Ma	-	5-15
Pellaro – Mosorrofa (114)	17	0.6	-	0.12 Ma	-	5-15
		-	-	-	-	5-15

Tab. 4 - Sintesi dei dati disponibili sulle faglie attive della Calabria.



-Carta delle faglie attive della Calabria (elementi geologici di superficie) (Da “Stato delle conoscenze delle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie”. F. Galadini et al.)-



PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min Seismogenic Depth [km]	10.0	EJ	Inferred from tectonic and seismological considerations.
Max Seismogenic Depth [km]	50.0	EJ	Inferred from tectonic and seismological considerations.
Dip direction	NW	LD	Based on geophysical data from various authors.
Convergence azimuth [deg CW from North]	275...310	LD	Based on geodetic data from various authors.
Convergence Rate [mm/y]	1.0...5.0	LD	Based on geodetic data from various authors.
Max Magnitude [Mw]	7.1	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.

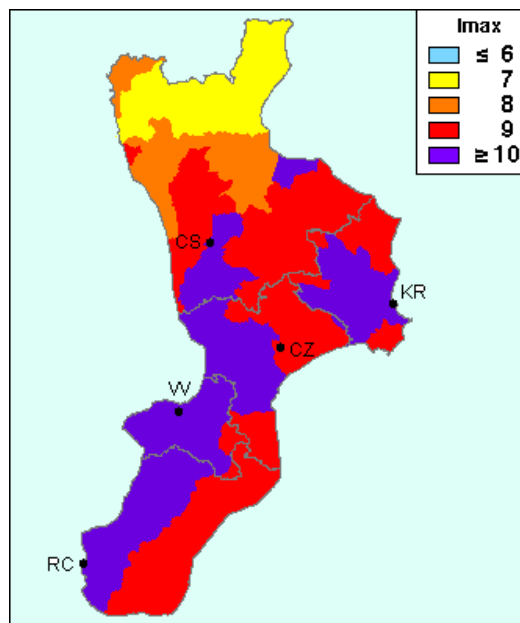
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Relativamente al database delle **Massime intensità macrosismiche** osservate nei comuni italiani, elaborato dal Dipartimento di Protezione civile e valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, per il comune di Cropolati risulta un valore della $I_{max} = 9$.

Sempre in termini macrosismici, il catalogo DOM 4.1, che raccoglie le osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno e che contiene circa 37.000 osservazioni

macrosismiche relative a più di 900 terremoti e a più di 10.000 località, è stato utilizzato, su incarico della protezione civile, da Molin et al. (1996) in combinazione con i dati di CFTI (Catalogo dei Forti Terremoti Italiani di ING/SGA – Boschi et al., 1995) per la redazione della “Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani”, di cui si riporta un estratto relativamente alla Regione Calabria.

Il territorio della Provincia di Cosenza è caratterizzato da un'intensità macrosismica che varia tra 7 e ≥ 10 , indicando per la zona di interesse un valore pari a 9.



Zone sismogenetiche

Negli ultimi anni, e fino al 2002, la zonazione sismogenetica ZS4 ha rappresentato il punto di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica nell'area italiana.

Tale zonazione era stata realizzata da Scandone e colleghi nel 1996; ZS4 rappresentava la traduzione operativa del modello sismotettonico a grande scala riassunto in Meletti et al. (2000).

Gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune inconsistenze di tale modello di zonazione. Per superare questo stato di cose e rendere disponibile, nel breve tempo a disposizione, una zonazione utilizzabile, si è convenuto di disegnare una nuova zonazione, denominata ZS9. La zonazione sismogenetica ZS9 è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e dell'introduzione di nuove zone.

L'obiettivo di questa ricerca è stato la realizzazione di un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile.

Con ZS9 non si è inteso introdurre drastici elementi di novità in riferimento al quadro cinematico generale su cui si basava ZS4. Il vero elemento di novità, oltre naturalmente al catalogo sismico, è rappresentato dall'introduzione delle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche. Negli ultimi anni, infatti, la quantità di informazioni sulla sismogenesi del territorio italiano (sia per quanto riguarda gli aspetti geometrici delle sorgenti che per quanto attiene il loro comportamento atteso) è notevolmente aumentata rispetto a quella disponibile nel periodo in cui i ricercatori procedevano alla realizzazione di ZS4. Tali conoscenze rappresentano uno degli elementi chiave per il tracciamento delle nuove zone. Un importante elemento di novità rispetto al passato è rappresentato dall'utilizzo del database delle soluzioni dei meccanismi focali dei terremoti italiani, recentemente pubblicato da Vannucci e Gasperini (2003).

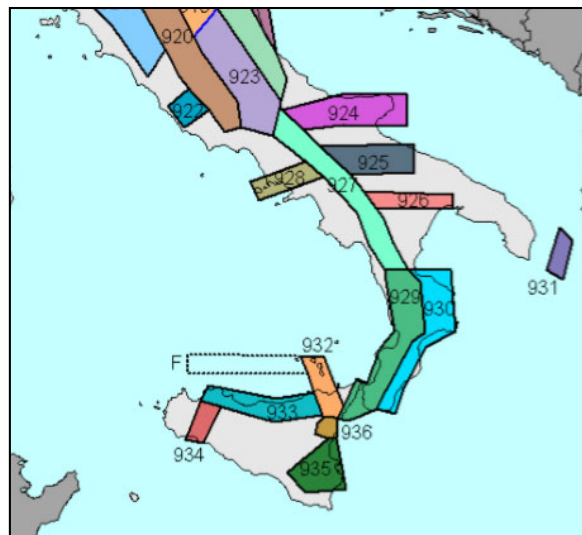
Riassumendo, in ZS9 le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche si innestano sul quadro di evoluzione cinematica Plio-Quaternaria su cui si basava ZS4. Tuttavia, l'elaborazione di ZS9 si fonda su una base informativa notevolmente più ricca e affidabile di quella disponibile all'epoca della prima realizzazione di ZS4.

Nel processo che ha portato alla redazione di ZS9, l'unione di più zone di ZS4 è avvenuta in base alle peculiarità del dominio cinematico al quale ognuna delle zone veniva attribuita. L'unione di zone di ZS4 adiacenti e con simile comportamento cinematico non ha, controindicazioni di tipo sismotettonico. Contemporaneamente alla riduzione del numero di zone si è provveduto a modificare la geometria delle stesse in funzione delle mutate conoscenze sismotettoniche. Le modifiche ai limiti delle zone di ZS4 sono state basate su nuovi dati relativi alle geometrie di singole sorgenti o di insiemi di queste. Tali informazioni hanno anche consentito di inglobare all'interno delle zone-sorgente di ZS9 alcune aree escluse dalla zonazione ZS4 e, viceversa, di escluderne altre. Inoltre è stato ripensato uno dei criteri usati nel disegno di ZS4, vale a dire quello di definire zone sorgente estese fino a inglobare al loro interno tutta la sismicità al di sopra di una certa soglia di magnitudo, giustificando questo modo di procedere come maggiormente cautelativo verso queste aree. Si è verificato invece che in molti casi l'aumento di superficie portava a ridurre in maniera non corretta la stima di pericolosità nelle aree centrali della zona, caratterizzate dai terremoti più importanti per magnitudo e numero. Si è ritenuto pertanto che un procedimento più corretto fosse quello di disegnare zone sorgente più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e di cautelare le aree circostanti attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

Zone sismogenetiche della Calabria (ZS 929 e 930):

Le zone-sorgente della Calabria fino allo Stretto di Messina sono state modificate in due nuove zone, una sul lato tirrenico della regione (ZS929) e una sul lato ionico (ZS 930). L'esistenza di queste due distinte zone rispecchia livelli di sismicità ben differenti.

I terremoti con più elevata magnitudo hanno infatti interessato i bacini del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo Stretto di Messina (ZS 929). Tra questi eventi spiccano la sequenza del 1783 e i terremoti del 1905 e 1908. Viceversa sul lato ionico della Calabria solo 4 eventi hanno superato un valore di magnitudo pari a 6, e tra questi il terremoto del 1638 appare come l'evento più forte verificatosi. Peraltro recenti studi paleosismologici (Galli e Bosi, 2003) porrebbero l'evento del 9 giugno 1638 in relazione con la faglia dei Laghi posta sulla Sila. L'area della Sila, che in ZS4 veniva equiparata al background, nella nuova proposta viene divisa in due parti attribuite alle due zone appena descritte. Secondo lo stesso criterio si è deciso di attribuire alla zona 929 l'area che in ZS4 era compresa tra le zone 71 e 72. Nella Zona Sismogenetica 929 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{wmax} = 7,29$; inoltre, il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in tale zona è di tipo faglia normale, con una profondità ipocentrale media stimata di 10 km.



ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018), hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 aggiornate e modificate dalle nuove N.T.C. 2018, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

Le valutazioni della "pericolosità sismica di base" deriva da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con metodologie validate.

La "pericolosità sismica di base" costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche; in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Riferimento normativo

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state condotte in conformità con le disposizioni vigenti in Italia. In generale il riferimento è alle prescrizioni contenute nelle seguenti normative:

1. Legge 5 Novembre 1971 n° 1086.
2. Legge 2 Febbraio 1974 n°64.

3. Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture del 17.01.2018

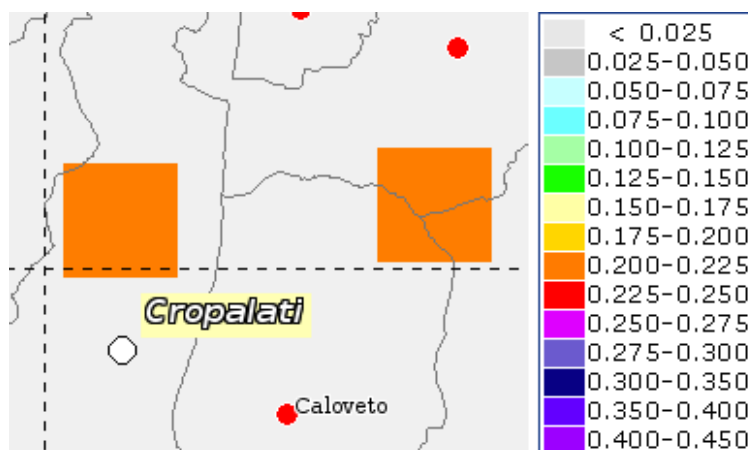
Alla legislazione nazionale si aggiunge il lavoro, finora pubblicato in edizione provvisoria, dell'Associazione Geotecnica Italiana, "aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: linee guida" del 2005.

Il D.M. 14/01/2008 e successivamente le NTC 2018, hanno introdotto un nuovo approccio di verifica dell'azione sismica nella progettazione basato su precisi criteri prestazionali delle opere da progettare, e valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle ormai note "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo vengono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*c). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica sono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> e sul web gis GEOSIS for ArcGIS on line.

Ai fini della definizione dell'AZIONE SISMICA DI PROGETTO, deve essere valutata l'influenza delle condizioni stratigrafiche, morfologiche e geotecniche locali che possono costituire fattori di amplificazione del moto sismico. La scelta della classe di costruzione (1,2), del tipo di suolo (A,B,C,D,E) e dei coefficienti amplificativi dello spettro di risposta sismica determina il valore dell'AZIONE SISMICA.

Nella "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b), espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005), per il Comune di Cropalati, a_g è compresa tra 0,200g e 0,225g.



Ciò detto, sono stati valutati con il software della Geostru i parametri a_g , F_0 , T^*c da adottare nelle verifiche di progetto dell'azione sismica, riferiti a congrui casi esemplificativi di costruzioni di classe d'uso I, II e III, relativi ai rispettivi stati limite da considerare.

Il software consente l'aggancio automatico delle coordinate inserite ai punti del reticolo più vicini.

Le variabili utilizzate per la valutazione della <<pericolosità di base>> sono:

- Classe d'uso delle costruzioni, suddivisa a sua volta in :

I << costruzioni con presenza solo occasionale di persone>>;

II << costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali>>;

III << costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi - industrie con attività pericolose per l'ambiente>>; ognuna delle classi sopraindicate è caratterizzata da un coefficiente d'uso CU ;

- Vita nominale V_N variabile e congrua a seconda della classe d'uso dell'opera;

• Periodo di riferimento VR , parametro direttamente proporzionale alla vita nominale come indicato nella formula sottostante: $VR = V_N * CU$

• Stati limite del manufatto, riferiti alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (strutturale, non strutturale, impiantistica) nei confronti dell'azione sismica. Gli stati limite sono suddivisi in <<stati limite di esercizio>> $SLO - SLD$ e <<stati limite ultimi>> $SLV - SLC$;

• Parametri che definiscono le forme spettrali: a_g – accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e T^*c – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri sopra descritti consentono la definizione degli spettri di risposta di progetto relativi ad ognuno degli stati limite di legge.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella successiva, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

DETERMINAZIONE DELLA VS EQUIVALENTE E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DA MASW

L'O.P.C.M. n°3274 del 20/03/2003 prevede ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la definizione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, basata sulla velocità delle onde sismiche di taglio VS. Ma la novità delle N.T.C. 2018 (Art. 3.2.2.) è l'introduzione della VSeq, che costituisce un parametro correlato alla velocità delle onde di taglio VS degli strati di terreno, ivi nei primi 30 m di sottosuolo al di sotto del piano di posa delle fondazioni; VSeq, che rappresenta una velocità equivalente, è espressa dalla seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

dove H risulta essere la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Sulla base di quanto esposto, si è proceduto alla ricostruzione del profilo sismo-stratigrafico attraverso una serie di indagini geofisiche (MASW) in situ che ha consentito di definire dati sulle velocità delle onde di taglio VS.

Le nuove "categorie di sottosuolo" secondo il Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, sono:

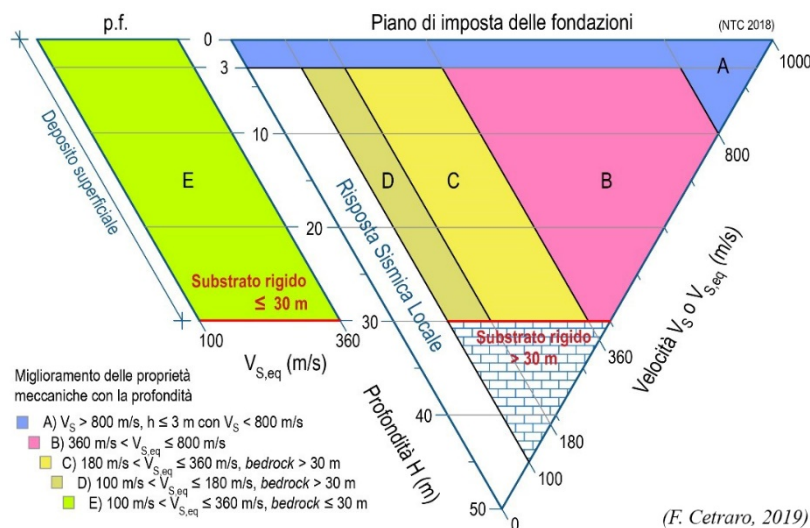
A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

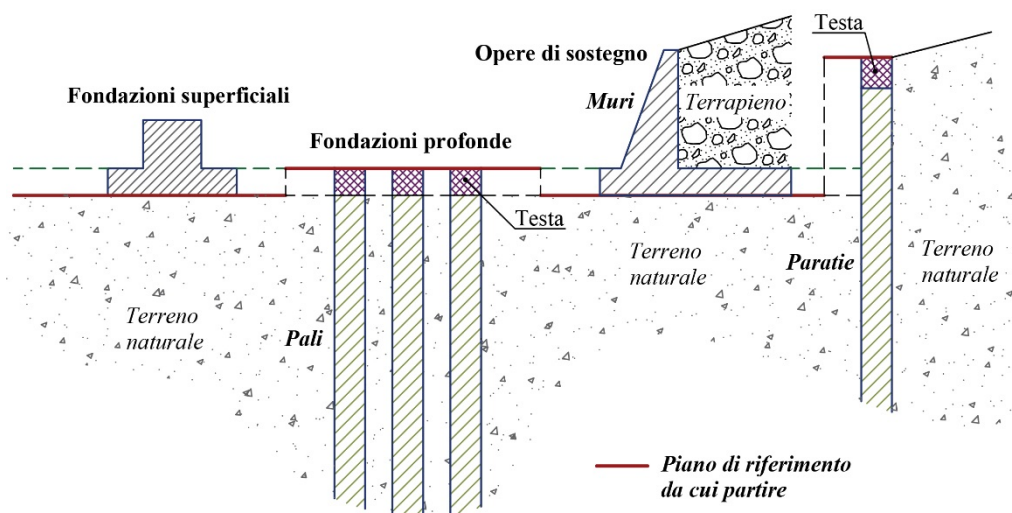
D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la

profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Relativamente al piano di riferimento delle opere fondazionali va precisato che per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

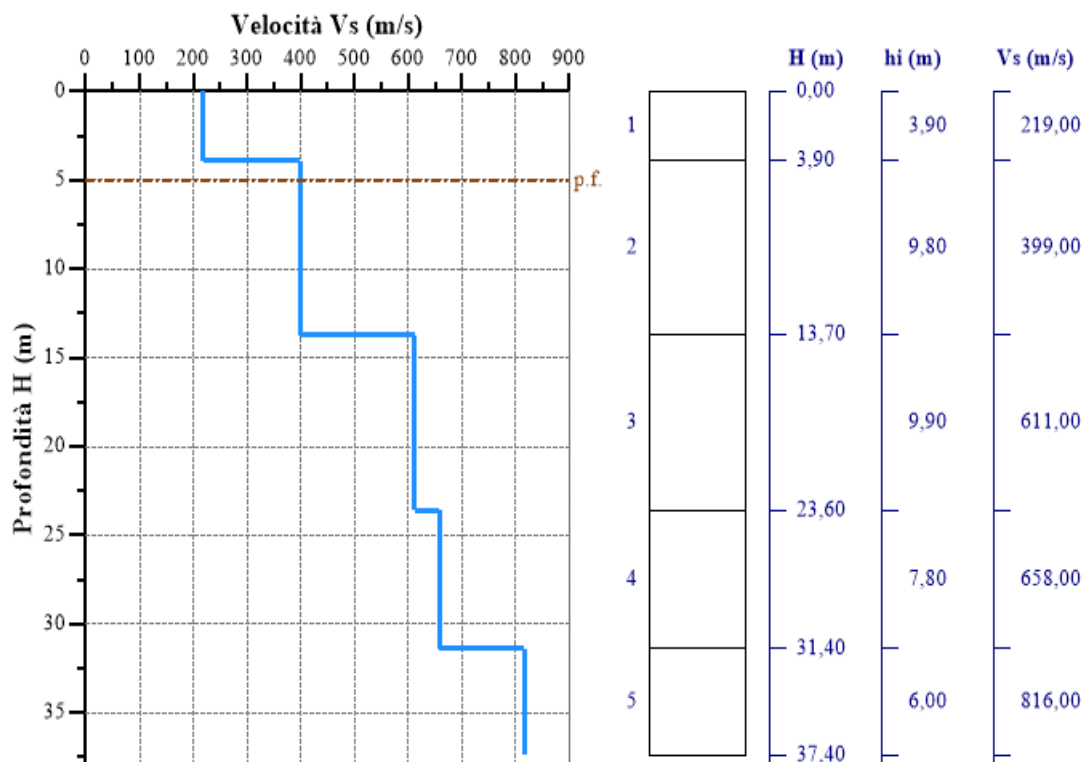


Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

Per il caso in studio in base ai risultati delle indagini MASW realizzate è possibile definire un modello sismostratigrafico delle aree d'intervento e stimare la relativa V_{seq} ricavata in base a diverse profondità di imposta delle fondazioni.

Profondità fondazione (m)	V_{seq} (m/sec)	Categoria
0,00	439,25	B
1	459,75	B
2	479,65	B
3	500,63	B
4	523,22	B
5	529,47	B

B_Descrizione: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.



Il D.M. 17.01.2018 prevede anche che nei siti suscettibili di amplificazione topografica venga introdotto un coefficiente moltiplicativo ($FT \geq 1$) per l'accelerazione massima orizzontale di progetto, che tenga conto di tale caratteristica morfologica.

La **valutazione dell'amplificazione topografica**, fissata la categoria e la posizione nel pendio, è stata effettuata in osservanza a quanto previsto dalle NTC 2018 che al paragrafo 3.2.3.2.1 recita: "La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario."

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

CATEGORIA TOPOGRAFICA SITI IN ESAME = T2

La valutazione dell'azione sismica, ai sensi delle NTC 2018, è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- ✓ accelerazione massima attesa in superficie;
- ✓ accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- ✓ storia temporale del moto del terreno.

La normativa, attualmente prevede due tipi di approcci nella valutazione dell'azione sismica:

Un **approccio semplificato** (nel caso in cui la Classe d'Uso della costruzione sia I oppure II, situazioni topografiche e/o stratigrafiche non complesse) in cui la valutazione viene eseguita utilizzando il foglio di calcolo ministeriale Spettri NTC v.1.0.3 dal quale si estrapolano gli spettri di risposta elastici ed inelastici di progetto, determinando quindi quelli che sono i parametri dipendenti;

Un **approccio numerico mono o bidimensionale** (nel caso in cui debba essere impiegato l'utilizzo di accelerogrammi naturali per costruzioni aventi Classe d'Uso III o IV, situazioni stratigrafiche

e/o topografiche complesse, condizioni di sottosuolo non classificabili nelle suddette 5 tipologie), per la determinazione della Risposta Sismica Locale, utilizzando appositi codici di calcolo numerici che permettono di valutare con maggior accuratezza l'azione sismica attraverso una complessa procedura di normalizzazione degli spettri ottenuti rispetto a quelli di normativa.

Nello specifico, gli Spettri di Risposta Elastici in accelerazione, oltre ai già descritti parametri in questo paragrafo, nella loro forma spettrale, tengono conto anche di altri criteri ed espressioni, come descritto nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC 2018; in particolare la loro forma spettrale (spettro normalizzato) è riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} . Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s.

Le espressioni che definiscono lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali sono (Eq. 3.2.2 - NTC 2018):

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

T è il Periodo di vibrazione

S_e è l'accelerazione spettrale orizzontale

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e della categoria topografica mediante l'espressione $S = S_s \times S_T$ (con S_s fattore di amplificazione stratigrafica e S_T fattore di amplificazione topografica)

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$$

Con ξ valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha valore minimo 2.2

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato da $T_C = C_c \times T_C^*$, con C_c dipendente dalla categoria di sottosuolo

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, definito da $T_B = T_C / 3$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Per particolari opere di interesse strategico e/o che prevedano degli affollamenti significativi, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale (come in questo caso specifico di studio). In ogni caso, anche nella metodologia semplificata della valutazione dell'azione sismica, la forma spettrale su sottosuolo di categoria **A** è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che modifica il valore del periodo T_C . Per il suolo di tipo A questi parametri valgono 1, mentre per le altre tipologie di sottosuolo, i coefficienti sono calcolati in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al suolo di categoria A mediante le espressioni riportate nella seguente tabella (*Tab. 3.2 IV - NTC 2018*):

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Inoltre, per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella seguente (*Tab. 3.2.V - NTC 2018*), in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 delle NTC 2018 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

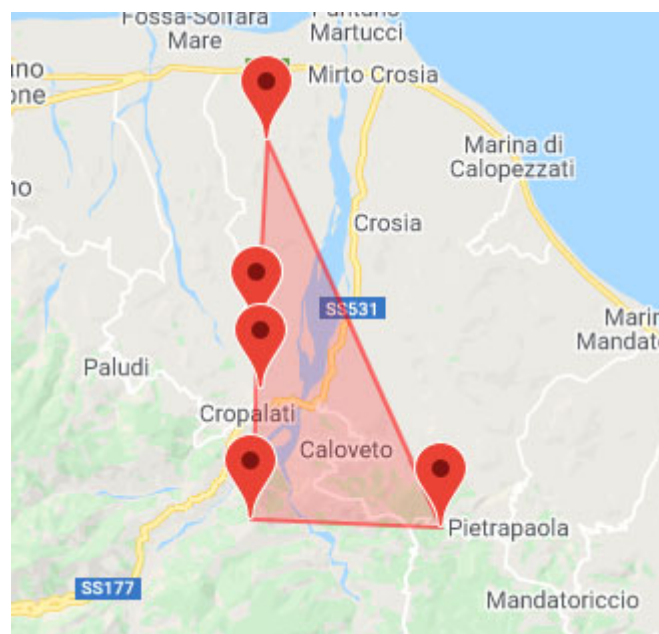
Tutti i parametri e coefficienti descritti in questo paragrafo, come già detto, dipendono dall'ubicazione del sito di interesse (valutazione "sito-dipendente"). Infatti l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ha suddiviso l'intero territorio nazionale in un reticolo a maglie quadrate con lato inferiore a 10 km, per un totale di 10751 nodi rappresentanti i vertici di ciascuna maglia (*Progetto S1, INGV*). In base alle coordinate del sito di interesse (esprese nel sistema ED50), è possibile estrapolare quelli che sono i parametri dipendenti ed indipendenti nella valutazione dell'azione sismica attraverso la costruzione dello spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale. C'è però da sottolineare che i valori di accelerazione a_g forniti dal progetto S1, sono riferiti a suoli rigidi di tipo A, e a morfologia piatta (categoria topografica T1). Pertanto, da questi valori di partenza, dei quali si tiene conto nella fase iniziale della valutazione dell'azione sismica, deve poi essere effettuata un'interpolazione con tutti i parametri che tengono conto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e topografica (S_T) del sito esaminato, in modo tale da ottenere alla fine, quelli che sono i reali parametri sismici che lo caratterizzano (a_{max}).

ANALISI SEMPLIFICATA

La valutazione è stata eseguita utilizzando il programma online della Interstudio “Domus Sismica”, dal quale si estrapolano gli spettri di risposta elastici ed inelastici di progetto, determinando quindi quelli che sono i parametri dipendenti.

Parametri sismici determinati con Domus Sismi

Siti in esame: La strada in esame ricade a cavallo di due maglie del reticolo in cui è diviso il territorio nazionale (INGV).



Classe d'uso: II.

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo : B

Categoria topografica : T2 sommità del pendio

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Stato limite : SLO - operatività

Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	30
Ag :	0,553
Ag/g :	0,056
F0 :	2,349
T*C(sec) :	0,280

Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
38789	16,729	39,538	0,553	2,350	0,280
38567	16,732	39,588	0,531	2,340	0,280
39012	16,792	39,486	0,545	2,350	0,280
39011	16,727	39,488	0,568	2,350	0,280

Coefficiente stratigrafico :	1,200
Coefficiente topografico :	1,200

Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,200
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,016
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,008

Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,180
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,015
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,007

Stato limite : SLD - danno

Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	50
Ag :	0,724
Ag/g :	0,074
F0 :	2,331
T*C(sec) :	0,310

Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
38789	16,729	39,538	0,725	2,330	0,310
38567	16,732	39,588	0,695	2,340	0,310
39012	16,792	39,486	0,714	2,330	0,310
39011	16,727	39,488	0,745	2,330	0,310

Coefficiente stratigrafico :	1,200
Coefficiente topografico :	1,200

Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,200
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,021
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,011

Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,180
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,019
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,010

Stato limite : SLV - vita**Risultato**

Tempo di ritorno(anni) :	475
Ag :	2,092
Ag/g :	0,213
F0 :	2,398
T*C(sec) :	0,370

Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
38789	16,729	39,538	2,096	2,400	0,370
38567	16,732	39,588	2,017	2,400	0,370
39012	16,792	39,486	2,071	2,380	0,370
39011	16,727	39,488	2,136	2,400	0,370

Coefficiente stratigrafico :	1,199
Coefficiente topografico :	1,200

Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,280
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,086
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,043

Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,310
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,095
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,048

Stato limite : SLC - collasso

Risultato

Tempo di ritorno(anni) :	975
Ag :	2,763
Ag/g :	0,282
F0 :	2,425
T*C(sec) :	0,390

Vicini nella griglia

id	Longitude	Latitude	Ag	F0	T*C
38789	16,729	39,538	2,771	2,420	0,390
38567	16,732	39,588	2,681	2,420	0,390
39012	16,792	39,486	2,701	2,450	0,390
39011	16,727	39,488	2,820	2,430	0,390

Coefficiente stratigrafico :	1,132
Coefficiente topografico :	1,200

Coefficiente sismico per stabilità dei versanti e per verifica della capacità portante

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,280
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,107
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,054

Coefficiente sismico per muri di sostegno

Coefficiente riduzione accelerazione attesa al sito :	0,310
Coefficiente sismico orizzontale Kh :	0,119
Coefficiente sismico verticale Kv :	0,059

LIQUEFAZIONE

Non sussistono le condizioni per l'innescare di fenomeni di liquefazioni, soprattutto per l'assenza di falda nei primi 15 metri dal piano campagna.

In queste condizioni il rischio di liquefazione è escluso, come pure quello di cedimenti per densificazione.

Il geologo

Dott. Geologo Giuseppe Cufari



Giuseppe Cufari