

**COMUNE DI NAPOLI**  
**MUNICIPALITA' 6 (PONTICELLI - BARRA - S. GIOVANNI A TEDUCCIO)**



**Proponente:**



**ABBATE COSTRUZIONI e AMBIENTE Spa**  
 Via Porzio Centro Direzionale Is E3 snc  
 Palazzo Avalon  
 80143 Napoli  
 e-mail: abbatecostruzioni@pec.it

**ABBATE COSTRUZIONI e AMBIENTE s.r.l.**  
 Via G. Porzio, Is. E/3 - 80143 NAPOLI  
 Cod. Fis. - P. IVA 07799404216  
 N. REA: 910768

**Progetto:**



**COPEC Srl**

Via Tino di Camaino, 6 - 80129 Napoli  
 Via Grotta dell'Olmo, 69 - 80014 Giugliano (Na)  
 e-mail: studio@copecsrl.com  
 tel: +39 0818049234  
 Direttore Tecnico: Arch. Michela GENOVESE

Collaboratori:  
 arch. Marta Monti

Consulente Legale:  
 avv. Maria Laura D'Angelo

**COPEC S.r.l.**  
 Il Direttore Tecnico



**PIANO PARTICOLAREGGIATO  
 DI INIZIATIVA PRIVATA**  
 ai sensi dell'art. 26, comma 2, lettera a)  
 della Legge regionale Campania n° 16/2004  
**LOTTO IN VIA MADONNELLE - PONTICELLI**

**PROPOSTA DEFINITIVA DI PIANO**

**GENERALI**

**Relazione geotecnica: modellazione sismica**

NOME FILE		AMB. SOFT.	SCALA		
			-		
REV	DATA	REVISIONE - DESCRIZIONE	Redatto	Verificato	Approvato
5	06-2018				

		<b>04</b>	<b>G</b>	<b>03</b>	<b>bis</b>
--	--	-----------	----------	-----------	------------

## **RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO**

(cfr. par.C10.1 Circolare Ministero Infrastrutture 617/09)

### **INDICE**

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	2
3. INDIVIDUAZIONE DEL SITO DI COSTRUZIONE.....	2
4. PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.....	3
5. PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA.....	6
6. RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	8
7. VALUTAZIONE DELL' AZIONE SISMICA.....	15
8. CONCLUSIONI.....	17

## **1. PREMESSA.**

Il presente documento è dedicato alla modellazione sismica del sito relativa ad un'area interessata ad un piano urbanistico attuativo per la realizzazione di un lotto in Via Madonnelle, Ponticelli, Napoli. Il sito di lottizzazione presenta i seguenti dati catastali: foglio 88 NCT particelle 735, 736, 782, 783, 784, 787, 788, 1026, 1027, 1028, 1029, 1050, 1319, 1337.

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Legge 05/11/1971 n°1086 Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. 14/01/2008: Norme tecniche per le Costruzioni;
- Circolare M. 02/02/2009 “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008”.

## **3. INDIVIDUAZIONE DEL SITO DI COSTRUZIONE**

Il sito di lottizzazione presenta i seguenti dati catastali: foglio 88 NCT particelle 735, 736, 782, 783, 784, 787, 788, 1026, 1027, 1028, 1029, 1050, 1319, 1337 (zona cerchiata in rosso nel grafico di seguito riportato).



#### **4. PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.**

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC approvate con D.M. 14/01/2008) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. 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" devono derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate. I dati utilizzati per le valutazioni devono essere resi pubblici, in modo che sia possibile la riproduzione dell'intero processo.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche; le sue attuali fonti di riferimento sono indicate nel seguito del presente paragrafo.

La pericolosità sismica 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; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento e diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate, in particolare il riferimento a più probabilità di superamento, consente di:

a) adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo così significative economie e soluzioni più agevoli del problema progettuale, specie nel caso delle costruzioni esistenti;

b) trattare le problematiche di carattere tecnico-amministrativo connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni.

In particolare è possibile separare le questioni di cui al punto a) dalle questioni di cui al punto b): nel seguito del presente paragrafo si esamineranno le questioni relative al punto a) mentre le questioni relative al punto b) saranno oggetto di specifico provvedimento.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito "<http://esse1.mi.ingv.it/>". Eventuali differenti pericolosità sismiche sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;

-  $F_0$  e  $T_C^*$  valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC: a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Qualora la attuale pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[ \log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right) \right]^{-1}$$

nella quale:

-  $p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato;

-  $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'allegato B al D.M. 14/01/2008.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale:

-  $p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

-  $p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

-  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

## **5. PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA.**

I parametri che definiscono l'azione sismica sono indicati nell'allegato B al D.M. 14/01/2008, in cui vengono forniti, per 10751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno  $T_R$  (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC. I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine.

L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in g/10,  $F_0$  è adimensionale mentre  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Il sito in cui sorge la struttura in esame presenta i seguenti valori di latitudine e longitudine rispettivamente: 40,87°; 14,33° (WGS 84)

La “pericolosità sismica di base” costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. 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 quale definita al punto 3.2.2 del D.M. 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 eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definiti dalla normativa. Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei parametri sopra indicati e relativi a sito di riferimento rigido orizzontale.

Le strutture risultano opere di tipo 2 (ritenendo che siano ordinarie) per cui la vita nominale  $V_N$  risulta  $\geq 50$ anni; in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso invece esse sono considerate di classe d'uso II, per cui il periodo di riferimento rispetto al quale valutare le azioni sismiche è pari a  $V_R = V_N \times C_U = 50$  anni, con  $C_U$  coefficiente d'uso pari a 1 per strutture appartenenti alla classe d'uso II.

Per le strutture in oggetto le azioni sismiche si determinano in corrispondenza dello stato limite di danno SLD e dello stato limite di salvaguardia della vita SLV, per i quali i valori di probabilità  $P_{VR}$  sono pari rispettivamente a 63% ed a 10%. Nella seguente tabella (Tabella1) sono riportati i valori dei parametri fondamentali degli spettri in accelerazione orizzontale:

Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	Ag/g	Fo	Tc*(sec)
SLO	Default (81)	30	0.046	2.336	0.284
SLD	Default (63)	50	0.0606	2.334	0.31
SLV	Default (10)	475	0.1694	2.378	0.34
SLC	Default (5)	975	0.2147	2.453	0.344

Tabella 1 – Parametri caratteristici delle forme spettrali.

## 6. RISPOSTA SISMICA LOCALE.

Si denomina “risposta sismica locale” l’azione sismica quale emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come “superficie” il “piano di riferimento” quale definito, per le diverse tipologie strutturali, al punto 3.2.2 delle NTC.

Per quanto riguarda tale risposta sismica locale, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono (effetti stratigrafici ed effetti topografici). Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al punto 3.2.2 del D.M. 14/01/2008).

L’influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo di cui al punto 3.2.2. del D.M. di cui sopra. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l’accelerazione massima ( $a_{max}$ ) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di  $a_{max}$  può essere ricavato dalla relazione  $a_{max} = S_s \cdot a_g$  dove  $a_g$  è l’accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Per categorie speciali di sottosuolo (Tab. 3.2.III del D.M. 14/01/2008), per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un’adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Nelle analisi di risposta sismica locale, l’azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell’accelerazione su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo A). Per quanto riguarda la scelta degli accelerogrammi di ingresso, si rimanda al punto 3.2.3.6. del D.M. 14/01/2008.

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 punto 3.2.2. del D.M. 14/01/2008.

Come riportato al punto 3.2.2. 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, come indicato nel punto 7.11.3. del D.M. stesso. 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. I metodi semplificati possono essere adoperati solo se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima o dallo spettro elastico di risposta: non possono cioè essere adoperati se l'azione sismica in superficie è descritta mediante accelerogrammi.

Nei metodi semplificati è possibile valutare gli effetti stratigrafici e topografici. In tali metodi si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC (A, B, C, D, E) e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC (T1, T2, T3, T4). In questo caso, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1). Per l'identificazione della categoria di sottosuolo è fortemente raccomandata la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ . In particolare, fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo di terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s30}$ , definita mediante l'equazione 3.2.1 riportata dalle NTC. La velocità equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente, di spessore pari a 30 m, e nel terreno stratificato in esame, di spessore complessivo ancora pari a 30 m. Essa assume quindi valori differenti da quelli ottenuti dalla media delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori,

soprattutto in presenza di strati molto deformabili di limitato spessore. Lo scopo della definizione adottata è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili.

In mancanza di misure di  $V_s$ , l'identificazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata sulla base dei valori di altre grandezze geotecniche, quali il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{SPT}$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa e la resistenza non drenata ( $c_u$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana fine.

Il sottosuolo interessato dall'opera in esame rientra nella categoria C (c.f.r. relazione geologico-tecnica), mentre per le condizioni topografiche la configurazione può essere considerata rientrante nella categoria topografica  $T_1$ .

Di seguito si riporta nel dettaglio il procedimento di calcolo che porta alla valutazione della categoria di sottosuolo del sito.

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. della NTC08. 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 secondo la seguente tabella:

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

Si sottolinea che la categoria di sottosuolo del nostro sito è stata definita attraverso le prove SPT e la successiva correlazione con la velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ).

La prova SPT o prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni

standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Durante la prova si misura:

- N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

- Aste d'infissione del diametro esterno 50,46 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63.5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;
- centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna.
- campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm.
- nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm, angolo 60°

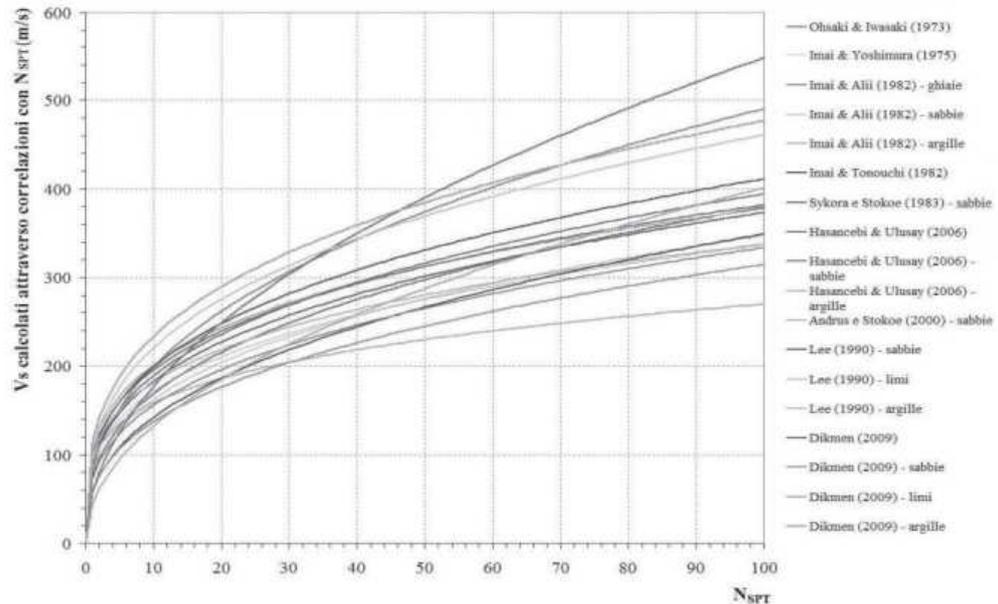
Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà; i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione di terreno. La sua vasta diffusione è dovuta principalmente alla facilità di realizzazione, potendo essere eseguita in qualunque tipo di terreno direttamente durante il sondaggio, senza l'adozione di attrezzature supplementari; il suo uso in tutto il mondo ha portato alla produzione di una abbondante

bibliografia che rende agevole l'interpretazione dei risultati ottenuti. Per questo i risultati della prova SPT sono utilizzati soprattutto per la stima indiretta, esistono infatti numerose correlazioni ritenute molto attendibili tra il numero di colpi della prova SPT e parametri caratteristici come densità relativa, angolo d'attrito, compressibilità e come nel caso in oggetto, la velocità delle onde sismiche.

Prima di procedere con la correlazione dei risultati della prova SPT con la velocità delle onde di taglio  $V_s$  il numero dei colpi viene corretto nel caso ci sia la presenza di falda e se il numero dei colpi è maggiore di 15. In questo caso la falda è stata rinvenuta alla profondità di 3,60 - 4,30 m dal p.c. Di seguito si riporta la tabella con i numeri di colpi della prova corretti.

STRATO	$N_{spt}$	$h_i$ [m]	$N_{spt}^{corr.}$ (falda) [15+0,5( $N_{spt}$ -15)]
1	11	1,95	11
2	14	0,50	14
3	19	0,50	19
4	22	0,50	22
5	11	1,00	11
6	59	1,00	37
7	39	1,00	27
8	41	1,00	28
9	170	1,00	170
10	108	1,00	108
11	42	1,00	42
12	51	1,00	51
13	52	1,00	52
14	49	1,00	49
15	36	1,00	36
16	43	1,00	43
17	48	1,00	48
18	44	2,00	44
19	45	1,00	45
20	43	1,00	43
21	45	3,00	45
22	47	2,00	47
23	48	4,50	48

A questo punto si può procedere con la determinazione indiretta della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) facendo riferimento agli studi effettuati e che hanno portato alla definizione di diagrammi come i seguenti:



Author(s)	I.D.	All soils	Sand	Silt	Clay
Shibata (1970)	A	-	$V_s = 31.7 N^{0.54}$	-	-
Ohba and Toriuma (1970)	B	$V_s = 84 N^{0.31}$	-	-	-
Imai and Yoshimura (1975)	C	$V_s = 76 N^{0.33}$	-	-	-
Ohta et al (1972)	D	-	$V_s = 87.2 N^{0.36}$	-	-
Fujiwara (1972)	E	$V_s = 92.1 N^{0.337}$	-	-	-
Ohsaki and Iwasaki (1973)	F	$V_s = 81.4 N^{0.39}$	-	-	-
Imai et al (1975)	G	$V_s = 89.9 N^{0.341}$	-	-	-
Imai (1977)	H	$V_s = 91 N^{0.337}$	$V_s = 80.6 N^{0.331}$	-	$V_s = 80.2 N^{0.292}$
Ohta and Goto (1978)	I	$V_s = 85.35 N^{0.348}$	-	-	-
Seed and Idriss (1981)	J	$V_s = 61.4 N^{0.5}$	-	-	-
Imai and Tonouchi (1982)	K	$V_s = 96.9 N^{0.314}$	-	-	-
Sykora and Stokoe (1983)	L	-	$V_s = 100.5 N^{0.29}$	-	-
Jinan (1987)	M	$V_s = 116.1 (N+0.3185)^{0.202}$	-	-	-
Okamoto et al (1989)	N	-	$V_s = 125 N^{0.3}$	-	-
Lee (1990)	O	-	$V_s = 57.4 N^{0.49}$	$V_s = 105.64 N^{0.32}$	$V_s = 114.43 N^{0.31}$
Athanasopoulos (1995)	P	$V_s = 107.6 N^{0.36}$	-	-	$V_s = 76.55 N^{0.445}$
Sisman (1995)	Q	$V_s = 32.8 N^{0.31}$	-	-	-
Iyisan (1996)	R	$V_s = 51.5 N^{0.516}$	-	-	-
Kanai (1966)	S	$V_s = 19 N^{0.6}$	-	-	-
Jafari et al (1997)	T	$V_s = 22 N^{0.85}$	-	-	-
Kiku et al (2001)	U	$V_s = 68.3 N^{0.292}$	-	-	-
Jafari et al (2002)	V	-	-	$V_s = 22 N^{0.77}$	$V_s = 27 N^{0.73}$
Hasancebi and Ulusay (2006)	W	$V_s = 90 N^{0.309}$	$V_s = 90.82 N^{0.319}$	-	$V_s = 97.89 N^{0.269}$
Ulugergerli and Uyanik (2007)	X	${}^a V_{sL} = 23.291 \ln(N) + 405.61$	-	-	-
Ulugergerli and Uyanik (2007)	Y	${}^b V_{sL} = 52.9 e^{-0.011N}$	-	-	-
Dikmen (2009)	Z	$V_s = 58 N^{0.39}$	$V_s = 73 N^{0.33}$	$V_s = 60 N^{0.36}$	$V_s = 44 N^{0.48}$
Pitlakis et al. (1999)	AA	-	$V_s = 145(N_{60})^{0.178}$	-	$V_s = 132(N_{60})^{0.271}$
Hasancebi and Ulusay (2006)	AB	$V_s = 104.79(N_{60})^{0.26}$	$V_s = 131(N_{60})^{0.205}$	-	$V_s = 107.63(N_{60})^{0.237}$

La formula empirica utilizzata è quella proposta da Ohta and Goto nel 1978, la quale viene utilizzata per limi e sabbie ed è così espressa:

$$V_s = 85,35 N^{0,348}$$

In seguito viene riportata la tabella con il calcolo della velocità delle onde sismiche per ogni strato:

STRATO	$N_{spt}$	$h_i$ [m]	$N_{spt}^{corr.}$ (falda) [15+0,5( $N_{spt}$ -15)]		$V_s$ [m/s]
1	11	1,95	11		196,61
2	14	0,50	14		213,82
3	19	0,50	19		237,80
4	22	0,50	22		250,25
5	11	1,00	11		196,61
6	59	1,00	37		299,87
7	39	1,00	27		268,73
8	41	1,00	28		272,15
9	170	1,00	170		509,80
10	108	1,00	108		435,35
11	42	1,00	42	CORRELAZIONE Ohta and Goto (1978) $V_s = 85,35 N^{0,348}$	313,40
12	51	1,00	51		335,30
13	52	1,00	52		337,58
14	49	1,00	49		330,67
15	36	1,00	36		297,03
16	43	1,00	43		315,97
17	48	1,00	48		328,30
18	44	2,00	44		318,51
19	45	1,00	45		321,01
20	43	1,00	43		315,97
21	45	3,00	45		321,01
22	47	2,00	47		325,91
23	48	4,50	48		328,30

Fatto ciò la resistenza penetrometrica dinamica equivalente  $N_{spt,30}$  e la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  sono calcolate secondo quanto espresso dalla normativa vigente:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

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

Per cui si ha che:

$$15 < N_{SPT,30} = \mathbf{32,67} < 50 \quad ; \quad 180 \text{ m/s} < V_{s,30} = \mathbf{300,25} \text{ m/s} < 360 \text{ m/s}$$

In definitiva e secondo quanto prescritto dalle NTC08 si conviene che per il sottosuolo in oggetto può essere assunta una categoria di sottosuolo di **Tipo C**.

Ricapitolando, con la nuova normativa, l'azione sismica è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito e costruzione per costruzione. Tale approccio dovrebbe condurre in media, sull'intero territorio nazionale, ad una significativa ottimizzazione dei costi delle costruzioni antisismiche, a parità di sicurezza.

## **7. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.**

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali: per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante la sola accelerazione massima attesa, mediante l'intero spettro di risposta o mediante storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi). Qualora la costruzione sia di dimensioni limitate (come per l'opera in oggetto) o le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti, si può assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione. Altrimenti si deve tener conto della variabilità spaziale del moto, nei modi definiti nel punto 7.3.2.5. del D.M. 14/01/2008.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione  $T \leq 4$  s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno. La forma spettrale per le componenti orizzontali è definita mediante le stesse espressioni fornite dall'EN 1998 nelle quali, tuttavia, non si è assunto un singolo valore per l'amplificazione massima ma si è fornita tale grandezza,  $F_o$ , in funzione della pericolosità del sito insieme alle grandezze  $a_g$ ,  $T_C$  e, conseguentemente,  $T_B$ ,  $T_D$ . Per la componente verticale, invece, le uniche grandezze fornite in funzione della pericolosità del sito sono l'accelerazione massima, posta pari alla massima accelerazione orizzontale del suolo  $a_g$ , e l'amplificazione massima  $F_v$ , espressa come funzione di  $a_g$ . La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche

incidono sullo spettro elastico di risposta. Specificamente, l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente  $S=S_S S_T$  che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica ( $S_S$ ) e topografica ( $S_T$ ). Per le componenti orizzontali dell'azione sismica, il periodo  $T_C$  di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, è funzione invece del coefficiente  $C_C$ , dipendente anch'esso dalla categoria di sottosuolo.

Il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  è definito in funzione delle condizioni topografiche come indicato nelle NTC. Per le componenti orizzontali dell'azione sismica il coefficiente  $S_S$  è definito dalle NTC. Esso è il rapporto tra il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie e quello su sottosuolo di categoria A ed è definito in funzione della categoria di sottosuolo e del livello di pericolosità sismica del sito (descritto dal prodotto  $F_0 a_g$ ).

In genere, a parità di pericolosità del sito ( $F_0 a_g$ ), i valori di  $S_S$  si incrementano al decrescere della rigidezza del sottosuolo, passando dal sottosuolo di categoria A al sottosuolo di categoria E. In particolare, per  $F_0 a_g < 0.78g$ , il sottosuolo di categoria D mostra amplificazioni maggiori delle altre categorie di sottosuolo, mentre per  $0,78g \leq F_0 a_g < 1,17g$  i fenomeni di amplificazione sono più marcati per il sottosuolo di categoria C.

Per la componente verticale dell'azione sismica, in assenza di studi specifici, si assume  $S_S=1$ .

Il coefficiente  $C_C$  è tabellato nelle NTC in funzione della categoria di sottosuolo e del valore di  $T_C$  riferito a sottosuolo di categoria A,  $T_C^*$ .

Per il sito di costruzione delle strutture in oggetto vale quanto segue:

- categoria di suolo: C;
- categoria topografica: T1  $\rightarrow$   $S_T = 1,00$ ;
  
- $S_S$  spettro orizzontale SLD: 1,50;
- $T_b$  spettro orizzontale SLD: 0,160;
- $T_c$  spettro orizzontale SLD: 0,479;
- $T_d$  spettro orizzontale SLD: 1,843;

- $S_S$  spettro orizzontale SLV: 1,46;
- $T_b$  spettro orizzontale SLV: 0,170;
- $T_c$  spettro orizzontale SLV: 0,510;
- $T_d$  spettro orizzontale SLV: 2,278.

## **8. CONCLUSIONI.**

Come si evince dalla presente relazione, l'analisi sismica e la modellazione del sito di costruzione in prospettiva sismica per il calcolo delle strutture sono state eseguite nel rispetto della nuova Normativa sismica i cui estremi sono riportati al paragrafo 2.