

SS.4 - Variante dell'abitato di Monterotondo Scalo - 2° Stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. RM190

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:
MANDATARIA: MANDANTI:

Sintagma  GEOTECHNICAL DESIGN GROUP  ICARIA società di ingegneria

Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carliaccini	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. F. Aloe	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piuanno
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Geom. M. Manzo	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglioni		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. M. Briganti Botta		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		

IL PROGETTISTA:
Elena Bartolucci
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A3217

IL GEOLOGO:
Dott. Geol. Giorgio Cerquiglioni
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL R.U.P.
Dott. Ing. Achille Devitofranceschi

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO DATA

INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA
Sezione A
N° A351
DOTT. INGEGNERE
NANDO GRANIERI
SETTORE CIVILE E AMBIENTALE
SETTORE INDUSTRIALE
SETTORE DELL'INFORMAZIONE

INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA
Sezione A
N° A3217
DOTT. INGEGNERE
ELENA BARTOLUCCI
SETTORE CIVILE E AMBIENTALE

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE UMBRA
DOTT. GEOLOGO
CERQUIGLIONI / GIORGIO
ALBO
108

GEOLOGIA E GESTIONE MATERIE GEOLOGIA Relazione geologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-GE00-GEO-RE01-A		
DPRM0190	D	20	CODICE ELAB. T00GE00GEORE01	A	-
A	Emissione	17/01/2021	A. Lisetti	G. Cerquiglioni	N. Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
3.1 MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	8
3.2 PROFILI GEOLOGICI DEGLI ASSI DI PROGETTO	9
3.2.1 Profilo geologico "ASSE 1"	9
3.2.2 Profilo geologico "ASSE 2"	10
3.2.3 Profilo geologico "ASSE 3"	11
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	13
4.1 PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDROGEOLOGICO	16
5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	22
5.1 MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO.....	24
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	26
6.1 CAMPAGNA DI INDAGINE PROGETTO DEFINITIVO 2020	26
6.2 INDAGINI GEOFISICHE	33
7. SISMICITA'	35
7.1 STORIA DEL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA ANTISISMICA	35
7.2 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO	36
7.3 SISMICITÀ STORICA	40
7.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	45
7.5 VELOCITÀ SISMICA EQUIVALENTE $V_{s,EQ}$ E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018	52
7.6 MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO.....	56
7.7 DEFINIZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	57
7.8 RIEPILOGO CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO E DEI SUOLI	58
8. VALUTAZIONI SUL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	59
8.1 VERIFICA CRITERI DI ESCLUSIONE.....	59
8.2 METODI DI VERIFICA E RISULTATI	60
8.2.1 Verifica del tracciato	62
9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	67
ALLEGATO A- "PIANO DELLE INDAGINI INTEGRATIVE PER IL PROGETTO ESECUTIVO"	70

1. INTRODUZIONE

La presente Relazione Geologica descrive dal punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico il territorio interessato dalla progettazione definitiva per la realizzazione della variante all'abitato di Monterotondo Scalo (2° stralcio).

Nell'ambito dello studio geologico sono state appositamente realizzate le seguenti cartografie:

- Carta geologica in scala 1:5000
- Carta geomorfologica in scala 1:5000
- Carta idrogeologica in scala 1:5000
- Planimetria ubicazione delle indagini in scala 1:5000
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche integrative in scala 1:5000
- Profilo geologico "Asse 1" in scala H/V 1:2000/1:200
- Profilo geologico "Asse 2" in scala H/V 1:2000/1:200
- Profilo geologico "Asse 3" in scala H/V 1:2000/1:200

In allegato alla presente relazione (Allegato A- "Piano delle indagini integrative per il Progetto Esecutivo") si riportano le modalità di esecuzione e i criteri generali per la realizzazione delle indagini geognostiche integrative per la successiva fase di progettazione esecutiva delle opere.

L'esecuzione delle indagini e la stesura della relazione sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme in vigore e dagli standard di lavoro pubblicati. In particolare è stato fatto riferimento ai seguenti documenti normativi e legislativi:

- D.M. 17/01/2018 - "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»".
- D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D. Lgs. n.163 del 12 aprile 2006: "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE".
- D.P.R. 21 dicembre 1999 n. 554 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n.109 e successive modificazioni".
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni. Variante adottata con deliberazione del Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 2 del 25.02.2010;
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI;

- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI;
- Eurocodice 8 (1998).

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio ricade nel territorio del Comune di Monterotondo (RM) ed è rappresentata nella carta geologica d'Italia "Foglio 144 Monterotondo III SE Palombara Sabina" a scala 1:100.000, nel foglio 144, III quadrante tavoletta SW della cartografia d'Italia IGM in scala 1:25.000 e nei Fogli 365110-365120 della Carta Tecnica Regionale del Lazio alla scala 1:10.000.

Il progetto per la realizzazione della variante all'abitato di Monterotondo Scalo dal punto di vista morfologico è ubicato all'interno della pianura alluvionale del fiume Tevere, un'area pianeggiante che si estende da NE verso SW, confinata lateralmente da rilievi collinari a morfologia arrotondata e quote piuttosto modeste.

La valle è caratterizzata da un'estensione in larghezza variabile da 600 a 1.800 metri e quota topografica assoluta compresa tra 20 e 24 m s.l.m.

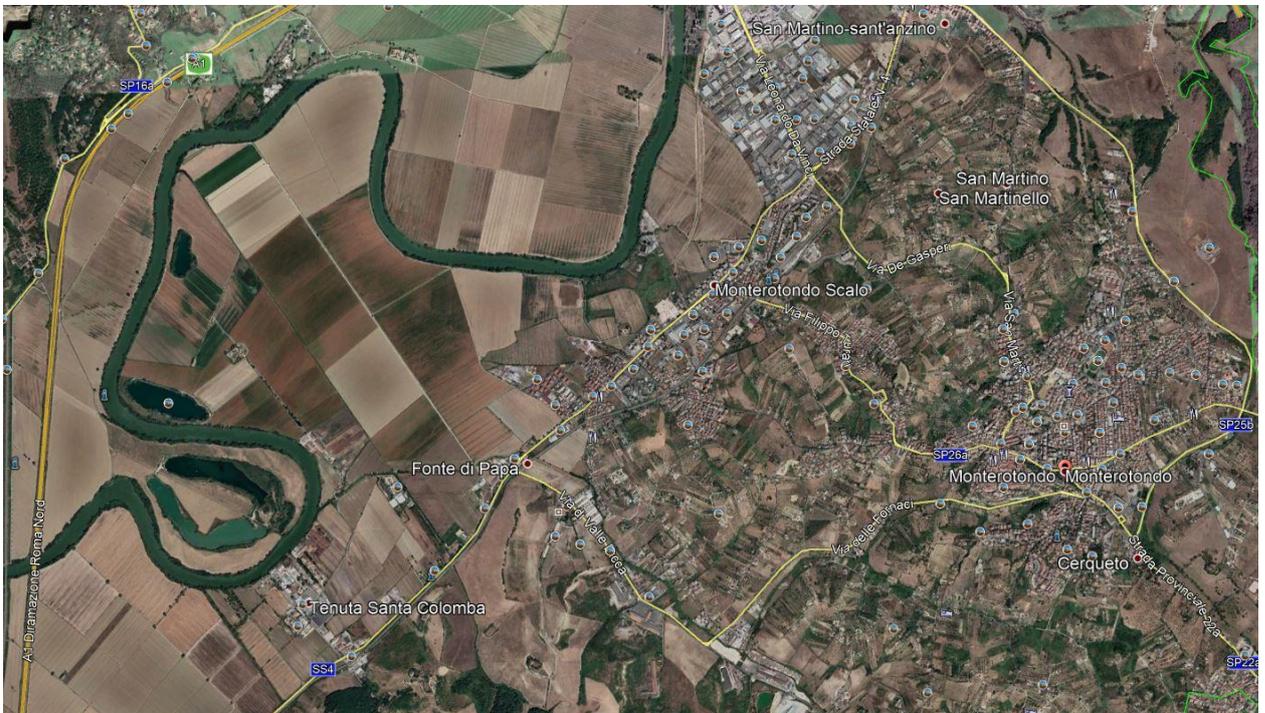


Figura 1-Ubicazione area dell'intervento da ripresa satellitare

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.

Il comune di Monterotondo, dal punto di vista geologico appartiene al Bacino del fiume Tevere, che riflette le caratteristiche tipiche proprie dell'appennino centrale, costituito da una serie di falde sovrapposte e sovrascorse in direzione Est e Nord-Est che creano aree strutturalmente e geologicamente differenziate. Il fiume Tevere si sviluppa in corrispondenza delle aree di depressione tettonica originando una vasta pianura alluvionale che nel territorio di Monterotondo occupa una fascia molto estesa che si estende da Nord-Est verso Sud-Ovest.

L'attuale assetto geologico del territorio è il risultato dell'attività geodinamica iniziata a partire dall'orogenesi appenninica e tuttora in corso. Circa tre milioni e mezzo di anni fa la fascia tirrenica fino a nord di Roma era sommersa dal mare pliocenico dal quale emergevano le isole del Monte Soratte e dei Monti Cornicolani, alti strutturali che la tettonica post-orogena aveva determinato dopo aver disarticolato le successioni carbonatiche di bacino umbro-marchigiano meso-cenozoico. Successivamente si ebbe un'intensa deposizione di sedimenti marini prevalentemente argillosi confinati, a partire dal Plio-Pleistocene, in una grande depressione nota come Graben del Tevere.

A partire dal Pleistocene inferiore si assiste ad una intensa attività tettonica con movimenti che portarono una progressiva modifica dei lineamenti morfologici dell'area con cambiamenti geografici che sviluppano sempre di più gli elementi di continentalità, condizionati dal ripetersi di periodi glaciali e interglaciali che provocarono oscillazioni del livello marino.

Ai depositi argillosi tipici di ambienti di bassa energia seguirono progressivamente verso l'alto sedimenti limosi e sabbiosi che denunciano un periodo di emersione della serie marina.

A partire dal Pleistocene medio, la tettonica distensiva favorì la risalita magmatica lungo le principali fratture tettoniche e tutta la fascia peritirrenica laziale fu interessata da un'intensa attività vulcanica cosicché anche la zona a nord di Roma è stata interessata da colate piroclastiche e da piroclastiti di ricaduta, provenienti dai centri di emissione Sabatini e dei Colli Albani, che ricoprono le strutture esistenti e i sedimenti terrigeni plio-pleistocenici.

Durante l'attività vulcanica il corso del Tevere subì una deviazione verso est fino ad assumere la posizione attuale.

Successivamente durante l'ultima glaciazione, quando il livello marino scese sino a circa 100 metri sotto il livello attuale, si è verificata per effetto di tale abbassamento del livello del mare, un'intensa fase erosiva e di conseguenza il Tevere, ed i principali corsi d'acqua ad esso collegati incisero profondamente i depositi quaternari e pliocenici arrivando con i fondovalle a quote, rispetto al livello attuale, di oltre -50 metri.

Negli ultimi 15.000 anni, con un progressivo innalzamento del livello marino, si è instaurata una fase deposizionale che ha portato al conseguente ricolmamento delle valli del Fiume Tevere e dei corsi d'acqua affluenti, con materiali alluvionali costituiti da orizzonti ricchi in ghiaia, sabbia e argille con frequenti livelli di torbe.

L'area di progetto è rappresentata nella Carta Geologica d'Italia "Foglio 144 Palombara Sabina" scala 1:100.000 riportata a seguire. Tale settore comprende la valle tiberina in sinistra Tevere e la fascia collinare ad est di questa, fino alle propaggini occidentali dei monti Sabini - Cornicolani.

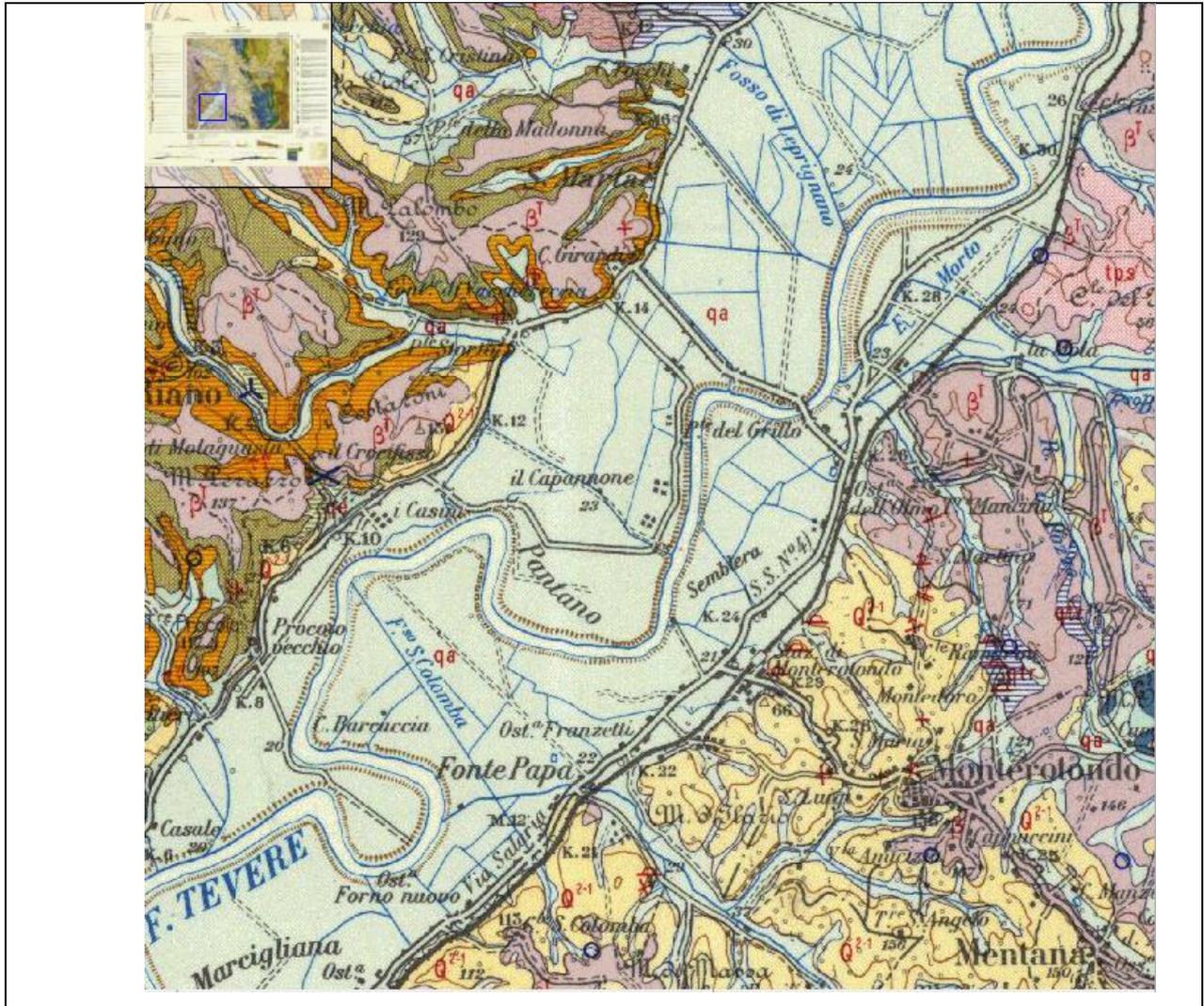
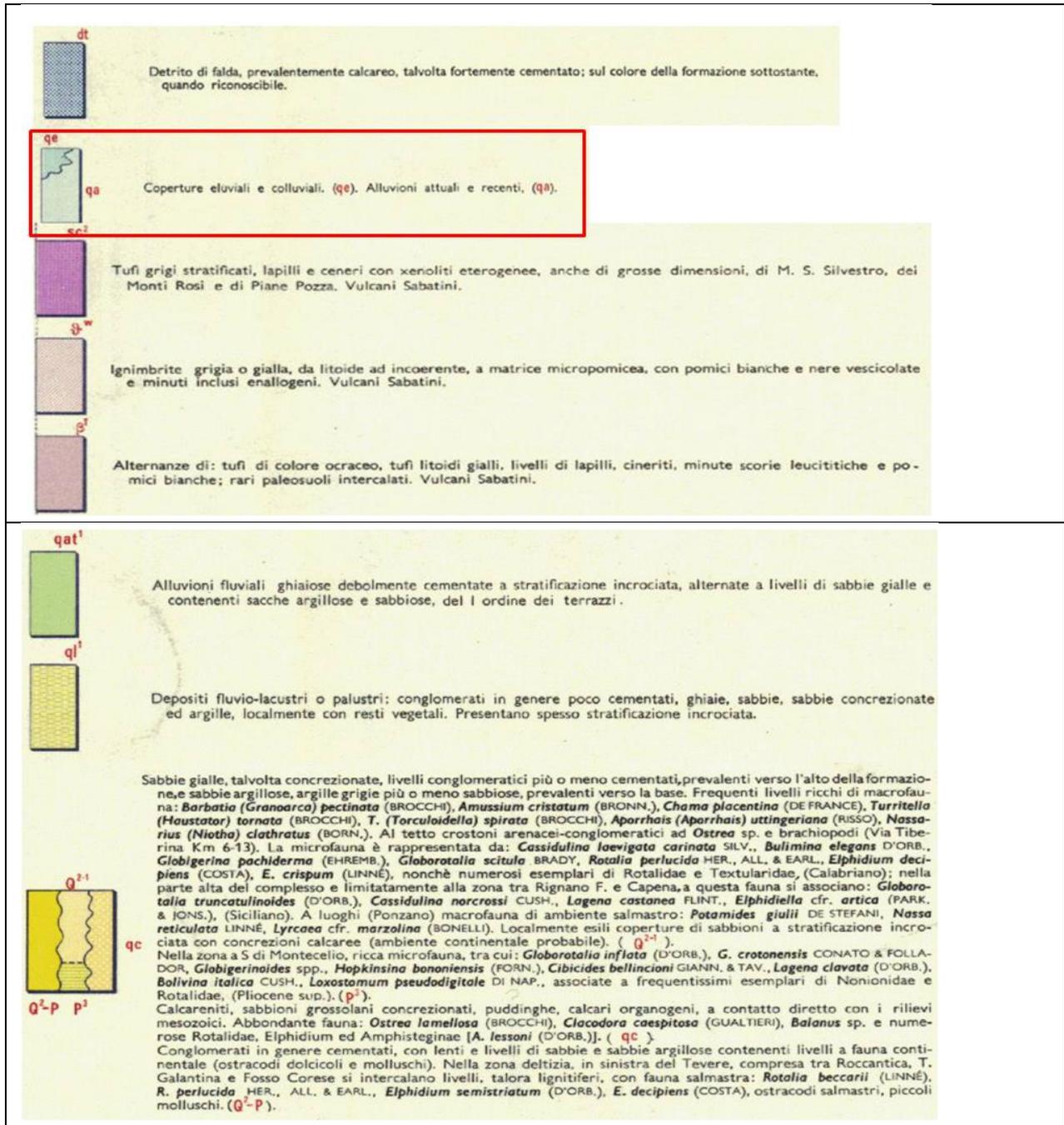


Figura 2- Stralcio foglio n° 144 "Palombara Sabina" 1:100.000,
(<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/sgilink/map100k.page>)

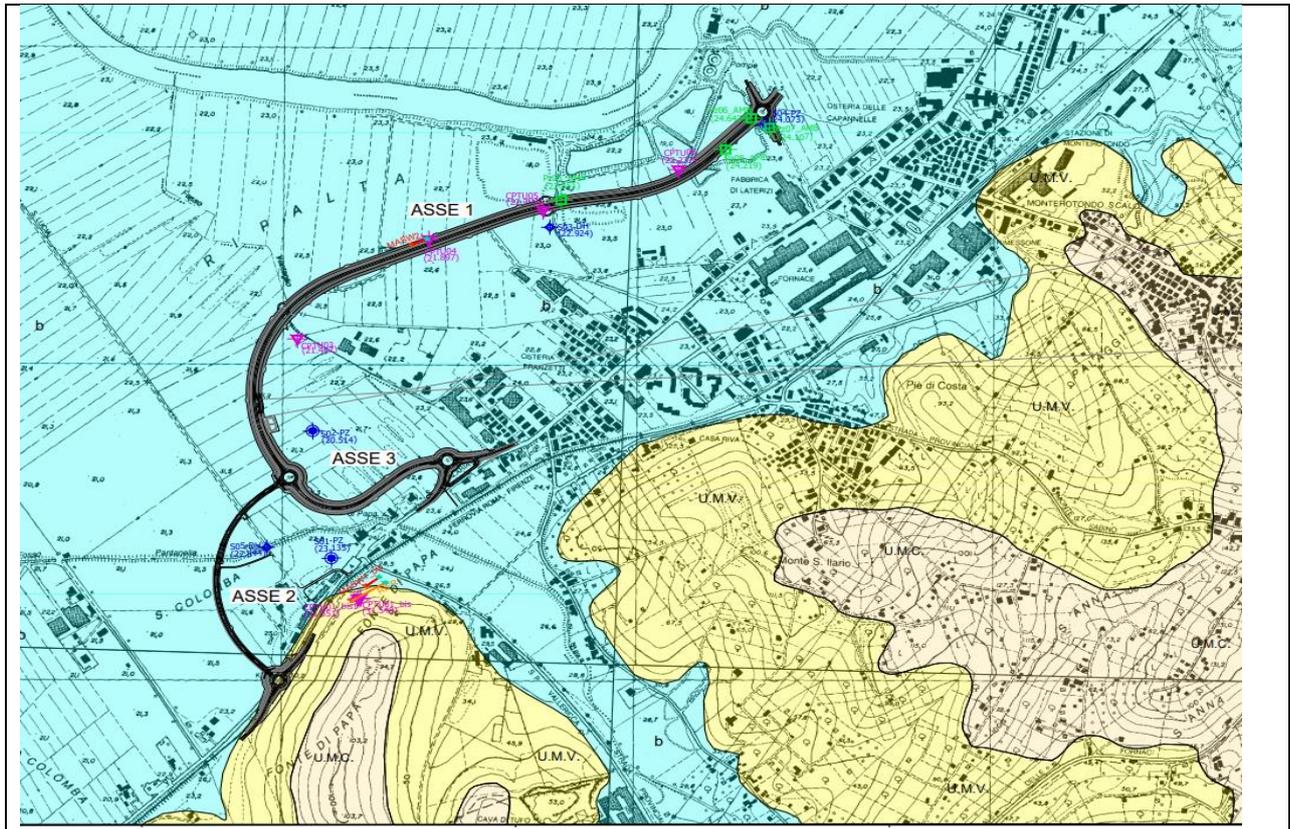
Legenda



Come si evince dalla carta geologica, l'area di progetto è ubicata nella pianura alluvionale del Tevere ed è interessata dalle alluvioni recenti e attuali del fiume stesso ("qa" in carta), essi risultano frequentemente ricoperti da un orizzonte di terreno vegetale e in alcuni tratti da riporti antropici. Le alluvioni recenti poggiano sulle sottostanti argille grigie plioceniche.

3.1 MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Dalla carta geologica di progetto, (di cui si riporta un estratto a seguire) emerge che gli assi in opera sono interessati dai depositi alluvionali recenti ed attuali (indicati con la sigla "b") mentre per la rotatoria di raccordo con la viabilità esistente dell'Asse 2 si rileva la presenza della formazione geologica di Monte Vaticano (indicati con la sigla "U.M.V").



Legenda

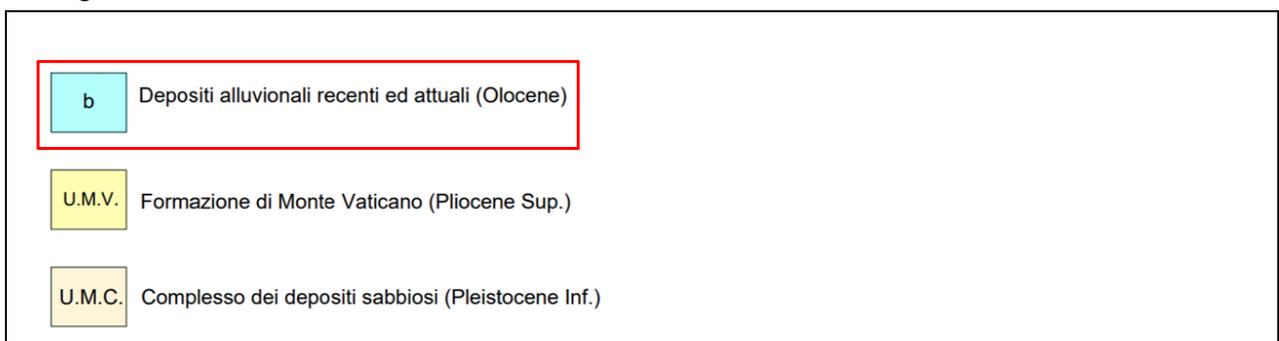


Figura 3- Stralcio della carta geologica di progetto- scala 1:5000

Le **alluvioni recenti ed attuali** sono costituite da alternanze di strati argillosi, limoso sabbiosi, e sabbioso limosi con intercalazioni di lenti di argille torbose. I materiali torbosi sono prevalenti nelle valli in sinistra idrografica del Tevere (un livello di torba è stato rinvenuto nel sondaggio S03-DH dai 28 ai 29.5 m e nel

sondaggio S02-PZ da circa 25.80 m a 27.00 m). Alla base dei terreni alluvionali è presente uno strato di ghiaia eterometrica e poligenica (gli strati ghiaiosi sono stati individuati nel sondaggio S05-DH da 27.70 m a 32 m con torba, nel sondaggio S04-PZ da 26.70 a 30 m in matrice sabbiosa, e nel sondaggio S03-DH a partire da 31.30 m fino a 35 m).

La **formazione di Monte Vaticano - U.M.V.** - (Pliocene sup.) è costituita da argilla e argilla limosa grigio azzurra, da consistente a molto consistente, con intercalazioni di sabbia fine che passa verso l'alto a limo sabbioso.

La **formazione di Monte Ciocci - U.M.C.** - (Pleistocene inf.) è costituita da sabbie quarzose fini a laminazione incrociata con livello basale costituito da ghiaie eterometriche, da consistente a molto consistente.

3.2 PROFILI GEOLOGICI DEGLI ASSI DI PROGETTO

La ricostruzione del modello geologico per gli assi di progetto è stata effettuata sulla base dei sondaggi geognostici disponibili, sulla documentazione fotografica delle cassette litostratigrafiche e sulle relative prove in sito e di laboratorio.

In basi all'analisi dei dati disponibili è stato possibile riconoscere ed individuare all'interno dei depositi alluvionali recenti ed attuali, diverse litologie che caratterizzano la formazione e che presentano caratteristiche granulometriche e di permeabilità diverse tra loro in accordo con il sistema deposizionale del territorio. In particolare sono stati distinti i seguenti livelli:

- Limo sabbioso
- Sabbia limosa
- Limo sabbioso limoso
- Limo argilloso -sabbioso
- Sabbia con ghiaie
- Sabbia limo argillosa
- Ghiaia in matrice limo sabbiosa

3.2.1 Profilo geologico "ASSE 1"

Per la ricostruzione del profilo geologico dell'"Asse 1" sono stati presi in considerazione i sondaggi geognostici S04-PZ, S03-DH e il Sondaggio S02-PZ non è stato eseguito in asse e pertanto è stato proiettato.

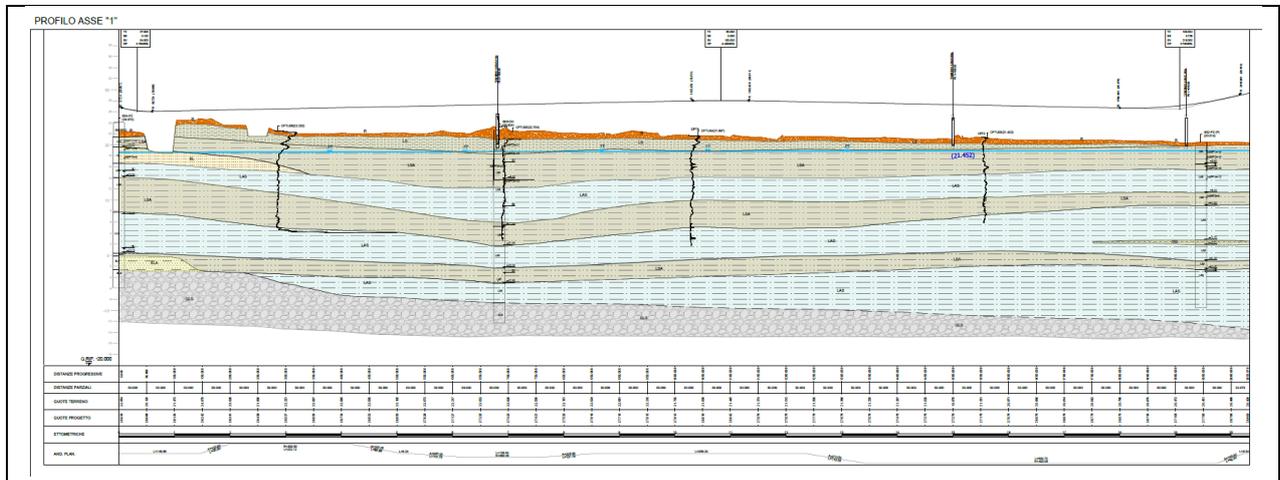
Sotto un primo strato di circa 1.70 m di riporto, si rinviene un'alternanza di livelli limoso sabbiosi e limoso sabbioso-argillosi e limoso-argilloso sabbiosi con spessori variabili da qualche metro fino ad un massimo di 5-6 metri.

All'interno di questi strati a carattere prevalentemente limoso sono presenti lenti costituite da granulometrie più grossolane di sabbia limosa e sabbia ghiaiosa.

Al di sotto dell'ultimo livello di limo argilloso sabbioso, sono presenti ghiaie limoso sabbiose, il cui andamento è stato ricostruito dai dati stratigrafici dei sondaggi S04-PZ e S03-DH che individuano il tetto delle ghiaie rispettivamente a circa 26.70 m da piano campagna e 30 m.

La ricostruzione stratigrafica effettuata è in pieno accordo anche con la caratterizzazione risultante dalle prove penetrometriche statiche CPTU (in particolare per l'asse 1 sono state prese in considerazione la CPTU06, CPTU05, CPTU04, CPTU03).

Il livello della falda è stato ricostruito in base alle letture freatiche eseguite nei sondaggi S04-PZ e S02-PZ e varia da circa -5.50 metri in corrispondenza dell'inizio dell'Asse 1 per risalire fino a -1.50 nella parte terminale.



Legenda

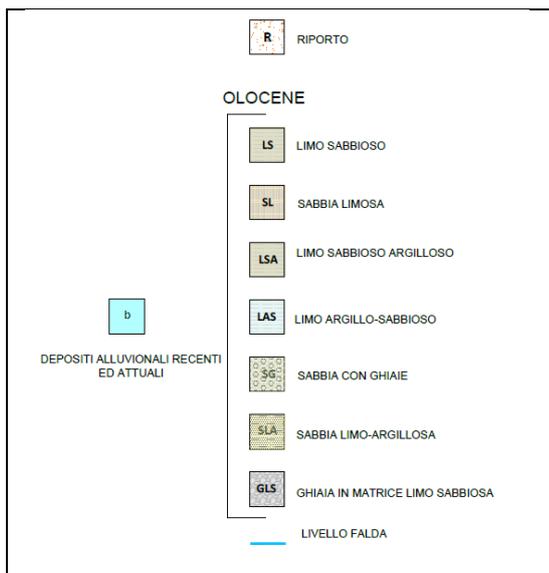


Figura 4-Profilo geologico "Asse 1"

3.2.2 Profilo geologico "ASSE 2"

Per la ricostruzione del profilo geologico dell'"Asse 2" sono stati presi in considerazione i sondaggi geognostici S02-PZ (proiettato) ed il sondaggio S05-DH.

La stratigrafia interessata dal tracciato "Asse 2" è costituita fino all'incirca 28-32 m da p.c. da terreni limoso - argilloso sabbiosi di notevole spessore, al cui interno si rinviene un livello continuo di circa 2 m di spessore di limo sabbioso argilloso (all'incirca posizionato intorno ai 12 ai 14 m di profondità); e lenti dello stesso limo sabbioso argilloso (la prima rinvenuta all'inizio dell'asse 2 da 0.60 m a 3.90 m, la seconda alla profondità di circa 16 m e la terza alla profondità di 21,50 m).

Un'ulteriore lente di sabbia limosa è stata individuata alla profondità di circa 18 m.

Tali lenti limo sabbiose e sabbioso limose si posizionano nella parte iniziale del tracciato.

A partire dalla profondità di 28-32 si rinviene la presenza delle ghiaie sabbioso limose, il cui andamento è stato ipotizzato e ricostruito in considerazione della stratigrafia del sondaggio S05-DH (che pone il tetto delle ghiaie alla profondità di 28 m circa) e del fatto che non sono state intercettate ghiaie nel sondaggio S02-Pz, e pertanto ipotizzate a profondità maggiori, all'inizio della viabilità dell'asse in esame.

La falda si attesta alla profondità di 3,90 m da piano campagna.

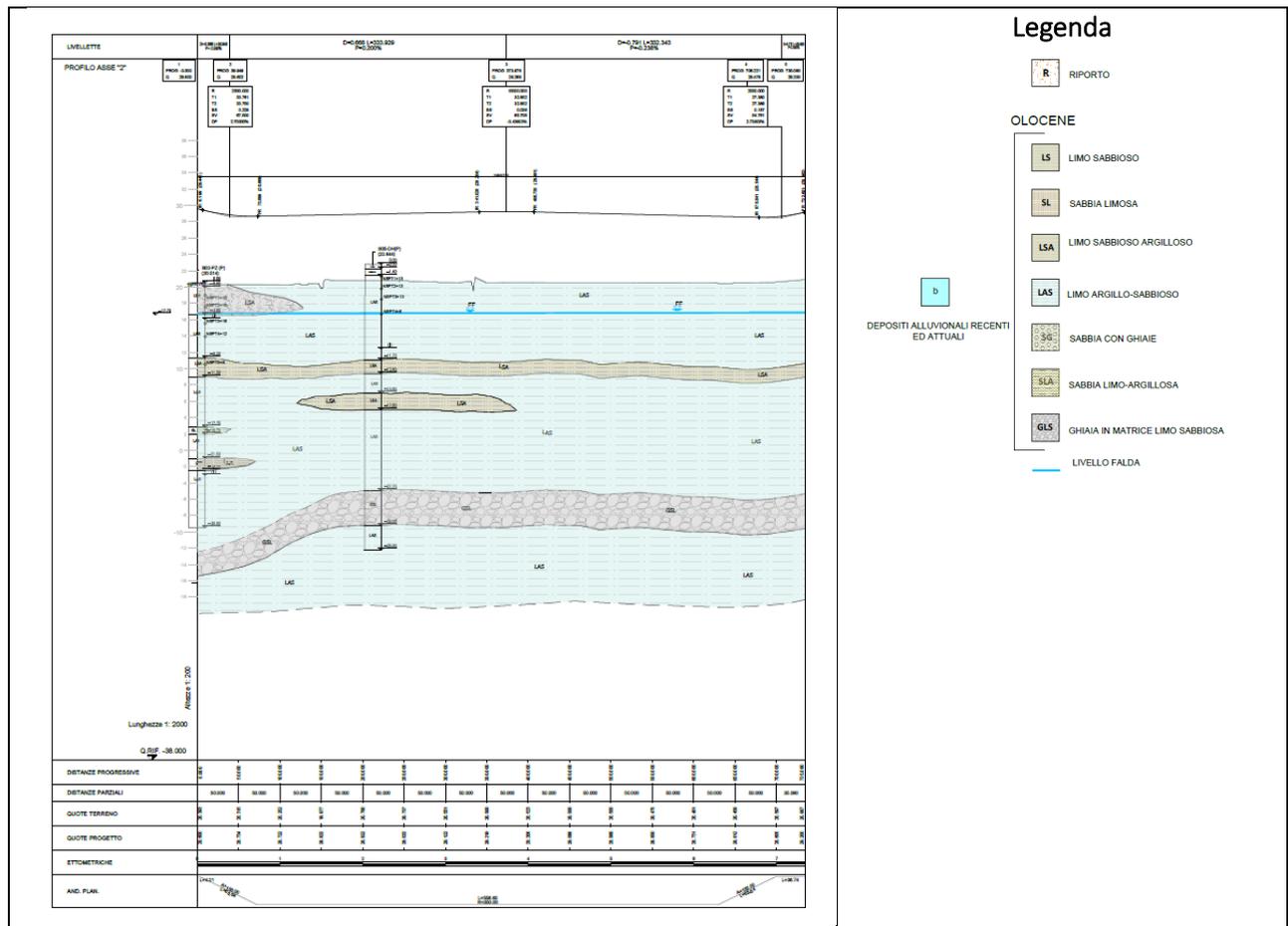


Figura 5- Profilo geologico "Asse 2"

3.2.3 Profilo geologico "ASSE 3"

Il profilo geologico dell'"Asse 3" è stato ricostruito a partire dalla proiezione lungo il tracciato di progetto dei sondaggi geognostici S02-PZ e S01-PZ.

L'asse in oggetto è caratterizzato da una stratigrafia costituita da alternanze di livelli limoso sabbioso argillosi (spessi da 2 a 5 metri) e limoso argilloso sabbiosi (che arrivano anche ai 10 m di spessore). All'interno dello strato limo argilloso sabbioso, a circa 18,00-18,50 m di profondità, si rivengono due lenti a granulometria leggermente più grossolana costituite da sabbia limosa (di circa 1 metro di spessore).

Il substrato costituito dalle argille limose si rinviene a partire dai 23 m di profondità. Risultano assenti i livelli ghiaiosi fino alla profondità raggiunta dalle verticali eseguite.

Il livello della falda oscilla per l'Asse 3" da -1,50 m all'inizio del tracciato fino a -5 m da p.c. alla fine dello stesso.

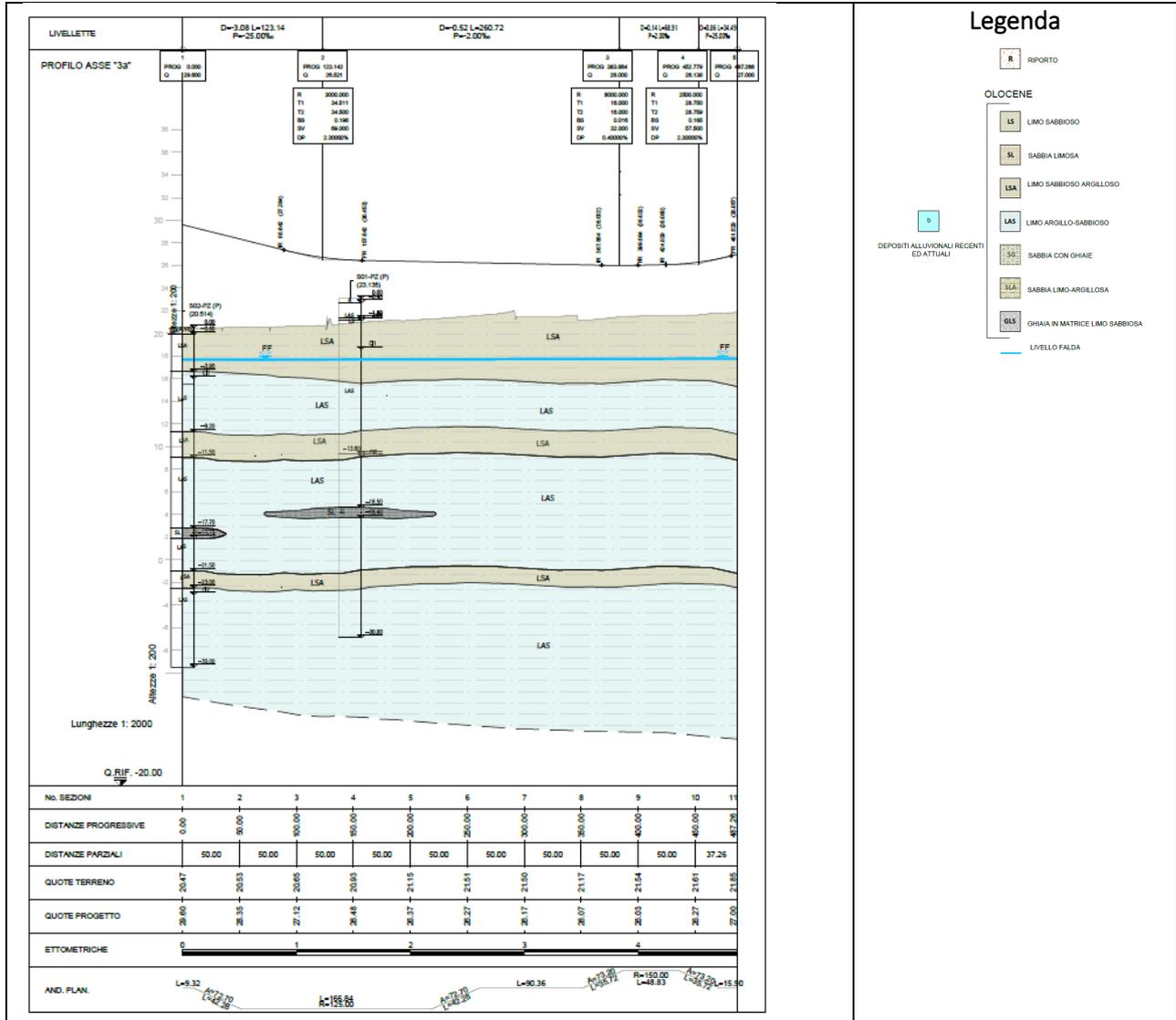


Figura 6- Profilo geologico "Asse3"

Per la visione dei profili geologici dell'Asse 1- 2- 3 in scala di progetto (H/V 1:2000/1:200) si rimanda ai relativi elaborati di progetto.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio del comune di Monterotondo è caratterizzato da un'area ad andamento pianeggiante rappresentata dalla valle dove scorre il fiume Tevere che costituisce l'asta di deflusso principale; la valle risulta confinata lateralmente da rilievi collinari a morfologia arrotondata.

La pianura alluvionale del Tevere, in cui sono ubicati i tracciati di progetto è confinata tra la linea ferroviaria Roma –Milano e il fiume stesso, presenta una larghezza variabile da 600 a 1.800 metri, e quota compresa tra 20 e 24 m s.l.m. con una pendenza media inferiore al 10%. Nelle fasce più prossime al Tevere sono spesso presenti laghetti relitto di antiche attività estrattive dismesse e non riambientate.

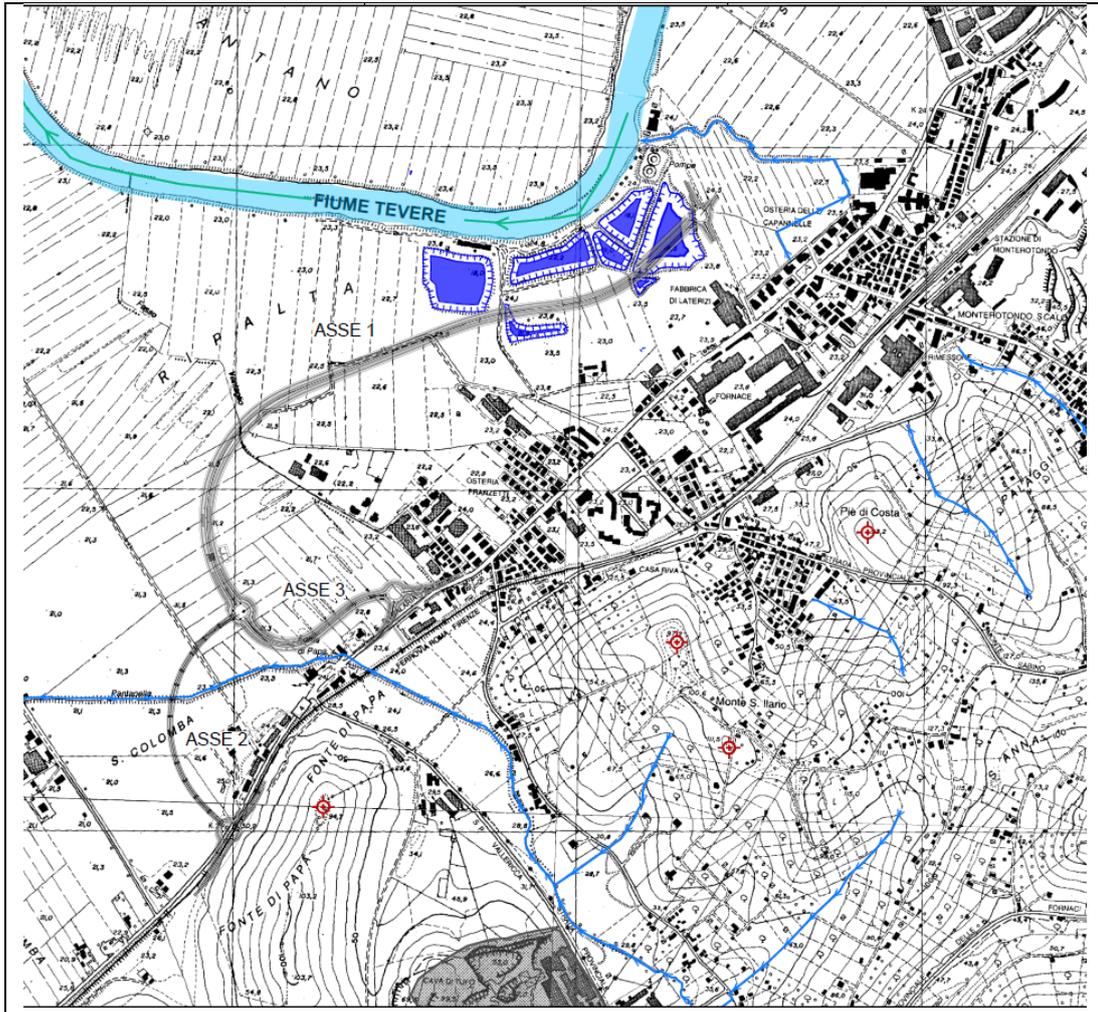
La pianura è in parte occupata dall'insediamento industriale-artigianale che si sviluppa tra località Semblera e Pantano ed è parzialmente urbanizzata a ridosso della S.S. Salaria (Monterotondo Scalo dove si sviluppano anche le opere di progetto); la restante parte del territorio è destinata all'uso agricolo.

Ad est della linea ferroviaria Roma–Milano, si rinviene la parte collinare del territorio comunale, caratterizzato da terreni di copertura sedimentari, vulcanici e calcarei. Su questa copertura, i processi erosivi ed il successivo colmamento delle valli hanno impostato un sistema idrografico molto ben sviluppato con 2 assi drenanti principali rappresentati dal Fosso della Casetta e dal Fosso della Fiora, affluenti del Tevere.

L'altro aspetto che caratterizza il territorio è la presenza nelle zone collinari di cavità sotterranee sparse di varia origine e con diverse funzioni (cave, cunicoli idraulici, ipogei ed altro). La presenza di queste cavità è dall'antichità legata allo sviluppo della città che da una parte richiedeva l'uso del tufo come materiale da costruzione (da ricercarsi anche con cave in sotterraneo) poi di interventi idraulici (sistemi di fognatura e drenaggio), quindi necessitava di maggiori spazi sia di espansione abitativa sia di culto (ipogei e cimiteri).

Come si evince dalla carta geomorfologica di progetto (di cui si riporta un estratto a seguire) il territorio su cui andranno ad insistere le opere in progetto è caratterizzato dalle morfologie tipiche delle zone di fondovalle aperte a morfologia pianeggiante dove scorre il fiume Tevere, che rappresenta il principale elemento morfogenetico del territorio.

Dal punto di vista geomorfologico la zona di progetto è ascrivibile ad un'area valliva aperta a fondo piatto con direttrice NE – SO.



Legenda

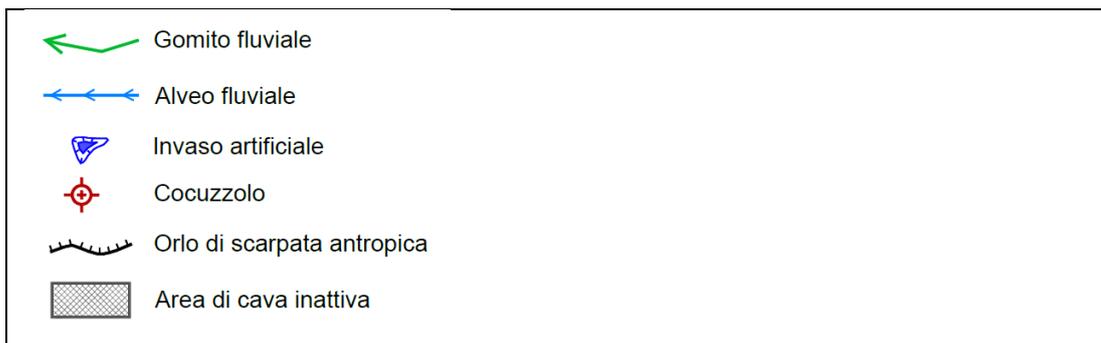


Figura 7- Stralcio della carta geomorfologica di progetto- scala 1:5000

La valle alluvionale risulta confinata lateralmente dai modesti rilievi collinari ove sorgono i centri abitati di Olmetti, Riano Romano, Castelnuovo di Porto verso Ovest e di Tor Lupara, Mentana e Monterotondo verso Est; tali rilievi sono caratterizzati da crinali appiattiti e arrotondati con versanti che presentano pendenze variabili da blande a verticali in stretta dipendenza dei litotipi affioranti (sabbie e ghiaie, limi e argille, piroclastiti).

Il fiume Tevere pertanto, ha determinato l'evoluzione morfologica del territorio e anche attualmente influenza i processi geomorfologici e le dinamiche attuali.

Inoltre, il fiume Tevere rappresenta anche il principale asse di deflusso superficiale del reticolo idrografico naturale, costituito dai numerosi corsi d'acqua che solcano le strutture che delimitano il bacino imbrifero dell'area di Monterotondo oltre alle derivazioni del sistema di regimentazione artificiale.

Il fiume Tevere presenta un tracciato meandriforme con una mobilità laterale che consente al fiume di divagare e spostarsi all'interno della piana alluvionale. Si osservano numerosi meandri che si differenziano dal punto di vista morfologico per lo stadio evolutivo raggiunto.

Queste variazioni sono riconducibili alle seguenti componenti quali l'accorciamento, l'estensione, la traslazione, la rotazione, l'ampliamento, il salto del meandro e altre variazioni complesse (*Hooke, 2013*) date dall'effetto combinato di diverse componenti.

I meandri rilevati nel tratto fluviale interessato dal progetto risultano attivi e altamente dinamici, mostrano una migrazione verso valle. Essi presentano deviazioni e asimmetrie della sponda esterna, rispetto all'apice geometrico dell'ansa. In alcuni casi sembra che le geometrie disegnate dal corso d'acqua siano frutto di una tettonica e/o di lineazioni con richiami verso monte o anomalie di percorso del tracciato fluviale.

Questa caratteristica è dovuta principalmente alla disomogeneità litologica dei materiali che costituiscono i depositi alluvionali che determina fenomeni di erosione differenziali nei diversi punti dei meandri (*Hooke, 2013*). L'erosione della sponda, che costituisce la principale causa della migrazione laterale del tracciato fluviale, è associata non solo a elevate velocità del flusso, ma anche al contenuto d'acqua dei suoli. Se il contenuto d'acqua del materiale di sponda è elevato, infatti, questo può causare scivolamenti e collassi laterali (*Leopold e Wolman, 1960*).

L'effetto di collasso della sponda è favorito dall'erosione dello strato grossolano inferiore, che rende instabile lo strato fine sovrastante che crolla. Il tasso di erosione dipende, strettamente, anche dalla resistenza della sponda, determinata dal tipo di materiale, ma anche dalla vegetazione ripariale spontanea (*Hooke, 2013*) che con l'apparato radicale svolge un'azione di stabilizzazione delle sponde trattenendo il materiale sciolto con le radici.

Nella zona oggetto dell'intervento, in destra idrografica e tale da non interferire con l'infrastruttura di progetto, si osserva un fenomeno ricorrente all'interno della pianura alluvionale vale a dire la migrazione dei lobi esterni di meandri legata ad un processo di erosione spondale del collo dei meandri consecutivi; l'evoluzione del processo di erosione porterà a far intersecare le due anse (*Neck cut-off*) e al "taglio del meandro". Questi meandri vengono classificati come tortuosi e prossimi al 'taglio di collo' cioè all'abbandono improvviso del tracciato fluviale e contemporaneo riempimento argilloso (fango portato dalle tracimazioni).

In effetti i due lobi connessi si avvicinano sempre di più, per il flusso e l'erosione accentuata e danno vita ad una nuova via più breve rispetto al vecchio percorso che viene, quindi, abbandonato (meandro morto) come riportato in figura:

Relazione Geologica

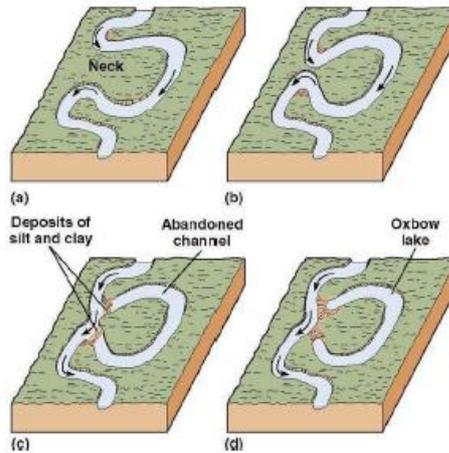


Figura 8-Evoluzione dinamica e migrazione dei meandri fluviali

4.1 PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDROGEOLOGICO

La pericolosità geomorfologica del sito oggetto di studio, in accordo con quanto descritto nei capitoli precedenti rispetto alle caratteristiche morfologiche della pianura alluvionale in cui è ubicato risulta sostanzialmente nulla.

Infatti, la pendenza nulla dell'area oggetto di studio conferisce alla medesima una completa stabilità geomorfologica come si evince dalla Carta Inventario dei Fenomeni Franosi e delle Situazioni a Rischio Frana del PAI di cui si riporta un estratto a seguire.

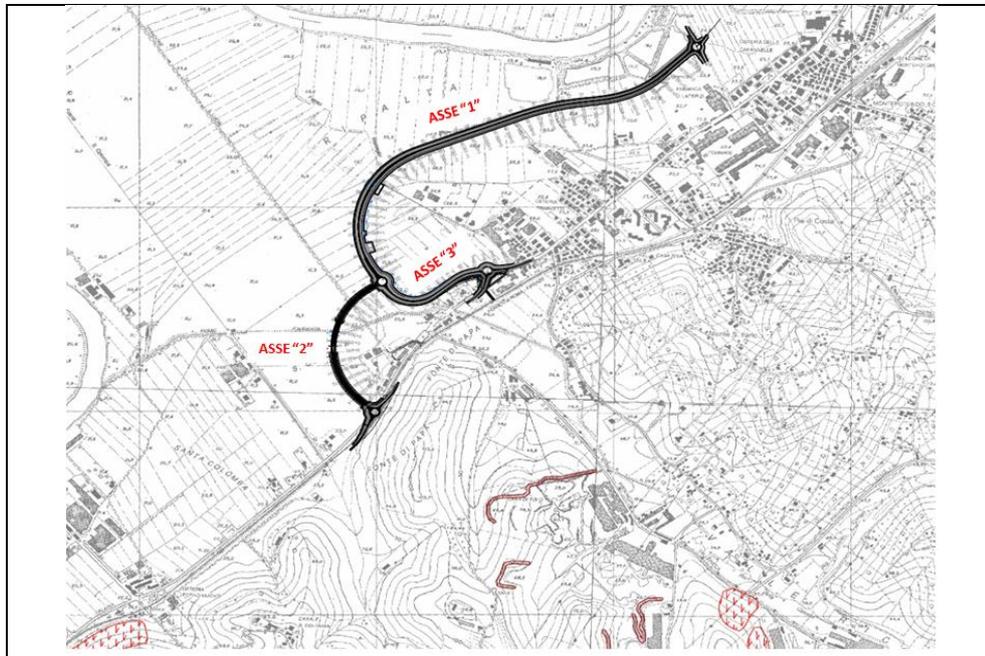


Figura 9-Carta Inventario dei Fenomeni Franosi e delle Situazioni a Rischio Frana del PAI (Tav n°49)

Legenda

Inventario dei fenomeni franosi					fenomeno attivo	fenomeno quiescente	fenomeno inattivo*	fenomeno presunto	
				frana per crollo o ribaltamento					area a calanchi o in erosione
				frana per scivolamento					frana presunta
				frana per colamento					orlo di scarpata di frana
				frana complessa					frana non cartografabile
				area con franosità diffusa					
				area interessata da deformazioni gravitative profonde (DGPV)					
				area interessata da deformazioni superficiali lente e/o soliflusso					
				falda e/o cono di detrito					
				debris flow (colata di detrito)					
Situazioni di rischio da frana									
									R4 - 'molto elevato'
									R3 - 'elevato'

L'area in cui saranno realizzate le opere appartiene al Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale e più precisamente al bacino idrografico denominato "Tevere" che è Bacino Nazionale ai sensi della legge n. 183 del 1989.

Il Distretto dell'Appennino Centrale è stato articolato in cinque sub-distretti e l'area oggetto di intervento appartiene al Sub-distretto del Basso Tevere.



Figura 10- Stralcio cartografico dei bacini del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – P.A.I. nasce nell'intento di perseguire l'obiettivo di tutela ambientale e di sicurezza delle popolazioni, degli insediamenti e delle infrastrutture.

Nel giugno 2013 sono state predisposte e pubblicate nel sito dell'Autorità di bacino del Tevere le mappe di pericolosità e di rischio secondo l'articolo 6 del Decreto 49/10.

Nella redazione delle mappe di pericolosità sono state considerate:

- le alluvioni rare di estrema intensità, tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (bassa probabilità);
- le alluvioni poco frequenti, tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- le alluvioni frequenti, tempo di ritorno tra 20 e 50 anni (elevata probabilità)

Per ognuno di tali scenari sono stati indicati l'estensione dell'inondazione, l'altezza idrica o livello e le caratteristiche del deflusso.

Nella redazione delle mappe di rischio sono stati considerati diversi elementi quali il numero indicativo di abitanti potenzialmente interessati, le infrastrutture e strutture strategiche, i beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse, la distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti nell'area potenzialmente interessata, gli impianti di cui all'all. 1 al D. Lgs. 59/2005 e le Aree protette individuate secondo l'allegato 9 parte III del D. Lgs. 152/2006.

Più in dettaglio, sempre per quanto concerne il bacino del fiume Tevere, il materiale di base, utilizzato per le mappe, è costituito dal PAI vigente, sul quale sono stati effettuati gli interventi di modificazione, integrazione, omogeneizzazione, secondo le specificità previste dal D. Lgs. 49/2010 e le linee di indirizzo rilasciate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. In particolare, si è provveduto a convertire e omogeneizzare le attuali fasce fluviali determinate dal PAI e dagli studi di aggiornamento che si sono resi disponibili, secondo il passaggio di ammissione e corrispondenza fra fasce A,B,C e pericolosità P1, P2, P3, in gradazione alta, media, bassa.

Fascia Fluviale	Tempo di ritorno	Pericolosità	Scenari associati
A	50 anni	P3=elevata	alluvioni frequenti
B	200 anni	P2=media	alluvioni poco frequenti
C	500 anni	P1=bassa	alluvioni rare di estrema intensità

Per quanto riguarda il rischio si fa riferimento ai parametri R1, R2, R3, R4 tramite macro categorie relative ai beni, esposti (da D1 a D4) tramite la matrice di riferimento riportata di seguito.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'				
		P3	P2		P1	
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R3	R2	
	D3	R4	R3	R3	R2	R1
	D2	R3	R2	R2	R1	
	D1	R1		R1	R1	

La cartografia prodotta dall'Autorità di Bacino, riportata di seguito, ci consente di rilevare che gli assi di progetto si posizionano sull'argine sinistro del fiume Tevere e ricadono per maggior parte all'interno della fascia P3, ovvero la fascia di rischio ad elevata probabilità di alluvionamento (alluvioni frequenti). La parte terminale dell'Asse "3" fuoriesce dall'area a maggior pericolosità e interessano zone a medio-bassa probabilità (P2 e P1).

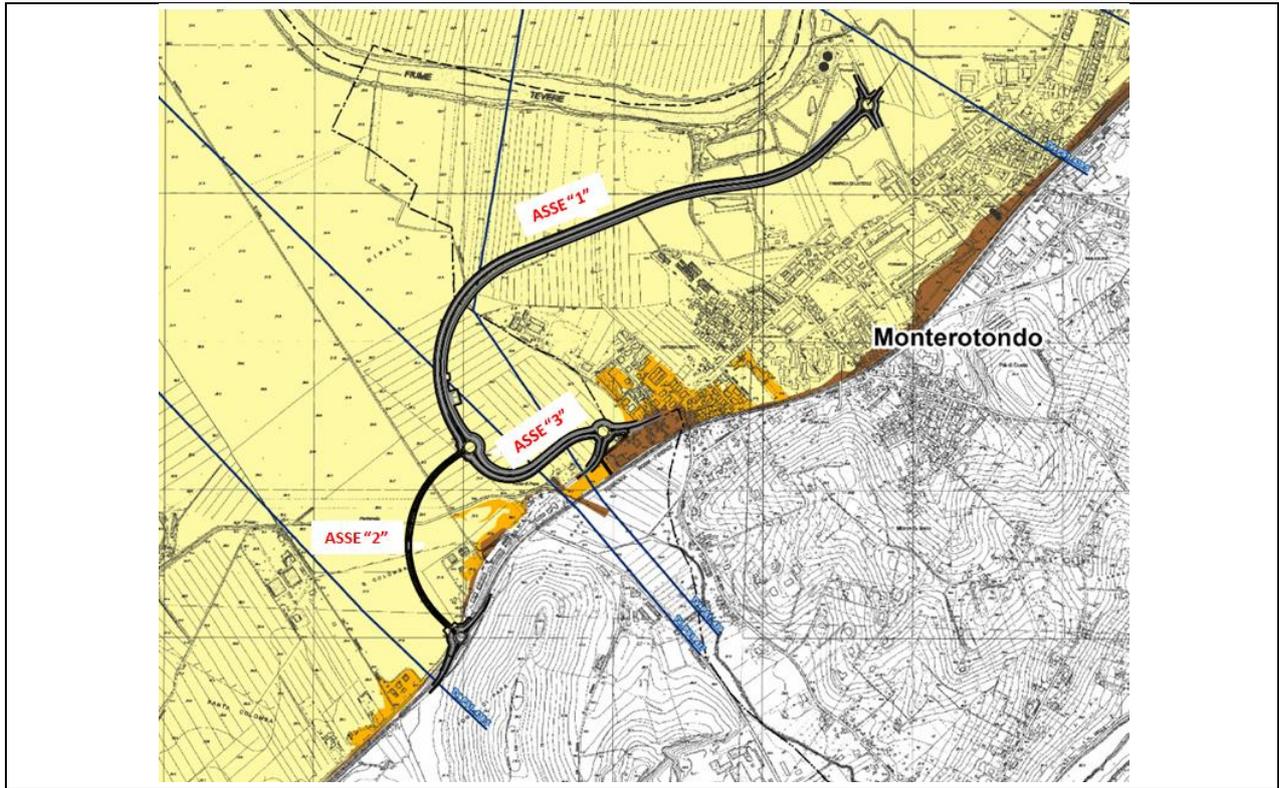
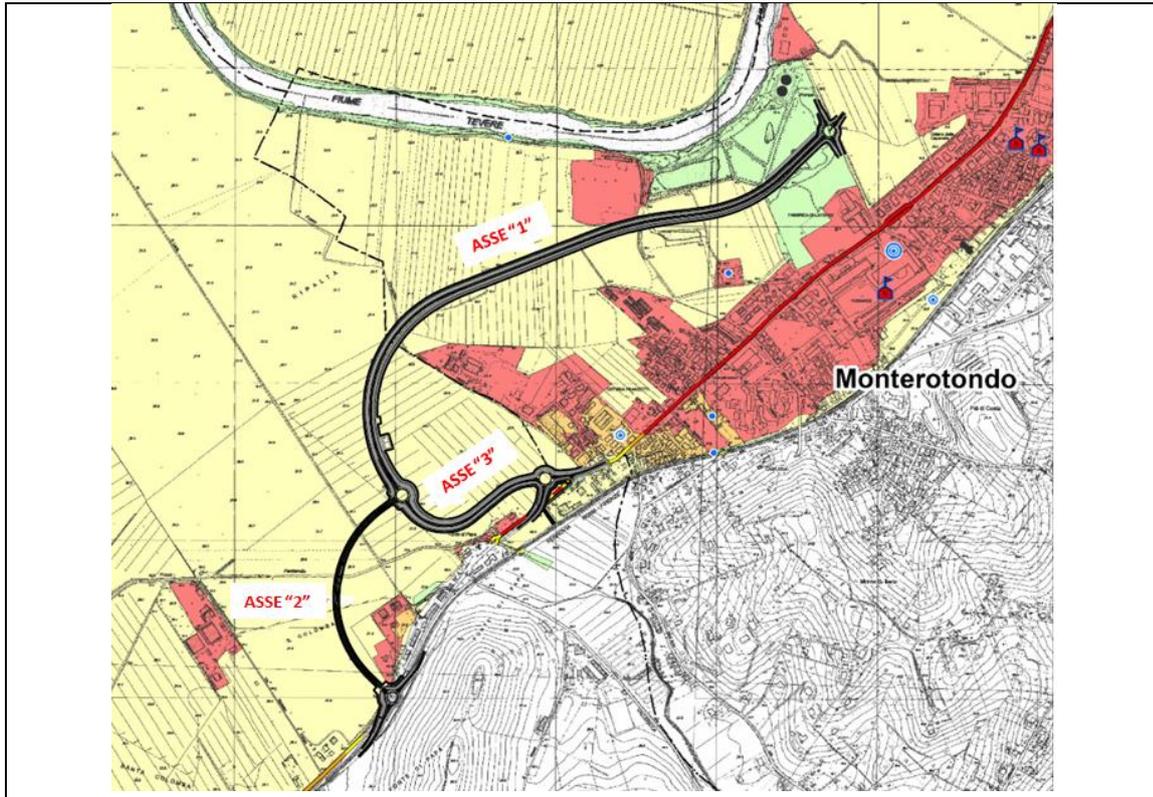


Figura 11-Sovrapposto della mappa di pericolosità idraulica del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (Tavola 84p)

Legenda	
Classi di pericolosità	
	P3 - elevata probabilità (alluvioni frequenti)
	P2 - media probabilità (alluvioni poco frequenti)
	P1 - bassa probabilità (alluvioni rare di estrema intensità)
Sezioni idrauliche	
	Localizzazione delle sezioni idrauliche
* Codice della sezione Per le caratteristiche idrauliche associate si rimanda all'allegato "Sezioni"	
Limiti amministrativi (Fonte: ISTAT 2011)	
	Limiti regionali
	Limiti provinciali
	Limiti comunali

Dalla cartografia del rischio si evince che gli assi di progetto interessano maggiormente la zona a rischio idraulico medio (R2), la parte iniziale del tracciato dell'asse 1 (dalla pk 0+00 alla 0+250) ricade in un'area a rischio moderato o nullo (R1). Non si evidenziano interferenze con aree a rischio elevato o molto elevato.



Legenda

Classe di Rischio	
■	R4 - Rischio molto elevato
■	R3 - Rischio elevato
■	R2 - Rischio medio
■	R1 - Rischio moderato o nullo

Simbologia	
	Scuole
	Dighe
	Stabilimenti a rischio incidente rilevante e impianti soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale
	Ospedali
	Stazioni e centrali della rete elettrica
	Rete dell'energia elettrica (linee aeree e cavi)
	Rete stradale
	Rete ferroviaria

Stima degli abitanti in zone a rischio	
●	10 ≤ abitanti < 100
●	100 ≤ abitanti < 1000
●	1000 ≤ abitanti < 5000
●	abitanti > 5000

Limiti amministrativi (Fonte: ISTAT 2011)	
	Limiti regionali
	Limiti provinciali
	Limiti comunali

Figura 12-Sovrapposto della mappa del rischio idraulico del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (Tavola 84p) con il tracciato di progetto

L'intervento inoltre rispecchia quanto espresso nella suddetta normativa: "gli interventi ammessi in zone allagabili risultano quelli che non comportano un aggravio sul territorio in occasione degli eventi di piena:

- A) Accelerazione della corrente e riduzione dei meccanismi di laminazione dinamica in alveo;
- B) Possibilità di erosione di materiale o manufatti ad opera della corrente ed aumento del carico dei detriti nella corrente a valle;
- C) Deviazione dei percorsi idraulici di piena verso elementi sensibili."

L'alveo del Fiume Tevere rappresenta l'asta principale di deflusso del reticolo idrografico della zona, con quote mediamente inferiori rispetto alla pianura alluvionale di circa 5 – 10 m e con un corso sinuoso che incide e solca la pianura circostante.

L'idrografia dell'area di studio è completata da una serie di canali di scolo e fossi che hanno la funzione di drenare le acque superficiali della pianura verso il Fiume Tevere.

La continuità laterale è determinata dall'esistenza di una fascia di pertinenza fluviale nella quale si esplicano periodicamente i processi di esondazione e di mobilità laterale del corso d'acqua.

La continuità verticale è determinata dal continuo scambio di acqua tra la falda ed il corso d'acqua che è sempre presente quando il fondo dell'alveo è costituito da sedimenti permeabili.

Le misure freatiche eseguite sui piezometri installati nei sondaggi all'interno dell'area di progetto hanno permesso di accertare la quota del livello piezometrico della falda freatica con livello dinamico che subisce variazioni per effetto dell'emungimento idrico sia per scopi idropotabili che irrigui stagionali.

Sono stati condizionati n. 3 sondaggi con piezometri a tubo aperto e precisamente nei perfori S01-PZ, S02-PZ, S04-PZ.

Nella tabella seguente si riportano le misure effettuate:

SONDAGGIO	Profondità di perforazione (m dal p.c.)	Profondità di installazione (m dal p.c.)	Falda (m dal p.c.)
S01-PZ	30	10	2,56
S02-PZ	30	12	1,49
S04-PZ	30	10	5,43

Tabella 1-Tabella riassuntiva delle misure piezometriche derivanti dalle campagne d'indagine 2020.

Le misure indicano un livello della piezometrica che si attesta a circa 2,5 - 3,00 m di profondità dal piano campagna naturale.

Le acque di percolazione raggiungono in profondità i livelli sabbiosi e ghiaiosi sede dell'acquifero e si stabilizzano secondo il gradiente idraulico a partire dai livelli impermeabili sottostanti rappresentati da livelli di natura limoso argillosa in strati o lenti discretamente potenti e continui lateralmente; tali litotipi reperibili a varia profondità dal piano campagna costituiscono il letto dell'acquifero freatico.

L'acquifero alluvionale è costituito da sabbie e limi che si alternano ad argille e ghiaie, attuali e recenti anche terrazzate con spessori variabili da pochi metri ad oltre un centinaio di metri.

Dove il complesso dei depositi alluvionali dei corsi d'acqua presenta spessori maggiori (da una decina ad oltre un centinaio di metri) è caratterizzato da falde multistrato di importanza regionale. I depositi alluvionali dei corsi d'acqua minori, dove si registrano spessori delle alluvioni variabili da pochi metri ad alcune decine di metri si rinvergono falde locali di limitata estensione.

Tale complesso presenta una potenzialità acquifera da bassa a media.

Presso la superficie o immediatamente al di sotto di essa si riscontra una circolazione idrica sotterranea che presenta caratteri di interscambio con il fiume Tevere e direttamente influenzata dalle sue escursioni di livello idrologico stagionali.

Il complesso idrogeologico dei depositi alluvionali è delimitato lateralmente da formazioni vulcaniche, nonché marine plio-pleistoceniche, caratterizzate da permeabilità da bassa a media.

Durante la campagna geognostica in due verticali sono state eseguite n. 3 **Prove di Permeabilità di Tipo Lefranc** per valutare il coefficiente di permeabilità K nel tratto di prova. Le prove sono state effettuate a carico idraulico variabile.

Tali prove sono state eseguite all'interno dei fori di sondaggio realizzando una sezione filtrante di altezza pari a 0.5 m e diametro 127 mm. Nella tabella che segue sono riportati in maniera riassuntiva le caratteristiche dell'indagine:

N.	Denominazione	Profondità investigata (m)	K (m/s)
1	S02-PZ	11-11.5	3.22E-05
2	S03-DH	8-8.5	1.18E-05
6	S03-DH	18.5-19	6.33E-06

Tabella 2- Tabella riassuntiva dei risultati delle Prove di Permeabilità di Lefranc

Dalle prove effettuate i terreni alluvionali risultano caratterizzati da granulometrie eterogenee ma complessivamente di grado limoso-sabbioso-argilloso con valori di permeabilità che vanno dai 10^{-8} ai 10^{-6} m/s. , intercalate a lenti sabbiose con contenuto di fini variabile, caratterizzate da valori di permeabilità compresi tra 10^{-4} e 10^{-6} m/s .

5.1 MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO

Nella carta idrogeologica realizzata per il progetto definitivo alle formazioni geologiche presenti nel territorio d'interesse sono state attribuite diverse classi di permeabilità, in funzione delle loro caratteristiche litologiche e strutturali.

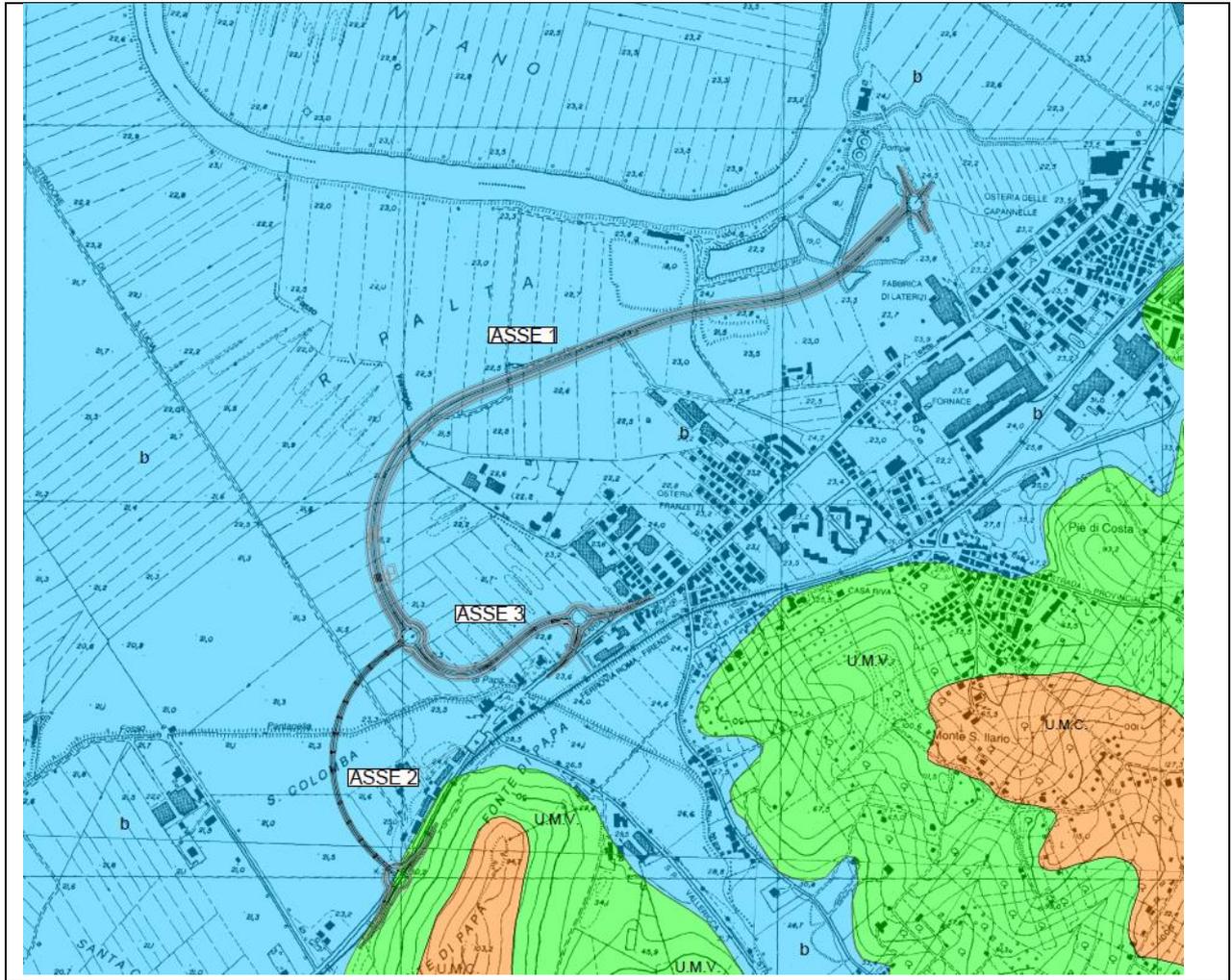
Come si evince dalla carta idrogeologica di progetto (di cui si riporta un estratto a seguire) i tracciati in opera si sviluppano all'interno dei **depositi alluvionali** caratterizzati da una permeabilità generalmente primaria per porosità ($K=10^{-3}-10^{-5}$ m/s) che però varia a seconda delle alternanze dei diversi livelli granulometrici che caratterizzano le alluvioni.

In presenza di livelli limo argillosi la permeabilità tenderà ad abbassarsi mentre in corrispondenza delle lenti sabbio limose o ghiaiose sarà più alta, dando luogo alla formazione di falde sospese.

Le argille plioceniche della **formazione di Monte Vaticano (U.M.V.)** costituiscono il substrato a permeabilità molto bassa o nulla, con K variabile da $10^{-8}-10^{-10}$ m/s.

Infine il complesso dei depositi sabbiosi di **Monte Ciocci (U.M.C.)** presenta una permeabilità medio-bassa con un K variabile da $10^{-4}-10^{-6}$ m/s.

I deflussi delle acque nel territorio sono orientati verso sud-ovest, seguendo quello principale del fiume Tevere.



Legenda

CLASSE DI PERMEABILITA'	FORMAZIONE GEOLOGICA
<p>1 CLASSE Terreni a permeabilità primaria per porosità ($K=10^{-3}-10^{-5}$ m/sec)</p>	b = Depositi Alluvionali recenti ed attuali (Olocene)
<p>2 CLASSE Terreni a permeabilità da molto bassa a nulla ($K=10^{-8}-10^{-10}$ m/sec)</p>	U.M.V.=Formazione di Monte Vaticano (Pliocene Sup.)
<p>3 CLASSE Terreni a permeabilità primaria per porosità medio-bassa ($K=10^{-4}-10^{-6}$ m/sec)</p>	U.M.C= Complesso dei depositi sabbiosi (Pleist.Inf.)

Figura 14- Stralcio della Carta Idrogeologica di progetto- scala 1:5000

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel presente capitolo si riporta la campagna d'indagine geognostica realizzata per la progettazione definitiva del progetto di variante all'abitato di Monterotondo Scalo - 2° stralcio. Le indagini sono state finalizzate alla determinazione dei rapporti stratigrafici e delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal tracciato di progetto necessarie alla definizione del modello litostratigrafico e geologico/geotecnico di dettaglio.

6.1 CAMPAGNA DI INDAGINE PROGETTO DEFINITIVO 2020

Nell'ambito della progettazione definitiva è stata effettuata una campagna geognostica eseguita nel periodo Giugno 2020 della quale riportiamo di seguito una sintesi.

Sono stati eseguiti:

- n. 5 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo (S01-PZ, S02-PZ, S03-DH, S04-PZ, S05_DH), dei quali n. 2 condizionati con tubo in PVC per l'esecuzione di prove Down-Hole in foro e n. 3 condizionati con piezometro a tubo aperto.

Durante la perforazione sono state eseguite:

- n. 20 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- n. 3 prove di permeabilità Lefranc;
- n. 4 prove pressiometriche Menard;
- n. 7 pozzetti esplorativi geognostici spinti alla profondità max di 2.1 m dal p.c..
- n. 6 prove penetrometriche statiche C.P.T.U. per la caratterizzazione dei terreni del sottosuolo; la prova CPTU02 non è stata eseguita per assenza dei permessi di ingresso all'area, mentre la CPTU01bis è stata ripetuta 2 volte a causa della presenza di un orizzonte altamente resistente che, però, non è stato superato.
- n. 7 prove di carico su piastra in corrispondenza dei pozzetti esplorativi.

Inoltre sono stati prelevati:

- n. 19 prelievi di campioni, di cui n. 10 indisturbati e n. 9 rimaneggiati, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 7 prelievi di campioni rimaneggiati prelevati dai pozzetti esplorativi, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2020, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- **prove di classificazione:**
 - analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
 - limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
 - contenuto naturale d'acqua;
 - peso di volume naturale;
 - peso specifico dei grani;

- **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**
 - prove di taglio diretto consolidate drenate (*CD*);
 - prove triassiali non consolidate - non drenate (*UU*);
 - prove di compressibilità edometrica.

Di seguito si riporta la descrizione delle stratigrafie ricavate dai sondaggi geognostici eseguiti:

STRATIGRAFIE RICAVATE- Sondaggi verticali

- **Sondaggio S01-PZ** (eseguito in data 10/06/2020-11/06/2020, profondità sondaggio 30 m, quota sul livello del mare = 23,14 m s.l.m.).

I dati rilevati sono i seguenti:

- da 0.0 m a 0.40 m si rinviene un livello di riporto costituito da Terreno vegetale a granulometria limo sabbiosa, di colore avana-brunastro [campione rimaneggiato: **CR1** prelevato a 0,20 m];
- da 0.40 m fino a 1,80 m si rileva la presenza terreno Limo argilloso sabbioso, di colore avana-marroncino, consistente, presenta numerosi frammenti lateritici;
- da 1,80 m a 2,00 m si ha un livello limo sabbioso, di colore grigio scuro, moderatamente consistente;
- da 2,00 m fino a 13,80 m si trova la presenza di uno strato limo argilloso sabbioso, di colore avana, grigiastro fino all'azzurro (a partire dai 12 m) variabile tra il moderatamente consistente e il consistente. Lo strato presenta dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche e numerosi livelli/lenti sabbiosi. [campione indisturbato: **CI1** prelevato a 4,50 m], [Prova **SPT1** da 2,50 m a 2,95 - Prova **SPT2** da 6,00 m a 6,45m - Prova **SPT3** da 9,40 m a 9,85 m]; [Prova Pressiometrica **PR1** da 11,60 m a 12,70 m],
- da a 13,80 m a 30 m (fondo foro) si rinviene la presenza di Argilla, di colore grigio-azzurro passante a nerastro, a verdastro, ad avana ed a grigio, variabile da moderatamente consistente a molto consistente; con presenza di resti di materiale organico (nelle parti più nerastre); vi sono dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche e sottili lenti sabbiose tra 18.5 e 19.0 m. Tra i 18,50 e i 19,00 m si rinvencono sottili lenti sabbiose, la frazione sabbiosa decresce con la profondità. [campione indisturbato: **CI2** prelevato a 14,00 m - campione rimaneggiato: **CR2** prelevato a 20,00 m], [Prova Pressiometrica **PR2** da 22,00 m a 23,00 m].
- E' stata rilevata la **presenza di acqua** alla quota di **2,56 m** da piano campagna.

- **Sondaggio S02-PZ** (eseguito in data 12/06/2020-15/06/2020, profondità sondaggio 30 m, quota sul livello del mare = 20.51 m s.l.m.).

I dati rilevati sono i seguenti:

- da 0.0 m a 0.60 m si rinviene un livello costituito da Terreno vegetale a granulometria limo sabbiosa, di colore avana-brunastro;
- da 0,60 m a 12,70 m si ha un livello Limo argilloso sabbioso, di colore avana - grigiastro, variabile tra moderatamente consistente e consistente, presenta dispersi clasti carbonatici sub-arrotondati di dimensioni millimetriche; vi sono, inoltre, numerosi livelli/lenti sabbiosi; [campione indisturbato: **CI1** prelevato a 4,50 m], [Prova **SPT1** da 1.50 m a 1.95 m – Prova **SPT2** da 3.00 m a 3,45 m – Prova **SPT3** da 5,00 m a 5,45 m – Prova **SPT4** da 6.60 m a 7,05 m – Prova **SPT5** da 10,00 m a 10,45 m], [Prova di permeabilità (Lefranc) **LEF1** da 11,00 m a 11,50 m].
- da 12,70 m a 30,00 m si trova la presenza di Limo con argilla da sabbioso a debolmente sabbioso, di colore grigio, passante a grigio-verdastro negli ultimi 3.0 m, variabile da moderatamente consistente a molto consistente; vi sono dispersi clasti carbonatici sub-arrotondati di dimensioni

millimetriche e sub-centimetriche, presenta inoltre diversi livelli sabbiosi ghiaiosi brunastri (di spessore decimetrico tra 17.70 e 18.60 m). La frazione sabbiosa decresce con la profondità. [campione rimaneggiato: **CR1** prelevato a 15,00 m - campione indisturbato: **CI2** prelevato a 23,60 m].

- E' stata rilevata la **presenza di acqua** alla quota di **1.49 m** da piano campagna.

- **Sondaggio S03-DH** (eseguito in data 18/06/2020-20/06/2020, profondità sondaggio 35 m, quota sul livello del mare = 22,92 m s.l.m.).

I dati rilevati sono i seguenti:

- da 0.0 m a 0.30 m si rinviene un livello di Terreno vegetale a granulometria limo sabbiosa, di colore avana-brunastro;
- da 0,30 m a 1,00 m è presente del materiale di riporto costituito da sabbia ghiaiosa limosa, con clasti poligenici ed inerti;
- da 1,00 m a 4,40 m si ha un livello di Sabbia limosa, di colore bruno passante ad avana, moderatamente addensata; [campione rimaneggiato: **CR1** prelevato a 3,00 m], [Prova **SPT1** da 1,50 m a 1,95 m – Prova **SPT2** da 3,00 m a 3,45 m]
- da 4,40 m 16,00 m è presente uno strato di Limo argilloso sabbioso, di colore avana passante a grigiastro, variabile tra moderatamente consistente e consistente; presenta dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche; vi sono inoltre numerosi lenti /livelli sabbiosi umidi e/o saturi; [campione indisturbato: **CI1** prelevato a 6,00 m - campione indisturbato: **CI2** prelevato a 14,00 m], [Prova **SPT1** da 4,50 m a 4,95 m – Prova **SPT2** da 6,50 m a 6,95 m – Prova **SPT3** da 9,00 m a 9,45 m], [Prova di permeabilità (Lefranc) **LEF1** da 8,00 m a 8,50 m].
- da 16,00 m a 24,50 m si riscontra un'alternanza di livelli argillosi di colore grigio, variabili tra poco consistenti e consistenti, e livelli sabbio-limosi, poco addensati, umidi e/o saturi; [Prova di permeabilità (Lefranc) **LEF2** da 18,50 m a 19,00 m].
- da 24,50 m a 31,30 m si ha uno strato caratterizzato da Limo sabbioso argilloso, di colore grigio con livello grigio scuro tra 27.8 e 29.6 m, variabile tra poco consistente e consistente; presenta diverse lenti sabbiose intercalate; vi sono, inoltre, dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche. La frazione sabbiosa decresce con la profondità; [campione indisturbato: **CI1** prelevato a 26,00 m].
- da 31,30 m a 35,00 m si rinviene un livello di Ghiaia sabbiosa-limosa, poligenica ed eterometrica (dmax 6 cm) con clasti sub-angolari e sub-arrottonati, rapporto clasti matrice 60:40. [campione rimaneggiato: **CR2** prelevato a 33,00 m].

- **Sondaggio S04-PZ** (eseguito in data 20/06/2020-23/06/2020, profondità sondaggio 30 m, quota sul livello del mare = 24,07 m s.l.m.)

I dati rilevati sono i seguenti:

- da 0.0 m a 2,70 m è presente del materiale di riporto a granulometria sabbiosa ghiaiosa limosa di colore bruno, con clasti poligenici e frammenti di materiali inerti e rifiuti;
- da 2,70 m a 4,90 m si rinviene Limo sabbioso argilloso, di colore beige-avana, moderatamente consistente, con frammenti di laterizi e materiali inerti; [Prova **SPT1** da 3,50 m a 3,95 m]
- da 4,90 m a 7,40 m è presente Sabbia limosa, di colore avana passante a grigiastro, moderatamente addensata; presenta numerosi resti vegetali; [campione rimaneggiato: **CR1** prelevato a 5,50 m], [Prova **SPT1** da 5,00 m a 5,45 m – Prova **SPT2** da 6,50 m a 6,95 m]

- da 7,40 m a 16,20 m è presente Limo argilloso sabbioso, di colore avana - grigiastro, variabile tra moderatamente consistente e consistente; presenta dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche; vi sono inoltre numerosi lenti / livelli sabbiosi; [campione indisturbato: **CI1** prelevato a 9,00 m], [Prova Pressiometrica **PR1** da 14,50 m a 15,50 m]
- da 16,20 m a 24,20 m si trova uno strato caratterizzato da Limo sabbioso argilloso, di colore grigio con livello grigio scuro-nerastro tra 20.7 e 21.1 m e bande avana negli ultimi metri, variabile tra poco consistente e consistente. La frazione sabbiosa decresce con la profondità; [campione indisturbato: **CI2** prelevato a 23,00 m]
- da 24,20 m a 26,70 m si rileva Sabbia limosa argillosa, di colore avana, variabile tra moderatamente addensata e addensata;
- da 26,70 m a 30,00 m è presente Ghiaia sabbiosa-limosa, poligenica ed eterometrica (dmax 6 cm) con clasti sub-angolari e sub-arrotondati, rapporto clasti matrice 60:40. [campione rimaneggiato: **CR2** prelevato a 28,00 m]
- E' stata rilevata la **presenza di acqua** alla quota di **5.43 m** da piano campagna.

- **Sondaggio S05-DH** (eseguito in data 16/06/2020, profondità sondaggio 35 m, quota sul livello del mare = 22,84 m s.l.m.)

I dati rilevati sono i seguenti:

- da 0.0 m a 0,50 m è presente del Terreno vegetale a granulometria limo sabbiosa, di colore avana-brunastro;
- da 0,50 m a 12,90 m si rinviene Limo argilloso sabbioso, di colore avana - grigiastro, variabile tra moderatamente consistente e consistente, presenta dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche; vi sono inoltre numerosi livelli/ lenti sabbiosi; [campione indisturbato: **CI1** prelevato a 10,40 m], [Prova **SPT1** da 1.50 m a 1.95 m – Prova **SPT2** da 3.00 m a 3,45 m – Prova **SPT3** da 4,30 m a 4,75 m – Prova **SPT4** da 6.10 m a 6,55 m]
- da 12,90 m a 27,70 m lo strato è caratterizzato da Limo sabbioso argilloso, di colore grigio passante a grigio verdastro con livello grigio scuro tra 23.4 e 24.0 m, variabile tra moderatamente consistente e consistente; presenta diversi livelli sabbiosi; vi sono, inoltre, dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche. La frazione sabbiosa decresce con la profondità; [campione rimaneggiato: **CR1** prelevato a 22,00 m], [Prova Pressiometrica **PR1** da 18,40 m a 19,90 m];
- da 27,70 m a 31,50 m abbiamo la presenza di Ghiaia sabbiosa-limosa, poligenica ed eterometrica (dmax 6 cm) con clasti sub-angolari e sub-arrotondati, rapporto clasti matrice 60:40; [campione rimaneggiato: **CR2** prelevato a 29,00 m];
- da 31,50 m a 32,00 m caratterizzato da Torba, di colore nero;
- da 32,00 m a 35,00 m si rinviene Argilla, di colore grigio verdastro, consistente; presenta diversi livelletti sabbiosi, vi sono, inoltre, dispersi clasti carbonatici di dimensioni millimetriche.

Relazione Geologica

Le tabelle seguenti riportano i risultati delle prove in situ effettuate, per le stratigrafie e i risultati completi si rimanda all'elaborato: "Documentazione Indagini Geognostiche", mentre per la suddivisione in unità geotecniche, l'interpretazione e la stima dei parametri fisici e meccanici si rimanda all'elaborato di progetto "Relazione geotecnica di caratterizzazione".

SONDAGGIO	N°SPT	QUOTA SPT		N°COLPI			
		da m.	a m.	N1	N2	N3	NSPT
S01-PZ	SPT1	2,5	2,95	5	7	7	14
	SPT2	6	6,45	3	6	7	13
	SPT3	9,4	9,85	5	7	8	15
S02-PZ	SPT1	1,5	1,95	4	7	8	15
	SPT2	3	3,45	7	8	7	15
	SPT3	5	5,45	6	7	9	16
	SPT4	6,6	7,05	4	5	7	12
	SPT5	10	10,45	3	4	4	8
S03-DH	SPT1	1,5	1,95	7	8	10	18
	SPT2	3	3,45	8	10	11	21
	SPT3	4,5	4,95	6	8	8	16
	SPT4	6,5	6,95	8	9	11	20
	SPT5	9	9,45	4	6	6	12
S04-PZ	SPT1	3,5	3,95	3	5	4	9
	SPT2	5	5,45	3	4	5	9
	SPT3	6,5	6,95	3	3	5	8
S05-DH	SPT1	1,5	1,95	5	6	7	13
	SPT2	3	3,45	4	6	7	13
	SPT3	4,3	4,75	7	7	6	13
	SPT4	6,1	6,55	3	2	4	6

Tabella 3 –Tabella riassuntiva prove SPT effettuate

N°	Sigla ID	Profondità prova (m dal p.c.)	Prova di dissipazione (m dal p.c.)
1	CPTU 1 bis 1	3,58	-
2	CPTU 1 bis	3,31	-
3	CPTU03	15,27	-
4	CPTU04	20,02	20,02
5	CPTU05	20,01	18,88
6	CPTU06	18,33	-

Tabella 4 –Tabella riassuntiva prove CPTU effettuate

Relazione Geologica

SONDAGGIO	Profondità di perforazione (m dal p.c.)	Profondità di installazione (m dal p.c.)	Falda (m dal p.c.)
S01-PZ	30	10	2,56
S02-PZ	30	12	1,49
S04-PZ	30	10	5,43

Tabella 2-Tabella riassuntiva misure piezometriche effettuate

Pozzetti Eplorativi	Sigla ID	Coordinata G.B. Est	Coordinata G.B. Nord	Quota assoluta P.C. (m s.l.m.)
1	Pz02	2319073,341	4659157,653	20,591
2	Pz03	2319136,327	4659229,683	21,415
3	Pz04	2319279,477	4659323,050	21,238
4	Pz05	2319561,401	4659422,545	22,094
5	Pz06	2319982,823	4659519,985	21,994
6	Pz07	2320149,391	4659575,906	21,856
7	Pz08	2320309,732	4659714,792	24,082

Tabella 6-Tabella riassuntiva dei pozzetti esplorativi

Le tabelle seguenti riportano i risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici effettuati e dai pozzetti esplorativi, per i risultati completi si rimanda all'elaborato "Documentazione Indagini Geognostiche- Certificati di Laboratorio", mentre per la suddivisione in unità geotecniche, l'interpretazione e la stima dei parametri fisici e meccanici si rimanda all'elaborato di progetto "Relazione geotecnica di caratterizzazione".

SONDAGGIO	PROFONDITA' SONDAGGIO m	CAMPIONE	QUOTA PRELIEVO CAMPIONE	
			da m.	a m.
S01-PZ	30	CR1	0,2	0,7
		CI1	4,5	5
		CI2	14	14,5
		CR2	20	20,5
S02-PZ	30	CI1	4,50	5,00
		CR1	15,00	15,50
		CI2	23,60	24,10
S03-DH	35	CR1	3,00	3,50
		CI1	6,00	6,50
		CI2	14,00	14,50
		CI3	26,00	26,50
		CR2	33,00	33,50
S04-PZ	30	CR1	5,50	6,00

Relazione Geologica

			CI1	9,00	9,50
			CI2	23,00	23,50
			CR2	28,00	28,50
	S05-DH	35	CI1	10,40	10,90
			CR1	22,00	22,50
			CR2	29,00	29,50

Tabella 7-Tabella riassuntiva dei campioni prelevati dai sondaggi geognostici

SONDAGGIO	CAMPIONE	QUOTA PRELIEVO CAMPIONE		γ _{naturale} (kN/m ³)	γ _{secco} (kN/m ³)	W (%)	GRANULOMETRIA (UNI)				
		da m.	a m.				Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	FC (%)
S01-PZ	CR1	0,2	0,7	-	2,54	20,4	6	9	41	44	85
	CI1	4,5	5	19,52	15,91	22,65	4,8	32,7	46,5	16	62,5
	CI2	14	14,5	19,27	15,35	25,58	-	20	65	15	80
S02-PZ	CI1	4,50	5,00	18,59	14,83	25,39	1,00	19,00	46,50	33,50	80
	CI2	23,60	24,10	18,51	14,48	27,84	0,00	15,00	53,00	32,00	85
S03-DH	CI1	6,00	6,50	18,55	14,83	25,06	2,00	18,00	42,50	37,50	80
	CI2	14,00	14,50	18,29	14,18	29,02	1,00	14,00	29,00	56,00	85
	CI3	26,00	26,50	17,28	12,40	39,32	0,00	23,00	60,00	17,00	77
S04-PZ	CI1	9,00	9,50	19,04	15,44	23,39	0,00	15,00	50,50	34,50	85
	CI2	23,00	23,50	18,62	14,81	25,77	0,00	20,00	61,00	19,00	80
S05-DH	CI1	10,40	10,90	18,62	14,77	26,11	1,00	19,50	55,50	24,00	79,5

Tabella 8-Tabella riassuntiva delle caratteristiche granulometriche dei campioni prelevati

SONDAGGIO	CAMPIONE	QUOTA PRELIEVO CAMPIONE		INDICE PLASTICO					
		da m.	a m.	W/LL	LL	LP	IP	IC	IL
				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S01-PZ	CR1	0,2	0,7	0,37	55,4	28,86	26,54	-	-
	CI1	4,5	5	0,61	37,1	20,44	16,66	0,87	0,13
	CI2	14	14,5	0,70	36,6	21,49	15,11	0,73	0,27
S02-PZ	CI1	4,50	5,00	0,43	59,50	33,37	26,13	1,31	-0,31
	CI2	23,60	24,10	0,52	54,00	28,66	25,34	1,03	-0,03
S03-DH	CI1	6,00	6,50	0,40	62,25	33,26	28,99	1,28	-0,28
	CI2	14,00	14,50	0,36	81,00	36,51	44,49	1,17	-0,17
	CI3	26,00	26,50	0,89	44,40	24,80	19,60	0,26	0,74
S04-PZ	CI1	9,00	9,50	0,45	52,00	30,98	21,02	1,36	-0,36
	CI2	23,00	23,50	0,64	40,50	29,28	11,22	1,31	-0,31
S05-DH	CI1	10,40	10,90	0,55	47,80	23,68	24,12	0,90	0,10

Tabella 9-Tabella riassuntiva dei Limiti di Atterberg

Relazione Geologica

In Tabella 10 sono riepilogati i risultati ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite; in particolare, per la valutazione delle caratteristiche di resistenza in termini di tensioni efficaci si è fatto riferimento alle prove di laboratorio di taglio diretto (TD), mentre per la valutazione della resistenza non drenata si è fatto riferimento alle prove triassiali non consolidate non drenate (UU) e ai valori desunti dall'interpretazione dei *pocket* tascabili. Maggiori dettagli sono presenti nella relazione specialistica (Relazione geotecnica di caratterizzazione).

Tabella 3. Unità geotecnica Ac, riepilogo risultati prove di laboratorio.

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c. (m)	TD		UU
			φ'_p (°)	c'_p (kPa)	c_u (kPa)
S01_PZ	2	14.00	30.40	23.6	37
		14.50			
S02_PZ	2	23.6	26.8	35	96.9
		24.1			
S01_PZ	1	4.50	32	15.5	40
		5.00			
S02_PZ	1	4.50	25.2	32	-
		5.00			
S03_DH	1	6.00	-	-	129.6
		6.50			
S03_DH	2	14.00	23.8	33	57.4
		14.50			
S03_DH	3	26.00	-	-	32
		26.50			
S04_PZ	1	9.0	31.5	26.7	164.1
		9.6			
S04_PZ	2	23.00	-	-	42
		23.50			
S05_DH	1	10.4	-	-	44.6
		11			

Tabella 10. Unità geotecnica Ac, riepilogo risultati prove di laboratorio.

Al fine di stimare i moduli di deformabilità e la resistenza al taglio non drenata dei terreni interessati dal tratto di progetto sono state eseguite n°4 **Prove Pressiometriche di Menard**, per la cui realizzazione è stata utilizzata un sonda tricellulare; i risultati delle interpretazioni sono riportati nella Relazione geotecnica di caratterizzazione.

6.2 INDAGINI GEOFISICHE

In questo lavoro le indagini ricadono nei comuni di Roma e di Monterotondo (RM), per la precisione sono state eseguite le seguenti prove:

- n. 1 prospezione sismica a rifrazione tomografica;
- N. 1 indagine sismica in foro down-hole;

Relazione Geologica

- N. 2 prospezioni sismiche MASW.

Le indagini in oggetto sono state effettuate nel mese di luglio 2020.

Prova	Profondità a (m)	Spessore (hi)	Velocità (Vsi)	hi/vsi
MASW_1	0,4	0,4	182,0	0,0022
	0,9	0,5	186,0	0,0027
	1,4	0,6	172,0	0,0035
	2,2	0,7	169,0	0,0041
	3,1	0,9	208,0	0,0043
	4,3	1,2	255,0	0,0047
	5,7	1,4	263,0	0,0053
	7,5	1,8	252,0	0,0071
	9,8	2,3	275,0	0,0084
	12,2	2,4	417,0	0,0058
	25,1	12,9	455,0	0,0284
MASW_1bis	30,0	4,9	505,0	0,0097
	1,2	1,2	220,0	0,0055
	2,8	1,5	196,0	0,0077
	4,7	1,9	281,0	0,0068
	7,1	2,4	301,0	0,0080
	10,1	3,0	314,0	0,0096
	13,8	3,8	361,0	0,0105
	18,5	4,7	375,0	0,0125
	24,4	5,9	443,0	0,0133
30,0	5,6	547,0	0,0102	

Tabella 11-Tabella riassuntiva delle prove MASW eseguite

Per i risultati completi si rimanda all'elaborato "Documentazione Indagini Geognostiche"

Inoltre l'ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite a corredo del progetto definitivo è riportata nell'elaborato di progetto "Planimetria delle indagini geognostiche" a cui si rimanda.

7. SISMICITA'

7.1 STORIA DEL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA ANTISISMICA

L'esecuzione delle indagini e la stesura della relazione sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme in vigore e dagli standard di lavoro pubblicati. In particolare è stato fatto riferimento ai seguenti documenti normativi e legislativi:

-O.P.C.M. n.3274 del 2003

Il riordino della normativa antisismica in Italia inizia con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 2003 che fornisce i primi elementi in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. E' in questa ordinanza che viene introdotta la classificazione dei terreni in base al parametro Vs30.

- DGR Lazio n. 7566 01 agosto 2003

Prime disposizioni per la riclassificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione della OPCM 3274/2003

- NTC 23 settembre 2005

Il 23 settembre 2005 vengono pubblicate in Gazzetta Ufficiale le nuove NTC, che contengono tutta la normativa italiana relativa alla progettazione degli edifici.

-OPCM n. 3519 28 aprile 2006

Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.

- DM 14 gennaio 2008

Il 4 febbraio 2008 viene pubblicato in Gazzetta Ufficiale il DM 14 gennaio 2008 contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, la cui entrata in vigore era prevista per il 5 marzo 2008.

Le norme definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, le prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

A fine gennaio 2008 una Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri fornisce indicazioni per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle NTC.

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti fornisce, con la Circolare 617/2009, le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC di cui al DM del 14 gennaio 2008, che rappresenta – ha spiegato il Ministero – “la più avanzata espressione normativa a tutela della pubblica incolumità nel settore delle costruzioni”.

-DGR Lazio n.387 del 22 maggio 2009 e s.m.i.

Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 Aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03.

-DM N.8/2018

In data 17 gennaio 2018 è stato pubblicato il decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n. 8/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni” entrato in vigore il 22 marzo 2018 che ha leggermente modificato le categorie di suolo e di cui in data 21 gennaio 2019 sono state pubblicate le istruzioni per l'applicazione.

7.2 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

Il territorio nazionale è caratterizzato da una sismicità che si distribuisce lungo fasce a caratteristiche sismiche omogenee, variamente orientate, denominate Zone Sismogenetiche.

La zonazione ZS9 (INGV, 2004), già evoluzione di zonazioni precedenti (ZS4, 2000) mette in risalto la disposizione di tali zone; essa è stata elaborata in modo da soddisfare alcuni requisiti fondamentali, tra i quali è opportuno citare:

- la possibilità di fornire, per ogni ZS, una stima di profondità dei terremoti utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;
- fornire, per ogni ZS, un meccanismo di fagliazione prevalente utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate su tale meccanismo, mediante i coefficienti proposti tramite appositi algoritmi.

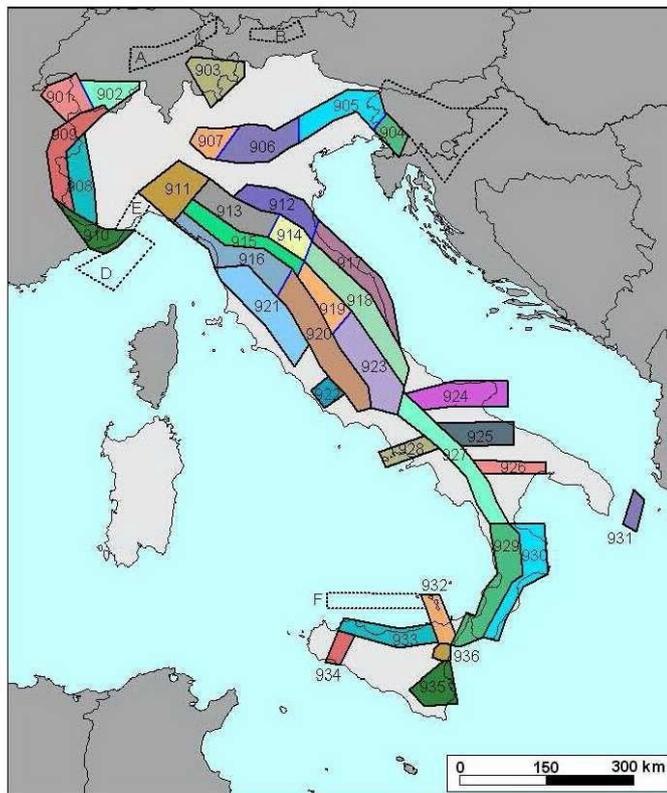


Figura 15-Zonazione sismogenetica del territorio nazionale (INGV, 2004). I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità.

I dati di sismicità ottenuti dai database di riferimento sono stati gestiti in associazione con gli elementi descritti attraverso la zonazione ZS9, allo scopo di predisporre gli elementi di ingresso per il calcolo della pericolosità sismica sull'intero territorio nazionale.

Il territorio del tracciato in esame compreso fra l'estremo nord del comune di Roma (Municipio III) e il comune di Monterotondo ricade in parte nella Zona Sismogenetica 920 che coincide con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000). Questa zona è

caratterizzata da una sismicità generalmente di bassa energia che solo sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

Le attuali strutture tettoniche dell'appennino derivano da due distinte fasi:

- una prima fase di tettonogenesi che va dal trias superiore al miocene medio(con una durata di circa 170 milioni di anni) durante la quale si origina un'alternanza di aree di alti paleostrutturali più stabili e poco subsidenti ed aree più prettamente subsidenti
- una seconda fase , di orogenesi , che dopo un periodo di arresto della subsidenza fra il miocene superiore ed il pliocene inferiore, è invece caratterizzata da rapidi sollevamenti, accompagnati da locali fenomeni di subsidenza che generano le fosse intermontane.

La natura relativamente recente (pliocenico-quadernaria) delle unità affioranti nell'area Romana fanno sì che le osservazioni dirette di faglie e fratture siano globalmente scarse, con rigetti in genere modesti in finzione di litologie per altro poco conservative. Dati recenti hanno consentito di confermare l'esistenza di elementi tettonici che interessano la formazione della argille grigio azzurre plioceniche con una fase tettonica prevalentemente posizionata al passaggio fra pliocene superiore e pliocene inferiore e caratterizzata da sistemi coniugati orientati tra NO-SE e NNO-SSE con una generale immersione verso SE.

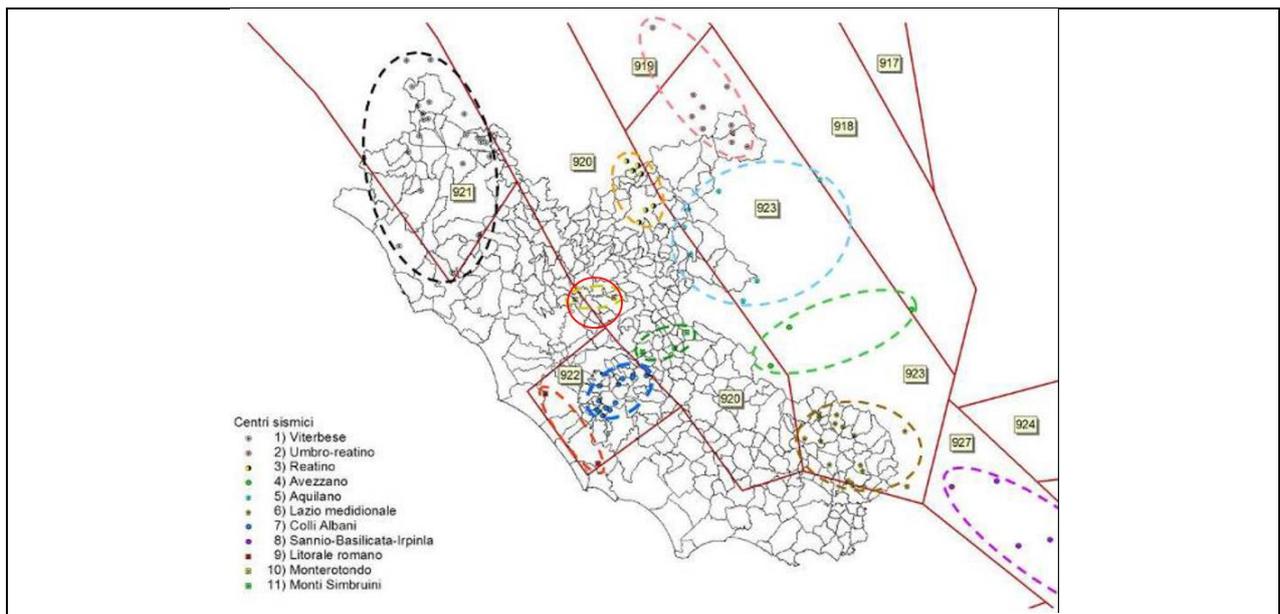


Figura 16- Localizzazione dell'area di intervento e zone sismogenetiche per la regione Lazio.

Il Lazio, è attraversato da fasce allungate preferenzialmente in direzione NW – SE, nella direzione della costa tirrenica e della catena montuosa appenninica. Lungo queste fasce la sismicità si distribuisce in modo omogeneo e gradualmente crescente dalla costa verso l'Appennino.

Le fasce sismiche presenti determinano una distribuzione degli effetti sismici differenziati a seconda dei vari territori della regione: con massimi danneggiamenti nelle zone pedemontane del reatino e del frusinate e gradualmente minori spostandosi verso le aree costiere.

Relazione Geologica

Come si evince dalla Mappa delle Massime Intensità Macrosismiche osservate– I_{max} negli ultimi 1000 anni la metà dei comuni della Regione rientrano di intensità comprese fra l'VIII/IX° della scala MCS. Inoltre si nota come nel frusinate e nel reatino non vi siano comuni che abbiano risentito intensità macrosismiche inferiori all'VIII° della scala MCS.

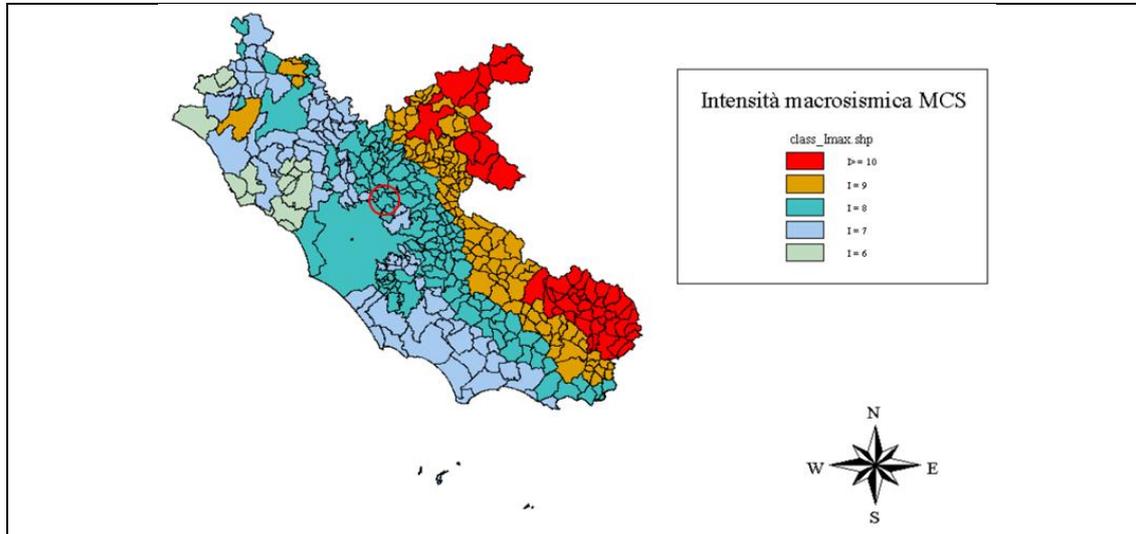


Figura 17-Mappa delle Massime Intensità Macrosismiche

Per il territorio in esame (Settore settentrionale del III Municipio del comune di Roma e comune di Monterotondo) è stata stimata un'intensità macrosismica I_{max} pari ad 8 della scala MCS.

La figura sottostante illustra l'ubicazione delle cosiddette "faglie capaci" nell'intorno dell'area di Monterotondo, la cui presenza è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA, disponibile on-line presso il Servizio Geologico Nazionale (ISPRA, 2011).

Il termine faglie capaci è utilizzato per descrivere le faglie 'sismiche' con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente capaci di produrre deformazioni in superficie. La riattivazione di faglie capaci in occasione di eventi sismici di intensità elevata è in grado di produrre fenomeni di rottura superficiale in prossimità delle aree epicentrali.

Dall'analisi del suddetto catalogo non si rileva la presenza di faglie capaci nelle aree prossime alla zona di studio.

Relazione Geologica

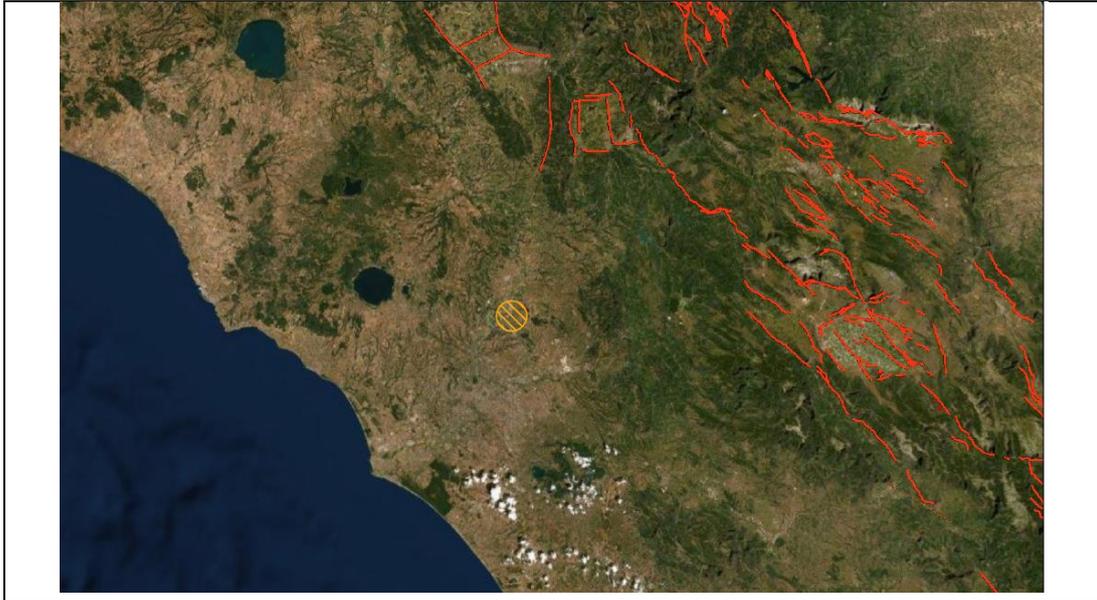


Figura 18- Mappa delle faglie capaci estratta dal “Catalogo delle Faglie Capaci (ITHACA-ISPRA)” con in evidenza la zona di progetto.

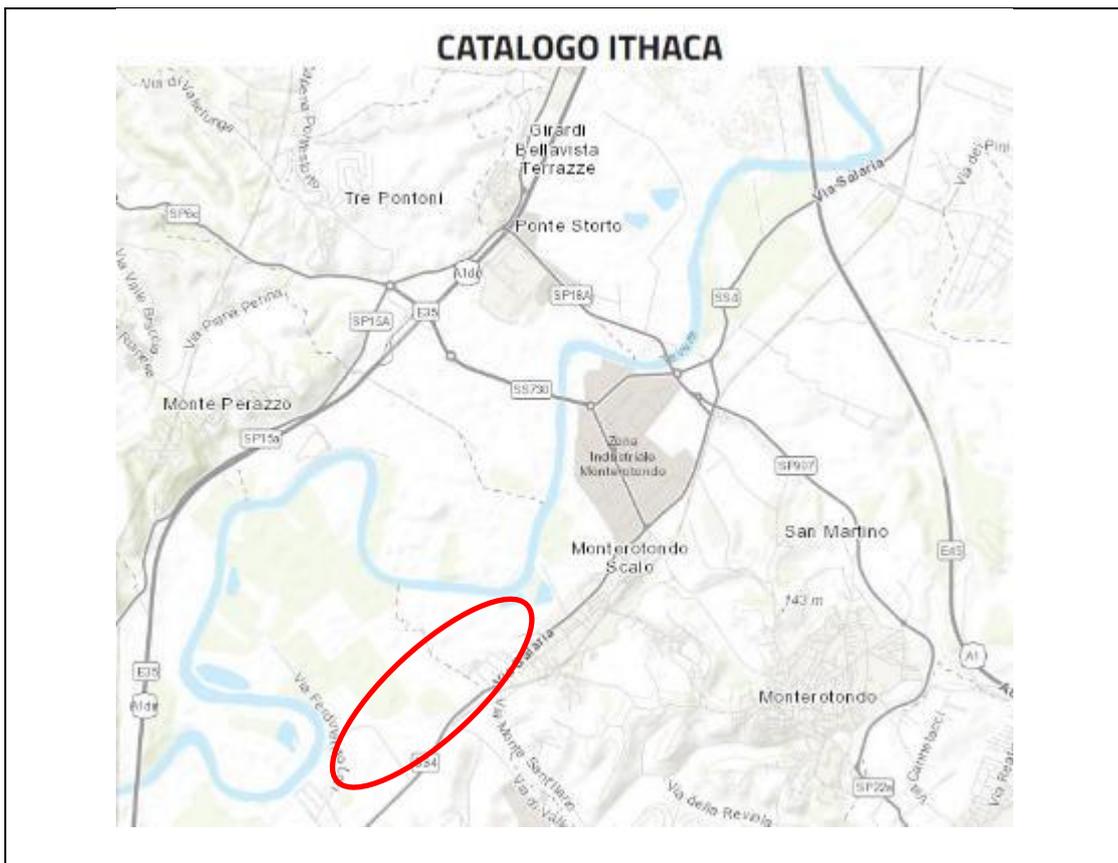


Figura 19 Mappa di dettaglio estratta dal “Catalogo delle Faglie Capaci (ITHACA-ISPRA)” che evidenzia l’assenza di faglie capaci nell’area di progetto .

7.3 SISMICITÀ STORICA

L'analisi della sismicità storica per l'area oggetto di studio è stata condotta consultando il Database Macrosismico Italiano DBMI15, 2015 (disponibile nel portale dell'INGV), da fonti storiche e informazioni reperibili in letteratura. Il DBMI fornisce un set di dati d'intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani dal 1000 al 2014. Per ogni evento nel database è riportata l'indicazione della data, la descrizione dei danni e la stima dell'Intensità macrosismica secondo la scala EMS98 (European Macroseismic Scale; Grünthal,1998). Il DBMI15 presenta le intensità adottando lo standard proposto da AHEAD, cioè numeri arabi interi e, nel caso di attribuzioni incerte si indicano i due estremi separati da un trattino (es.: 5-6, 7-8).

Tale standard applica rigorosamente anche le indicazioni delle scale macrosismiche, secondo cui non è possibile assegnare un'intensità a edifici isolati o territori estesi, nei cui casi si altera l'intensità riportata dallo studio originale. Se le informazioni disponibili non sono considerate sufficienti per stimare un'intensità, è possibile adottare codici descrittivi come "D" per danno, o "F" per sentito ("Felt").

Il tracciato in esame partendo da Sud ricade inizialmente nella parte finale del territorio del III municipio del comune di Roma per poi passare ad interessare il territorio del comune di Monterotondo.

Nelle tabelle che seguono sono riportati gli effetti risentiti, estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Gruppo di Lavoro CPTI) dell'INGV riferiti al comune di Monterotondo che risulta più vicino alle sorgenti sismogenetiche e risulta maggiormente valido come riferimento per la tratta in oggetto rispetto al centro di Roma .

Il Database Macrosismico Italiano 2015 riporta per l'area in esame (area di Monterotondo) n° 39 eventi, che si riportano di seguito:

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1484	01	19				Sabina	6	6-7	5.02
5	1750	02	08				Colli Albani	6	5	4.50
F	1751	07	27	01			Appennino umbro-marchigiano	66	10	6.38
5	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85
4	1876	10	26	14	18		Monti Prenestini	29	7	5.06
5-6	1892	01	22				Colli Albani	81	7	5.14
3	1894	10	29	03	58		Alto Aniene	13	5	4.12
4-5	1895	11	01				Campagna romana	94	6-7	4.83
4-5	1898	06	27	23	38		Reatino	186	8	5.50
4-5	1899	07	19	13	18	5	Colli Albani	122	7	5.10
6	1901	04	24	14	20		Sabina	44	8	5.25
5	1902	10	23	08	51		Reatino	77	6	4.74
4-5	1904	02	24	15	53	2	Marsica	56	8-9	5.68
2-3	1904	02	25	00	29	1	Marsica	34	5-6	4.56
4	1909	08	31	13	41		Roma	44	5	4.15
5	1911	04	10	09	43		Colli Albani	79	6	4.74
7-8	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
4-5	1917	07	08	02			Appennino laziale-abruzzese	44	5-6	4.68
4	1919	10	22	06	10		Anzio	142	6-7	5.22
4-5	1922	12	29	12	22	0	Val Roveto	119	6-7	5.24
3-4	1923	05	13	14	30	5	Valle del Salto	21	5	4.33
3	1927	10	11	14	45	0	Marsica	81	7	5.20
4-5	1927	12	26	15	06	1	Colli Albani	38	7	4.89

Relazione Geologica

2	1930	10	30	07	13	Senigallia	268	8	5.83
3	1957	04	11	16	19	Valle del Salto	46	6	4.94
4	1958	06	24	06	07	Aquilano	222	7	5.04
2-3	1961	04	10	06	56	Alto Aniene	19	6	4.55
2	1961	10	31	13	37	Reatino	84	8	5.09
4-5	1979	09	19	21	35	Valnerina	694	8-9	5.83
NF	1980	10	01	00	57	3 Frusinate	41	5	4.26
3	1984	05	07	17	50	Monti della Meta	911	8	5.86
3	1989	10	23	21	19	1 Colli Albani	65	6	4.32
NF	1995	06	12	18	27	4 Campagna romana	125	5-6	3.79
4	1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4	1997	09	26	09	40	2 Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4-5	1997	11	06	02	20	2 Monti Tiburtini	91	5-6	4.19
4-5	2000	06	27	07	32	3 Valle dell'Aniene	138	6	4.24
NF	2001	03	23	00	50	1 Sabina	85	5	3.77
NF	2005	12	15	13	28	3 Val Nerina	350	5	4.14

Tabella 4 Catalogo sismico di sito di Monterotondo. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2004 (I0 = intensità epicentrale; Mw= magnitudo; Int= intensità risentita al sito; NMDP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto).

Le intensità seguono la normalizzazione effettuata dal DBMI15 che seguono i codici riportati nelle tabelle A e B a seguire.

Codice	Val. ass.	Descrizione	MDP
RS	-	Registrazione strumentale. Osservazioni scartate	-
NR	-	Non riportato (<i>Not Reported</i>). Osservazioni scartate	-
W	-	Onde anomale, tsunami (<i>sea Waves</i>). Oss. scartate	-
E	-	Effetti ambientali (<i>Environmental effects</i>). Oss. scartate	-
G	0.2	Indicazione generica di danno a un sito	5
NF	1	Non percepito (<i>Not Felt</i>)	24012
NC	1.8	Non classificato (<i>Not Classified</i>)	111
SF	2.9	Percepito leggermente (<i>Slightly Felt</i>)	49
F	3.9	Percepito (<i>Felt</i>)	5146
HF	5.1	Percepito distintamente (<i>Highly Felt</i>)	118
SD	5.6	Danno leggero (<i>Slight Damage</i>)	22
D	6.4	Danno (<i>Damage</i>)	679
HD	8.6	Danno grave (<i>Heavy Damage</i>)	184

Tabella 5 Normalizzazione delle intensità originali per tipologia di località particolari.

Tra parentesi è indicato il valore numerico associato ad uso interno di DBMI.

Relazione Geologica

Intensità originale	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	MDP
no SC											91116
AL											106
CQ											32
DL	NF	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	53
SS	(1)	(1.5)	(2)	(2.5)	(3)	(3.5)	(4)	(4.5)	(5)	(5.5)	241
MS											3603
UL											43
IB	NF			SF			F		HF	SD	87
TE	(1)			(2.9)			(3.9)		(5.1)	(5.6)	28

Intensità originale	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	MDP
no SC											20135
AL											42
CQ											12
DL	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	146
SS	(6)	(6.5)	(7)	(7.5)	(8)	(8.5)	(9)	(9.5)	(10)	(10.5)	207
MS											517
UL											33
IB		D				HD					77
TE		(6.4)				(8.6)					25

Figura 20 - Grafico di distribuzione tempo-intensità risentita al sito di interesse (Is) dei terremoti verificatisi nell'area di Monterotondo dall'anno mille all'anno 2017 con intensità risentita pari o superiore al IV grado MCS (fonte INGV)

Nel grafico sottostante si riportano gli andamenti delle intensità degli eventi sismici nel tempo, il grafico considera tutti i terremoti con intensità comprese tra 2 e 8 per un arco temporale dal 1450 al 2020.

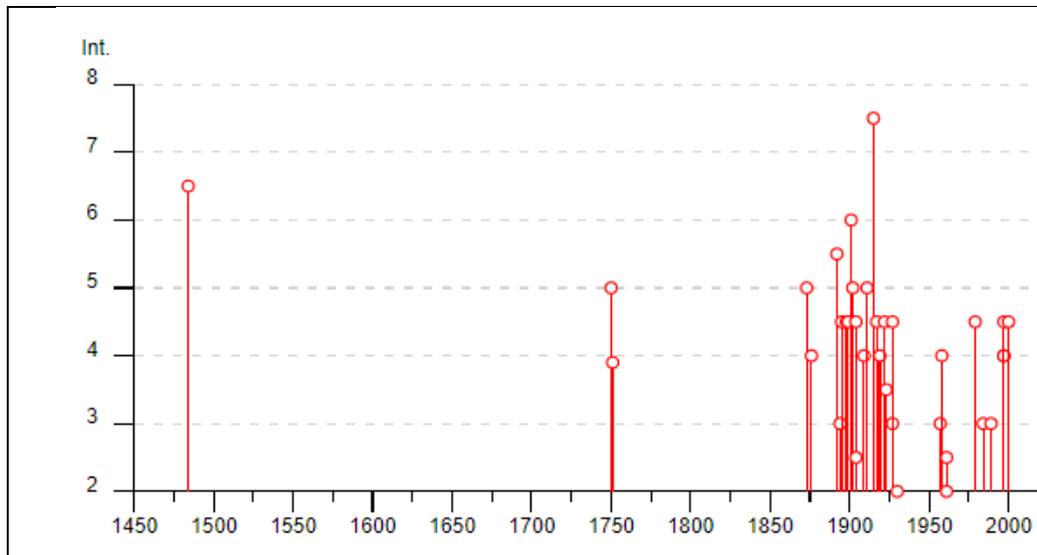


Figura 21- Grafico di distribuzione tempo-intensità degli eventi sismici rilevati per l'area d'interesse (fonte INGV)

Come si evince a partire dal 1850 si è verificato un aumento degli eventi sismici, la zona infatti risente delle seguenti sorgenti sismogenetiche composite: la sorgente "Salto Lake-Ovindoli-Barrea-ITCS025" ad est e a sorgente composita "Castelli Romani- ITCS086" a sud.

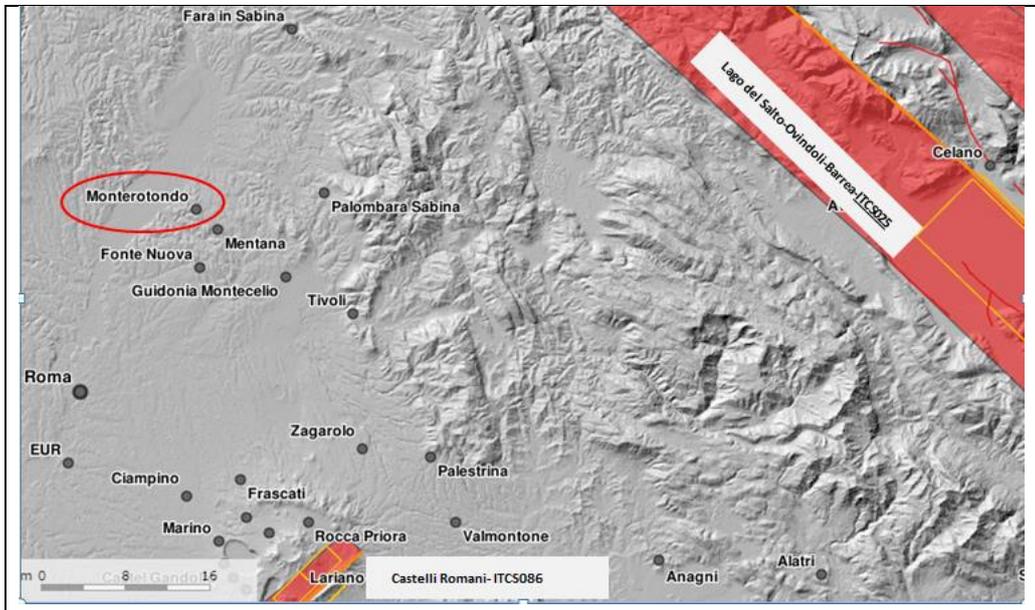


Figura 22 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche estratta dal "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS-version 3)".

La sorgente composita *Salto Lake-Ovindoli-Barrea* si trova a cavallo della dorsale dell'Appennino centrale tra i rilievi della pianura reatina (a nord-ovest) e l'alta valle del Sangro R. (a sud-est), attraversando la pianura del Fucino. Questa Sorgente fa parte del nucleo del sistema di faglie normali dell'entroterra abruzzese che segna il confine estensionale occidentale dell'Appennino centrale.

I cataloghi storici e i rilevamenti strumentali (Boschi et al., 2000; CPTI Working Group, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) evidenziano che questa zona è caratterizzata da una magnitudo compresa tra $4,5 < M_w < 5,0$, riflettendo uno scenario di danno particolarmente significativo. Infatti questa sorgente è stata colpita da vari terremoti complessi e distruttivi; tra i principali si ricordano quello del 9 settembre 1349 (con M_w 6.5, Aquilano) e quello del 13 gennaio 1915 (M_w 7.0, Avezzano). Quest'ultimo è sicuramente uno dei terremoti più studiati della storia sismica italiana, vista anche la sua insorgenza entro il XX secolo. Infine, all'estremità meridionale di questa sorgente, si è verificato il terremoto dell'Appennino Abruzzese del 7 maggio 1984 (M_w 5.9).

Uno dei segmenti di questa faglia è stato responsabile del catastrofico evento del 1915, e a sud della Sorgente, un'ulteriore faglia ha causato l'evento del 1984, che si rivela abbastanza significativo per la sua posizione al passaggio tra i sistemi di faglia normale di grandi dimensioni con immersione SW (in Abruzzo) e di NE (in Molise) dal centro all'Appennino meridionale.

Alcuni segmenti di questa sorgente sono stati associati a terremoti distruttivi chiave che si sono verificati in quest'area.

Parametri della zona sismogenetica **Salto Lake-Ovindoli-Barrea**

- Profondità massima: 1.0
- Profondità minima: 14.5
- Magnitudo massima : 6.7

La sorgente composita “*Castelli Romani- ITCS086*” si trova a cavallo della spalla meridionale e sud-occidentale del Complesso Vulcanico dei Colli Albani, a circa 30 km a SE di Roma. Questa sorgente è caratterizzata dalla presenza di una faglia normale ad angolo alto, con immersione NW, perpendicolare al margine tirrenico tendente NW-SE della regione Lazio. La zona interessata è quella situata sul bordo settentrionale del complesso vulcanico dei Colli Albani, un’area dove in tempi geologicamente recenti sono stati attivi alcuni crateri vulcanici.

I cataloghi storici (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Guidoboni et al., 2007) mostrano una concentrazione di terremoti che hanno provocato effetti da moderati a molto importanti. In particolare, questa regione è stata interessata dal 1 giugno 1829 (Mw 5.2, Colli Albani), 13 luglio 1810 (Mw 5.2, Albano), 6 febbraio 1884 (Mw 5.2, Albano), 17 gennaio 1886 (Mw 5.2, Albano) , 22 gennaio 1892 (Mw 5.2, Colli Albani), e il 26 agosto 1806 (Mw 5.6, Colli Albani).

Questa sorgente si basa sul principale sistema di faglie orientate NE-SW presente nell’area del Complesso dei Colli Albani (De Rita et al., 1988; Faccenna et al., 1994; De Rita et al., 1995a; Giordano et al., 2006) , e sul modello strutturale principale, desunto dai dati geomorfologici (Caputo et al., 1995).

Il segmento principale di questa sorgente è stato associato al terremoto del 26 agosto 1806.

Parametri della Zona Sismogenetica **Castelli Romani:**

- Profondità massima: 1.0
- Profondità minima: 14.5
- Magnitudo massima : 5.6

In conseguenza dei recenti eventi sismici che hanno interessato la provincia di Roma e la città stessa (sisma del 23 giugno 2019 con magnitudo 3.6 località Colonna) l’INGV ha spiegato come osservando i fenomeni sismici recenti, dal 1985 ad oggi, si nota che sono 5 gli eventi di magnitudo pari o superiore a 3.0 con epicentri molto vicini tra di loro. La zona interessata è quella situata sul bordo settentrionale del complesso vulcanico dei Colli Albani, un’area dove in tempi geologicamente recenti sono stati attivi alcuni crateri vulcanici. Si tratta di una zona che si trova compresa tra l’area sismica dei Colli Albani a sud, la quale è caratterizzata da una sismicità superficiale e la catena appenninica a est, dove invece si sono registrati eventi sismici con una magnitudo “importante”.

Generalmente nell’area romana, e pertanto nella zona interessata dai lavori di progetto (Monterotondo) gli eventi sismici hanno raggiunto la magnitudo 4. Per quanto riguarda i terremoti recenti non sono avvertiti “di riflesso” come nel caso di quelli dell’estate del 2016 ma si tratta di eventi sismici generati da una faglia che si estende parallelamente alla dorsale appenninica.

La provincia di Roma è ricompresa, quindi, nella zona a bassa sismicità che comprende i Comuni che “possono essere soggetti a modesti scuotimenti”. Le zone sismogenetiche del Lazio che si trovano nell’area romana comprendono, oltre all’area vulcanica dei Colli Albani, anche la valle dell’Aniene, i monti Tiburtini e Prenestini, il Frusinate e i monti Vulsini e poi via via verso il rietino e la zona di Amatrice. Il rischio sismico del territorio, pertanto aumenta man mano che ci si sposta verso la catena appenninica,

In conclusione, per quanto riguarda la zona di Monterotondo, nonostante non sia interessata direttamente dalla presenza di faglie capaci e zone sismogenetiche, la conformazione geologica e stratigrafica del sito in esame, caratterizzato dalla presenza dei terreni alluvionali della valle del Tevere da luogo a fenomeni di amplificazione delle onde sismiche, fa sì che anche eventi sismici distanti vengano avvertiti nell'area.

7.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica è da intendersi come “grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane”. L'analisi del livello di pericolosità distingue quindi due fasi: la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche; l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

Negli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti normativi e amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

Fino al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 rappresenta una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si stabiliscono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei Comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006.

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV – DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/2006. Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio “zona dipendente”).

A ciascuna zona è attribuito un valore di pericolosità di base espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g); tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

Di seguito si riporta la carta di pericolosità sismica del territorio nazionale:

Relazione Geologica

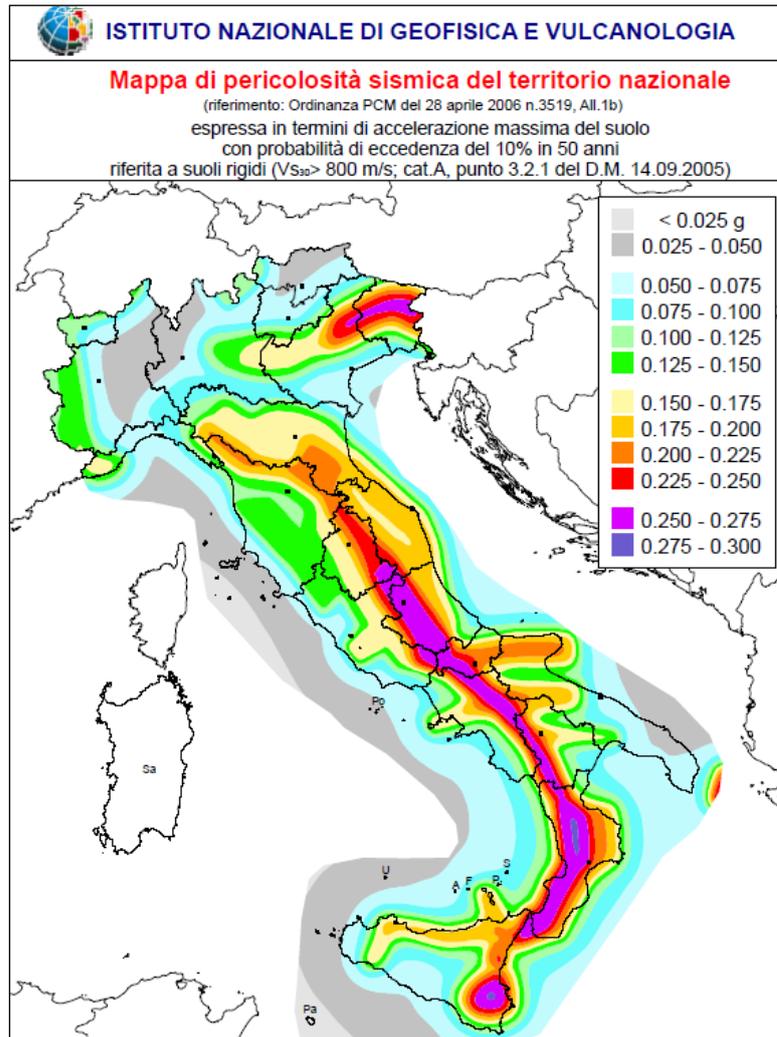


Figura 23- Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale (fonte INGV).

La mappa delle zone sismiche del 2003, suddivide il territorio italiano 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.

Relazione Geologica

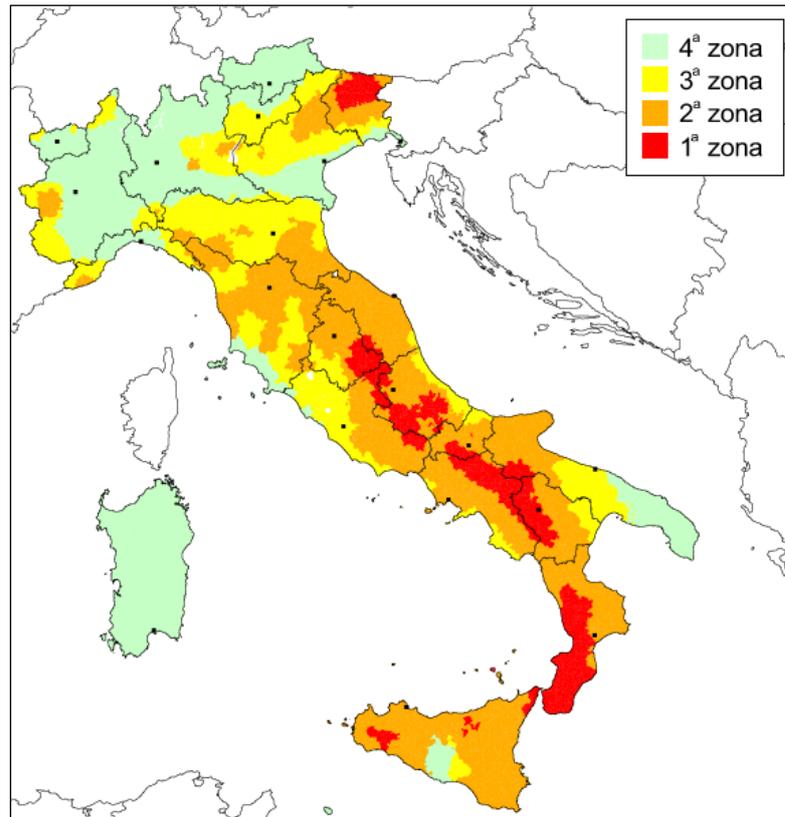


Figura 24-Mappa delle zone sismiche del territorio nazionale del 2003 (fonte INGV).

Zona sismica	Descrizione
Zona 1	É la zona piú pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
Zona 4	É la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

I valori di accelerazione orizzontale massima (a_g) per le varie zone sismiche sono riportate nella tabella seguente:

Zona Sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

L'analisi della sismicità nel territorio romano evidenzia che i valori di accelerazione al suolo (a_g) della zona costiera (Ostia) differiscono significativamente da quelli delle zone in prossimità dei Colli Albani o dei Monti Tiburtini e Prenestini pertanto la Regione Lazio nel 2009 ha elaborato una nuova classificazione dove il territorio di Roma è passato dall'essere classificato in un'unica zona sismica (zona 3) ad una suddivisione in Unità Amministrative Sismiche (U.A.S.) che coincidono con i Municipi (i cui confini sono stati ridefiniti con la deliberazione di Giunta Capitolina n.392/2013).



Figura 22 Nuova Classificazione Sismica della Regione Lazio secondo il DGR n. 387/2009 e n. 835/2009 con ubicazione dell'area in esame

La diversa attribuzione ad una zona sismica comporta una differente applicazione della normativa, in particolare in sede di strumenti urbanistici.

Il tracciato in esame ricade nella parte meridionale nel territorio del III Municipio del comune di Roma e nella parte settentrionale nel territorio del comune di Monterotondo. Secondo quanto previsto nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009 e con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019 il comune di Monterotondo ricade nella categoria 2B ((Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti mentre il territorio del III municipio di Roma ricade nella categoria 3° (Zona con pericolosità sismica bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti).

Nella Tabella che segue si riassumono le categorie sismiche :

Comune	Nuova Zona sismica DGR 387/09 e DGR 835/09	Zona sismica ai sensi della OPCM 3274/03 e precedente DGR 766/03
Monterotondo	Zona 2B	Zona 2
III Municipio Roma	Zona 3A	Zona 3

Tabella 6 Classificazione sismica del comune di Monterotondo e del III Municipio del comune di Roma

Nella tabella che segue si riportano i valori di accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della regione Lazio., da cui si evince una a_g compresa fra 0,15 e 0,20 per il comune di Monterotondo e una a_g compresa fra 0,10 e 0,15 per il III municipio di Roma

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0,278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Tabella 7 - Suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della Regione Lazio.

Alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate nel 2008 ed aggiornate nel 2018, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), che prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste 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. Q

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Figura 26 e 15, Tr 475 anni), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

Le figure 26 e 27 riportano i valori di pericolosità sismica secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b per l'area in esame. Nella mappa, pubblicata dall'INGV, vengono rappresentati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration). Dalla Figura è possibile evincere che l'area in oggetto ha una PGA (accelerazione di picco su terreno rigido) dell'ordine di 0.100 - 0.150g.

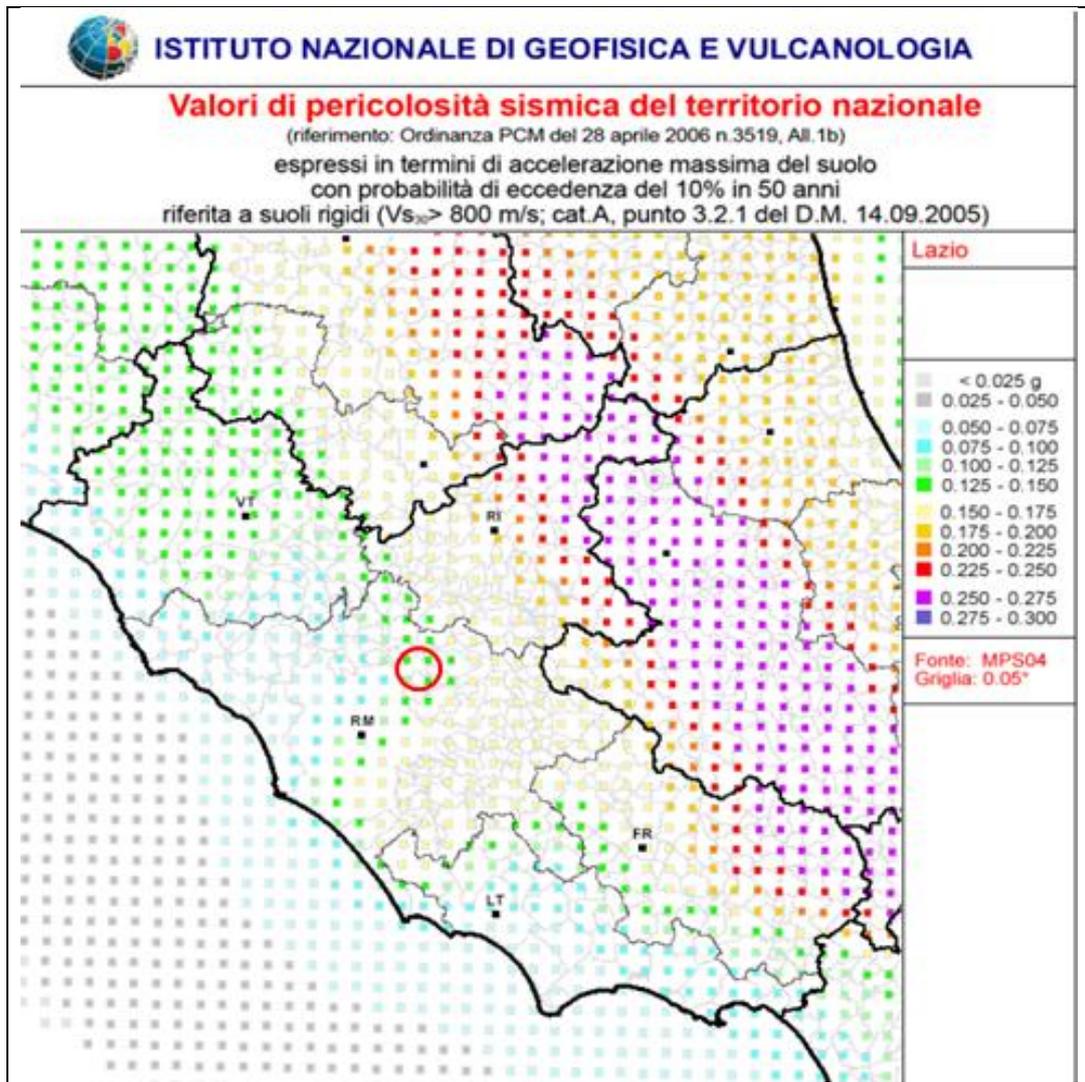


Figura 23 Mappa di pericolosità sismica della regione Lazio (fonte INGV)

Relazione Geologica

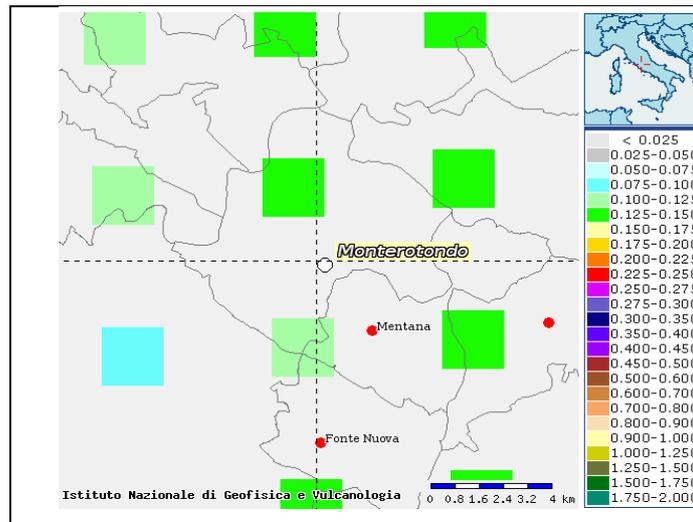


Figura 27-Mappa di pericolosità sismica per la zona di Monterotondo (fonte INGV)

Infine attraverso il processo di disaggregazione è possibile valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità sismica di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Di seguito si riportano le mappe e i grafici di disaggregazione ricavati per l'area di progetto da cui risulta che il terremoto che domina lo scenario di pericolosità presenta magnitudo $M=4.9$ ad una distanza R dal sito di 14.2 km .

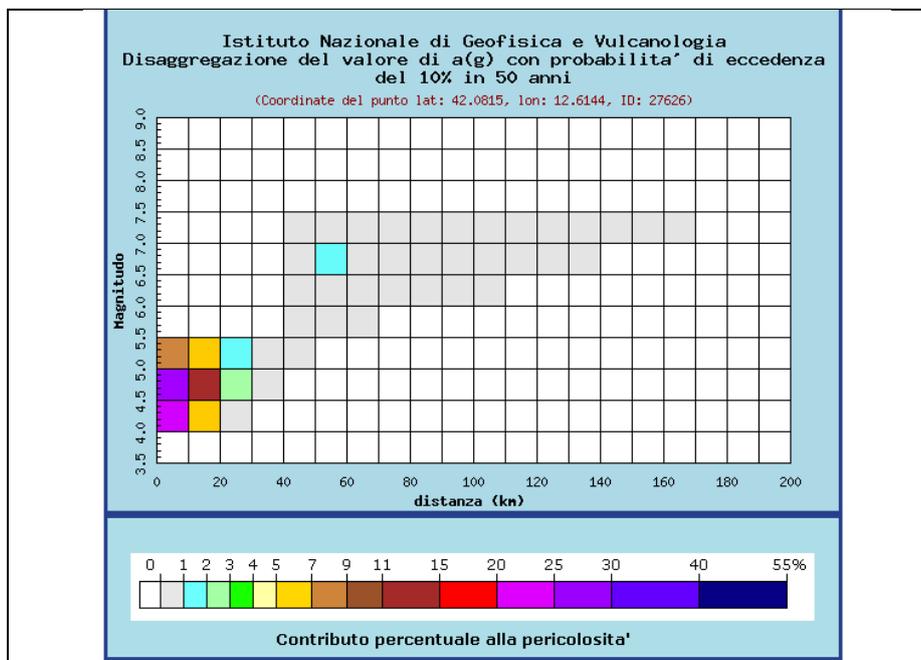


Figura 24- Grafico di disaggregazione per l'area d'interesse (fonte INGV).

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.0815, lon: 12.6144, ID: 27626)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	23.200	28.300	8.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.730	12.700	5.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.398	2.350	1.890	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.077	0.411	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.033	0.133	0.286	0.388	0.284	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.198	0.701	1.100	0.886	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.447	0.917	0.831	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.191	0.603	0.621	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.382	0.461	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.216	0.322	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.140	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.060	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.029	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.900	14.200	1.050

Figura 25-Grafici di disaggregazione per l'area d'interesse (fonte INGV).

7.5 VELOCITÀ SISMICA EQUIVALENTE $V_{s,eq}$ E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale, si valuta mediante specifiche analisi (cap. 7.11.3 delle NTC2018), oppure si può fare riferimento all'approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Nello specifico, ai fini della classificazione del sottosuolo, con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, si fa riferimento alla $V_{s,eq}$, velocità equivalente delle onde di taglio, e non più alla $V_{s,30}$ (NTC2008).

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dalla seguente espressione:

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

con

h_i = spessore dello stato i-esimo;

$V_{s,i}$ = 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 viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali 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 viene riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Le categorie di sottosuolo per le quali è possibile il ricorso all'approccio semplificato, secondo le NTC2018; nella determinazione della risposta sismica locale sono le seguenti:

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nel progetto in esame sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche che hanno consentito di valutare la velocità delle onde S (V_s) e delle onde P (V_p)

- n.1 prospezione sismica a rifrazione tomografica (RIFR_1)
- n.1 indagine sismica in foro down-hole;
- n.2 prospezioni sismiche MASW (MASW_1 e MASW_1bis)

Le indagini in oggetto sono state effettuate nel mese di luglio 2020.

La prospezione sismica a rifrazione ha permesso di ricostruire il modello simostratigrafico del terreno individuando la presenza di tre sismostrati:

- Il primo sismostrato si attesta ad una profondità massima dal piano campagna pari ad 1,5 m, ed è costituito da terreno vegetale. La velocità delle onde di taglio è inferiore a 180 m/s.

- Il secondo sismostrato, la cui interfaccia ha una morfologia irregolare, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 7 e 18 m, ed è costituito da limo argilloso sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 360 m/s.
- Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da argilla maggiormente consistente. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 530 m/s.

Per il calcolo della Velocità Sismica equivalente ($V_{s,eq}$) secondo le NTC2018, sono stati elaborati i risultati delle indagini MASW (MASW_1 e MASW_1bis) E DELLA PROVA Down Hole (DH3).

Prova	Profondità m	Spessore hi	Velocità Vsi	Hi/Vsi	$\Sigma hi/vsi$	H(m)	Vseq	Categoria sottosuolo NTC2018
MASW2	0.4	0.4	182	0.0021	0.0862	30.0	348.1	C
	0.9	0,5	186	0.0026				
	1.4	0.6	172	0.0034				
	2.2	0.7	169	0.0044				
	3.1	0.9	208	0.0045				
	4.3	1.2	255	0.0045				
	5.7	1.4	263	0.0055				
	7.5	1.8	252	0.0072				
	9.8	2.3	275	0.0082				
	12.2	2.4	417	0.0059				
	25.1	12,9	455	0.0283				
30.0	4.9	505	0.0097					
MASW1bis	1.2	1.2	220	0.0056	0.0840	30.0	357.1	C
	2.8	1.5	196	0.0078				
	4.7	1.9	281	0.0068				
	7.1	2.4	301	0.0080				
	10.1	3.0	314	0.0096				
	13.8	3.8	361	0.0104				
	18.5	4.7	375	0.0125				
	24.4	5.9	443	0.0132				
	30.0	5.6	547	0.0103				

Dalle indagini MASW è stata ricavata una velocità sismica equivalente pari a **348 m/s** (MASW1) e di **357 m/s** (MASW1_bis) entrambe riferibili ad una **categoria di sottosuolo C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Relazione Geologica

Prova	Profondità m	Spessore hi	Velocità Vsi	Hi/Vsi	$\Sigma hi/vsi$	H(m)	Vseq	Categoria sottosuolo NTC2018
DH3	1	1	135	0.0074	0.099	30	303	C
	4	3	139	0.0216				
	16	12	296	0.0405				
	24	8	436	0.0183				
	30	6	535	0.0112				

Dalla indagine Down Hole DH3 è stata ricavata una velocità sismica equivalente pari a **303 m/s** riferibile ad una **categoria di sottosuolo C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Riassumendo tutte le indagini eseguite hanno evidenziato una categoria di suolo "C".

Per quanto riguarda l'analisi della risposta sismica locale in relazione alle condizioni topografiche del sito, le NTC2018 prevedono la seguente suddivisione in 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 $i > 30^\circ$

Tabella 8 – Categorie Topografiche (Tab. 3.2.III D.M. 17/01/2018)

Dall'analisi morfologica emerge che il sito rientra nella categoria **T1 "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore a 15°"**.

In funzione delle categorie topografiche sopradescritte e dell'ubicazione dell'opera sono stati definiti i valori 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 di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 9 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 3.2.V D.M. 17/01/2018)

Dalla tabella emerge che per il sito in questione si può adottare **$S_T=1.0$** .

La classe di costruzione di riferimento è la classe IV "Funzioni pubbliche o strategiche importanti" per la quale il coefficiente d'uso C_u è pari a 2 e la Vita Nominale V_N è stata assunta pari a 50 anni.

7.6 MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO

Il Territorio del III municipio del comune di Roma non è stato, alla data odierna, interessato da uno studio di microzonazione sismica di I livello mentre il territorio del comune di Monterotondo è stato nel 2013 interessato da uno studio di Microzonazione sismica di I livello eseguito da un gruppo coordinato dal Dr. Geol. Roberto Agnolet et Alii e successivamente validato dalla regione Lazio.

Tale studio ha consentito di elaborare la “carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”. Tale elaborato fa ricadere la parte di tracciato ricadente nel territorio del comune di Monterotondo in una area stabile ma suscettibile di fenomeni di amplificazione sismica locale.

Di seguito si riporta uno stralcio della suddetta carta con un estratto della legenda originaria



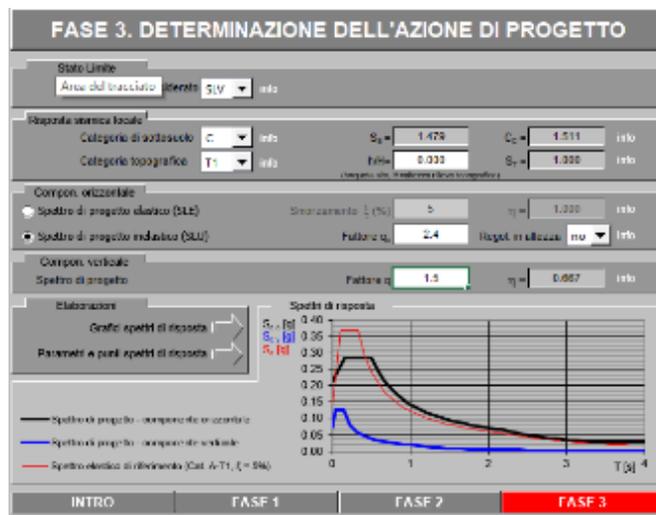
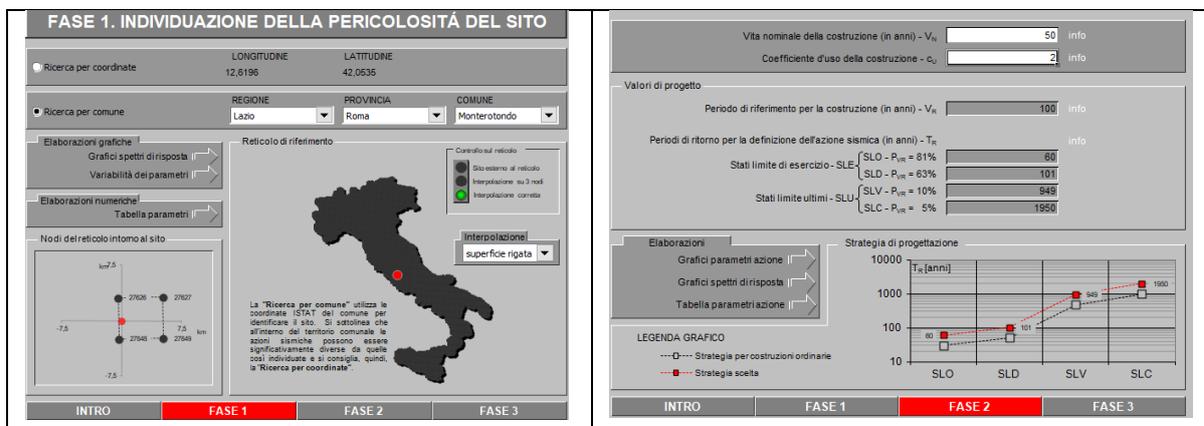
Figura 26 -Stralcio carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MSI livello

— Tracciato in esame ricadente nel territorio del comune di Monterotondo

7.7 DEFINIZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA DI PROGETTO

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni, è stato ricavato puntualmente per il sito in esame attraverso il foglio Excel "Spettri-NTC ver. 1.0.3", disponibile on-line sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, facendo riferimento agli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto.

Nello specifico, considerando la variabilità dei parametri che definiscono lo spettro di risposta lungo il tracciato, si riportano di seguito i risultati ottenuti con riferimento alle coordinate del punto ubicato in corrispondenza della rotatoria A, per il quale si ottiene il valore più alto dell'accelerazione massima a_{max} .



STATO LIMITE	T _R [anni]	a _g [g]	F _o [-]	T _c * [s]
SLO	60	0.057	2.562	0.277
SLD	101	0.068	2.575	0.290
SLV	949	0.143	2.572	0.332
SLC	1950	0.177	2.567	0.341

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max}, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), è data da:

$$a_{max} = S \times a_g$$

dove

$$a_g = \mathbf{0.143};$$

$$S = S_T \times S_S;$$

$$S_S = 1.479;$$

$$S_T = 1.0;$$

Risulta quindi:

$$a_{max} = 1.00 \times 1.479 \times 0.143 = \mathbf{0.211}$$

7.8 RIEPILOGO CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO E DEI SUOLI

- Regione Lazio

- Comune di riferimento: Roma – Municipio III e Monterotondo

- Classe sismica: Il territorio in cui si sviluppa il tracciato di progetto rientra, nella parte meridionale, nel territorio del III municipio del comune di Roma che ricade in zona sismica 3a (zona a pericolosità sismica bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti) mentre nella parte settentrionale rientra nel territorio del comune di Monterotondo che ricade in zona sismica 2b (zona a pericolosità sismica media). Ai fini di garantire maggiori condizioni di sicurezza si è ritenuto opportuno utilizzare per tutto il tracciato la zona 2b.

- Categoria di sottosuolo: l'analisi delle velocità sismiche rilevate dalle prove MASW e da una prova Down Hole emerge che la categoria di sottosuolo dei terreni investigati risulta **C** (NTC 2018) (riferita alla quota di piano campagna).

- Categoria topografica: in accordo con il contesto geomorfologico di pianura alluvionale del fiume Tevere, il sito di interesse è classificato con categoria topografica T1 (NTC 2018).

- Coefficiente di amplificazione topografica: per il sito in questione si può adottare ST=1.0.

- Microzonazione sismica di I livello: studio presente solo per la porzione di territorio ricadente nel comune di Monterotondo in base alla quale il tracciato rientra in una area stabile ma suscettibile di amplificazione sismica locale.

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max}, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), è valutata pari a **0.211**.

8. VALUTAZIONI SUL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Nell'area oggetto degli interventi i terreni di fondazione sono costituiti principalmente da limi argillosi con modesti strati di sabbia limosa.

I fenomeni di liquefazione, che interessano prevalentemente depositi sabbiosi saturi, dipendono dalle proprietà meccaniche dei terreni, dalla combinazione del loro stato tensionale efficace e dell'indice dei vuoti, dall'intensità e dalla durata (n° di cicli) dell'azione sismica.

8.1 VERIFICA CRITERI DI ESCLUSIONE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni *NTC2018* permettono di omettere la verifica a liquefazione qualora si manifesti una delle seguenti condizioni:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, con piano campagna orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ e $q_{C1N} > 180$ essendo q_{C1N} la resistenza determinata da prove penetrometriche statiche *CPT* normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica del terreno oggetto di verifica esterna al fuso granulometrico individuato dalle norme.

Le Linee Guida A.G.I. del 2005, "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", in aggiunta alle citate condizioni, indicano che le verifiche a liquefazione possono essere omesse anche nel caso si manifestino le seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni di *free-field* minori di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- Frazione di fine, *FC*, superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10$;
- $FC \geq 35\%$, e resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 20$;
- $FC \leq 5\%$ e resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 25$;

(*FC* è la frazione fina definita come il passante al setaccio 0.0074 mm).

La maggior parte delle curve granulometriche ottenute dalle prove di laboratorio dei campioni indisturbati prelevati dai sondaggi geognostici, confermano che i litotipi presenti sono riferibili prevalentemente a terreni di grado granulometrico fine (limi e argille).

La natura dei terreni e la loro composizione classifica il terreno al di fuori del fuso granulometrico suscettibile a liquefazione e di conseguenza la verifica a liquefazione come da normativa vigente (*NTC 2018*) potrebbe essere omessa; tuttavia si riscontra la presenza di lenti e/o livelli saturi di sabbie limose che dagli andamenti della resistenza alla punta delle prove penetrometriche statiche continue potrebbero rientrare nelle condizioni di verifica. Si è quindi deciso di non escludere a priori la possibilità di liquefazione e di eseguire ulteriori valutazioni in merito.

8.2 METODI DI VERIFICA E RISULTATI

La verifica a liquefazione del deposito è effettuata in condizioni *free-field*. La sicurezza nei confronti della liquefazione, ad una generica profondità, è valutata in termini di coefficiente di sicurezza, F_L :

$$F_L = \frac{CRR}{CSR},$$

con:

CSR = sforzo di taglio indotto dal sisma (normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, σ'_{v0});

CRR = resistenza al taglio ciclica del terreno ovvero stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione o al manifestarsi di grandi deformazioni plastiche (normalizzato rispetto a σ'_{v0}).

Il termine CSR è stimato a partire dal valore dell'accelerazione massima attesa in superficie a_{max} , per lo specifico stato limite considerato. Il termine CRR è generalmente stimato a partire dai risultati di prove in sito di tipo *SPT*, *CPT* o da misure di velocità di propagazione delle onde di taglio. Oltre alla verifica puntuale, corrispondente alla valutazione dei valori di F_L a differenti profondità, è possibile introdurre un indice degli effetti della liquefazione, detto indice del potenziale di liquefazione, I_L , definito mediante la seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20\text{ m}} F(z) \cdot W(z) \cdot dz, \text{ in cui}$$

z = la profondità dal piano campagna;

$$W(z) = 10 - 0.50 \cdot z;$$

$$F = 1 - F_L \quad \text{se } F_L \leq 1.0;$$

$$F = 0 \quad \text{se } F_L > 1.0.$$

In base al valore di I_L è possibile considerare (*Iwasaki et al.*, 1982):

$I_L \leq 5$: potenziale di rottura basso;

$5 < I_L \leq 15$: potenziale di rottura elevato;

$I_L > 15$: potenziale di rottura estremamente elevato.

Valutazione dello sforzo di taglio indotto dal sisma normalizzato (CSR)

Il termine CSR , ad una specifica profondità, può essere determinato attraverso la seguente espressione (*Seed e Idriss*, 1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove a_{max} è l'accelerazione di picco al piano campagna (determinabile attraverso le prescrizioni delle *NTC2018*); r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo, e può essere stimato mediante la seguente espressione (*Liao e Whitmann*, 1986):

$$r_d = 1.000 - 0.0775 \cdot z \quad \text{per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{per } 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

essendo z la profondità dal piano campagna espressa in metri.

Valutazione del rapporto di resistenza ciclica (CRR) dai risultati delle prove *CPT*

La resistenza alla punta in una prova penetrometrica continua, q_c , è ricondotta ad un valore normalizzato, q_{1CN} , attraverso le seguenti espressioni (*Yould e Idriss*, 1997):

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

Il coefficiente C_Q (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) può essere ricavato per via iterativa della seguente espressione.

$$C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n$$

Il valore di n dipende dalla natura dei terreni e può essere ottenuto in maniera iterativa in funzione dell'indice di comportamento del terreno, I_c ; quest'ultimo è una funzione della resistenza alla punta, q_c , e della resistenza laterale del manicotto, f_s , misurate nelle prove *CPT*.

$$I_c = [(3.47 - \log(Q))^2 + (1.22 + \log(F))^2]^n$$

Con

$$n = 0.5$$

$$Q = (q_c - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$$

$$F = f_s / (q_c - \sigma_{v0})$$

Se l'indice I_c risulta maggiore di 2.60, allora il materiale è classificabile come materiale di tipo argilloso e non risulta necessaria la verifica a liquefazione (*Robertson & Wride, 1998*).

Qualora I_c risulti invece minore di 2.60, il terreno è probabilmente di tipo a grana grossa e la verifica prosegue secondo la seguente procedura iterativa (*Yould e Idriss, 1997*): ponendo il valore di n pari a 0.5, si ricalcola l'indice di comportamento secondo la seguente relazione:

$$I_c = [(3.47 - \log(q_{c1N}))^2 + (1.22 + \log F)^2]^n$$

Qualora dopo il ricalcolo I_c risulti maggiore di 2.60, n viene ulteriormente modificato, assegnandogli un valore pari a 0.75, e si ricalcola il valore di I_c con la precedente equazione.

A partire dal valore di I_c si determina il coefficiente K_c :

$$\text{se } I_c \leq 1.64 \Rightarrow K_c = 1.0$$

$$\text{se } I_c \geq 1.64 \Rightarrow K_c = -0.403 \cdot (I_c)^4 + 5.581 \cdot (I_c)^3 - 21.63 \cdot (I_c)^2 + 33.75 \cdot (I_c) - 17.88.$$

Tale coefficiente, K_c , è necessario per ricondurre il valore della resistenza penetrometrica normalizzata ad un valore equivalente per sabbie pulite:

$$(q_{c1N})_{CS} = q_{c1N} \cdot K_c$$

Dal valore di $(q_{c1N})_{CS}$ è possibile ricavare il valore della resistenza alla liquefazione per eventi sismici di magnitudo 7.5 mediante la seguente espressione valida per le sabbie pulite (*Yould e Idriss, 1997*):

$$\text{se } 50 < (q_{c1N})_{CS} < 160 \Rightarrow (CRR)_{M=7.5} = 93 \left(\frac{(q_{c1N})_{CS}}{1000} \right)^3 + 0.08$$

$$\text{se } (q_{c1N})_{CS} < 50 \Rightarrow (CRR)_{M=7.5} = 0.833 \frac{(q_{c1N})_{CS}}{1000} + 0.05$$

Poiché entrambe le procedure descritte per il calcolo di *CRR* (da prove *SPT* e *CPT*) sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa è necessario ricondurre il carico sismico (*CSR*) a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5, mediante la seguente relazione:

$$(CSR)_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

in cui *MSF* è un fattore di scala per la magnitudo che può essere ricavato come segue:

$$MSF = 6.9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.05815 \leq 1.8 \quad (\text{Idriss e Boulanger, 2004})$$

M rappresenta la magnitudo di riferimento per il sito in esame.

8.2.1 Verifica del tracciato

Ai fini della verifica a liquefazione per l'intervento in oggetto sono disponibili i risultati delle prove penetrometriche statiche; grazie a queste prove, continue con la profondità, è possibile investigare il deposito in esame nella sua globalità. Le figure **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** ÷ **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riportano gli andamenti con la profondità di q_c e f_s , rilevati durante l'esecuzione delle prove; nelle stesse figure è anche riportato l'andamento con la profondità dell'indice di comportamento, I_c e l'eventuale fattore di sicurezza a liquefazione, F_L .

Come è possibile osservare, il coefficiente di comportamento, I_c , ottenuto dall'interpretazione dalle prove assume valori lungo la verticale che solo in pochissimi casi risulta minore di 2.6 (valore per il quale va eseguita la verifica a liquefazione, *Robertson & Wride, 1998*); inoltre, tale valore minore di 2.6 è presente per spessori superficiali modesti. Nel dettaglio, nella prova CPT03, escludendo i primi 0.5 – 0.8 m di terreno da piano campagna, che verranno rimossi nell'ambito delle operazioni di scotico e bonifica dei rilevati stradali, l'indice di comportamento nei primi 15 m da piano campagna non indica la presenza di materiali potenzialmente liquefacibili. Le prove CPTU04, CPTU05, CPTU06, invece, presentano spessori di terreno potenzialmente liquefacibili ($I_c < 2.6$) nei primi 2-4 m da p.c., pertanto, per tali spessori, è stata condotta la verifica di sicurezza come riportato nel §8.2. Le verifiche risultano tutte soddisfatte.

Relazione Geologica

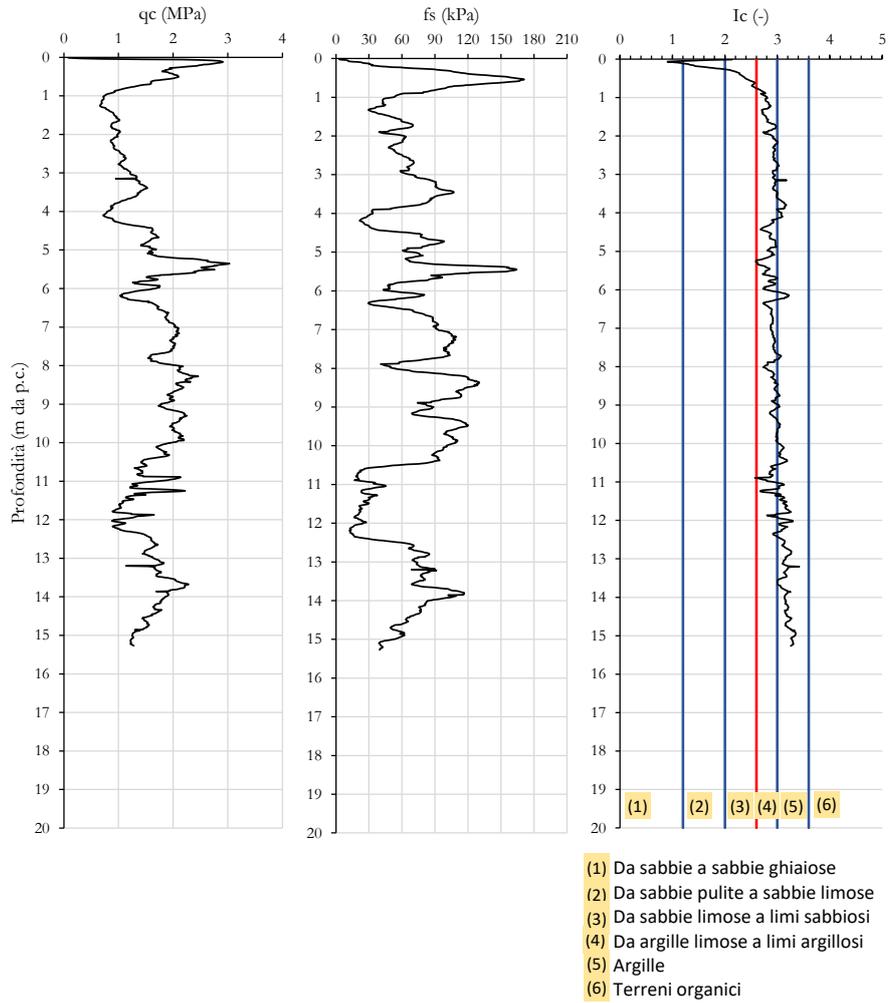


Figura 27 - Prova CPT03: Andamenti con la profondità della resistenza alla punta, della resistenza laterale del manicotto e del correlato indice di comportamento.

Relazione Geologica

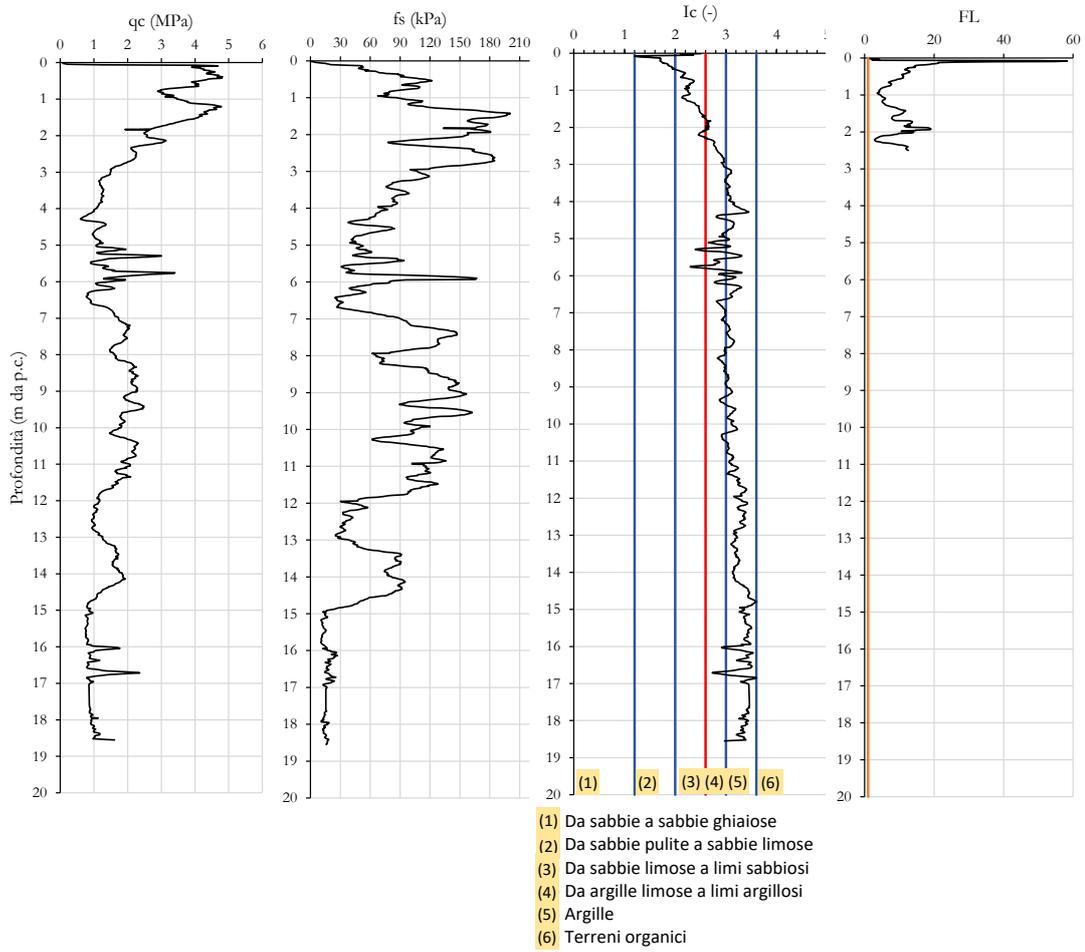


Figura 28-Prova CPT03: Andamenti con la profondità della resistenza alla punta, della resistenza laterale del manicotto e del correlato indice di comportamento.

Relazione Geologica

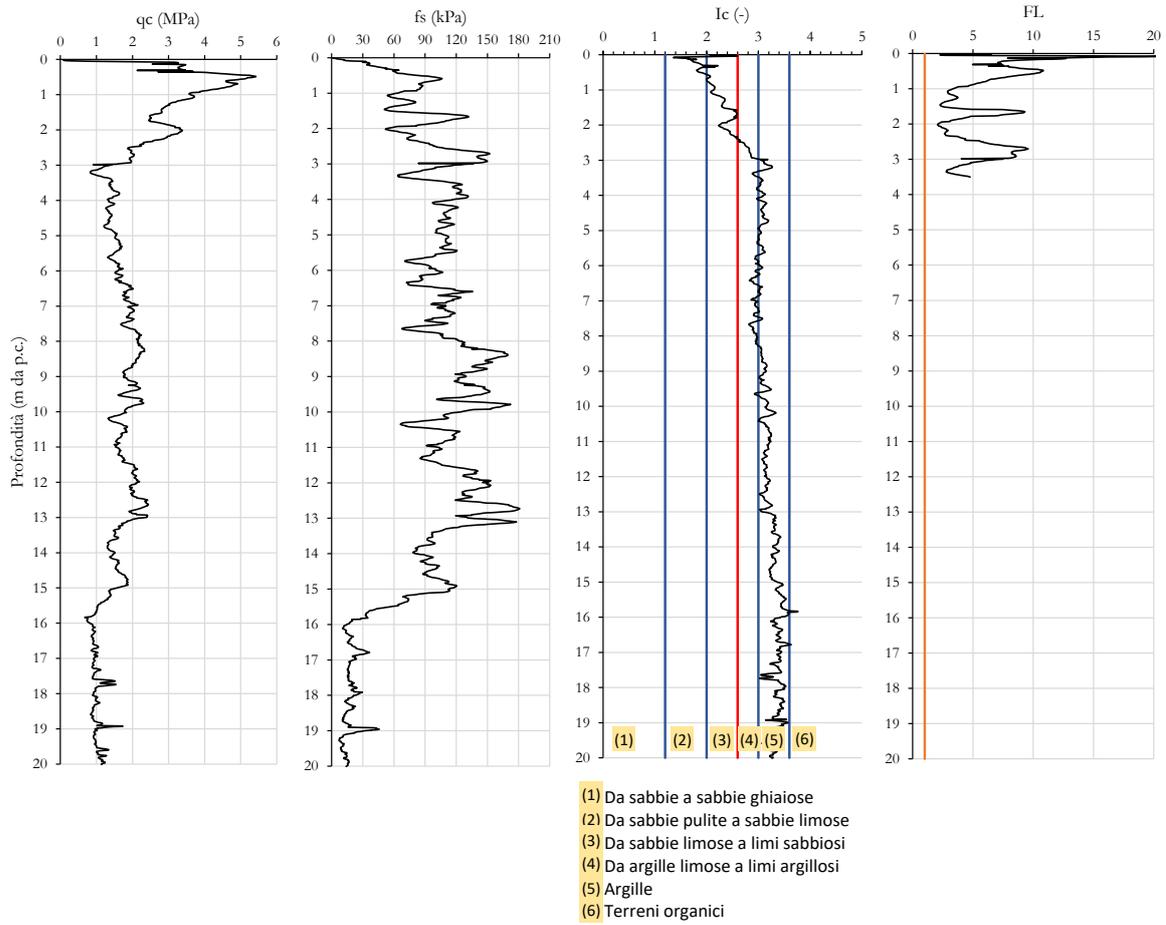


Figura 29- Prova CPT05: Andamenti con la profondità della resistenza alla punta, della resistenza laterale del manicotto e del correlato indice di comportamento.

Relazione Geologica

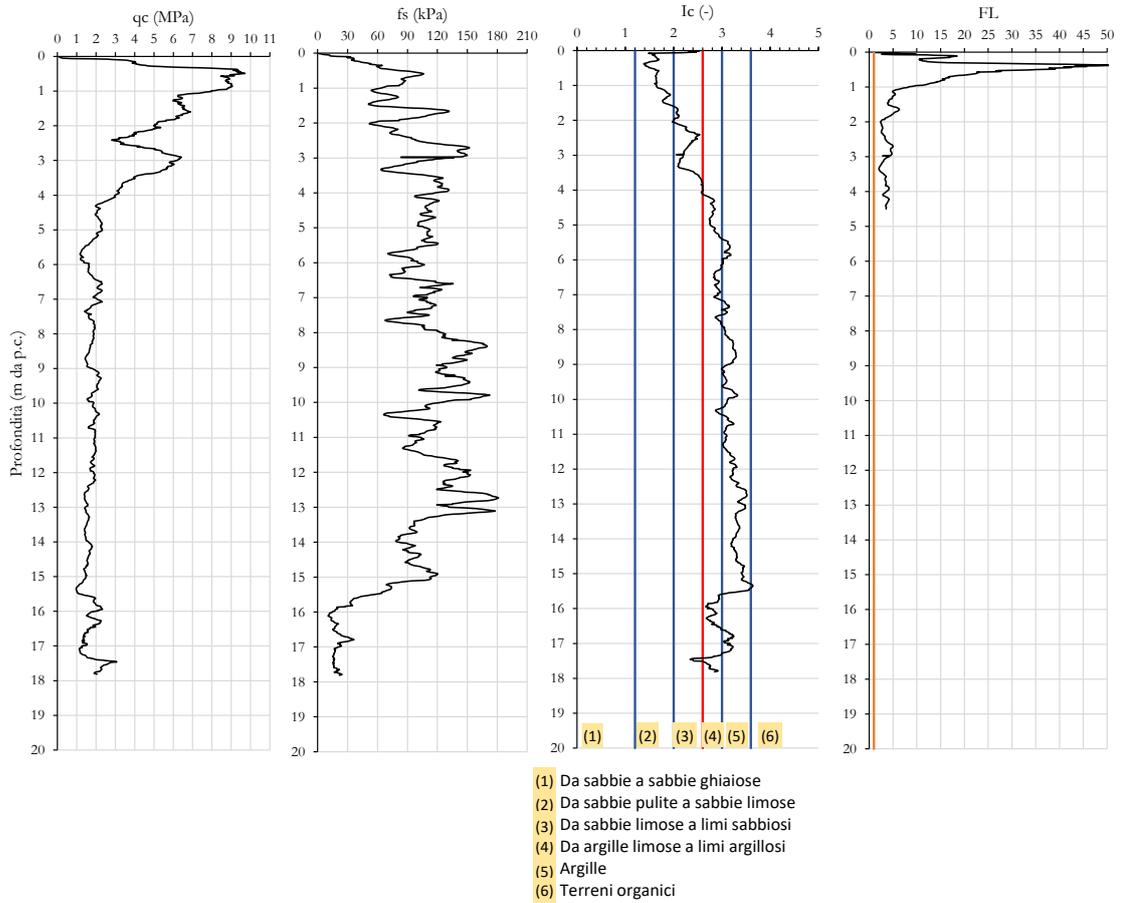


Figura 30-Prova CPT06: Andamenti con la profondità della resistenza alla punta, della resistenza laterale del manicotto e del correlato indice di comportamento.

9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'analisi dei sondaggi geognostici e dai risultati delle prove in sito e di laboratorio uniti alle prove di permeabilità Lefranc (Vedi capitolo [Campagna di Indagine Progetto definitivo 2020](#)) emerge che in generale i tracciati di progetto sono interessati da terreni alluvionali attuali e recenti di origine fluviale e fluvio – lacustre, caratterizzati da granulometrie variabili da limi argillosi, sabbie limoso argillose, e sabbie limose fino a comprendere materiali a componenti più grossolane (ghiaie e sabbie) che si rinvencono a profondità maggiori.

Il substrato è costituito dalle argille plioceniche della formazione di Monte Vaticano (U.M.V.).

I depositi alluvionali presentano una permeabilità primaria per porosità ($K=10^{-3}-10^{-5}$ m/sec) e sono caratterizzati al loro interno da livelli e lenti a diversa granulometria con geometrie molto variabili, di tipo lenticolare, conseguenti ai meccanismi deposizionali.

Si rinvencono infatti, alternanze lentiformi di termini più spiccatamente argilloso-limosi passanti a limoso-argillosi con valori di permeabilità tendenzialmente bassi, intercalate a lenti sabbiose con contenuto di fini variabile, caratterizzate da valori di permeabilità più elevati, che danno luogo alla formazione di falde sospese.

Il substrato è costituito dalle argille (appartenenti alla formazione di Monte Vaticano (U.M.V.) con valori del coefficiente di permeabilità $K = 10^{-8} - 10^{-10}$ m/s).

Il territorio in cui si sviluppa il tracciato di progetto rientra, nella parte meridionale, nel territorio del III municipio del comune di Roma che ricade in **zona sismica 2b** (zona a pericolosità sismica media) mentre nella parte settentrionale rientra nel territorio del comune di Monterotondo che ricade in **zona sismica 3a** (zona a pericolosità sismica bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti). Ai fini di garantire maggiori condizioni di sicurezza si è ritenuto opportuno utilizzare per tutto il tracciato la **zona 2b**.

L'analisi delle velocità sismiche rilevate dalle prove MASW e da una prova Down hole emerge che la categoria di sottosuolo dei terreni investigati è la C (NTC 2018), e che quest'ultimi non sono soggetti a fenomeni di liquefazione.

Infine in accordo con il contesto geomorfologico di pianura alluvionale del fiume Tevere, il sito di interesse è classificato con categoria topografica **T1** (NTC 2018).

Per quanto riguarda la pericolosità e il rischio geomorfologico non si segnalano elementi di criticità interferenti con le opere di progetto.

Per quanto riguarda invece il rischio idraulico, i tracciati di progetto si sviluppano all'interno delle aree di esondazione del fiume Tevere, ma si specifica che:

- La strada nell'intero tratto A-B (Asse 1) e in parte del tratto B-1 (Asse 3), si attesta sempre ad una quota maggiore di 26 m.s.l.m, ed insieme ad un breve tratto di sole argine che si attesta sull'attuale rilevato ferroviario, garantisce la protezione dell'abitato di Monterotondo da una futura esondazione con tempo di ritorno duecentennale del fiume Tevere.
- La strada del tratto B-C (Asse 2) non ha funzione di arginatura ed a tal proposito sarà garantito il deflusso delle acque del fosso esistente "Pantanella" fino al suo termine naturale nel fiume "Tevere", tramite il suo scavalco con un Viadotto di opportune dimensioni, calcolate tenendo in considerazione la piena duecentennale del "Tevere".

- La Viabilità dell'Asse 3 si svilupperà su rilevato tenendo conto della piena duecentennale del "Tevere" e sono compatibili con l'eventuale futuro ricollegamento con "Via di Valle Ricca".

Infine, per quanto riguarda le indagini geognostiche utilizzate ed elaborate per la redazione degli elaborati geologici e geotecnici del progetto definitivo, occorre specificare che sono state programmate in funzione del tracciato di variante all'abitato di Monterotondo Scalo adottato nello studio di prefattibilità riportato nella planimetria sottostante.

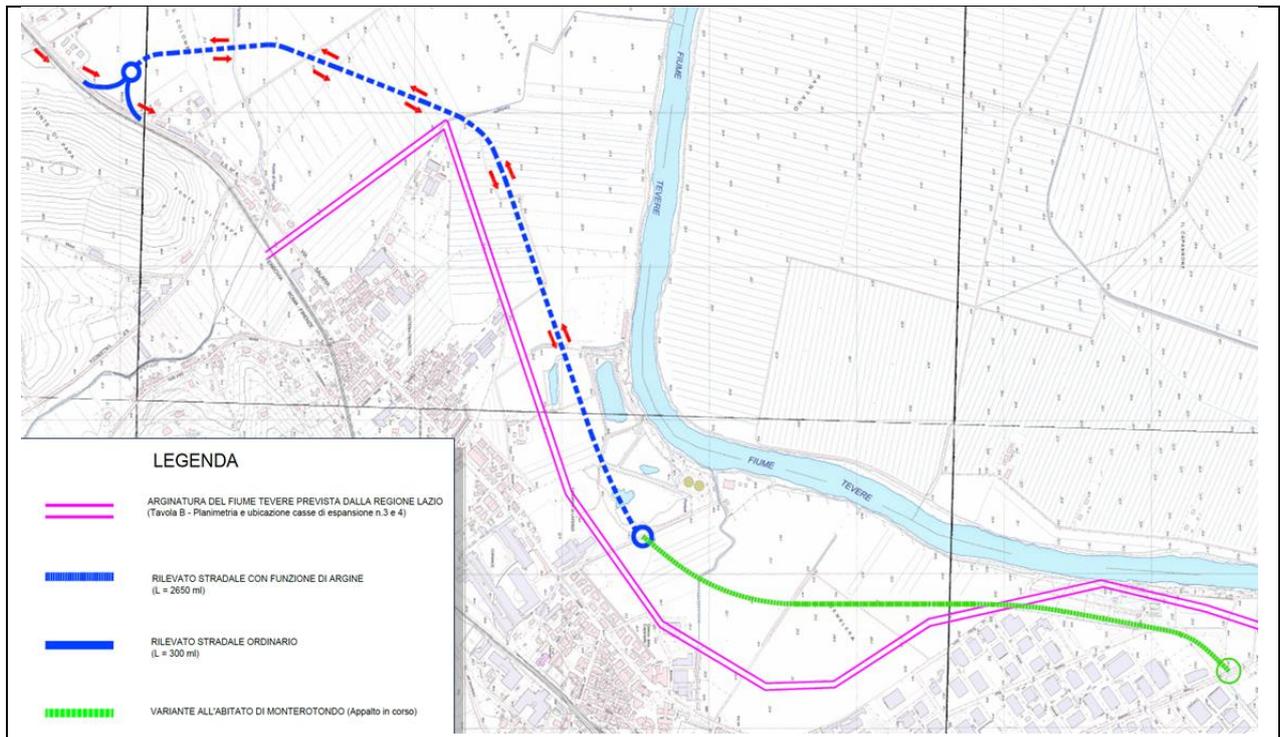


Figura 31-Corografia del tracciato di variante all'abitato di Monterotondo Scalo nel progetto di prefattibilità

Per la realizzazione della progettazione definitiva del 2° stralcio della variante all'abitato di Monterotondo Scalo, sono stati definiti degli assi di progetto migliorativi rispetto alla soluzione individuata nella precedente fase di progettazione ma nello stesso tempo introduce delle varianti sostanziali sia rispetto al tracciato precedente che alla tipologia delle opere da realizzare (viadotto, rotatorie).

La Variante ha richiesto un supplemento d'indagine geognostica per la definizione del modello geologico e geotecnico del nuovo tracciato, in particolare si riporta il piano delle indagini integrative nella planimetria allegata al progetto - "T00-GE00-GEO-PU01-A-Planimetria ubicazione delle indagini".

In particolare l'"Asse 2" dove non sono state eseguite verticali in asse con il tracciato; i sondaggi eseguiti, S05-DH e SOP1, risultano distanti dal tracciato, le due prove CPTU01_bis e CPTU01_bis1 e le prove geofisiche realizzate MASW1bis e RIFR1 ricadono in un contesto geologico e geomorfologico diverso da quello in cui si sviluppa l'"Asse 2".

Per quanto riguarda l'"Asse 3" nell'area in cui si sviluppa non sono state eseguiti sondaggi geognostici o prove geofisiche.

Alla luce delle modifiche apportate al progetto si ritiene necessario per definire il modello geologico e geotecnico di dettaglio in funzione della successiva fase di progettazione esecutiva delle opere, un piano d'indagine integrativo.

L'indagine integrativa prevede l'esecuzione di:

- N. 4 sondaggi geognostici per l'Asse 1": S7(PE)-PZ, S8(PE)-PZ, S9(PE)-PZ, S10(PE)-PZ.
- N. 5 sondaggi geognostici lungo l'Asse 2": S1(PE)-PZ, S3(PE)-PZ, S4(PE)-PZ, S5(PE)-PZ.
- N. 2 sondaggi geognostici lungo l'Asse 3": S6(PE)-PZ e S11(PE)-PZ).

Sono previste delle prove all'interno dei fori di sondaggio che consistono in:

- Prove penetrometriche standard SPT;
- Prelievo campioni indisturbati;
- Prove Lefranc ;
- Prove Pressiometriche.

Lungo il tracciato dovranno essere realizzate N. 6 prove penetrometriche statiche CPTU.

L'indagine geofisica prevede la realizzazione di N. 4 prove MASW - MASWn(PE) e di una stesa a rifrazione in onde **P** e onde **S** con interpretazione tomografica (RIFR1(PE)).

Inoltre si prevede l'esecuzione di N.9 pozzetti esplorativi PZn(PE) per la realizzazione di prove di carico su piastra.

Le modalità e i criteri di esecuzione delle indagini sopra elencate sono riportati nelle tabelle del piano delle indagini integrative allegato di seguito.

Si specifica che quantità di prove SPT e di campioni prelevati indicati sono indicative e potranno essere suscettibili di modifiche in corso d'opera a seguito dell'applicazione delle modalità stabilite (esecuzione di SPT nei terreni a grana grossa, prelievo di campioni ed esecuzione pocket in quelli a grana fine).

ALLEGATO A- "PIANO DELLE INDAGINI INTEGRATIVE PER IL PROGETTO ESECUTIVO"