



**Comune di  
CEPAGATTI  
Provincia di Pescara**



**LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DI UN  
TRATTO DI STRADA DI VIA DEL FEUDO  
NEL COMUNE DI CEPAGATTI**

**CUP: J31B21001090002**

DPCM 27/02/2019 Danni da eccezionali eventi meteorologici seconda decade  
gennaio 2017, OCDPC 441/2017, 3<sup>a</sup> annualità

**PROGETTO ESECUTIVO**

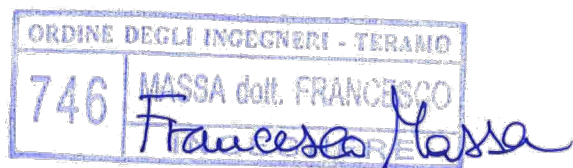
**C.02**

**RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA**

Data: Agosto 2022

Pagine: 24

*Ing. Francesco MASSA*





## **RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA**

### **INDICE**

1.	PREMESSA.....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	4
4.	GEOMORFOLOGIA.....	5
5.	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA .....	6
6.	INQUADRAMENTO NEL PAI VIGENTE.....	7
7.	PIANO STRALCIO DIFESA DALLE ALLUVIONI (PSDA) .....	9
8.	INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO .....	10
9.	PERICOLOSITA' SISMICA.....	13
10.	STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA .....	24

## 1. PREMESSA

Il progetto a cui la presente relazione fa riferimento riguarda gli interventi di consolidamento finalizzati alla riduzione del rischio idrogeologico all'interno dell'abitato di Cepagatti, afferenti ad un lotto di intervento di opere da realizzare per il ripristino della transitabilità di un tratto di Via Del Feudo.

Nell'area oggetto di studio è presente un fenomeno franoso che minaccia la pubblica e privata incolumità, la sicurezza delle strutture e l'importante viabilità.

La presente relazione riporta i risultati delle indagini geologiche e geotecniche di dettaglio necessarie alla comprensione delle caratteristiche strutturali e meccaniche dei terreni oggetto del presente intervento di consolidamento e si avvale della seguente documentazione di riferimento a supporto delle indagini effettuate:

- a) Relazione Geologica avente per titolo "LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DI UN TRATTO DI STRADA DI VIA DEL FEUDO A CEPAGATTI", redatta dal Dott. Geol. Marco Petaccia;
- b) Cartografia geologica e geomorfologica, redatta dallo stesso geologo in virtù dei dati disponibili ed acquisiti nel corso delle indagini;
- c) D.M. 11.03.88 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*;
- d) Circ. Min. LL.PP. n° 97/81-30483, 24.09.88, (*Presidenza Consiglio Superiore, Servizio Tecnico Centrale*) Istruzioni relative alle *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e scarpate ..."*, di cui al D.M. 11.03.88;
- e) AGI *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"*, 1977;
- f) Eurocodice 7 *"Geotechnical design - Part 1: General rules"*, 1994 (UNI – ENV 1997 – 1);
- g) Ordinanza Ministeriale nr. 3274 20 Marzo 2003;
- h) Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica;
- i) DM 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni, e successive integrazioni.

In particolare, la presente relazione si prefigge lo scopo di caratterizzare, da un punto di vista geotecnico, geologico ed idraulico, le formazioni di terreno affioranti e presenti nell'area di intervento, con lo scopo di giustificare da un punto di vista tecnico le soluzioni progettuali adottate.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il presente progetto riguarda i lavori di messa in sicurezza di un tratto di strada di Via del Feudo, ubicato nel comune di Cepagatti (PE) ed interessato da cedimenti verso valle e piccole lesioni alla recinzione dei fabbricati adiacenti la via stessa.

L'area oggetto di studio è ubicata a Cepagatti ed è raggiungibile percorrendo la SP 44 (Via della Bonifica), svoltando a sinistra per via Delle Contrade in direzione della frazione Cantò.

L'area di intervento è ubicata nei pressi di un incrocio posizionato a quota di circa 80 m s.l.m., in un versante che degrada verso est ed è lambito al piede dal Fiume Pescara.



**Figura 1 – Carta tecnica regionale, estratto dalla scala 1:5000**

L'area è interessata da una fitta densità abitativa: all'interno della zona sono presenti diverse abitazioni, potenzialmente coinvolgibili da possibili espansioni del fenomeno di dissesto.



**Figura 2 – Ubicazione dell'area su ortofoto, fonte Google Maps**



### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Nella cartografia geologica ufficiale l'area è stata studiata, tra l'altro, nelle seguenti campagne di indagine:

- 1) Carta geologica dell'Abruzzo alla scala 1:100.000, Vezzani e Ghisetti, 1998, a cura della Regione Abruzzo.
- 2) Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, progetto CARG, foglio n° 361 "CHIETI", a cura dell'ISPRA.



**Figura 3 – Stralcio Carta geologica alla scala 1:5000**

Il sito è ubicato a Cepagatti in Via del Feudo all'incrocio con via Delle Contrade con le coordinate 42,357295° di latitudine nord e 14,112241° di longitudine est rispetto al meridiano di Greenwich e si colloca su una zona sub - pianeggiante che degrada verso Est in direzione della piana alluvionale del Fiume Pescara.

Tutta la zona circostante è caratterizzata da insediamenti antropici, terreni coltivati e reticoli viari. L'area in esame si colloca nella fascia collinare compresa tra le dorsali carbonatiche del Gran Sasso, del Morrone e della Maiella a Ovest, e la costa adriatica a Est. Nel settore affiorano rispettivamente da occidente verso oriente i depositi marini messiniani (Bacino della Laga), pliocenici (Bacino del Cellino) e plio – pleistocenici (Bacino Periadriatico), frutto della sedimentazione silicoclastica all'interno di differenti bacini di avanfossa – avampaese che si impostavano progressivamente, verso est, all'avanzare della deformazione della catena appenninica in strutturazione. In particolare l'area oggetto di studio si colloca sui depositi quaternari continentali. Nel complesso tali depositi presentano un assetto monoclinale, con una blanda immersione verso est degli strati,

principalmente associata al sollevamento generalizzato che ha interessato l'intera fascia periadriatica abruzzese durante il Pleistocene. Questo fenomeno alla fine del Pleistocene inferiore ha determinato la completa emersione del settore ed il passaggio da una sedimentazione di tipo marino ad una di tipo continentale, con l'impostazione e l'approfondimento dell'attuale sistema vallivo all'interno del quale si possono oggi individuare più ordini di superfici di erosione e di depositi alluvionali terrazzati.

Dal punto di vista geologico – stratigrafico l'intorno significativo dell'area di studio è caratterizzato da depositi continentali alluvionali terrazzati del 1 ordine costituiti da conglomerati, sabbie e limi fluviali con spessori compresi tra 25 e 30 metri (Pleistocene Medio – Pleistocene Superiore – indicato con la sigla At1). Questi materiali poggiano, in contatto stratigrafico con la successione marina del Mutignano (associazione pelitico – sabbiosa – che costituisce il substrato geologico non rigido), costituita da argille e argille marnose, di colore grigio o grigio azzurro, con intercalazioni di lamine e straterelli sabbiosi e sabbioso – limosi, frequentemente fossiliferi (indicato con la sigla FMTa).

In particolare, a seguito delle indagini geognostiche eseguite nella zona di studio (vedi report indagini), è stato possibile suddividere il terreno in 3 strati costituiti da un primo orizzonte di copertura costituito da terreno vegetale di colore marrone scuro con trovanti ghiaiosi eterogenei, in matrice limoso – sabbiosa per uno spessore di 0,80 m. Questo materiale poggia su dei depositi ghiaiosi eterogenei immersi in matrice limoso sabbiosa di colore avana con dimensione media dei clasti compresa tra 5 e 6 cm fino a 3 metri di profondità.

Il tutto poggia, in contatto stratigrafico, con le argille grigio – azzurre della formazione del Mutignano.

Queste si presentano dapprima di colore giallastro con screziature grigie fino a circa 6,5 metri di profondità per poi assumere la tipica colorazione grigia della formazione marina che funge da substrato geologico sovraconsolidato non rigido. Tale orizzonte è stato investigato fino alla profondità finale di 20 metri dal piano campagna.

#### **4. GEOMORFOLOGIA**

L'area oggetto di studio si inserisce in una morfologia essenzialmente di tipo sub - pianeggiante, costituita da un terrazzo alluvionale del 1 ordine che decresce verso est in direzione della piana alluvionale del Fiume Pescara. Tale terrazzo è il risultato del processo erosivo del corso d'acqua che nel tempo ha migrato verso la sua attuale posizione lasciandosi alle spalle i vecchi terrazzi precedenti. Questa costante migrazione verso l'attuale piana alluvionale, ha portato all'incisione, e conseguente affioramento, dei materiali coesivi marini più vecchi apprezzabili principalmente in

prossimità di rotture di pendio e scarpate morfologiche che nel nostro caso corrispondono ad orli di scarpata di origine fluviale situati in prossimità del passaggio tra il terrazzo del primo ordine e l'attuale piana alluvionale del Pescara (precisamente in via della Bonifica).

Bisogna segnalare la presenza di un orlo di scarpata da erosione fluviale inattivo localizzato in prossimità del passaggio, in affioramento, con la formazione marina del Mutignano (ad est). In questo studio non è stata determinata l'eventuale fascia di rispetto (ai sensi delle Norme di attuazione PAI) in quanto secondo la vigente normativa citata, gli interventi di messa in sicurezza e mitigazione del rischio sono consentiti all'interno di eventuali fasce di rispetto senza necessità di studio di compatibilità idrogeologico.

Alla luce di quanto detto e, a seguito di un rilevamento geomorfologico, è possibile affermare come tale sito ricada in un'area non interessata da nessun tipo di processo evolutivo in grado da comprometterne la sua stabilità e sicurezza. Bisogna però segnalare la presenza di cedimenti del manto stradale verso valle e piccole lesioni alla recinzione dei fabbricati a monte di Via del Feudo la cui causa potrebbe essere presumibilmente di natura antropica ma comunque non accertata in questo studio.

## **5. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA**

Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio appartiene al bacino idrografico del Fiume Pescara. La circolazione idrica profonda dell'acquifero significativo è costituito dai depositi alluvionali di fondovalle caratterizzati da alternanze irregolari di sabbie, limi e ciottoli aventi generalmente forma lenticolare (Pleistocene – Olocene). Tali depositi, a seconda della granulometria dei litotipi che li costituiscono, sono caratterizzati da una permeabilità per porosità variabile da alta a molto bassa.

Ai margini dei depositi alluvionali recenti affiorano quelli antichi terrazzati, costituiti in genere da conglomerati con sabbie e limi. Essi sono posti a quota più elevata rispetto ai primi e spesso sono separati dagli stessi dall'affioramento del substrato marino o da deboli coperture colluviali. I depositi alluvionali antichi sono dotati di una permeabilità primaria che varia, in base alla granulometria, da alta a media.

Bisogna dire che nella zona oggetto di studio, tramite il carotaggio e le prove penetrometriche non è stata individuata la presenza di una falda profonda. La sua assenza però non è da escludere, considerando che questi materiali incoerenti poggiano sulle argille grigio – azzurre del Mutignano che godono di una elevata impermeabilità. Queste favoriscono l'accumulo di acqua la cui soggiacenza si trova nei depositi misti terrazzati.

Inoltre, considerata la notevole distanza da corsi d'acqua principali, è possibile affermare come tale sito risulti a pericolosità nulla per quanto riguarda il Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni.



Considerata la natura della litologia riscontrata a comportamento misto, con presenza di materiali limosi e sabbiosi e ghiaie e l'esclusione della sola frazione sabbiosa sciolta, fa sì che l'area ricade in una zona stabile suscettibile di amplificazione (Carta delle Mops di microzonazione sismica di I livello del territorio comunale di Cepagatti).

## 6. INQUADRAMENTO NEL PAI VIGENTE

Il versante ubicato nei pressi di Via del Feudo risulta classificato nella carta del rischio del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro, "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi", come interessato da forme gravitative.

Il dissesto è testimonianza del grado di precarietà presente nell'area, in cui sono presenti sia fenomeni legati all'assenza di regimazione delle acque, sia legati ad eventi di tipo gravitativo.

Nelle planimetrie allegate è riportata l'esatta ubicazione della situazione di dissesto segnalata, sulle carte della geomorfologia, della pericolosità e del rischio vigenti.

La Carta Geomorfologica, allegata al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi "Fenomeni gravitativi e processi erosivi", mette in evidenza la presenza, soprattutto, di forme, processi e depositi erosivi.

Dal rilevamento Geomorfologico in scala 1: 5.000 del PAI di cui è riportato uno stralcio in allegato, la strada oggetto di intervento non risulta interessata da fenomeni gravitativi censiti; questa risulta tuttavia interessata da fenomeni di dissesto che sono imputabili all'azione erosiva esercitata dalle scarpate presenti a valle.

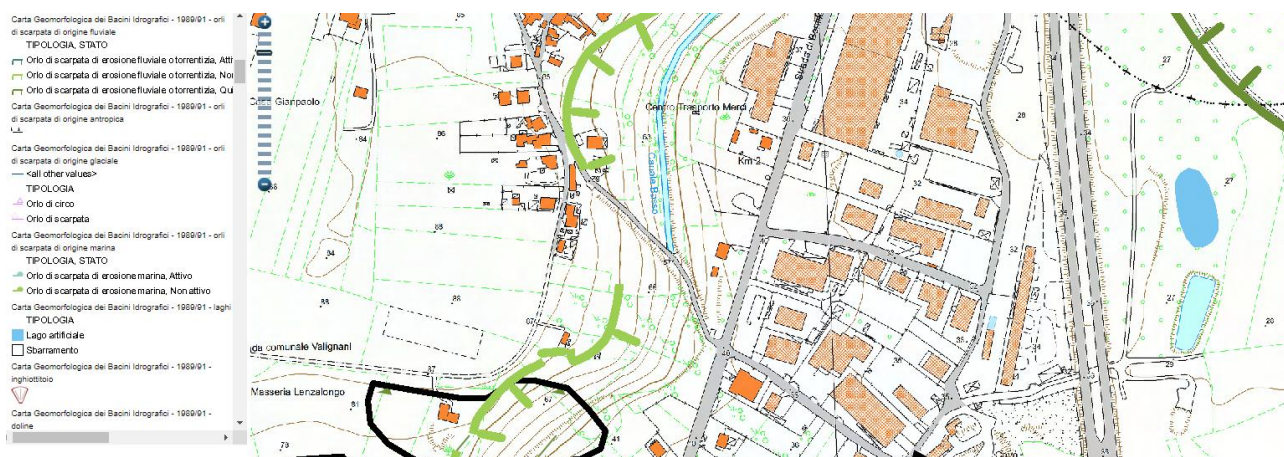
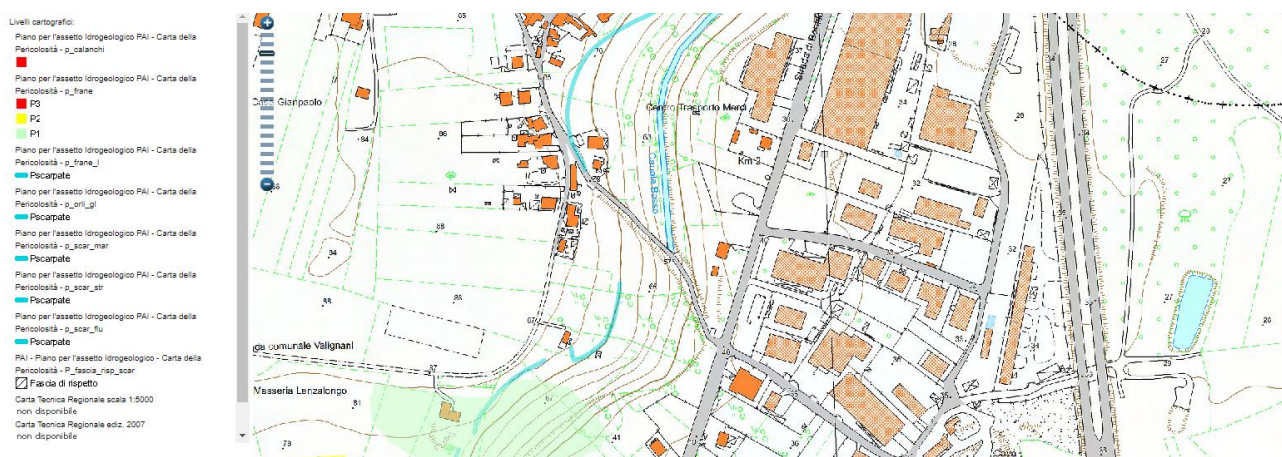


Figura 4 – Carta geomorfologica PAI Abruzzo

La Carta della Pericolosità, allegata al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi "Fenomeni gravitativi e processi erosivi", è stata ottenuta

Nel caso specifico, la porzione di abitato oggetto dell'intervento di messa in sicurezza rientra in alcuni tratti a pericolosità di classe Ps.

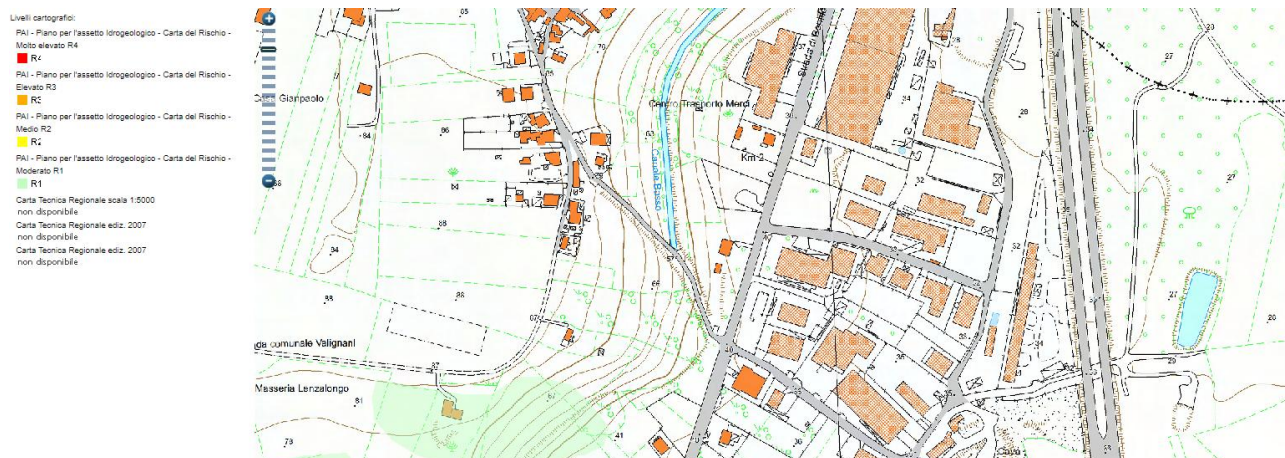


**Figura 5 – Carta della pericolosità da frana PAI Abruzzo**

Le diverse situazioni di rischio così individuate sono state, pertanto, aggregate in quattro classi di rischio, a gravosità crescente, alle quali sono state attribuite le seguenti definizioni:

- moderato R1;
- medio R2;
- elevato R3;
- molto elevato R4.

L'area in esame ricade nella classe di Rischio R1, a seguito dell'assenza diretta di fabbricati in un'area classificata con un grado di pericolosità Ps presente solo in alcune zone dell'area.



**Figura 6 – Carta del rischio da frana PAI Abruzzo**

La situazione di precarietà di questa porzione di versante perdura da diverso tempo. Dal mese di gennaio 2017, a seguito delle notevoli precipitazioni atmosferiche che hanno investito l'intera Regione Abruzzo, la strada si trova in una situazione di pericolo a causa di una frana che ha coinvolto a tratti la scarpata.

Le sedi stradali sono già sede di fessurazioni trattive e di opere di consolidamento ammalorate a causa dell'evoluzione del fenomeno.

## **7. PIANO STRALCIO DIFESA DALLE ALLUVIONI (PSDA)**

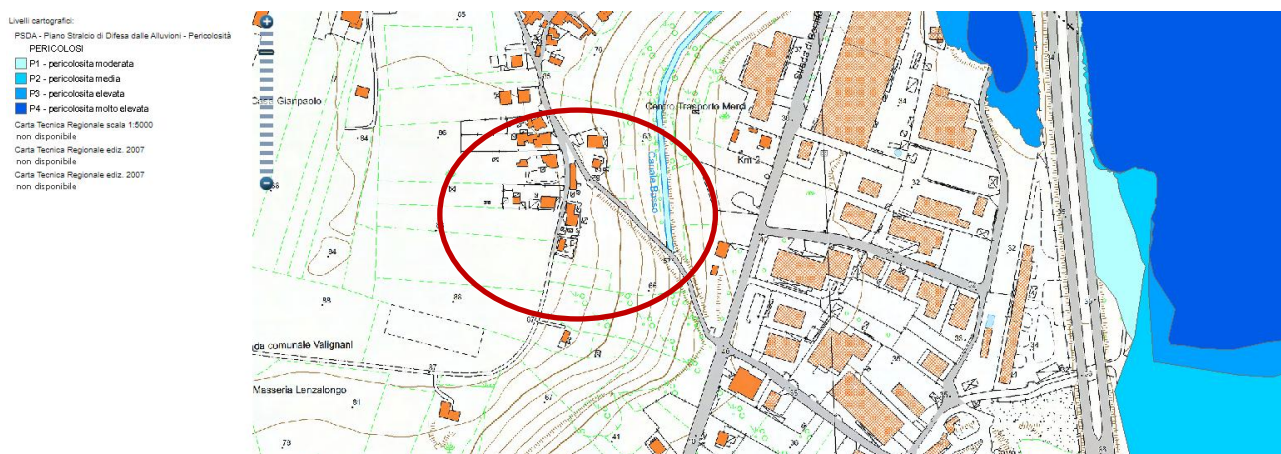
Nell'ambito dei propri compiti istituzionali connessi alla difesa del territorio l'Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro ha disposto, ai sensi dell'art. 17, comma 6-ter della Legge 18.05.1989 n. 183, la redazione del Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni, quale stralcio del Piano di Bacino, inteso come strumento di individuazione delle aree a rischio alluvionale e quindi da sottoporre a misure di salvaguardia, ma anche di delimitazione delle aree di pertinenza fluviale. Il Piano risulta quindi funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive) il conseguimento di un assetto fisico dell'ambito fluviale compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli, industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

In particolare il PSDA individua e perimetra le aree di pericolosità idraulica attraverso la determinazione dei livelli corrispondenti a condizioni di massima piena valutati con i metodi propri dell'idraulica.



In tali aree di pericolosità idraulica il Piano ha la finalità di evitare l'incremento dei livelli di pericolo e rischio idraulico, impedire interventi pregiudizievoli per il futuro assetto idraulico del territorio, salvaguardare e disciplinare le attività antropiche, assicurare il necessario coordinamento con il quadro normativo e con gli strumenti di pianificazione e programmazione in vigore.

Il Piano distingue le aree in Aree di Rischio e Aree di Pericolosità dei differenti bacini presenti e, nel caso in questione, l'area oggetto dell'intervento pur trovandosi nel bacino del Fiume Pescara, non risulta perimetrata in nessuna delle due carte. Pertanto non essendo previste prescrizioni puntuali su ciò che è consentito e ciò che è vietato realizzare, in termini di interventi, opere ed attività, il progetto proposto non è in contrasto con questo strumento di conoscenza e gestione del territorio.



**Figura 7 – Carta della pericolosità idraulica PSDA Abruzzo**

## 8. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Nell'ambito del presente studio geologico è stato programmato ed eseguito un carotaggio continuo fino a 20 metri di profondità con prelievo di campione indisturbato alla profondità di 4,0 metri e tre prove SPT alla profondità di 4,45 – 8,60 – 11,80 metri nelle argille, oltre all'esecuzione di due indagini penetrometriche DPSH dinamiche.



**Figura 8 – Ubicazione delle indagini geognostiche**

La caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni è stata definita in base ai risultati delle analisi condotte sul campione indisturbato, dai risultati delle indagini penetrometriche e SPT eseguite in foro di sondaggio:

Terreni coesivi:

- La prova SPT ha dato i seguenti risultati:

SPT1 (S1 – 4,45 / 4,90): N1= 12 – 17 – 25

SPT 2 (S1 – 8,60 / 9,05): N1= 19 – 24 – 30

SPT 3 (S1 – 11,80 / 12,25): N1= 21 – 28 – 33

Con i risultati delle prove in sito è stato elaborato il modello geologico e litotecnico dell'area di studio (vedi report indagini).

I valori di  $N_{spt}$  sono stati utilizzati per determinare l'angolo d'attrito interno ( $\phi'$ ) e la densità relativa ( $D_r$ ).

L'angolo d'attrito interno può essere calcolato dalla relazione:

$$\phi = 15 + (15 * N_{spt})^{0,5}$$

dove  $N_{spt}$ , a seconda dei casi può essere il valore misurato o il valore corretto se siamo sottofalda.

La densità relativa può essere valutata dalla correlazione  $N_{spt} - D_r$  indicata dalla tabella di Terzaghi nella tabella:



Definizione	$N_{spt}$	Densità relativa
Molto sciolto	< 4	< 20 %
Sciolto	4 – 10	20 – 40 %
Medio	10 – 30	40 – 60 %
Denso	30 – 50	60 – 80%
Molto denso	> 50	> 80%

**Figura 9 – Correlazione  $N_{spt}$  – densità relativa**

Nel caso di prove sottofalda il valore deve essere corretto con la relazione:

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0,5 (N_{spt\ misurato} - 15)$$

RISULTATI ED ELABORAZIONE DELLE PROVE S.P.T.1 IN FORO										
S	Falda (m.p.c.)	Z (m)	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{spt}$	$N_{spt\ corretto}$	Dr (%)	$\varphi$ (°)	
S1	-	4,45	12	17	25	42	28,5	45	35,6	A

**Figura 10 – Risultati prove SPT 1**

RISULTATI ED ELABORAZIONE DELLE PROVE S.P.T.2 IN FORO										
S	Falda (m.p.c.)	Z (m)	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{spt}$	$N_{spt\ corretto}$	Dr (%)	$\varphi$ (°)	
S1	-	8,60	19	24	30	54	34,5	65	37,74	A

**Figura 11 – Risultati prove SPT 2**

RISULTATI ED ELABORAZIONE DELLE PROVE S.P.T.3 IN FORO										
S	Falda (m.p.c.)	Z (m)	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{spt}$	$N_{spt\ corretto}$	Dr (%)	$\varphi$ (°)	
S1	-	11,80	21	28	33	61	38	70	45,24	A

**Figura 12 – Risultati prove SPT 3**

$N_1 - N_2 - N_3$  = numero di colpi del maglio per avanzamenti unitari di 15 cm cad del campione Raymond;

$N_{spt}$  = sommatoria del numero di colpi  $N_2 + N_3$

$N_{spt\ corretto} = N_{spt\ sottofalda} = 15 + \frac{1}{2} (N_{spt} - 15)$

falda assente:  $N_{spt\ corretto} = N_{spt}$

G: ghiaia

L: limo

S: sabbia

A: argilla

M: marna

Successivamente, in fase di elaborazione del modello, tutti i risultati sono valutati criticamente, unitamente alle indagini penetrometriche e analisi di laboratorio, per definire i valori di progetto.

Sulla scorta dei risultati delle prove eseguite, unite ai risultati ottenuti indagini penetrometriche, è stato possibile parametrizzare il terreno di indagine.

Z (m)	Spessore (m)	Descrizione	Parametri geotecnici		
0,00 – 0,80	0,80	Terreno vegetale	-		
0,80 – 5,00	4,20	Ghiaia eterogenea in matrice limoso – sabbiosa di colore avana	Peso di volume	$\gamma$	1,46 (t/mc)
			Peso di volume saturo	$\gamma_s$	1,91 (t/mc)
			Angolo d'attrito	$\varphi'$	28°
			Coesione non drenata	Cu	0,50 (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Densità relativa	%	28
3,00 – 20,00	15,00	Argille limose di colore giallastro fino a 6,50 metri di profondità per poi diventare grigie entrando in formazione	Peso di volume	$\gamma$	1,65 (t/mc)
			Peso di volume saturo	$\gamma_s$	2,04 (t/mc)
			Angolo d'attrito	$\varphi'$	28,56°
			Coesione non drenata	Cu	0,94 (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Densità relativa	%	43

**Figura 13 – Parametri fisico – meccanici**

## 9. PERICOLOSITA' SISMICA

In data 8.05.2003 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale l'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 ed integrata con il recente Decreto Ministeriale pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04/02/2008, relativa a "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Nella recente classificazione sismica del territorio abruzzese il comune di Cepagatti è classificato come Zona 2.

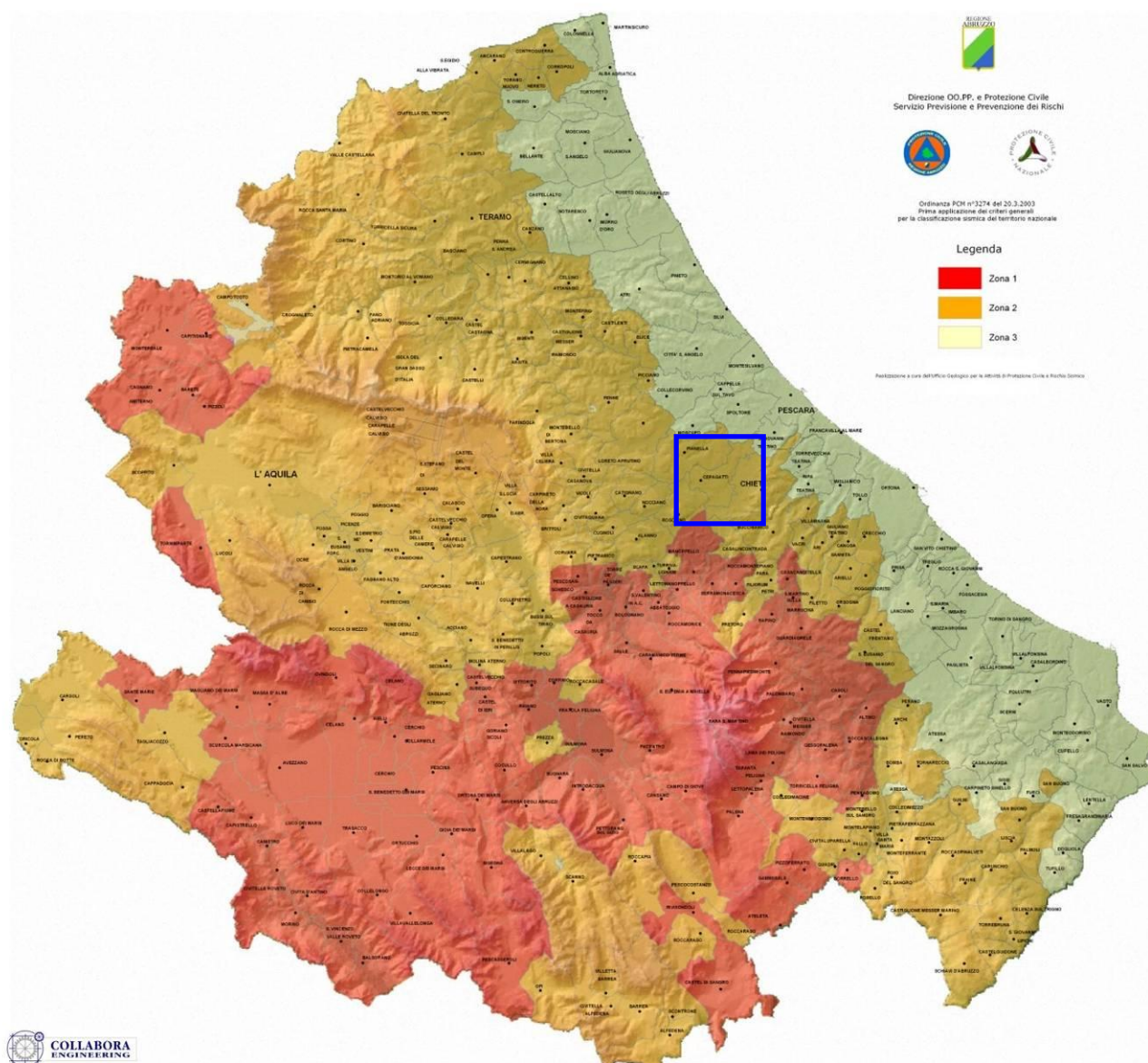
La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la zona sismica per il territorio di Cepagatti, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale dell'Abruzzo n. 438 del 29.03.2003:

- Zona sismica 2: Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ $a_g$ ]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982



**Figura 14 – Classificazione sismica dei Comuni Abruzzesi – OPCM 3274**

Attraverso l'applicazione Webgis è possibile consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica. In particolare per il territorio di Cepagatti si hanno dei valori di accelerazione del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) pari a 0.175 – 0.200  $g$  (accelerazione massima del suolo).

## Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

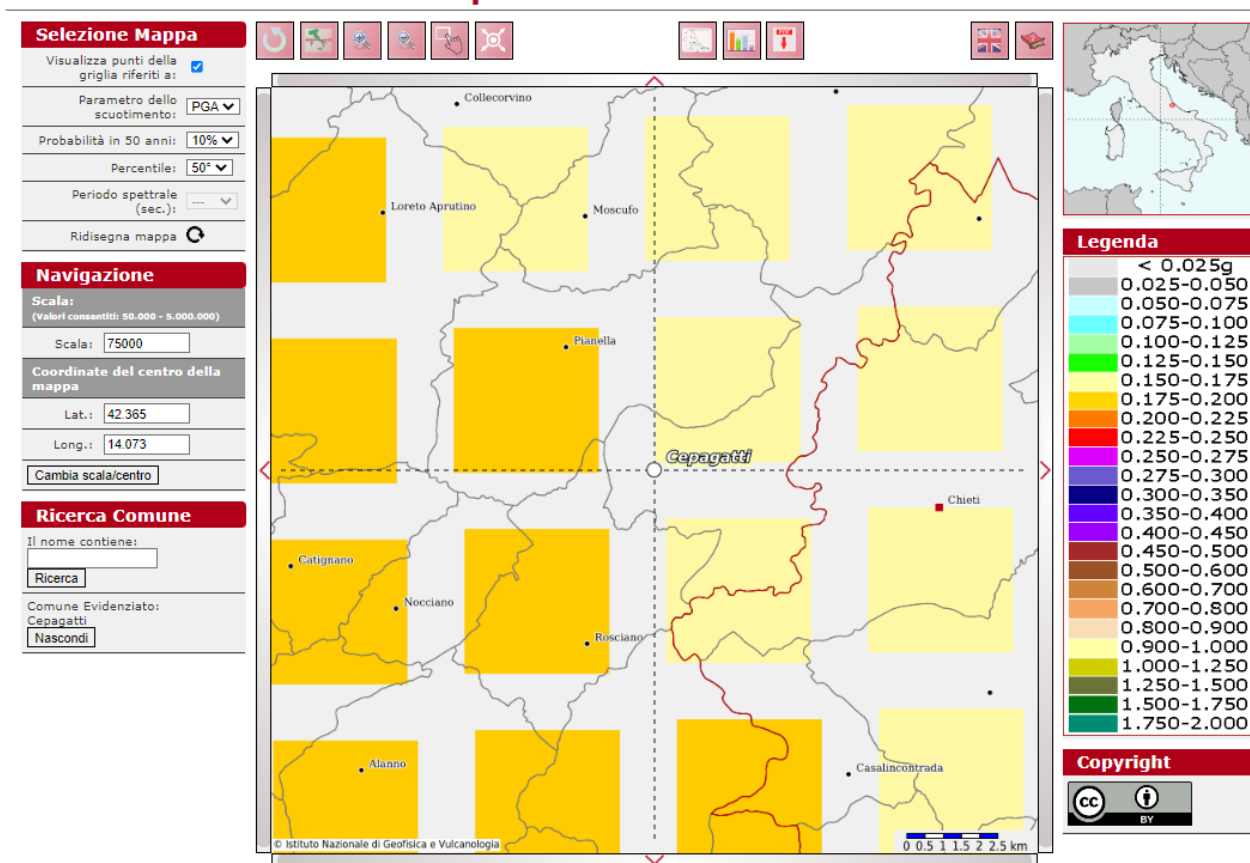


Figura 15 – Valori di pericolosità sismica – OPCM 3519/2006

Nel D.M. 17.01.18 (Norme Tecniche sulle Costruzioni) la pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” VR e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR.

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti. Il sito di riferimento sarà dunque caratterizzato da sottosuolo di categoria A e superficie topografica di categoria T1.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica PVR:

$a_g$  = accelerazione massima al sito;

$F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



Considerando i seguenti parametri sismici:

Classe d'Uso: IV

Vita Nominale: 50 anni

Periodo di riferimento: 100 anni

si ottengono per i vari stati limite previsti in normativa, i valori dei parametri adottati nelle relazioni di calcolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi al fine di ottenere la categoria del suolo di fondazione del sito in esame così come definita nella tabella sottostante.

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

#### INDAGINE SISMICA MASW:

Nell'area di studio sono state eseguite due indagini sismiche MASW (in data 01/06/2022) e un'indagine sismica a rifrazione (in data 13/05/2022) al fine di definire la velocità delle onde di taglio (onde S) e gli spessori dei sismostrati per la valutazione delle Vs30 ai sensi della normativa vigente.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine digitale non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione del terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive ovvero, onde con diverse lunghezze

d'onda si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo; quindi, la velocità apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc.

L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto "dispersione", ed è caratterizzato da questo tipo di onde. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta "curva di dispersione", che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva, estraibile dallo spettro del segnale poiché posa approssimativamente sui massimi del valore assoluto dello spettro, viene utilizzata per la ricerca del profilo di velocità  $V_s$  del sito.

Ottenuto lo spettro  $f - k$  (frequenza – numero d'onda), individuata la migliore curva di dispersione sperimentale ed assegnato il profilo geotecnico comprensivo di densità di massa e coefficiente di Poisson, il software provvede ad un primo calcolo delle velocità  $V_s$  (processo di inversione). Al profilo di velocità ottenuto corrisponde una curva di dispersione definita "curva teorica", la quale dovrà essere confrontata con quella sperimentale e successivamente alterata in un processo iterativo. Quando la curva di dispersione teorica coincide approssimativamente con la curva sperimentale d'origine, il profilo di  $V_s$  risulta attendibile.

Data la necessità di analizzare con estremo dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), risulta consigliabile procurarsi geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore ai 4.5 Hz.

Le acquisizioni devono essere eseguite con array lineari, ovvero array i cui geofoni sono posizionati lungo una linea retta. La disposizione dei geofoni deve essere tale che l'interdistanza (distanza tra un geofono e l'altro) deve essere sempre costante.

La strumentazione utilizzata è la seguente:

- Sismografo: Tromino grilla
- Registrazione a 21 canali
- Sistema energizzante: mazzetta da 8 kg battente su una piastra metallica, per la quale viene preparata una piazzola eventualmente asportando i primi centimetri di suolo scadente.
- Trigger: circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter nell'istante in cui il sistema energizzante colpisce la base di battuta, in modo da consentire ad un condensatore

di scaricare la carica immagazzinata precedentemente per la riproduzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Lo schema di acquisizione dell'indagine sismica eseguita nell'area di studio consiste in uno stendimento di 40,0 metri con un'interdistanza di 2,00.

In ottemperanza a quanto stabilito dal D.M. del 17/01/2018 nelle Norme Tecniche per la Costruzioni e dall'O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab.3.2.II delle N.T.C. 2018). Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s30eq}$  di propagazione delle onde di taglio. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di posa 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.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
<b>A</b>	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 metri.
<b>B</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.
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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.
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	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 metri.

**Figura 16 – Categorie di sottosuolo**

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}$  è definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s]$$

In cui:

$h_i$  spessore in metri dell' $i$  – esimo strato;

$V_s$  velocità delle onde di taglio nell' $i$  – esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

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.

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

CATEGORIA	DESCRIZIONE
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 metri.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	Terreni e sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

**Figura 17 – Categorie di sottosuolo secondo  $V_{s,30}$  da N.T.C.08**

Le indagini sismiche eseguite hanno consentito di suddividere il sottosuolo dell'area di intervento in 4 sismostrati principali definendone profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ . Pertanto, utilizzando i valori di velocità  $V_s$  e gli spessori dei sismostrati è stata calcolata la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30.00 metri di profondità, a partire dal piano campagna.

SISMOSTRATI	$V_s$ (m/s)	Profondità sismostrato	Spessore
1	248	0,00 – 5,80	5,80
2	409	5,80 – 15,50	9,70
3	700	15,50 – 30,00	14,50
4	750	> 30,00	-

**Figura 18 – Sismostrati con relative velocità  $V_s$**

$$V_{s,eq} = 442,00 \text{ m/s}$$

Il valore delle  $V_{seq}$  ottenuto (442,00 m/s) sulla base della Tabella 3.2.II delle N.T.C. 2018, consente di identificare il sottosuolo del sito oggetto di indagine nella categoria “B”.

#### INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE:

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della birifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (head wave): le onde analizzate sono quelle birifratte cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo di incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di  $90^\circ$  propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e vengono nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza secondo il principio di Huygens secondo cui ogni punto investito da un fronte d'onda diventa a sua volta una sorgente di un fronte d'onda.

I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche; il modello interpretativo del mezzo investigato è di tipo elastico, omogeneo, continuo e isotropo, mentre la profondità totale di indagine è circa un terzo della lunghezza dello stendimento dei ricevitori.

L'energizzazione può essere fatta in P o SH e l'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P (nel nostro caso) è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche consecutive con diverse tipologie di filtro digitale;
- Ricostruzione delle dromocrone e scelta del modello di sottosuolo da utilizzare nell'interpretazione;
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relative tempi di intercetta;
- Ricostruzione del modello di sottosuolo con calcolo della profondità di ciascuno strato omogeneo, continuo e isotropo (tramite il metodo GRM).

Per le analisi interpretative è stato utilizzato il software Easy Refract elaborato dalla GEOSTRU.

Nella seguente indagine sono stati utilizzati dei geofoni verticali con una frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Le acquisizioni devono essere eseguite con array lineari, ovvero array i cui geofoni sono posizionati lungo una linea retta. La disposizione dei geofoni deve essere tale che l'interdistanza (distanza tra un geofono e l'altro) deve essere sempre costante.



La strumentazione utilizzata è la seguente:

- Sismografo: Sysmatrack – 24
- Registrazione a 24 canali
- Sistema energizzante: mazzetta da 8 kg battente su una piastra metallica, per la quale viene preparata una piazzola eventualmente asportando i primi centimetri di suolo scadente.
- Trigger: circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter nell'istante in cui il sistema energizzante colpisce la base di battuta, in modo da consentire ad un condensatore di scaricare la carica immagazzinata precedentemente per la riproduzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.
- Ricevitori: 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz

Lo schema di acquisizione dell'indagine sismica eseguita nell'area di studio consiste in uno stendimento da 46,00 metri, con orientazione N - S un'interdistanza geofonica di 2,00 metri e 1 energizzazione in onde P su piastra di alluminio situata a 1,00 m dal primo geofono, a metà tra i geofoni 12 e 13 e a 47 metri dal primo geofono cioè a 1,00 metri di distanza dall'ultimo (vedi report indagini).

Dall'elaborazione dell'indagine di rifrazione, sono stati individuati due orizzonti con aumento crescente della velocità e il relativo spessore e velocità in onde P del primo strato (fatta eccezione per lo spessore del secondo strato dove non è stato individuato il rifrattore poiché situato ad una profondità maggiore). Inoltre dai modelli bidimensionali ottenuti dalla seguente indagine è stato possibile osservare come l'orizzonte più competente presenta un andamento piuttosto omogeneo sub – orizzontale procedendo da N verso S imputabile all'orizzonte argilloso individuato mediante indagini penetrometriche ad una profondità di circa 5 metri. Nella tabella è illustrata la profondità dei relativi orizzonti rispetto al piano campagna in funzione dei tempi d'arrivo del treno d'onda ai vari geofoni e nella tabella 8 i valori di velocità dei sismostrati in termini di onde P:

Geofoni	2° strato
1	- 4,80
2	- 4,80
3	- 4,80
4	- 4,80
5	- 4,90
6	- 4,90
7	- 4,90
8	- 5,10
9	- 4,90
10	- 4,90
11	- 4,80
12	- 5,60
13	- 6,60
14	- 5,90
15	- 5,20
16	- 4,30
17	- 4,30
18	- 4,30
19	- 4,10
20	- 4,40
21	- 4,20
22	- 4,20
23	- 4,00
24	- 4,20

**Figura 19 – Profondità del tetto del secondo sismostrato**

Velocità sismostrato 1	743,20 m/s
Velocità sismostrato 2	1630,4 m/s

**Figura 20 – Velocità delle onde P dei due sismostrati**

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ . Il parametro  $S_T$  deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a  $15^\circ$  altrimenti si applicano i criteri indicati nel capitolo 3.2.2. del D.M. 17.01.2018 secondo le categorie topografiche indicate nella tabella seguente.

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	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 del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Conseguentemente, viste le caratteristiche topografiche dell'area in esame, cautelativamente è stata applicata la categoria topografica T1 alla quale assegnare un coefficiente di amplificazione topografica ST pari a 1,0.

## 10. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

Di seguito è riportato uno stralcio della Carta delle Microzone derivata dall'elaborazione della Carta Geologica Tecnica, della carta delle Indagini e dai dati ottenuti dalle misure di Frequenze Fondamentali di Vibrazione eseguite per lo studio di Microzazione sismica di Livello 1 comunale.

Le zone individuate sono state classificate in:

- Zone stabili, in cui è affiorante il substrato sismico avente  $v_s \geq 800$  m/sec, con pendenza  $< 15^\circ$  e nelle quali non si ipotizzano effetti di modificazione del moto sismico rispetto ad un terreno rigido;
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (superficiale e sepolto); tali zone sono caratterizzate dall'affioramento di terreni di copertura o del substrato alterato o intensamente fratturato ( $J_v > 10 - 15$  con  $v_s < 800$  m/sec. Gli spessori dei terreni di copertura sono superiori a 3 m;
- Zone di attenzione per instabilità.

La strada oggetto d'intervento ricade in Zona Stabile suscettibile di amplificazioni locali.



Figura 21 – Stralcio MOPS MZS Livello 1

ORDINE DEGLI INGEGNERI - TERAMO  
746  
Il tecnico  
Ing. Francesco Massa  
*Francesco Massa*