



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO
 DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO



ACEA ATO 2 SPA



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO



Dott. Avv. Vittorio Gennari

Sig.ra Claudia Iacobelli

Ing. Barnaba Paglia

CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO
A194PDS4G ROO1 4

COD. ATO2 APE10116

DATA **DICEMBRE 2019** SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma
 "Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV


AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	MAR-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
2	GEN-21	AGGIORNAMENTO CARTIGLIO	
3	SETT-21	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
4	OTT-22	AGGIORNAMENTO UVP	
5			
6			
7			

**NUOVO TRONCO SUPERIORE ACQUEDOTTO
 DEL PESCHIERA
 dalle Sorgenti alla Centrale di Salisano**

CUP G33E17000400006

PROGETTO DEFINITIVO

TEAM DI PROGETTAZIONE
CAPO PROGETTO
 Ing. Angelo Marchetti
ASPETTI AMBIENTALI E COORDINAMENTO SIA
 Ing. Nicoletta Stracqualursi
Hanno collaborato:
 Ing. Geol. Eliseo Paolini
 Ing. Viviana Angeloro
 Paes. Fabiola Gennaro



REFERENTI INTERNI: Ing. Angelo Marchetti
CONSULENTI: Studio Associato ANL Firenze

PARTE 4 – QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

**COMPONENTE VIBRAZIONI:
 RELAZIONE**

INDICE

1.	Introduzione	3
1.1	Premessa.....	3
2.	Riferimenti normativi	4
2.1	Premessa.....	4
3.	Metodologia di analisi	9
3.1	Introduzione.....	9
3.2	Modelli di generazione.....	10
3.2.1.	Tecnologie di scavo	10
3.2.2.	Caratterizzazione meccanica	25
3.2.3.	Inquadramento interventi.....	28
3.3	Modelli di propagazione.....	29
3.3.1	Fondamenti teorici dell’analisi propagativa	29
3.3.2	Attenuazione di tipo geometrico	38
3.3.3	Attenuazione dovute all’assorbimento del terreno.....	38
3.3.4	Attenuazione per la presenza di discontinuità: interazione con la fondazione	39
4.	Inquadramento geologico del sito, delle attività e dei ricettori esposti.....	40
4.1	Aspetti geologici e litotecnici	40
4.1.1	Inquadramento geotecnico	40
4.1.2	Caratterizzazione geologica	42
4.1.3	Specifiche delle gallerie e del sorpasso di Salisano.....	60
4.1.4	Profili stratigrafici.....	65
4.1.5	Prospezioni sismiche.....	73
5.	Definizione dei ricettori e valutazione degli impatti	87
6.	Conclusioni	88

Allegati..... 88

All. 1 – inquadramenti planimetrici con ricettori

All. 2 – schede censimento ricettori

All. 3 – tabulati degli impatti agli edifici

1. Introduzione

1.1 Premessa

La presente relazione è stata redatta dal Prof. Luca Alfinito, iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Firenze al numero 7018 e all'Elenco Nazionale dei Tecnici Competenti in Acustica al n. 8071 (Determinazione Provincia di Pisa n. 2135 del 09/05/06), come documento di riferimento inerente gli aspetti generali dello studio delle vibrazioni indotte sugli edifici dalla fase di posa in opera del nuovo Tronco Superiore interrato dell'Acquedotto del Peschiera.

Tale opera risulta di importanza strategica in quanto l'attuale sistema del Peschiera costituisce la principale fonte di approvvigionamento idrico dell'ATO2 - Lazio Centrale Roma, con una portata di 9 mc/s e in particolare rappresenta la principale risorsa destinata alla Capitale; inoltre il ramo attualmente presente, in esercizio ininterrotto da circa 80 anni, risulta notevolmente vetusto e soprattutto non consente la possibilità di effettuare una manutenzione senza comportare interruzione di servizio, considerando che non vi sono fonti alternative di approvvigionamento di similare portata.

L'area interessata dalla nuova opera rientra nell'ambito del territorio della Provincia di Rieti, in particolare dei territori comunali di Castel Sant'Angelo, Cittaducale, Rieti, Belmonte in Sabina, Longone Sabino, Concerviano, Torricella in Sabina, Montenero Sabino, Mompeo, Monte San Giovanni in Sabina e Salisano. Si tratta di un territorio dall'orografia collinare in generale a bassa densità abitativa, delimitato a nord dalla Piana di San Vittorino e dalla Piana di Rieti e interessato dalle valli del Salto, del Turano e dalla Piana delle Molette. L'abitato di Salisano, punto di arrivo dell'opera, è posto su un promontorio che si affaccia verso la valle del Tevere e delimita a sud l'area investigata. Lo studio ha pertanto richiesto una prima fase di censimento dei fabbricati ubicati planimetricamente nelle immediate vicinanze dello sviluppo della condotta interrata: i risultati di tale censimento sono presentati nell'Allegato 1, in cui sono illustrate le schede dei "ricettori" potenzialmente impattati dalle opere.

Nel contesto indagato l'analisi della perforazione riveste il ruolo fondamentale dal momento che nessuna potenziale criticità è da segnalare per quanto riguarda la fase di esercizio, caratterizzata solo dal flusso di erogazione idrica in condotta.

Posta tale premessa la presente relazione è stata redatta al fine di illustrare la metodologia adottata per la previsione dei livelli di vibrazione, che sono stati successivamente confrontati con le soglie di riferimento della normativa tecnica: la verifica dei limiti di soglia per danni di tipo “cosmetico” porta automaticamente al conforto della piena sicurezza strutturale degli edifici indirettamente interessati alle opere di perforazione. A partire da dati di letteratura noti riferiti alle caratteristiche di emissione sono state eseguite simulazioni numeriche di propagazione, finalizzate a definire l’intensità della sollecitazione meccanica indotta dal terreno in corrispondenza di ricettori posti nelle immediate vicinanze dell’opera di futura realizzazione: sulla base dei risultati ottenuti sarà quindi mostrato come le vibrazioni indotte dalle attrezzature di perforazione risulteranno, al piede dei manufatti oggetto di indagine, comunque inferiori rispetto ai limiti di norma, escludendo quindi di fatto qualsiasi necessità di approfondimento e/o di contenimento della componente in oggetto.

2. Riferimenti normativi

2.1 Premessa

Per quanto concerne i limiti alle immissioni sugli edifici in termini di vibrazioni si mette in evidenza che ad oggi non è presente nel panorama normativo Italiano una legge specifica. In generale le definizioni di danno sono classificate in funzione degli effetti provocati dai fenomeni di vibrazione, per cui si distinguono:

- danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici intonacate o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazione di fessure filiformi nei giunti a malta delle costruzioni in mattoni e in calcestruzzo;
- danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o pezzi di intonaco di muri a secco; formazione di fessure in blocchi di mattoni o di calcestruzzo;
- danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nelle colonne di supporto; apertura di giunti; serie di fessure nella muratura.

In ogni caso i danni strutturali all’edificio nel suo insieme attribuibili a fenomeni di vibrazione sono estremamente rari e quasi sempre derivanti dal concorso di altre cause; le forme di danno definite “di soglia”, che possono manifestarsi senza compromettere

la sicurezza strutturale, nella terminologia anglosassone si indicano come “danni estetici” (“cosmetic damages”). Il presente standard tecnico Italiano:

- UNI 9916:2014 – Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici

fornisce criteri e metodologie atti a valutare la potenzialità delle vibrazioni a causare danni di tipo architettonico. Nell’appendice “D” vengono specificati i valori indicativi di riferimento, a titolo indicativo, in relazione alla normativa tecnica internazionale qui di seguito elencata:

- DIN 4150 - parte 3, Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen -

Rientra nel panorama tecnico di riferimento per l’analisi degli impatti delle vibrazioni sugli edifici anche la:

- BS 7385 – parte 2, Evaluation and measurement for vibration in buildings. Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration

In particolare entrambe le DIN 4150 e BS 7385 fanno riferimento alla “*peak component particle velocity (p.c.p.v.)*”, ossia la “velocità di picco di una componente puntuale”, definita come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione. Viene menzionata anche la “*peak particle velocity (p.p.v.)*”, “velocità di picco puntuale”, definita come valore puntuale del modulo del vettore velocità. Nei casi ove ritenuto opportuno, le p.c.p.v. devono essere riferite alle frequenze dominanti caratteristiche dei fenomeni indagati.

L’appendice “D” della UNI 9916:2014, che richiama le prescrizioni di cui alla DIN 4150, considera tre classi di edifici:

1. Edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili;
2. Edifici residenziali e costruzioni simili;
3. Costruzioni che non appartengono alle prime due categorie e sono degne di essere tutelate (ad esempio monumenti storici).

In relazione al tempo di sollecitazione vengono inoltre considerate due tipologie di vibrazione:

- ✓ Vibrazioni di breve durata;
- ✓ Vibrazioni permanenti,

le prime essendo quelle per cui è possibile escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza della struttura interessata. Le soglie di riferimento sono fissate nella Tabella 1.

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per le velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano sup.	Solai componente verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz	Tutte	Tutte
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 fino a 40	Varia linearmente da 40 fino a 50	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 fino a 15	Varia linearmente da 15 fino a 20	15	20
3	Costruzioni di tipo differente, degne di essere tutelate	3	Varia linearmente da 3 fino a 8	Varia linearmente da 8 fino a 10 (f=100 Hz)	8	3/4

Tabella 1. Valori di riferimento per le misurazioni in fondazione e per le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori, per vibrazioni di breve durata. Per la componente verticale di vibrazioni di breve durata dei singoli solai la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. il valore di 20 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici, indipendentemente dalla frequenza

Per vibrazioni permanenti si intendono sollecitazioni continue che possano invece indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute a risonanza della struttura interessata.

I relativi valori di soglia sono riportati nella successiva :

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per le velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni di tipo differente, degne di essere tutelate	2.5

Tabella 2. Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità, per vibrazioni permanenti, per tutti i piani e le fondazioni. Per la componente verticale dei singoli solai la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. il valore di 10 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici, indipendentemente dalla frequenza.

Volendo attribuire alla specificità di un fenomeno la giusta caratterizzazione temporale in termini di risposta del ricettore ci si può riferire alla costante di tempo di un edificio che determina la "frequenza naturale" del manufatto. A questo scopo la precedente edizione UNI 9916:2004 (oggi ritirata) forniva indicazioni sulla stima della costante di tempo di un edificio, definibile come:

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \zeta_0 \cdot f_0}$$

Eq. 1

essendo f_0 la frequenza fondamentale dell'edificio e ζ_0 il coefficiente di smorzamento associato. Operando un confronto tra la costante di tempo di un edificio e la durata della sollecitazione, si può quindi classificare una vibrazione come:

- ✓ Permanente, quando l'eccitazione è presente senza interruzioni per lunghi periodi o comunque quando la durata dell'eccitazione è maggiore di $5\tau_0$;
- ✓ Breve, in alternativa al caso precedente.

Si riporta per completezza l'elenco di norme tecniche di riferimento in ambito di misurazioni di vibrazioni su elementi strutturali.

- UNI 9513, Vibrazioni e urti. Vocabolario;
- UNI ISO 5347, Metodi per la taratura dei rilevatori di vibrazioni e di urti;
- UNI ISO 5348, Vibrazioni e urti meccanici. Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO/CD 18431/1, Mechanical vibration and shock. Signal processing. General introduction;
- ISC/CD 18431/2, Mechanical vibration and shock. Signal processing. The domain windows for Fourier Transform Analysis.

La valutazione (e il conseguente posizionamento dei trasduttori per la verifica strumentale) devono essere effettuate direttamente in corrispondenza delle parti strutturali, nei punti dove si presume che il fenomeno vibratorio abbia massima ampiezza; in ogni caso i punti di misurazione dovranno essere ubicati sugli elementi strutturali che determinano la rigidezza dell'edificio.

Altre norme tecniche di riferimento.

- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings.
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, Amendment 1, Predicting natural frequencies and damping of buildings.
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions.
- CEI 29-1 Misuratori di livello sonoro (conforme alla pubblicazione IEC 651).

3. Metodologia di analisi

3.1 Introduzione

Il fenomeno delle vibrazioni sarà analizzato valutando la combinazione di tre fattori:

1. Modalità di emissione dell'energia (effetti di generazione alla sorgente);
2. Caratteristiche del/dei mezzo/i sede del fenomeno di propagazione (proprietà meccaniche e geometriche del sottosuolo);
3. Dinamiche di interazione tra sorgente e ricevitore.

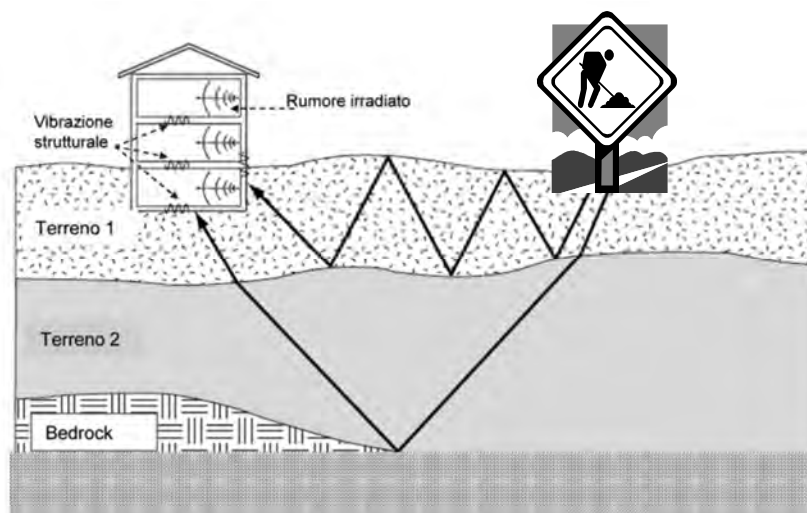


Figura 1. Esempio di dinamiche di interazione sorgente-ricevitore attraverso il mezzo di propagazione (terreno)

La metodologia proposta e adottata nella presente valutazione preliminare si sviluppa pertanto attraverso quattro fasi:

- a) Caratterizzazione dinamica della sorgente di vibrazione;
- b) Estrapolazione dei parametri significativi di propagazione derivanti dalla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo;
- c) Previsione del livello di vibrazione trasmesso alla sorgente mediante metodi analitici (equazioni di trasporto) in condizioni di free-field;
- d) Valutazione della risposta del ricevitore tramite confronto con i valori massimi delle grandezze cinematiche previsti in corrispondenza di edifici identificati come ricettori posti a distanze crescenti dall'asse dell'infrastruttura.

3.2 Modelli di generazione

3.2.1. Tecnologie di scavo

Il Nuovo Tronco superiore dell'Acquedotto del Peschiera prevede uno sviluppo quasi esclusivamente interrato sulla sua lunghezza complessiva di circa 27700 m; pertanto l'opera è costituita da una serie di tunnels di diverse caratteristiche, che attraversano formazioni geologiche e coperture molto diverse tra loro e la cui realizzazione costituisce la sorgente oggetto di indagine dal punto di vista delle vibrazioni.

La documentazione in fase di progetto di fattibilità tecnico-economica ha evidenziato la complessità esecutiva nell'ambito della realizzazione delle gallerie, sia per la variabilità dei litotipi da attraversare e per le coperture che lungo il tracciato variano da 0 a 400m, sia per i rischi connessi alla presenza di faglie e alle venute d'acqua. È stata pertanto effettuata una attenta analisi dei costi e benefici, optando per l'impiego per larga parte del tracciato di metodologie di scavo meccanizzato, limitando le comuni tecniche di scavo in tradizionale alla realizzazione delle finestre di accesso e dei tratti in avvicinamento ai manufatti esistenti

In particolare, per gli scavi in galleria verranno utilizzate:

- Combinazioni delle seguenti tecnologie esecutive di scavo meccanizzato:
 - Microtunnelling;
 - Tunnel Boring Machine (TBM)
 - Tunnel Boring Machine con tecnologia di scavo Earth Pressure Balance (TBM-EPB);
- tecnologia di scavo in tradizionale, in funzione delle caratteristiche meccaniche e geometriche delle formazioni geologiche individuate lungo il tracciato.

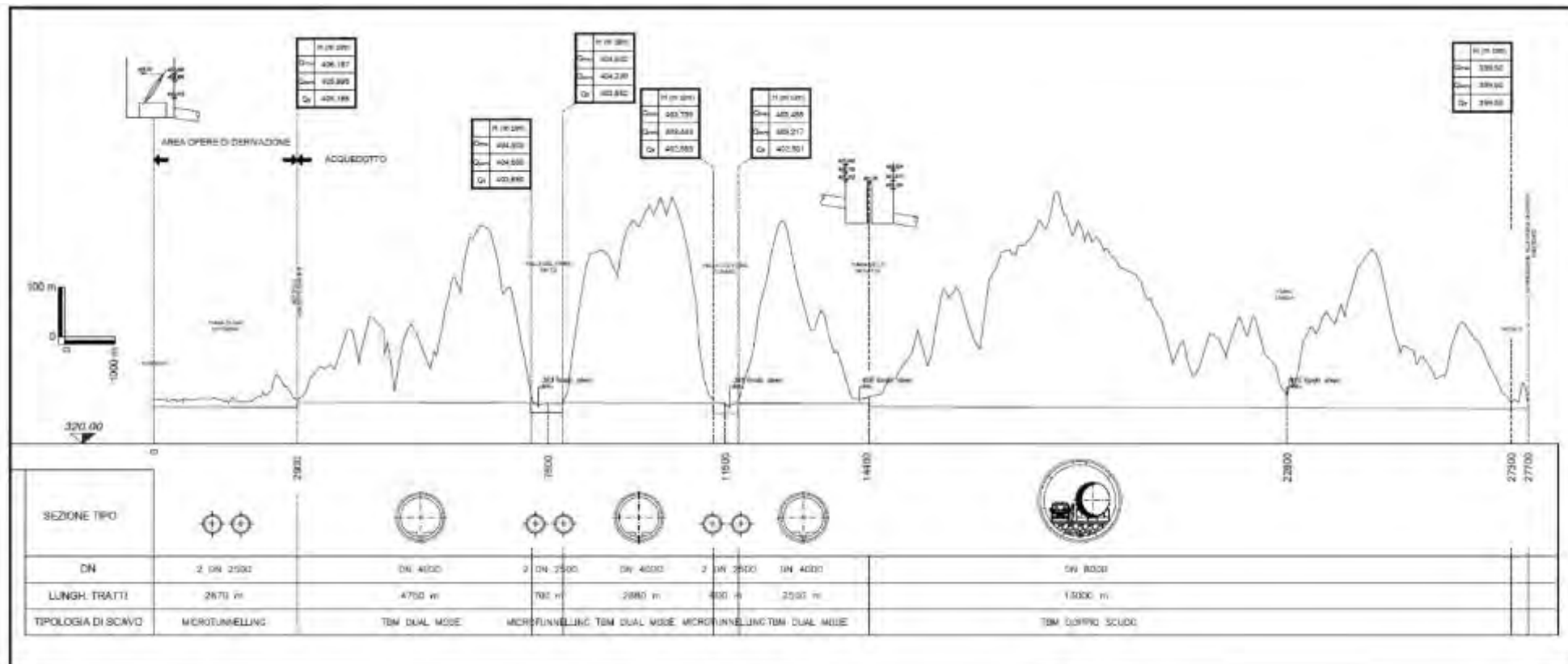


Figura 2 Sezioni del tracciato con tipologia di scavo (tratto da relazione geologica)

3.2.1.1. Tunnel Boring Machine

La tecnologia di scavo meccanizzato con TBM consente di:

- eseguire lo scavo a piena sezione mediante il movimento rotatorio della testa di scavo, opportunamente equipaggiata mediante utensili di scavo predisposti in base alla litologia da scavare;
- rimuovere il terreno dal fronte e trasportarlo automaticamente in continuo verso l'esterno della galleria mediante l'ausilio di un nastro di trasporto;
- mettere in opera il rivestimento definitivo della galleria realizzato attraverso conci di cls prefabbricati;
- ridurre gli impatti ambientali connessi con lo scavo;
- garantire una maggiore durabilità delle opere e una maggiore capacità di adattare lo scavo alle mutevoli caratteristiche del terreno o della roccia da scavare.

Le attrezzature TBM da roccia, in funzione delle loro caratteristiche tecnico-funzionali, si possono suddividere in tre categorie principali:

1. TBM aperte.
2. TBM monoscudate.
3. TBM doppio scudate.

Rock TBM aperte

Le TBM aperte o Gripper TBM (Figura 3) si utilizzano per lo scavo in ammassi rocciosi con buone caratteristiche meccaniche, dove si permette agli operatori di lavorare in sicurezza senza una installazione di opere di sostegno di prima fase. In presenza di rocce instabili ed altamente fratturate, in seguito al franamento delle pareti laterali/fronte sotto l'azione dei gripper/testa fresante occorre intervenire realizzando dei by-pass con metodi tradizionali. I problemi di avanzamento in rocce instabili si esaltano all'aumentare dei diametri di scavo, per cui l'impiego di tali macchine è sconsigliato per gallerie con diametro superiore agli 8 - 9 m.

Quando lo scavo interessa formazioni che possono presentare durante lo scavo fenomeni di instabilità, le frese aperte, quale che sia la loro tipologia costruttiva, possono essere equipaggiate con attrezzature per la messa in opera di sostegni di prima

fase immediatamente a tergo del supporto della testa fresante. Le principali componenti di una TBM aperta sono:

- testa fresante;
- trave principale;
- sistema di ancoraggio;
- cilindri idraulici di spinta;
- motori elettrici;
- nastro di smarino.

Nella fase di avanzamento della macchina le piastre dei gripper sono spinte contro le pareti della galleria in modo da fornire il contrasto necessario a consentire ai martinetti di spinta di accostare la testa fresante al fronte di scavo e completare l'abbattimento della roccia per un tratto pari al fine corsa dei cilindri; terminata la fase di avanzamento, il sistema di stabilizzatori viene abbassato, in modo da impedire l'inclinazione della testa rispetto all'asse della galleria, i gripper vengono ritratti e i martinetti di spinta

richiamano a sé il back-up della macchina sfruttando come contrasto il peso della testa. Anche le TBM aperte sono frequentemente equipaggiate da un piccolo scudo e da piccole appendici o lamelle, chiamate finger shield, per prevenire l'eventuale distacco di blocchi e proteggere la zona di erezione dei supporti. Nella fase di avanzamento, le chips di roccia distaccate vengono raccolte da tasche poste in posizione periferica rispetto alla cutter head, e convogliate nella parte centrale dove, attraverso un nastro trasportatore, vengono allontanate dal fronte.

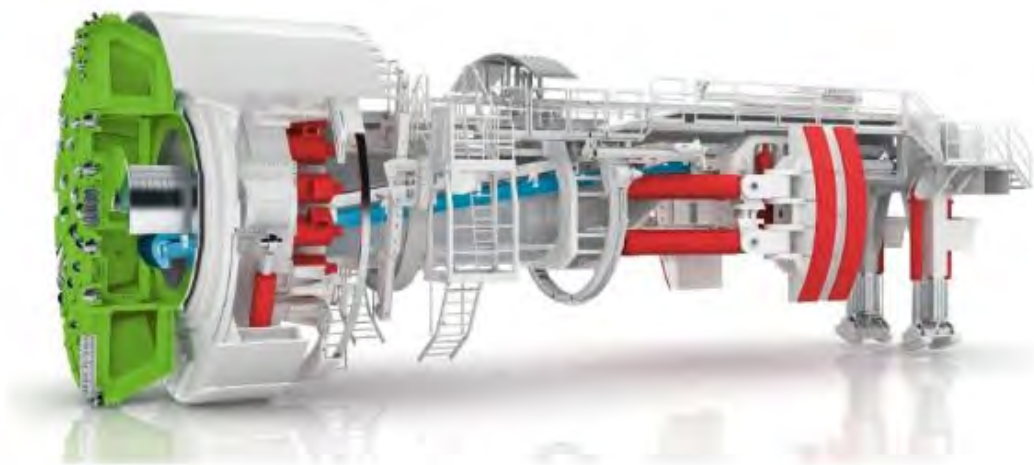


Figura 3 Rock TBM aperta

Rock TBM a singolo scudo

Le rock TBM a singolo scudo o mono-scudate (Figura 4) vengono impiegate in ammassi rocciosi con proprietà meccaniche non sufficienti a garantire lo sviluppo del contrasto richiesto per l'applicazione della forza di accostamento nelle TBM aperte. Inoltre, in ammassi rocciosi particolarmente fratturati, le TBM monoscudate offrono un'importante soluzione tecnologica in quanto, sfruttando l'azione dello scudo, consentono di realizzare in sicurezza il cavo della galleria.

Lo scudo, un cilindro metallico di spessore variabile tra 3 e 6 cm, ricopre l'intera macchina e ha la funzione di supporto temporaneo; il rivestimento definitivo è composto da conci prefabbricati in calcestruzzo che vengono montati nella parte terminale dello scudo e che hanno anche la funzione di contrasto per l'avanzamento della TBM.

La testa di taglio (cutterhead) ha diametro maggiore di quello dello scudo per consentire che l'attrito generato dalla roccia convergente non diventi così elevato da bloccare l'avanzamento della macchina. L'intercapedine creata dovrà essere riempita in seguito all'installazione del rivestimento definitivo per mezzo di iniezioni cementizie e di ghiaia sottile, al fine di stabilizzare il cavo, di garantire una maggior resistenza alla spinta soprattutto in fase di curvatura, e in alcuni casi renderlo impermeabile. Sfruttando il contrasto fornito dai conci si ha un avanzamento pari alla corsa dei martinetti di spinta; esaurita la fase di spinta, si arresta la macchina e si erigono i conci. La produttività, quindi, è fortemente condizionata dai tempi di erezione del rivestimento. Le frese monoscudate sono, rispetto a quelle con doppio scudo, più semplici dal punto di vista tecnico-costruttivo, ma anche meno flessibili in termini di tipologia di rivestimento utilizzabile, poiché il loro utilizzo impone la posa in opera di conci prefabbricati. Lo scudo può essere dotato di fori per permettere eventuali perforazioni oppure per consentire operazioni di consolidamento in avanzamento.

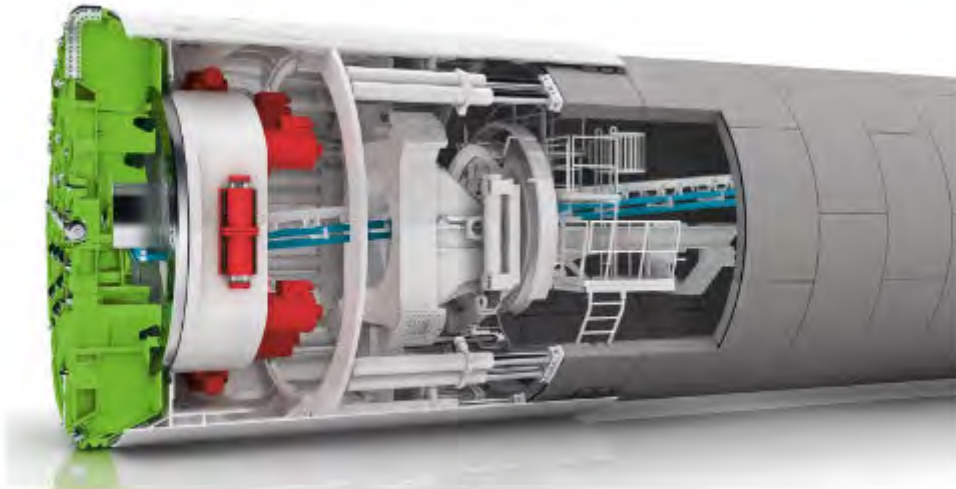


Figura 4 Rock TBM a singolo scudo

Rock TBM a doppio scudo

Le TBM doppio-scudate o frese a doppio scudo telescopico (Figura 5) sono una combinazione di una TBM aperta e di una TBM monoscudata. Sono composte da uno scudo anteriore, che protegge la testa fresante e il cuscinetto reggispinga, da uno scudo telescopico e da uno scudo posteriore, dal quale si estrudono i gripper, e nella cui coda vengono messi in opera, quando richiesto o necessario, i sostegni temporanei o i conci prefabbricati per mezzo di un erettore. La differenza sostanziale con una TBM monoscudata è che la fase di avanzamento e quella di erezione del sostegno possono essere svolte contemporaneamente, aumentando notevolmente la velocità di avanzamento e conseguentemente le produzioni attese. Lo scudo di coda, grazie alla presenza dei gripper, funge da contrasto nella fase di abbattimento della roccia e la testa viene spinta grazie ai martinetti contro il fronte; nel frattempo, dietro lo scudo di coda vengono montati i conci che saranno utilizzati come contrasto, esaurita la corsa dei martinetti, nella fase di richiamo. Inoltre, la possibilità di adottare sia il principio di una TBM aperta sia di una monoscudata, rende questa macchina molto versatile e adattabile ad una grande varietà di litotipi e di condizioni geo-meccaniche.

Una TBM a doppio scudo consente infatti le seguenti opzioni:

- in ammassi rocciosi caratterizzati da un elevato tempo di autosostentamento e con elevati valori delle caratteristiche meccaniche del materiale roccioso, avanzare utilizzando i gripper di ancoraggio per il contrasto alla spinta di avanzamento;

- qualora progettualmente richiesto, o quando le condizioni geo-meccaniche dell'ammasso lo rendano necessario, mettere in opera conci prefabbricati di rivestimento o sostegni provvisori in contemporaneità con lo scavo;
- in ammassi rocciosi caratterizzati da condizioni geo-meccaniche "avverse", avanzare sfruttando l'azione dei cilindri ausiliari che, per il contrasto alla spinta di avanzamento, usufruiscono di opportuni sostegni provvisori o dell'anello di conci prefabbricati posti in opera all'interno dello scudo di coda; tale operazione, però, non può avvenire in contemporanea rispetto alle operazioni di scavo e comporta la riduzione delle velocità di scavo a quelle tipiche di una TBM mono scudo.

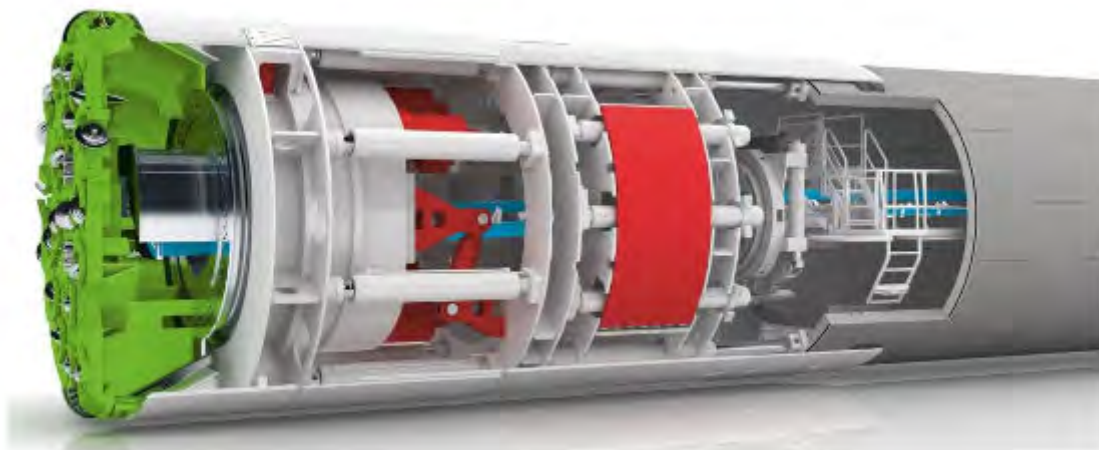


Figura 5 Rock TBM a doppio scudo

3.2.1.2. *Tunnel boring machine a bilanciamento della pressione*

Esistono modelli di TBM studiati principalmente per lo scavo di gallerie in terreni sciolti nei quali, oltre alla necessità di contenere eventuali fenomeni di instabilità del fronte mediante la testa fresante, è necessario applicare una pressione al fronte necessaria a ridurre la variazione dello stato tensionale indotto dallo scavo della galleria al fronte e nelle zone intorno alla galleria durante tutte le operazioni di scavo e di installazione dei rivestimenti definitivo in conci. Queste tipologie di tunnel boring machine, oggi abitualmente utilizzate in ambiente urbano, sono le EPB (Earth Pressure Balance) per le quali la pressione al fronte è applicata dallo stesso materiale di scavo mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo, o in alternativa le SS (Slurry Shield) nelle quali la pressione al fronte è quella idrostatica del fango bentonitico mischiato al materiale scavato e mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo.

La realizzazione di gallerie mediante TBM-EPB si basa, quindi, sul principio del sostegno del fronte di scavo con il medesimo materiale scavato, transitante nella "camera di scavo", mantenuto in pressione mediante la spinta della macchina ed un sistema controllato di rimozione del terreno (coclea) dalla stessa camera di scavo. La pressione alla quale il terreno è mantenuto in pressione è definita sulla base della profondità di scavo, delle caratteristiche geotecniche dei terreni, della quota della falda rispetto alla quota dell'asse del tunnel, dei gradienti idraulici di filtrazione dell'acqua, della permeabilità del terreno e della interazione con strutture potenzialmente interferenti in superficie.

Sotto l'impulso applicato allo scudo della TBM e, quindi, alla testa di scavo in rotazione, il terreno viene asportato dal fronte fluendo nella camera di scavo da cui viene estratto mediante la coclea nei volumi voluti. In questo processo, il materiale riceve costantemente la compressione necessaria tale che la pressione esercitata sia proprio quella necessaria a sostenere il fronte di scavo.

Contemporaneamente allo scavo, lo scudo della TBM si sfilava dall'anello formato da elementi prefabbricati in calcestruzzo (conci) costituente il rivestimento definitivo, precedentemente montato, ed il vuoto anulare tra la superficie di estradosso dell'anello di rivestimento e il profilo naturale del terreno vengono riempiti con iniezioni di malta a pressione fino alla completa saturazione del vuoto anulare anzidetto. Gli ugelli di iniezione della malta sono montati alla fine dello scudo il quale è protetto verso l'interno dal potenziale ingresso della malta, mediante diverse file di spazzole tra le quali è iniettato in continuo grasso.

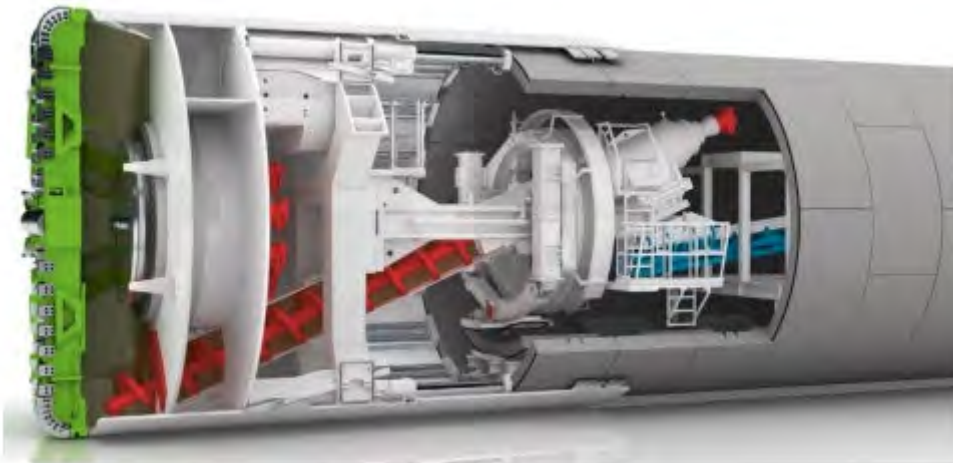


Figura 6 TBM Earth Pressure Balance (EPB)

3.2.1.3. Tunnel Boring Machine Dual Mode

Le TBM classiche possono raggiungere i loro limiti tecnologici quando devono attraversare litologie altamente variabili. Lungo un tracciato, soprattutto se i tragitti di scavo risultano essere di lunghezza elevata, si può passare da roccia con buone caratteristiche meccaniche a terreni sciolti. Per questo sono state sviluppate TBM multimodali per garantire sicurezza e flessibilità ottimali durante l'intero processo di tunneling. Utilizzando queste macchine le modalità di scavo possono essere adattate al cambiamento del terreno, richiedendo tempi di conversione relativamente brevi e costi relativamente bassi.

Le TBM dual-mode, nello specifico, permetteranno di far fronte alle variabili condizioni geomeccaniche e idrauliche in cui i conglomerati si possono presentare e a far eventualmente fronte al rischio di intercettare falde sospese in pressione.

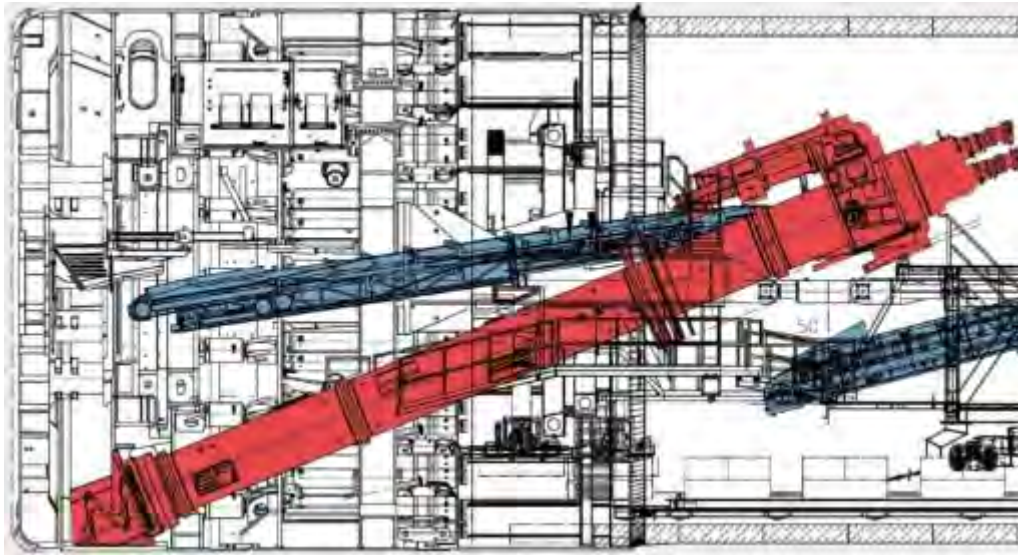


Figura 7 Sezione tipo di una TBM Dual Mode con evidenza dei due sistemi di rimozione

Nel caso specifico del progetto in esame, attraverso queste tipologie risulta possibile passare dalla modalità Rock TBM alla modalità TBM-EPB senza dover cambiare macchinario, riducendo così tempi e costi dello scavo. Le TBM dual-mode prevedono una doppia modalità di estrazione del materiale comprendente sia il nastro (in blu nella Figura 7) collocato con una estremità direttamente all'interno della camera di scavo da utilizzarsi nel caso di scavo con Rock TBM, sia la coclea (in rosso nella Figura 7) da impiegare nel caso di TBM-EPB.

3.2.1.4. *Microtunnelling*

Come già precisato, alcuni tratti saranno realizzate con la tecnica del *microtunnelling*. Il progetto degli interventi per la realizzazione del nuovo tronco superiore dell'acquedotto del Peschiera prevede tra gli altri la posa in opera di una doppia galleria costituita da due tubazioni affiancate del DN 2500 ($D_e = 3000$) in calcestruzzo armato vibrato poste ad un interasse di circa 2.5 volte il diametro che seguiranno uno sviluppo planimetrico di lunghezza pari a circa 2.870 m compreso tra i pozzi di spinta ed arrivo. Con la medesima tecnologia saranno inoltre realizzati due attraversamenti, anch'essi previsti con una doppia canna di tubazione DN 2500 in c.a.v. per l'esecuzione di altrettanti sifoni in corrispondenza rispettivamente della valle del fiume Salto per una lunghezza di circa 700 m e la valle del fiume Turano per una lunghezza di circa 600 m.

La lunghezza complessiva dei microtunnelling da realizzare sarà pari a circa 8340 m suddivisi in 7 doppi tratti di lunghezza variabile compresa tra i 250 m (tratto M1-M2) e 850 m (tratti M4-M5 ed M5-M6).

Le coperture dal piano campagna all'estradosso delle gallerie presentano un valore medio di circa 10m.

Come appurato dalla valutazione geologica, l'assetto stratigrafico è caratterizzato da terreni prevalentemente ascrivibili ai depositi alluvionali costituiti da alternanze di ghiaie-sabbiose, sabbie-limo-argillose e sabbie ghiaiose, non potendo tuttavia escludere la possibilità di trovarsi anche in presenza di conglomerati grossolani a clasti arenacei e calcari (vedasi sezione stratigrafica di dettaglio in .

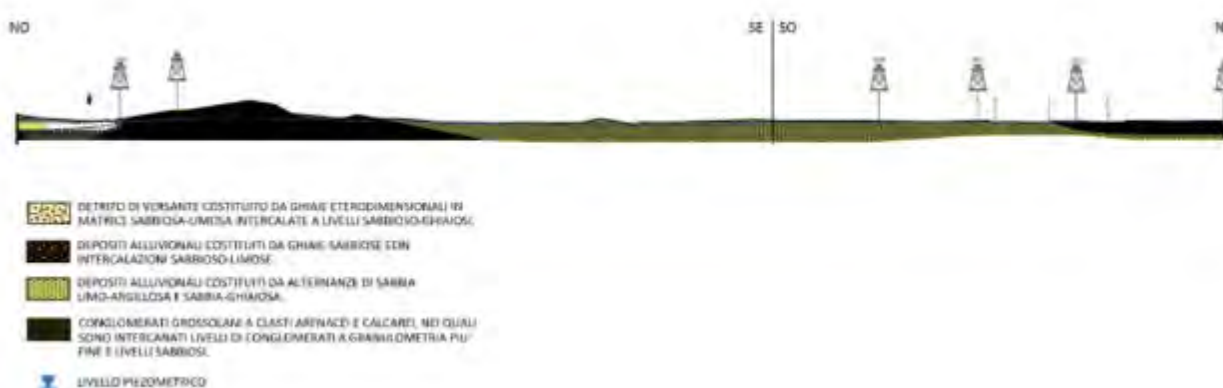


Figura 8 Sezione stratigrafica di dettaglio del tratto principale in microtunnelling

Il livello piezometrico rilevato è tale che la quota della generatrice superiore della tubazione da posare in microtunneling sarà sempre posta al di sotto del livello di falda.

Il tracciato risulta essere composto prevalentemente da tratti rettilinei a meno del tratto M4-M5 che è stato ipotizzato curvilineo sul piano orizzontale, mentre non sono presenti curve sul piano verticale.

Il rivestimento del microtunnel sarà costituito da tubi in calcestruzzo armato prefabbricati in conci di lunghezza complessiva di 2.50 m, comprensiva del collare metallico del giunto. Il diametro interno è di 2.50 m, mentre il diametro esterno è di 3.0 m per uno spessore di 0.25 m.

Il microtunnelling, come definito dalla UNI/PdR 26.2:2017 è una metodologia di perforazione per mezzo della quale, con una macchina per scavo di gallerie senza operatore sul fronte di scavo, vengono posate in opera tubazioni a spinta, tra due pozzi, con un controllo da remoto eseguito attraverso una centrale di comando posta in superficie.

Il sistema è costituito da una testa fresante che disgrega il terreno e che attraverso il proprio movimento di rotazione lo indirizza verso la linea di smarino. La testa è munita di adeguati utensili di scavo, diversi a seconda dei terreni da affrontare ed è inoltre dotata di uno snodo orientabile che, attraverso opportuni pistoni idraulici azionati da remoto, consente di "guidare" la testa durante la perforazione.

Il secondo componente fondamentale del microtunnelling è costituito dall'unità di spinta alloggiata nel pozzo (detto per questo di spinta) che consente l'inserimento delle tubazioni nella galleria scavata dalla testa fresante. L'inserimento dei tubi avviene grazie alla pressione esercitata su di essi dai pistoni principali che trovano contrasto sulla parete del pozzo di spinta che per questo motivo dovrà essere adeguatamente dimensionata. La spinta sulla testa fresante viene trasferita dalle tubazioni sulle quali agisce la forza esercitata dall'unità di spinta stessa.

Per il microtunnelling oggetto della presente relazione si utilizzeranno macchine a smarino idraulico (slurry machines), dotate di un frantoio di forma conica, grazie al quale il materiale di scavo viene frantumato e convogliato in una camera posta alle spalle della testa fresante (camera di smarino), dalla quale viene pompato sotto forma di fluido (slurry) nell'impianto di separazione posto in superficie. La caratteristica della perforazione supportata dallo smarino idraulico, rende possibile l'impiego del microtunnelling in qualsiasi tipologia di terreno, dalle argille ai limi, dai terreni incoerenti alla roccia e soprattutto in presenza di falda la cui pressione (insieme a quella del terreno) viene bilanciata dalla pressione garantita all'interno della camera di smarino dal circuito di pompaggio appositamente installato.

Il sistema microtunnelling prevede i seguenti componenti fondamentali:

- a) una testa fresante che esegue la perforazione;
- b) un treno di tubi interposti tra la testa fresante e la stazione di spinta;
- c) una stazione di spinta posizionata in un pozzo di spinta;

- d) un sistema di smarino idraulico;
- e) un sistema di controllo remoto della spinta/perforazione;
- f) Un impianto di separazione dello smarino.

La posizione della testa è rilevata in continuo mediante le informazioni inviate da un target fotosensibile, ad essa solidale, su cui viene puntato un raggio laser impostato secondo la direzione di progetto della perforazione. Dalla cabina di comando (sistema di controllo remoto) si possono tenere sotto controllo e regolare numerosi parametri quali forze di spinta, avanzamento, volumi di materiale smarinato, rispetto dell'allineamento di progetto, pressione e quantità dei fluidi di perforazione.

L'unità di spinta è costituita da un numero adeguato di pistoni idraulici, da un anello di spinta che trasferisce la forza dei pistoni alla tubazione ed una struttura di supporto, detta "slitta" entro la quale viene alloggiato il tubo e sulla quale "scorre" l'anello di spinta azionato dai pistoni oleodinamici.

L'azione del sistema principale di spinta è coadiuvata dall'impiego di un numero adeguato di stazioni di spinta intermedie, che vengono inserite all'interno del tracciato tra un tubo e l'altro. Queste stazioni sono costituite da un anello metallico sul quale sono montati i martinetti di spinta che alla fine dello scavo vengono smontati per poter essere utilizzati in altri progetti (vedasi Figura 10).

In presenza di falda, il muro di ingresso della macchina microtunnelling è dotato di una opportuna dima che è caratterizzata dalla presenza di un anello metallico con guarnizione di tenuta in gomma che, dopo l'inserimento della testa fresante e durante il successivo varo delle tubazioni, impedisce la fuoriuscita di acqua di falda all'interno del pozzo di spinta. Una dima con le medesime caratteristiche sarà opportunamente installata in corrispondenza del pozzo di arrivo favorendo l'estrazione della testa fresante del microtunnelling senza che il pozzo di arrivo possa essere inondato dall'acqua di falda.

La successiva Figura 9 presenta uno schema del cantiere tipo in microtunnelling, con raffigurazione delle principali attrezzature che compongono il sistema:

- testa fresante microtunnelling;
- container di comando;
- unità di spinta principale e pozzo di spinta;

- vascone di sedimentazione ed impianto di separazione;
- tubi in calcestruzzo;
- pompe per il sistema idraulico di scavo e di smarino;
- Unità di spinta intermedia.

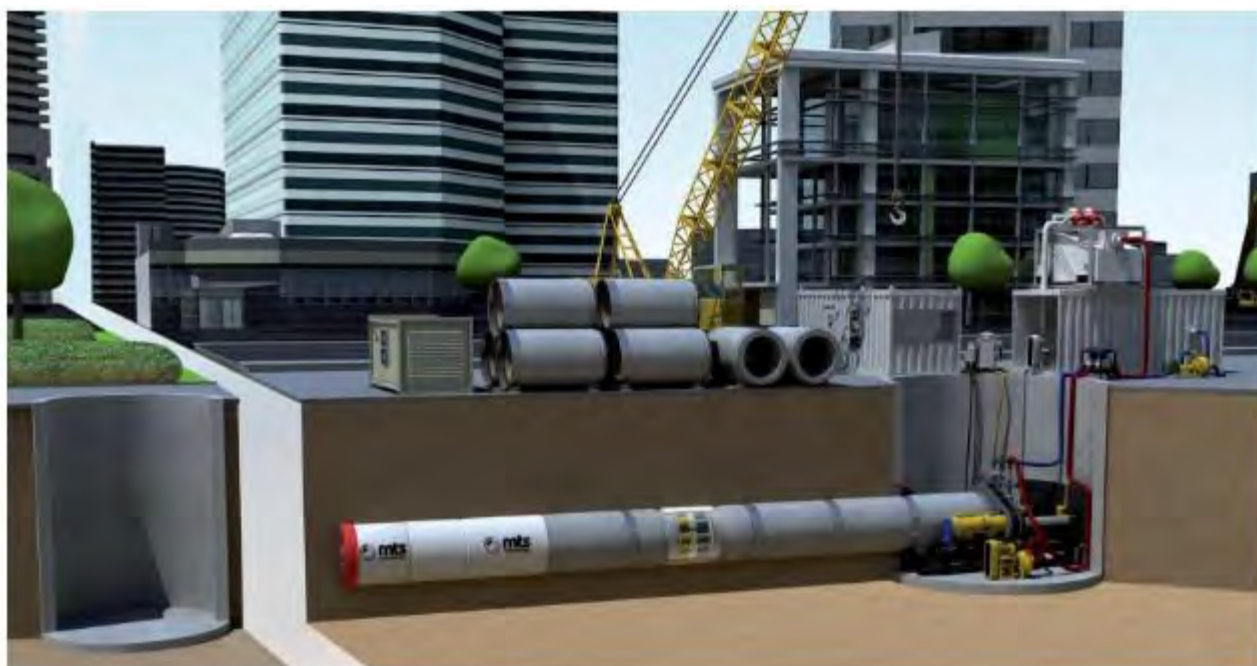


Figura 9 Schema di cantiere per microtunneling



Figura 10 Restituzione fotografica di stazione di spinta intermedia

Sulla base delle caratteristiche dei terreni che si andranno a scavare e considerando lo stato dell'arte della tecnologia microtunneling, si ritiene idonea l'adozione di una

macchina a scudo chiuso e smarino idraulico (tipo SM – V). Il sistema a smarino idraulico noto anche come “Face with Slurry Support”, oltre rendere più efficiente la fase di trasporto a giorno del materiale scavato fornirà anche l’adeguato supporto al fronte di scavo anche in presenza della falda idrica.

Analogamente, la configurazione della testa di scavo è in stretta correlazione con la natura dei terreni da attraversare, nel caso specifico si tratta di terreni sciolti prevalentemente ghiaiosi, tuttavia dalle indagini geologiche non si può escludere che nella perforazione saranno attraversati anche dei conglomerati.

Si prevede pertanto l’impiego di una testa in grado di scavare in terreni misti (Figura 11) e cioè in grado di operare sia in terreni sciolti sia in materiali cementati. Ciò è possibile installando, sul disco, diversi utensili di scavo che vanno dagli scalpelli per rimuovere il terreno sciolto ai dischi da taglio idonei a frantumare anche gli strati più resistenti e/o eventuali trovanti che si dovessero incontrare durante il tracciato. Inoltre, particolare cura sarà posta nel dimensionare le aperture presenti nella testa compatibilmente con le dimensioni del del circuito idraulico di smarino.



Figura 11 Testa di scavo per terreni misti

3.2.2. Caratterizzazione meccanica

Si farà d'ora in poi riferimento anche al livello di accelerazione, definito come:

$$L_a(\omega) = 20 \log \left(\frac{a_{RMS}(\omega)}{a_0} \right)$$

Eq. 2

In cui a_0 è il valore di riferimento dell'accelerazione vibratoria, pari a 10^{-6} m/s^2 , a_{RMS} rappresenta il valore efficace dell'accelerazione vibratoria (Root Mean Square) definita sulla durata del fenomeno vibratorio T come:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T [a(t)]^2 dt}$$

Eq. 3

Analogamente sarà definito, con evidenza dei simboli, il livello della velocità di vibrazione:

$$L_V(\omega) = 20 \log \left(\frac{V_{RMS}(\omega)}{V_0} \right)$$

Eq. 4

In cui $V=10^{-8} \text{ m/s}$.

Al fine di fornire una stima dell'impatto delle opere di perforazioni in termini di vibrazioni, non essendo disponibili dati specifici delle attrezzature descritte, si potrà far riferimento a quantità note in letteratura tecnica per macchinari funzionalmente simili.

Sono riportati esempi di spettri di accelerazione, misurati ad una distanza di 5 m dalla sorgente vibratoria, tipici di alcune sorgenti di cantiere, al fine di mostrare quanto pur nella varietà delle attrezzature i fenomeni restino contenuti al di sotto di 110 dB a tutte le frequenze di studio.

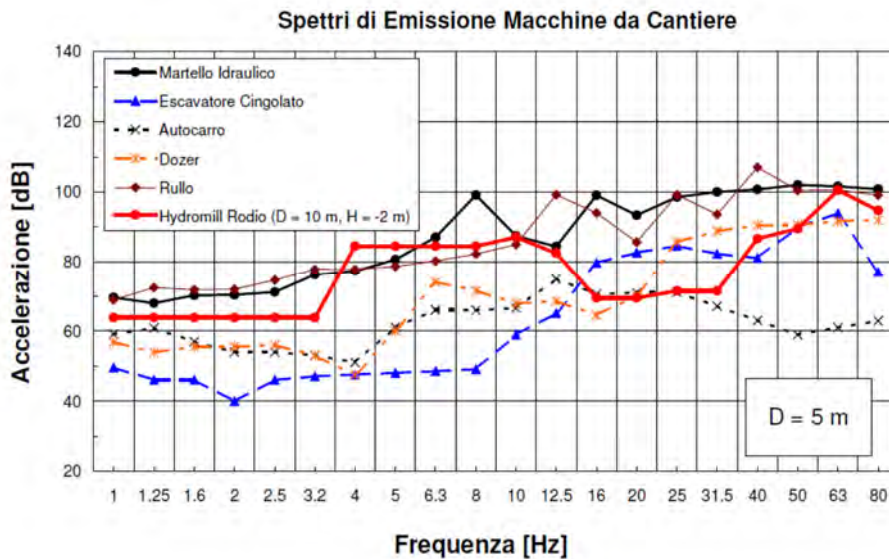


Figura 12. Spettri tipici delle sorgenti di cantiere

Gli spettri indicati sono riferiti alla componente verticale dei seguenti macchinari:

- martello idraulico [tipo Hitachi H50 (FH450LCH.3) o similari];
- escavatore cingolato [tipo Fiat/Hitachi – Mod. FH 300 (in fase di scavo e carico autocarro)];
- autocarro [tipo Mercedes Benz 2629 o similari];
- dozer [Fiat/Hitachi – Mod. FD 175 o similari];
- rullo [tipo Dynapac – FD 25 o similari]
- Idrofresa [tipo Rodio Hydromill o similari]

Per la modellazione delle sorgenti oggetto della presente valutazione è stata utilizzata la seguente tecnica:

- Definizione di una sorgente “di riferimento”, con curva frequenza/livello monotona crescente e attestantesi su 100 dB (con leggero picco superiore) a partire da 31.5 Hz. Tale sorgente consente di assimilare nel proprio spettro il contenuto di energia proprio della demolizione/rimozione di materiale.
- Modellazione di ogni sorgente oggetto di indagine come risultato della combinazione contemporanea e locale di più “sorgenti di riferimento” come sopra dettagliate, precisamente nel numero fornito nella Tabella 3.

Tecniche di perforazione	Numero contemporaneo di dispositivi di riferimento
Tradizionale	3
Microtunnelling (2xDN2500)	4
TBM (DN7500)	6
Dual Mode TBM – EPB (DN4000)	5

Tabella 3. Impatti delle tecniche di perforazione resi come azione contemporanea di più dispositivi di riferimento”

Quanto si ottiene quindi sono gli spettri di accelerazione, considerabili di picco per le sovrastime effettuate, relativi alle differenti tipologie di perforazione:

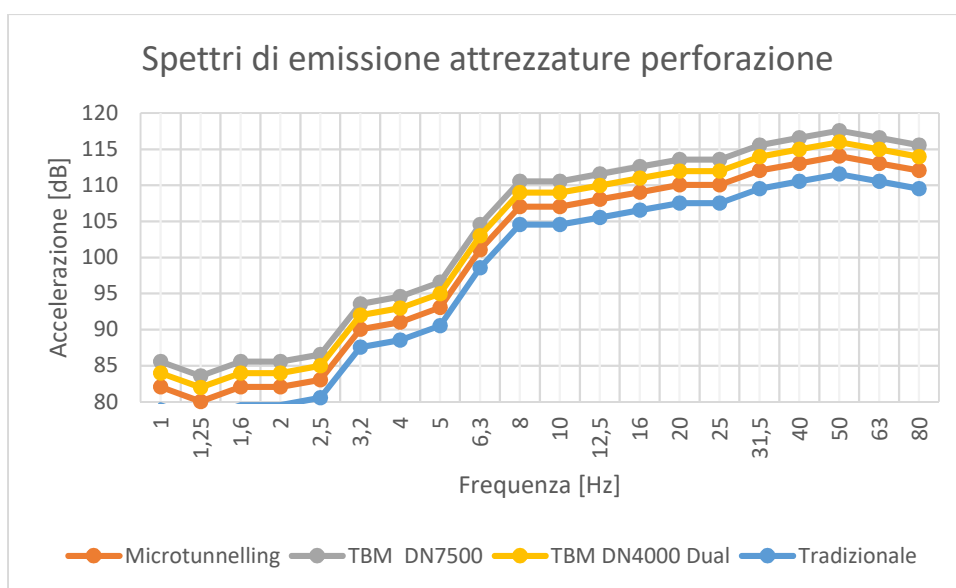


Figura 13. Spettri utilizzati per la stima delle sollecitazioni

Una volta propagati i valori sulla base dei dati di sollecitazione in termini di componenti di accelerazione deve essere ricavata l'informazione sulla velocità di picco.

A tal proposito si può osservare che per sorgenti di vibrazioni con componenti preminenti al di sopra degli 8 Hz (come nel caso in oggetto) si può ritenere con ottima approssimazione che il segnale di accelerazione ponderata sia direttamente proporzionale al segnale di velocità: volendo dunque ricondursi ad un'unica scala di

valutazione in dB, riferendosi ad un'accelerazione di soglia pari a 10^{-6} m/s^2 , si ottiene la relazione semplificata [Angelo Farina, "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali - Normativa, tecniche di misura e calcolo", 2006]:

$$L_V = L_{aw} + 9 \quad [\text{dB}]$$

Eq. 5

3.2.3. Inquadramento interventi

Nella successiva Tabella 4 sono riassunte le tecniche utilizzate durante il tracciato dell'acquedotto, mentre in Figura 2 è presentata la sezione di scavo. Le caratteristiche delle tecniche di scavo saranno approfondite nei paragrafi successivi.

Tratta di scavo	Descrizione	Tecniche	Lunghezza tratto [m]
Condotta di derivazione da acquedotto esistente	Dal nuovo manufatto di partenza delle opere di derivazione - Piana di San Vittorino - al nuovo manufatto di partenza dell'acquedotto	Microtunnelling (2xDN2500)	2870
Galleria Ponzano	Dal nuovo manufatto di partenza dell'acquedotto alla Valle del Salto	Dual Mode TBM - EPB (DN4000)	4750
Sottopasso Valle del Salto	Attraversamento della valle del Salto	Microtunnelling (2xDN2500)	700
Galleria Cognolo	Dalla valle del Salto alla valle del Turano	Dual Mode TBM - EPB (DN4000)	2875
Sottopasso Valle del Turano	Attraversamento della valle del Turano	Microtunnelling (2xDN2500)	600
Galleria Zoccani	Dalla valle del Turano alla Piana delle Molette	Dual Mode TBM - EPB (DN4000)	2500
Galleria Monte Vecchio	Dalla Piana delle Molette al Manufatto Nodo S	TBM doppio scudo (DN7500)	13000
Galleria di sorpasso del nodo Salisano	Dal Manufatto Nodo S - Nuovo Pozzo di dissipazione PZ2 - al nuovo Manufatto Bipartitore	TBM (DN4000)	2000
Galleria di collegamento Manufatto Nodo S - Vasca di carico - Centrale idroelettrica di Salisano	Dal Manufatto Nodo S alla Vasca di carico della Centrale idroelettrica di Salisano	Scavo tradizionale	350

Tratta di scavo	Descrizione	Tecniche	Lunghezza tratto [m]
Collegamento Nuovo Bipartitore – Peschiera tronco inferiore destro	Dal nuovo bipartitore al tronco inferiore destro dell’acquedotto	Scavo tradizionale	175
Collegamento Nuovo Bipartitore – Peschiera tronco inferiore sinistro	Dal nuovo bipartitore al tronco inferiore sinistro dell’acquedotto	Scavo tradizionale	310
Finestra di accesso Cotilia della Galleria Ponzano	Pozzo per ispezione	Scavo tradizionale	300

4. Tabella 4. Definizione delle aree interessate dalle differenti tecniche di scavo lungo il tracciato

3.3 Modelli di propagazione

3.3.1 Fondamenti teorici dell’analisi propagativa

In generale il trasferimento dell’energia prodotta dalla sorgente di vibrazioni al suolo è un fenomeno istantaneo governato da complessi meccanismi il cui andamento è identificabile solo attraverso modelli semplificati (ipotesi elastica di piccoli spostamenti).

Per ogni elemento di terreno la differenza tra configurazione deformata e configurazione libera individua un vettore **s**. Essendo definito in ogni punto, **s** rappresenta un campo vettoriale (campo di spostamento), che può essere sempre decomposto in una somma di un gradiente e di un campo di rotore:

$$s = \nabla\phi + \nabla \times q$$

Eq. 6

Da questo si ricavano immediatamente delle interessanti proprietà. La prima segue immediatamente dalla definizione di divergenza:

$$\nabla \cdot s = \nabla \cdot \nabla\phi + \nabla \cdot (\nabla \times q) = \nabla^2\phi$$

Eq. 7

Un’altra proprietà interessa il rotore del campo:

$$\nabla \times \mathbf{s} = \nabla \times \nabla \phi + \nabla \times (\nabla \times \mathbf{q}) = 0 + \nabla(\nabla \cdot \mathbf{q}) - \nabla^2 \mathbf{q}$$

Eq. 8

Se invece la componente di rotore è nulla, il campo può essere unicamente ricavato come gradiente di una funzione e in tal caso si dice che è *conservativo*. In questo caso non possono essere presenti vortici di campo intorno a nessun punto. Pertanto, applicando il teorema di Stokes questo equivale a considerare nulla qualsiasi circuitazione infinitesima e, componendo le circuitazioni, nullo qualsiasi integrale di cammino chiuso.

Nella trattazione a seguire ogni strato sarà considerato con un modello di solido "alla Hooke", con effetti evidenti della deformazione descritti da relazioni lineari. Ad esempio, ricordando lo scorrimento parallelo descritto dalle componenti diagonali del tensore di deformazione \mathbf{E} (e indotto da sollecitazioni di taglio descritte dalle componenti diagonali di \mathbf{T}) si può considerare, per una porzione isotropa all'interno di un mezzo:

$$T_j^i \approx G\gamma_j^i = G2E_j^i \quad i \neq j$$

Eq. 9

In cui G è definito come modulo elastico trasversale. La naturale estensione dell'eq. precedente è applicata a tutta la parte *deviatoria*, cioè quella interessata a scorrimenti da taglio (da cui sono esclusi gli elementi sulla diagonale).

$$\mathbf{T}^d = 2G\mathbf{E}^d$$

Eq. 10

Per quanto riguarda l'espansione *isotropa*, si cerca analogamente una relazione costitutiva del tipo:

$$\mathbf{T}^o = \alpha \mathbf{E}^o$$

Eq. 11

Dove sono stati introdotti naturalmente i tensori isotropi di stress e di deformazione:

$$\mathbf{T}^o = \frac{1}{3}(\text{Tr}\mathbf{T}) \mathbf{1}, \quad \mathbf{E}^o = \frac{1}{3}(\text{Tr}\mathbf{E}) \mathbf{1}$$

Eq. 12

Combinando le precedenti in un'unica espressione:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}^o + \mathbf{T}^d = \alpha \mathbf{E}^o + 2G \mathbf{E}^d = \alpha \mathbf{E}^o + 2G(\mathbf{E} - \mathbf{E}^o) = (\alpha - 2G)\mathbf{E}^o + 2G\mathbf{E}$$

Eq. 13

Ossia:

$$\mathbf{T} = \lambda(\text{Tr}\mathbf{E})\mathbf{1} + 2G\mathbf{E}$$

Eq. 14

In cui è stato introdotto il coefficiente di Lamé:

$$\lambda = \frac{(\alpha - 2G)}{3}$$

Eq. 15

Si considera un volumetto infinitesimo di densità ρ , sottoposto ad un campo di tensioni descritto dal tensore \mathbf{T} . Per quanto illustrato nel paragrafo 4, la divergenza può essere interpretata come flusso infinitesimo, che pertanto esprime la risultante del campo vettoriale che insiste sul volumetto dato (ricordando che la dimostrazione si basa sul fatto che ai lati opposti del volumetto si verificano variazioni infinitesime del campo). Tale definizione potrà essere applicata anche al campo tensionale espresso dal tensore \mathbf{T} , per calcolare la variazione della componente i -esima della quantità di moto (impulso) della materia contenuta nel volumetto in oggetto:

$$\frac{d(\rho \dot{\mathbf{s}})}{dt} = \nabla \cdot \mathbf{T}$$

Eq. 16

Ricordando il legame costitutivo (relazione tra \mathbf{T} ed \mathbf{E}) riassunto nella Eq. 14 per mezzi omogenei ed isotropi:

$$\frac{d(\rho \dot{\mathbf{s}})}{dt} = \lambda \nabla \cdot [(\text{Tr}\mathbf{E})\mathbf{1}] + 2G \nabla \cdot \mathbf{E}$$

Eq. 17

Recuperando la definizione della deformazione in termini di spostamento:

$$\frac{d(\rho \dot{\mathbf{s}})}{dt} = \lambda \nabla(\nabla \cdot \mathbf{s}) + G[\nabla^2 \mathbf{s} + \nabla(\nabla \cdot \mathbf{s})]$$

Eq. 18

E raccogliendo il termine gradiente di divergenza:

$$\frac{d(\rho \dot{s})}{dt} = (\lambda + G)\nabla(\nabla \cdot \mathbf{s}) + G\nabla^2 \mathbf{s}$$

Eq. 19

L'equazione di trasporto che stavamo cercando, che può essere ulteriormente manipolata facendo uso dell'identità:

$$\nabla^2 \mathbf{s} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{s}) - \nabla \times \nabla \times \mathbf{s}$$

Eq. 20

Si ottiene:

$$\frac{d(\rho \dot{s})}{dt} = (\lambda + 2G)\nabla(\nabla \cdot \mathbf{s}) - G\nabla \times (\nabla \times \mathbf{s})$$

Eq. 10. 1

Riammettendo la scomposizione del campo di spostamento in due parti rispettivamente a gradiente e divergenza nulli come secondo l'Eq. 6:

$$\frac{d}{dt} \left[\rho \frac{d}{dt} (\nabla \phi + \nabla \times \mathbf{q}) \right] = (\lambda + 2G)\nabla[\nabla \cdot (\nabla \phi + \nabla \times \mathbf{q})] - G\nabla \times [\nabla \times (\nabla \phi + \nabla \times \mathbf{q})]$$

Eq. 21

Si elidono in prima battuta tutti gli elementi identicamente nulli in virtù delle proprietà degli operatori differenziali:

$$\frac{d}{dt} \left[\rho \frac{d}{dt} (\nabla \phi + \nabla \times \mathbf{q}) \right] = (\lambda + 2G)\nabla[\nabla \cdot \nabla \phi] - G\nabla \times [\nabla \times (\nabla \times \mathbf{q})]$$

Eq. 22

Riguardo all'ultimo termine si utilizza l'identità nota:

$$\nabla \times [\nabla \times (\nabla \times \mathbf{q})] = \nabla[\nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{q})] - \nabla^2(\nabla \times \mathbf{q}) = -\nabla^2(\nabla \times \mathbf{q})$$

Eq. 23

In definitiva:

$$\frac{d}{dt} \left[\rho \frac{d}{dt} (\nabla \phi + \nabla \times \mathbf{q}) \right] = (\lambda + 2G)\nabla[\nabla^2 \phi] + G\nabla^2(\nabla \times \mathbf{q})$$

Eq. 24

Si assume ora che relativamente alla densità ci si fermi allo sviluppo all'ordine 0 (deformazioni piccole):

$$\rho \cong \rho_0 \quad \frac{d}{dt}\rho \cong 0$$

Eq. 25

In tal modo è possibile portare fuori la densità dalle operazioni di derivata temporale e rimescolare i termini:

$$\rho \frac{d^2}{dt^2}(\nabla\phi) - (\lambda + 2G)\nabla(\nabla^2\phi) = -\rho \frac{d^2}{dt^2}(\nabla \times \mathbf{q}) + G\nabla^2(\nabla \times \mathbf{q})$$

Eq. 26

Commutando opportunamente gli operatori differenziali si arriva a:

$$\nabla \left[\rho \frac{d^2}{dt^2}\phi - (\lambda + 2G)\nabla^2\phi \right] = \nabla \times \left[-\rho \frac{d^2}{dt^2}\mathbf{q} + G\nabla^2\mathbf{q} \right]$$

Eq. 27

Quest'equazione esprime l'uguaglianza tra il gradiente di una certa funzione e il rotore di un'altra funzione: tale uguaglianza è valida per ogni tempo e in ogni punto, quindi si può porre nel caso più generale:

$$\begin{aligned} \nabla \left[\rho \frac{d^2}{dt^2}\phi - (\lambda + 2G)\nabla^2\phi \right] &= \vec{K} \\ \nabla \times \left[-\rho \frac{d^2}{dt^2}\mathbf{q} + G\nabla^2\mathbf{q} \right] &= \vec{K} \end{aligned}$$

Eq. 28

Nel caso particolare di propagazione senza sorgente si potrà considerare nullo l'argomento dei due operatori differenziali, ottenendo:

$$\begin{aligned} \rho \frac{d^2}{dt^2}\phi - (\lambda + 2G)\nabla^2\phi &= 0 \\ \rho \frac{d^2}{dt^2}\mathbf{q} + G\nabla^2\mathbf{q} &= 0 \end{aligned}$$

Eq. 29

Tali uguaglianze presentano la forma a vista dell'equazione d'onda, avendo cura di definire le due velocità:

$$c_\phi = \sqrt{\frac{(\lambda + 2G)}{\rho}}$$

$$c_q = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Eq. 30

In tal modo:

$$\left[\frac{1}{c_\phi^2} \frac{d^2}{dt^2} - \nabla^2 \right] \phi = 0$$

$$\left[\frac{1}{c_q^2} \frac{d^2}{dt^2} - \nabla^2 \right] \mathbf{q} = 0$$

Eq. 31

Riconosciamo dunque nella Eq. 31 la forma dell'equazione d'onda per entrambi i termini, alle due velocità definite nella Eq. 32.

Naturalmente si tratta di propagazioni dispersive, in quanto i moduli del legame costitutivo hanno dipendenza dalla frequenza e di conseguenza da questa dipende la velocità di propagazione.

Come ultima osservazione, notiamo che le onde di taglio ammettono solo due polarizzazioni trasversali. Infatti:

$$\nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{q}) = 0 \quad \overset{\text{trasformata}}{\Leftrightarrow} \quad -i\mathbf{k}_q \cdot \mathbf{s}_q = 0$$

Eq. 32

Dunque l'onda di taglio può essere denominata onda trasversale.

Passando dalle rocce sciolte a quelle lapidee si va da 150 m/s a 3000 m/s. Le rocce lapidee trasmettono su tutta la gamma di frequenze 1-250 Hz, mentre le rocce sciolte lasciano passare solo le frequenze più basse. Infine, per quanto riguarda la sensibilità alle azioni dinamiche, le rocce sciolte risultano più sensibili in quanto, a seconda della loro granulometria, possono smorzare o amplificare il fenomeno vibratorio. Lo smorzamento si ha quando la granulometria è più varia (caso più frequente), per cui ogni pezzatura vibra con frequenza propria differente dalle altre. Le amplificazioni si hanno invece quando, con terreno pressoché monogranulare, la vibrazione ha frequenza prossima e propria del terreno. Molto più sensibili all'azione delle vibrazione sono i

terreni sciolti, per i quali i danni dipendono dall'intensità della vibrazione (per forti intensità si possono avere assestamenti nel terreno e cedimenti differenziali per le strutture in elevazione). Altro effetto è la riduzione dell'attrito interno che genera uno scadimento delle capacità portanti delle terre; con la presenza di coesione, invece, si ha un miglioramento del comportamento del terreno alle vibrazioni, dal momento che la coesione mantiene la propria efficacia indipendentemente dalla presenza delle stesse. Per questo, mentre nel caso di sollecitazione statiche si preferiscono terreni incoerenti, in quanto anche se presentano maggiori assestamenti rispetto a terreni coesivi questi si manifestano in maniera quasi istantanea, nel caso di sollecitazioni dinamiche si devono preferire terreni coerenti.

Si ricorda che la componente di campo di spostamento a rotore nullo (l'onda trasversale) può essere polarizzata solo ortogonalmente alla sua direzione di avanzamento mentre l'onda longitudinale ammette polarizzazioni anche nella direzione di avanzamento dell'onda.

Uno dei casi di interesse nell'analisi della propagazione su suolo ($x_3=0$) è quello rappresentato dalle onde cosiddette di superficie di Rayleigh. La soluzione matematica che porta all'identificazione di tali onde deriva da una riscrittura dell'equazione di Navier del moto:

$$\ddot{\mathbf{s}} = c_q^2 \nabla^2 \mathbf{s} + (c_\phi^2 - c_q^2) \nabla(\nabla \cdot \mathbf{s})$$

Eq. 33

Considerando in aggiunta le seguenti condizioni al bordo:

$$\begin{aligned} T_{33}|_{x_3=0} = 0 &\Rightarrow (1 - \nu)s_{3,3} + \nu s_{1,1}|_{x_3=0} = 0 \\ T_{13}|_{x_3=0} = 0 &\Rightarrow s_{1,3} + s_{3,1}|_{x_3=0} = 0 \\ s_2 = 0 \quad s_3 &\xrightarrow{x_3 \rightarrow \infty} 0 \end{aligned}$$

Eq. 34

Essendo stato posto s_2 pari a zero per distinguere la soluzione da quella riferita alle onde trasversali, assumendo la propagazione nella direzione dell'asse x_1 . La soluzione generale è:

$$s_1 = A \left[e^{-ax_3} - \frac{2ab}{k^2 + b^2} e^{-bx_3} \right] e^{i(kx_1 - \omega t)}$$

$$s_3 = A \frac{a}{k} \left[e^{-ax_3} - \frac{2k^2}{k^2 + b^2} e^{-bx_3} \right] e^{i(kx_1 - \omega t + \frac{\pi}{2})}$$

Eq. 35

In cui:

$$a = k \sqrt{1 - \left(\frac{c_r}{c_l}\right)^2}, \quad b = a = k \sqrt{1 - \left(\frac{c_r}{c_t}\right)^2}$$

Eq. 36

E la velocità di Rayleigh è determinata dall'equazione cubica:

$$\left(\frac{c_r}{c_l}\right)^6 - 8\left(\frac{c_r}{c_t}\right)^4 + 24\left(\frac{c_r}{c_t}\right)^2 - 16\left(\frac{c_r}{c_l}\right)^2 - 16\left[1 - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2\right] = 0$$

Eq. 37

Dal calcolo diretto dell'equazione cubica deriva la possibilità di esprimere la velocità di Rayleigh in funzione di quella delle onde di taglio:

$$c_r = C \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Eq. 38

In cui la costante C può essere ricavata risolvendo l'equazione in cui è esplicitato il coefficiente di Poisson:

$$C^6 - 8C^4 + 8\left(3 - \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)}\right)C^2 - 16\left(1 - \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)}\right) = 0$$

Eq. 39

Che determina, in funzione del coefficiente di Poisson, velocità dell'onda di Rayleigh comprese tra 0.87 e 0.96 volte la velocità delle onde di taglio. Parimenti si può mostrare che le onde di Love hanno velocità generalmente comprese tra quelle delle onde di taglio misurate alla base e in superficie dello strato. Da questo risulta la convenienza di riferirsi all'impedenza utilizzando sempre come riferimento la velocità delle onde di taglio:

$$Z = \rho c_s$$

Eq. 40

Per ultimo va notato che il grado di saturazione influenza la velocità delle onde di compressione: per un grado saturazione inferiore al 99% le vibrazioni si propagano esclusivamente tramite lo scheletro solido e la velocità di compressione è rappresentativa solo delle proprietà meccaniche di tale scheletro, mentre per una saturazione superiore entra in gioco la compressibilità dell'acqua interstiziale e per terreni completamente saturi la propagazione avviene esclusivamente attraverso il liquido, pertanto la velocità di compressione non è più rappresentativa delle proprietà meccaniche del terreno: al contrario la velocità delle onde di taglio e di superficie è scarsamente influenzata dalla presenza del fluido interstiziale, non potendo assorbire sforzi di taglio.

Le equazioni fin qui introdotte consentono, introducendo la parte complessa delle grandezze caratteristiche del legame costitutivo, di stimare tutte le possibili tipologie di smorzamento. Nel fenomeno di propagazione delle vibrazioni, il livello alla distanza x da una sorgente lineare è dunque pari al livello di vibrazione alla distanza x_0 diminuito della somma delle attenuazioni nel terreno A_i , che si verificano nel cammino:

$$L_a(x) = L_a(x_0) - \sum_i A_i$$

Eq. 41

In cui figurano le tre attenuazioni considerate nel modello:

- Attenuazione dovuta alla divergenza geometrica, funzione della forma della sorgente e del tipo di onda;
- Attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno (causata dalla presenza di strati smorzanti, faglie, fessure..);
- Attenuazione dovuta alla presenza di discontinuità nel terreno (geometriche o di materiali).

3.3.2 Attenuazione di tipo geometrico

Per l'attenuazione di tipo geometrico si potrà scrivere:

$$A_g = 20 \log \left(\frac{x}{x_0} \right)^n$$

Eq. 42

In cui x è la distanza dall'asse rotabile, x_0 la distanza di riferimento, n un coefficiente di attenuazione geometrica che varia per il tipo di onda:

Tipo di onde	Valore di n per sorgente puntiforme	Valore di n per sorgente lineare indefinita
Onde di superficie (Rayleigh e Love)	0.5	0
Onde di volume P ed S in prossimità della superficie	2	1.5
Onde di volume in profondità	1	1.5

Tabella 5. Valori dell'esponente n nella formula di smorzamento geometrico della vibrazione

3.3.3 Attenuazione dovute all'assorbimento del terreno

Per quanto riguarda le attenuazioni dovute all'assorbimento del terreno, questa può essere espressa con la formula:

$$A_t = 20 \log \left[e^{\frac{\omega \eta}{2c}(x-x_0)} \right]$$

Eq. 43

In cui si riconoscono la pulsazione d’onda e la velocità di propagazione dell’onda nel terreno, oltreché il fattore di assorbimento η , in prima ipotesi indipendente dalla frequenza. Per uno studio a banda larga può essere considerata l’attenuazione corrispondente alla frequenza di 40 Hz (pulsazione pari a circa 250 rad/s). La successiva Tabella mostra valori indicativi delle velocità in funzione del tipo di terreno.

Tipo di terreno	Vp [m/s]	Vs [m/s]
Argilla satura	1500	100 ÷ 250
Sabbia fine e media	300 ÷ 500	120 ÷ 200
Sabbia densa	400 ÷ 600	200 ÷ 400
Ghiaia	500 ÷ 750	300 ÷ 600
Arenaria	1500 ÷ 4500	700 ÷ 1500
Marna	1500 ÷ 4500	600 ÷ 1500

Tabella 6. Valori indicativi delle velocità di compressione e di taglio in funzione del tipo di terreno.

Tipo di terreno	η
Roccia	0.01
Sabbia, ghiaia, ciottoli	0.1
Limi, argille	0.2 -0.5

Tabella 7. Valori del parametro di smorzamento in funzione del tipo di terreno.

3.3.4 Attenuazione per la presenza di discontinuità: interazione con la fondazione

In questo contesto deve essere considerata anche l’attenuazione per la presenza di discontinuità nel terreno o di mezzo, che tiene conto delle perdite di energia che l’onda vibrazionale subisce al passaggio tra due mezzi di caratteristiche diverse, vale, nel caso di propagazione in direzione normale al piano di separazione tra i due tipi di terreno:

$$A_d = 20 \log \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \right]$$

Eq. 44

In cui Z_i rappresentano le impedenze caratteristiche del mezzo, definite dal prodotto della densità con la velocità di propagazione. L'equazione di attenuazione per discontinuità è valida nell'ipotesi di strati di terreno aventi spessore di gran lunga maggiore della lunghezza dell'onda incidente. L'equazione precedente significa, in particolare, che se consideriamo l'interfaccia fra uno strato incoerente, con densità di circa 1800 kg/m³ ed una velocità di propagazione delle onde di taglio pari a 170 m/s, e il piede della fondazione di densità 2200 kg/m³ con una velocità di propagazione pari a 1800 m/s, l'attenuazione complessiva è di 5.4 dB.

4. Inquadramento geologico del sito, delle attività e dei ricettori esposti

4.1 Aspetti geologici e litotecnici

4.1.1 Inquadramento geotecnico

Come riportato nella relazione geologica, l'area interessata dal progetto è situata in Appennino Centrale e ricade quasi interamente nel gruppo dei Monti Sabini, con la sola eccezione dell'area della sorgente del Peschiera, situata in corrispondenza del contatto tettonico tra la struttura sabina e le unità carbonatiche di piattaforma della dorsale di Monte Nuria.

L'Appennino Centrale è un sistema catena/avanfossa vergente verso il Mare Adriatico e la sua strutturazione avviene per effetto della subduzione verso ovest della crosta continentale che costituisce l'avampese adriatico. La fase orogenica compressiva ha inizio nel Miocene e procede tramite la migrazione verso nord-est del fronte compressivo, tuttora in atto. Durante la fase orogenica giocano un ruolo molto importante le numerose faglie dirette preorogeniche che controllano la fisiografia dei bacini di avanfossa e influiscono sulle traiettorie dei sovrascorrimenti più importanti.

A partire dal Pliocene superiore le porzioni più interne della catena sono interessate da un'intensa tettonica distensiva, collegata all'apertura del Mar Tirreno, che ribassa i settori sud-occidentali della catena con rigetti di centinaia di metri. A questa fase deformativa è legata la formazione delle conche intramontane come la conca di Rieti, oltre a una intensa attività vulcanica pleistocenica nei settori peritirrenici. Attualmente,

la maggior parte della catena appenninica è dominata da quest'ultimo regime distensivo, con la compressione relegata nella stretta zona frontale periadriatica.

In tale contesto anche le zone di massimo sollevamento della catena, di solito associate alla costruzione della struttura compressiva, sono invece caratterizzate da un regime estensionale.

I Monti Sabini sono un importante gruppo montuoso, delimitato verso est dal sistema di sovrascorrimenti noto come linea Olevano-Antrodoco, affiorante nelle Valli del Turano e del Salto, e verso ovest dal complesso di depressioni e valli che costituiscono il Bacino Tiberino.

Poco oltre il limite settentrionale dell'area studiata si colloca la piana di Rieti, una conca intramontana colmata da imponenti spessori (> 400 m) di depositi Plio-quadernari, il cui sprofondamento è da ricondursi all'azione di importanti faglie dirette in un contesto estensionale post-orogenico.

Le formazioni pre-orogeniche affioranti nell'area studiata sono unità essenzialmente calcaree e calcareo-marnose di età Giurassico-Miocene, appartenenti alla successione stratigrafica del Bacino Sabino. Il Bacino Sabino si origina a partire dalla fase estensionale che nel Giurassico inferiore provoca la differenziazione di numerosi domini paleogeografici in un ampio settore della Tetide occidentale, precedentemente caratterizzato da sedimentazione carbonatico-evaporitica di acque basse.

Tale fase tettonica causa lo sprofondamento dei settori al tetto delle faglie giurassiche, nei quali si instaurano condizioni di sedimentazione essenzialmente pelagiche (Bacino Sabino, Bacino Umbro-Marchigiano, Bacino Toscano), mentre nei settori al letto si registra la persistenza di sedimentazione di acque basse (Piattaforma Carbonatica Laziale Abruzzese, Piattaforma Apula, Piattaforma Campana).

La sedimentazione nel Bacino Sabino risente della vicinanza della Piattaforma Laziale Abruzzese, che comporta la presenza di notevoli quantità di depositi risedimentati carbonatici all'interno delle unità pelagiche, messi in posto attraverso flussi gravitativi (torbiditi, grain flows, debrisflows).

A volte tali flussi gravitativi si presentano come dominanti rispetto alla sedimentazione pelagica di background; tali formazioni spiccatamente detritiche sono state distinte dalle classiche formazioni pelagiche.

Nel settore nordorientale dell'area di studio affiorano estesamente ingenti spessori di depositi quaternari post-orogenici appartenenti al Sintema del paleo-Farfa (Unità di Cenciara, Unità di Monteleone Sabino). Questi depositi sono rappresentati essenzialmente da facies conglomeratiche che, in virtù del loro spessore e della loro estensione areale, obliterano quasi completamente i caratteri del substrato pre-orogenico, che affiora soltanto in settori limitati delle valli del Salto e del Turano.

4.1.2 Caratterizzazione geologica

Le unità litostratigrafiche affioranti nell'area di studio comprendono depositi pre-orogenici appartenenti alla successione stratigrafica Sabina, deposti in ambiente marino in un intervallo compreso tra il Giurassico e il Miocene inferiore, e unità postorogeniche di ambiente continentale, appartenenti al Sintema del paleo-Farfa. Depositati più recenti sono costituiti da lembi sparsi di breccie del Pleistocene superiore, ascrivibili al Sintema di Caporio, e dai depositi recenti (alluvioni e depositi di versante) di età olocenica. Nell'area investigata non affiorano formazioni più antiche del Giurassico medio. Uno schema delle stratografie principali è mostrato nella Figura successiva.

Come precisato nella documentazione geotecnica, a cui si rimanda per maggiori approfondimenti, per il riconoscimento delle varie unità sono stati applicati i consueti criteri di rilevamento geologico di campagna (litologia, litologie accessorie, caratteri biostratigrafici), associati quando necessario dall'analisi di campioni in sezione sottile per la determinazione di microfossili significativi ai fini biostratigrafici.

Una breve descrizione dei depositi è riportata nella Tabella 8, mentre in Figura 15 si riportano le sezioni geologiche lungo il percorso dell'acquedotto. In Figura 16 è mostrata una carta geologica con sovrapposizione del tracciato dell'acquedotto; la relativa legenda è presentata in Tabella 9.

In Tabella 10 sono riportate le informazioni necessarie per la caratterizzazione di ciascuno strato in relazione al calcolo previsionale della componente vibrazionale.

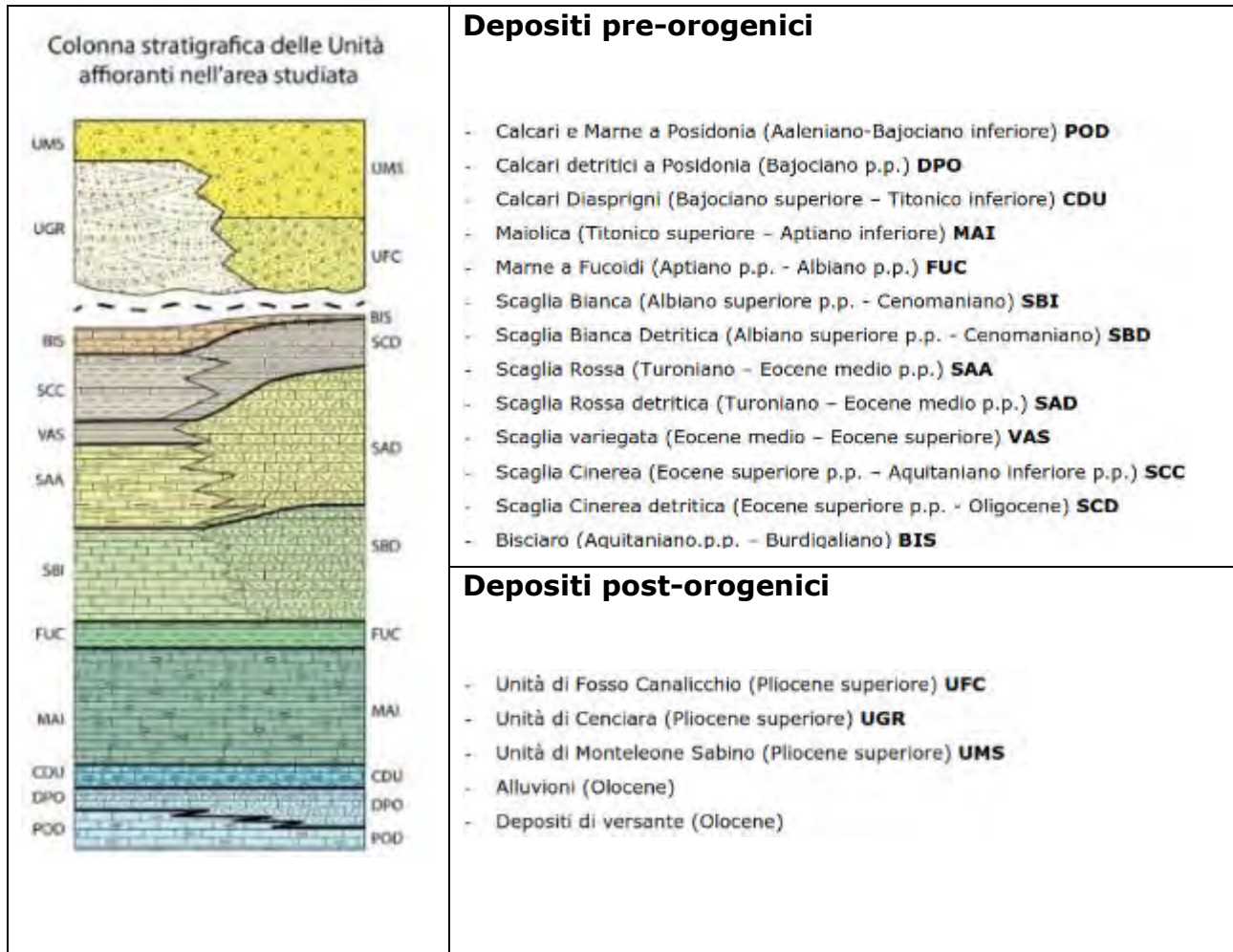


Figura 14 Colonna stratigrafica delle unità affioranti nell'area studiata

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
POD	Calcari e marne a Posidonia	Aaleniano-Bajociano inferiore	Calcari micritici grigi in strati decimetrici, localmente più sottili, con rari interstrati marnosi, liste e noduli di selce. I livelli micritici sono caratterizzati dalla presenza di abbondanti bivalvi a guscio sottile (<i>Posidonia auctt.</i>). La frazione argillosa diminuisce gradualmente verso l'alto.	L'unità affiora al tetto del <i>thrust</i> del Monte Tancia, nel settore sudoccidentale dell'area studiata.	100 metri
DPO	Calcari detritici a Posidonia	Bajociano p.p.	Calcareniti spesso oolitiche di colore da nocciola a bianco, organizzate in strati e banchi di spessore fino a diversi metri, con livelli di brecciole più frequenti al tetto della formazione. Livelli micritici di color nocciola ricchi di <i>Posidonia</i> sono subordinati. Sono presenti intercalazioni, liste e noduli di selce grigia.	L'unità affiora nell'unità tettonica di tetto del sovrascorrimento del M. Tancia, nel settore sudoccidentale dell'area studiata.	100 metri
CDU	Calcari diasprigni	Bajociano superiore – Titonico inferiore	Calcari selciferi, ben stratificati, con abbondanti livelli di selce policroma, ma essenzialmente grigio/biancastra. Sono presenti calcareniti da fini a grossolane e, localmente, brecciole calcaree in spesse bancate. Il contenuto fossilifero della parte alta della formazione è caratterizzato dalla presenza di <i>Saccocoma sp.</i> (crinoide)	L'unità affiora nell'unità tettonica di tetto del <i>thrust</i> del Tancia, nel settore sudoccidentale dell'area studiata.	60 metri

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
MAI	Maiolica	Titonico superiore - Aptiano inferiore	Calcarei micritici di colore bianco organizzati in strati di spessore 10-40 cm, con liste e noduli di selce chiara. Sono presenti subordinati calcari finemente detritici di colore bianco. Il contenuto fossilifero è costituito da radiolari e calpionelle. Il tetto della formazione è caratterizzato da calcari grigi bioturbati con selce nera e intercalazioni di livelli pelitici scuri; questo intervallo è spesso interessato da fenomeni di <i>slumping</i> .	L'unità affiora estesamente nell'area studiata al tetto del <i>thrust</i> del Tancia, nel settore sudoccidentale dell'area studiata. Affiora inoltre nella dorsale montuosa che separa la valle Ariana dalla valle del torrente Canera-Fosso di Montenero, nei dintorni di San Giovanni Reatino e al nucleo dell'anticlinale di Grotti, nella valle del Salto.	Oltre 300 metri
FUC	Marne a Fucoidi	Aptiano p.p. - Albiano p.p.	Marne e marne argillose di colore grigio-verdastro o violaceo, sottilmente stratificate e intercalate a subordinati calcari marnosi dello stesso colore. Le marne sono tipicamente bioturbate (<i>Chondrites sp.</i> = <i>Fucoidi auctt.</i>). Il contenuto fossilifero è costituito essenzialmente da foraminiferi planctonici (<i>Hedbergella sp.</i> , <i>Ticinella sp.</i> , <i>Biticinella sp.</i>). Nei dintorni di San Giovanni Reatino e nella valle del Salto sono frequenti le intercalazioni di calcareniti e brecciole contenenti materiale di piattaforma carbonatica. Sono presenti frequenti intervalli	L'unità affiora nella dorsale montuosa che separa la valle Ariana dalla valle del torrente Canera-Fosso di Montenero, nei dintorni di San Giovanni Reatino e Montenero Sabino e a Grotti, nella valle del Salto.	70 metri

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
			caratterizzati da deformazione gravitativa sinsedimentaria (<i>slumpings</i>).		
SBI	Scaglia bianca	Albiano superiore p.p. – Cenomaniano	Calcari micritici e calcari marnosi bianchi organizzati in strati decimetrici, con liste, lenti, e noduli di selce grigia o nera. Sono frequenti le intercalazioni calcarenitiche in strati spessi e bancate metriche. Il contenuto fossilifero dei livelli micritici è costituito da foraminiferi planctonici (<i>Planomalina sp.</i> , e gruppo delle “ <i>rotalipore</i> ” s.l.). Nei livelli calcarenitici sono abbondanti i granuli tipici di piattaforma carbonatica, tra cui spiccano frammenti di gusci di rudiste. La porzione inferiore della formazione presenta frequenti intercalazioni marnoso-argillose. Al top della formazione è presente il “Livello Bonarelli”, costituito da marne argillose giallastre e nerastre, ricche in sostanza organica. Nell’area investigata il Livello Bonarelli è stato osservato esclusivamente nella dorsale a est di Monte San Giovanni in Sabina.	L’unità affiora estesamente nell’area studiata, in particolare nella dorsale che separa la valle Ariana dalla valle del torrente Canera-Fosso di Montenero e nella valle del Turano.	250 metri
SBD	Scaglia bianca detritica	Albiano superiore p.p. – Cenomaniano	Strati calcarenitici e calciruditici pluridecimetrici di colore bianco-grigiastro, con subordinate bancate di spessore metrico, contenenti essenzialmente un biodetrito indeterminabile e bioclasti di organismi di piattaforma carbonatica, quali rudiste e foraminiferi	L’unità affiora nella Valle del Salto e nella Valle del Turano, nel settore nordorientale dell’area investigata.	300 metri

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
			bentonici. La selce è meno frequente rispetto alla Scaglia Bianca tipica, e di colore bianco. Sono presenti frequenti intervalli caratterizzati da deformazione gravitativa sinsedimentaria (slumpings). I rari livelli pelagici presentano un contenuto fossilifero del tutto paragonabile a quello della Scaglia Bianca.		
SAA	Scaglia rossa	Turoniano - Eocene medio p.p.	<p>Calcarei micritici alternati a calcari marnosi e marne di colore rossastro o avana, organizzati in strati di spessore decimetrico, con liste e noduli di selce rossa. A queste litologie si intercalano strati calcarenitici e bancate detritiche di spessore fino a 1 m contenenti materiale di piattaforma carbonatica. Il contenuto fossilifero dei livelli micritici è costituito, nella parte cretacica, da abbondanti foraminiferi planctonici carenati del gruppo delle "globotruncane" s.l. e da altre forme; la porzione paleogenica dell'unità è invece caratterizzata da abbondanti foraminiferi planctonici appartenenti ai gruppi delle "globigerine" e "globorotalie" s.l.</p> <p>Nella Scaglia Rossa si individua il passaggio Cretacico-Paleogene, marcato dalla brusca variazione nel contenuto microfossilifero appena descritta e, nella zona rilevata, dalla presenza di un intervallo clastico a</p>	L'unità affiora nella porzione sudoccidentale dell'area studiata, nella valle che separa il sovrascorrimento del M. Tancia (Salisano-Mompeo) dalla dorsale a est degli abitati di Montenero Sabino e Monte San Giovanni in Sabina, nonché nella porzione più settentrionale della valle del Salto.	Oltre 200 m

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
			matrice micritica (debris-flow) con litoclasti di piattaforma carbonatica.		
SAD	Scaglia rossa	Turoniano - Eocene medio p.p.	<p>Strati calcarenitici e calciruditici pluridecimetrici di colore bianco-grigiastro o avana, con subordinate bancate di spessore metrico, contenenti essenzialmente un biodetrito indeterminabile, bioclasti di organismi di piattaforma carbonatica e litoclasti. La porzione cretacica dell'unità contiene essenzialmente bioclasti di rudiste, echinodermi, microforaminiferi e macroforaminiferi bentonici.</p> <p>Nella porzione paleogenica dell'unità il contenuto fossilifero dei livelli grossolani è costituito da echinodermi, macroforaminiferi (nummulitidi ed alveolinidi), briozoi, bivalvi e litoclasti di piattaforma carbonatica. La selce è meno frequente rispetto alla Scaglia Rossa tipica, e di colore bianco o grigio; nella porzione superiore dell'unità sono presenti frequenti intercalazioni marnose o argillose di colore grigio-verdastro. I rari livelli pelagici presentano un contenuto fossilifero del tutto paragonabile a quello della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata.</p>	L'unità affiora nella Valle del Turano, nel settore nordorientale dell'area investigata.	Oltre 360 metri

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
VAS	Scaglia variegata	Eocene medio - Eocene superiore	Alternanze di marne calcaree, marne e marne argillose di colore rosato, avana e grigio, organizzati in strati decimetrici. Intercalate a queste litologie si rinvencono calcareniti biancastre con macroforaminiferi in strati pluridecimetrici. Nella parte alta dell'unità sono presenti a luoghi brecciole a nummuliti. Il contenuto fossilifero dei livelli pelagici è costituito da foraminiferi planctonici.	L'unità affiora nella porzione sudoccidentale dell'area studiata, nella valle che separa il sovrascorrimento del M. Tancia (Salisano-Mompeo) dalla dorsale a est degli abitati di Montenero Sabino e Monte San Giovanni in Sabina.	60 metri
SCC	Scaglia cinerea	Eocene superiore p.p. - Aquitano inferiore p.p.	Marne, marne calcaree e marne argillose di colore grigio verdastro o, raramente, violaceo, organizzate in strati sottili e spesso intensamente foliate. Sono presenti frequenti intercalazioni costituite da calcareniti e brecciole calcaree ricche in macroforaminiferi, di spessore pluridecimetrico. Il contenuto fossilifero dei livelli emipelagici è caratterizzato dall'abbondanza di foraminiferi planctonici.	L'unità affiora nella porzione sudoccidentale dell'area studiata, nella valle che separa il sovrascorrimento del M. Tancia (Salisano-Mompeo) dalla dorsale a est degli abitati di Montenero Sabino e Monte San Giovanni in Sabina.	Fino a 200 metri
SCD	Scaglia cinerea detritica	Eocene superiore p.p. - Oligocene	L'unità è costituita da livelli carbonatici detritici, organizzati in strati pluridecimetrici e bancate lenticolari, contenenti abbondanti macroforaminiferi. A questi si intercalano calcari marnosi e marne argillose di colore grigio-verdastro, giallastro e avana. La	L'unità affiora nella valle del Turano	Oltre 100 metri

Depositi pre-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
			porzione componente marnosa è subordinata a quella calcarenitica/calciruditica, tanto che la formazione ha un aspetto francamente calcareo.		
BIS	Bisciario	Aquitaniense.p.p. - Burdigaliano	Alternanze di marne, marne calcaree e calcari marnosi, spesso silicei, di colore grigio, marrone e nero, organizzati in strati da decimetrici a pluridecimetrici, con lenti e noduli di selce nera. Le marne sono spesso bioturbate. Sono frequenti livelli vulcanoclastici. La fauna è caratterizzata da radiolari, spicole di spugna e foraminiferi planctonici.	L'unità affiora nella porzione sudoccidentale dell'area studiata, nella valle che separa il sovrascorrimento del M. Tancia (Salisano-Mompeo) dalla dorsale a est degli abitati di Montenero Sabino e Monte San Giovanni in Sabina.	Oltre 60 metri

Tabella 8 Caratteristiche strati principali – depositi pre-orogenici

Depositi post-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
UFC	Unità di Fosso Canalicchio	Pliocene superiore	Conglomerati grossolani a clasti arenacei e calcarei, con diametro generalmente compreso da pochi cm a oltre 20 cm, organizzati in bancate metriche e generalmente <u>poco cementati per la presenza di sabbia nella matrice.</u>	L'unità affiora nell'estremo settore nordorientale dell'area (Valle del Velino).	Oltre 200 metri

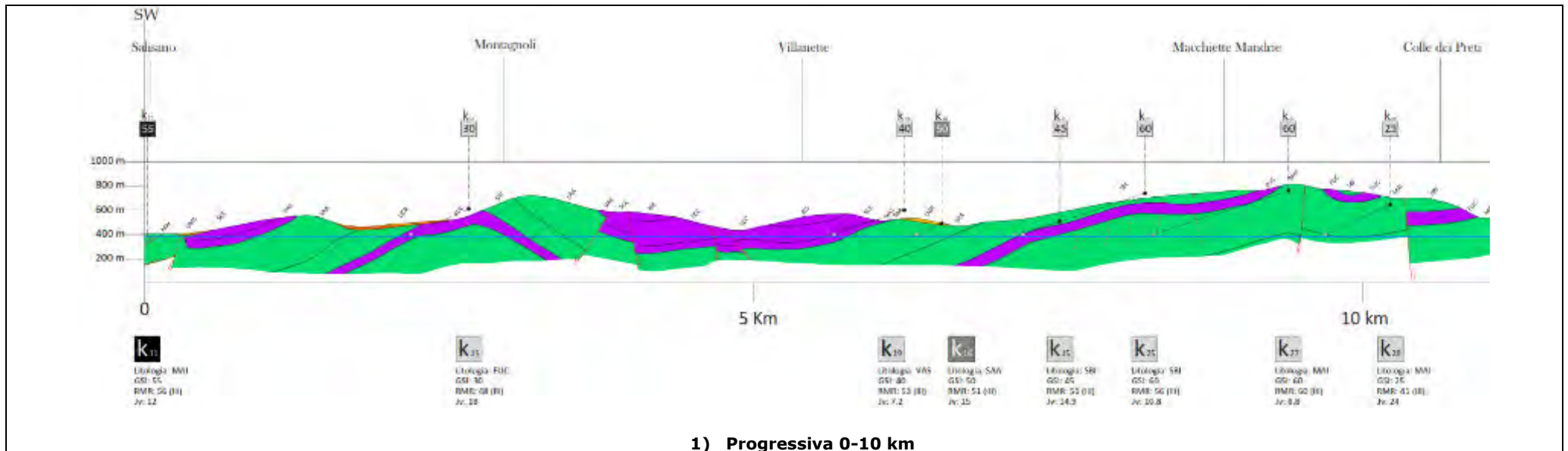
Depositi post-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
UGR	Unità di Cenciara	Pliocene superiore	Conglomerati eterometrici clasto-sostenuti a clasti calcarei e calcareo-marnosi, con diametro medio compreso tra 5 e 15 cm. I conglomerati si presentano in strati piano-paralleli o blandamente lentiformi di spessore metrico, o in bancate spesse fino a 20-30 metri. A luoghi a tali intervalli si intercalano livelli più grossolani, con blocchi di dimensioni anche metriche. Sono presenti orizzonti spessi fino a 2-3 metri costituiti da calcareniti laminate, silt carbonatici e microconglomerati. La composizione dei clasti è riferibile alle unità della successione sabina e della piattaforma laziale-abruzzese, i clasti arenacei e gli intervalli sabbiosi silicoclastici sono invece assenti.	L'unità affiora estesamente nel settore nordorientale dell'area investigata.	Da alcune decine di metri a oltre 350 metri (valle del Turano)
UMS	Unità di Monteleone Sabino	Pliocene superiore	Conglomerati clasto-sostenuti costituiti da ciottoli calcarei e arenacei, associati a ghiaie in matrice sabbiosa con subordinate lenti sabbioso-pelitiche. Il grado di cementazione dei corpi conglomeratici è basso per via della natura silicoclastica della matrice. Alcuni intervalli sono costituiti da calcareniti finissime e marne intercalate ad argille con resti vegetali e sabbie silicoclastiche.	L'unità affiora estesamente nel settore nordorientale dell'area investigata, ma alcuni affioramenti di limitata estensione sono presenti fino al limite sudoccidentale dell'area (Salisano).	Molto variabile, può superare 250 metri
---	Alluvioni	Olocene	Depositi eterometrici con clasti da centimetrici a decimetrici, intercalati a lenti di sabbie, silt e argille,	Affiorano lungo le valli fluviali.	30 metri

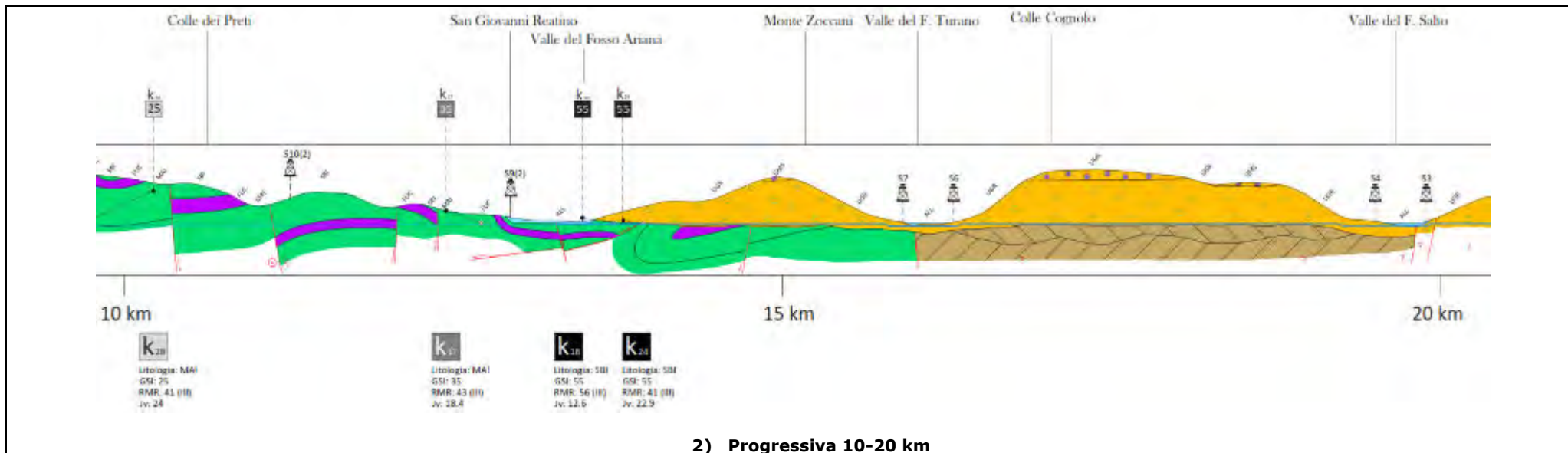
Depositi post-orogenici					
Sigla	Nome	Periodo	Descrizione	Ubicazione	Spessore
			anche contenenti abbondante materiale vegetale e torboso.		
---	Depositi di versante	Olocene	Brecce e conglomerati fortemente eterometrici, da sciolti a debolmente cementati.	Versanti	Da pochi metri fino a 10 - 20 metri

Tabella 9 Caratteristiche strati principali – depositi post-orogenici

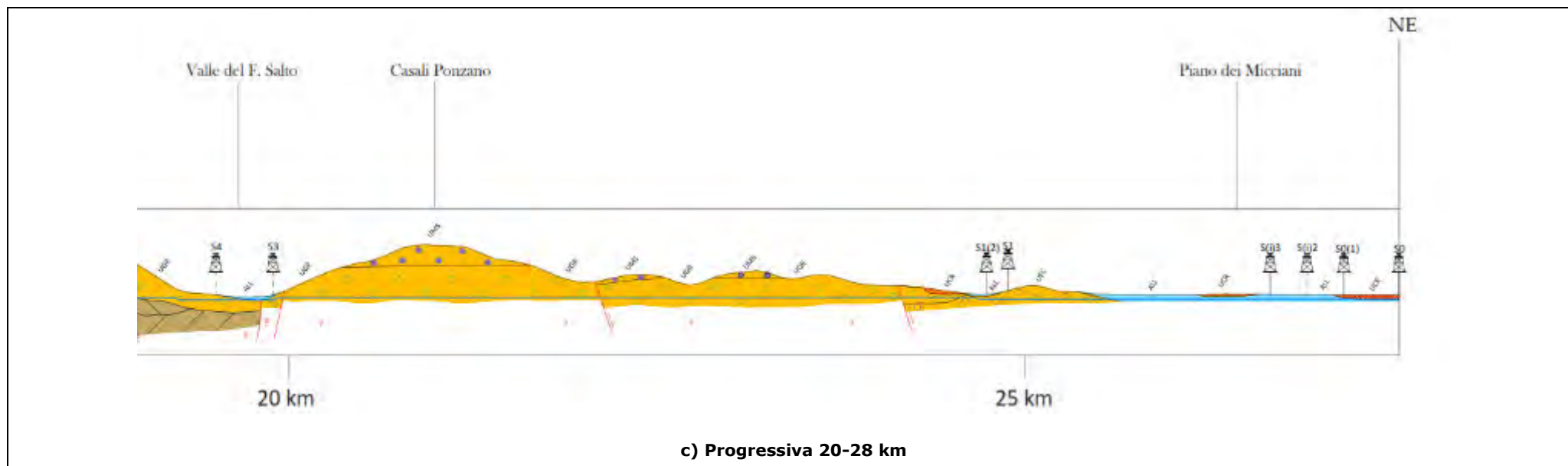
Sigla	Nome	Componenti principali
POD	Calcari e marne a Posidonia	Calccare, marna, selce
DPO	Calcari detritici a Posidonia	Calcarenite (roccia sedimentaria), calcare micritico, brecciola, selce
CDU	Calcari diasprigni	Calccare selcifero + selce, calcareniti, brecciole
MAI	Maiolica	Calccare micritico + selce, calcare detritico, calcare grigio + selce nera
FUC	Marne a Fucoidi	Marna + marna argillose + calcare marnoso, calcarenite, brecciola
SBI	Scaglia bianca	Calccare micritico, calcare marnoso, selce grigia o nera, calcarenite, marna argillosa, biodetriti
SBD	Scaglia bianca detritica	Calcarenite, calcirudite, selce bianca, biodetriti
SAA	Scaglia rossa	Calccare micritico, calcare marnoso, selce rossa, calcarenite, detriti carbonatici
SAD	Scaglia rossa	Calcarenite, calcirudite, biodetriti, selce, marna argillosa
VAS	Scaglia variegata	Marna calcarea, marna, marna argillosa, brecciola, nummulite
SCC	Scaglia cinerea	Marna, marna calcarea, marna argillosa, calcarenite, brecciola, biodetriti
SCD	Scaglia cinerea detritica	Biodetriti carbonatici, calcare marnoso, marna argillosa
BIS	Bisciario	Marna, marna calcarea, calcare marnoso siliceo, selce nera
UFC	Unità di Fosso Canalicchio	Conglomerato arenaceo e calcareo con sabbia (poco cementato)
UGR	Unità di Cenciara	Conglomerato eterometrico a clasti calcarei e calcareo-marnosi, calcarenite laminata, silt carbonatico, microconglomerati
UMS	Unità di Monteleone Sabino	Conglomerato sostenuto da ciottoli calcarei e arenacei, ghiaia in matrice sabbiosa, calcareniti fini
---	Alluvioni	Conglomerato eterometrico, sabbia, silt, argilla, torba
---	Depositi di versante	Conglomerato eterometrico, breccia

Tabella 10 Classificazione degli strati





2) Progressiva 10-20 km



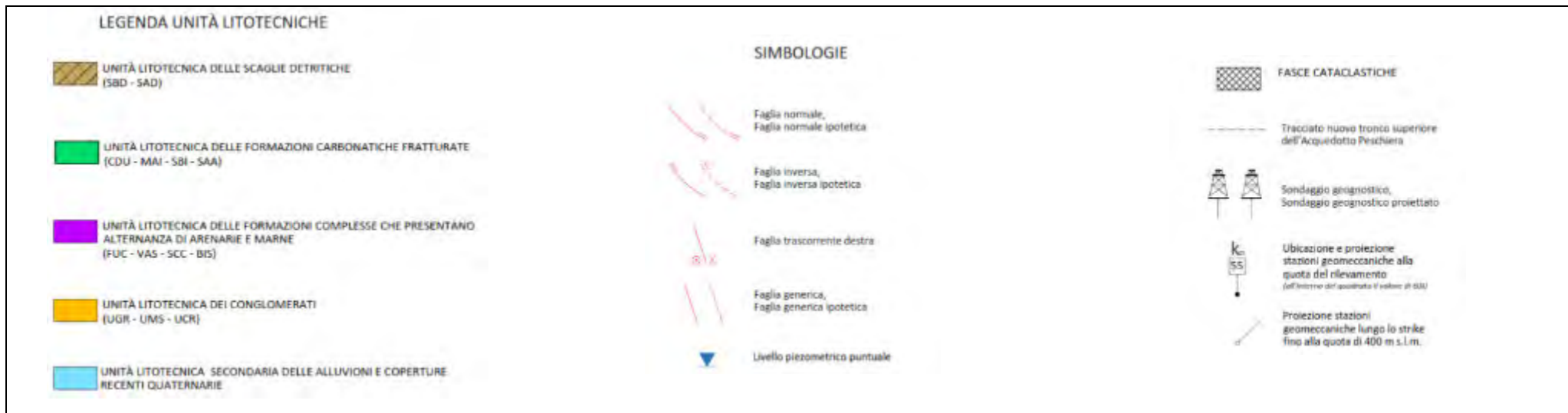


Figura 15 Sezioni geologiche in corrispondenza del Nuovo Acquedotto

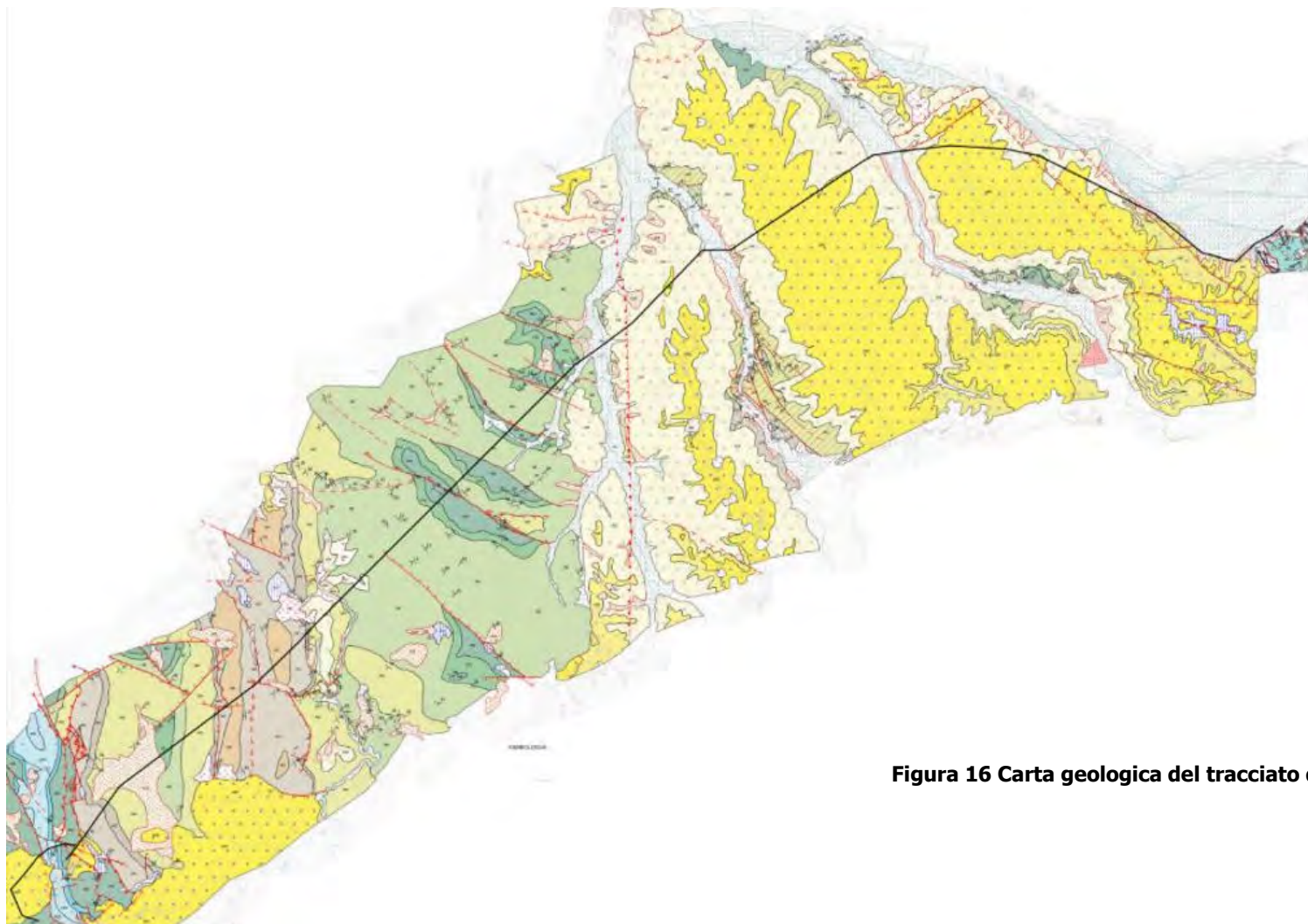


Figura 16 Carta geologica del tracciato del Nuovo Acquedotto

<p>SBD</p>  <p>Scaglia Bianca detritica Calcarei e calcari marnosi, a componente calcarea crescente verso l'alto nella formazione, di colorazione bianca, grigia e raramente tendente al rosso verso le porzioni terminali della formazione. L'unità è caratterizzata da un'importante componente detritica che compone bancate metriche con spessori che possono superare i 2 m. I livelli detritici sono caratterizzati da materiale generalmente fino ma sono presenti anche intervalli grossolani, che arrivano a comporre breccie a macroforaminiferi bentonici. Tale unità affiora prettamente nelle porzioni orientali della carta. Lo spessore è variabile tra i 250 e i 300 m. ALBIANO SUPERIORE P.P. - CENOMANIANO</p>	<p>UGR</p>  <p>Unità di Cenciara Conglomerati fortemente eterometrici, da cementati a molto cementati, in bancate decametriche e livelli decimetrici. Nei settori centrali (Montenero Sabino) e nella Valle del Tevere si intercalano facies a matrice siliceo-argillosa con clasti di dimensioni metriche. Alle bancate si intercalano livelli laminati con materiale fine e intercalazioni argillose che compongono geometrie lentiformi, con spessori mai superiori a pochi decimetri. Lo spessore è fortemente variabile: 20 - 80 m (Monte San Giovanni) e 350 m (Valle del Tevere). PLIOCENE SUPERIORE</p>	<p>DPO</p>  <p>Calcarei detritici con Posidonia Calcarei a prevalenza oolitica, di colore nocciola da scuro a chiaro, stratificati in livelli da centimetrici a decimetrici. Si intercalano bancate compattate con spessori variabili che possono raggiungere anche 2 m in totale. Alle bancate detritiche si intercalano livelli a maggior componente marnosa con elevato contenuto in filamenti ("posidonie"). Lo spessore è compreso tra gli 80 e i 120 m. BAJOCIANO P.P.</p>
<p>SBI</p>  <p>Scaglia Bianca Calcarei e calcari marnosi, a componente calcarea crescente verso l'alto nella formazione, di colorazione bianca, giallina e raramente tendente al rosso verso le porzioni terminali della formazione. Gli strati, uniformi per spessore, hanno potenza da centimetrica a decimetrica. La selce, da bianca a grigia, è sempre presente in forma di liste e noduli. Al tetto della formazione si riscontra la presenza del Livello Bonarelli, con spessori di circa 1 m, presenti nelle porzioni centrali della carta (Monte Vecchio). Il contenuto fossilifero è rappresentato da abbondanti foraminiferi planctonici. Lo spessore raggiunge i 250 m. CENOMANIANO P.P. - TURONIANO P.P.</p>	<p>UFC</p>  <p>Unità di Fosso Canalicchio Conglomerati da moderatamente a scarsamente cementati, con blocchi e clasti arenacei di dimensioni decimetriche, con intercalazioni sabbiose in lenti all'interno dei livelli maggiormente clastici. Nei settori orientali sono rappresentati da breccie con blocchi di dimensioni metriche. Lo spessore è fortemente variabile, da poche decine di metri fino ai 270 m. PLIOCENE SUPERIORE</p>	<p>POO</p>  <p>Calcarei marnosi a Posidonia Calcarei micritici a ridotta componente marnosa, di colore nocciola da scuro al chiaro, tendenti all'olfoca, in strati da centimetrici a decimetrici a ridotta componente detritica. Ai livelli stratificati si alternano subordinatamente bancate detritiche a componente prevalentemente oolitica. Subordinata è la selce, di colore bianco o grigio, in liste e noduli con spessori che mai eccedono i 10-15 cm in totale. Il contenuto fossilifero è dominato dalla presenza di filamenti. Lo spessore è compreso tra i 100 e i 120 m. BAJOCIANO - BAJOCIANO INFERIORE</p>
<p>ROC</p>  <p>Membro di Rocchette Calcarei e calcari marnosi bianchi/verdi stratificati, con sottili intercalazioni marnoso-argillose verdi. La selce presente nell'intervallo ha colorazioni verdi e grigie, a tratti tendenti al nero. Il membro rappresenta il passaggio transizionale tra la Formazione delle Marne a Fucoidi e quella della Scaglia bianca. Si assiste infatti ad un progressivo aumento della componente calcarea verso l'alto. Lo spessore non supera i 10 m. ALBIANO SUP. - CENOMANIANO INF.</p>	<p>UAM</p>  <p>Unità argillose-marnosa Calcarei e calcari marnosi, subordinatamente bioclastici, color marnoso e verdastro, in strati medi, con intercalazioni marnose sottili. Alla base sono presenti marne verdastre con abbondante glauconite. In strati sottili. SERRAVALLIANO P.P. - TORTONIANO P.P.</p>	<p>ELU</p>  <p>Depositi eluvio-colluviali Coltri dovute ad alterazione chimico fisica della roccia madre sottostante. Depositi a clasti monogenici, con prevalenza di clasti di selce, immersi in matrici di colore rosso acceso. Sono generalmente situati sulle cime dei rilievi o in zone depresse non prossime a versanti. OLOCENE</p>
<p>FUC</p>  <p>Marne a Fucoidi Calcarei, calcari marnosi, marne e marne argillose policrome, ben stratificate ove la componente calcarea è maggiore, a struttura flocculata ove domina la componente argillose-marnosa. Nell'intera formazione si intercalano livelli anossici di spessore da centimetrico a decimetrico. L'unità si presenta fortemente calcarea, con livelli detritici, nei settori orientali della carta, dove la componente marnoso-argillosa è del tutto subordinata. Sempre nei settori orientali gli strati raggiungono spessori che arrivano anche a 30 - 50 cm. Lo spessore è variabile tra i 60 e i 90 m. APTIANO P.P. - ALBIANO P.P.</p>	<p>BIS</p>  <p>Bisarno Marne, marne calcaree e calcari marnosi di colore grigio, tendente al marnoso e nero, in livelli sottili e banchi decimetrici. Si intercalano livelli a componenti vulcanoclastici di colore giallo/arancione. La selce, tipicamente di colore nero e grigio scuro è subordinata ma presente nella formazione. L'unità caratterizza gli affioramenti nelle porzioni occidentali della carta. Lo spessore raggiunge i 50 m. AQUITANIANO P.P. - BURDIGALIANO</p>	<p>DET</p>  <p>Detrito di versante Depositi detritici costituiti da clasti spigolosi, generalmente eterometrici e poligenici, a tratti cementati e clinostratificati. Compongono coltri detritiche di spessore modesto ai piedi dei versanti principali e nelle zone depresse prossime ai rilievi. La matrice è sempre sabbioso-argillosa. OLOCENE</p>
<p>CCG</p>  <p>Calcarei Ciclotemici a Gasteropodi Calcarei fangosostenuti, organizzati in cicli a scala metrica, con intercalazioni bioclastiche, e superfici di esposizione subaerea, (cavità paleocarsiche ed esili orizzonti argillose-marnosi). A più livelli, e in maggior misura nella parte mediana, sono presenti intercalazioni, di spessore anche metrico e spesso canalizzate, di biomicriti a nerineidi. BERRIASIANO P.P. - BARREMIANO P.P.</p>	<p>SCI</p>  <p>Scaglia Cinerea detritica Calcarei marnosi, calcari e calcari detritici con colorazioni tendenti al grigio e al marnoso, in bancate metriche e raramente decametriche. La componente marnosa è fortemente subordinata rispetto a quella detritica. I livelli detritici sono composti da materiale fine fortemente cementato, intercalato a livelli più grossolani con breccie e breccie a macroforaminiferi. L'unità caratterizza i settori orientali della carta. Lo spessore raggiunge i 120 m. EOCENE SUPERIORE P.P. - OLIGOCENE</p>	<p>ALL</p>  <p>Depositi alluvionali Depositi a matrice argillose-sabbiosa, con clasti ciottolosi dispersi generalmente di dimensioni modeste, raramente al di sopra di pochi decimetri. Occupano le pianure alluvionali delle valli principali costituendo coltri di modesto spessore, anche superiori ai 20 - 30 m. OLOCENE</p>
<p>MAI</p>  <p>Maiolica Calcarei micritici, di colore da bianco a debolmente giallo, ben stratificati in livelli da centimetrici a decimetrici, con spessori che si aggirano in media intorno ai 20 cm. Ai livelli calcarei si alternano porzioni selciferi con liste e noduli centimetrici e decimetrici di selce bianca, tendente al nero nelle porzioni terminali della formazione. I livelli superiori al contatto con la Formazione delle Marne a Fucoidi sono caratterizzati da un progressivo aumento della componente argillose-marnosa. Lo spessore è variabile tra i 250 m e i 350 m. TITONICO SUPERIORE - APTIANO INFERIORE</p>	<p>SCC</p>  <p>Scaglia Cinerea Calcarei marnosi, marne calcaree marne e argille di colore grigio e marnoso, in livelli laminati e foliati tettonicamente in strutture SC. Ai livelli laminati e foliati si intercalano vari strati calcarei compattati con spessori che mai superano i 10 - 20 cm. Il contenuto in argilla si mantiene costante nell'intera unità. La componente fossile è caratterizzata da foraminiferi planctonici. Raramente nelle porzioni superiori si intercalano bancate metriche di breccie di materiale risedimentato con macroforaminiferi. L'unità caratterizza i settori centrali e occidentali della carta. Lo spessore raggiunge i 100 - 120 m. EOCENE SUPERIORE P.P. - AQUITANIANO INFERIORE P.P.</p>	<p>UCR</p>  <p>Sistema di Caporio Depositi di versante, in forma di breccie e conglomerati eterometrici, da stratificati a ben stratificati in scarsa matrice. Compaiono livelli di suolo e livelli vulcanoclastici in intercalazioni all'interno dei livelli detritici. Lo spessore raggiunge i 20 m. PLEISTOCENE SUPERIORE</p>
<p>ELL</p>  <p>Calcarei ad Ellipsactinie Calcarei bioclastici bianchi, localmente con rare intercalazioni microdetritiche. I bioclasti sono rappresentati da resti di ellipsactinie, chetitidi, coralli, briozoi e echinidi. KIMMERIDGIANO - TITONIANO</p>	<p>VAS</p>  <p>Scaglia Variegata Calcarei marnosi, marne e marne argillose, con colori variabili dal rosso, al rosso al grigio, in livelli laminati e raramente in strati centimetrici, generalmente foliati e deformate in strutture SC tettoniche. La componente argillosa tende ad aumentare verso l'alto nell'unità fino a diventare preponderante rispetto a quella calcarea. Il contenuto fossilifero è rappresentato da foraminiferi planctonici. L'unità è rappresentativa delle porzioni occidentali della carta. Lo spessore è variabile tra 50 e 80 m. EOCENE MEDIO - EOCENE SUPERIORE</p>	<p>UPM</p>  <p>Sistema del Torrente Ariana Ghiaie, conglomerati e breccie scarsamente cementate con intercalazioni sabbioso-limose. Lateralmente passano a breccie eterometriche con intercalati livello di suolo. Si intercalano localmente lenti travertinose. Lo spessore non supera i 10 m. PLEISTOCENE MEDIO TERMINALE - PLEISTOCENE SUPERIORE</p>
<p>ECO</p>  <p>Calcarei ad Echinodermi e Coralli Calcarei bioclastici prevalenti, con bioclasti costituiti da frammenti di echinodermi, antozoi e briozoi. Verso l'alto alternanze di calcari ricristallizzati, calcareniti organogene con rari livelli micritici ad alghe calcaree e calcari oolitici grigi. OXFORDIANO P.P. - KIMMERIDGIANO P.P.</p>	<p>SAD</p>  <p>Scaglia Rossa detritica Calcarei e calcari marnosi, di colore variabile dal rosso al grigio, in bancate metriche, caratterizzate da un'elevata componente detritica. Alle bancate si intercalano livelli calcarei micritici di colore rosso con spessori centimetrici o raramente decimetrici. La selce è presente ma molto subordinata alla componente calcarea, con colorazioni variabili dal rosso al vinaccia. La componente detritica è generalmente fine ma si intercalano livelli grossolani, talvolta breccie, con breccie a macroforaminiferi bentonici. L'unità affiora nelle porzioni orientali della carta. Lo spessore raggiunge i 300 m. TURONIANO P.P. - EOCENE MEDIO P.P.</p>	<p>AIN</p>  <p>Sistema del Torrente Ariana Ghiaie, conglomerati e breccie scarsamente cementate con intercalazioni sabbioso-limose. Lateralmente passano a breccie eterometriche con intercalati livello di suolo. Si intercalano localmente lenti travertinose. Lo spessore non supera i 10 m. PLEISTOCENE MEDIO TERMINALE - PLEISTOCENE SUPERIORE</p>
<p>CDU</p>  <p>Calcarei diasprigni Calcarei e calcari debolmente marnosi, di colore grigio o nocciola, ben stratificati in livelli da centimetrici a decimetrici, mai superiori ai 15-20 cm. La selce rappresenta una litologia accessoria, essendo presente in ridotte porzioni della formazione. La selce compare in forma di liste e più raramente di noduli, di colore bianco e grigio, solo raramente tendente all'arancione. Raramente compaiono livelli detritici in strati decimetrici. Lo spessore è di circa 60-70 m. BAJOCIANO SUPERIORE - TITONICO INFERIORE</p>	<p>SAA</p>  <p>Scaglia Rossa Calcarei micritici, calcari marnosi e marne di colore variabile tra rosso, arancione e nocciola, ben stratificati in livelli generalmente inferiori al decimetro. L'intera unità è caratterizzata da numerose intercalazioni a maggior componente marnoso-argillosa, tipicamente con colorazioni più chiare. La selce, presente in liste e noduli, con colorazioni dal rosso al vinaccia, è sempre presente. Il contenuto fossilifero è rappresentato da abbondanti foraminiferi planctonici. La formazione caratterizza le porzioni occidentali della carta. Lo spessore raggiunge i 200 - 250 m. TURONIANO - EOCENE MEDIO P.P.</p>	<p>UCT</p>  <p>Sistema di Cittaducale Conglomerati eterometrici, da mediamente a ben cementati con intercalazioni sabbiose e limose in lenti limitate. Nei pressi di Cittaducale il sistema è composto da depositi di versante con breccie eterometriche ben stratificate. Lo spessore non supera gli 80 m. PLEISTOCENE MEDIO</p>
		<p>UPG</p>  <p>Sistema di Poggio Perugino Breccie stratificate a componente prevalentemente calcarea in matrici rosse. Localmente l'unità si presenta in forma di breccie caotiche con blocchi metrici e scarso contenuto in matrice. Lo spessore non supera i 40 m. PLEISTOCENE MEDIO</p>
		<p>UMS</p>  <p>Unità di Moneleone Sabino Conglomerati clastosostenuti, con clasti arenacei e silicei e clasti subordinatamente calcarei. Conglomerati da cementati a scarsamente cementati. Comuni sono livelli marnoso argillosi con componente arenacea in geometrie lentiformi di dimensioni ridotte. Lo spessore varia tra i 30 m e i 200 m. PLIOCENE SUPERIORE</p>

4.1.3 Specifiche delle gallerie e del sorpasso di Salisano

Sono mostrate con maggiore dettaglio le tre gallerie da realizzarsi con diametro nominale interno di DN 4.00 m, lungo il tratto che collega le sorgenti del Peschiera (piano dei Micciani) con la piana delle Molette, passando per la valle del Salto e del Turano. Tali gallerie sono:

- Galleria Ponzano (Figura 17),
- Galleria Cognolo (Figura 18)
- Galleria Zoccani (ancora in Figura 18).

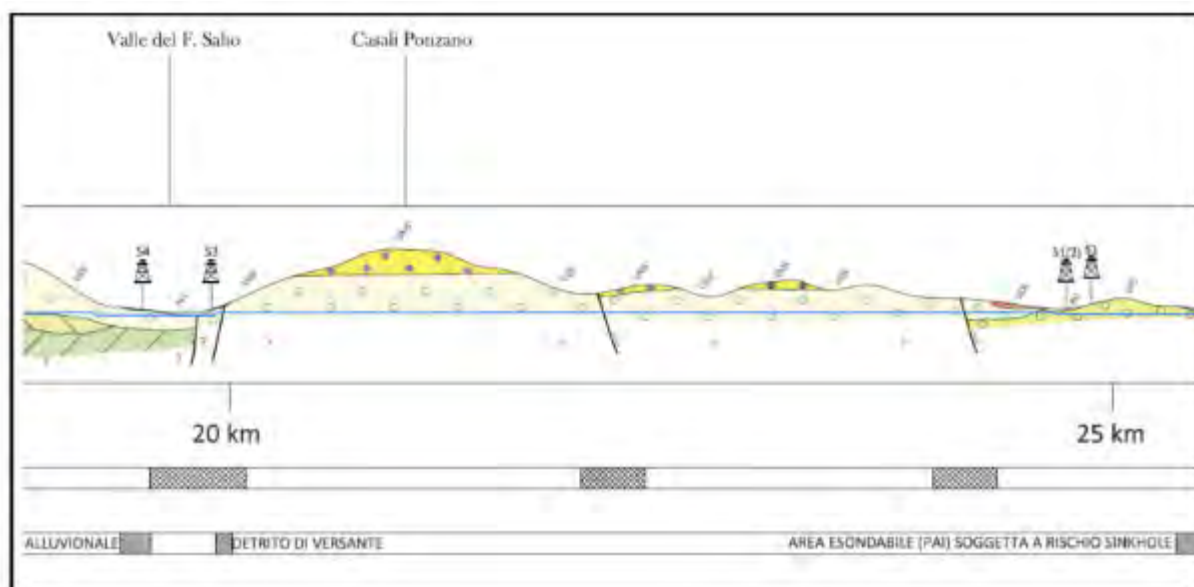


Figura 17 Particolare del profilo geologico della galleria Ponzano

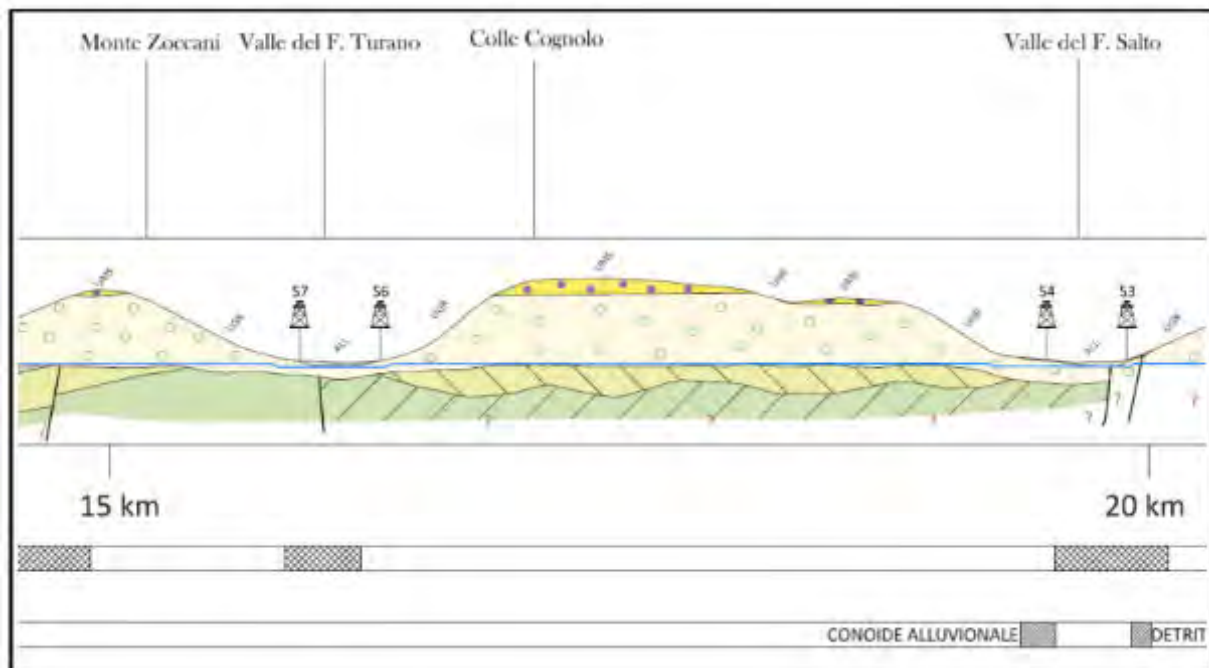


Figura 18 Particolare del profilo geologico delle gallerie Cognolo e Zocani

Da una prima analisi geologica il profilo presso le gallerie risulta costituito principalmente dall'*Unità di Cenciara* (UGR) costituita da conglomerati eterometrici clasto-sostenuti, con strati da decimetrici a metrici, spesso amalgamati a formare potenti bancate spesse da 5 a 2030 metri, con orizzonti limoso-calcarenitici spessi fino a 2-3 metri. Nei settori nordorientali si intercalano lenti di brecce caotiche fango-sostenute (*Bisciara*, BIS) e in misura minore in affioramento in superficie da marne, marne calcaree e calcari marnosi di colore grigio, avana e nero, localmente silicizzati, disposti in strati sottili e banchi. Sono presenti sottili interstrati marnoso argillosi, selce nera concentrata in lenti e noduli e orizzonti vulcanoclastici a composizione acida (*Scaglia Rossa*, SAA). Più in profondità si riscontra la presenza di alternanze di calcari marnosi, in strati sottili e medi, e marne, in strati e banchi, di colore rossastro ed avana, con selce rossa in liste e noduli. Sono presenti, inoltre, numerose intercalazioni di detriti in strati, lenti e bancate (spessore fino a 1 m), costituiti da calcareniti e calciruditi.

Tali conglomerati quindi si potranno presentare come una roccia di buone caratteristiche geomeccaniche ma anche con uno stato di alterazione estremamente marcato fino ad essere assimilabili ad una ghiaia con trovanti sabbiosi e marnosi. La realizzazione delle gallerie terrà conto della eterogeneità del substrato.

La galleria Monte Vecchio, da realizzarsi con diametro nominale interno di 7.50 m di lunghezza 12900 m, interessa invece altre formazioni quali la Maiolica, Scaglia Bianca, Rossa Variegata e Cinerea e le Marne a Fucoidi. Il profilo, presentato in Figura 19, è costituito principalmente da rocce della *Scaglia Rossa*, SAA, costituite da alternanze di calcari marnosi, in strati sottili e medi, e marne, in strati e banchi, di colore rossastro ed avana, con selce rossa in liste e noduli. Sono presenti, inoltre, numerose intercalazioni di detriti in strati, lenti e bancate (spessore fino a 1 m), costituiti da calcareniti e calciruditi.

È presente la *Scaglia cinerea* (SCC) che presenta marne, a luoghi calcaree, con fauna a foraminiferi planctonici, e marne argillose spesso intensamente foliate, di colore grigio verdastro, a volte rossastro; disposte in strati decimetrici. Sono frequenti intercalazioni, di spessore decimetrico, di calcareniti e brecciole calcaree, di colore avana, ricche in macroforaminiferi. Lo strato di *Maiolica* (MAI) presenta calcari micritici di colore bianco, grigio, giallastro o nocciola chiaro, disposti in strati di 10-40 cm, con liste e noduli di selce grigio chiaro. A questi si intercalano calcari finemente detritici bianchi. Al tetto della formazione sono presenti calcari scuri, con selce nerastra, e intercalazioni via via più frequenti di livelli pelitici. (*Scaglia Bianca*, SBI; *Marne a Fucoidi*, FUC).

Per quanto riguarda il **sorpasso alla centrale di Salisano**, il cui profilo geologico è mostrato in Figura 20, si precisa che l'abitato di Salisano è ubicato su una rupe caratterizzata da una morfologia abbastanza aspra, con versanti particolarmente acclivi. I dati disponibili evidenziano in questo settore una franosità diffusa, con fenomenologie censite relative a crolli, scivolamento e movimenti complessi, che interessano i litotipi calcarei affioranti. Anche in questo settore la realizzazione del nuovo acquedotto sarà eseguita con scavo in galleria, pertanto, al di là dei necessari approfondimenti conoscitivi del contesto geomorfologico, è prevedibile che i fenomeni sopra descritti non abbiano alcun impatto sull'opera di prevista realizzazione.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, l'interpretazione dei dati a disposizione è tale da non evidenziare interazione tra opera di progetto e la circolazione idrica principale, più profonda, mentre non si esclude il possibile locale intercettamento di falde libere di limitata produttività, sospese al di sopra delle *Marne a Fucoidi* (FUC).

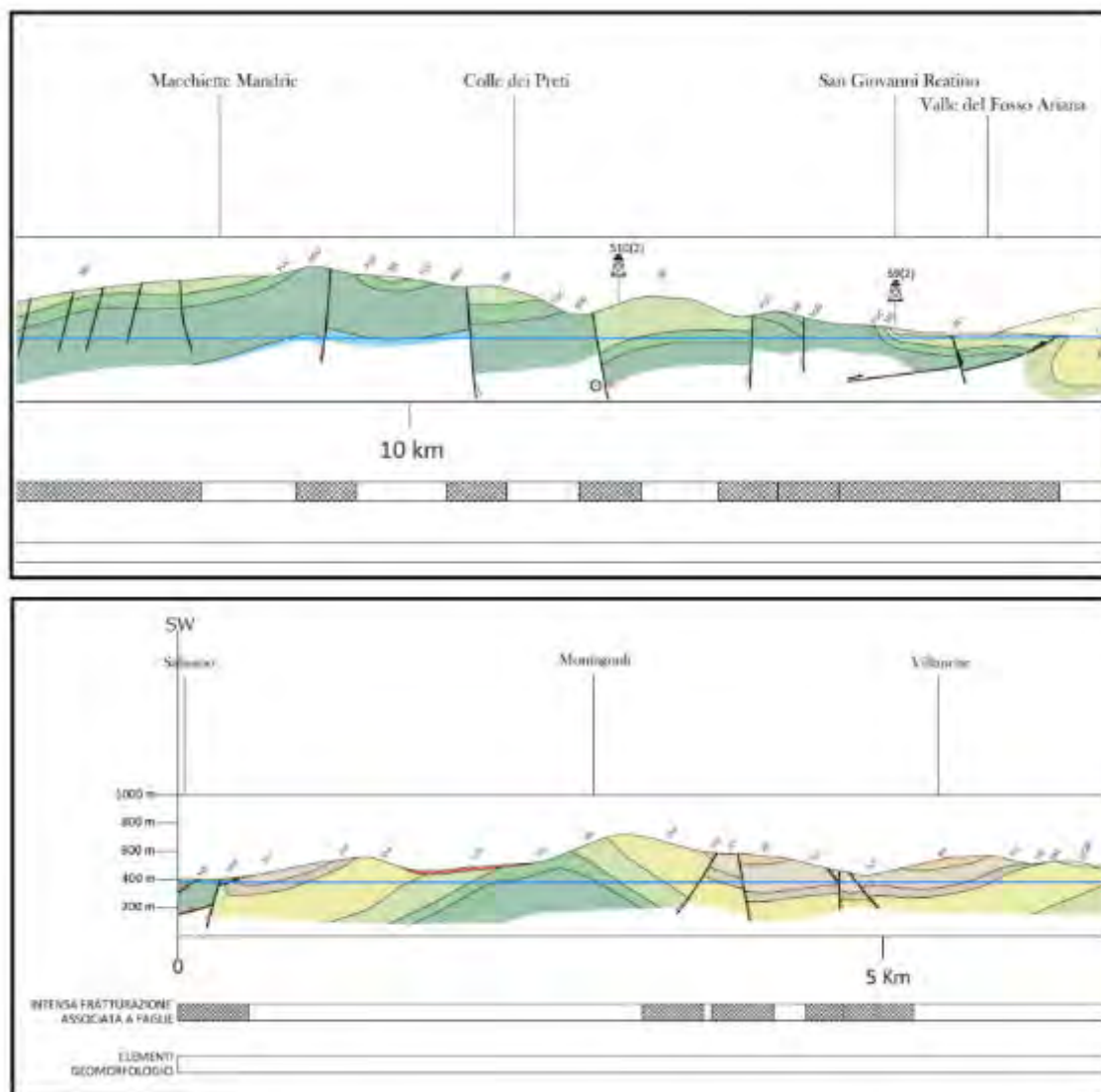


Figura 19 Particolare del profilo geologico della galleria Monte Vecchio

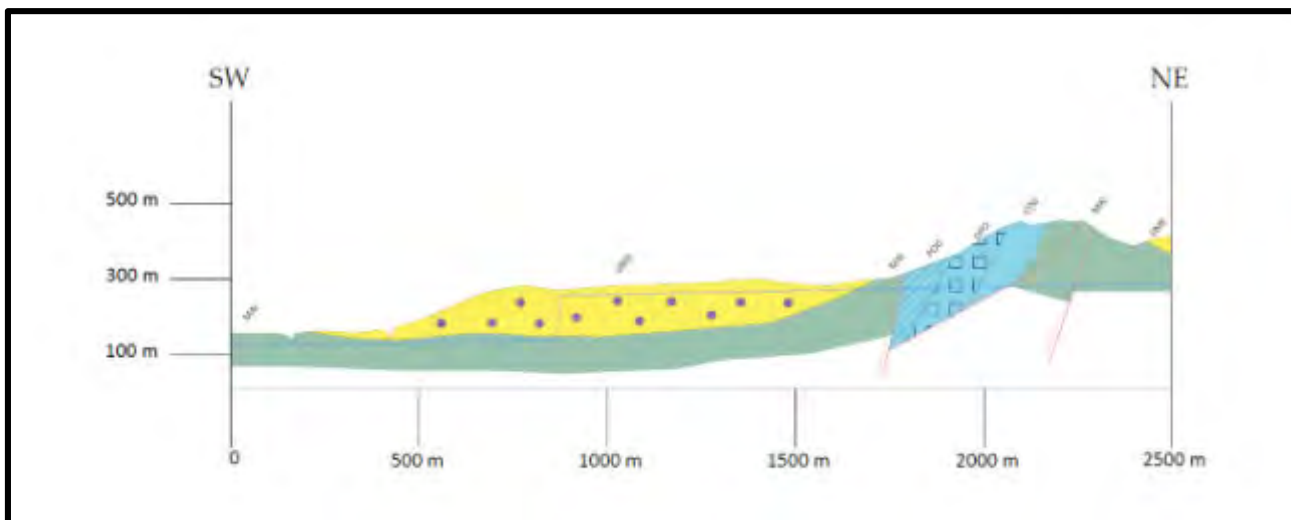


Figura 20 Particolare del profilo geologico del sorpasso alla centrale di Salisano

4.1.4 Profili stratigrafici

Nelle schede successive si riportano i risultati in termini di composizione stratigrafica dei campionamenti geologici effettuati nell'area di studio mediante tecnica del carotaggio; per maggiori approfondimenti sulle caratteristiche dei campioni si rimanda alla documentazione geologica. L'ubicazione dei campioni prelevati è mostrata nella mappa generale di Figura 21 e nei dettagli di Figura 22 e Figura 23, mentre nel sinottico di Tabella 11 sono riassunte le caratteristiche dei campioni e sono indicati i ricettori maggiormente vicini a ciascuna area indagata.

ID campione	Ubicazione	Profondità sondaggio [m]	Tipologici principali	Ricettori vicini
S0	Rieti – Acquedotto del Peschiera	50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Sabbie fini limose ➤ Ghiaie in matrice sabbia ➤ Sabbia a grana media ➤ Calcare [36 m] ➤ Sabbie grossolane 	Cluster R-00-01
S0(1)	Rieti – Acquedotto del Peschiera	30	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Sabbie fini ➤ Sabbie medie ➤ Ghiaie in matrice sabbia ➤ Calcare [17.5 m] + sabbia ➤ Sabbie medie 	Cluster R-00-01 e R-00-02
S0(2)	Piana di S. Vittorino	30	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Limo argilloso-sabbioso ➤ Ghiaia con ciottoli 	Cluster R-00-01
S03	Piana di S. Vittorino	27	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Limo sabbioso ➤ Torba ➤ Ghiaia con ciottoli 	Cluster R-00-01
S0(4)	Piana di S. Vittorino	50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Limo argilloso-sabbioso ➤ Ghiaia con ciottoli 	Cluster R-00-01
Si2	Località Micciani	35	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno di riporto ➤ Sabbie con ghiaie non addensate ➤ Sabbie con ghiaie in matrice limosa ➤ Argille sabbioso-limose ➤ Argilla con ghiaia ➤ Argilla sabbiosa ➤ Sabbie limoso-argillose ➤ Argilla sabbioso-ghiaiosa ➤ Argilla marnosa grigiastra 	Cluster R-00-02
Si3	Località Micciani	50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Sabbie medio-fini ➤ Sabbie limose 	Cluster R-00-03

ID campione	Ubicazione	Profondità sondaggio [m]	Tipologici principali	Ricettori vicini
			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deposito organico ➤ Sabbie a grana grossolana ➤ Limi sabbioso-argillosi ➤ Sabbie a grana fine, limose 	
S1	Tra Località Micciani e Caporio	25	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno di riporto ➤ Ghiaie sabbiose con clasti ➤ Sabbie a grana media ➤ Sabbie con ghiaia e limo 	R-02-01_06, Cluster R-02-02
S3	Località Cenciara	30	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno di riporto ➤ Sabbie fini, limose ➤ Sabbia limosa debolm. Argillosa ➤ Sabbia argilloso-limosa e argille ➤ Breccia calcarea [11.5 m] ➤ Sabbie limoso-ghiaiose ➤ Sabbie limose con ghiaia ➤ Argilla marnosa 	Cluster R-07-01 e R-08-01 (distanza superiore a 2000 m)
S7	Loc. Collina – Via Seconde Ville	23	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno di riporto ➤ Sabbie fini limose ➤ Sabbia limosa ➤ Sabbie limoso-ghiaiose ➤ Calcarea [16.5 m] 	Cluster R-11-01 (distanza superiore a 2000 metri)
S2(2)	Zona “Il Picchio Verde”, Cittaducale	80	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Materiale di riporto ➤ Limo con sabbie deb. Argillose o ghiaiose ➤ Sabbie limose deb. Argillose ➤ Ghiaie sabbiose ➤ Calcarea litoide [35 m] 	Cluster R-04-01, Cluster R-05-01, Cluster R-05-03 R-05-02_01, 07, 08, 14
S4	Località Cenciara	40	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Ghiaie eterodimensionali ➤ Limi sabbiosi e argillosi ➤ Detrito con ghiaia e sabbia 	Cluster R-07-01 e Cluster R-08-01 (distanza superiore a 2000 m)
S6	Loc. Collina – Via Seconde Ville	40	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale di riporto ➤ Sabbie fini, limose ➤ Detrito con ghiaia e sabbia 	Cluster R-11-01 (distanza superiore a 2000 metri)
S10(2)	San Giovanni Reatino	100	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Ghiaie in matrice sabbioso-limosa ➤ Limi sabbiosi con ghiaie ➤ Sabbie limose con ghiaie ➤ Calcarea selcifero [18 m] ➤ Calcarea litoide ➤ Calcarea tenace 	Cluster R-15-01
S9	Piana delle Molette –	40	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limi con ghiaia e sabbia ➤ Sabbie, ghiaia e ciottoli ➤ Argille limose deb. sabbiose ➤ Sabbie deb. ghiaiose 	Cluster R-15-01 (distanza superiore a 1500 metri)

ID campione	Ubicazione	Profondità sondaggio [m]	Tipologici principali	Ricettori vicini
	Belmonte in Sabina		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ghiaie medio-grosse deb. sabbiose ➤ Sabbie ghiaiose ➤ Ghiaie grosse con sabbia ➤ Argilliti consistenti ➤ Limi sabbioso-argillosi ➤ Sabbie ghiaiose ➤ Ghiaie medio-grosse 	
S1(2)	Tra Località Micciani e Caporio	50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Sabbia con ghiaie ➤ Sabbione calcareo ➤ Ghiaie grossolane ➤ Ghiaie e blocchi calcarei ➤ Sabbie limose e ghiaie ➤ Ghiaie con sabbia ➤ Sabbie limose con argilla ➤ Ghiaie sabbiose ➤ Sabbia limosa ➤ Ghiaie grosse ➤ Sabbie limose ➤ Ghiaia in matrice sabbiosa 	R-02-01_06, Cluster R-02-02
S9(2)	San Giovanni Reatino	50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Materiale di riporto ➤ Ghiaie in matrice limo-sabbia ➤ Blocchi calcarei (circa 1 m spess) ➤ Ghiaie con sabbia e limo ➤ Limo sabbioso ➤ Ghiaie in matrice limo-sabbia ➤ Limo con sabbia ➤ Ghiaie con sabbia ➤ Sabbione con ghiaie tenaci ➤ Sabbie limose ➤ Sabbione calcareo ➤ Calcare selcifero [36.5 metri] 	Cluster R-14-00 e R-14-01
S9(pz)	San Giovanni Reatino	40	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno vegetale ➤ Materiale di riporto ➤ Ghiaie in matrice limo-sabbia ➤ Ghiaie con sabbia e limo ➤ Limo sabbioso ➤ Ghiaie in matrice limo-sabbia ➤ Limo con sabbia ➤ Ghiaie con sabbia ➤ Sabbione con ghiaie tenaci ➤ Limo con sabbia ➤ Sabbie limose ➤ Calcare selcifero [40 metri] 	Cluster R-14-00 e Cluster R-14-01
S14(2)	Località Rocca	47	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sabbia limosa e limo argilloso ➤ Argilla con breccia 	Cluster R-28-01, Cluster R-28-02,

ID campione	Ubicazione	Profondità sondaggio [m]	Tipologici principali	Ricettori vicini
			➤ Calcare fratturato [9.5 metri]	Cluster R-28-03
S15	Località Rocca	40	➤ Terreno di riporto ➤ Breccie calcaree con limo ➤ Limo sabbioso ➤ Calcari da compatti a fratturati [5.5 metri]	Cluster R-29-01
S15(2)	Località Rocca	40	➤ Terreno di riporto ➤ Breccie calcaree con limo ➤ Limo sabbioso ➤ Calcari da compatti a fratturati [5.5 metri]	Cluster R-29-01
S12	Località Campore – Salisano	120	➤ Ciottoli e ghiaie ➤ Ghiaia sabbiosa ➤ Ciottoli e ghiaie ➤ Ghiaia argillosa ➤ Ghiaia sabbiosa ➤ Sabbia ghiaiosa ➤ Trovante carbonatico ➤ Ghiaia medio-grossa con sabbia ➤ Sabbia medio-fine ➤ Ghiaia medio-grossa ➤ Sabbia medio-grossa ➤ Trovante carbonatico ➤ Sabbia ghiaioso-ciottolosa ➤ Sabbia medio-grossa ➤ Ghiaia medio-grossa sabbiosa ➤ Sabbia ghiaiosa medio-grossa ➤ Ciottoli carbonatici + sabbia ➤ Sabbia medio-fine ➤ Calcare [84 metri] ➤ Sabbia medio-fine ➤ Calcare ➤ Sabbia medio-fine ➤ Marne e argille marnose	Cluster R-25-01
S4(2)	Località Casette	40	➤ Limo con sabbia ➤ Ghiaie in matrice sabbia ➤ Ghiaie sciolte ➤ Ghiaie in matrice sabbia ➤ Calcare tenace fratturato [26 m]	Cluster R-07-01 e Cluster R-08-01
S8(3)	San Giovanni Reatino	30	➤ Terreno vegetale ➤ Limo con sabbia ➤ Sabbia + ghiaia ➤ Ghiaie con sabbie arrotondate ➤ Limo e sabbia ➤ Calcare tenace fratturato [17 m]	Cluster R-14-00

ID campione	Ubicazione	Profondità sondaggio [m]	Tipologici principali	Ricettori vicini
S16(2)	Salisano	65	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sabbia ghiaiosa ➤ Limo argilloso ➤ Argilla con limo e sabbia ➤ Sabbie fini con limo ➤ Argilla limosa ➤ Calcare tenace fratturato [61.5 m] 	Cluster R-27-01 e Cluster R-26-02
S13(2)	Salisano	50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limo ➤ Ghiaie in matrice sabbiosa argillosa ➤ Ghiaie sciolte ➤ Ghiaie in matrice sabbiosa ➤ Calcare tenace fratturato [26 m] 	Cluster R-27-03 e Cluster R-28-01

Tabella 11 Sinottico campionamenti e ricettori più vicini



Figura 21 Mappa dei campionamenti geologici

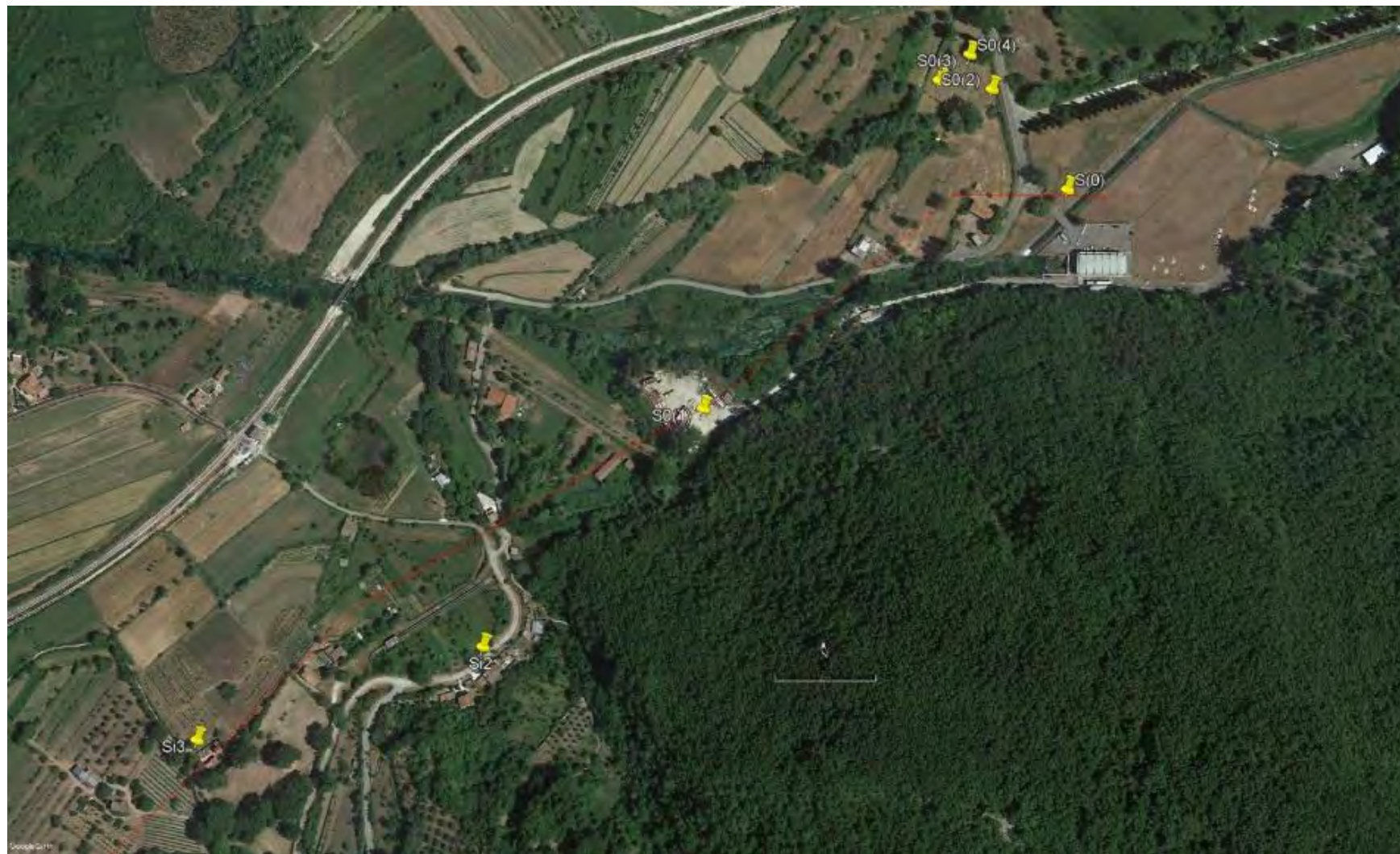


Figura 22 Mappa dei campionamenti geologici – particolare area nord-est



Figura 23 Mappa dei campionamenti geologici – particolare area sud-ovest (tratto finale acquedotto)

4.1.5 Prospezioni sismiche

Saranno riportati di seguito i risultati delle prospezioni sismiche, utili per la caratterizzazione delle velocità di propagazione delle onde nel substrato.

Il metodo di indagine è basato sulla misura dei tempi di percorso che le onde elastiche longitudinali (onde P - più veloci) e trasversali (onde S - più lente), generate da un'esplosione o da un impatto, impiegano a raggiungere una serie di ricevitori (geofoni) opportunamente allineati sul terreno. Con i tempi di percorso si tracciano i diagrammi tempi - distanze (dromocrone) che consentono di calcolare le velocità di propagazione delle onde e lo spessore degli strati interessati dai percorsi delle stesse onde elastiche. Con cinque o più punti di scoppio opportunamente ubicati è possibile determinare l'andamento degli strati anche qualora le superfici di separazione degli stessi siano inclinate oppure ondulate, in questi ultimi casi un numero maggiore di energizzazioni consente una migliore definizione della geometria. Il metodo di elaborazione con tecnica tomografica permette la ricostruzione di situazioni stratigraficamente complesse non risolvibili con altre tecniche di indagine sismica, limitando i problemi derivanti dalla presenza di strati con spessore particolarmente ridotto ed evidenziando in alcuni casi la eventuale presenza di zone a velocità inferiore. L'elaborazione delle prospezioni sismiche restituisce sismo-sezioni caratterizzate dalla presenza di terreni dotati di velocità regolarmente crescenti con la profondità. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica.

Una planimetria con indicazione dell'ubicazione dei punti utilizzati per le prospezioni sismiche è riportata in Figura 24, mentre nelle pagine successive sono mostrati i principali profili sismostratigrafici elaborati. Nel sinottico di Tabella 12 sono riassunti i risultati delle prove in termini di velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P), V_p , e delle onde trasversali, V_{sh} , sono inoltre indicate le quote approssimative dei diversi sismostrati identificati, e sono riportati i ricettori oggetto di indagine prossimi alle aree di campionamento.

Sito	Ricettori vicini	Profilo	Sismo strato	Descrizione	Quota sup [m slm]	Quota inf [m slm]	Vp [m/s]	Vsh [m/s]		
Acea Centrale	Cluster R-00-01	1	1	Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso	0	-3	530	n.d.		
			2	Sabbia con ghiaia	-4	-8	1040	n.d.		
			3	Ghiaie in matrice sabbioso-limosa	-8	-30/-40	1920	n.d.		
			4	Ghiaie in matrice aderente o basamento calcareo	-30/-40	in poi	2500	n.d.		
		2	1	Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso	0	-3	480	n.d.		
			2	Sabbie con ghiaie	-3	-9	930	n.d.		
			3	Ghiaie in matrice sabbioso-limosa	-9	in poi	1730	n.d.		
		3	1	Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso	0	-2	450	n.d.		
			2	Sabbie con ghiaie	-2	-7	1060	n.d.		
			3	Ghiaie in matrice sabbioso-limosa	-7	in poi	1780	n.d.		
		4	1	Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso	0	-2/-4	410	n.d.		
			2	Sabbie con ghiaie	-2/-4	-13	1120	n.d.		
			3	Ghiaie in matrice sabbioso-limosa	-13	in poi	1690	n.d.		
		Micciani	Cluster R-00-02	1	1	Terreno detritico ciottoloso	432	429	400	n.d.
					2	Depositi limoso-sabbiosi con ghiaia	429	426/420	1120	n.d.
					3	Sabbie e ghiaie con livelli limoso-sabbioso-argillosi	426/420	in poi	1780	n.d.
R2	Cluster R-07-01 R-07-02 R-08-01	1	1	Terreno di riporto (ghiaia in matrice sabbiosa + sabbie limoso-argillose poco dense)	398	393	420	140		

Sito	Ricettori vicini	Profilo	Sismostrato	Descrizione	Quota sup [m slm]	Quota inf [m slm]	Vp [m/s]	Vsh [m/s]					
			2	Sabbie limose con clasti calcarei intercalate da limi argillosi, poco addensate	393	388	910	140					
			3	Sabbie e sabbie limoso-ghiaiose con clasti calcarei, poco-mediam. dense	388	In poi	1580	230					
			2	1	Terreno di riporto (ghiaia in matrice sabbiosa + sabbie limoso-argillose poco dense)	398	393	460	150				
				2	Sabbie limose con clasti calcarei intercalate da limi argillosi, poco addensate	393	388-386	880	150				
					3	Sabbie e sabbie limoso-ghiaiose con clasti calcarei, poco-mediam. dense	388-386	In poi	1640	220			
					R4	Cluster R-11-01	1	1	Terreno di riporto ghiaioso in matrice sabbiosa e limosa	396	392	470	210
								2	Sabbia argilloso-sabbiosa e sabbia ghiaiosa	392	384-382	1490	530
								3	Breccia calcarea e sabbia limoso-ghiaiosa	384-382	369-367	2130	530
4	Argilla marnosa	369-367	In poi	860				>860					
		2	1	Terreno di riporto ghiaioso in matrice sabbiosa e limosa	397	392	480	230					

Sito	Ricettori vicini	Profilo	Sismostrato	Descrizione	Quota sup [m slm]	Quota inf [m slm]	Vp [m/s]	Vsh [m/s]		
			2	Sabbia argilloso-sabbiosa e sabbia ghiaiosa	392	386-384	1160	230		
			3	Breccia calcarea e sabbia limoso-ghiaiosa	386-384	In poi	1530	370		
R7	Cluster R-15-01	1	1	Terreno vegetale frammisto a ghiaia	430	425	440	200		
			2	Conglomerato	425	410-404	1680	610		
			3	Calcere marnoso e/o alternanza di conglomerati e rocce tenaci	410-404	In poi	3180	110		
		2	1	Terreno vegetale frammisto a ghiaia	430-436	426-430	460	210		
			2	Conglomerato	426-430	406-420	1710	590		
			3	Calcere marnoso e/o alternanza di conglomerati e rocce tenaci	406-420	In poi	3250	1120		
		3	1	Terreno vegetale frammisto a ghiaia	442-438	440-436	580	260		
			2	Conglomerato	440-436	434-426	1720	740		
			3	Calcere marnoso e/o alternanza di conglomerati e rocce tenaci	434-426	In poi	3270	1230		
		4	1	Terreno vegetale frammisto a ghiaia	450-446	442-444	260	340		
			2	Conglomerato	442-444	434-436	740	810		
			3	Calcere marnoso e/o alternanza di conglomerati e rocce tenaci	434-436	In poi	1230	1230		
		R2-2	Cluster R-07-01	1	1	n.d.	398	394	420	160
					2	n.d.	394	388	910	210

Sito	Ricettori vicini	Profilo	Sismo strato	Descrizione	Quota sup [m slm]	Quota inf [m slm]	Vp [m/s]	Vsh [m/s]
	R-07-02		3	n.d.	388	374-364	1520	280
			4	n.d.	374-364	In poi	2670	---
R5	Cluster R-14-00 R-14-01 R-14-02 R-14-05	1	1	n.d.	414-410	410-406	520	180
			2	n.d.	410-406	386-390	1610	730
			3	n.d.	386-390	In poi	2860	1510
R6	Cluster R-14-00 R-14-01 R-14-02	1	1	n.d.	416-412	413-409	540	230
			2	n.d.	413-409	384-380	1470	440
			3	n.d.	384-380	In poi	2860	1500
		2	1	n.d.	418	415	540	230
			2	n.d.	415	386-380	1470	440
			3	n.d.	386-380	In poi	2860	1500
R8	Cluster R-21-01	1	1	n.d.	536-516	524-508	820	360
			2	n.d.	524-508	In poi	1680	740
R9	Cluster R-29-01 R-28-03	1	1	n.d.	172-154	168-150	660	310
			2	n.d.	168-150	140-136	1830	900
			3	n.d.	140-136	In poi	3170	1590
Salisano	Cluster R-27-01 R-27-02 R-26-01 R-26-02	1	1	n.d.	425-405	400-420	670	360
			2	n.d.	400-420	390-365	1620	560
			3	n.d.	390-365	In poi	3260	1710
		2	1	n.d.	415-410	410-405	360	360
			2	n.d.	410-405	390-388	1620	560
			3	n.d.	390-388	In poi	3260	1710

Tabella 12 Sinottico campionamenti sismici e ricettori più vicini

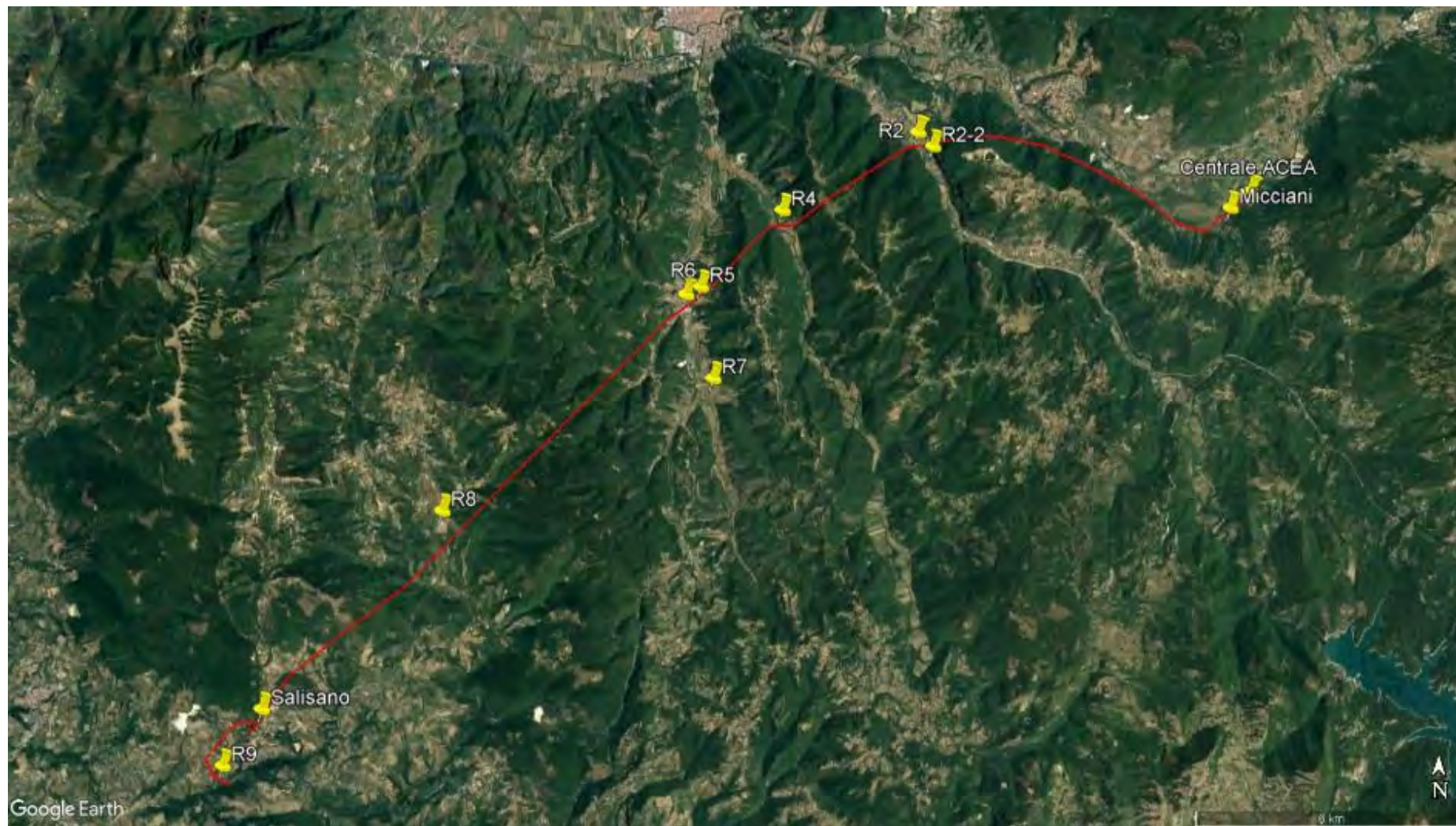
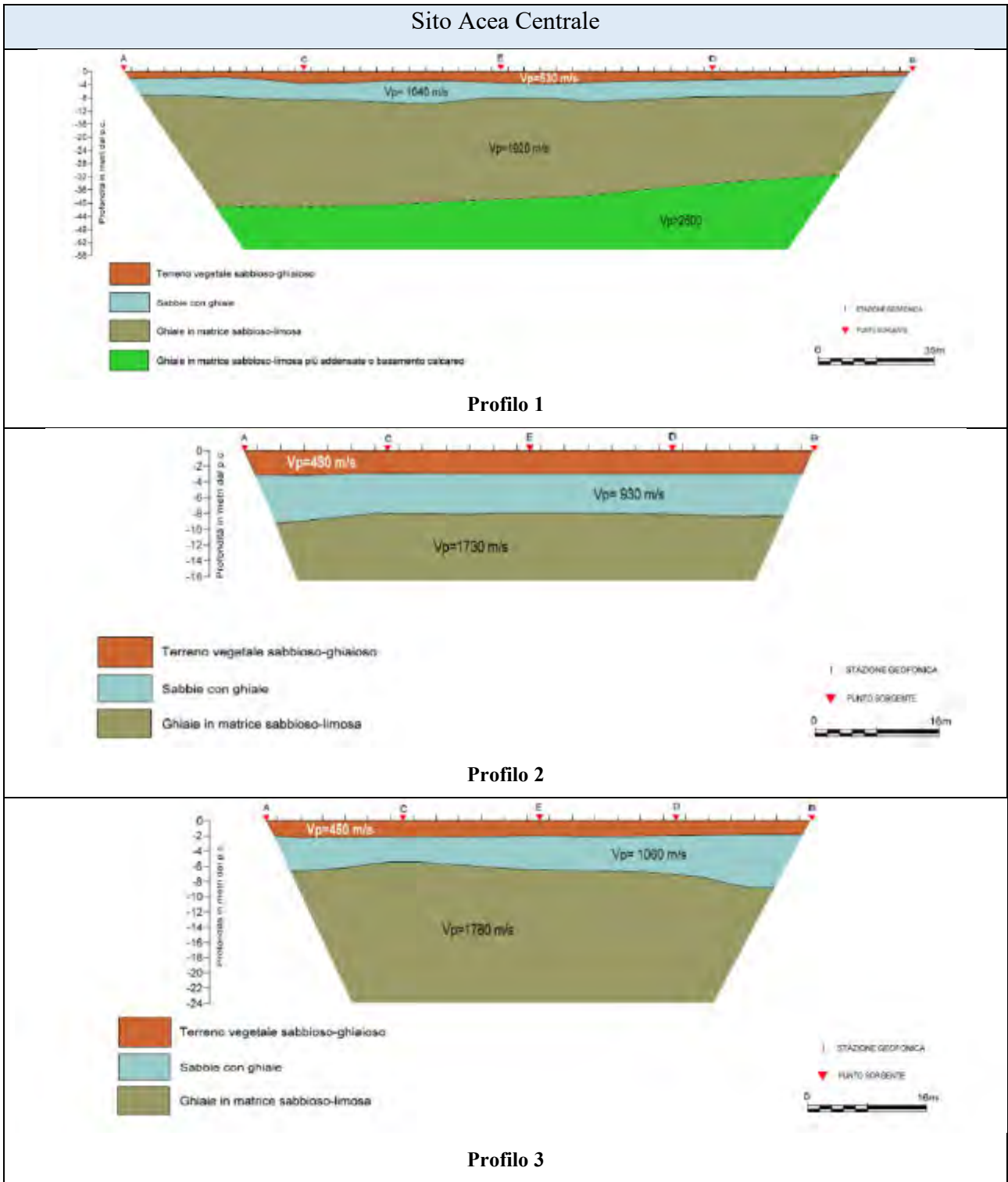


Figura 24 Planimetria con indicazione delle postazioni per le prove sismiche



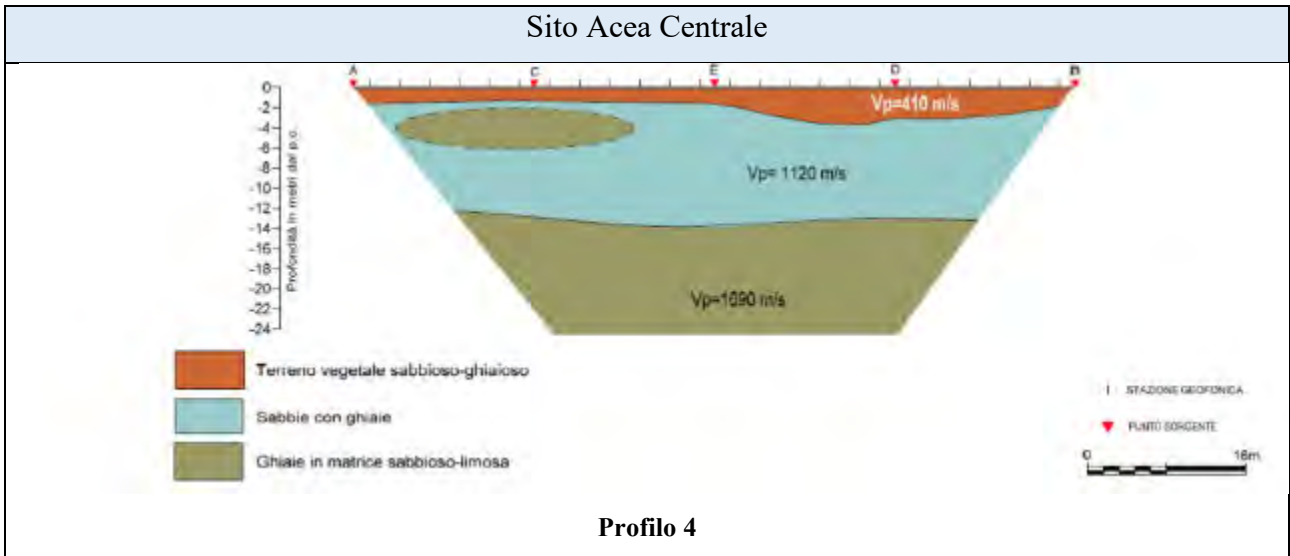


Figura 25 Profili sismostratigrafici – Sito ACEA centrale

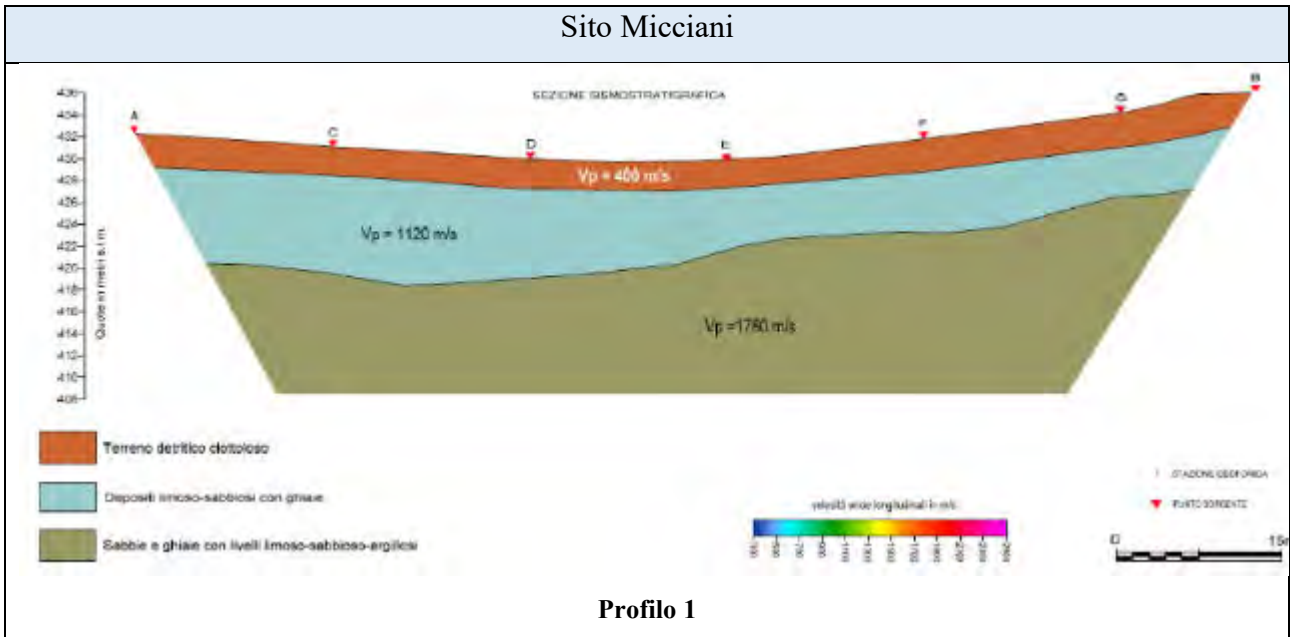
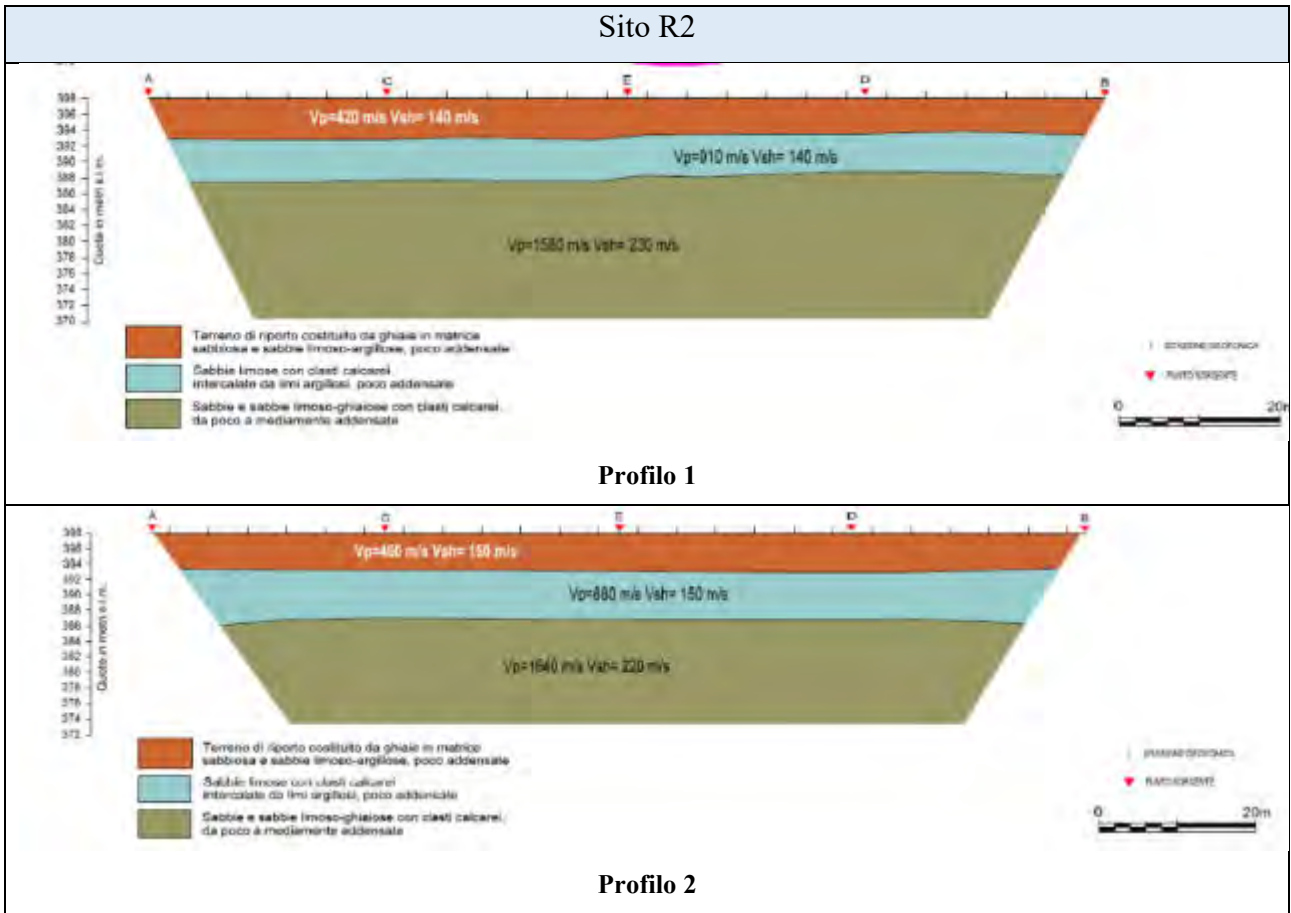


Figura 26 Profili sismostratigrafici – Sito Micciani



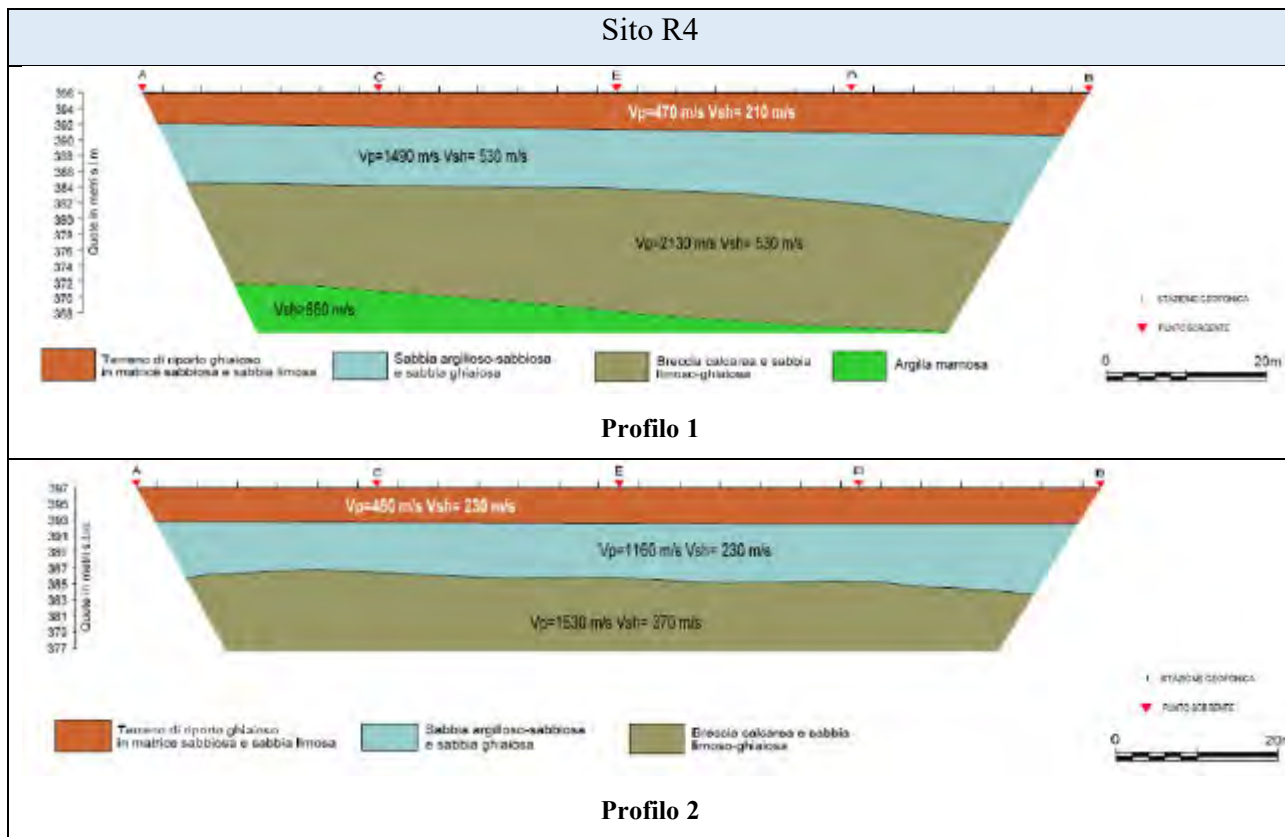


Figura 28 Profili sismostratigrafici – Sito R4

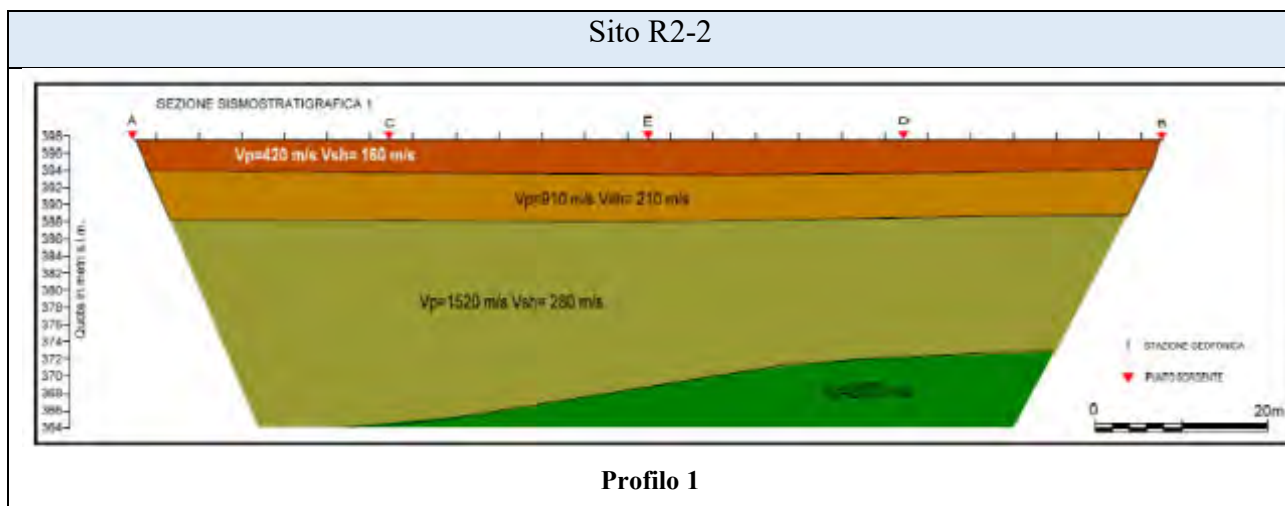


Figura 29 Profili sismostratigrafici – Sito R2-2

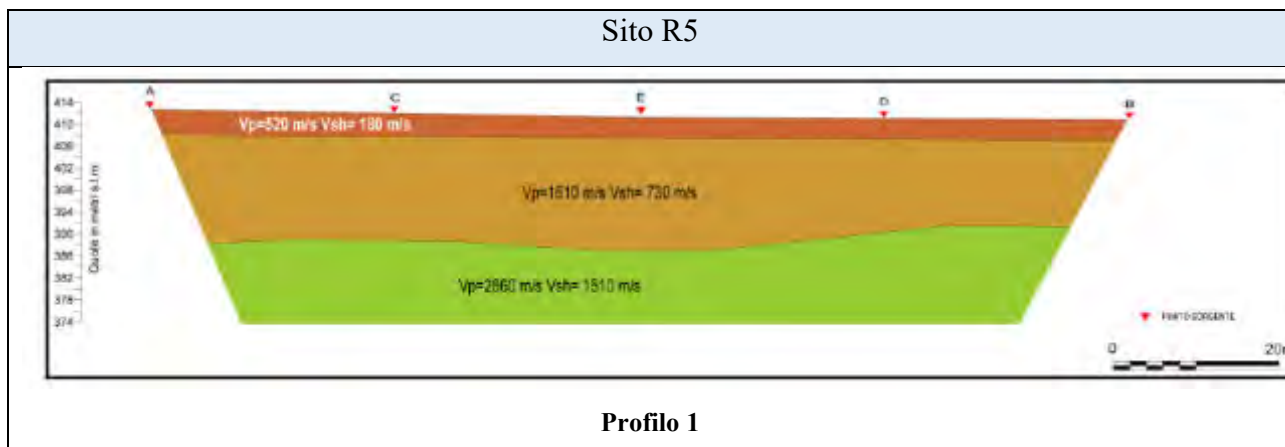


Figura 30 Profili sismostratigrafici – Sito R5

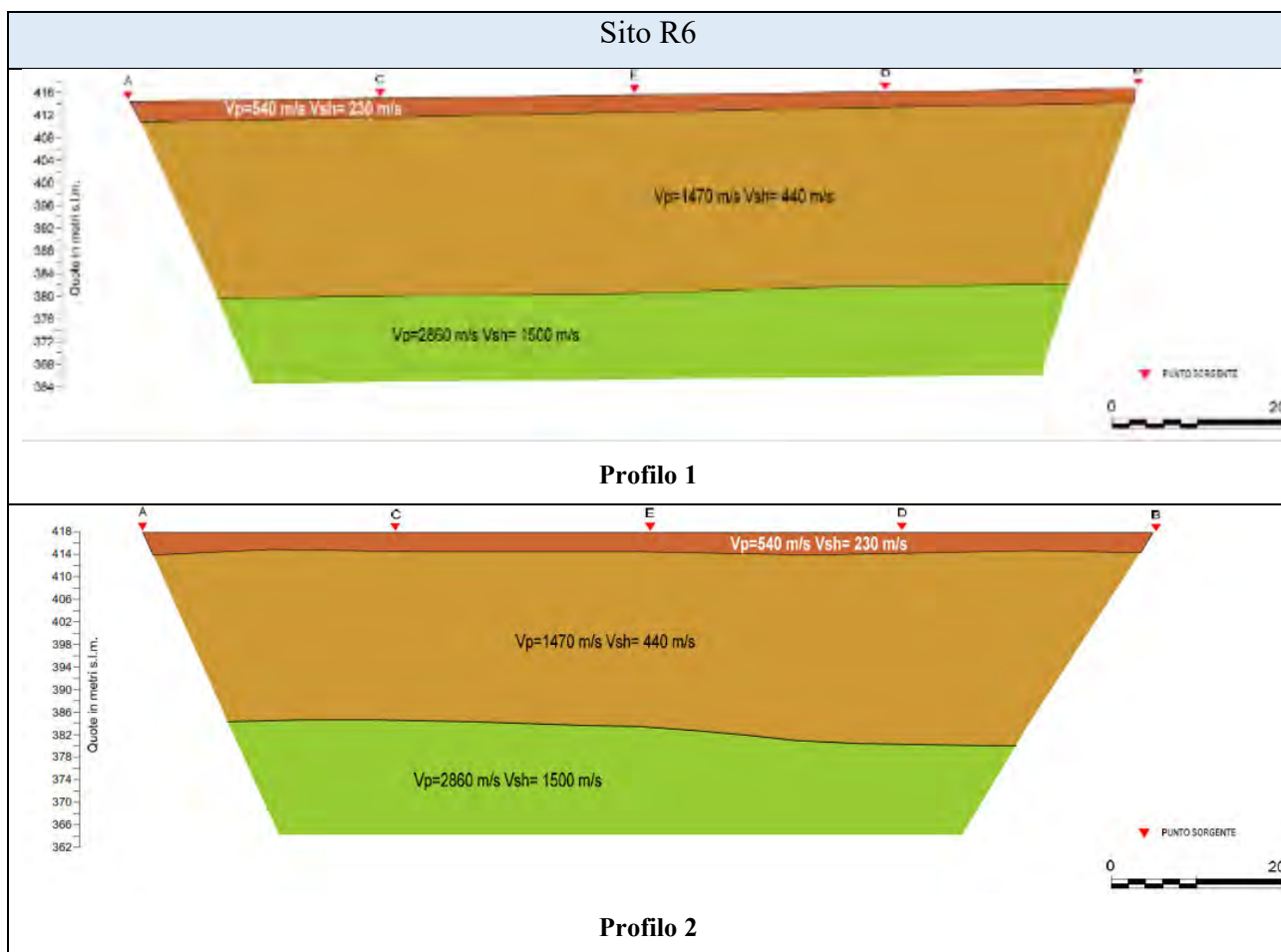


Figura 31 Profili sismostratigrafici – Sito R6

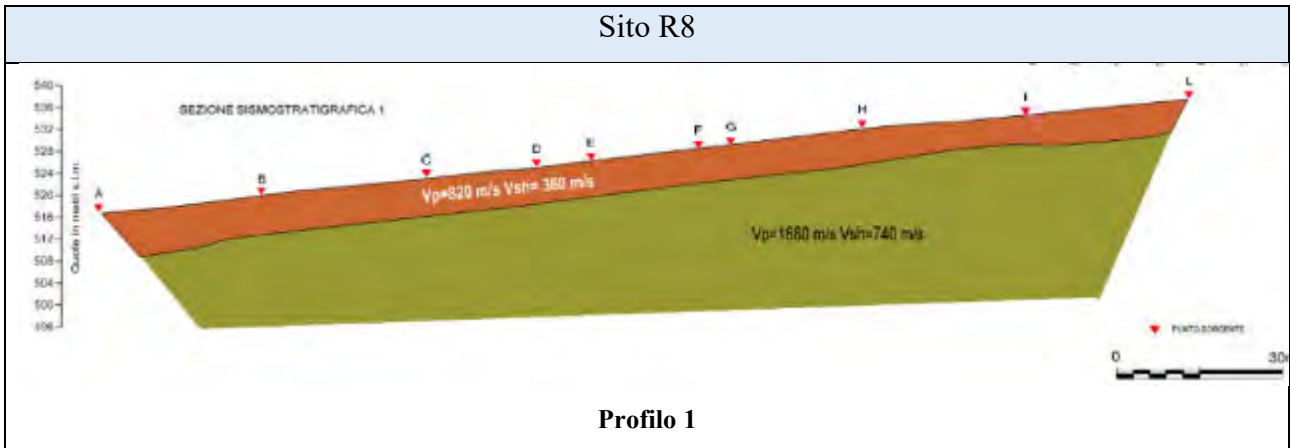


Figura 32 Profili sismostratigrafici – Sito R8

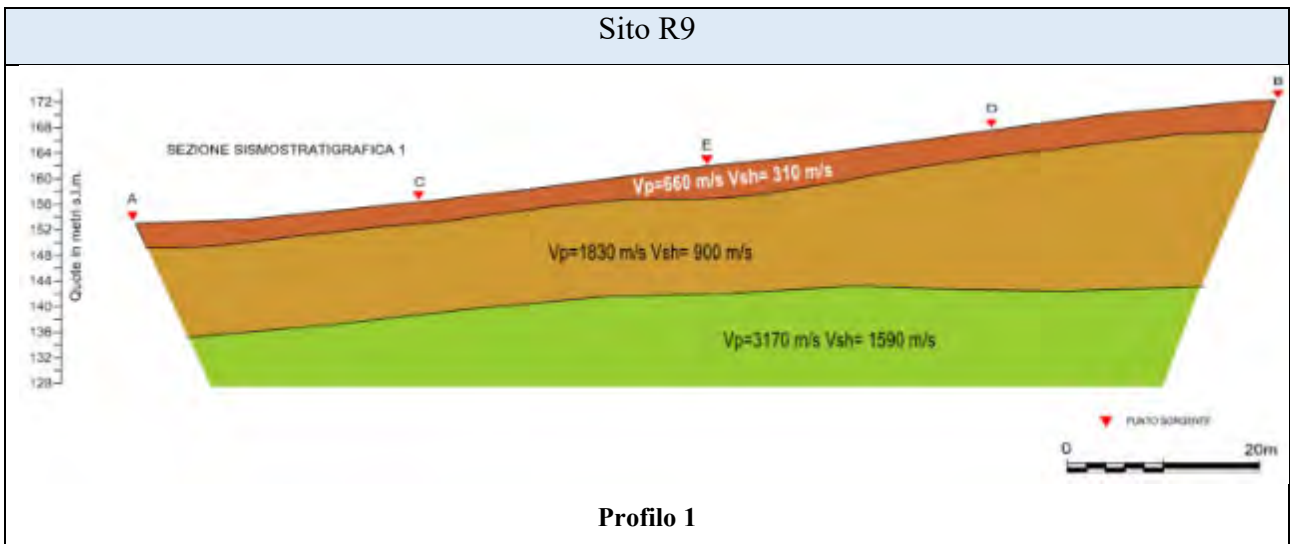
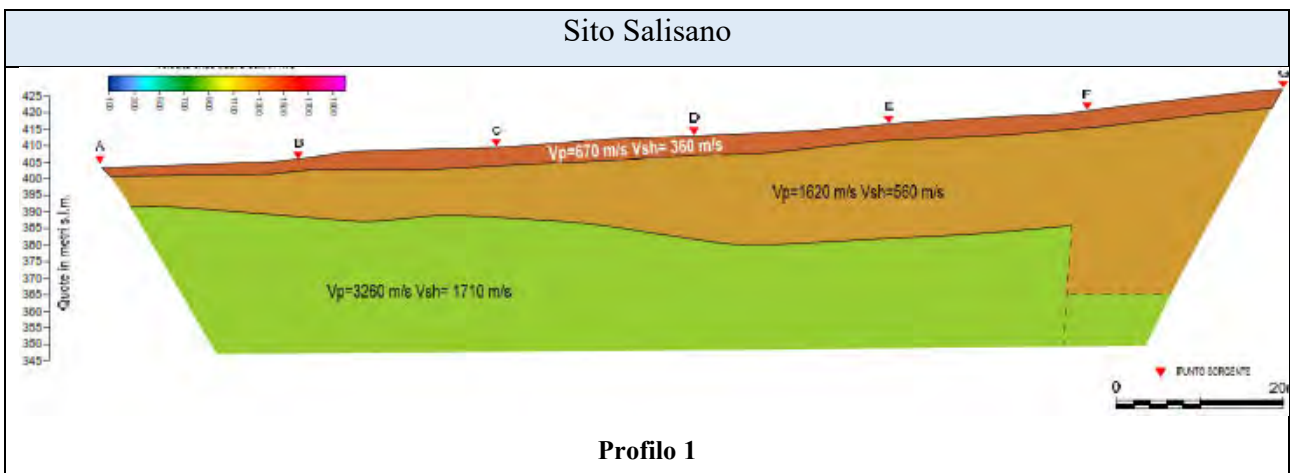


Figura 33 Profili sismostratigrafici – Sito R9



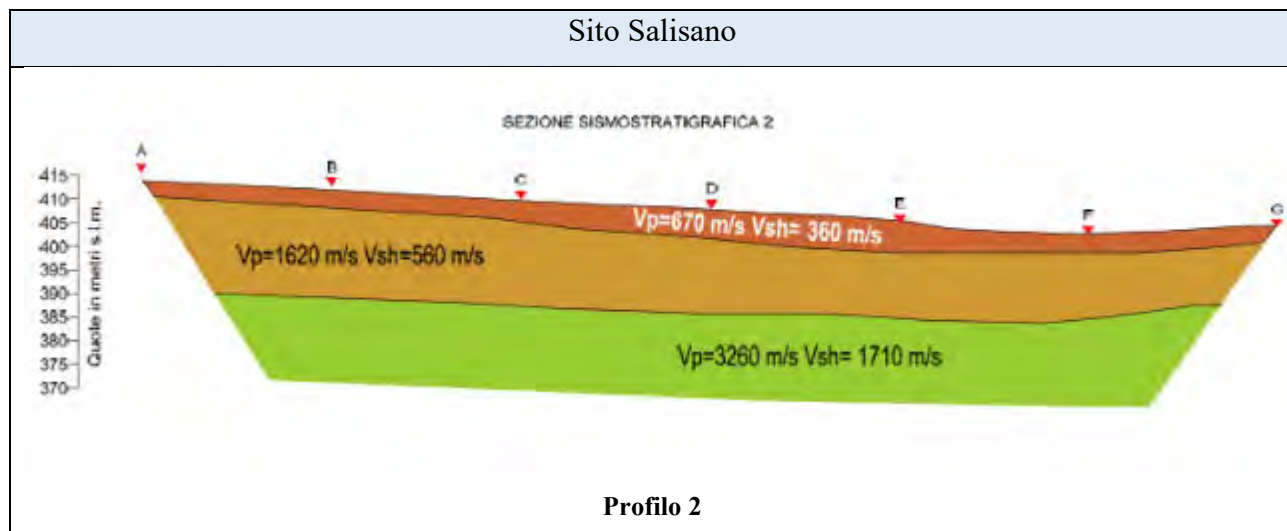


Figura 34 Profili sismostratigrafici – Sito Salisano

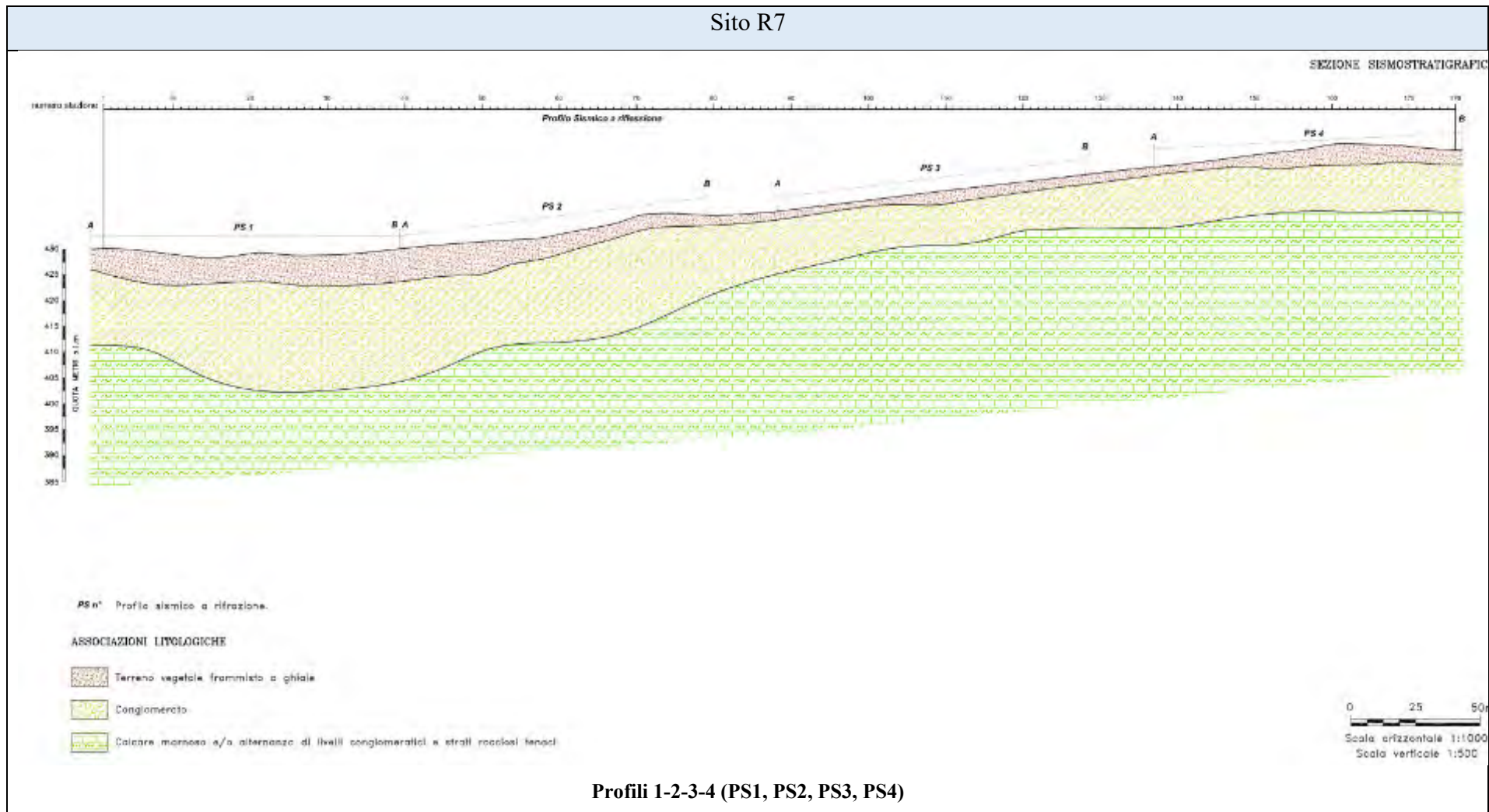


Figura 35 Profili sismostratigrafici – Sito R7

5. Definizione dei ricettori e valutazione degli impatti

Avendo illustrato la metodologia di analisi in funzione dell'opera prevista, del tipo di sorgenti impiegate e dell'inquadramento territoriale in termini geologici, è stato necessario individuare tutti i manufatti adibiti ad uso prolungato prossimi allo sviluppo dell'opera. A tal proposito è stata effettuata una campagna di sopralluoghi per identificare il tipo di ricettore in relazione all'utilizzo con la relativa ubicazione in coordinate WGS-84, nonché fornire una stima del tipo di involucro e delle fondazioni. I risultati dell'indagine svolta sono sintetizzati in schede ricettori riportanti, oltre all'ubicazione su rilievo aerofotografico, anche un'immagine del singolo manufatto con le informazioni sopra indicate. Si rimanda all'Allegato 2 per la consultazione di suddette schede, precisando che sono stati inclusi in tutte le analisi a seguire anche ricettori ubicati in prossimità di differenti ipotesi di tracciato, queste successivamente scartate a seguito della definizione finale dell'intervento: da ciò deriva la presenza all'interno del censimento e dei tabulati di alcuni cluster di ricettori apparentemente non correlati direttamente all'opera da indagare (come quello dell'abitato di San Giovanni Reatino, area sud).

Successivamente si è proceduto alla compilazione dei tabulati in cui, oltre alle informazioni su destinazione d'uso e tipologico presunto di fondazione, per ogni ricettore è stata indicata la caratterizzazione geologica di pertinenza, la velocità di onda s utilizzata per il calcolo, la tecnica di perforazione prossima al dato edificio, il livello di velocità impattante e il confronto con la soglia di pertinenza. Al fine di determinare tale soglia lo studio è stato impostato considerando la sollecitazione come di tipo prolungato, con uno schema a sorgente localizzata; a titolo di estrema cautela, pur le sorgenti manifestando il loro impatto preminentemente nel range compreso tra i 40 Hz e gli 80 Hz, sono quindi stati considerati i limiti corrispondenti proprio all'estremo inferiore di questo intervallo, ricavati dall'interpolazione lineare prevista dalla norma in funzione del tipo di manufatto.

I risultati sono quindi presentati nel corpo dell'Allegato 3, cui si rimanda, in cui è mostrata l'assenza di criticità dal punto di vista dell'impatto delle vibrazioni sui ricettori lungo il tracciato di perforazione ad eccezione di un unico edificio, collocato in

corrispondenza della stazione "Sorgenti del Peschiera" (R00-02_03), tratto d'opera in cui la profondità dello scavo risulta ancora ridotta ma per il quale i livelli calcolati risultano appena superiori alla soglia cautelativa di attenzione, per cui il relativo superamento risulta accettabile anche in considerazione dell'elevata cautela nell'indicazione della soglia prevista.

6. Conclusioni

Nella presente relazione sono state mostrate le modalità di analisi e le conclusioni quantitative in relazione allo studio dell'impatto da vibrazioni indotte sugli edifici dalla fase di realizzazione del nuovo Tronco Superiore interrato dell'Acquedotto del Peschiera. Tale opera risulta di importanza strategica in quanto l'attuale sistema costituisce la principale fonte di approvvigionamento idrico dell'ATO2 - Lazio Centrale Roma. Sulla base delle caratteristiche geotecniche del tracciato, della tipologia delle sorgenti indagate e della dislocazione dei ricettori è stato in particolare mostrato che la componente vibrazioni è tale da non costituire alcuna criticità rilevante per quanto riguarda gli impatti sui manufatti individuati e censiti come potenzialmente impattati: il confronto con i limiti di soglia per danni di tipo "cosmetico", come previsti dagli standard tecnici di riferimento, porta automaticamente al conforto della piena sicurezza strutturale degli edifici indirettamente interessati alle opere di perforazione.

Il tecnico

Prof Luca Alfinito

(Ord. Ingegneri Firenze 7018 - ENTECA 8071)

Allegati

All. 1 – inquadramenti planimetrici con ricettori

All. 2 – schede censimento ricettori

All. 3 – tabulati degli impatti agli edifici