



Comune di FAGNANO CASTELLO

Provincia di Cosenza

PROGETTO ESECUTIVO AMPLIAMENTO CIMITERO CIVICO

ID. PRATICA: 31070

7

Realizzazione nuovo cimitero civico comunale con struttura in cemento armato, nel Comune di Fagnano Castello (CS). Classe d'uso della costruzione II. LOTTO A.

ID PROGETTO:33096

Realizzazione nuovo cimitero civico comunale con struttura in cemento armato, nel Comune di Fagnano Castello (CS). Classe d'uso della costruzione II. LOTTO B.

ID PROGETTO:33097

Realizzazione nuovo muro di sostegno con struttura in cemento armato, nel Comune di Fagnano Castello (CS). Classe d'uso della costruzione II.

ID PROGETTO:33098

GEO3 - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

COMMITTENTE:
Comune di
Fagnano Castello

PROGETTISTA e D.L.:
ing. Ernesto Abritta A.T.

IL GEOLOGO:
DOTT. GIANFRANCO BARTOLO

DATA : Gennaio 2014
FIRMA:

INDICE

PREMESSA.....	2
FASI DI LAVORO.....	3
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	4
INDAGINI GEOGNOSTICHE	4
Analisi delle tomografie digitali.....	6
SISMICA A RIFRAZIONE.....	11
PREMESSA	11
METODO SISMICO A RIFRAZIONE	11
INQUADRAMENTO SISMICO.....	18
QUADRO NORMATIVO E CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	19
Azione sismica ai sensi del D.M. 14.01.2008.....	19

PREMESSA

Nella presente relazione si esamina un'area sita nel Comune di Fagnano Castello (Cs), individuata nel foglio n°229 - IV SO Fagnano Castello, della Carta Geologica d'Italia 1:25.000.

Il presente studio sismico è finalizzato alla verifica delle condizioni di pericolosità sismica di base dell'area in oggetto.

In conformità a quanto prescritto dal D.M. 14.01.2008 lo studio dei terreni e delle situazioni geomorfiche è stato distinto in tre parti: la prima a carattere geologico, la seconda a carattere geognostico e geotecnico e la terza sulla pericolosità sismica di base.

Le prime due parti, che sono parte integrante del presente studio, sono riportati negli appositi elaborati (GEO 1 – Relazione Geologica, GEO 2 – Relazione Geotecnica), mentre la terza verrà esposta nei capitoli seguenti.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica di progetto, sulla scorta delle indagini eseguite, il D.M. 14.01.2008 stabilisce che deve essere eseguito uno specifico studio di Risposta Sismica Locale mediante il quale valutare gli effetti di sito.

Il Regolamento Regionale n. 18/2009 – *“Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica di cui alla legge Regionale n. 35 del 19 ottobre 2009”* all'art. 5 dell'Allegato 3 – *“Effetti di sito per interventi di tipo edilizio”* prevede che per opere ricadenti in classe d'uso II (come quella in progetto), il livello minimo di analisi sia rappresentata dal livello 0, ad eccezione di opere ricadenti su terreni di tipo S1 ed S2.

Tale livello di analisi consente di fare riferimento al metodo semplificato previsto dal paragrafo 3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, con la definizione della Categoria di sottosuolo di cui alla tabella 3.2.II e 3.2.III nonché l'effetto amplificato prodotto dalle condizioni topografiche secondo quanto previsto dalla tabella 3.2.IV e 3.2.VI, con il fine di fornire gli spettri di risposta sismica locale nei diversi stati limite considerati.

È da sottolineare che la presente relazione è parte integrante di un più ampio studio e si riferisce a quella tipologia costruttiva ed a quel sito, per cui non può essere utilizzata in altri contesti o singolarmente.

FASI DI LAVORO

Il sottoscritto geol. Gianfranco Bartolo, cui l'Amministrazione Comunale di Fagnano Castello ha affidato l'incarico ha inteso programmare gli studi e le indagini effettuando:

- un rilevamento geologico di campagna che ha permesso la realizzazione di una carta geologica in scala 1:1.000;
- ricostruzione stratigrafica dei terreni con individuazione delle unità litostratigrafiche e la realizzazione di quattro sezioni geologiche in scala 1:500;
- un rilevamento geomorfologico di campagna che ha permesso la realizzazione di una carta geomorfologica in scala 1:1.000 assemblata alla geologica;
- **esecuzione di numero due stendimenti sismici a rifrazione** che hanno esteso le informazioni puntuali delle prove penetrometriche oltre ad individuare tutti i parametri sismici delle litologie presenti e degli strati individuati;
- esecuzione di due tomografie digitali per la stima della Vs30;
- stima dei parametri sismici richiesti dalle norme tecniche per le costruzioni

D.M. 14 gennaio 2008;

- **esecuzione di numero due sondaggi a carotaggio continuo** spinti fino alla profondità di 12m dal p.c. che hanno permesso oltre alla definizione della stratigrafia:

- Il prelievo di N°5 campioni indisturbati
 - L'esecuzione di N°6 prove SPT in foro;
 - L'installazione di tubi piezometrici.
- **una serie di prove di laboratorio** su campioni indisturbati in modo da individuare tutte le caratteristiche fisico meccaniche delle litologie presenti.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Dal rilevamento geologico di campagna effettuato nella fase preliminare del presente studio e dai risultati ottenuti dalle prove di indagine eseguite sull'area si è individuata la litologia delle argille marnose straterellate (am), formazione sedimentaria del miocene superiore.

Questa litologia argilloso marnosa è presente anche come coltre di alterazione o detritica, di colore marroncino ocraceo, poco consistente e molto alterata sino ad una profondità mediamente di 2.50m dal piano campagna.

A profondità maggiori sino a circa 5m dal piano campagna la litologia si presenta come uno spessore di argille marnose in posto ma anch'esso molto alterato.

Infine, oltre i 5m di profondità, per uno spessore sicuramente superiore ai 20m, le marne argillose grigie straterellate poco o per nulla alterate assumono una chiara stratificazione inclinata di circa 35°, e risultano essere da mediamente a molto consistenti.

I complessi maggiormente rappresentativi, data la loro estensione areale, sono certamente quello Metamorfico degli gneiss e quello Argilloso-marnoso.

Il complesso metamorfico, presente poco distante nel lato ovest del cimitero esistente e individuato dalla prove sismiche HVSR ad una profondità di circa 60m, è caratterizzato da una permeabilità secondaria, da media ad elevata a causa dell'intenso grado di tettonizzazione e fratturazione che accompagna i depositi litoidi.

Nel complesso argilloso-marnoso, si registra invece una permeabilità notevolmente bassa nella coltre d'alterazione superficiale e nel substrato prevalentemente argilloso, mentre in presenza di intercalazioni arenaceo siltitiche, si hanno dei valori di permeabilità notevolmente più elevati che consentono l'alloggiamento di falde acquifere in pressione compresse tra le formazioni generalmente poco permeabili.

Questi orizzonti a maggiore permeabilità, vengono alimentati direttamente dai travasi che si hanno in corrispondenza dei sistemi tettonici sopra menzionati, ed al contatto con il substrato metamorfico fratturato.

Nei periodi invernali-primaverili, in cui la falda idrica alloggiata negli orizzonti siltitico-arenacei, risulta molto prossima alla superficie topografica, spesso si registra la

completa saturazione della coltre d'alterazione, rendendola notevolmente plastica e molto prossima al limite di liquidità.

In conclusione vediamo che questi orizzonti siltico-arenacei, tendono a sviluppare e a trasmettere elevate pressioni neutre all'interno della formazione argillosa marnosa (poco permeabile) ed alla base della coltre detritica d'alterazione.

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Analisi delle tomografie digitali

Indagine Geofisica (Prospezioni sismiche HVSr)

Nel sito in oggetto è stata effettuata una misura del microtremore ambientale della durata di 16 minuti con un tomografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

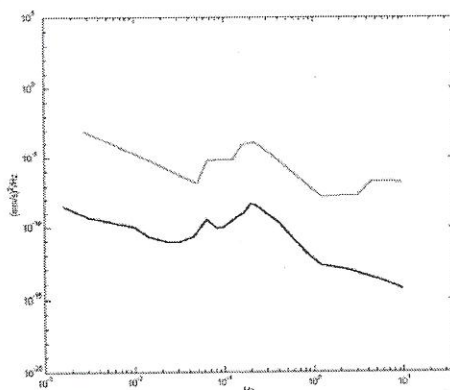
Lo strumento (TROMINO©, 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128Hz.

Sorgente del rumore

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10^{-15} – 10^{-12} [m/s²] in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura,



dove la curva bassa rappresenta il rumore di fondo “minimo” di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il “massimo” di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche.

Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Effetti di percorso

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di “ray tracing”, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però “sepolta” all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

Definizioni e Tecnica Impiegata

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare

principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

È ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2), un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

$$f_r = VP_1/(4 h) [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS_1/(4 h) [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Rileviamo inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume

poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (Gallipoli et al., 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro et al., 2005).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione a TROMINO®, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1.

Le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula [3] in cui “ V_0 ” è la velocità al tetto dello strato, “ a ” un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e “ ν ” la frequenza fondamentale di risonanza (Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

Analisi dei dati

Nell'area in esame è stata eseguita n° 1 stazione di misura, per un tempo di acquisizione di 16'. Dopo le operazioni di elaborazione dati descritte, per le prova, si sono ottenuti i diagrammi H/V e la curve di spettro riportate in allegato. La ricerca dei picchi da interpretare è stata effettuata, congiuntamente, nel grafico H/V e in quello degli spettri singoli.

In particolare, i picchi H/V di origine stratigrafica sono quelli generati da un minimo nelle componenti verticali del moto – curve magenta negli spettri – che significa minimo delle onde di Rayleigh alla frequenza di risonanza. Oltre a questo può esistere un massimo nelle componenti orizzontali del modo.

Modello sismico del sottosuolo

Allo scopo di creare un modello sismico del sito, è stata eseguita l'inversione delle curve H/V mirando a far corrispondere le frequenze dei picchi principali e la forma generale della curva (tecnica del "best fit"). Nell'inversione sono state seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il solo modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Nella tabella visibile nell'allegato sono riportati i parametri che usati nel modello, e nelle figure il confronto tra la curva H/V teorica e sperimentale e gli spettri delle singole componenti ed il modello sismico del sottosuolo sviluppato nei primi 30 m per il calcolo di V_{s30} .

Dall'elaborazione dei dati delle prove effettuate si è ricavato un valore di $V_{s(30)} > 360 \text{ m/s}$ che ha identificato la categoria di sottosuolo **B**.

SISMICA A RIFRAZIONE

PREMESSA

Su committenza del dott. Gianfranco Bartolo sono state eseguite nel Comune di Fagnano Castello (CS) n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione, al fine di ottenere un modello litotecnico del terreno.

In particolare sono stati eseguiti n°2 stendimenti sismici da 60 ml, lungo i quali sono stati infissi nel terreno 12 ricevitori (geofoni) con un intervallo intergeofonico di 5 m.

L'esecuzione di tale indagine è avvenuta con strumentazione digitale ad alta definizione, rilevando i tempi di arrivo ai ricevitori e le velocità delle onde elastiche longitudinali (onde P) prodotte artificialmente in più punti del terreno, al fine di poter ricostruire la disposizione geometrica dei litotipi presenti in corrispondenza della sezione indagata.

L'interpretazione è stata eseguita utilizzando il metodo del tempo intercetta.

Di seguito si espongono brevemente i concetti generali relativi alle prospezioni sismiche, nonché la descrizione delle analisi eseguite e della strumentazione utilizzata.

In allegato vengono presentati i dati acquisiti in sito ed i risultati ottenuti attraverso la successiva fase di elaborazione.

METODO SISMICO A RIFRAZIONE

E' il metodo più diffuso e meglio conosciuto: si basa sulla registrazione, mediante una serie di sensori (geofoni), del tempo di arrivo della prima onda sismica longitudinale (V_p).

L'apparecchiatura necessaria per questo tipo di prospezioni è costituita da una serie di geofoni (generalmente in numero di 12 o 24) che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento (stendimento) di lunghezza proporzionale alla profondità di indagine, e da un apparecchio di registrazione che permette di memorizzare l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. La registrazione, sia del momento dell'esplosione che del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su un unico diagramma (sismogramma).

Il metodo sismico a rifrazione permette quindi, mediante la generazione di onde elastiche longitudinali (V_p) in un punto del terreno ed il loro arrivo in superficie ai geofoni, la ricostruzione di diagrammi distanze-tempi (dromocrone) dai quali è possibile ottenere, con una successiva fase di calcolo automatico le velocità e profondità delle interfacce profonde,

nonché la disposizione geometrica dei litotipi presenti nel sottosuolo investigato. I tempi rifratti si riferiscono ad onde sismiche longitudinali (V_p) che incidono con “angolo critico” la superficie di separazione di due mezzi a velocità diverse e crescenti verso il basso (ad esempio due strati S_1 e S_2 aventi velocità V_1 e V_2 , con $V_2 > V_1$). Queste onde possono propagarsi lungo tale interfaccia e tornare in superficie fornendo informazioni sugli spessori, sulle variazioni degli stessi, sulle velocità dei due mezzi e sulla pendenza dell’interfaccia, proprio perché la velocità e le direzioni di propagazione delle onde sismiche sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraversati e dalla presenza di eventuali superfici di discontinuità separanti litotipi con diverso comportamento elasto-meccanico.

A titolo indicativo si forniscono (Tab. 1) alcuni valori di velocità per le onde di compressione. Si può osservare che il campo di variazione per uno stesso litotipo è ampio proprio perché la velocità dipende, oltre che dai parametri elastici intrinseci di

ciascun litotipo, anche da numerosi altri fattori come ad esempio il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il contenuto di fluidi ecc.

Tab. 1

<i>Mezzo di propagazione</i>	<i>V_p (Km/s)</i>
<i>Acqua dolce</i>	<i>1,45</i>
<i>Areato superficiale</i>	<i>0,3 ÷ 0,8</i>
Limi	<i>0,2 ÷ 0,6</i>
Alluvioni secche	<i>0,6 ÷ 1,2</i>
<i>Alluvioni umide</i>	<i>1,6 ÷ 2,4</i>
<i>Argille</i>	<i>1,8 ÷ 2,2</i>
<i>Tufi</i>	<i>1,8 ÷ 2,5</i>
<i>Marne</i>	<i>2 ÷ 3</i>
<i>Arenarie</i>	<i>2 ÷ 3,5</i>
<i>Lave</i>	<i>2,5 ÷ 4</i>
<i>Calcari e dolomie</i>	<i>3 ÷ 5</i>
<i>Scisti e micascisti</i>	<i>3 ÷ 4,5</i>
<i>Gneiss</i>	<i>3,5 ÷ 5</i>

<i>Granito</i>	<i>4 ÷ 6</i>
----------------	--------------

ACQUISIZIONE DEI DATI SISMICI

L'acquisizione dei dati è stata effettuata con un sismografo "Echo 12-24/2002 Seismic Unit" a 24/12 canali con la seguente strumentazione a corredo:

- N 12 geofoni verticali a 14 Hz mod. OYO GS20-DX;
- N 1 cavi sismici con 12 takes-out;
- Mazza di battuta da 8 Kg con starter e piastra in alluminio, utilizzate per creare il punto di energizzazione.

Nella fase di acquisizione il prospettore geologo, coadiuvato da un aiuto prospettore, ha verificato in ogni istante, l'operatività della strumentazione, utilizzando i parametri di acquisizione (geometria dello stendimento, frequenza, intervallo di campionamento, ecc.) ottimali per il sito in esame.

La soglia di frequenza di filtro del segnale è stata continuamente verificata ed impostata in modo da eliminare le fonti di disturbo procedendo, se necessario, a migliorare il rapporto segnale/rumore.

I parametri di acquisizione utilizzati sono i seguenti:

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE DA 60 ML	
<i>N° canali di registrazione</i>	<i>12</i>
<i>Distanza intergeofonica</i>	<i>5 m</i>
<i>N° scoppi</i>	<i>3</i>
<i>Frequenza filtro (Hz)</i>	<i>400</i>
<i>Sistema di energizzazione (mazza)</i>	<i>8 kg</i>

Le registrazioni delle tracce sismiche, sono state visualizzate direttamente in campagna, ove sono state eseguite le letture preliminari dei tempi di arrivo, successivamente elaborate con apposito software.

ELABORAZIONE DEI DATI

I sismogrammi sono stati opportunamente interpretati ed elaborati, in modo da ottenere i tempi di arrivo delle onde sismiche per i diversi ricevitori; con i dati distanza-tempi di arrivo delle onde sono state costruite le dromocrone delle fasi P, riportate in allegato.

Le dromocrone relative alle sezioni sismiche sono state elaborate con il metodo del tempo intercetta, di seguito brevemente descritto.

METODO DEL TEMPO INTERCETTA

L'equazione dei tempi di arrivo ai ricevitori (geofoni) T_{ST} per il modello più semplice di due strati S_1 e S_2 aventi velocità sismiche V_1 e V_2 tali che $V_2 > V_1$ ed avente superficie di interstrato parallela al piano campagna è data:

$$T_{ST} = (1/V_2) Z_{ST} + 2 Z_1 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} / (V_1 V_2)$$

Con Z_{ST} = distanza sorgente-ricevitore e Z_1 = profondità del rifrattore;

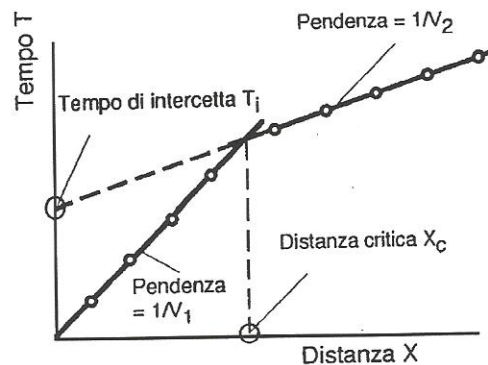
il tempo intercetta T_i è dato quindi da:

$$T_i = 2 Z_1 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} / V_1 V_2$$

da cui:

$$Z_1 = (T_i V_1 V_2) / 2 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2}$$

Nelle equazioni precedenti si assume di conoscere il valore di V_2 che può essere derivato facilmente dalle dromocrone nel caso di un rifrattore piano e non inclinato; in questo caso infatti V_2 è pari all'inverso della pendenza della curva dei raggi rifratti (vedi fig.1).



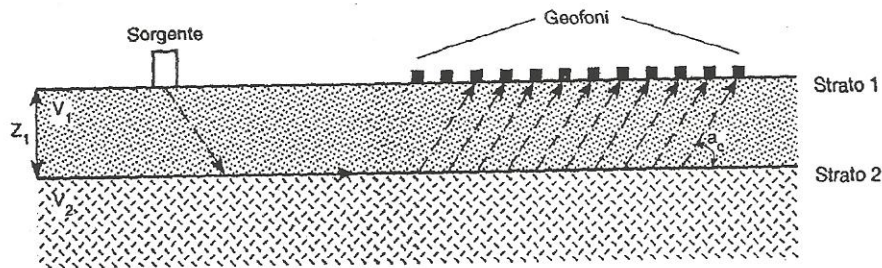


Fig.1 Modello di rifrattore piano parallelo e relativo grafico dei tempi di arrivo / distanze (in alto)

Il tempo intercetta T_i può essere ottenuto graficamente, direttamente dalle dromocrone (vedi fig.1).

Nel caso di un rifrattore inclinato di un angolo λ le velocità registrate in superficie per lo strato profondo, per punti di scoppio simmetricamente disposti, sono apparenti (avendo le onde percorso tragitti non proporzionali) e possono variare significativamente con l'inclinazione del rifrattore.

Come evidenziato dalla fig.2 la pendenza iniziale delle curve è uguale perciò il valore di V_1 è ben calcolato, mentre è incerto il valore di V_2 ottenendo V_{2U} e V_{2D} .

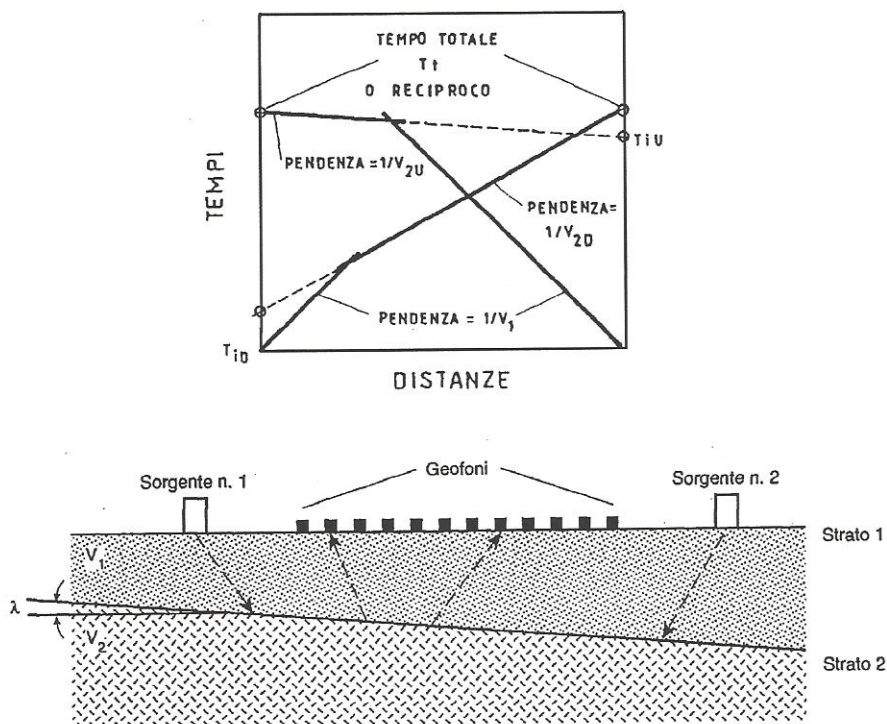


Fig.2 Modello di rifrattore piano inclinato e relativo grafico dei tempi di arrivo / distanze (in alto)

Il valore reale V_2 della velocità del sismostrato è dato da:

$$V_2 = [(2 V_{2U} V_{2D}) / (V_{2U} + V_{2D})] \cos \lambda$$

ANALISI DEI RISULTATI

L'interpretazione dei dati è stata effettuata mediante software WINSISM 10; il profilo sismico è stato elaborato con il metodo del tempo intercetta ed in particolare si è riusciti a costruire il modello più probabile tenendo conto dei fattori oggettivi dedotti sulla base dei caratteri geologici noti per il sito in esame.

SEZIONE SISMICA SS1 (60 ML)

Lungo il profilo sismico SS1 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi aventi differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile da circa 0,93 a 1,04 m e velocità delle onde sismiche di compressione (V_p) di $227 \div 320$ m/s; si tratta di un intervallo caratterizzato da proprietà elasto-meccaniche scadenti, considerate le velocità sismiche e gli spessori, correlabile ad un livello di copertura areato.

Al di sotto si riscontra invece un intervallo caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali compresa tra 695 e 714 m/s e spessore compreso tra 4,97 e 5,67 m, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato individuato mostra invece velocità delle onde di compressione (V_p) di $2.206 \div 2.262$ m/s.

SISMOSTRATO	SPESSORE	VELOCITÀ DELLE ONDE
SISMOSTRATO 1	<i>da p.c. a 0,93 ÷ 1,04 m</i>	$V_p = 227 \div 320$ m/s
SISMOSTRATO 2	<i>da 0,93 ÷ 1,04 m a 4,97 ÷ 5,67 m</i>	$V_p = 695 \div 714$ m/s
SISMOSTRATO 3	<i>da 4,97 ÷ 5,67 m ad indefinito</i>	$V_p = 2.206 \div 2.262$ m/s

SEZIONE SISMICA SS2 (60 ML)

Anche lungo il profilo sismico SS2 sono stati riconosciuti tre orizzonti.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile da circa 0,69 a 1,07 m e velocità delle onde sismiche di compressione (V_p) di $247 \div 282$ m/s; si tratta di un intervallo caratterizzato da proprietà elasto-meccaniche scadenti, considerate le velocità sismiche e gli spessori, correlabile ad un livello di copertura areato.

Al di sotto si riscontra invece un intervallo caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali compresa tra 603 e 852 m/s e spessore compreso tra 5,13 e 5,85 m, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato individuato mostra invece velocità delle onde di compressione (V_p) di $2.053 \div 2.336$ m/s.

SISMOSTRATO	SPESSORE	VELOCITÀ DELLE ONDE
SISMOSTRATO 1	<i>da p.c. a $0,69 \div 1,07$ m</i>	$V_p = 247 \div 282$ m/s
SISMOSTRATO 2	<i>da $0,69 \div 1,07$ m a $5,13 \div 5,85$ m</i>	$V_p = 603 \div 852$ m/s
SISMOSTRATO 3	<i>da $5,13 \div 5,85$ m ad indefinito</i>	$V_p = 2.053 \div 2.336$ m/s

INQUADRAMENTO SISMICO

La seguente tabella (tratta dal *Censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici strategici e speciali nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia Orientale* pubblicato nel 1999 dal Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale, dal Dipartimento della Protezione Civile e dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti del CNR) riporta i più gravi eventi sismici che hanno interessato la Calabria nell'ultimo millennio.

1184	IX-X	Terribile terremoto nella valle del Crati, che provocò gravissimi danni a Cosenza, dove crollò la cattedrale, a Bisognano, San Lucido e Luzzi
27.03.1638	XI	Violento terremoto che colpì particolarmente la zona di Nicastro; i morti furono diverse migliaia. Il 9 giugno un nuovo terremoto provocò danni nel crotonese.
05.11.1659	IX-X	Forte terremoto che interessò la Calabria centrale nell'area compresa fra i golfi di Sant'Eufemia e di Squillace; le vittime furono più di 2000
1783	XI	Fra febbraio e marzo del 1783 un violento periodo sismico interessò la Calabria meridionale ed il messinese, provocando la distruzione di moltissime località e danni gravissimi in molte altre; moltissime repliche si ebbero nei mesi e negli anni successivi. I morti furono più di 30.000
1832	X	Terremoto che provocò gravi danni ad una cinquantina di località, prevalentemente nel crotonese; più di 200 le vittime.
25.04.1836	X	Terremoto che colpì il versante ionico della Calabria settentrionale, con gravissimi danni a Crosia e Rossano: le vittime furono oltre 200
12.02.1854		Terremoto nel cosentino: effetti distruttivi si ebbero nell'alta valle del Crati; i danni furono gravi anche a Cosenza. Le vittime furono circa 500
4.10.1870	X	Terremoto nell'area cosentina (già colpita dall'evento del 1854), fra le alte valli del Savuto e del Crati, con oltre 100 vittime.
4.10.1870	X	Violento terremoto nella Calabria centrale, avvertito in tutta l'Italia meridionale e nella Sicilia orientale: danni gravissimi e più di 500 vittime
28.12.1908	XI	Terremoto calabro-messinese: Reggio Calabria e la parte bassa di Messina vennero rase al suolo; le vittime furono oltre 80.000, di cui circa 2.000 inghiottite dall'onda di maremoto (tsunami).

QUADRO NORMATIVO E CLASSIFICAZIONE SISMICA

Azione sismica ai sensi del D.M. 14.01.2008

Le azioni sismiche di progetto ai sensi del D.M. 14.01.2008, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC-DM 14/01/2008), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento V_R . In allegato alla norma citata NTC-DM 14/01/2008, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e $T^* C$ necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Questi valori devono essere forniti dal progettista in funzione della strategia progettuale che si vuole adottare.

A titolo esemplificativo, se nel caso in esame che tratta di un’abitazione per civile abitazione, ricadente in classe d’uso II (con C_U pari a 1) si fissa la vita nominale (V_N) pari a 50 anni, essendo $V_R = V_N \times C_U$, il periodo di riferimento V_R risulterà di 50 anni mentre, il tempo di ritorno (T_R) risulterà pari a:

$$SLO = 30 \text{ anni} \quad SLV = 475 \text{ anni}$$

$$SLD = 50 \text{ anni} \quad SLC = 975 \text{ anni}$$

con valori di possibilità di superamento (PVR) fissati dalla norma rispettivamente a:

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

In particolare il sito in oggetto (Comune di Fagnano Castello) è contraddistinto dalle coordinate:

Sito in esame.

latitudine: 39,559528 [°]

longitudine: 16,061116 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	38778	39,556240	16,017220	3780,9
Sito 2	38779	39,554730	16,081970	1865,7
Sito 3	38557	39,604710	16,083920	5390,8
Sito 4	38556	39,606210	16,019140	6315,5

È da evidenziare che i valori di a_g , F_0 e T_c così calcolati definiscono lo spettro di risposta in condizioni di campo libero su un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Questi valori, dovranno essere interpolati con le condizioni stratigrafiche e topografiche del sito al fine di ottenere una accelerazione sismica al suolo del sito di progetto.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

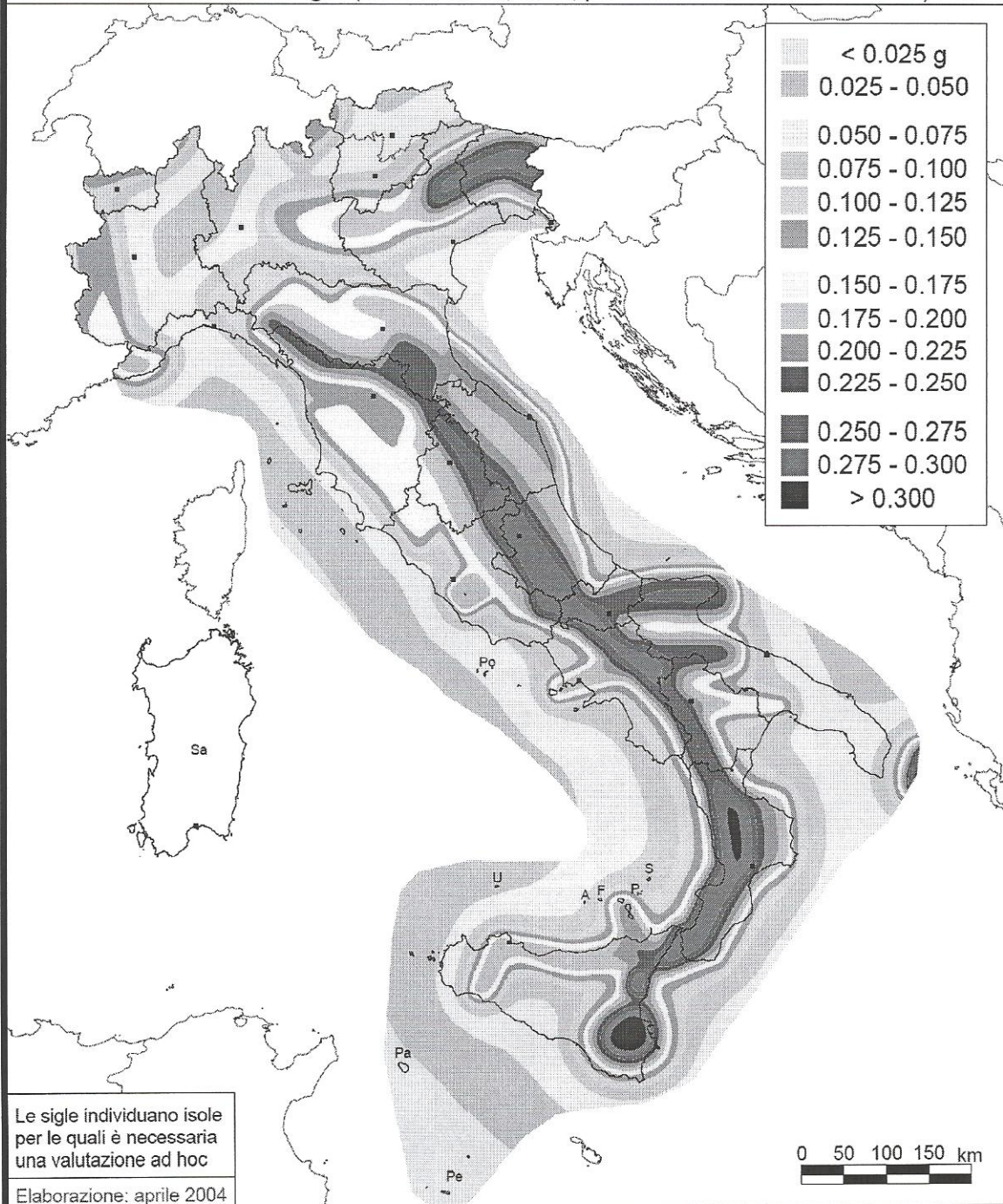
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - 84^{mo} percentile

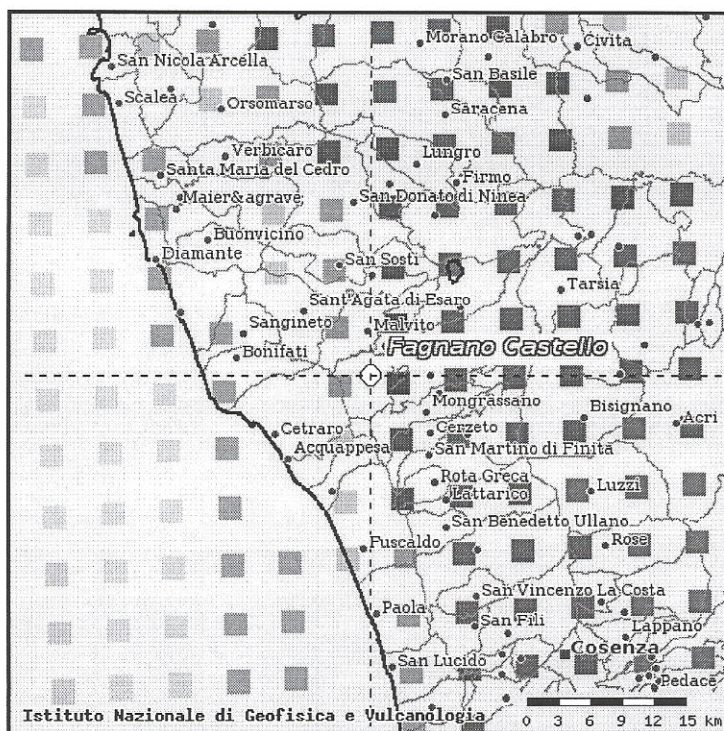
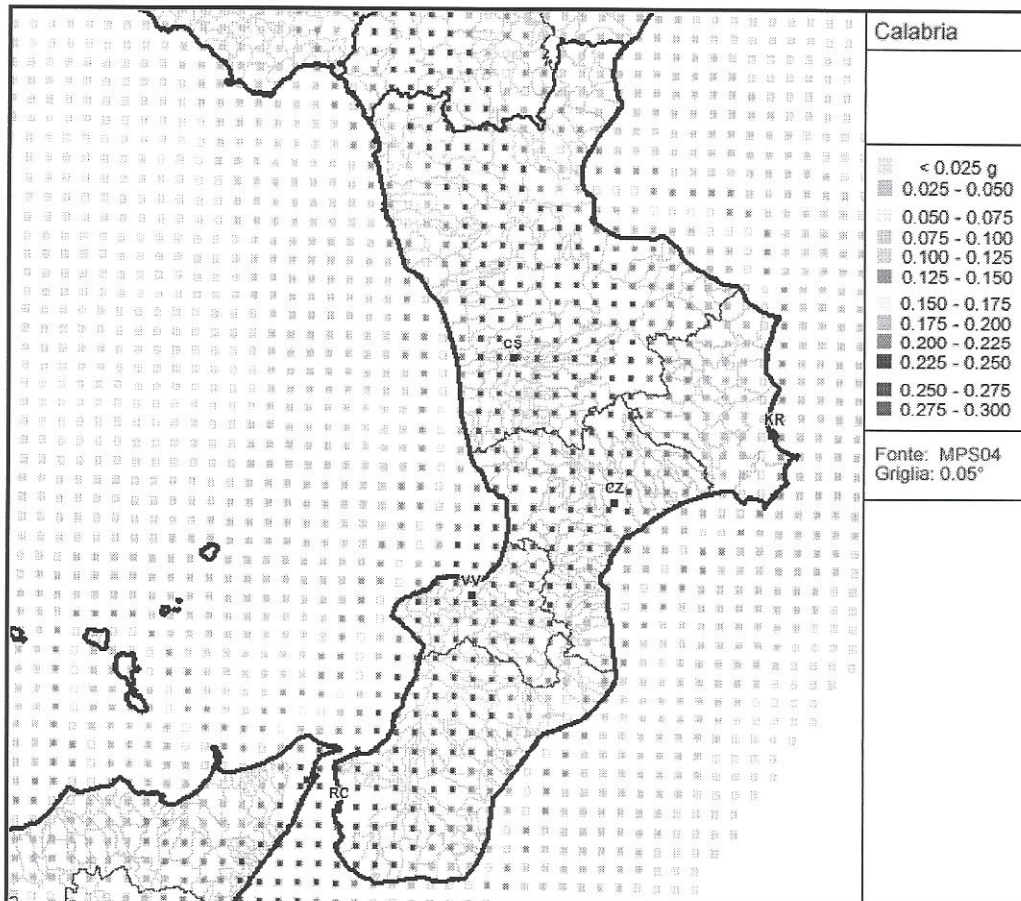
(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)





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 assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare

riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<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	<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).
C	<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).
D	<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).
E	<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).

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$$

Dove:

h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

Ai sensi del D.M. 14.01.2008 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Attraverso una prova con tromografo digitale si è ricavato un valore di $V_s(30.0) > 360$.

Facendo riferimento alle categorie di sottosuolo, i terreni in sito risultano classificabili dai valori delle Vs ottenute dalle prove con tomografo digitale. La litologia presente è classificata come **suolo di tipo "B"**, ovvero *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Per la determinazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica, per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di FO e T_C* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Pertanto il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s) avrà un valore che per la categoria B sarà così determinato:

$$S_s = 1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$$

$$\text{Mentre } C_c \text{ sarà pari a } 1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$$

Per la valutazione della risposta sismica locale occorre tenere conto delle condizioni topografiche dell'area in cui si colloca l'opera in progetto. In particolare la tabella 3.2.IV, nell'ambito della procedura semplificata, prevede le seguenti categorie topografiche:

Tabella 3.2.IV – 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 $i > 30^\circ$

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica l'area in oggetto può essere classificata di **categoria T2** "Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ", e quindi con un valore del Coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.2 come riportato nella tabella 3.2.VI seguente.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

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

Parametri sismici:

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,058	2,345	0,282

Danno (SLD)	63	50	0,077	2,307	0,312
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,227	2,436	0,378
Prevenzione e dal collasso (SLC)	5	975	0,305	2,468	0,403

L'accelerazione sismica orizzontale attesa al sito è data dalla seguente formula :

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

a_{\max} = accelerazione sismica orizzontale attesa

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = coefficiente di amplificazione topografica

a_g = accelerazione sismica di base

Le azioni sismiche massime che caratterizzano il sito in esame risultano le seguenti:

Coefficienti Sismici

	S_S [-]	C_c [-]	S_T [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{\max} [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,420	1,200	0,015	0,008	0,818	0,180
SLD	1,200	1,390	1,200	0,020	0,010	1,091	0,180
SLV	1,180	1,340	1,200	0,100	0,050	3,149	0,310
SLC	1,100	1,320	1,200	0,125	0,062	3,945	0,310

Paola, lì Gennaio 2014

Il Geologo
Dott. Gianfranco Bartolo

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

Sito in esame.

latitudine: 39,559528 [°]

longitudine: 16,061116 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	38778	39,556240	16,017220	3780,9
Sito 2	38779	39,554730	16,081970	1865,7
Sito 3	38557	39,604710	16,083920	5390,8
Sito 4	38556	39,606210	16,019140	6315,5

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,058	2,345	0,282

Danno (SLD)	63	50	0,077	2,307	0,312
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,227	2,436	0,378
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,305	2,468	0,403

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,420	1,200	0,015	0,008	0,818	0,180
SLD	1,200	1,390	1,200	0,020	0,010	1,091	0,180
SLV	1,180	1,340	1,200	0,100	0,050	3,149	0,310
SLC	1,100	1,320	1,200	0,125	0,062	3,945	0,310