



Certificato n° 1379



Comune di Macra

Lavori di ampliamento e messa a norma della vasca V6 in località Camoglieres nel Comune di Macra.

Livello di progettazione:

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

Oggetto elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Progetto:



Sede Legale: Corso Nizza 88 - 12100 Cuneo
Tel. 800.194.065 - fax 0171.326710
Partita IVA: 02468770041
Capitale sociale € 5.000.000
e-mail: acda@acda.it

Progettazione:

(Ordine Ingegneri di Cuneo n° A1951)

Per presa visione

Dott. Ing. Luca Macario

Collaborazione:

Dott. Geol. Andrea Bredy

Responsabile Unico del Progetto

(Ordine Ingegneri di Cuneo n° 1886)

Dott. Ing. Fabio Monaco

| COMMESSA | Livello di progetto | Categoria di progetto | Tipo di elaborato | N. elaborato | REV. | DATA | SCALA / E |
|----------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------|------|------------|-----------|
| UM00036 | PFTE | GE | TX | 14 | 00 | 30.07.2024 | |

| | | | Redatto da: | Verificato da: | Approvato da: |
|----|-----------------|------------|-------------|----------------|---------------|
| 00 | Prima emissione | 30.07.2024 | L.Macario | F.Ghio | F.Monaco |
| 01 | Revisione | 08.08.2024 | L.Macario | F.Ghio | F.Monaco |
| 02 | Revisione | 27.08.2024 | L.Macario | F.Ghio | F.Monaco |
| | | | | | |
| | | | | | |

Questo elaborato è di proprietà dell'ACDA, qualsiasi divulgazione o riproduzione anche parziale deve essere espressamente autorizzata

Acda azienda cuneese dell'acqua spa

Sede Legale: Corso Nizza 88 - 12100 CUNEO - Tel. 800.194.065 - Fax 0171.326710 - e-mail: acda@acda.it

Capitale sociale € 5.000.000 - Partita IVA 02468770041

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA..... | 2 |
| 2. MODELLO GEOLOGICO..... | 3 |
| 2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO | 3 |
| 2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO | 5 |
| 2.3. IDROGEOLOGIA | 6 |
| 2.4. STRUMENTI URBANISTICI E QUADRO VINCOLISTICO..... | 6 |
| 3. ASPETTI GEOTECNICI E SISMICI | 8 |
| 3.1. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE..... | 8 |
| 3.2. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE | 10 |
| 3.2.1. Indagini HVS..... | 12 |
| 3.2.2. Definizione della categoria di sottosuolo..... | 14 |
| 4. CONSIDERAZIONI DI INDIRIZZO TECNICO-ESECUTIVO | 16 |
| 5. CONCLUSIONI..... | 17 |

1. PREMESSA

La presente relazione geologica viene redatta in previsione del progetto per i *“Lavori di ampliamento e messa a norma della Vasca V6 in località Camoglieres”* nel Comune di Macra (CN).

Per svolgere il presente studio geologico sono state eseguite indagini e sopralluoghi sull'area interessata dall'intervento ed i settori limitrofi, un'analisi della documentazione bibliografica di carattere geologico e geotecnica esistente ed in particolare di quella allegata ai P.R.G.C. di Macra. L'indagine è stata estesa ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi, traendone le opportune valutazioni sulla compatibilità degli interventi con l'assetto geologico, geomorfologico e geotecnico locale.

Il progetto in sintesi prevede la realizzazione di una nuova vasca di accumulo e della pista di accesso a circa 30 m di distanza da quella esistente, avente dimensioni in pianta di circa 3 x 7 m e altezza di 3 m e che sarà interrata di circa 1,5 rispetto al p.c.. attuale. Al termine dei lavori l'area verrà sistemata con il riporto di terreno sul lato di monte e nell'immediato intorno. Si rimanda alla documentazione progettuale per ogni approfondimento.

La presente relazione geologica è eseguita ai sensi delle nuove Norme Tecniche Costruzioni (NTC) relative al D.M. 17 gennaio 2018 ed alle N.T.A. dei P.R.G.C..

2. MODELLO GEOLOGICO

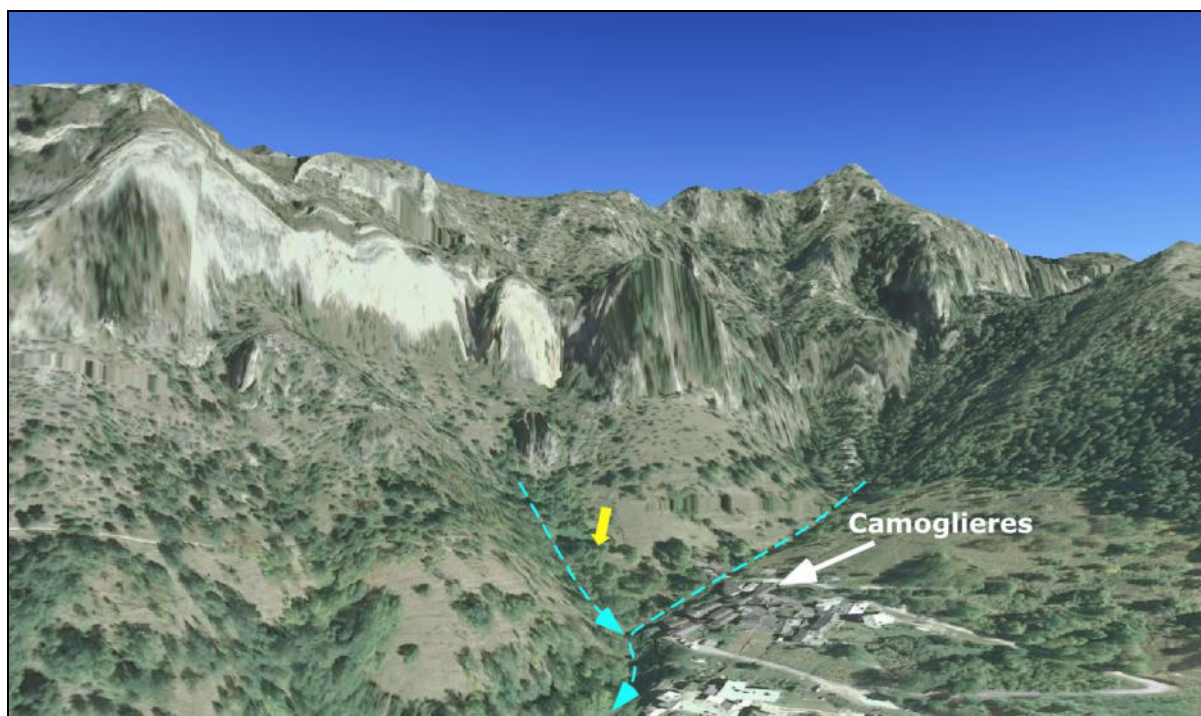
2.1. Inquadramento geografico e geomorfologico

L'area in studio è ubicata sul versante sinistro della media Valle Maira nei pressi della loc. Crocetta Sott.a, nota anche come Camoglieres, ad una quota di circa 1.050 m s.l.m.. Il versante a partire dal fondovalle mostra un'acclività elevata che diminuisce in corrispondenza dell'area d'intervento per poi aumentare in corrispondenza delle ripide pareti rocciose più a monte.

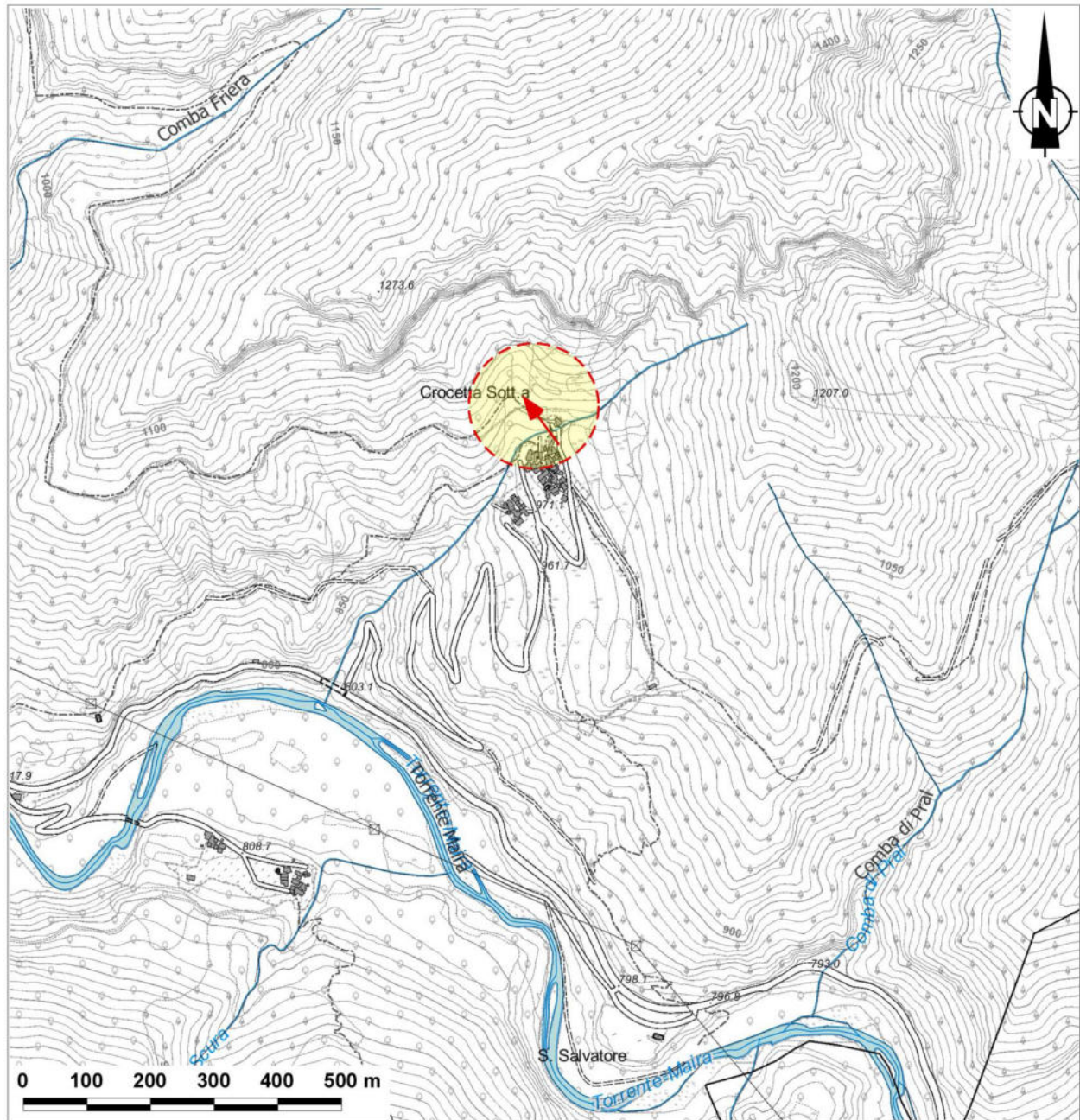
L'area interessata dalle opere in progetto si trova immediatamente a monte della loc. Camoglieres ed è raggiungibile percorrendo un piccolo sentiero per circa 50 m. In particolare la vasca di accumulo verrà realizzata sulla sinistra idrografica di un'incisione torrentizia e rilevata di qualche metro rispetto all'alveo che mostra normalmente portate piuttosto scarse, quasi nulle, e si attiva in corrispondenza degli eventi piovosi. L'area mostra una pendenza medio alta e la morfologia locale è condizionata dalla presenza di numerosi muretti a secco, normalmente in buono stato di conservazione, che testimoniano un antico sfruttamento agro-silvo-pastorale dell'area.

La nuova vasca verrà realizzata immediatamente a valle di un muretto in pietra alla cui base scorre la traccia di un sentiero in un settore con abbondante presenza di vegetazione arbustiva infestante, che nasconde un accumulo detritico di blocchi rocciosi e resti di muretti in pietra.

La Valle Maira si estende a partire dal settore di pianura verso Ovest in direzione dello spartiacque corrispondente al confine Francia-Italia per circa 40 km. A partire da Dronero il fondovalle è generalmente stretto compreso tra ripidi versanti. A seguire verranno analizzati i caratteri geomorfologici locali dei tre interventi.



Inquadramento territoriale su base satellitare 3D (tratto da geoportale ARPA Piemonte)



Ubicazione dell'area su base BDTre Piemonte



Inquadramento territoriale su base satellitare 3D (tratto da geoportale ARPA Piemonte)

2.2. Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico-strutturale la Valle Maira si può suddividere in diversi settori caratterizzati da caratteristiche omogenee.

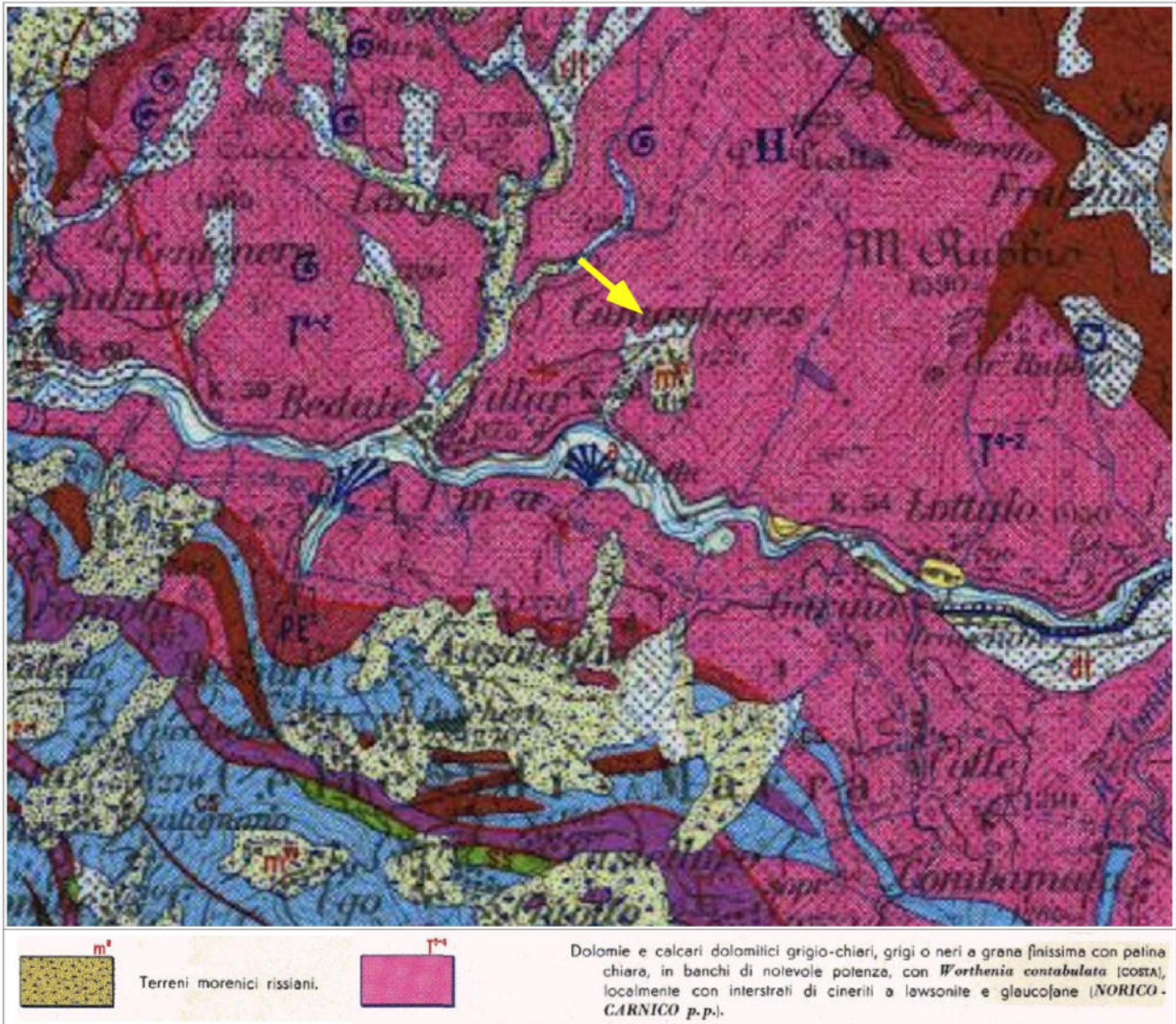
Da Dronero a San Damiano il versante orografico sinistro della Val Maira è inciso negli gneiss e micascisti del Massiccio Dora-Maira, mentre i rilievi del versante destro sono costituiti dai calcari e dalle dolomie metamorfiche della Zona dei Calcescisti con Ofioliti. Da San Damiano a Stroppa, zona in cui ricade il presente intervento, entrambi i versanti sono formati dai calcari e dalle meta-dolomie aniso-ladiniche della Zona dei Calcescisti con Ofioliti. L'unica eccezione è rappresentata dalla Comba di Droneretto e dal Monte Rastcias, che sono invece costituiti dalle quarziti permo-triassiche. Oltre Stroppa, allo sbocco del Vallone di Elva e lungo quest'ultimo, le dolomie metamorfiche si presentano stratificate in banchi massicci di aspetto caratteristico. Si tratta della parte più recente del complesso calcareo-dolomitico, attribuita al Norico.

A Ponte Marmora si apre verso S la valle di Marmora, scavata nei calcari metamorfici scuri e nei calcescisti della Zona Piemontese, che nel bacino di Verneti-Canosio si suddivide nella Comba della Marmora (ad E) e nel Vallone del Preit (ad O).

Fra Prazzo ed Acceglio la valle principale taglia quasi ortogonalmente la Zona Permocarbonifera Assiale, in questa zona rappresentata essenzialmente da due rami separati da una sinclinale di calcescisti (la « sinclinale di Acceglio » di Franchi). Il ramo orientale («anticlinale del Pelvo d'Eiva») è costituito da un substrato di meta-vulcaniti e da una serie sedimentaria silicea. Quest'ultima comprende conglomerati varicolori ad elementi di vulcaniti rosse (il «Verrucano» dei geologi alpini), quarziti conglomeratiche e le (rioliti e riodaciti) trasformate in porfiroidi, ben visibili negli affioramenti di fronte al ponte delle Frere. A monte di Acceglio il drammatico cambiamento nella forma dei rilievi e l'aspetto dolomitico del Monte Boulliagna indicano che siamo entrati nella sequenza carbonatica della Zona Brianzonese, essenzialmente costituita dalle dolomie e dai calcari dolomitici del Trias medio, e dai calcari argillosi di mare profondo del Cretaceo superiore. Questi ultimi (i «Calcschistes Planctoniques» degli autori francesi) affiorano soprattutto alla testata della valle principale (Tete de l'Homme, Aiguille de Chambeyron) e nel gruppo dell'Oronaye, mentre banchi subverticali di quarziti permotriassiche costituiscono l'arditissima cresta Croce Provenzale-Torre Castello-Rocca Castello, che l'erosione ha isolato dai terreni calcarei meno resistenti che l'avvolgevano.

Facendo riferimento alla C.G.I. F° 78-79 Argentera-Dronero in corrispondenza dell'area in studio affiorano *“Dolomie e calcari dolomitici grigio-chiari o neri a grana finissima con patina chiara, in banchi di notevole potenza (Norico-Carnico p.p.)”*, al margine di un settore interessato dalla presenza di *“terreni morenici rissiani”*.

Dalle analisi svolte il sito d'intervento è caratterizzato dalla presenza di terreni di copertura/riporto costituito da blocchi e depositi a granulometria più fine di potenza limitata (2-4) m ricoprenti il substrato roccioso.



Stralcio della Carta Geologica d'Italia – F° 78-79 Argentera Dronero per la zona di san Damiano Macra e Villar San Costanzo

2.3. Idrogeologia

Dal punto di vista idrogeologico l'intervento interesserà i depositi di copertura/riporto superficiali con permeabilità per porosità elevata non raggiungendo la falda freatica superficiale. Trattandosi di terreni caratterizzati da permeabilità generalmente elevata una certa circolazione idrica può verificarsi in corrispondenza di precipitazioni meteoriche intense nei settori di concentrazione delle acque di ruscellamento superficiale. Il substrato carbonatico mostra una permeabilità medio-alta per fessurazione e carsismo.

2.4. Strumenti urbanistici e quadro vincolistico

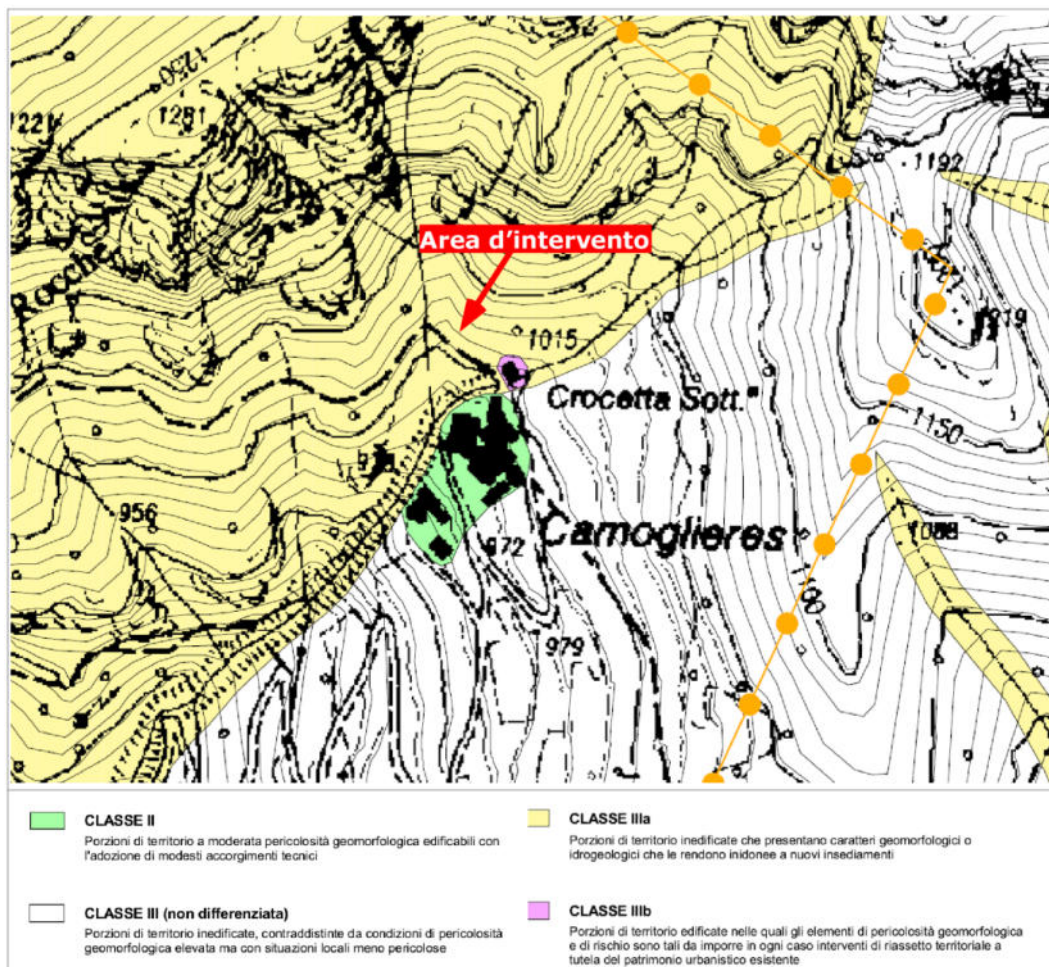
La consultazione degli elaborati allegati ai P.R.G.C. del Comune di Macra fornisce interessanti informazioni sull'area d'intervento ed in particolare:

- La "Carta geomorfologia, dei dissesti, della dinamica fluviale e del reticolo idrografico minore" non segnala dissesti a carico dell'area d'intervento. Viene indicata una stretta fascia a pericolosità elevata (Ee) lungo il rio limitrofo che comunque è esterna alla zona d'intervento.

- La "Carta geoidrologica e delle opere idrauliche" non evidenzia particolari informazioni sulla zona d'intervento se non quella di un substrato carbonatico con permeabilità per carsismo medio-alta.
- La "Carta Geologico-Strutturale" descrive il substrato costituito da calcari dolomitici e dolomie del Triassico medi avente giacitura immergente verso NE con un basso angolo di inclinazione.
- La "Carta di localizzazione probabile delle valanghe" non inserisce la zona d'intervento tra quelle a rischio.
- La "Carta di Sintesi della Pericolosità Geomorfologica e dell'Idoneità all'utilizzazione Urbanistica" descrive la zona d'intervento in Classe IIIa: "Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti".

All'interno della Classe IIIa sono ammessi gli "interventi per la realizzazione di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico quali infrastrutture viarie (strade, ponti, gallerie) e infrastrutture tecnologiche (acquedotti, metanodotti, linee elettriche e telefoniche, ...). La realizzazione di nuove opere pubbliche e di interesse pubblico di competenza degli organi statali, regionali o di altri enti territoriali nelle aree soggette a rischio per fenomeni di dissesto idraulico e geomorfologico, è ammessa solo se i progetti dimostrano, attraverso opportuna documentazione tecnica, la compatibilità dell'opera con le condizioni di dissesto e di instabilità presenti e l'assenza di effetti negativi indotti dall'opera stessa; infine dovranno essere previste le necessarie opere di sistemazione e difesa degli eventuali dissesti attivi o quiescenti interessati."

- L'area è soggetta a Vincolo Idrogeologico (L.R. 45/89)
- Secondo la D.G.R. 15/02/2019, n. 17-8404 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2016)" il comune di Macra è inserito in Zona 3s.



"Carta di sintesi della pericolosità urbanistica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica"

3. ASPETTI GEOTECNICI E SISMICI

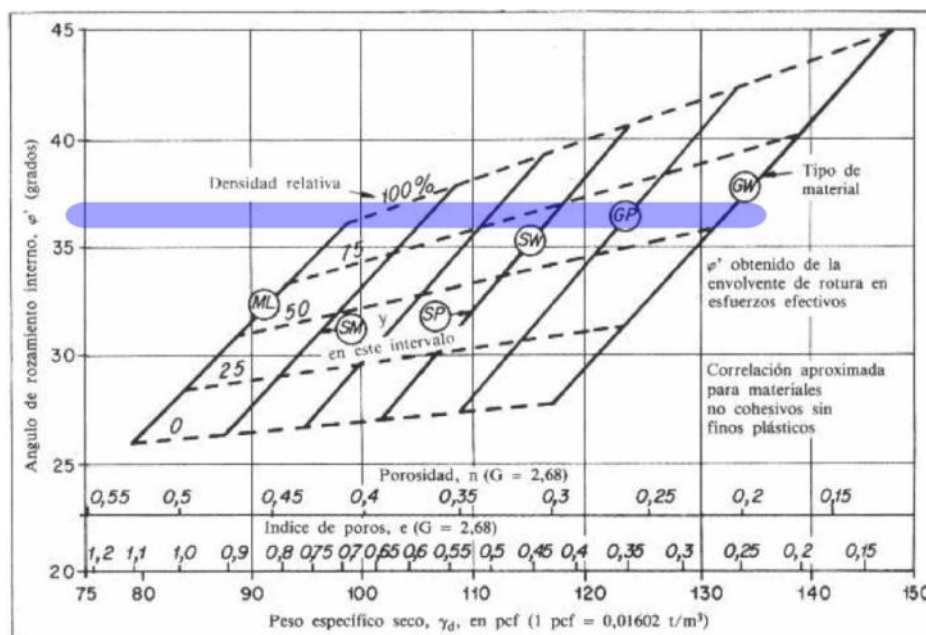
L'intervento sottoposto allo scrivente prevede la realizzazione di una nuova vasca di accumulo e della pista di accesso a circa 30 m di distanza da quella esistente, avente dimensioni in pianta di circa 3 x 7 m e altezza di 3 m e che sarà interrata di circa 1,5 rispetto al p.c.. attuale. Le fondazioni della vasca andranno pertanto ad interagire con i depositi di copertura riporto superficiale che, come verrà evidenziato a seguire, risultano potenti almeno 2,5/3m.

Vista le modeste dimensioni dell'opera, le difficoltà di accesso al sito e la presenza di un accumulo di blocchi rocciosi in superficie l'esecuzione di indagini geotecniche specifiche, quali prove penetrometrie, non sono state eseguite. E' stata realizzata un'indagine geofisica a stazione singola (HVSr) che comunque ha permesso di definire indicativamente la potenza dei depositi di copertura ricoprente il substrato roccioso. Qualora il progettista delle opere riterrà necessario un approfondimento del presente piano di indagini, in relazione alle risultanze della presente relazione e in considerazione della rilevanza del progetto, lo scrivente sarà prontamente disponibile a curarne eventuali integrazioni.

3.1. Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

A seguito delle indagini svolte è stato definito l'assetto geologico-stratigrafico locale in corrispondenza dell'area d'intervento. Le fondazioni del fabbricato in progetto si approfondiranno ad almeno 1,5 dall'attuale piano campagna dove sono presenti i terreni di copertura di natura ghiaioso-sabbiosa con ciottoli e blocchi con buone caratteristiche geotecniche. In fase esecutiva occorrerà valutare attentamente la profondità di questo orizzonte ed eventualmente apportare le modifiche necessarie alla profondità del piano di posa delle fondazioni.

La caratterizzazione geotecnica dell'orizzonte ghiaioso-sabbioso con ciottoli viene svolta con riferimento alla classificazione ASTM, nella quale vengono escluse le particelle di dimensioni maggiori di 75 mm, sulla base di un esame visivo, i terreni potrebbero essere cautelativamente classificati come GW - GM (ghiaia limosa ben assortita). Dalle osservazioni svolte questi terreni risultano mediamente addensati ($60 \geq Dr(\%) \geq 50$) e quindi facendo riferimento alla correlazione di NAVFAC (1971) vi si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici.



Relazione tra angolo di attrito interno e peso di volume a secco per terreni granulari (Navfac, 1971)

A seguire si riporta una tabella riassuntiva dei parametri geotecnici nominali per gli orizzonti omogenei individuati durante l'esecuzione delle prove, escludendo l'orizzonte di copertura superficiale potente 40 cm, considerando una media dei singoli dati ricavati dalle elaborazioni.

| Descrizione | N _{spt} eq | Profondità base strato (m) | Angolo di resistenza al taglio ϕ' (°) | Peso di Volume naturale γ (kg/m ³) | Peso di Volume saturato γ_{sat} (kg/m ³) | Coesione C (kg/cm ²) | Modulo Elastico E (kg/cm ²) |
|---|------------------------|----------------------------------|---|---|---|--|---|
| Depositi Ghiaioso sabbiosi con ciottoli | >15 | 2,5÷4 | 36 | 1900 | 2000 | 0 | 490 |

Parametri geotecnici nominali dei terreni di fondazione

A seguire viene calcolato il valore caratteristico specifico e il parametro caratteristico dell'angolo di attrito che è stato determinato con elaborazioni statiche con determinazione del 5° percentile della distribuzione (della media o del campione) tramite appropriato software. Per il calcolo si è utilizzato un coefficiente di variazione (COV) pari al 7%.

I valori caratteristici determinati sono:

| Angolo di resistenza al taglio ϕ_k (°) |
|--|
| 31,9 |

Parametri caratteristici

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (Stato Limite Ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Ed < Rd$$

dove Ed è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Per quanto riguarda la costante di sottofondo (k_w), detta costante di Winkler, si sottolinea come essa non sia affatto una proprietà intrinseca del terreno, ma dipende da forma e dimensioni della fondazione, dalla distribuzione dei carichi agenti, dalla stratigrafia e dalla composizione fisica del suolo. In pratica rappresenta una forza esercitata sul suolo elastico alla Winkler, su un'area di 1 cm² che provoca l'abbassamento di 1 cm. Ciò che da sempre si è cercato di fare è l'associare un certo valore del modulo ad uno specifico terreno, motivo per il quale si sente spesso parlare di costante di Winkler. L'uso del termine "costante" è concettualmente sbagliato. Il modulo di reazione del terreno, se guardiamo la sua definizione, dipende infatti dalla pressione esercitata sul terreno, a sua volta funzione di altre grandezze. Quindi il modulo di reazione del terreno non è costante, non dipende solo dal tipo di terreno.

La sua determinazione richiede indagini geotecniche onerose e pertanto ci si accontenta spesso di valori cautelativi. E' possibile individuare dei range di validità in funzione del terreno, sebbene non si debba fare l'operazione inversa (ovvero: in funzione del tipo di terreno assumere direttamente un valore di k). I range caratteristici in funzione del tipo di terreno sono i seguenti:

| Terreno | Minimo (kg/cm ³) | Massimo (kg/cm ³) |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Sabbia sciolta | 0,48 | 1,60 |
| Sabbia mediamente compatta | 0,96 | 8,00 |
| Sabbia compatta | 6,40 | 12,80 |
| Sabbia argillosa mediamente compatta | 3,20 | 8,00 |
| Sabbia limosa mediamente compatta | 2,40 | 4,80 |

| | | |
|--|---------|-----|
| Ghiaia con sabbia | 10 | 25 |
| Ghiaia compatta | 20 | 30 |
| Argilla con $q_a \leq 2 \text{ kg/cm}^2$ | 1,2 | 2,4 |
| Argilla con $200 < q_a \leq 8 \text{ kg/cm}^2$ | 2,4 | 4,8 |
| Argilla con $q_a > 8 \text{ kg/cm}^2$ | $> 4,8$ | |

Range caratteristici indicativi di kw per diverse tipologie di terreni

3.2. Classificazione sismica dei terreni di fondazione

Per classificazione sismica si intende un sistema di normative che determina in che modo e dove gli edifici di nuova costruzione vanno costruiti secondo criteri antisismici, in modo cioè da resistere senza crollare alle forze sismiche. Il rischio sismico è definibile come l'incrocio tra dati di pericolosità (definizione delle strutture sismogenetiche e capacità di caratterizzazione dell'eccitazione sismica ad esse associata), di vulnerabilità (capacità degli oggetti esposti di resistere alle sollecitazioni) e di esposizione (presenza sul territorio di manufatti a rischio).

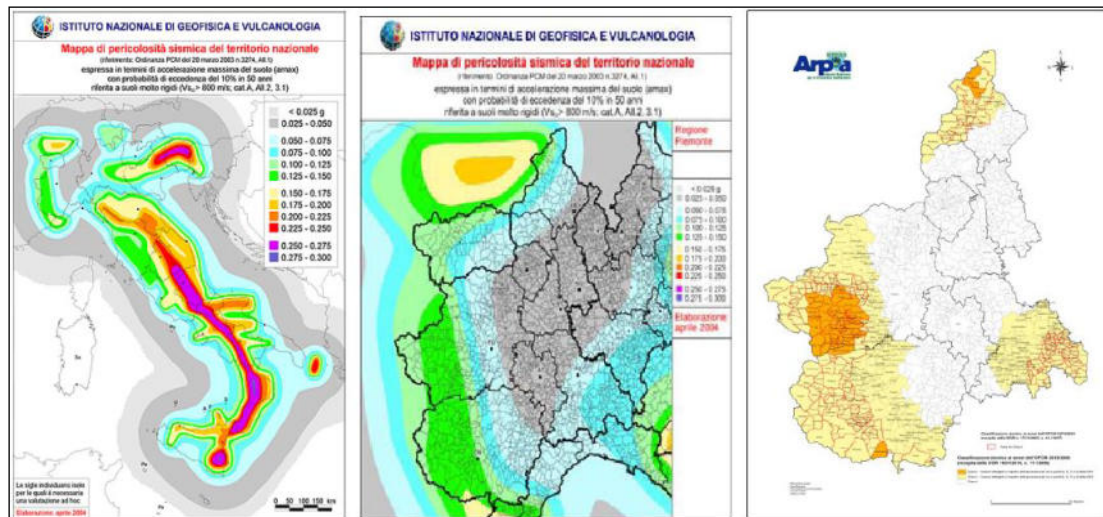
Il sistema della classificazione sismica (e le mappe da esso previste) è finalizzato a fornire a chi costruisce un edificio nuovo un livello di riferimento convenzionale delle forze sismiche rispetto al quale gli edifici vanno progettati per poter rispondere alle sollecitazioni senza crollare. Un edificio antisismico può quindi danneggiarsi in caso di terremoto (anzi, nel caso di certe tipologie edilizie l'edificio "deve" danneggiarsi, poiché tale danneggiamento aiuta a scaricare l'energia sismica ed a impedire il crollo).

Detti criteri sono stati stabiliti dall'allegato al recente D.M. 17 gennaio 2008 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI" come già la precedente O.P.C.M. 3274/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" nella quale venivano individuate 4 zone sulla base dei 4 valori di accelerazioni orizzontali (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico indicati nelle Norme Tecniche (allegati 2, 3, 4).

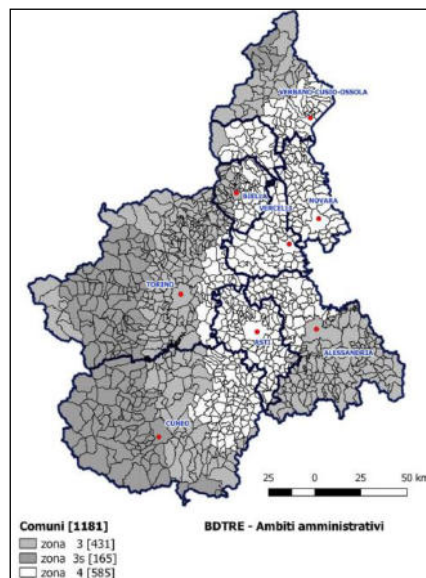
Su iniziativa della Regione Piemonte recentemente è stato riaggiornato l'elenco delle Zone Sismiche del Piemonte, sulla base di uno studio del Politecnico di Torino.

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

| Zona | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [Ag/g] | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [Ag/g] |
|------|--|---|
| 1 | $> 0,25$ | 0,35 |
| 2 | $0,15 - 0,25$ | 0,25 |
| 3 | $0,5 - 0,15$ | 0,15 |
| 4 | $< 0,05$ | 0,05 |



Nuova classificazione sismica del territorio nazionale e piemontese (O.P.C.M. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)



Classificazione sismica del Piemonte

Il territorio regionale piemontese è sede di attività sismica, modesta come intensità, ma notevole come frequenza. I terremoti si manifestano generalmente lungo due direttrici:

- una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità;
- l'altra più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi Occidentali francesi.

Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa, interessando il Nizzardo e l'Imperiese. Una terza direttrice, infine, interessa il fronte occidentale dell'Appennino sepolto ed il suo prolungamento nel Monferrato.

Secondo la D.G.R. 15/02/2019, n. 17-8404 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2016)" il Comune di Macra è classificato in Zona 3s.

Per la definizione della pericolosità sismica di base è stata condotta un'acquisizione microtemori HVSR.



Acquisizione HVSR

3.2.1. Indagini HVSR

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico o microtremore) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003). L'origine del rumore sismico è di tipo ambientale (ad esempio dovuto alle perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti), mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche e si propagano come onde superficiali di Rayleigh.

L'analisi delle misure di rumore sismico che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

L'indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è un'indagine sismica passiva, sul terreno si rilevano i dati di velocità delle onde sismiche acquisiti da una terna geofonica orientata nelle tre direzioni che vengono poi elaborate e interpretate tramite software per l'ottenimento di alcuni parametri specifici; tramite questa indagine è possibile effettuare delle stime per l'individuazione dei seguenti parametri:

- classificazione del terreno di fondazione in base alle attuali NTC (parametro V_{seq})
- frequenza propria di risonanza del sito
- ricostruzione stratigrafica del sottosuolo

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15}m/s^2), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza). La frequenza di risonanza è legata allo spessore (h) e alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato (V_{s1}) dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1}/4h$$

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata ad esempio attraverso indagini dirette quali prove penetrometriche) e la frequenza fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tromografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno. Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti. La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori.

L'indagine HVSR permette inoltre l'individuazione delle frequenze di risonanza caratteristiche del sito, oltre alla ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo; durante la procedura di elaborazione è stato possibile verificare che sono stati rispettati i "CRITERI SESAME".

I segnali acquisiti, come visualizzabile nei grafici frequenze su rapporto H/V, sono qualitativamente accettabili e permettono la chiara visualizzazione dei picchi caratteristici.

In corrispondenza del sito in studio è stato condotto dallo scrivente il rilievo dei microtremori con il tromografo da 4,5 Hz HECHO TROMO dell'AMBROGEO s.r.l., per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno in due punti differenti (cfr. planimetria ubicazione indagini).

L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Geopsy e del modulo Dinver che ha permesso di ricavare il grafico H/V dove viene evidenziata la frequenza fondamentale del sito ed il profilo verticale delle V_s , ottenuto mediante la taratura del primo livello individuato con una prova penetrometrica dinamica.

Così come previsto dai criteri SESAME sono state realizzate 3 diverse acquisizioni. Si riportano a seguire i risultati dell'elaborazione svolta.

Dall'indagine sopra riportata emerge come la frequenza fondamentale del sito (f_0) calcolata sia in corrispondenza del picco H/V posto a 30 Hz in corrispondenza probabilmente del substrato roccioso. Il profilo V_s ricavato evidenzia un netto aumento delle velocità a partire da circa 3,5 m di profondità dove si incontra verosimilmente il substrato roccioso, subaffiorante in alcuni punti nell'intorno dell'area d'intervento.

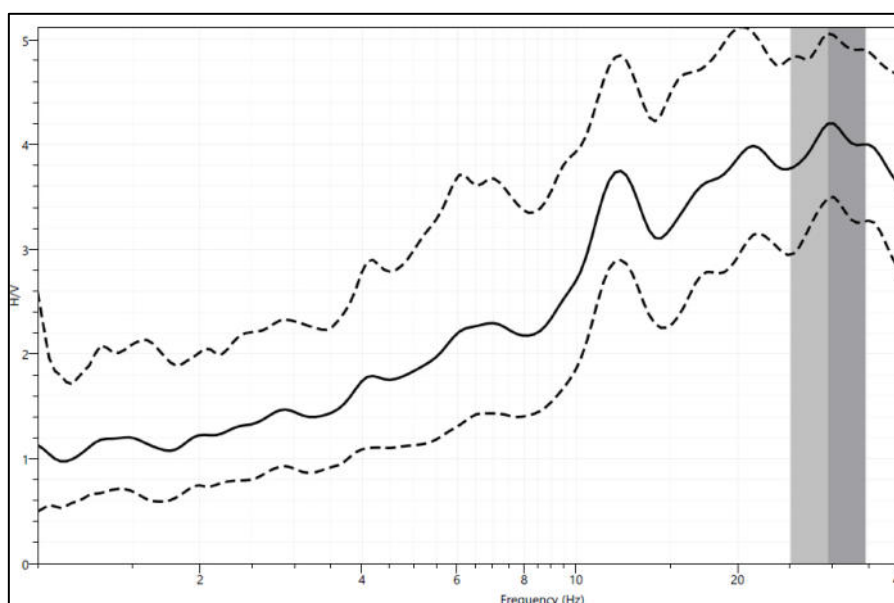
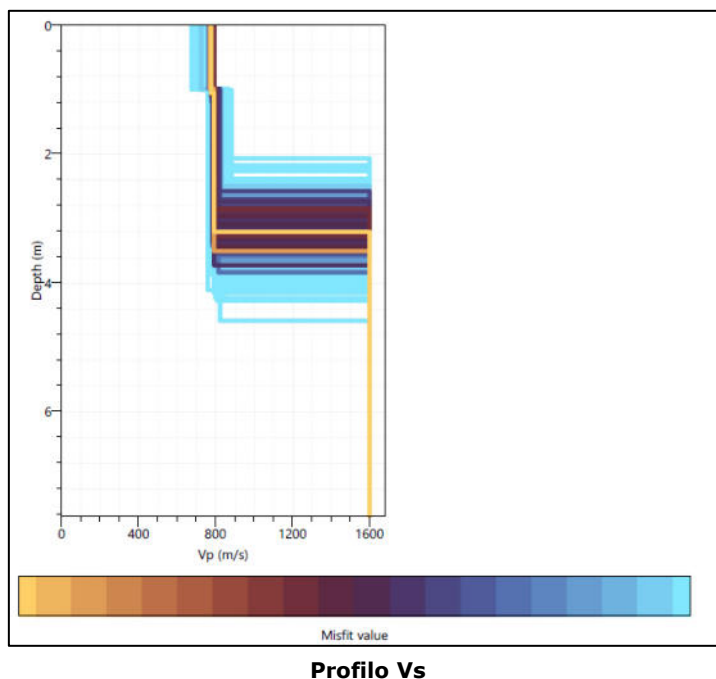


Grafico H/V



Profilo Vs

3.2.2. **Definizione della categoria di sottosuolo**

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che, in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

L'identificazione di questa categoria con le NTC 2008 veniva eseguita in base ai valori della cioè la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. A partire dal 22 marzo 2018 con l'ingresso delle NTC 2018 viene anche introdotta la VS equivalente ($V_{S,eq}$) inserita nelle NTC 2018 e definita dalla seguente relazione:

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

con

- h_i = spessore dello strato i -esimo
- $V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato
- N = numero di strati
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una *variazione sul tema* rispetto al parametro V_{s30} (in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. Viene eliminata la possibilità di ricavare la categoria di sottosuolo mediante $NSPT_{30}$ o Cu_{30} .

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Le nuove "categorie di sottosuolo" secondo il Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, sono:

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

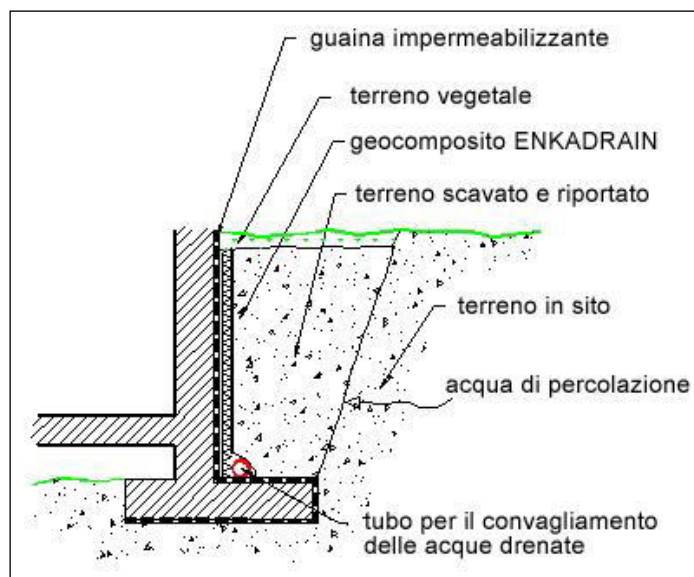
Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Nel caso in studio considerando un piano di fondazione a – 1,5 m dal p.c. si ottiene una **Categoria A**: "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".

4. CONSIDERAZIONI DI INDIRIZZO TECNICO-ESECUTIVO

Sulla base di quanto esposto risulta opportuno prevedere alcuni accorgimenti/prescrizioni di carattere tecnico-esecutivo essenzialmente riconducibili a:

- Dal punto di vista dell'assetto idrogeologico si esclude la presenza di falda nei primi metri di profondità dal p.c. anche se in corrispondenza delle precipitazioni meteoriche può esservi una discreta circolazione idrica sotterranea all'interfaccia substrato/terreni di copertura e anche a quote più superficiali.
- Per quanto riguarda gli aspetti sismici, ricordando che secondo la D.G.R. 15/02/2019, n. 17-8404 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2016)" il Comune di Macra è stato riclassificato in Zona 3s, a seguito dell'indagine svolta sono stati definita una categoria di sottosuolo A.
- In fase di esecuzione delle opere si dovrà porre la massima attenzione alla stabilità di eventuali fronti di scavo, evitando di intervenire con scavi aperti nei periodi piovosi, adottando tutte le cautele per il loro sostegno soprattutto nel caso in cui la loro profondità superi gli 1,5 m attraverso la messa in opera di opere provvisorie.
- Per quanto riguarda le operazioni di scavo/riporto:
 - Dovranno essere ridotti al minimo gli scavi, i movimenti di terra e l'estirpo della vegetazione e la loro esecuzione dovrà essere effettuata in modo da poter selezionare ed utilizzare al meglio i materiali scavati.
 - Dovrà essere realizzato un idoneo sistema di raccolta, canalizzazione e smaltimento delle acque meteoriche e di quelle drenate dagli scavi, anche durante la fase di cantiere, che le convogli in modo tale da allontanarle dalla scarpata di scavo, al fine di evitare l'insorgere di fenomeni di erosione diffusa o concentrata. La pendenza della pista di accesso dovrà essere, seppur minima, verso monte dove verrà realizzata un fosso di raccolta e smaltimento delle acque.
 - L'esecuzione degli scavi dovrà essere effettuata in modo da evitare franamenti e/o rotolamenti di materiale lungo il pendio.
 - L'altezza delle scarpate di scavo e di riporto in progetto è limitata non superando generalmente il metro di altezza. Qualora la loro pendenza superi i 40° andranno messi in opera alcuni accorgimenti quali la posa al piede dei blocchi rocciosi di maggiori dimensioni risultanti dallo scavo. Ovviamente la compattazione dei terreni e l'inerbimento delle scarpate ne aumenteranno e garantiranno la stabilità nel tempo.
 - Gli scavi dovranno essere ridotti al minimo indispensabile, seguendo il più possibile l'andamento del versante e cercando, nei limiti del possibile, un compenso fra scavi e riporti. Eventuale materiale in esubero dovrà essere smaltito in altra sede, nel rispetto di quanto stabilito dalla normativa vigente.
 - I riporti dovranno poggiare su terreno adeguatamente preparato mediante operazioni di scotico e gradonatura. Tutti i massi movimentati dovranno essere utilizzati per migliorare la stabilità delle scarpate o dei rilevati.
 - Le scarpate in materiali sciolti dovranno essere quanto prima inerbite.
 - Dovrà essere utilizzato ogni accorgimento atto ad ottenere una corretta regimazione delle acque. Il lato di monte del fabbricato che risulterà completamente interrato andrà impermeabilizzato e drenato (cfr. schema riportato a seguire)



Schema drenaggi perimetrali al fabbricato lungo i muri controterra ed al piano fondazione

5. CONCLUSIONI

Le osservazioni sopra esposte consentono di evidenziare la fattibilità degli interventi in progetto, avendo cura di rispettare le considerazioni di carattere tecnico-esecutivo precedentemente illustrate.

Gli interventi in progetto risultano quindi compatibili con l'assetto geologico/geomorfológico, geotecnico esistente nel caso in cui ci si attenga rigidamente alle soluzioni progettuali prospettate allo scrivente.

In sede di esecuzione dell'intervento la Direzione Lavori, ove necessario, è tenuta a richiedere un sopralluogo dello scrivente per il controllo della conformità di quanto sopra esposto e per verificare la continuità dell'assetto stratigrafico e geotecnico supposto attraverso indagini puntuali. In questo modo sarà possibile apportare quelle modificazioni e miglioramenti tecnici che si renderanno eventualmente necessari.

Il Geologo, Dott. Andrea Bredy