



**CONSORZIO DI BONIFICA
MONTANA DEL GARGANO**

Consorzio di Bonifica Montana del Gargano
Viale Cristoforo Colombo n. 243
71121 Foggia (FG)
www.bonificadelgargano.it
info@bonificadelgargano.it



**REALIZZAZIONE DI UN ACQUEDOTTO RURALE A SERVIZIO DELLE COMUNITA'
AGRICOLE PRESENTI SUL TERRITORIO MONTANO DI MONTE SANT'ANGELO (FG)**

PROGETTO DEFINITIVO

DATA: Settembre 2019	RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA	Tavola ES 01
REV. 00		

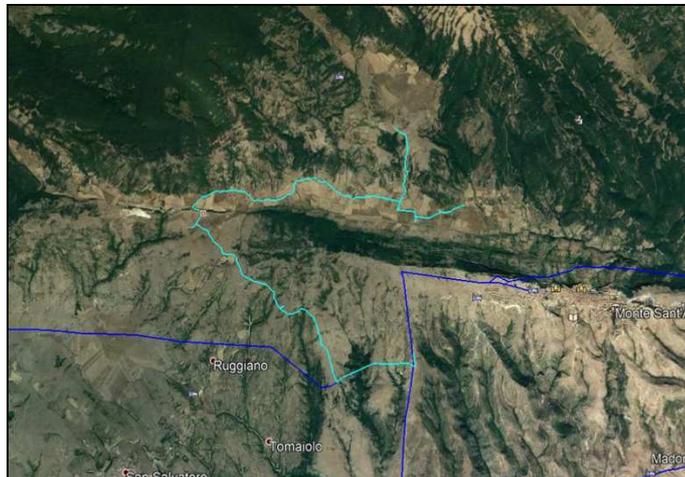
*REDATTO DA : Settore Tecnico - Agrario
Consorzio di Bonifica Montana del Gargano*

Il Progettista
Geom. Claudio DESTINO

Geologo
Dott. Geol. Domenico Impagnatiello



Il Responsabile del Procedimento
(Dott. Agr. Luciano CIRETTI)

COMUNE DI MONTE SANT'ANGELO (FG)**Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle Comunità agricole presenti sul territorio montano di Monte Sant'Angelo (FG)**

(CIG: ZD1290E0A4, CUP 0PROVV0000013308)

Relazione geologico - tecnica

COMMITTENTE:

Consorzio di Bonifica Montana del Gargano

PROGETTISTI:

*geom. Claudio Destino
ing. Salice Roberto (strutture ed idraulica)*

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

dott. agr. Luciano Ciciretti

GEOLOGO:

dott. geol. Domenico P. Impagnatiello

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
1.1. Piano di lavoro.....	4
1.2. Normativa di riferimento	4
1.3. Bibliografia.....	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (Ambito del Gargano)	7
2.1. Tracciato della condotta idrica	9
3. CENNI GEOLOGICI, TETTONICI E MORFOLOGICI GENERALI	10
4. DESCRIZIONE DELLA TETTONICA LOCALE	12
5. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA.....	13
6. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE.....	15
7. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROGEOLOGICHE DELL' AREA	19
7.1. Idrografia superficiale	19
7.2. Caratteri di permeabilità delle formazioni affioranti	20
7.3. Acquifero carsico profondo	21
7.4. Vulnerabilità dell'acquifero carsico	21
8. QUADRO CLIMATICO GENERALE / LOCALE	23
8.1. Il clima dell'area interna (stazione meteorologica di Monte Sant' Angelo)	24
8.2. Caratteristiche meteo climatiche locali.....	24
8.2.1. Precipitazioni.....	24
8.2.2. Temperature	26
8.2.3. Umidità media stagionale - Radiazione solare media stagionale	27
8.2.4. Evaporazione.....	27
8.2.5. Tipo di vegetazione presente	27
8.2.6. Andamento della ventosità della stazione di Monte Sant' Angelo	28
9. SISMICITA' STORICA DELL' AREA	29
10. RAPPORTI CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	32
10.1. Premessa	32
10.2. Piano Regolatore Generale di Monte Sant' Angelo (FG)	32
10.3. Rapporti con il PPTR (Piano Paesaggistico Territoriale Regionale).....	32
10.4. Rapporti con il PAI (Piano di bacino stralcio per l' Assetto Idrogeologico)	37
10.5. Rapporti con il PTA (Piano di Tutela delle Acque).....	38
10.6. Aree Naturali Protette e ZVN.....	41
11. ELEMENTI DELLA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA	43
12. INDAGINI IN SITO	45
12.1. Premessa	45
12.2. Indagine sismica per l'impianto di sollevamento	45
12.2.1. Profilo sismico a rifrazione.....	45
12.2.2. Indagine sismica MASW.....	46
12.2.3. Parametri dinamici del sottosuolo	47
12.3. Indagine sismica per il serbatoio di accumulo.....	48
12.3.1. Profilo sismico a rifrazione.....	48
12.3.2. Indagine sismica MASW.....	48
12.3.3. Parametri dinamici del sottosuolo	49
12.4. Indagine sismica sul tracciato delle condotta in località "Valle di Carbonara"	50
12.4.1. Profili sismici a rifrazione	51
12.4.2. Indagine sismica MASW.....	52
12.4.3. Parametri dinamici del sottosuolo	53
13. CARATTERIZZAZIONE DELL' AMMASSO ROCCIOSO DI BASE (BEDROCK)	54
13.1 Premessa	54
13.2. Indici di qualità e classificazione geomeccanica.....	54
13.2.1. Rock Mass rating (RMR)	55
13.2.2. Caratterizzazione geomeccanica Hoek-Brown.....	57
13.3. Roclab.....	58
13.4. Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso (indice RMR) da sismica	60
13.5. Analisi dei risultati	62
13.6. Portanza fondazioni superficiali su roccia utilizzando il criterio di rottura di Hoek-Brown.....	62
13.7. Modulo di deformabilità.....	63
13.8. Calcolo del Coefficiente di sottofondazione (Coefficiente di WINKLER)	64

14. MODELLO GEOLOGICO-TECNICO AREE IMPIANTI TECNICI	65
14.1. Incertezze nel modello stratigrafico ricostruito	66
15. MODELLO GEOLOGICO-TECNICO AREA TRACCIATO CONDOTTA IN "VALLE CARBONARA"	66
16. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO	67
17. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	68
17.1. Analisi di pericolosità sismica di base per l'impianto di sollevamento	69
17.2. Analisi di pericolosità sismica di base per il serbatoio di accumulo	70
18. DESCRIZIONE PROGETTO E COMPATIBILITÀ PAI.....	73
18.1. Analisi di stabilità del versante.....	76
18.2. Metodo di analisi per pendii in roccia (<i>Metodo di Hoek & Bray</i>)	77
18.3. Elaborazione analisi pendio in roccia	78
18.4. Elaborazione analisi pendio in terra	81
18.5. Analisi dei risultati	84
19. VERIFICA PRESENZA CAVITÀ CARSICHE	85
20. INTERPRETAZIONE SULLA ESCAVABILITÀ IN RELAZIONE ALL'INDAGINE SISMICA	86
21. CONCLUSIONI.....	88

1. PREMESSA

Il Consorzio di Bonifica Montana del Gargano, con Deliberazione del Consiglio di Amministrazione n. 684/19 del 27.06.2019 e successivo Disciplinare di Incarico, formalizzato in data 02.08.2019, incaricava lo scrivente dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello, iscritto all'Albo Regionale dei Geologi con il n. 254, alla redazione della Relazione geologico – tecnica relativa alla **“Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle Comunità agricole presenti sul territorio montano di Monte Sant’Angelo (FG)”** (CIG: ZD1290E0A4, CUP 0PROVV0000013308).

In particolare l'opera in progetto, così come ampiamente descritto nella relazione tecnica progettuale, prevede *“... la sostituzione di un tratto di condotte dell'Acquedotto Pugliese che da Monte Sant'Angelo collega San Giovanni Rotondo, allo stato attuale insufficiente a servire le aree agricole e le frazioni di Monte Sant'Angelo e Manfredonia, e la realizzazione di una diramazione dalla stessa condotta per approvvigionare le sole aree interne del comune di Monte S. Angelo, così da disporre di risorse sufficienti anche per aree diverse e maggiori rispetto a quelle servite oggi. La condotta sarà realizzata a servizio delle aree interne site ad ovest del comune di Monte Sant'Angelo. La disponibilità della risorsa idrica, essenziale alla vita umana ed animale consentirà in tale zona un maggior sviluppo dei centri rurali, delle realtà agricole ed in particolare in quelle zootecniche che da sempre risentono dalla scarsa disponibilità di risorsa idrica, assicurata solo con autobotti a costi elevati rispetto a quella da rete. La diramazione dalla rete AQP è prevista nella zona ad ovest dell'abitato di Monte Sant'Angelo in corrispondenza di Valle Coppa la Pineta per proseguire in direzione contrada Santa Chiara. Dopo aver attraversato la strada per Santa Maria di Pulsano la condotta devia a nord in direzione valle di Carbonara tra la vegetazione mediterranea. In tale zona la condotta attraversa la S.S. 272 quindi dopo aver attraversato la stessa valle di Carbonara prosegue deviando verso est a monte del vallone Carbonara in direzione dell'abitato di Monte Sant'Angelo”*.

Lo sviluppo complessivo della rete è pari a 14.000 ml circa.

L'opera si completa con la realizzazione del serbatoio di accumulo da realizzarsi nella zona alta del tracciato sita a sud del vallone Carbonara e dell'impianto di sollevamento da realizzarsi lungo il tracciato in un'area individuata a circa ml 1.500 dalla diramazione dalla rete AQP.

Il presente studio geologico – tecnico è stato redatto in conformità alle NTC2018 (in relazione alle opere strutturali da eseguirsi); al R.D.L. 3267/23 e al Regolamento Regionale n. 9/2015 (norme per i terreni sottoposti a vincolo idrogeologico); alle NTA del PAI Puglia per la presenza di piccole aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1) e elevata (PG2).

1.1. Piano di lavoro

Per lo svolgimento dell'incarico si è approntato il seguente piano di lavoro:

- ricerca bibliografica e documentale;
- sopralluogo dell'area e rilevamento geologico;
- esecuzione di n. 2 prove sismiche a rifrazione oltre che del tipo MASW effettuate in data 06.08.2019 e 27.08.2019 finalizzate alla definizione della categoria di suolo e delle principali caratteristiche geomeccaniche delle formazioni calcaree presenti in area di realizzazione delle opere ingegneristiche in progetto (impianto di sollevamento e vasca di accumulo);
- esecuzione di n. 7 prove sismiche a rifrazione lungo il tracciato di progetto, per verificare la litostratigrafia locale, soprattutto in relazione alla possibile presenza, localmente, di terreni eluviali e colluviali;
- interpretazione dei dati di campagna;
- stesura della presente relazione finale.

1.2. Normativa di riferimento

Prima di illustrare il lavoro eseguito è opportuno indicare le principali normative che regolano la materia in questione:

1. R.D.L. n. 3267 del 30.12.1923 - *"Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani"*;
2. Legge n. 64 del 02.02.1974 - *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*;
3. D.M. 11.03.1988 - *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri..."*;
4. Circolare Min. LL. PP. n. 30483 del 24.09.1988 - *"Norme di attuazione del D.M. 11.03.1988"*;
5. D.P.R. 5 giugno 1995 - *"Istituzione dell'Ente Parco Nazionale del Gargano"*;
6. Legge Regionale 9 dicembre 2002, n. 19 - *"Istituzione dell'Autorità di Bacino della Puglia"*;
7. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274 - *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*;
8. Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 - *"Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 Legge 6 luglio 2002, n. 137 e succ. mod. e integr."*;
9. Autorità di Bacino della Puglia - Deliberazione del Comitato Istituzionale del 15.12.2004 - *"Adozione del Piano di Bacino della Puglia, stralcio "assetto idrogeologico" e delle relative misure di salvaguardia"*;
10. Deliberazione della Giunta Regionale n. 176 del 16/02/2015 - *"Approvazione del Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia (PPTR)"*;
11. Regolamento Regionale 11 marzo 2015, n. 9 - *"Norme per i terreni sottoposti a vincolo idrogeologico"*;

12. Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 – “Aggiornamento delle « Norme Tecniche per le Costruzioni”;
13. Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 “ Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

1.3. Bibliografia

AA.VV. (2010) – “*Il patrimonio geologico della Puglia. Territorio e geositi*” - Supplemento al numero 4/2010 di *Geologia dell'Ambiente* periodico della SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale

AGIP (1971) – “*Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca di idrocarburi in Italia*”, Vol. I, Roma.

AGIP (1994) - “*Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca di idrocarburi in Italia (dal 1971 al 1990)*”, Vol. II, Roma.

BALDUZZI A., CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1982) – “*Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino pugliese (Avanfossa Appenninica)*”. *Geologia Romana*, 21, 1-28, 20 figg., 1984, Roma.

BOSCHI, E. GUIDOBONI, E. FERRARI, G. MARIOTTI, D. VALENSISE, G. GASPERINI, P. (2000) – “*Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997*”. *Annali di Geofisica*, 43, 609-868.

BOWLES J.E. (1991) – “*Fondazioni. Progetto e analisi*”. McGraw-Hill Libri Italia srl.

BUDETTA P. & DE RISO R. & DE LUCA C. (2001). “*Correlations between jointing and seismic velocities in highly fractured rock masses*”. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 60. 185-192.

CALDARA M. & PALMENTOLA G. (1993) – “*Lineamenti geomorfologici del Gargano con particolare riferimento al carsismo*”: *Bonifica*, v. 8, p. 43-52.

CELICO P. (1986) – “*Prospezioni idrogeologiche*” Volume I e II, Liguori editore s.r.l.

CHERUBINI C., GIASI C.I. (2005) – “*L'applicazione dei sistemi di classificazione per la valutazione della capacità portante e dei cedimenti di fondazioni superficiali su rocce calcaree*”. *Giornale di Geologia Applicata* 2 (2005) 255-259.

CHERUBINI C. (2005) – “*Alcune considerazioni sull'uso dei sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi*”. *Giornale di Geologia Applicata* 2 (2005) 285-288.

COTECCHIA V. & MAGRI G. (1966) – “*Idrogeologia del Gargano*”: *Geologia Applicata e Idrogeologia*, v. 1, p. 1-86.

COTECCHIA V. (2014) – “*Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. Vol. 92: Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa*”. ISPRA Serv. Geologico d'Italia,

CREMONINI G., ELMI C. & SELLI R. (1971) – “*Note illustrative della Carta geologica d'Italia, Foglio 156, S. Marco in Lamis*”: Roma, Servizio Geologico d'Italia, 66 p.

FUNICIELLO R., MONTONE P., SALVINI F. & TOZZI M. (1990) – “*Caratteri strutturali del Promontorio del Gargano*”: Memorie della Società Geologica Italiana, v. 41 (1988), p. 861–868.

G.N.D.T. — I.N.G. — S.S.N. (1996) – “*Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani*”. - http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/16.html.

GUERRICCHIO A. (1983) – “*Strutture tettoniche di compressione nel Gargano evidenziate da immagine da satellite*”: Geologia Applicata e Idrogeologia, v. 17, p. 491–505.

MARTINIS B. & PAVAN G. (1967) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia, Foglio 157 “Monte S. Angelo”*: 56 p.

MERIFIELD R.S., LYAMIN A.V., SLOAN S.W. (2006) – “*Limit analysis solutions for the bearing capacity of rock masses using the generalised Hoek–Brown criterion*”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 920–937.

MORSILLI M. (2016) – “*Sintesi delle conoscenze geologiche e stratigrafiche del promontorio del Gargano*” – Geologi e Territorio, Anno XIII, n. 2/2016, p. 15-30.

PENNETTA L., - “*Analisi fisica integrata del Territorio della provincia di Foggia*” – PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Foggia).

RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F. & PIERI P. (1988) – “*Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell’ Avampaese Apulo*”. Mem. Soc. Geol. It., 41 (I), 57-82, 15 figg., 1992, Roma.

SPALLUTO L., PIERI P. – “*Carta geologica delle unità carbonatiche mesozoiche e cenozoiche del Gargano sud-occidentale: nuovi vincoli stratigrafici per l’evoluzione tettonica dell’area*”. Mem. Descr. Carta Geol. d’It. LXXVII (2008), pp. 147 - 176

ZHANG L. (2016) – “*Determination and applications of rock quality designation (RQD)*”. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 8 (2016).

ZEZZA F. (1975) – “*Le facies carbonatiche della Puglia ed il fenomeno carsico ipogeo*”: Geologia Applicata e Idrogeologia, v. 10, p. 1–31.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (Ambito del Gargano)

L'ambito del Gargano è rappresentato prevalentemente dalla dominante geomorfologica costituita dall'altopiano calcareo e dai suoi orli terrazzati. La delimitazione dell'ambito si è attestata pertanto sulle componenti morfologiche della linea di costa e del costone garganico, che rappresenta la demarcazione altimetrica, litologica e di uso del suolo tra il Gargano e l'ambito limitrofo del Tavoliere. Il perimetro che delimita questi due ambiti segue principalmente la viabilità provinciale e comunale che si sviluppa ai piedi del costone e lungo il fiume Candelaro.



Fig. 1 – Limiti geografici del Gargano

Il progetto in questione si sviluppa nell'area centro-meridionale del Promontorio rappresentato, morfologicamente, da un altopiano carsico digradante verso il mare da una ben evidente gradinata formata da una successione di ripiani diversamente estesi e di scarpate con dislivelli variabili. Il Gargano rappresenta una delle poche aree della regione mediterranea in cui è possibile osservare l'architettura stratigrafica originaria della transizione di una piattaforma carbonatica mesozoica (Piattaforma Apula) verso le aree di bacino adiacenti (Bacino Ionico) impostate lungo il margine meridionale della Tetide.

Più in dettaglio l'area di nostro interesse si sviluppa interamente nel territorio del Comune di Monte Sant'Angelo (FG) i cui riferimenti cartografici sono:

- foglio n. 156 "San Marco in Lamis" della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000;
- foglio n. 397 "Manfredonia" della Carta d'Italia in scala 1:50.000;

- tavoletta topografica II S.E. "San Salvatore" del Foglio n. 156 della Carta d'Italia in scala 1:25.000.

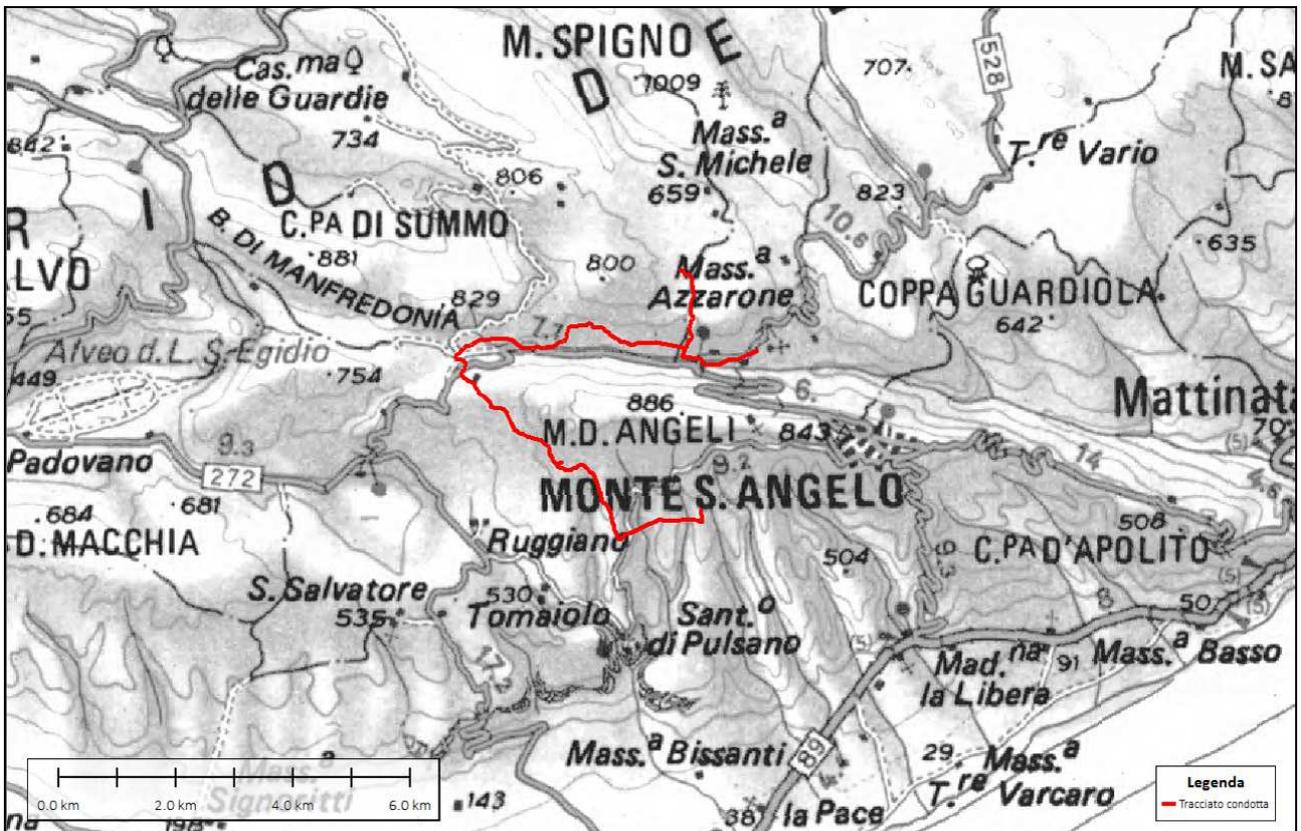


Fig. 2 – Inquadramento territoriale: area vasta

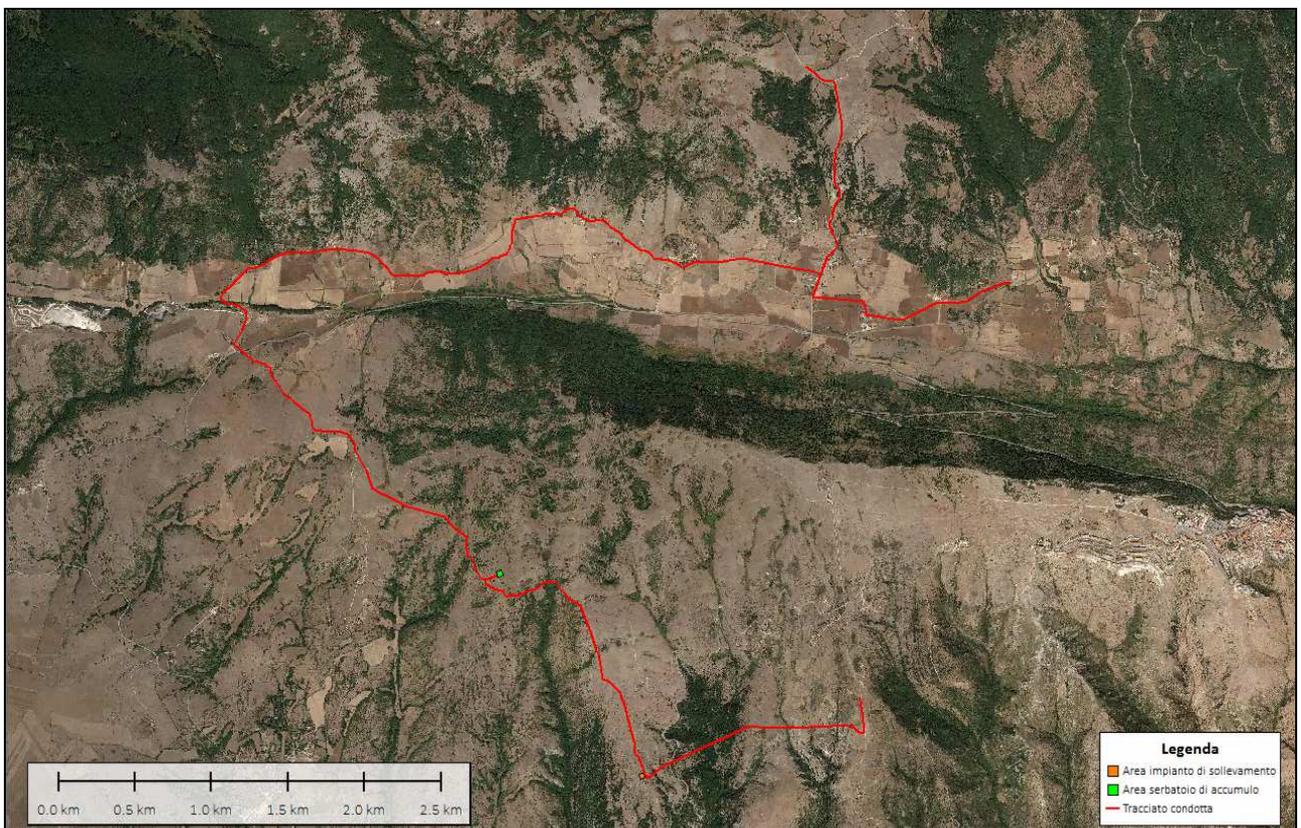


Fig. 3 – Inquadramento territoriale: tracciato condotta su ortofoto 2017

2.1. Tracciato della condotta idrica

Il tracciato della condotta si sviluppa ad ovest rispetto all'abitato del Comune di Monte Sant'Angelo (FG) ed interessa le località "Santa Chiara", "gli Angeli", "Cima delle Costa / Orefice", "Carbonara".

Il **primo tratto** della condotta, con uno sviluppo in pianta di 1762 ml e su superficie 3D di 1856 ml, si sviluppa all'incirca in direzione EW e andrà a sostituire la vecchia condotta AQP. In questo tratto iniziale la quota topografica minima è di 574 m l.m.m. e la massima di 702 m l.m.m.. Dal punto di vista geomorfologico verranno "attraversate" n. 4 incisioni vallive la più importante delle quali è senza dubbio la "Valle Campanile".

Il **secondo tratto**, con uno sviluppo in pianta di 2036 ml e su superficie 3D di 2051 ml, si sviluppa grossomodo in direzione N-S e andrà a "collegare" l'impianto di sollevamento e l'area di accumulo. In questo tratto la quota topografica minima è di 672 m l.m.m., la massima di 772 m l.m.m..

Il **terzo tratto**, con uno sviluppo in pianta di 2941 ml e su superficie 3D di 2951 ml, si sviluppa in direzione S-SE / N-NW e collega l'area di accumulo con la "Valle Carbonara". In questo tratto la quota topografica minima è di 636 m l.m.m., la massima di 754 m l.m.m.. In questo tratto la morfologia lungo il tracciato digrada abbastanza dolcemente verso la "Valle Carbonara" e non vengono attraversati reticoli idrografici.

Nel **quarto tratto**, il più lungo, il tracciato della condotta si sviluppa prevalentemente in direzione E-W, quasi parallelamente alla "Valle di Carbonara". Questo tratto ha uno sviluppo in pianta di 6016 ml e su superficie 3D di 6031 ml; la quota topografica minima è di 526 m l.m.m., la massima di 652 m l.m.m.. In questo tratto la condotta interseca numerosi reticoli idrografici "minori", tutti tributari, in sinistra idraulica, del "Vallone di Carbonara".

Il **quinto tratto** della condotta, trasversale al precedente, si snoda lungo la strada comunale Cagnano V. – Carpino (anche denominata strada "Cerrosaldo") in direzione N-S per 1520 ml; la quota topografica minima è di 560 m l.m.m., la massima di 672 m l.m.m..

Di seguito il riepilogo della lunghezza totale della condotta idrica, misurata sia in bidimensionale che riportando il tracciato su DTM Lidar 3D:

TRACCIATO	SVILUPPO 2D (m)	SVILUPPO 3D (m)
Primo tratto	1.762	1.856
Secondo tratto	2.036	2.051
Terzo tratto	2.941	2.951
Quarto tratto	6.016	6.031
Quinto tratto	1.520	1.527
Totale	14.275	14.416

3. CENNI GEOLOGICI, TETTONICI E MORFOLOGICI GENERALI

Il Gargano rappresenta un elemento geografico piuttosto singolare nel contesto regionale pugliese, caratterizzato com'è da una spiccata variabilità di caratteri geologici e geomorfologici e dalla coesistenza di diverse tipologie di paesaggio.

Da un punto di vista geologico e strutturale il promontorio del Gargano è simile al vicino altopiano delle Murge, dal quale però si differenzia per la presenza di una più assortita tipologia di rocce affioranti e per un diverso assetto morfologico. Esso occupa la porzione più settentrionale della piattaforma carbonatica apula che nell'era mesozoica faceva parte della Placca Adriatica, in progressiva separazione dalla placca continentale africana e bagnata da un antichissimo oceano chiamato Tetide (vedi carta geologica schematica di Fig. 4).

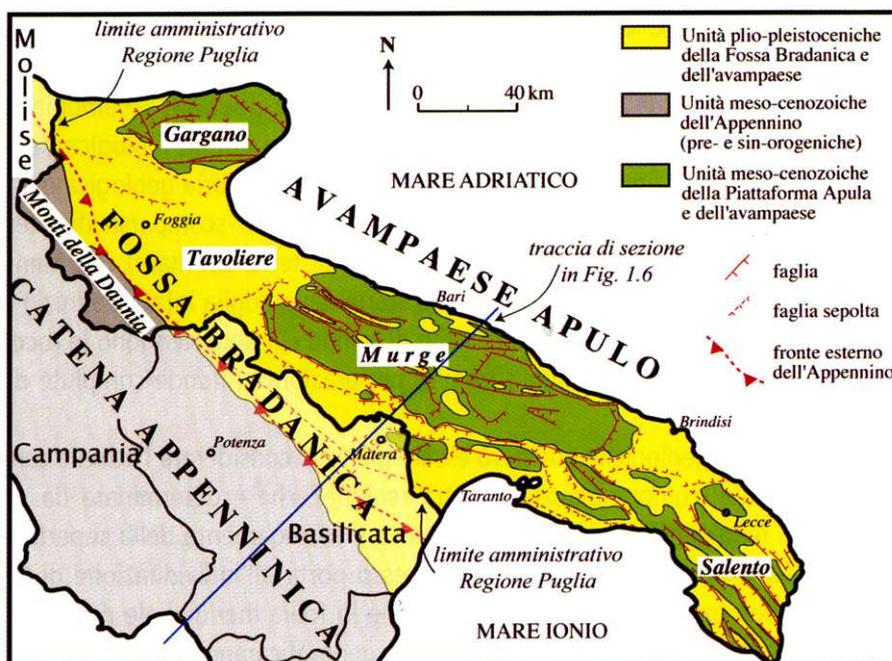


Fig. 4 – Carta geologica schematica della Regione Puglia (da Pieri et al., 1997, mod.)

La varietà geologica del Gargano e il significato delle diverse tipologie di roccia vanno ricercate nel corso della sua storia geologica. E' un periodo di tempo lungo circa 170 milioni di anni, ben narrato

nei caratteri stratigrafici, paleontologici, geomorfologici e tettonici del Gargano. Gran parte del promontorio è costituito da rocce di composizione calcarea formatesi in ambiente marino, in un tipico contesto di piattaforma carbonatica oceanica. A prescindere dalla loro composizione mineralogica più o meno carbonatica, queste rocce presentano delle differenze talora piuttosto marcate nei caratteri tessiturali e granulometrici, oltre che nel loro contenuto fossilifero, a testimonianza di come si siano formate in settori diversi dell'ambiente marino: la minore o maggiore vicinanza alla costa, la profondità delle acque e il moto ondoso più o meno energetico sono fattori determinanti per la tessitura rocciosa. Percorrendo il Gargano dalle scarpate occidentali fino alle aree costiere più orientali non è difficile rendersi conto di come questi diversi ambienti di formazione si manifestino in differenti caratteri litologici e forme di rilievo. Al centro affiora una struttura affascinante e imponente, che porta ancora la testimonianza di quello che era un'antichissima scogliera corallina attorno a cui si svilupparono altri paleo-ambienti. Quel che

resta di questo corpo che domina il Gargano centro-orientale affiora oggi sul Monte Sacro (872 m s.l.m.) costituito da rocce calcaree massicce, poco stratificate e vacuolari in cui si trovano i resti fossili di organismi risalenti all'era giurassica, circa 140 milioni di anni fa.

Nel settore occidentale del promontorio affiora una serie di formazioni rocciose caratterizzate da alternanze di calcari e calcari dolomitici, stratificati e fratturati. La loro formazione è dovuta alla litificazione di un fango calcareo che nel Giurassico superiore-Cretaceo si formava sul fondale oceanico compreso tra la scogliera e la costa, in un ambiente lagunare. Tali rocce oggi affiorano estesamente sulle superfici sommitali e sui versanti che sagomano il Gargano centro-occidentale.

Il settore più orientale del Gargano, comprendente il tratto costiero che va da Rodi Garganico fino a sud di Testa del Gargano, si contraddistingue per la presenza di associazioni di rocce calcaree e calcareo-dolomitiche e di calcari farinosi e marnosi stratificati. La caratteristica peculiare di queste formazioni è la presenza di selce in noduli inglobati nella roccia o in liste interstratificate.

Queste litologie sono l'espressione di un ambiente di formazione di bacino oceanico piuttosto distante dalla costa e con acque molto profonde. La presenza delle liste di selce scura all'interno degli strati di calcare bianco rimarca la stratificazione netta di queste formazioni e costituisce un motivo continuo ammirabile nelle falesie lungo la fascia costiera tra Vieste e Mattinata.

Dal punto di vista **tettonico generale** il promontorio presenta una struttura tipo *Horst*, il cui nucleo è rappresentato dai calcari di scogliera intorno al quale si sono depositati i sedimenti marini più recenti con assetto a periclinale.

La struttura geologica oggi visibile è il prodotto di fasi tettoniche distinte: la prima, di natura plicativa, si è verificata in seguito al fenomeno di sollevamento generale dando origine ad una grossa anticlinale avente come centro l'antica scogliera; la seconda, di natura disgiuntiva, a carattere distensivo, ha prodotto due serie principali di dislocazioni, una ad andamento prevalente NW-SE, l'altra avente come direzione E-W.

Tra le faglie più importanti orientate in direzione E-W, particolare importanza riveste la "faglia della Valle Carbonara". Questa mega-dislocazione, che mostra rigetto verticale superiore al centinaio di metri e segni di trascorrenza dell'ordine di qualche chilometro, taglia il Gargano meridionale da S. Marco in Lamis a Mattinata e prosegue nell'Adriatico per almeno 200 Km. Questa faglia, assieme a quelle di direzione appenninica ed anti-appenninica presenti un po' ovunque nel Gargano, hanno contribuito a definire l'attuale assetto strutturale del Promontorio con possibili scollamenti lungo piani orizzontali a livello delle evaporiti triassiche, ivi molto spesse.

Le deformazioni e le evidenze di superficie della faglia di Carbonara sono caratteristiche. In considerazione del notevole valore dell'energia sismica liberata e della distribuzione complessiva degli epicentri concordanti con la discontinuità, essa è da ritenersi tuttora attiva.

Le faglie appartenenti al sistema di direzione NW-SE sono più diffuse nella parte interna del massiccio; esse sono caratterizzate generalmente da rigetti modesti, fatta eccezione per la "faglia

del Candelaro" che segna tutto il margine occidentale del Gargano con una scarpata alta circa un centinaio di metri.

Le faglie del sistema NE-SW sono modeste sia per estensione che per rigetti e sono presenti soprattutto lungo il bordo settentrionale del Gargano.

In relazione alla **morfologia generale** si rileva che, il Gargano, elevato fin oltre quota 1000 m (M. Calvo, 1055 m; Montenero, 1011 m), con una estensione di 1500 Km², è ancorato a SW al Tavoliere, dal quale lo separa la valle del T. Candelaro, e si protende per oltre 40 Km nel mare Adriatico verso E-NE. I suoi rilievi montuosi rappresentano un motivo morfologico che si distacca notevolmente dallo stile proprio di gran parte del territorio pugliese.

Il diverso peso con cui si sono combinati gli elementi che condizionano lo sviluppo delle forme (costituzione delle rocce affioranti, tettonica, tempo, clima, azione degli agenti esogeni, azione del mare) ha prodotto paesaggi diversi raggruppabili secondo quattro principali zone morfologiche:

1. l'altopiano centrale carsico;
2. la regione dei terrazzi meridionali;
3. il versante orientale di modellamento torrentizio;
4. la regione dei terrazzi nord-occidentali.

Il paesaggio, in generale, è di tipo collinare con forme frequentemente aspre in cui si è sviluppata una idrografia con sistemi vallivi coordinati e spartiacque ben definiti. I corsi d'acqua hanno in generale un percorso breve con forti piene in occasione di periodi particolarmente piovosi e magre molto prolungate.

4. DESCRIZIONE DELLA TETTONICA LOCALE

Dal punto di vista strutturale l'area di studio è caratterizzata dalla presenza di una monoclinale asimmetrica fagliata con direzione generale degli strati E-NE / W-SW, immersione S-SE e inclinazione compresa fra 15° e 20° circa, che culmina con il "Monte degli Angeli" ed è interrotta bruscamente a nord dalla "Valle Carbonara", una valle asimmetrica aperta in corrispondenza di una serie di dislocazioni strutturali che hanno prodotto un Graben (fossa tettonica) stretto ed allungato in direzione E-W.

L'elemento tettonico di gran lunga più importante presente in zona è senz'altro rappresentato dalla già citata faglia trascorrente di "Valle Carbonara" estesa all'incirca in direzione E-W e dalle due faglie estese di direzione NW-SE sulla quale si imposta il "Vallone Malpasso" e la "Valle Mattina". A nord della "Valle Carbonara" si evidenzia la presenza di altre due faglie: una allineata grossomodo in direzione N-S che interseca la faglia della "Valle Carbonara" e l'altra che interessa la "Coppa di S. Leonardo" ed è allineata grossomodo in direzione N-NW / S-SE.

5. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA

La morfologia delle zone garganiche è legata ai caratteri litologici delle formazioni affioranti e risente in particolar modo dell'assetto tettonico oltre che del fenomeno carsico. Il paesaggio è di tipo collinare con forme frequentemente aspre in cui si è sviluppata una idrografia con sistemi vallivi coordinati e spartiacque ben definiti.

In generale, l'area si identifica con il versante meridionale del Promontorio garganico con locale pendenza topografica media del 30% ÷ 35%, inclinazione $\alpha = 17^\circ \div 19^\circ$.

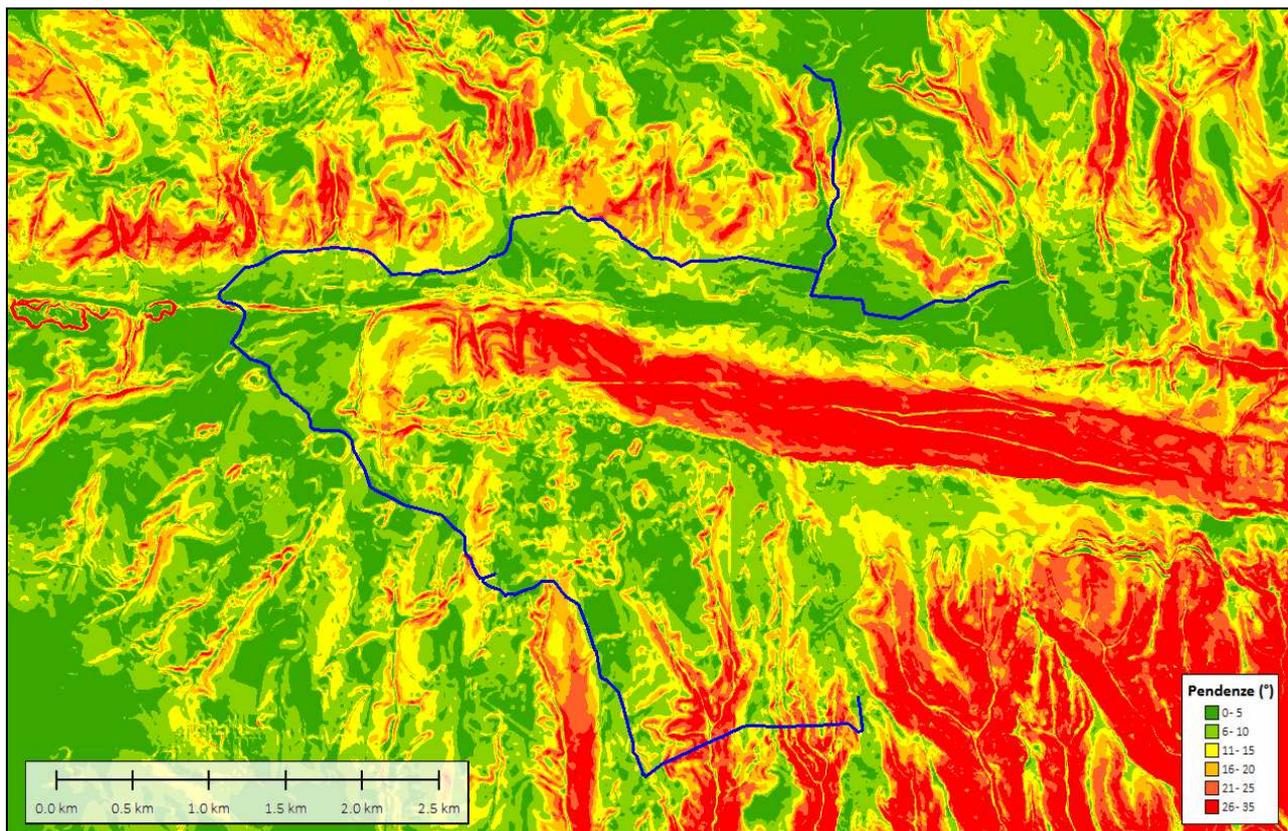


Fig. 5 – carta delle pendenze dell'area

Come si nota dalla Fig. 5, il tracciato della condotta non si sviluppa su aree a brusca pendenza tranne che nel tratto iniziale, in località "S. Barnabea", in cui esso interseca la "Valle Campanile"; è comunque opportuno ricordare che in tale tratto esiste già una condotta AQP che sarà semplicemente sostituita dalla nuova condotta di progetto.

La zona in cui si "snodano" i primi 5 km circa di condotta idrica, a partire proprio dalla località "S. Barnabea", è caratterizzata da una serie di ripiani morfologici digradanti verso il mare e dislocati a varie quote. Essi sono separati da profonde incisioni ("Valle Mattina", "Valle Campanile", "Valle Pulsano") allineate con prevalente direzione N-S. La loro origine è dovuta all'erosione delle acque meteoriche che tendevano a incanalarsi lungo vie di scorrimento preferenziali, probabilmente discontinuità tettoniche. Tali incisioni presentano un profilo asimmetrico a "V" con fianchi piuttosto ripidi; attualmente risultano asciutte per la maggior parte

dell'anno tranne che in occasione di piogge particolarmente abbondanti. Questi eventi, anche se rari, in passato hanno causato disastrosi allagamenti a valle.

Localmente, alla base dei versanti, è presente accumulo di detrito di falda costituito da elementi calcarei a spigoli vivi o debolmente arrotondati di varia composizione granulometrica.

Il tracciato, indi, prosegue "intercettando" la dorsale di "Monte degli Angeli" (un *horst* tettonico) con versante boscato a morfologia ripida verso la "Valle Carbonara" e meno acclive, verso Manfredonia, ma incisa da numerosi valloni che mostrano il paesaggio come una successione di piccoli rilievi indipendenti, prevalentemente pastorali.

Successivamente il tracciato della condotta interessa la "Valle Carbonara" che, come noto, rappresenta un *Graben* (fossa tettonica), caratterizzata da una sezione a "V" a fianchi asimmetrici.

La morfologia della "Valle Carbonara" risulta appena ondulata; i versanti sono abbastanza dolci e le pendenze raramente superano i 30°. Il fondovalle è costituito da accumuli di "terre rosse".

Il rilievo, localmente, è stato addolcito dall'intervento antropico che ha modellato il versante costruendo "terrazzamenti" delimitati da muretti a secco - costruiti da pezzame calcareo autoctono - che se da un lato consentono la pratica agricola, dall'altro contribuiscono in maniera determinante ad un'efficace azione di difesa del suolo e della vegetazione da parte degli agenti atmosferici ed, altresì, evitano fenomeni di ruscellamento delle acque meteoriche.

Molto evidenti sono anche, localmente, le forme morfologiche legate al fenomeno carsico che, in zona, si evidenzia da un lato con l'assenza di un vero e proprio reticolo idrografico superficiale e dall'altro con la presenza di tipiche forme carsiche superficiali (doline, campi carreggiati, campi solcati, valli cieche).

6. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Geologica d'Italia con indicazione delle principali formazioni litostratigrafiche affioranti.

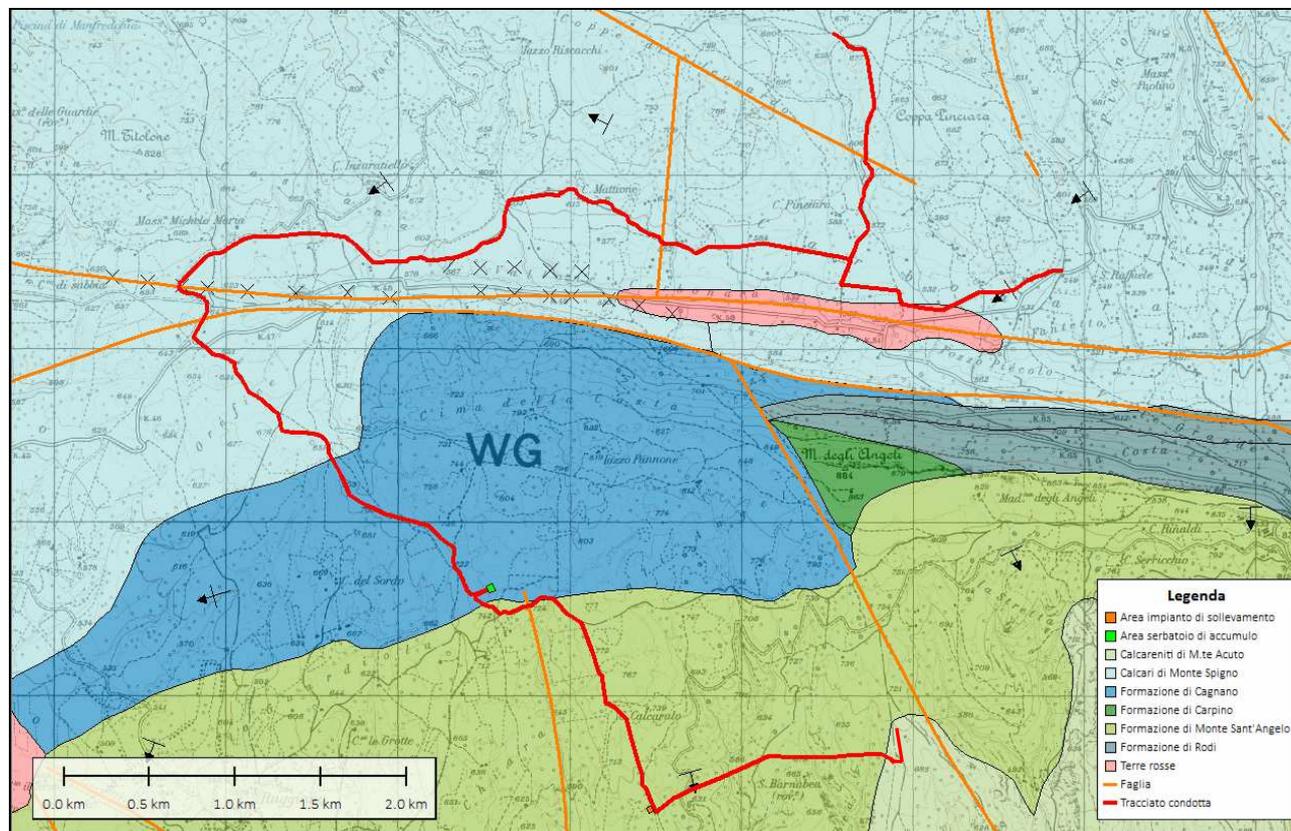


Fig. 6 – stralcio della carta geologica con indicazione del tracciato della condotta idrica

Le unità litologiche affioranti lungo il tracciato della condotta sono rappresentate da:

- **TERRE ROSSE** (Olocene-Pleistocene): si tratta di materiali incoerenti rossastri o rosso-bruni, a granulometria fine (argillose residuali);
- **FORMAZIONE DI MONTE SANT'ANGELO** (Senoniano-Albiano): è caratterizzata da calcari compatti microcristallini organogeni di scogliera con stratificazioni discontinue e calcareniti organogene, cui si associano subordinatamente calcari microcristallini, calcari lievemente marnosi e talora breccie calcaree;
- **FORMAZIONE DI CAGNANO** (Cretaceo Inf. p.p.-Malm): si tratta di calcari e calcari dolomitici di bioherma, grigi o bianchi, a stratificazione non sempre evidente; dolomie grigiastre cristalline. Nella parte alta talora noduli di selce;
- **FORMAZIONE DI MONTE SPIGNO** (Cretaceo inf.): calcari bianchi o biancastri criptocristallini, compatti, fragili, a frattura scheggiata e abbondantemente fratturati. La Formazione di Monte Spigno passa lateralmente e in parte si sovrappone a quelle di Monte Pizzuto e Cagnano. L'ambiente di sedimentazione è di retroscogliera; gli spessori sono sempre notevoli.

Il primo tratto della condotta e l'area di imposta dell'impianto di sollevamento ricadono nell'area di affioramento della "**Formazione di Monte Sant'Angelo**" di età riferibile al Cretaceo inf. descritta in letteratura come calcari organogeni biancastri, spesso vacuolari, con abbondanti resti fossiliferi; intercalati si notano calcari detritici, brecce calcaree e, raramente calcari compatti a grana fine. La stratificazione è irregolare, con spessori variabili degli strati da alcuni centimetri a qualche decina di metri. Lo spessore massimo affiorante è di circa 200 m. La base di questa formazione poggia su unità diverse: formazioni di Cagnano, Monte Spigno, Rodi Garganico, Carpino. Il contatto superiore è molto graduale con la sovrastante Formazione di M. Acuto.

Il rilevamento geologico ha permesso di identificare i litotipi localmente affioranti. Si tratta di calcari micritici biancastri a frattura concoide, generalmente massicci con stratificazione non evidente.

A luoghi si presentano vacuolari con abbondanti resti fossiliferi e con presenza di cristalli di calcite secondaria dovuti probabilmente a fenomeni di ricristallizzazione post-sedimentaria. Sono anche presenti livelli brecciati costituiti da elementi calcarei di dimensioni variabili. La formazione calcarea risulta abbastanza fratturata e carsificata; la direzione degli strati è E-NE – W-SW, immersione S-SE e inclinazione di circa 20°. L'osservazione di piccoli condotti carsici e di una locale colorazione rossastra della roccia indica chiaramente che l'ammasso roccioso "risente" del contatto con le acque meteoriche.

Nell'area di realizzazione del serbatoio di accumulo e nel primo chilometro di condotta che si "dirige" verso "Valle Carbonara", si rinviene, invece, la "**Formazione di Cagnano**" caratterizzata da calcari dolomitici microcristallini, a frattura poliedrica irregolare scabra, privi di stratificazione e da dolomie passanti a calcari dolomitici, biancastri, duri e privi di stratificazione.

Per tutto il resto del tracciato, la formazione calcarea in affioramento è rappresentata dai "**Calcari di Monte Spigno**" attribuibili al Cretaceo inferiore. Si tratta di sedimenti di origine calcarea rappresentati da calcari biancastri in banchi e strati di spessore variabile abbondantemente carsificati.

Gli strati della formazione calcarea risultano abbastanza tenaci e compatti; localmente il loro stato di fratturazione è accentuato in relazione allo stress tettonico subito per i movimenti dovuti alla vicina Faglia di Valle Carbonara.

Localmente, la formazione calcarea risulta ricoperta da terreno vegetale e/o da un discreto strato di "**terre rosse**" rappresentate essenzialmente da materiale incoerente o pseudocoerente rossastro o rosso-bruno costituite da argille residuali con locali intercalazioni di materiale lapideo di natura calcarea. Lo spessore di tale strato, dall'indagine sismica eseguita in loco, risulta variabile da pochi decimetri a circa 6 metri.

Questi depositi rappresentano il residuo insolubile dell'azione fisica, chimica e meccanica esplicata sulle rocce carbonatiche dagli agenti atmosferici che, per trasporto acqueo o per alterazione della roccia in posto, si sono accumulati nelle zone depresse e nei fondovalle. Si tratta di terreni da scarsamente permeabili a impermeabili per porosità; sono caratterizzati da un elevato grado di erodibilità da intendersi come la predisposizione di una formazione geologica ad essere soggetta all'erosione in senso lato, ossia all'insieme di azioni fisiche, chimiche e biologiche che la disgregano e la alterano.

Le formazioni geologiche risultano ben visibili in affioramento, sia lungo i tagli stradali, sia lungo le incisioni e solchi vallivi presenti un po' ovunque in zona.

Nella successiva Fig. 7 si riporta uno stralcio "semplificato" della carta geologico-strutturale del Gargano con l'indicazione delle principali formazioni affioranti oltre che dei principali lineamenti tettonici dell'area.

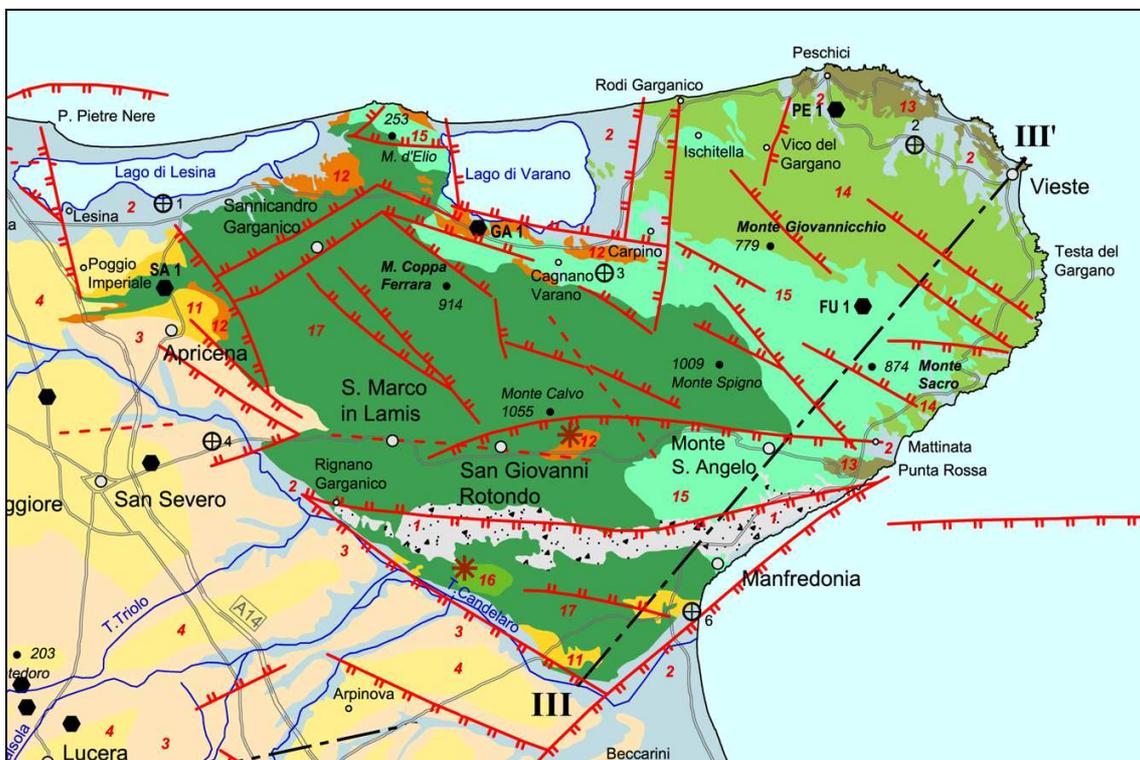


Fig. 7 – stralcio della carta geologico-strutturale dell'area vasta di progetto

LEGENDA

	Pozzo profondo che intercetta il basamento carbonatico mesozoico		
	Colonna litostratigrafica rappresentativa		
	Bauxiti		
	Sovrascorrimenti		
	Faglia		Punto quotato (m s.l.m.)
	Faglia probabile		Centro abitato
	Sinclinale		Strada principale
	Anticlinale		Confine di regione
	Fronte sepolto dell'alloctono		Traccia di sezione geologica schematica



Detriti di falda (Olocene)



Depositi alluvionali, attuali e recenti, sabbie e dune costiere (Olocene)

UNITÀ DELLA PIATTAFORMA APULA



Successioni di bacino (Cretaceo inf.-sup.)

Calcarei micritici bianchi pulverulenti con selce, calcari marnosi e calcareniti stratificate.



Successioni di margine-scarpata-pendio (Giurassico sup.-Cretaceo sup.)

Calcare brecciato non stratificato con elementi grossolani immersi in una matrice molto fine; calcari biogeni macrofossiliferi; calcari bioclastici, calcari micritici con noduli di selce, megabrecce e brecce.



Successioni di piattaforma carbonatica (Giurassico medio?-Cretaceo sup.)

Calcarei micritici e calcareniti bioclastiche laminate, di colore bianco-grigiastro, ben stratificate, alternati irregolarmente con strati e banchi di dolomicriti grigio-nerastre e subordinatamente con bancate biostromali a rudiste.



Calcarei micritici e dolomitici, ben stratificati, con intercalazioni di calcari macrofossiliferi.

Di seguito, graficamente, la rappresentazione dello schema dei rapporti stratigrafici dei terreni relativamente alla sezione stratigrafica III – III' rappresentata in Fig. 7.

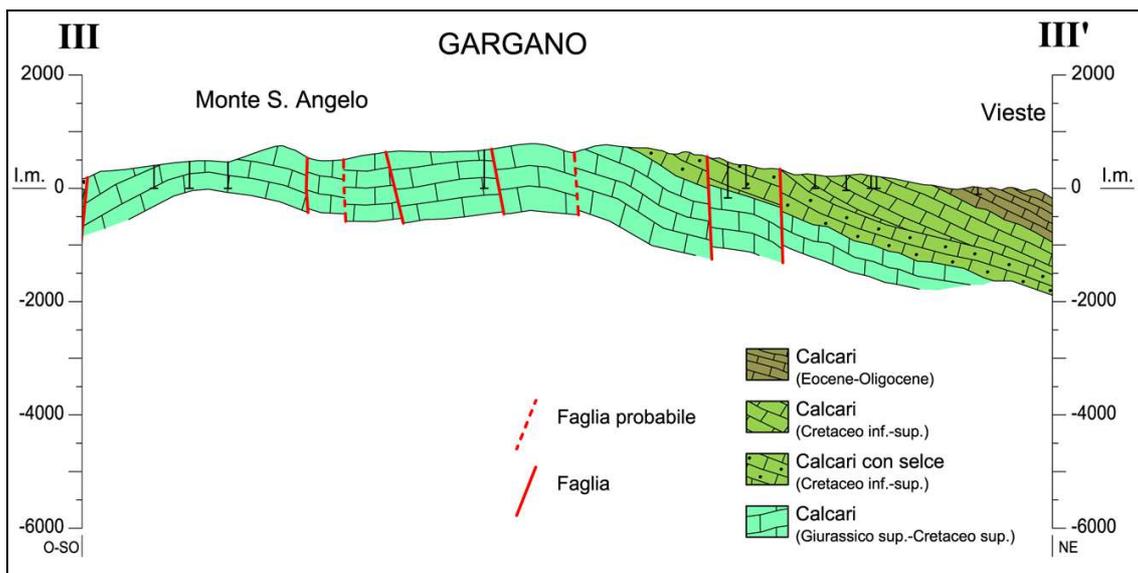


Fig. 8 – profilo sedimentario schematico dell'area

7. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROGEOLOGICHE DELL'AREA

7.1. Idrografia superficiale

Il territorio garganico ha una struttura idrografica ridotta e semplice, a causa della natura calcarea del substrato geologico, che ne forma l'ossatura principale.

I due grandi fiumi, Fortore e Candelaro, che solcano il Tavoliere, risultano solamente lambire la parte meridionale ed occidentale dei contrafforti del promontorio. Se si escludono alcuni torrenti (Correntino, Romandato e Macchia) nei versanti settentrionali ed orientali e una serie di ruscelli che solcano i valloni presenti tra S. Giovanni R. e Monte S. Angelo, tutti di ridotte estensioni e limitate occasionali portate, la circolazione delle acque avviene prevalentemente per via sotterranea attraverso le doline, gli inghiottitoi e le grotte, tutti favoriti dalla facile erodibilità delle rocce calcaree.

L'idrografia superficiale caratteristica del Promontorio Garganico risulta fortemente condizionata dalla struttura tettonica del massiccio carbonatico e dalla distribuzione dei caratteri di permeabilità delle rocce affioranti.

Nell'area di studio il canale più importante risulta il torrente "Valle Carbonara". Trattasi di una profonda incisione, impostata su una discontinuità tettonica, che risulta interessata da movimenti di acque solo a seguito di eventi meteorici intensi e/o prolungati. Essa scorre all'incirca in direzione E-O suddividendo "idealmente" il tracciato della condotta in due tronchi.

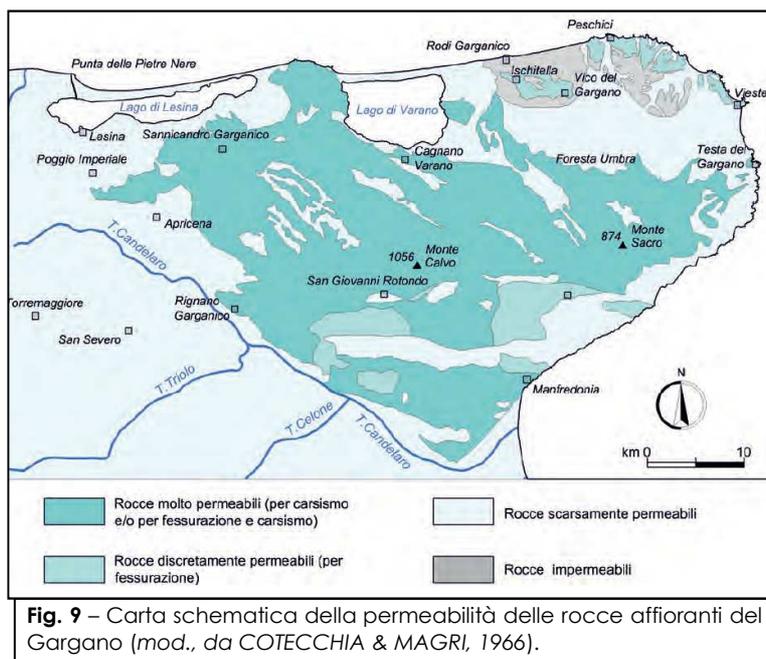
7.2. Caratteri di permeabilità delle formazioni affioranti

In Fig. 9 è riportata una carta schematica della permeabilità delle rocce affioranti del Gargano, determinata sulla base di alcuni fattori geologici ed idrogeologici (litologia, stratificazione, diagenesi, granulometria, carsismo, porosità, fratturazione, cadente piezometrica in relazione all'alimentazione delle acque di falda, ubicazione e portata delle sorgenti costiere, ubicazione e densità della rete idrografica superficiale). Si tratta ovviamente di una distinzione schematica, non

avente carattere quantitativo.

Nell'area di nostro interesse affiorano:

- 1) terreni scarsamente permeabili per porosità (depositi eluviali e colluviali) nella "Valle Carbonara";
- 2) rocce discretamente permeabili (per fessurazione) affioranti nell'area di tracciato posta a sud rispetto alla Valle Carbonara. Esse si caratterizzano per la presenza di una rete di fessure, non interessate dal fenomeno di dissoluzione carsica, intercomunicanti idraulicamente tra di loro;
- 3) rocce molto permeabili (per fessurazione e carsismo) affioranti a



nord della "Valle Carbonara". La permeabilità per fessurazione e carsismo è tipica di rocce a stratificazione netta e regolare; la rete di fratture, i giunti di stratificazione e le diaclasi sono di sovente allargate dal fenomeno carsico ed è proprio attraverso queste vie di comunicazione che si esplica la circolazione idrica profonda attuata di norma in pressione. I giunti di stratificazione, in genere suborizzontali o poco inclinati, favoriscono il movimento orizzontale delle acque di falda e meno l'infiltrazione delle acque meteoriche; le diaclasi, invece, si comportano in modo diverso. Esse sono subverticali o molto inclinate e quindi costituiscono delle vie preferenziali per l'infiltrazione delle acque meteoriche e il deflusso delle acque di falda.

In seguito a ciò si crea una diffusa percolazione nel sottosuolo di acque meteoriche che vanno a costituire quella che viene definita la "falda profonda" o "falda carsica" avente come livello di base il livello medio marino e sostenuta, nelle zone costiere, dall'acqua di mare di invasione continentale.

La superficie di fondo dell'acqua di falda è indefinita e mobile, a causa dell'esistenza di una zona di diffusione salina tra acqua dolce ed acqua marina e di oscillazioni stagionali della superficie piezometrica.

7.3. Acquifero carsico profondo

Studi effettuati in zona evincono l'esistenza dell'acquifero carsico avente sede nei calcari cretacei, caratterizzato da una circolazione idrica di tipo preferenziale. La cadente piezometrica della falda carsica è molto modesta.

Nella zona di intervento la falda idrica profonda è presente a profondità tali da non influenzare minimamente la realizzazione degli interventi.

7.4. Vulnerabilità dell'acquifero carsico

Lo strumento di base per la gestione qualitativa e la protezione delle acque sotterranee è rappresentato dalle *Carte della vulnerabilità* degli acquiferi all'inquinamento. La vulnerabilità degli acquiferi individua la propensione degli acquiferi a essere impattati da contaminanti di origine antropica provenienti da superficie (o sub superficie) e si distingue in:

- *vulnerabilità intrinseca o naturale*, funzione delle sole caratteristiche geologiche, idrologiche e idrogeologiche dell'area;

- *vulnerabilità specifica*, riferita a un particolare contaminante (o gruppo di contaminanti) ed e funzione anche delle proprietà del contaminante che ne descrivono il comportamento nel sottosuolo.

Per quanto riguarda la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero carsico dell'area, il PTA della Regione Puglia considera l'area come zona vulnerabilità da moderata (colore giallo) ad alta (colore arancio).

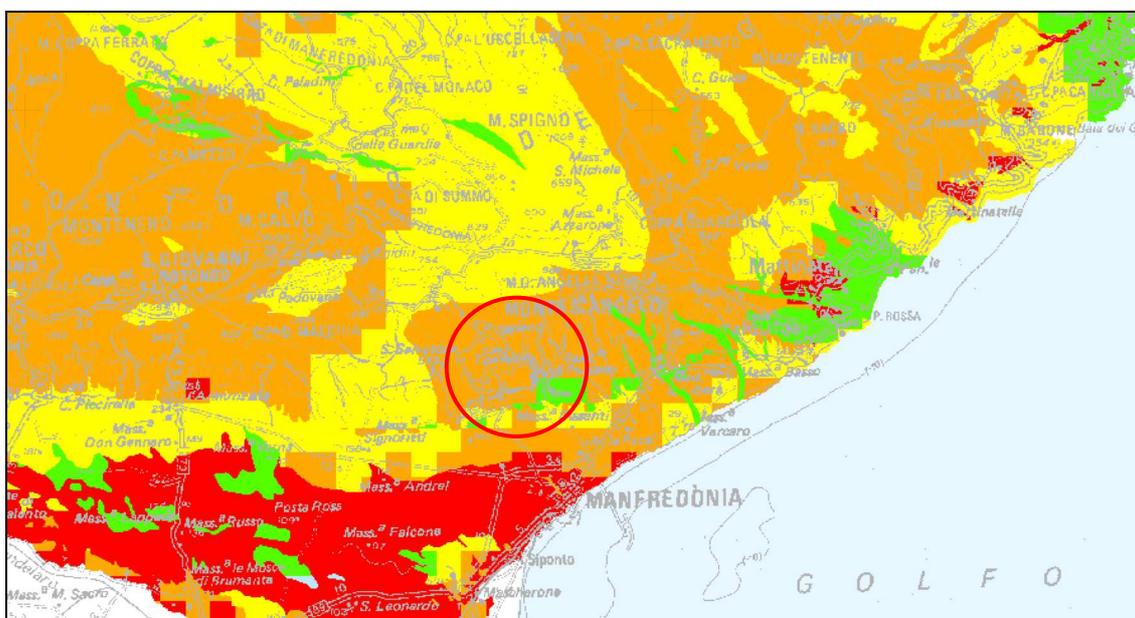


Fig. 10 – carta di vulnerabilità intrinseca o naturale dell'acquifero

Per quanto riguarda, invece, la vulnerabilità specifica nei confronti di particolari contaminanti, l'area:

- non è compresa nelle Aree vulnerabili da nitrati di origine agricola;
- non è compresa nelle Zone di Protezione Speciale Idrogeologica – Tipo “A”;
- non è compresa nelle Aree di vincolo d'uso degli acquiferi. Aree di Tutela Quantitativa:
- non è compresa nelle Aree di vincolo d'uso degli acquiferi per contaminazione salina.

8. QUADRO CLIMATICO GENERALE / LOCALE

L'area di studio è localizzata nel Promontorio del Gargano la cui caratteristica fondamentale e ben conosciuta è quella di presentare contemporaneamente una presenza di fasce montane unita ad un elevato sviluppo costiero. Anche se per sua natura il promontorio presenta condizioni pedo-climatiche caratterizzate da una molteplicità di microclimi, è comunque possibile tentare di schematizzare il territorio in alcune situazioni distinte. Si possono pertanto individuare quattro fasce climatiche, delle quali almeno tre (le fasce costiere Nord-orientale e Sud-orientale, e la fascia collinare) presentano un clima temperato e la quarta (fascia montana) un clima temperato freddo. Nel primo caso si riscontrano inverni generalmente clementi con estati asciutte, nel secondo inverni più rigidi ed estati più umide. In alcune aree (soprattutto sui rilievi) il vento agisce da fattore limitante per la vegetazione arborea ed arbustiva.

In generale, comunque, il clima è mite con temperature medie annue che oscillano tra i 12°-16°C con punte massime che superano i 40°C nelle zone costiere e punte minime al di sotto dei -10°C (De Meo, 1976).

I dati pluviometrici presentano una ovvia variabilità, dipendente dalla altitudine. Dal livello del mare ai 250 m s.m. si riscontra una piovosità media di 512 mm annui; oltre questa altezza e fino a 500 m s.m. si hanno 848 mm annui; da 500 a 750 m s.m. si registrano in media 946 mm annui (De Meo, 1976). Ovviamente, le piogge risultano distribuite in maniera asimmetrica nel corso dell'anno e appaiono particolarmente limitate nel periodo primaverile-estivo.

In Fig. 11 è mostrata la mappa delle precipitazioni realizzata con i valori medi dei totali annui in 47 stazioni pluviometriche che hanno registrato dati per un numero di anni non inferiore a 30.

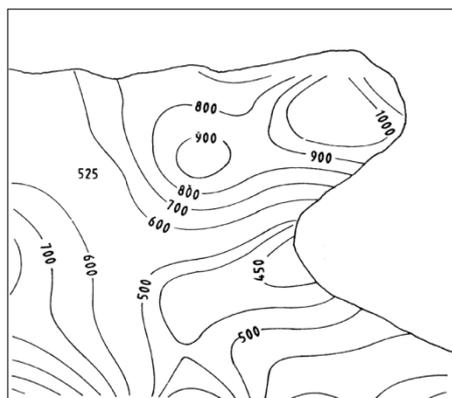


Fig. 11 – Precipitazioni medie annue (mm)

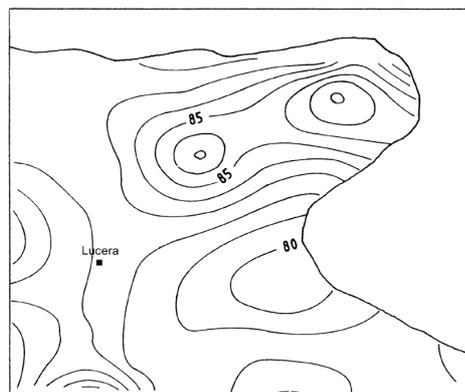


Fig. 12 – Numero medio di giorni piovosi

Come si evince dalla Fig. 11 il promontorio è quasi interamente compreso all'interno dell'isoieta 600 mm. La mappa del numero medio annuale di giorni piovosi (Fig. 12) riproduce abbastanza fedelmente quella delle precipitazioni di Fig. 11.

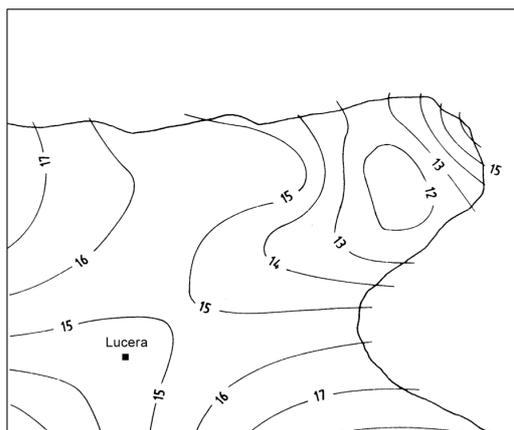


Fig. 13 – Temperature medie espresse in °C

La mappa delle temperature medie annue è mostrata in Fig. 13. E' evidente che sul promontorio del Gargano la temperatura media annuale cambia bruscamente in funzione della quota secondo fasce concentriche passando dalla zona costiera alle zone interne.

8.1. Il clima dell'area interna (stazione meteorologica di Monte Sant'Angelo)

Monte Sant'Angelo ha un clima caratterizzato da temperature basse nel periodo invernale e relativamente fresche in quello estivo. Rientra tra i comuni del versante meridionale del promontorio ma, diversamente da quanto ci si aspetterebbe sulla base della esposizione, presenta valori della temperatura media mensile inferiori rispetto agli altri comuni presenti nel versante meridionale del promontorio garganico, anche per motivi di altitudine.

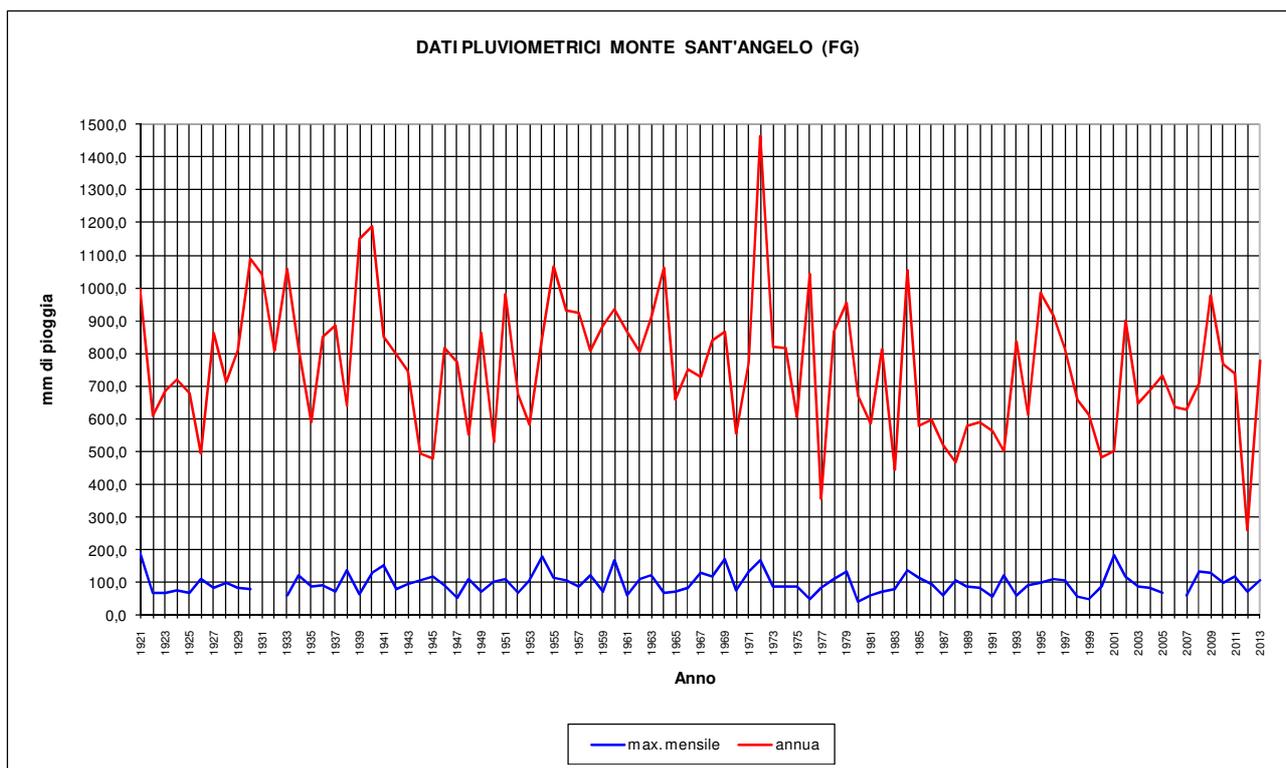
8.2. Caratteristiche meteo climatiche locali

La caratterizzazione meteo climatica di dettaglio dell'area di studio, interamente compresa nel Comune di Monte Sant'Angelo (FG), è stata eseguita sulla base dell'analisi statistica dei dati relativi a:

- precipitazioni;
- temperature;
- radiazione solare media stagionale;
- temperature medie stagionali;
- evaporazione;
- ventosità.

8.2.1. Precipitazioni

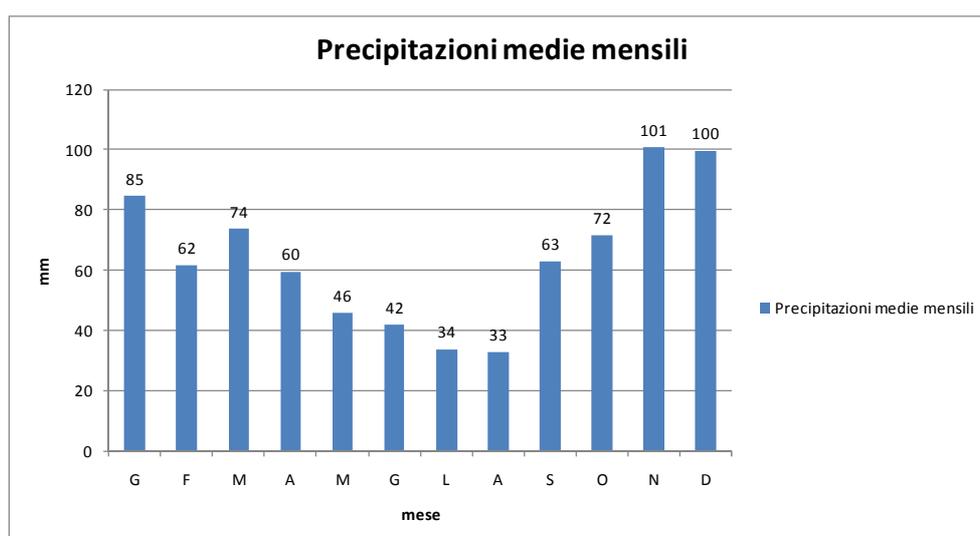
Per quanto riguarda la piovosità i dati disponibili, che fanno riferimento agli annali idrologici del Min. LL.PP., si riferiscono al periodo 1921-2013 relativamente alla stazione pluviometrica di Monte Sant'Angelo (lat. 41° 42' 19,92'', long. 15° 57' 42,46'').



In questo periodo di osservazione le precipitazioni annue risultano comprese tra un massimo di 1466 mm nel 1972 ed un minimo di 357 mm nel 1977. Nello stesso arco temporale, il massimo di precipitazione mensile si è avuto nel 1927 con 421 mm ed il minimo nel 1977 con 64 mm di pioggia.

La piovosità annuale media è di 762 mm/anno di cui 179 mm in primavera, 109 mm in estate, 235 mm in autunno e 239 mm in inverno.

Le precipitazioni medie mensili sono rappresentate nell'istogramma seguente:



La lettura del diagramma stellare di seguito riportato evidenzia che il ciclo, sufficientemente armonico nel corso dei mesi invernali, si mostra tozzo ed inflesso nel periodo estivo (maggio/agosto).

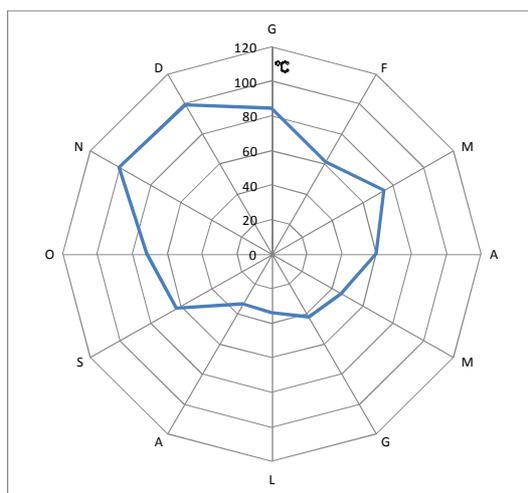
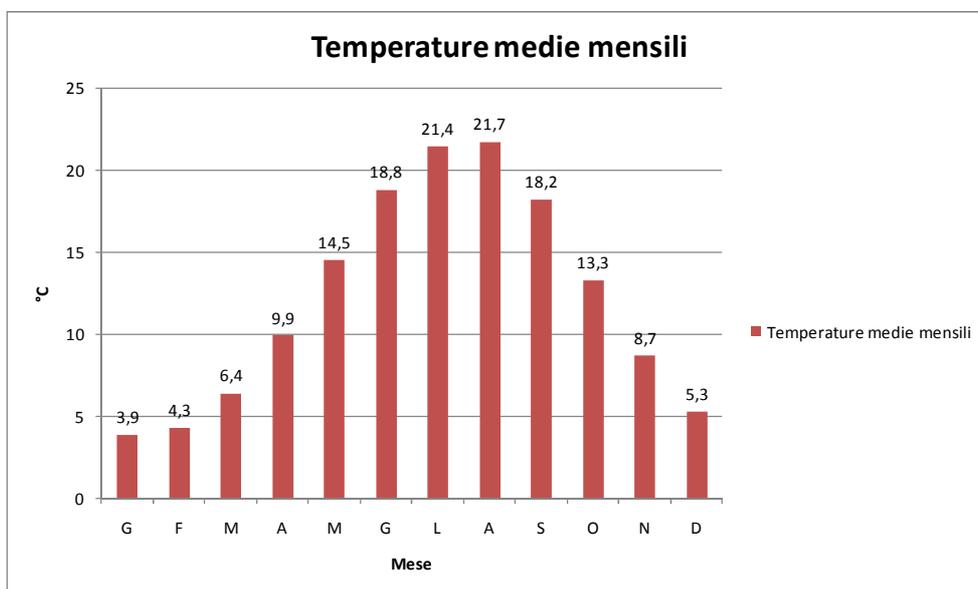


Fig. 14 - Precipitazioni medie mensili in mm.

Dalla lettura dei grafici precedenti si evince che il periodo di maggior siccità va da maggio ad agosto.

8.2.2. Temperature

I dati delle temperature sono stati mediati, mese per mese, nell'arco di oltre un cinquantennio (1921-2013) di osservazioni. La temperatura media annuale è di 15,5 °C; le temperature medie mensili variano da 8,0 °C di gennaio, il mese più freddo, a 24,3 °C di agosto, il mese più caldo.



La lettura del diagramma stellare di Fig. 14 evidenzia la forte asimmetria, nella distribuzione delle temperature, a vantaggio dei mesi estivi.

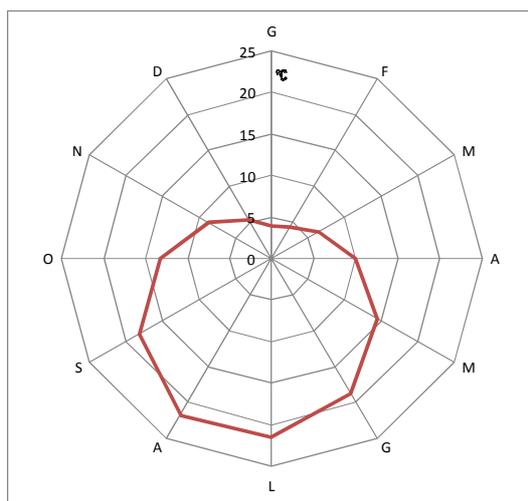


Fig. 15 - Temperature medie mensili in °C.

8.2.3. Umidità media stagionale - Radiazione solare media stagionale

	Umidità media stagionale (in %)	Radiazione solare media stagionale
Inverno	79%	3 ^h 55'
Primavera	78%	7 ^h 45'
Estate	74%	9 ^h 20'
Autunno	80%	4 ^h 00'

8.2.4. Evaporazione

I dati disponibili sull'evaporazione (da vasca evaporimetrica di classe "A") in media oscillano tra 28 – 38 mm dei mesi più freddi a 230 – 280 mm dei mesi più caldi, con punte di 12 – 14 mm/giorno in periodi particolarmente caldi di luglio – agosto.

8.2.5. Tipo di vegetazione presente

Il tracciato della condotta interseca terreni caratterizzati dai seguenti "Usi del Suolo":

Uso del Suolo	Lunghezza (m)
aree a pascolo naturale, praterie, incolti	5.025
boschi di latifoglie	326
cespuglieti e arbusteti	308
prati alberati, pascoli alberati	1.329
Insedimenti produttivi agricoli	34
reti stradali e spazi accessori	3.940
rocce nude, falesie e affioramenti	476
seminativi semplici in aree non irrigue	2.834
Totale	14.272

8.2.6 Andamento della ventosità della stazione di Monte Sant'Angelo

Per lo studio di questo parametro si è consultata una pubblicazione del Parco Nazionale del Gargano relativa al "Piano di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi" (V. Leone, R. Lovreglio, 2011). Lo studio consultato ha analizzato i dati di 39 anni di misure (dal 1952 al 1991) rilevate nella stazione meteorologica di Monte Sant'Angelo e ha elaborato le distribuzioni, sia annuali che stagionali, dei venti provenienti dai 16 settori della rosa dei venti, suddivisi per classi di velocità. Dall'analisi di tali distribuzioni si ha modo di rilevare, in estrema sintesi, che i venti dominanti, come frequenza, sono quelli provenienti da Nord Ovest e Nord. Per quanto concerne la velocità, si nota che la classe modale è compresa tra 8-12 ed è associata (anche per velocità maggiore) comunque ai venti di maestrale.

SETTORI	CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						TOTALE
	0-1	2-4	5-7	8-12	13-23	24->	
N		6,67	17,38	34,82	74,21	53,95	187,03
NE		3,74	6,00	5,06	4,19	1,94	20,93
E		3,31	5,67	5,46	2,33	0,30	17,07
SE		8,28	15,61	17,75	11,57	2,70	55,91
S		20,71	41,65	49,40	38,76	9,18	159,70
SW		9,90	24,42	34,79	46,68	19,47	135,26
W		5,32	11,67	15,62	16,36	5,94	54,91
NW		13,20	37,19	67,18	85,49	32,68	235,74
CALMA	133,45						133,45
TOTALE	133,45	71,13	159,59	230,08	279,59	126,16	1000,00

Tab. 1 - Distribuzione delle frequenze (%) annuali nelle varie classi di velocità (in nodi) dei venti a Monte S. Angelo (844 m s.l.m.). N. tot. Osserv. = 106640 (1952-1991).

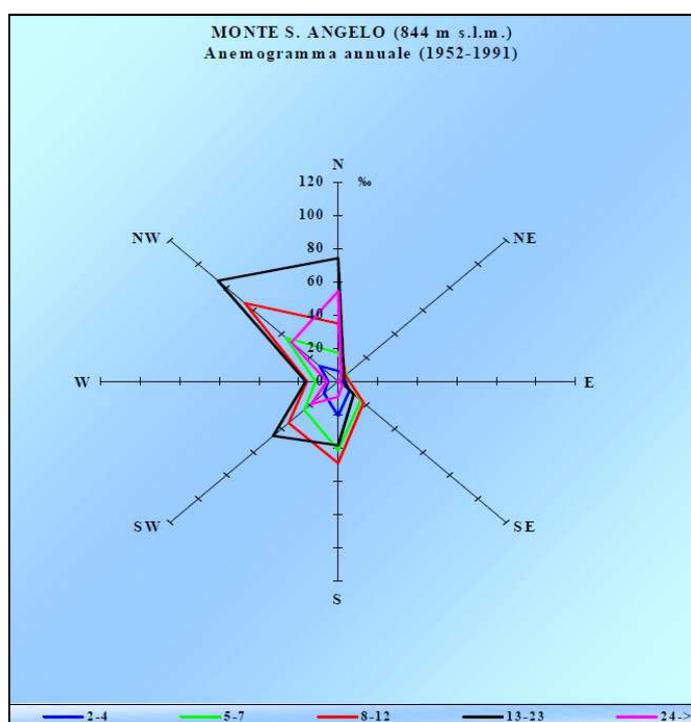


Fig. 16 – Anemogramma annuale della stazione di Monte Sant'Angelo (1952-91)

9. SISMICITA' STORICA DELL'AREA

Esistono numerosi studi che illustrano la sismicità della Puglia nel più vasto contesto dell'intero territorio italiano ovvero in quello della sola area meridionale.

La carta schematica di Fig. 17 riporta gli epicentri dei terremoti storici che hanno interessato la provincia di Foggia, cioè gli eventi documentati da attendibili notizie storiche (generalmente di intensità $I_0=VIII$ MCS) e quelli dei sismi più recenti, documentati strumentalmente (di magnitudo $M \geq 3,5$).

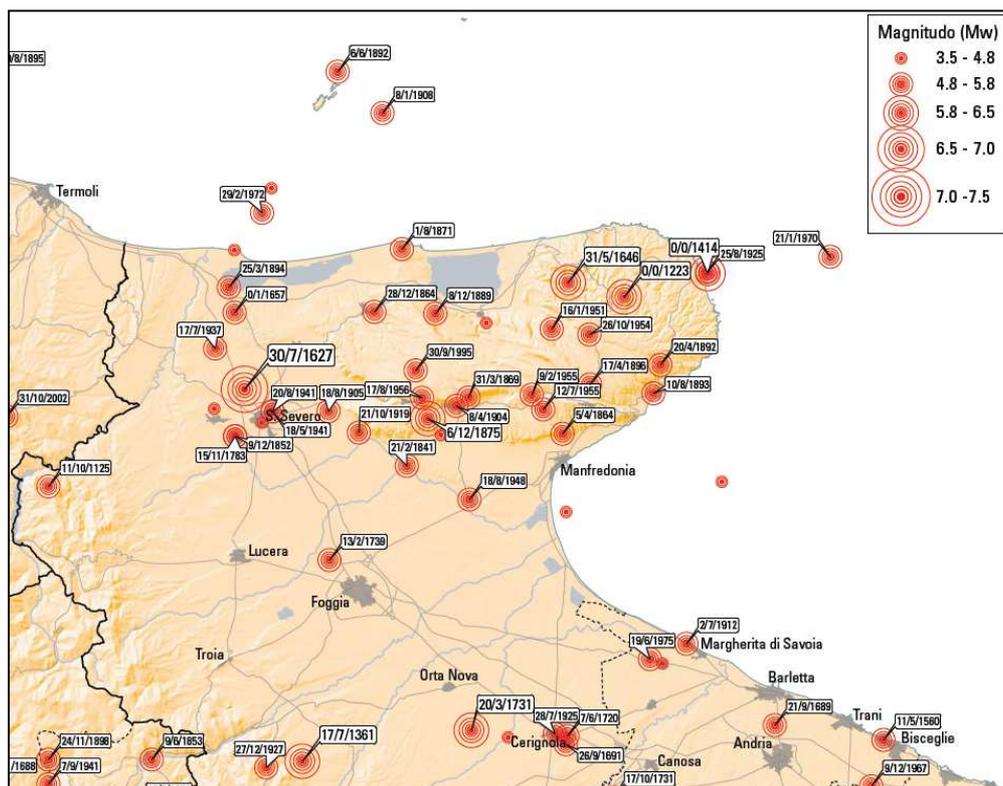


Fig. 17 – Carta della distribuzione epicentrale dei terremoti storici della provincia di Foggia.

Da questa carta si evince la diversa attività sismica che contraddistingue ciascun dominio geologico strutturale del territorio foggiano, dal Garganico al Tavoliere. Il primo dato evidente è la scarsa ma diffusa attività sismica del Tavoliere di Puglia. Solo alcuni terremoti, tutti ubicati nel foggiano, hanno raggiunto il IX MCS (circa 5,5 di magnitudo).

Notevole è, invece, l'attività sismica dell'area garganica.

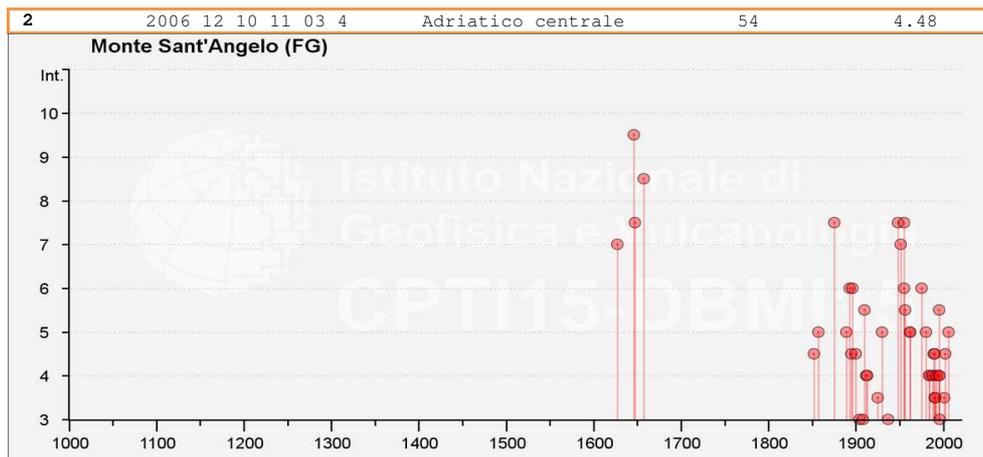
I dati sismici riguardanti l'area del Gargano sono stati desunti dal database DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). Database Macrosismico Italiano (DBMI15). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>).

Nella tabella e nell'immagine seguente la tabella è riportata la storia sismica della città di Manfredonia dall'anno 1456 all'anno 2006.

File downloaded from CPTI15 - DBMI15
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of	Monte Sant'Angelo (FG)
PlaceID	IT_62211
Coordinate (lat, lon)	41.706, 15.959
Comune (ISTAT 2015)	Monte Sant'Angelo
Provincia	Foggia
Regione	Puglia
Numero di eventi riportati	56

Effetti										
In occasione del terremoto del										
Int .	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1627	07	30	10	50		Capitanata	64	10	6.66
9-10	1646	05	31				Gargano	35	10	6.72
7-8	1647	05	05	12	30		Gargano	5	7-8	5.69
HF	1656	10	17				Gargano	2	5	4.16
8-9	1657	01	29	02			Capitanata	12	8-9	5.96
4-5	1852	12	09	21	15		Gargano	12	5	4.31
5	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
F	1864	04	05	19	30		Gargano	3	4	3.70
7-8	1875	12	06				Gargano	97	8	5.86
5	1889	12	08				Gargano	122	7	5.47
F	1892	06	06				Isole Tremiti	68	6	4.88
6	1893	08	10	20	52		Gargano	69	8	5.39
4-5	1895	08	09	17	38	2	Adriatico centrale	103	6	5.11
6	1896	04	17	11	53		Gargano	1	6	4.63
4-5	1900	12	23	22	30		Gargano	20	5	4.37
3	1904	04	08	08	22		Gargano	27	6	4.75
2-3	1905	11	26				Irpinia	122	7-8	5.18
3	1908	09	16	20	15		Gargano	14	3-4	3.72
5-6	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
4	1912	07	02	07	34		Tavoliere delle Puglie	49	5	4.55
4	1913	10	04	18	26		Molise	205	7-8	5.35
3-4	1925	08	25	05	10		Gargano	14	5	4.92
5	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
2	1930	11	06	21	56		Alta Murgia	16	5	4.41
3	1937	07	17	17	11		Tavoliere delle Puglie	40	6	4.96
2	1937	12	15	21	25		Tavoliere delle Puglie	16	4-5	4.58
7-8	1948	08	18	21	12	2	Gargano	58	7-8	5.55
7	1951	01	16	01	11		Gargano	73	7	5.22
7-8	1955	02	09	10	06		Gargano	31	6-7	5.05
6	1955	07	12	04	02		Gargano	8	5	4.16
5-6	1956	09	22	03	19	3	Gargano	57	6	4.64
5	1962	01	19	05	01	2	Gargano	31	5	4.42
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
F	1970	01	21	18	36	2	Gargano	14	5	4.34
6	1975	06	19	10	11		Gargano	61	6	5.02
5	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86
4	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
4	1988	04	26	00	53	4	Adriatico centrale	78		5.36
4-5	1989	03	11	21	05		Gargano	61	5	4.34
NF	1990	02	01	06	24	1	Isole Tremiti	27		4.43
3-4	1990	02	18	20	10	4	Adriatico centrale	46		4.24
4-5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3-4	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
4	1992	11	05	13	34	2	Gargano	32	5	4.34
5-6	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
4	1995	10	05	23	51	5	Gargano	20	5	3.95
4	1995	10	08	09	12	3	Gargano	13	4-5	3.48
3	1996	02	28	06	56	3	Gargano	8	5	3.68
3-4	2001	07	02	10	04	4	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
4-5	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
NF	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
5	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
2	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30



Secondo la ormai "obsoleta" classificazione sismica nazionale articolata in 4 zone (Ordinanza PCM del 20.03.03 n° 3274 e Allegato 1 all'ordinanza 3274), il territorio del Comune di Monte Sant'Angelo (FG) ricade in zona 2, contrassegnata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (ag) pari a 0,25g (dove g = accelerazione di gravità).

Come noto, con l'entrata in vigore del D. M. 14 gennaio 2008 così come modificato ed aggiornato con il D.M. 17 gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita, pertanto, partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

10.1. Premessa

Al fine di valutare la compatibilità normativa e vincolistica dell'intervento con Norme e Piani vigenti, si esaminano i rapporti tra l'attività in progetto e:

- PRG (Piano Regolatore Comunale);
- PPTR (Piano Paesaggistico Territoriale Regionale);
- PAI (Piano di bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico);
- PTA (Piano di Tutela delle Acque);
- Aree Naturali protette (parchi e riserve; Zone SIC e ZPS; zone I.B.A.).

10.2. Piano Regolatore Generale di Monte Sant'Angelo (FG)

Il Piano Regolatore Generale del Comune di Monte Sant'Angelo (FG), è stato approvato con Delibera di G.R. n. 982 del 25.02.1986.

Il relazione al PRG comunale l'area interessata dal progetto (condotta ed opere accessorie) ricade essenzialmente in area agricola (E/1, E/2 ed E/4).

10.3. Rapporti con il PPTR (Piano Paesaggistico Territoriale Regionale)

In data 2 agosto 2013 (D.G.R. n. 1435 del 2 agosto 2013, pubblicata sul BURP n. 108 del 06.08.2013) la Regione ha adottato il nuovo Piano Paesaggistico Territoriale.

Successivamente, con delibera n. 176 del 16 febbraio 2015, pubblicata sul BURP n. 40 del 23.03.2015, la Giunta Regionale ha approvato il Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia portando conseguentemente alla decadenza del previgente PUTT.

Anteponendo il paesaggio al territorio, con il nuovo strumento paesaggistico, la Regione sottende l'interpretazione del paesaggio quale bene patrimoniale sul quale fondare le prospettive di un diverso sviluppo del territorio regionale.

Il Piano si pone l'obiettivo della valorizzazione attiva del patrimonio territoriale e paesaggistico, coniugando identità di lunga durata e innovazione di breve periodo, paesaggio e economia, valore di esistenza e valore d'uso in forme durevoli e autosostenibili.

Nel nuovo PPTR sono stati previsti degli ambiti di paesaggio che rappresentano una articolazione del territorio regionale in coerenza con il Codice dei beni culturali e del paesaggio (comma 2 art 135 del Codice).

Gli ambiti del PPTR costituiscono sistemi territoriali e paesaggistici individuati alla scala subregionale e caratterizzati da particolari relazioni tra le componenti fisico-ambientali, storico-

insediative e culturali che ne connotano l'identità di lunga durata. L'ambito è individuato attraverso una visione sistemica e relazionale in cui prevale la rappresentazione della dominanza dei caratteri che di volta in volta ne connota l'identità paesaggistica.

Relativamente all'area di intervento l'Ambito Territoriale di progetto è quello del Gargano (Ambito 5.1 del PPTR).

Le Norme Tecniche di Attuazione, in coerenza con la filosofia del piano, presentano un carattere fortemente innovativo, evolvendo da una tradizione vincolistico prescrittiva, propria della natura regolamentare del piano stesso, ad una concezione dinamica e progettuale.

Nella visione di un ruolo attivo del paesaggio quale componente patrimoniale del processo di sviluppo socioeconomico, e dal momento che il Piano riguarda l'intero territorio regionale (ivi comprese le aree urbane) le Norme individuano diversi gradi e forme di cogenza (da vincoli perimetrati, a regole per la valorizzazione delle invarianti strutturali nei processi di trasformazione tradotte in obiettivi di qualità paesaggistica, a valutazioni integrate dei progetti di trasformazione stessi, a progetti di valorizzazione o ricostruzione di paesaggi, ecc); gradi e forme riferite comunque non ad areali astratti, ma a sistemi e figure territoriali dotati di identità, struttura e caratteri.

Il PPTR dunque passa da una tradizione in cui il piano è vissuto come atto amministrativo con contenuto normativo rispetto a cui attuare verifiche di conformità, ad una concezione più complessa e proattiva.

Il sistema delle tutele, articolato nei **beni paesaggistici** (tutelati ex art. 134, comma 1, lettera a) ed ex art. 142, comma 1 del D.lgs. 42/2004) ed **ulteriori contesti paesaggistici** (tutelati ex art. 143 comma 1 lett. e) D.lgs. 42/2004), fa riferimento a tre sistemi che non differiscono in misura significativa da quelli previsti dal PUTT/P.

Essi sono costituiti da:

1. Struttura idrogeomorfologica

- a. componenti geomorfologiche
- b. componenti idrologiche

2. Struttura ecosistemica e ambientale

- a. componenti botanico vegetazionali
- b. componenti delle aree protette e dei siti naturalistici

3. Struttura antropica e storico-culturale

- a. componenti culturali e insediative
- b. componenti dei valori percettivi

Merita, pero, evidenziare che il PPTR non prevede gli ambiti territoriali estesi (ATE) del PUTT/P, i quali, quindi, dalla data di approvazione del PPTR cessano di avere efficacia, restando valida la loro delimitazione esclusivamente al fine di conservare efficacia agli atti normativi, regolamentari e amministrativi generali vigenti nelle parti in cui ad essi specificamente si riferiscono.

Relativamente alla localizzazione dell'intervento, dall'analisi delle cartografie del PPTR, **si riscontra la presenza dei seguenti vincoli**:

Beni Paesaggistici: "fiumi e torrenti, acque pubbliche", "boschi", "parchi e riserve", "immobili ed aree di notevole interesse pubblico", "zone gravate da usi civici".

Ulteriori contesti paesaggistici: "versanti", "vincolo idrogeologico", "area di rispetto dei boschi", "prati e pascoli naturali", "formazioni arbustive in evoluzione", "siti di rilevanza naturalistica", "rete tratturi", "area di rispetto rete tratturi", "strade panoramiche".

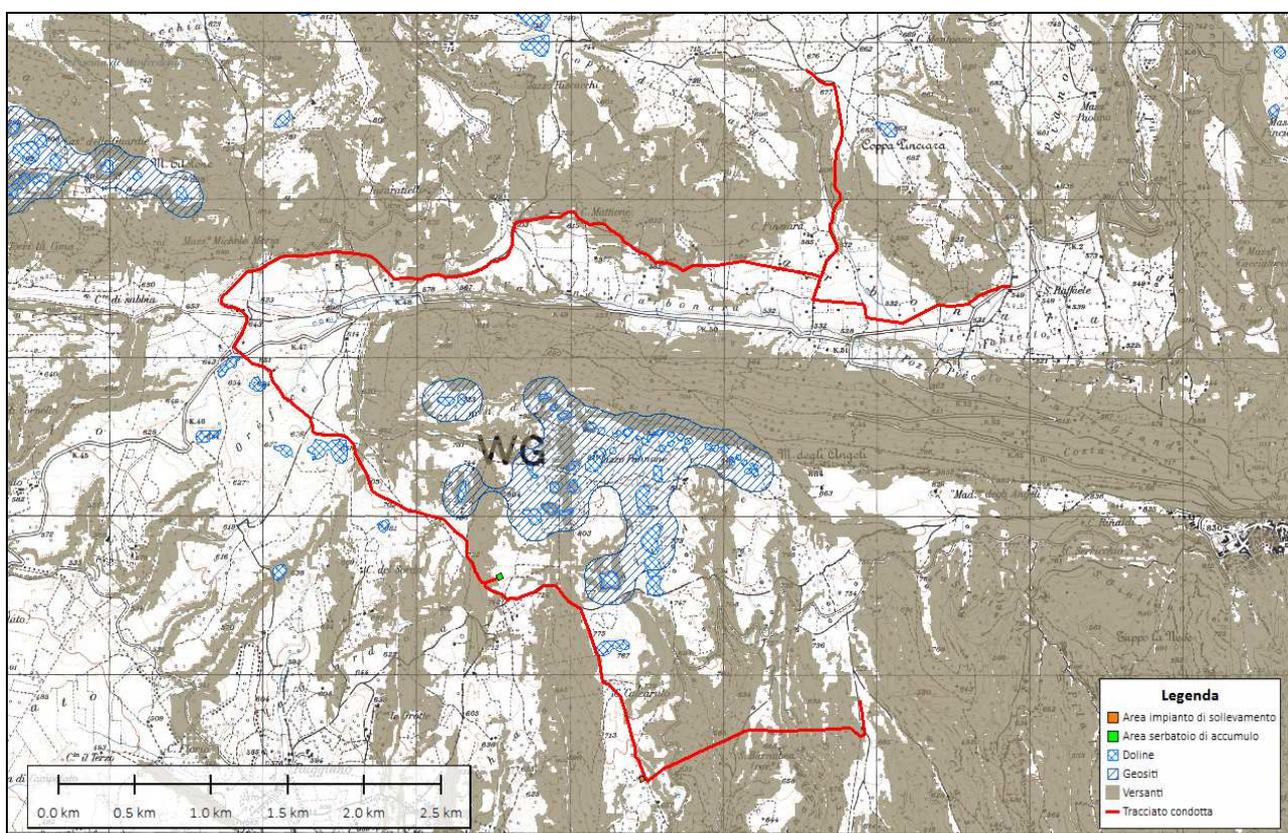


Fig. 18 – Componenti geomorfologiche interessate: "versanti".

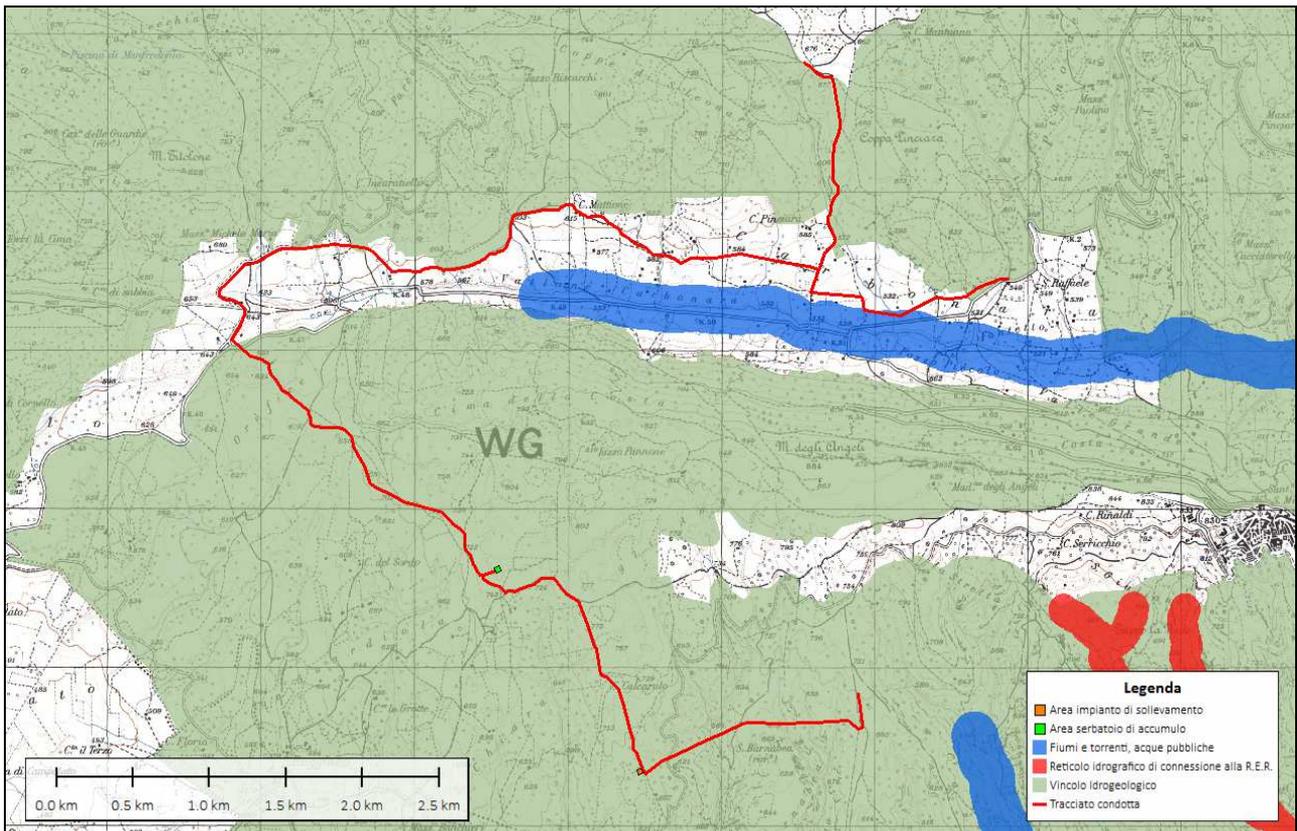


Fig. 19 – Componenti idrologiche interessate: “fiumi e torrenti, acque pubbliche”, “vincolo idrogeologico”.

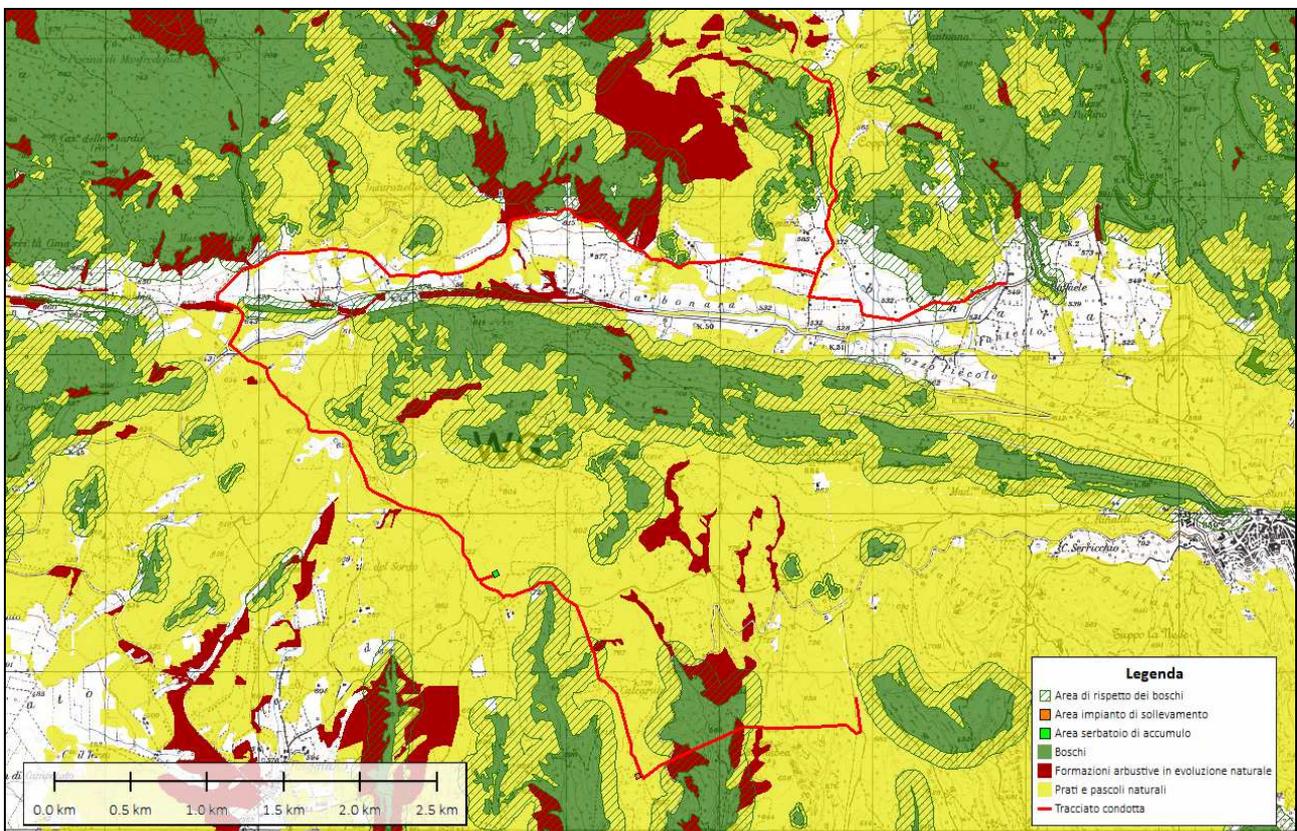


Fig. 20 – Componenti botanico vegetazionali interessate: “boschi”, “area di rispetto dei boschi”, “prati e pascoli naturali” e “formazioni arbustive in evoluzione”

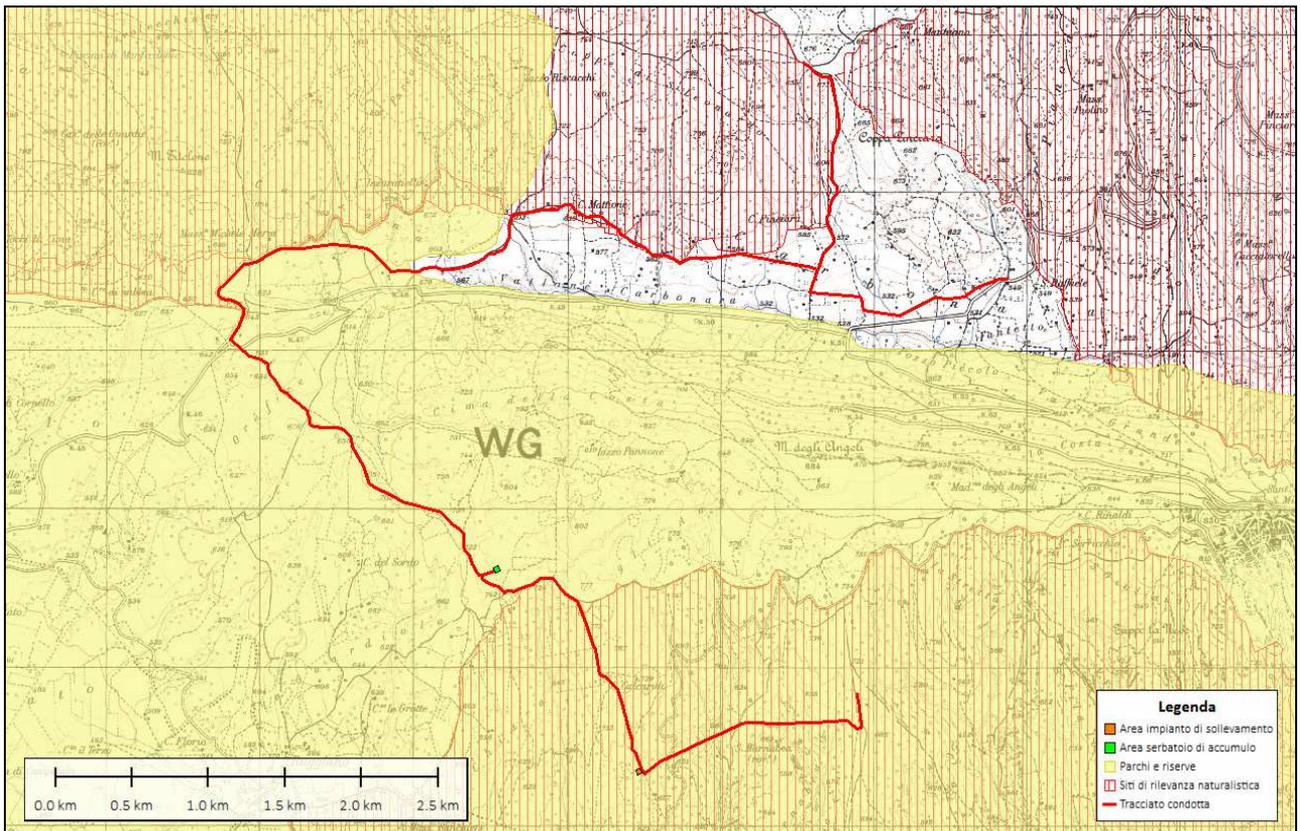


Fig. 21 – Componenti delle Aree protette e dei siti naturalistici interessati: “parchi e riserve”, “siti di rilevanza naturalistica”

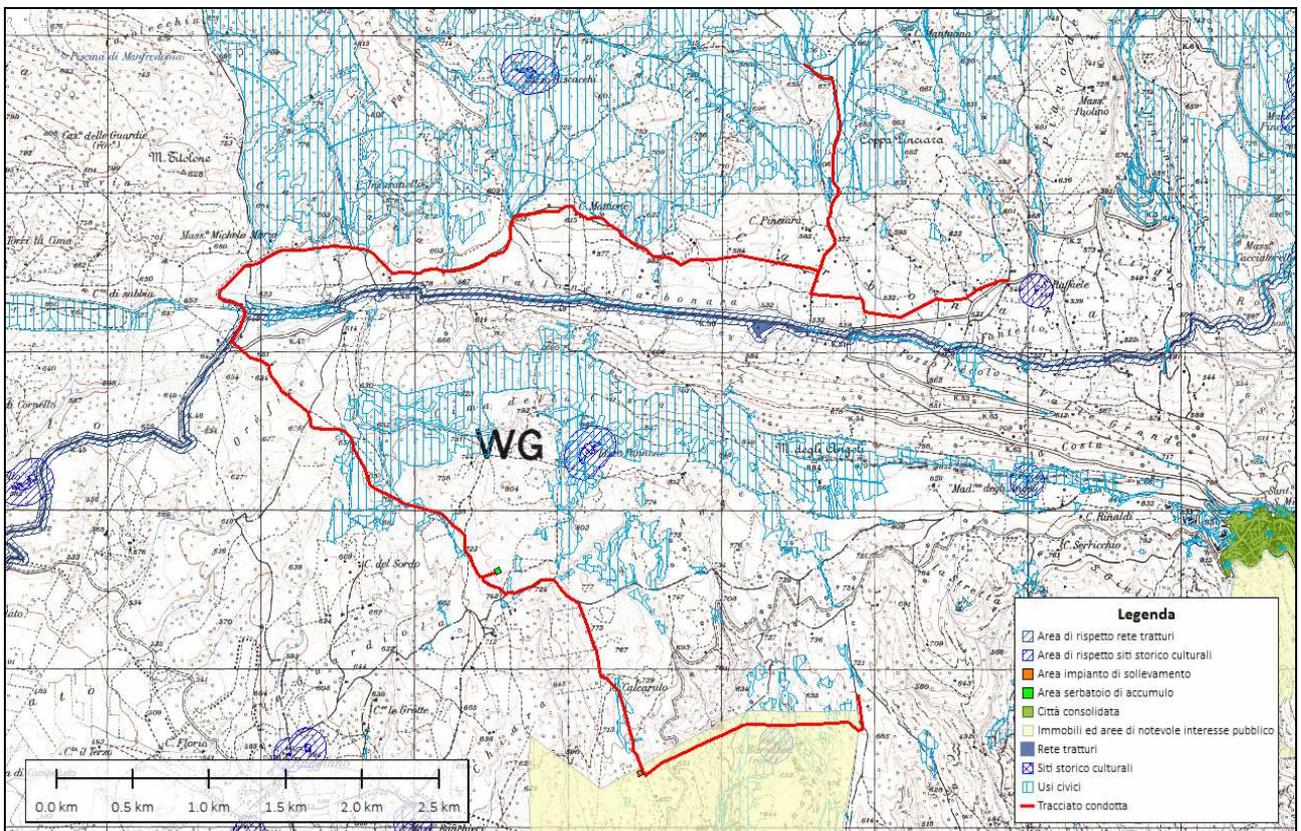


Fig. 22 – Componenti culturali e insediative interessate: “immobili ed aree di notevole interesse pubblico”, “zone gravate da usi civici”, “rete tratturi”, “area di rispetto rete tratturi”.

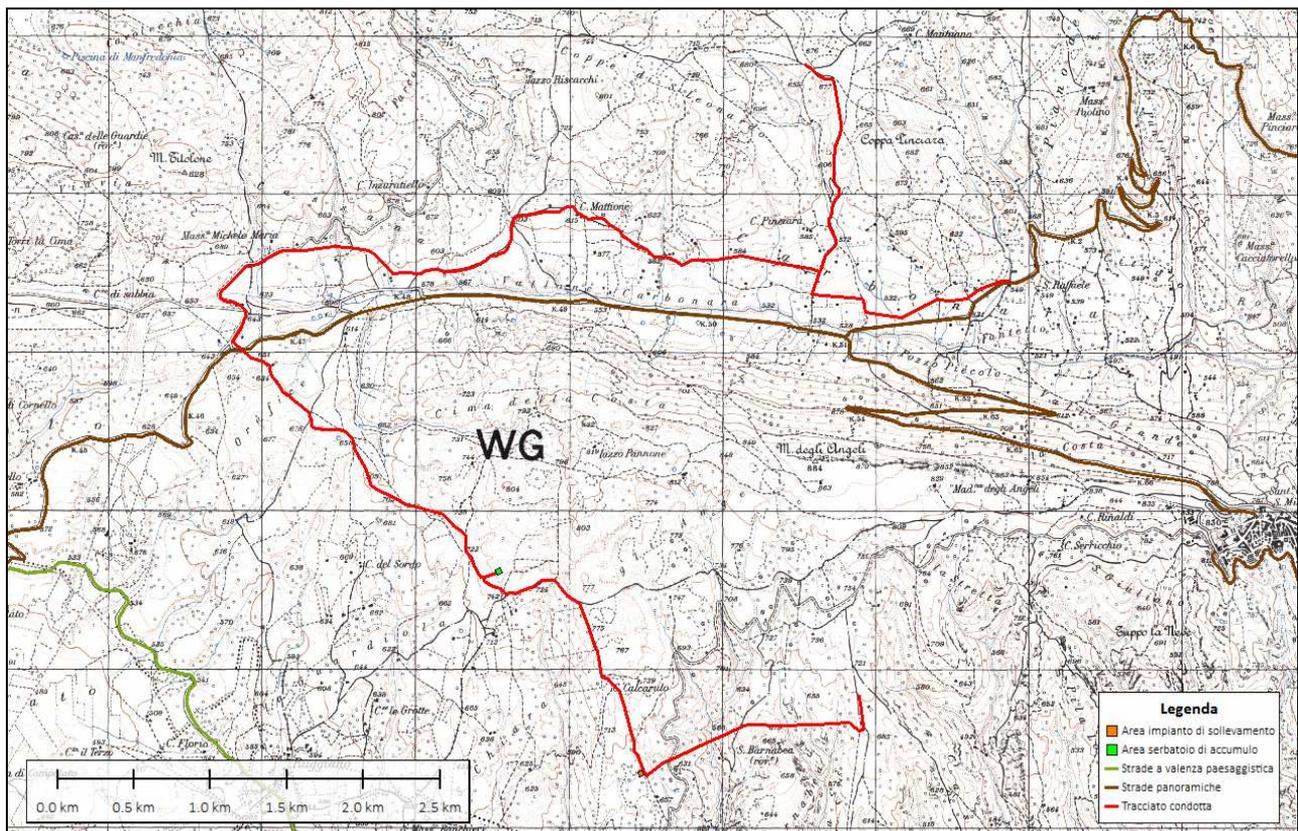


Fig. 23 – Componenti dei valori percettivi interessate: "strade panoramiche".

10.4. Rapporti con il PAI (Piano di bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico)

La Regione Puglia, nella veste dell'Autorità di Bacino che ha redatto il PAI (Piano di bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico), ha provveduto alla perimetrazione delle aree a pericolosità/rischio idraulico e geomorfologico. Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI), approvato in data 30.11.2005 e successivamente aggiornato e riperimetrato, è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce il Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia ora accorpata nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale – Sede Puglia (D.lgs. 152/2006 e s.m.i., Legge 221/2015, D.M. 294/2016 e DPCM 4 aprile 2018).

L'area interessata dal progetto risulta interessata in piccola parte da aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1) ed elevata (PG2) e non interessata da pericolosità

idraulica. Ovviamente, visto il suo sviluppo “lineare, la condotta idrica “interseca” in diversi punti il reticolo idrografico e pertanto risulta soggetta alle NTA del PAI, relativamente agli artt. 4, 6 e 10.

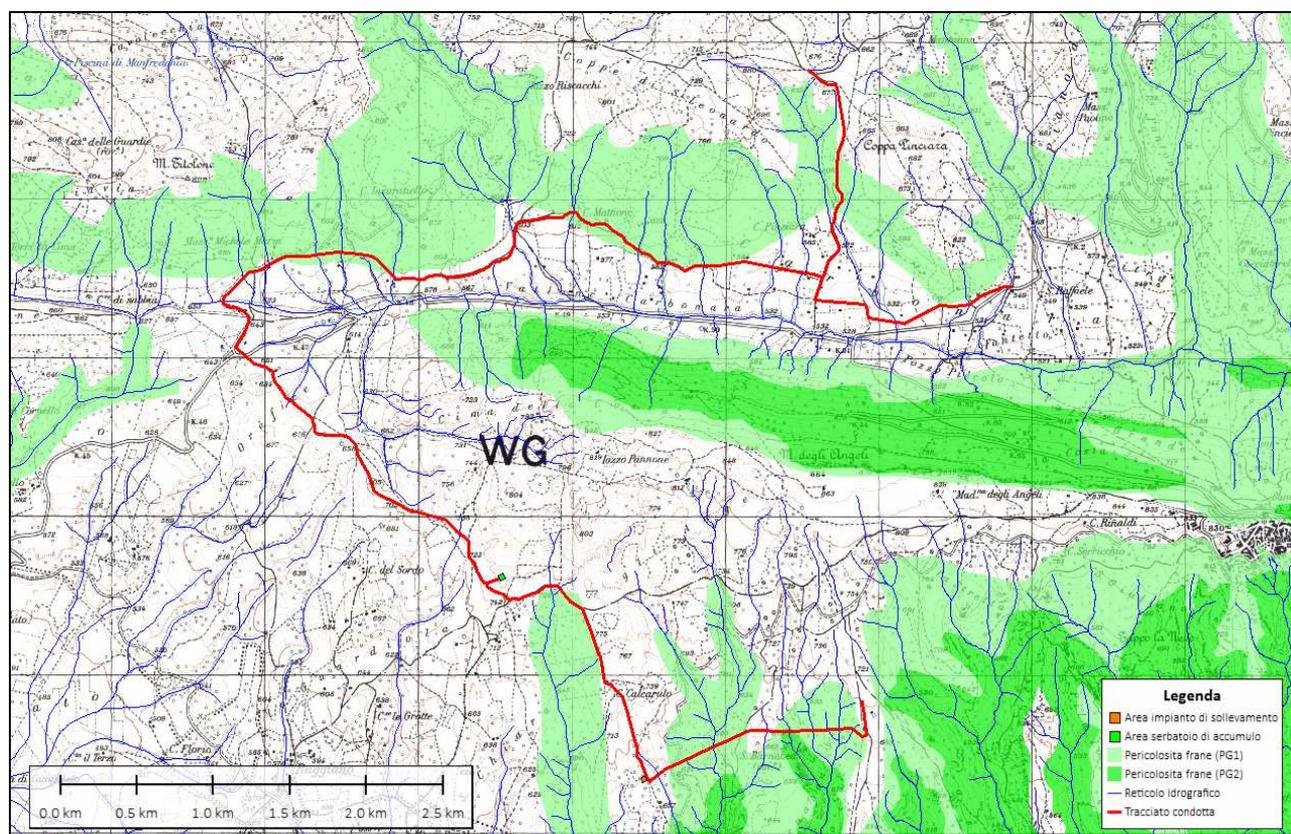


Fig. 24 – Perimetrazione geomorfologica AdB Puglia – Reticolo idrografico

10.5. Rapporti con il PTA (Piano di Tutela delle Acque)

Con deliberazione n. 883 del 19.06.2007 la Giunta Regionale ha adottato il Progetto di Piano per la Tutela delle Acque e le prime misure di salvaguardia in attesa che il PTA venga definitivamente approvato.

Le “prime misure di salvaguardia” sono distinte in:

1. Misure di tutela quali-quantitative dei corpi idrici sotterranei;
2. Misure di salvaguardia per le zone di protezione speciale idrogeologica;
3. Misure d'intervento integrative.

Per quanto riguarda le misure di cui al punto 1 - “Misure di tutela quali-quantitative dei corpi idrici sotterranei”, il PTA individua delle “aree di vincolo di uso degli acquiferi” dettagliate a livello di foglio di mappa catastale nell'Allegato 2a (erroneamente citato come 4a nel testo del provvedimento) per i 4 grandi distretti idrogeologici pugliesi e cioè:

- Tavoliere;

- Acquifero carsico della Murgia – fascia costiera Adriatica e Jonica;
- Acquifero carsico del Salento;
- Acquifero carsico del Gargano.

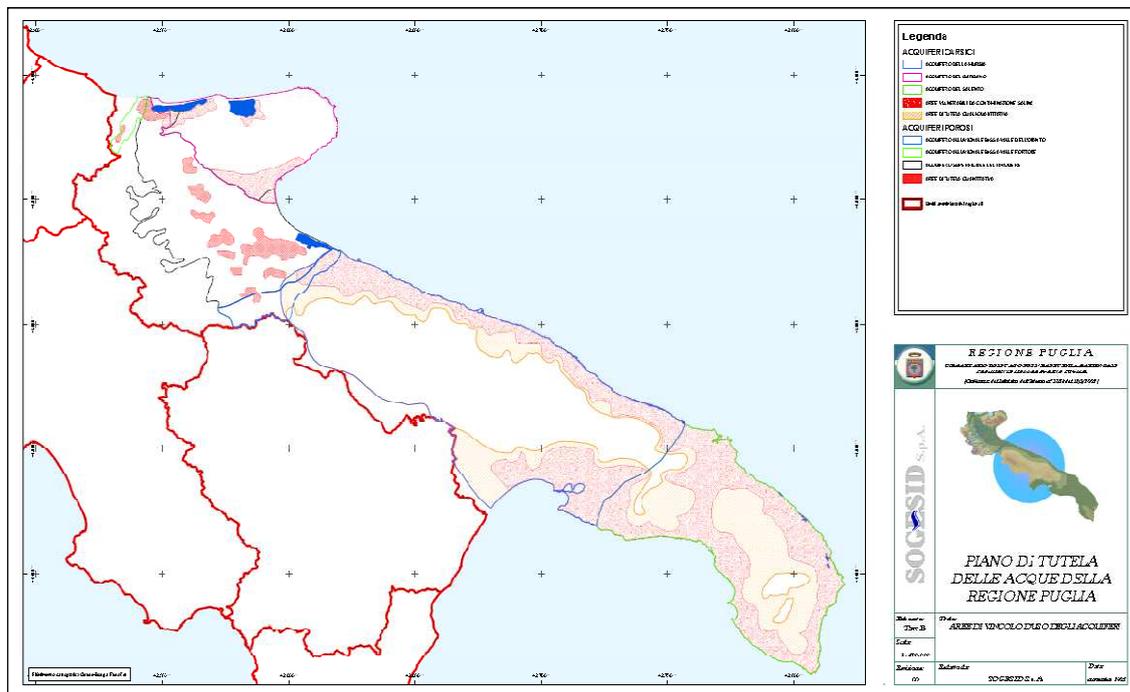


Fig. 25 – Aree di vincolo d'uso degli acquiferi

Per quanto riguarda, invece, le misure di cui al punto 2 – “Misure di salvaguardia per le zone di protezione speciale idrogeologica” si tratta di prescrizioni volte a tutelare comparti fisico-geografici del territorio meritevoli di tutela perché di strategica valenza per l'alimentazione dei corpi idrici sotterranei, le “**Zone di Protezione Speciale**” idrogeologica (ZPS), di cui alla Tav. A del Piano di Tutela delle Acque.

ricarica afferenti ad acquiferi strategici, in quanto risorsa per l'approvvigionamento idropotabile, in caso di programmazione di interventi in emergenza.

L'area di studio **NON** ricade in alcuna zona di vincolo d'uso ai sensi del PTA

10.6. Aree Naturali Protette e ZVN

L'area di studio rientra nel **Parco Nazionale del Gargano**, istituito, in attuazione della legge quadro 394/91, con il DPR del 5 giugno 1995, così come modificato dal DPR del 18 maggio 2001 e in aree **IBA** (important birds area) per la presenza dell'IBA203 "Promontorio del Gargano e Zone Umide della Capitanata". L'area è interessata da **SIC, pSIC** e/o **ZPS**: IT9110008 - Valloni e steppe Pedegarganiche; IT9110039 - Promontorio del Gargano; IT9110030 - Bosco Quarto - Monte Spigno.

Per quanto concerne l'aspetto nitrati, si ricorda che la "**Direttiva Nitrati**" (**91/676/CEE**) è un provvedimento dell'Unione Europea approvato nel 1991, con lo scopo di ridurre e prevenire l'inquinamento delle acque e del suolo causato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Gli Stati membri sono stati chiamati ad individuare le **Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola**, ossia quelle in cui le acque di falda contengono o possono contenere, ove non si intervenga, oltre **50 mg/l** di nitrati, a progettare ed attuare i necessari "**programmi d'azione**" per ridurre l'inquinamento idrico provocato da composti azotati, prevedendo misure intese a limitare l'impiego in agricoltura di tutti i fertilizzanti contenenti azoto e stabilendo restrizioni specifiche nell'impiego di effluenti zootecnici.

La Direttiva 91/676/CEE è stata recepita a livello nazionale con il DLgs 152/99 attualmente sostituito dal **DLgs 152/2006 "Testo unico dell'Ambiente"**. A loro volta le singole regioni hanno emanato i provvedimenti necessari per applicare pienamente le norme comunitarie e nazionali sui rispettivi territori regionali. Ogni regione ha individuato le zone vulnerabili sul proprio territorio e ha stabilito gli obblighi che ogni azienda deve rispettare per una corretta utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e dei fertilizzanti azotati.

La Regione Puglia, con deliberazione della Giunta n. 2036 del 30.12.2005, ha provveduto alla Designazione e perimetrazione delle Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola (ZVN) nel territorio della Puglia, per una superficie complessiva di 92.057 ha, pari a circa il 5% dell'intero territorio regionale.

L'area di nostro interesse (Fig. 27) non rientra tra le aree interessate da vulnerabilità da nitrati.

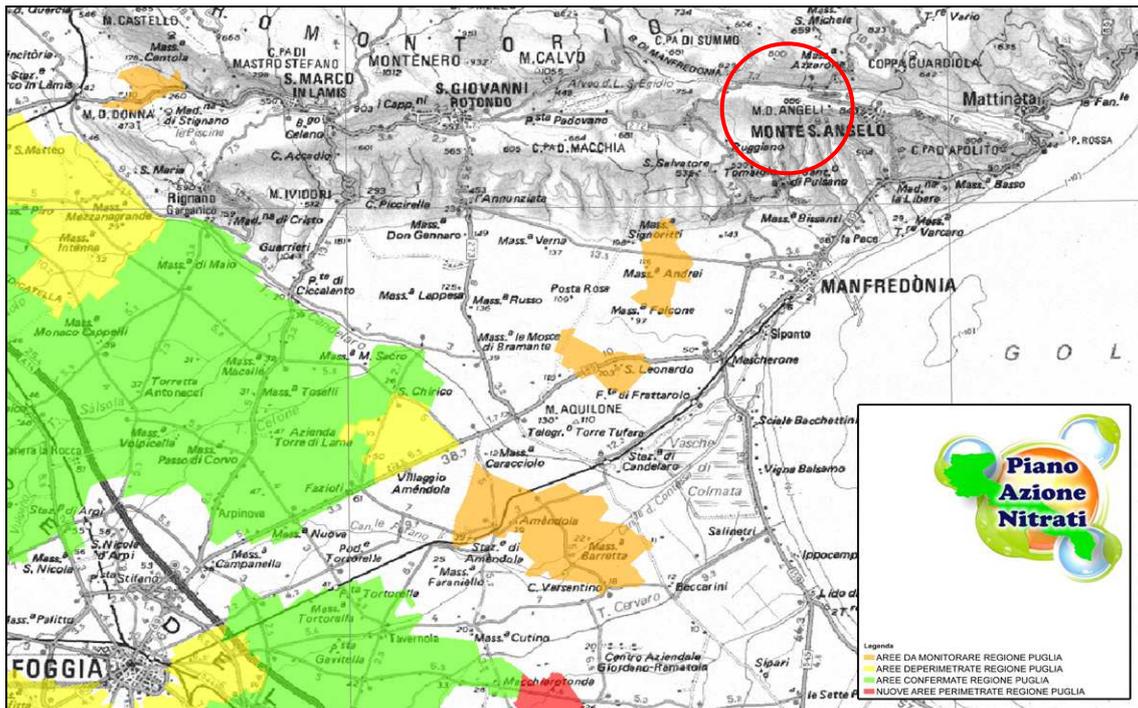


Fig. 27 – Zone vulnerabili da nitrati (ZVN)

11. ELEMENTI DELLA CARTA IDROGEOMORFOLOGICA

Di seguito alcuni stralci della carta idrogeomorfologica della Regione Puglia realizzata dall'Adb Puglia. In essa, lungo il tracciato della condotta, non si evidenziano singolarità e/o particolarità geomorfologiche di rilievo per quanto attiene alle forme di modellamento dei corsi d'acqua o alle forme di versante (vedi Fig. 28 e Fig. 29).

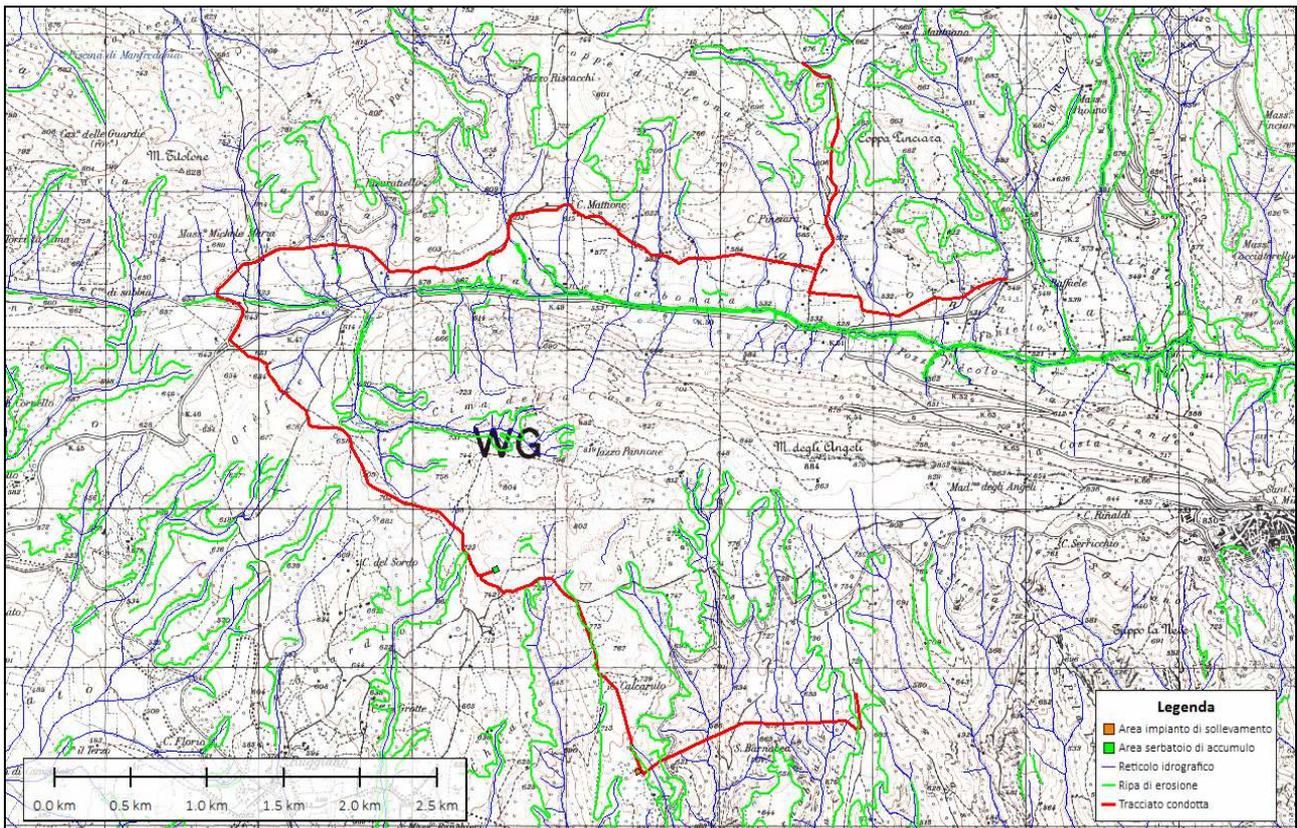


Fig. 28 – tracciato condotta con principali elementi geomorfologici legati alle forme di modellamento dei corsi d'acqua

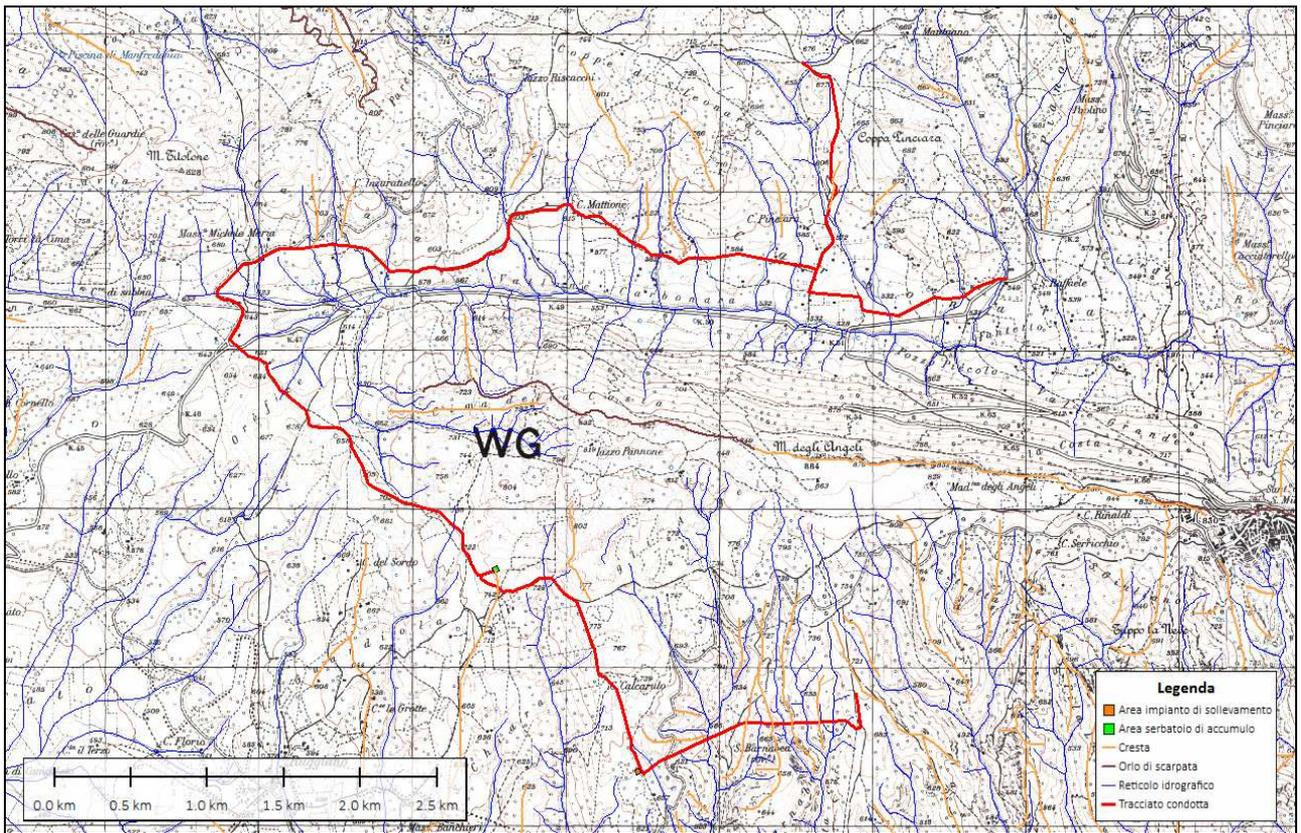


Fig. 29 - tracciato condotta con principali elementi geomorfologici legati alle forme di versante

12.1. Premessa

Nel presente paragrafo saranno descritte tutte le indagini eseguite per la definizione del modello geologico, geotecnico e sismico di riferimento.

Si ricorda che sono stati eseguiti:

- n. 2 sondaggi sismici a rifrazione in onde P e n. 2 indagini sismiche MASW nei pressi dei siti di ubicazione delle opere ingegneristiche in progetto (impianto di sollevamento e serbatoio di accumulo);
- n. 7 sondaggi sismici a rifrazione in onde P lungo il tracciato della condotta.

Si precisa che l'indagine sismica per l'impianto di sollevamento, per difficoltà di accesso all'area, è stata eseguita il più vicino possibile all'area stessa, ma ovviamente sulla medesima formazione calcarea. Fortunatamente, poiché si tratta, da un lato, di costruzioni non particolarmente complesse e, dall'altro, di costruzioni su roccia, si ritiene che la parametrizzazione geomeccanica eseguita - tenendo conto di un adeguato coefficiente di sicurezza e integrando i dati con altri studi ed indagini eseguiti in zone limitrofe dallo scrivente in oltre un ventennio di attività professionale - sia sufficientemente adeguata oltreché cautelativa.

Tra gli studi svolti in zona, utilizzati anche come riferimento bibliografico, si ricorda quello del 1998 (condotto in collaborazione con il collega G. Ferosi), per il progetto di "Restauro del Santuario di Santa Maria di Pulsano", presente poco più a sud rispetto all'area di attuale studio. In tale studio fu possibile eseguire anche prove di laboratorio su campioni di roccia estratti da carotaggio. Tra gli allegati si riportano due dei tre certificati ottenuti.

12.2. Indagine sismica per l'impianto di sollevamento

12.2.1. Profilo sismico a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 1 profilo sismico con onde longitudinali (onde P).

Il profilo sismico ha lunghezza di 60 metri, è stato eseguito con 24 geofoni distanziati tra loro di 2,5 metri.

L'analisi della sezione sismostratigrafica riportata nel Report delle indagini Geofisiche eseguite (allegato esterno alla presente), mostra la presenza di un due sismostrati:

1. Il primo sismostrato (con una profondità di pochi decimetri) ha velocità V_p di 510 m/s e V_s di 198 m/s;
2. Il substrato rifrattore ha velocità V_p di 2360 m/s e V_s di 1258 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche, ricordando che un sismostrato non corrisponde necessariamente ad uno strato litologicamente omogeneo, si può ritenere che:

1. Il primo sismostrato è associabile a *terreno vegetale*;
2. Il substrato rifrattore è associabile a *calcare fratturato e/o carsificato*.

12.2.2. Indagine sismica MASW

Per la definizione delle **caratteristiche sismiche** del **terreno oggetto del nostro studio** (profilo stratigrafico secondo le categorie previste dalle NTC2018) si è eseguita una prova sismica MASW, condotta con la metodologia attiva.

La metodologia MASW "attiva" è una tecnica che sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Nel progetto in esame le indagini geofisiche sono state eseguite dalla società Pro Geo s.a.s., società operante da tempo nel settore della geofisica applicata. Per quanto attiene alla descrizione metodologica delle tecniche di prospezione sismica utilizzate e alla lettura di tutti gli elaborati grafici ottenuti **si rimanda al Report geofisico (allegato esterno), parte integrante del presente studio.**

L'ubicazione dello stendimento sismico è visualizzato negli allegati.

L'acquisizione dei dati per la definizione della $V_{s,eq}$ è stata svolta mediante la generazione di un "impulso" a seguito di impatto di una massa battente su un piattello in alluminio.

I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza ($t-x$), al dominio velocità di fase-frequenza ($p-f$). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del segnale e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

Lo spettro $p-f$ ottenuto ha consentito di individuare una serie di punti nell'area del segnale ad alta energia (piking).

Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/frequenza ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "fitting" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

Il modello di Vs-profondità, ottenuto mediante l'analisi MASW, è schematizzato di seguito:

MASW attivo	
Vs (m/s)	Profondità (mt)
198	0 ÷ 0.4
1258	0.4 ÷ 11.6
1188	11.6 ÷ 25.6
1247	25.6 ÷ 37.0

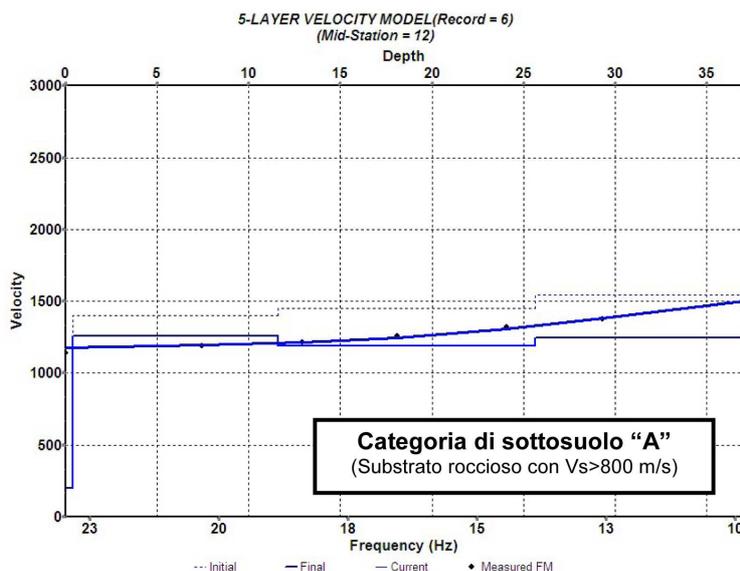


Fig. 30 – Grafico velocità di propagazione onde sismiche trasversali Vs

12.2.3. Parametri dinamici del sottosuolo

Combinando l'informazione derivante dall'analisi della sismica a rifrazione (in onde P) con quella scaturita dall'analisi delle onde superficiali (in onde S) con il metodo MASW è stato possibile effettuare una caratterizzazione dinamica dei terreni investigati ottenendo i parametri riportati nella tabella sottostante.

Di seguito i parametri calcolati.

	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson (σ)	Modulo di Young (E_{din})	Modulo di taglio (G_{din})	Modulo di incompressibilità (K)
Terreno vegetale	510	198	0,41	1920 Kg/cm ²	680 Kg/cm ²	3605 Kg/cm ²
Calcere fratturato e/o carsificato	2360	1258	0,30	100886 Kg/cm ²	38757 Kg/cm ²	84723 Kg/cm ²

In letteratura esistono svariate correlazioni che permettono di ricavare dal modulo di Young e di taglio calcolati in regime dinamico gli equivalenti parametri in regime statico.

Tra queste si ricordano:

$$E_{din} = (1.10 + 0,028 * a) * E_{st}$$

$$E_{din} = E_{st} + 69 \text{ [Mpa]}$$

Per cui:

	Modulo di Young statico (E_s)	Modulo di taglio statico (G_s)
Terreno vegetale	48 Kg/cm ²	17 Kg/cm ²
Calcere fratturato e/o carsificato	2522 Kg/cm ²	969 Kg/cm ²

12.3. Indagine sismica per il serbatoio di accumulo

12.3.1. Profilo sismico a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 1 profilo sismico con onde longitudinali (onde P).

Il profilo sismico ha lunghezza di 60 metri, è stato eseguito con 24 geofoni distanziati tra loro di 2,5 metri.

L'analisi della sezione sismostratigrafica riportata nel Report delle indagini Geofisiche eseguite (allegato esterno alla presente), mostra la presenza di un due sismostrati:

1. Il primo sismostrato (con una profondità di pochi decimetri) ha velocità V_p di 580 m/s e V_s di 128 m/s;
2. Il substrato rifrattore ha velocità V_p di 1530 m/s e V_s di 838 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche, ricordando che un sismostrato non corrisponde necessariamente ad uno strato litologicamente omogeneo, si può ritenere che:

1. Il primo sismostrato è associabile a *terreno vegetale*;
2. Il substrato rifrattore è associabile a *calcare molto fratturato e/o carsificato*.

12.3.2. Indagine sismica MASW

L'ubicazione dello stendimento sismico è visualizzato negli allegati.

L'acquisizione dei dati per la definizione della $V_{s,eq}$ è stata svolta mediante una prova sismica MASW, condotta con sia con la metodologia attiva che con quella passiva (Re.Mi.).

Nel presente caso la metodologia passiva (Re.Mi.) è stata in grado di differenziare un primo strato di calcari molto fratturati (fino a circa 6m dal p.c.) cui seguono calcari con migliori caratteristiche geotecniche. Tale evidenza può, probabilmente, correlarsi alla presenza di una zona più tettonizzata per la presenza della faglia, allineata quasi in direzione N-S, che interessa la "Valle Mattina".

La metodologia Re.Mi. è una tecnica "passiva" in quanto si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico, fabbriche, vento, ecc.). E' adatta in ambienti fortemente antropizzati e consente elevate profondità di indagine, anche in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (V_s), per la capacità di campionare basse frequenze.

La procedura di elaborazione adottata è la seguente: 1) in una prima fase viene eseguita un'analisi spettrale del sismogramma che consente di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono; 2) da tale elaborazione viene poi estrapolata la curva di attenuazione del segnale caratteristico o curva di

dispersione e in funzione del suo andamento si risale alla stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio Vs.

Il modello di Vs-profondità, ottenuto mediante l'analisi MASW (metodo Re.Mi.), è schematizzato di seguito:

MASW passivo (metodo Re.Mi.)	
Vs (m/s)	Profondità (mt)
128	0 ÷ 1.1
838	1.1 ÷ 5.9
1105	5.9÷30.0

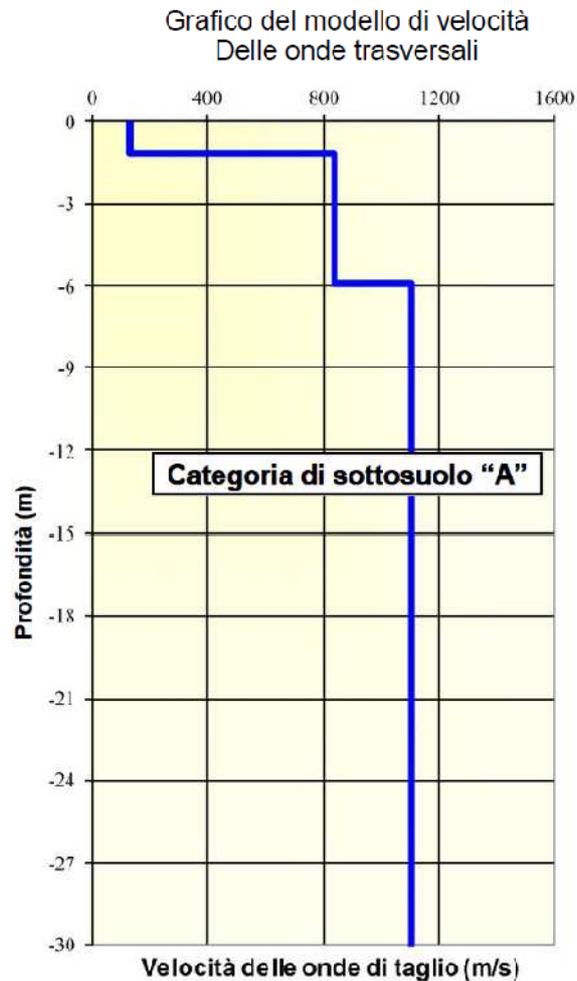


Fig. 31 – Grafico velocità di propagazione onde sismiche trasversali Vs

12.3.3. Parametri dinamici del sottosuolo

Combinando l'informazione derivante dall'analisi della sismica a rifrazione (in onde P) con quella scaturita dall'analisi delle onde superficiali con il metodo MASW (in onde S) è stato possibile effettuare una caratterizzazione dinamica dei terreni investigati ottenendo i parametri riportati nella tabella sottostante.

Di seguito i parametri calcolati.

	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson (σ)	Modulo di Young (E_{din})	Modulo di taglio (G_{din})	Modulo di incompressibilità (K)
Terreno vegetale	580	128	0,47	838 Kg/cm ²	284 Kg/cm ²	5457 Kg/cm ²
Calcere molto fratturato e/o carsificato	1530	838	0,29	44223 Kg/cm ²	17198 Kg/cm ²	34398 Kg/cm ²

In letteratura esistono svariate correlazioni che permettono di ricavare dal modulo di Young e di taglio calcolati in regime dinamico gli equivalenti parametri in regime statico.

Tra queste si ricordano:

$$E_{din} = (1.10 + 0,028 * a) * E_{st}$$

$$E_{din} = E_{st} + 69 \text{ [Mpa]}$$

Per cui:

	Modulo di Young statico (E _s)	Modulo di taglio statico (G _s)
Terreno vegetale	21 Kg/cm ²	7 Kg/cm ²
Calcere molto fratturato e/o carsificato	1105 Kg/cm ²	430 Kg/cm ²

12.4. Indagine sismica sul tracciato delle condotta in località "Valle di Carbonara"

Il tracciato della condotta si sviluppa, come già detto, per circa 14.000ml; di questi, circa 6500ml sono "posizionati" a sud dell'intersezione della condotta con la S.S. 272 mentre il restante 7500ml a nord della stessa. Il tratto di condotta posto a sud della S.S. 272 si sviluppa essenzialmente su terreni rocciosi, localmente ricoperti da un sottile strato di terreno vegetale e per tale tratto valgono i parametri geotecnici illustrati per le zone di imposta delle opere strutturali. La stessa cosa non può dirsi per il tratto posto a nord della S.S. 272: in questa area, infatti, la condotta si sviluppa lungo la "Valle Carbonara" il cui fondovalle, come noto, è interessato da estese coperture detritiche ed eluviali/colluviali anche di discreto spessore. Il rilevamento geologico speditivo lungo il tracciato della condotta e la consultazione della Carta di Uso dei Suoli individua aree con formazioni calcaree in affioramento alternate ad aree con presenza di un discreto spessore di terreno vegetale e/o di terreni eluviali e colluviali su cui si evidenzia la presenza di zone con un Uso Del Suolo (UDS) a "seminativi semplici in aree non irrigue". Per valutare localmente gli spessori dei terreni ricoprenti la sottostante formazione calcarea, ove non affiorante, sono stati eseguiti n. 7 profili sismici a rifrazione in onde P. Essi sono stati indicati in Fig. 32 con S3 ... S9..

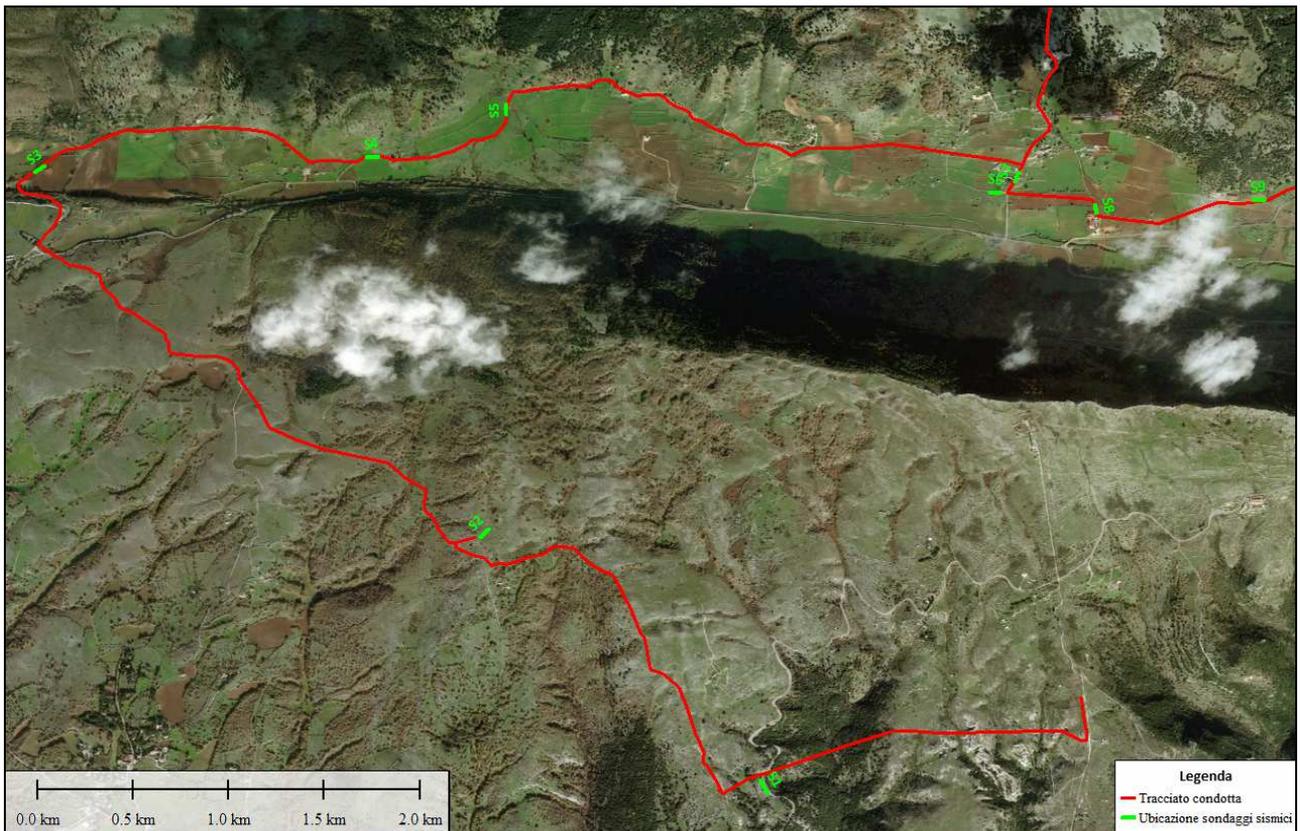


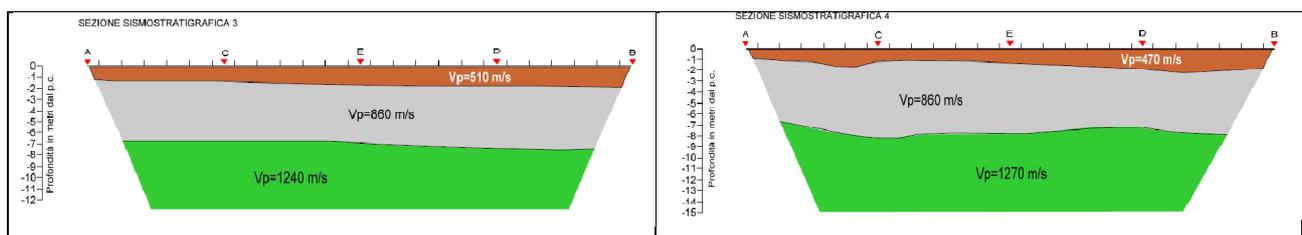
Fig. 32 – Ubicazione sondaggi sismici.

12.4.1. Profili sismici a rifrazione

I profili sismici hanno lunghezze di 48 metri; sono stati eseguiti con 24 geofoni distanziati tra loro di 2,0 metri.

L'analisi delle sezioni sismostratigrafiche riportate estesamente nel Report delle indagini Geofisiche eseguite (allegato esterno alla presente) e in maniera "compatta" in Fig. 33, mostra la presenza di un due/tre sismostrati:

1. Il **primo sismostrato** (con uno spessore variabile tra circa 1m e 6m) ha velocità V_p media di 488 m/s;
2. Il **secondo sismostrato** (con uno spessore variabile tra circa 2m e 12m) ha velocità V_p media di 960 m/s;
3. Il **substrato rifratore** ha velocità V_p media di 1497 m/s.



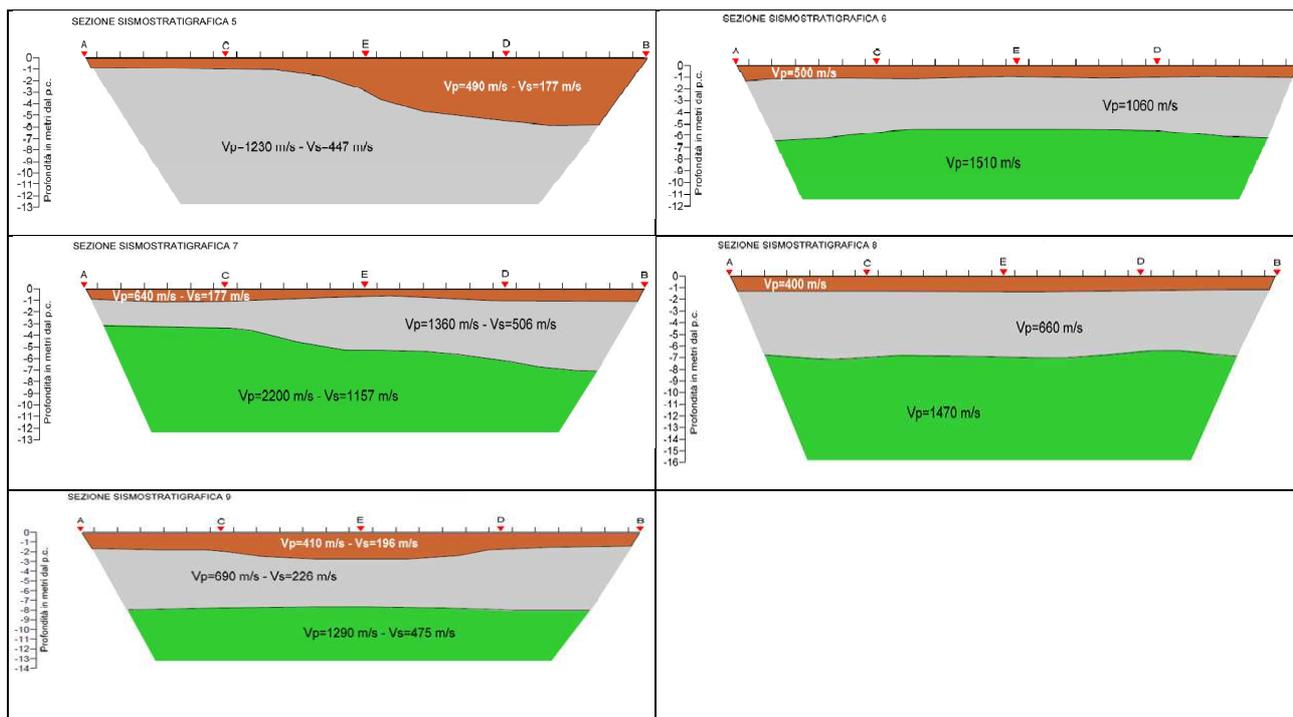


Fig. 33 – Sezioni sismostratigrafiche sondaggi sismici (S3 ... S9) eseguiti in località "Valle Carbonara"

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche, ricordando che un sismostrato non corrisponde necessariamente ad uno strato litologicamente omogeneo, si può ritenere che:

3. Il primo sismostrato è associabile a *terreno vegetale*;
4. Il secondo sismostrato è associabile a *depositi detritici e/o depositi colluviali*;
5. Il substrato rifrattore è associabile a *calcere molto fratturato e/o carsificato*.

12.4.2. Indagine sismica MASW

Sui profili n. 5, n. 7 e n. 9 sono state eseguite anche indagini con il metodo MASW che hanno permesso di valutare la categoria di suolo su tali aree; in esse, per la presenza di estese coperture vegetali e/o di terreni eluviali o colluviali, si sono avuti i seguenti valori di $V_{s,eq}$:

Profilo n. 5: $V_{s,eq} = 328\text{m/s}$ cui corrisponde la categoria di suolo **C**

Profilo n. 7: $V_{s,eq} = 369\text{m/s}$ cui corrisponde la categoria di suolo **B**

Profilo n. 9: $V_{s,eq} = 356\text{m/s}$ cui corrisponde la categoria di suolo **C**

Perciò, in questo tratto di condotta che si snoda a N della SS n.272, se necessario, nei calcoli geotecnici / idraulici si utilizzi, in sicurezza, una categoria di suolo C.

12.4.3. Parametri dinamici del sottosuolo

Combinando l'informazione derivante dall'analisi della sismica a rifrazione (in onde P) con quella scaturita dall'analisi delle onde superficiali con il metodo MASW (in onde S) è stato possibile effettuare una caratterizzazione dinamica dei terreni investigati ottenendo i parametri "medi" riportati nella tabella sottostante.

Di seguito i parametri calcolati.

	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson (σ)	Modulo di Young (E_{din})	Modulo di taglio (G_{din})	Modulo di incompressibilità (K)
Terreno vegetale	513	187	0,42	1723 Kg/cm ²	605 Kg/cm ²	3752 Kg/cm ²
Depositi detritici e/o colluviali	1093	393	0,43	8534 Kg/cm ²	2987 Kg/cm ²	19170 Kg/cm ²
Calcere molto fratturato e/o carsificato	1745	815	0,36	40584 Kg/cm ²	14887 Kg/cm ²	48435 Kg/cm ²

In letteratura esistono svariate correlazioni che permettono di ricavare dal modulo di Young e di taglio calcolati in regime dinamico gli equivalenti parametri in regime statico.

Tra queste si ricordano:

$$E_{din} = (1.10 + 0,028 * a) * E_{st}$$

$$E_{din} = E_{st} + 69 \text{ [Mpa]}$$

Per cui:

	Modulo di Young statico (E_s)	Modulo di taglio statico (G_s)
Terreno vegetale	43 Kg/cm ²	15 Kg/cm ²
Depositi detritici e/o colluviali	213 Kg/cm ²	75 Kg/cm ²
Calcere molto fratturato e/o carsificato	1014 Kg/cm ²	372 Kg/cm ²

13.1 Premessa

Per ammasso roccioso si intende l'insieme di roccia intatta e piani di discontinuità che interessano una determinata massa rocciosa. Il termine discontinuità è del tutto generico ed indica semplicemente un'interruzione nella continuità della roccia intatta; nel termine non vi è quindi nessun accenno al meccanismo genetico della frattura, che può essere sia di natura primaria (stratificazione, piani di strutture sedimentarie ecc.), che secondaria (discontinuità tettoniche, di alterazione, di detensionamento, di raffreddamento ecc.). La caratterizzazione geologico-geotecnica dell'ammasso roccioso consiste principalmente nella individuazione dei parametri che definiscono gli stati e le situazioni tipiche della struttura in esame. Quando l'ammasso roccioso è molto fratturato per la presenza di più sistemi di discontinuità, che lo scompongono in blocchi, in termini di resistenza si valuta un comportamento globale dell'ammasso. Per le dimensioni e le collocazioni del volume significativo dell'ammasso, non è possibile, evidentemente, realizzare prove *in situ* o in laboratorio, che forniscano dati rappresentativi del comportamento globale. Esistono comunque diversi metodi attraverso i quali si può pervenire ad una caratterizzazione geotecnica a seconda dei casi:

- Metodi indiretti basati su indici di qualità (classificazioni geomeccaniche);
- Valutazioni e stime empiriche (basate su informazioni e stime precedentemente ottenute attraverso l'analisi di altri casi simili);
- Modelli matematici basati su *back analysis* (analisi a ritroso);
- Prove di laboratorio e in sito.

13.2. Indici di qualità e classificazione geomeccanica

Gli ammassi rocciosi possono essere studiati in modo semplificato e classificati in relazione al loro comportamento e alle loro prestazioni, distinguendo vari campi di applicazione. Le classificazioni geomeccaniche furono elaborate con l'obiettivo di fornire indici di qualità mediante l'analisi sistematica, effettuata con criteri il più possibile standardizzati, di alcuni parametri caratteristici degli ammassi rocciosi. Gli indici di qualità, espressi da un numero, forniscono indicazioni sulla qualità complessiva dell'ammasso, sulla base della differenziazione di classi di qualità. Esistono inoltre relazioni che permettono di stimare da tali indici i parametri di resistenza dell'ammasso, potendone in questo modo studiare il comportamento nell'esecuzione di lavori di scavo, gallerie e versanti in pendenza. In seguito vedremo uno tra i più utilizzati metodi di classificazione, ovvero quello proposto da Hoek-Brown (GSI) e Bieniawski (RMR).

13.2.1. Rock Mass rating (RMR)

Il sistema di classificazione geomeccanica RMR venne proposto da Bieniawski (1978-1989) e consiste nell'assegnazione di un punteggio all'ammasso roccioso sulla base di sei parametri:

- Resistenza a compressione monoassiale (A1);
- Indice RQD (A2);
- Spaziatura delle discontinuità (A3);
- Condizioni delle discontinuità con particolare riferimento alla loro apertura, alla scabrezza e alla presenza o meno di materiali di riempimento (A4);
- Condizioni idrauliche (A5);
- Giacitura delle discontinuità (A6);

Questi parametri concorrono all'individuazione dell'indice di qualità denominato RMR.

Bieniawski, nel caso di gallerie, definì due tipi di indici RMR:

$$RMR_{base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$RMR_{corretto} = RMR_{base} + A6.$$

Nel nostro caso di studio, l'indice RMR_{base} è stato ricavato da:

1. osservazioni effettuate su pareti di scavo presenti in zona lungo tagli stradali (vedi, per es. foto n. 1); il tutto opportunamente integrato sia dai dati delle prospezioni sismiche effettuate oltreché da altri studi eseguiti sulla medesima formazione litologica, tra cui si cita lo Studio geologico tecnico eseguito nel 20000 per il progetto di ristrutturazione dl Complesso Monastico di Pulsano..

Il parametro "resistenza a compressione monoassiale" della roccia è stato ottenuto tramite il *Martello di Schmidt*. Dai valori ottenuti dal *Martello di Schmidt*, assumendo un peso di volume uguale a 2,4 t/m³, si è ottenuto il seguente valore di resistenza alla compressione monoassiale = 35 MPa.

Il valore dell'RQD è stato ottenuto usando la nota equazione proposta da **Priest e Hudson (1976)**:

$$RQD = 100 e^{-0.1n} (0.1 n + 1) \quad (1)$$

dove n = numero medio di giunti per metro.

Le osservazioni sugli affioramenti studiati hanno evidenziato la presenza media di circa 15 ÷ 20 giunti per metro lineare. Da quanto detto e dalla (1) si ricava:

$$RQD = 100 e^{-0.1 \cdot 20} ((0.1 \cdot 20) + 1) = 40\%$$

Le superfici delle discontinuità risultano lisce o leggermente scabre, alterate e poco aperte (<1mm), a volte esse risultano riempite da materiale di alterazione (terre rosse). La roccia risulta asciutta per infiltrazioni di acqua nelle discontinuità.

Attribuendo ad ogni parametro il relativo indice numerico (vedi tabella) si ottiene la seguente classificazione:

PARAMETRO	VALORE	RATING
A1	35 MPa	4
A2	28%	8
A3	0.1m	7
A4		23
A5	UMIDA	10

$$RMR_{base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 = 52$$

Come già detto il sesto parametro (A6) tiene conto dell'orientazione delle discontinuità in relazione al tipo di opera di ingegneria.

Nel nostro caso, visto che stiamo analizzando l'ammasso roccioso in relazione all'aspetto "foundations", considerando la generale direzione degli strati orientati in direzione E-O ed immersione verso S e, soprattutto la generale presenza di una discreta rete di *joints* che hanno, localmente, fratturato l'ammasso roccioso, si può considerare il parametro (A6) come "Unfavourable" (ciò anche a vantaggio della sicurezza) cioè in condizioni "sfavorevoli" e quindi:

$$RMR = RMR_{base} + A6 = 52 - 15 = 37$$

Pertanto l'ammasso roccioso, secondo la classificazione di Bieniawski, appartiene alla "Classe = IV" caratterizzata da una "Qualità della roccia = scadente".

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS						
Parameter		Range of values				
A1	Strength of intact rock material	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive strength is preferred
	Point-load strength index	>26 MPa	100 - 260 MPa	60 - 100 MPa	26 - 60 MPa	5 - 25 MPa, 1 - 6 MPa, <1 MPa
	Rating	15	12	7	4	0
A2	Drill core Quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Rating	20	17	13	8	3
A3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2. m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm
	Rating	20	15	10	8	3
A4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
	Rating	30	25	20	10	0
A5	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	(Joint water press)/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
Rating	15	10	7	4	0	
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)						
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS						
Rating	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21	
Class number	I	II	III	IV	V	
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock	
D. MEANING OF ROCK CLASSES						
Class number	I	II	III	IV	V	
Average stand up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span	
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100	
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15	
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions						
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
Rating	5	4	2	1	0	
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
Rating	5	5	4	1	0	
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided	
Rating	5	5	3	1	0	
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm	
Rating	5	4	2	2	0	
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed	
Rating	5	5	3	1	0	

Tab. 2 – Tabelle dei coefficienti di calcolo dell'RMR (Bieniawski, 1976 e succ.)

13.2.2. Caratterizzazione geomeccanica Hoek-Brown

Uno dei più utilizzati criteri per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso è quello proposto da Hoek & Brown (1980) ed aggiornato da Hoek et al. (2002) ed è definito dalla relazione di seguito riportata:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove σ_1 e σ_3 sono rispettivamente lo sforzo effettivo massimo e minimo, m_b è una costante per l'ammasso roccioso, σ_c è la resistenza a compressione uniaxiale della roccia, s ed a sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso; in particolare s è legato al grado di fratturazione della roccia, m_b al grado di mutuo bloccaggio delle particelle presenti (Hoek & Brown, 1980).

Per poter applicare il criterio di Hoek & Brown è dunque necessario conoscere i seguenti parametri:

- σ_c , resistenza a compressione uniaassiale della roccia intatta;
- m_b , costante di HOEK & BROWN (1980);
- GSI (*Geologic Stength Index*);
- D, fattore di disturbo che dipende dalla modalità di scavo o dal rilascio tensionale.

L'indice di resistenza geologica GSI (Hoek e Brown, 1980) si ricava mediante l'esame principalmente visivo della roccia in sito che costituisce l'ammasso roccioso. Vengono analizzate il grado di fatturazione della roccia e tipologia e frequenza delle superfici di discontinuità dell'ammasso. Combinando opportunamente le varie osservazioni si ottiene il valore di GSI espresso da un numero variabile da 0 a 100. Il valore di GSI è ottenuto quindi da stime quantitative dell'ammasso roccioso ed è utilizzato per valutarne indirettamente le caratteristiche di deformabilità e resistenza e non per una sua classificazione geomeccanica. E' possibile determinare il valore GSI in funzione dell'indice BRMR, secondo la relazione proposta da Hoek (1994):

$$GSI = BRMR - 5$$

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX per rocce fratturate (Hoek & Marinus, 2002)		condizioni delle discontinuità				
STRUTTURA ROCCIA		MOLTO BUONE: giunti molto rugosi, non alterati	BUONE: giunti rugosi, leggermente alterati, ossidati	MEDIOCRI: giunti lisci, superficie moderatamente alterata	SCADENTI: giunti levigati, superfici alterate con riempimento compatto o frammenti angolari	MOLTO SCADENTI: giunti levigati, superfici alterate con riempimento argilloso molle
INTATTA O MASSIVA: roccia sana con poche discontinuità ad ampia spaziatura	90	/	/	/	N/A	N/A
FRATTURATA: ammasso roccioso non disturbato, con tre sistemi di famiglie di giunto che isolano blocchi a forma prevalentemente cubica	80	/	70	/	/	/
MOLTO FRATTURATA: ammasso parzialmente disturbato con quattro o più famiglie di giunto a formare blocchi angolari a più facce	/	/	60	/	/	/
PIGATA: ammasso disturbato tettonicamente, a pieghe, con diverse famiglie di giunti. Piani di stratificazione o di scistosità a grande persistenza	/	/	50	/	40	/
DISINTEGRATA: ammasso molto fratturato con debole interconnessione fra i blocchi, frammenti di roccia angolari e arrotondati	/	/	/	/	30	/
LAMINATA/FAGLIATA: ammasso non suddiviso in blocchi, piani di scistosità a fitta spaziatura, piani di taglio/faglie	/	N/A	/	/	/	20
/	/	/	/	/	/	10

Tab. 3 – Grafico per la stima del GSI (Hoek et al. 2000)

13.3. Roclab

Non essendo in possesso di informazioni di laboratorio sulle caratteristiche meccaniche degli ammassi rocciosi presenti nell'area in esame, per la loro valutazione si è ricorsi all'utilizzo del

programma RocLab (Rocscience Inc. 2002). Questo programma si basa sul metodo per la stima della resistenza di ammassi rocciosi fratturati, proposto da Hoek e Brown (1980a, 1980b) e fondato sulla valutazione del grado di incastro tra i blocchi di roccia e della condizione delle superfici. Il metodo è stato modificato più volte (Hoek 1983; Hoek, Brown 1988; Hoek, Wood, Shah, 1992) e nel corso degli anni è stato sviluppato un nuovo criterio di classificazione, il *Geological Strength Index* (Hoek 1994; Hoek, Kaiser, Bawden 1995; Hoek, Brown 1997; Hoek, Marinos, Benissi, 1998), recentemente esteso per ammassi rocciosi eterogenei (Marinos, Hoek, 2000). RocLab permette di ottenere le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso, partendo dalla stima di alcuni parametri:

- la resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta (c_i);
- la costante m_i , legata alla proprietà di attrito della roccia;
- l'indice GSI;
- il fattore di disturbo (D);
- il modulo di Young (E_i).

Queste proprietà di base dovrebbero essere determinate da prove di laboratorio, come descritto da Hoek e Brown (1997) ma, in molti casi, ciò non risulta possibile. Per soddisfare questa esigenza, vengono utilizzate tabelle che permettono di stimare i valori di questi parametri. In particolare la definizione dell'indice GSI è basata su una valutazione della struttura, della litologia e delle condizioni delle superfici di discontinuità nella massa rocciosa; è possibile effettuare una stima tramite esame visivo della roccia affiorante. Al fine di fornire la gamma dei più probabili valori di GSI per ammassi rocciosi di vari tipi è stata elaborata una serie di tabelle indicative da Marinos e Hoek (2000). In RocLab, per l'analisi dei versanti, in cui il grado di confinamento è ridotto, viene utilizzata la componente minima dello sforzo principale (σ_3) compresa tra zero e σ_v , dove quest'ultimo è calcolato come il prodotto tra unità di peso e profondità dell'ammasso roccioso.

L'assegnazione di valori ai parametri descritti finora permette di ottenere una stima delle proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso; per i dettagli sulla procedura che viene eseguita si rimanda all'articolo di Hoek and Brown del 1997. I risultati comprendono i parametri m_b , s e a del criterio di rottura di Hoek-Brown e i parametri equivalenti del metodo Mohr-Coulomb.

Dopo l'analisi visiva dell'ammasso roccioso (vedi documentazione fotografica) e l'inserimento dei dati in input tramite le apposite tabelle il programma restituisce istantaneamente i valori cercati e traccia il risultato in 2 differenti grafici. Il primo grafico fornisce i risultati dei due metodi sul diagramma tensione principale maggiore – tensione principale minore, il secondo sul diagramma tensione normale – tensione di taglio. Si può notare come la linea descritta dai parametri di Mohr-Coulomb non passi per l'origine e sia rettilinea a differenza di quanto accade con i parametri di Hoek-Brown. Dopo aver selezionato i valori dalle tabelle Roclab restituisce in output i valori di m_b , s e a del criterio di rottura di Hoek-Brown e i parametri equivalenti del metodo Mohr-Coulomb (Fig. 34) Il procedimento è stato eseguito impostando il valore del parametro di disturbo (D) = 0.

Il parametro di resistenza alla compressione uniassiale è stato determinato da prove di compressione eseguite nell'anno 1998 su campioni di roccia prelevati poco più a sud (località "Santa Maria di Pulsano") rispetto all'area di attuale studio.

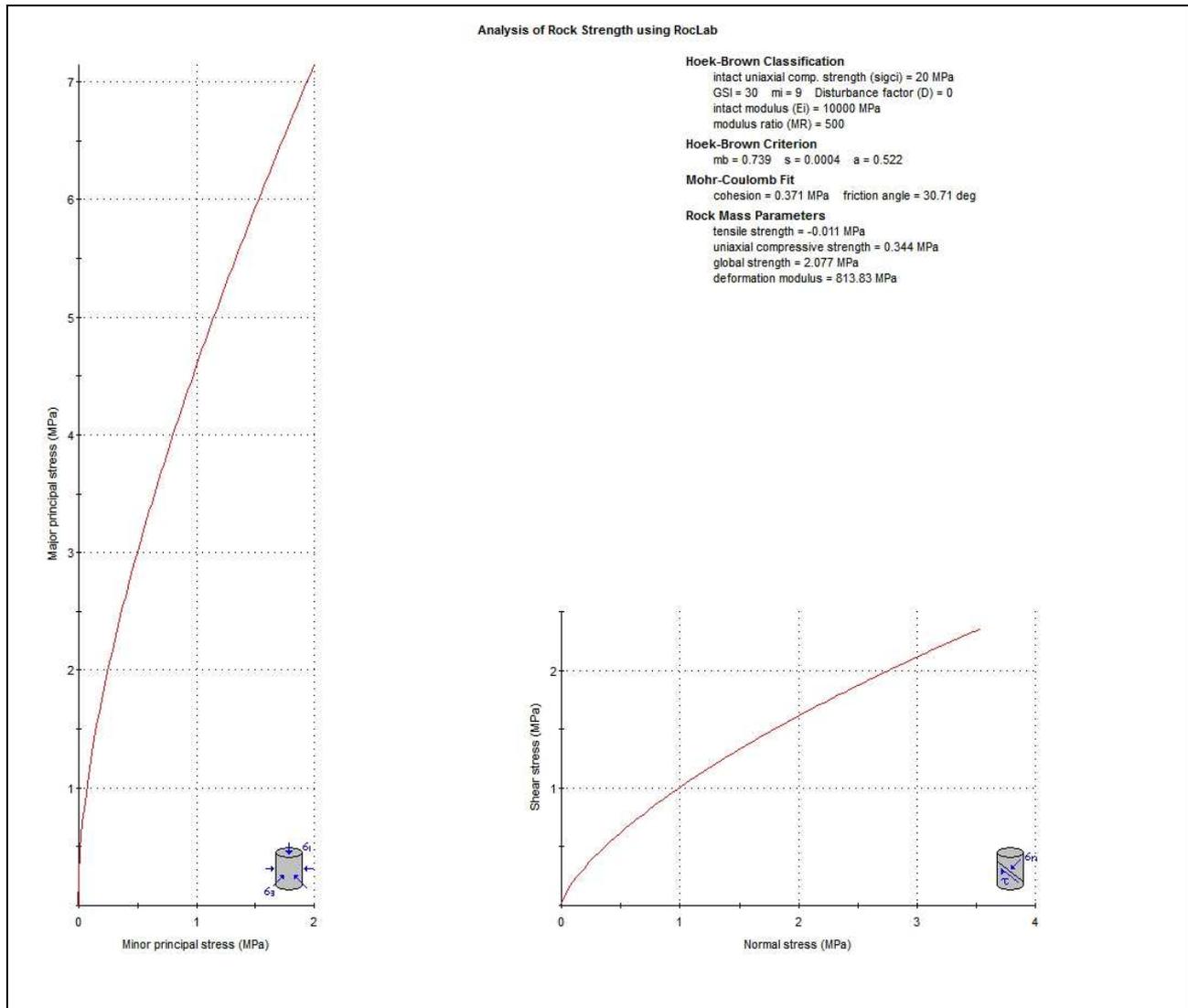


Fig. 34 – Risultati Roclab dell'ammasso roccioso in prossimità della "C. Calcarulo", in agro del Comune di Monte Sant'Angelo (FG)

13.4. Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso (indice RMR) da sismica

L'indice RMR (rock mass rating), come già ampiamente detto, è un parametro geotecnico molto importante che viene utilizzato anche per ricavare i parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso (coesione, angolo di attrito, modulo di deformabilità in sito). Per la determinazione di tale indice è stata creata una metodologia, originariamente messa a punto e proposta da BIENIAWSKI (1989), che si basa sul rilievo di cinque parametri:

- R1 - resistenza a compressione monoassiale;
- R2 - RQD;

- R3 - spaziatura delle discontinuità;
- R4 - condizioni delle discontinuità;
- R5 - condizioni idrauliche.

Questi parametri concorrono all'individuazione dell'indice di qualità della roccia denominato, appunto, RMR.

Esistono in letteratura studi che dimostrano come sia possibile correlare l'indice RMR di un ammasso roccioso con la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s determinate tramite la tecnica ReMi / MASW.

La formulazione proposta da **Cha, Kang, and Jo (2006)** è:

$$RMR = 0.036 \times V_s - 10$$

Nel nostro caso, mediando i due valori di velocità V_s determinate dalla indagine sismica, scaturisce $V_s = 1048$ m/s, quindi:

$$RMR = 0.036 \times 1048 - 10 \approx \mathbf{28}$$

Il parametro **RMR** così determinato, come si vede, è un 30% inferiore a quello valutato dall'analisi classica con la metodologia di BIENIAWSKI. Ciò a vantaggio della sicurezza.

Dall'indice RMR_{base} possiamo calcolare il valore della coesione e dell'angolo di attrito della roccia. A tal fine si possono utilizzare le relazioni proposte da **Sen e Sadagah (2003)**:

$$c = 3.625 RMR \text{ (kPa)} = \mathbf{100 \text{ kPa}}$$

$$\varphi^\circ = 25[1+0.01RMR] = \mathbf{32^\circ}$$

Una altra interessante correlazione, basata su analisi di regressione, è stata proposta da **Budetta et al. (2001)**, relativamente a masse rocciose calcaree fortemente fratturate affioranti nel sud Italia.

La relazione proposta è:

$$RQD = \frac{1.22 - v_{pF}}{1.22v_{pF}(-0.69)} \times 100\%$$

Dove v_{pF} è la velocità, determinata *in situ*, delle onde P dell'ammasso roccioso.

Da tale formulazione, considerando che la V_p media misurata è di 1945 m/s, si desume un RQD di circa il 45%.

13.5. Analisi dei risultati

L'ammasso roccioso caratterizzato con il software Roclab, permette di parametrizzare la formazione calcarea di base presente in zona di intervento.

Dallo studio effettuato, si evince che la formazione calcarea sia dotata di discrete caratteristiche geomeccaniche; essa è caratterizzabile dai seguenti parametri geotecnici, calcolati con il criterio di Hoek-Brown:

$m_b = 0,739$	(parametri di Hoek-Brown)
$s = 0,0004$	(parametri di Hoek-Brown)
$a = 0,522$	(parametri di Hoek-Brown)
$\sigma_{ci} = 20 \text{ MPa}$	(resistenza a compressione monoassiale roccia)

Gli equivalenti parametri, determinati dal software Roclab, secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, calcolati nell'intervallo $0 < \sigma_3 < 0.25 \sigma_{ci}$ come consigliato da Hoek, valgono:

$\phi = 31^\circ$	(angolo d'attrito)	(parametro di Mohr-Coulomb)
$c = 0,37 \text{ MPa}$	(coesione)	(parametro di Mohr-Coulomb)
$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$	(peso volume)	

In relazione ai questi ultimi parametri, integrando tutte le metodologie illustrate per la loro determinazione, è possibile consigliare l'utilizzo dei sottoelencati valori:

$\phi = 32^\circ \div 34^\circ$	(angolo d'attrito)	(parametro di Mohr-Coulomb)
$c = 60 \div 80 \text{ kPa}$	(coesione)	(parametro di Mohr-Coulomb)
$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$	(peso volume)	

13.6. Portanza fondazioni superficiali su roccia utilizzando il criterio di rottura di Hoek-Brown

La verifica agli stati ultimi del complesso "terreno-fondazione", secondo la nuova Normativa, riguarda la valutazione dei meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza globale dei materiali. In particolare per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

In letteratura esistono diverse relazioni per valutare la capacità portante ultima dell'ammasso roccioso a partire dai parametri di Hoek-Brown; tra esse una delle più cautelative è quella proposta da **Kulhawy & Carter (1988)**, basata sul criterio di rottura di **Hoek-Brown**, valida proprio per fondazioni superficiali su materiali lapidei.

La portanza ultima di un ammasso roccioso, calcolata con la formulazione di **Kulhawy & Carter (1988)** può essere scritta nella forma:

$$q_u = [s^a + (m_b s^a + s)^a] \sigma_{ci} \quad [1]$$

L'equazione [1], con i vari parametri calcolati secondo le tipologie degli ammassi rocciosi presentati da Hoek e Brown, viene utilizzata per produrre le linee guida del calcolo della portanza di fondazioni superficiali in ammassi rocciosi nelle "AASHTO - Standard specification for highway bridges".

Utilizzando i parametri ricavati in precedenza, risulta:

$$q_u = 2,40 \text{ MPa}$$

A tale valore deve essere applicato un coefficiente di sicurezza **almeno** pari a $FS = 5$ come consigliato dagli Autori. Secondo **Bowles (1991)**, il fattore di sicurezza FS dovrebbe in qualche modo essere legato al coefficiente RQD ; in altre parole, una roccia con $RQD = 0.80$ non necessita di un fattore di sicurezza elevato quanto quello di una roccia con $RQD = 0.40$. Di solito FS è compreso, sempre secondo Bowles, tra 6 e 10 per rocce con RQD pari al massimo a 0.75 circa.

Nel caso di studio, considerando uno scarso valore dell' RQD , si consiglia l'utilizzo di un FS di 7÷9 e pertanto un valore di capacità portante ultima dell'ammasso roccioso pari a:

$$q_u = 300 \div 350 \text{ kPa}$$

In sede di Relazione Geotecnica, se si utilizzeranno relazioni per il calcolo della resistenza basate sul criterio di Mohr Coulomb, è bene tenere presente che queste sovrastimano la resistenza ultima dell'ammasso (**Merifield et al., 2006**): "This overestimate was found to be as high as 157% for very good quality rock masses ...".

13.7. Modulo di deformabilità

Il comportamento deformativo di un ammasso roccioso può essere valutato mediante l'interpretazione dei risultati di diverse prove in sito (**Lama e Vutukuri, 1978**).

Nel seguito si riporta una valutazione dei moduli di deformabilità applicando le relazioni più conosciute, utilizzando i risultati ottenibili dall'applicazione del metodo di Bieniawski.

La prima delle relazioni applicabili (per $RMR < 52$) è quella di **Stille (1986)**: $E_d = 0.05 RMR$ [GPa]

Pertanto:

$$E_d = 0.05 * 28 = 1,4 \text{ GPa}$$

Un' ulteriore relazione è quella proposta da **lasarevic e Kovacevic (1996)**: $E_d = e^{(4,407+0,08RMR)}$ [MPa]

Pertanto:

$$E_d = 0,8 \text{ GPa}$$

Pertanto, mediando i risultati, possiamo assegnare alla formazione calcarea un Modulo di deformabilità:

$$E_d = 1,1 \text{ GPa}$$

13.8. Calcolo del Coefficiente di sottofondazione (Coefficiente di WINKLER)

Per il calcolo del coefficiente di Winkler (k_s) possiamo utilizzare la formula:

$$k_s = 1 / B E'_s I_s I_F$$

dove:

$$E'_s = 1 - \mu^2 / E_s$$

E_s = modulo di elasticità del terreno

B = minima dimensione in pianta della fondazione

μ = 0.3 (modulo di Poisson)

I_s = coefficiente di influenza di Steinbrenner

I_F = coefficiente di influenza di Fox

Oppure, in maniera più semplice ed immediata utilizzando un'espressione fornita da **Bowles (1991)** che permette di calcolare k_s sulla base della capacità portante:

$$SI: \quad k_s = 80 (FS) \sigma_{amm.} \quad \text{kN/m}^3$$

nella quale $\sigma_{amm.}$ va espressa in kPa e FS (coefficiente di sicurezza) = 3. Il coefficiente 80 viene utilizzato ipotizzando un cedimento massimo ammissibile di 1,25 cm.

E' possibile utilizzare, per il calcolo del valore di k_s , questa espressione approssimata e di facile applicazione poiché si deve ricordare che la pressione sul terreno e i momenti flettenti calcolati sono poco sensibili al valore di k_s usato.

Ciò deriva dal fatto che la rigidezza degli elementi strutturali è in genere pari come minimo a 10 volte la rigidezza del terreno misurata da k_s .

Quindi:

$$k_s = 80 * 3 * (350 \text{ kPa}) = 84000 \text{ kN/m}^3 \cong \mathbf{9 \text{ kg/cm}^3}$$

E' inoltre possibile effettuare il calcolo utilizzando una correlazione fornita da **Keceli (2012)** con le velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

$$SI: \quad k_s = 17,2 * V_s^{1,25} \quad \text{kN/m}^3$$

Quindi:

$$k_s = 17,2 * 1048^{1,25} = 102560 \text{ kN/m}^3 \cong \mathbf{10 \text{ kg/cm}^3}$$

14. MODELLO GEOLOGICO-TECNICO AREE IMPIANTI TECNICI

Sulla base di quanto fino ad ora descritto, **nelle aree di realizzazione dell'impianto di sollevamento, del serbatoio di accumulo e nel tratto di condotta che si sviluppa a nord rispetto alla S.S. 272**, è possibile schematizzare un modello geologico abbastanza semplice (modello monostrato se si esclude la modesta copertura vegetale superficiale).

Il **primo strato** (localmente di pochi decimetri di spessore) è rappresentato da terreno vegetale.

Il **secondo strato** rappresenta il *bedrock* della zona costituito da calcari mediamente fratturati ed alterati.

Di seguito si riporta una "stratigrafia geologica e geotecnica di sintesi" relativa alla sequenza litostratigrafica locale con l'indicazione dei principali parametri geotecnici. I parametri di rottura calcolati con il criterio di Mohr Coulomb, sono i valori medi tra quelli determinati dall'analisi con il software Roclab e quelli determinati dalla correlazione con i dati di sismica. Ovviamente non sono stati inseriti i parametri della sottile copertura di terreno vegetale, in quanto essa sarà rimossa.

Stratigrafia	descrizione terreno	Peso di Volume naturale (kN/m ³)	Criterio di rottura di Mohr Coulomb		Criterio di rottura di Hoek-Brown				Modulo di deformabilità (Mpa)	Coefficiente di Poisson (ν)	Coefficiente di Winkler k_s (kg/cm ³)	Capacità portante ultima q_u (kPa)	Modulo di Young dinamico (E_{din}) - MPa	Modulo di Young statico (E_s) - MPa
			Coesione (kPa)	Angolo di resistenza al taglio ($^\circ$)	mb	s	a	Resistenza a compr. monoassiale roccia (σ_{ci}) - MPa						
	Terreno vegetale e/o "terre rosse" residuali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calcari da mediamente a molto fratturati	24	60÷80	32°÷34°	0,739	0,0004	0,522	20	1100	0,30	9÷10	300÷350	7000	175

Per quanto riguarda i parametri di coesione ed angolo di attrito determinati con il criterio di rottura di Mohr Coulomb, considerando che l'analisi sismica ha evidenziato una differenza di qualità della roccia nel sito di realizzazione dell'impianto di sollevamento e in quello del serbatoio di accumulo, in tabella sono stati inseriti un *range* di valori per essi; si consiglia l'utilizzo del valore più basso per le opere relative al serbatoio di accumulo e quello più alto per le opere relative all'impianto di sollevamento ovvero un valore medio per entrambe le opere.

14.1. Incertezze nel modello stratigrafico ricostruito

In considerazione della tipologia di depositi presenti, dei riscontri derivanti dal rilievo di superficie, dai sondaggi sismici eseguiti *in loco* e di tutti gli studi e le pubblicazioni esistenti su tali tipologie di terreni, il modello geologico proposto è da ritenersi attendibile.

Potrebbero sussistere modeste incertezze locali, intrinseche con locale stato di fratturazione, che comunque non inficiano la validità generale dello stesso, relativamente alle scelte progettuali effettuate.

15. MODELLO GEOLOGICO-TECNICO AREA TRACCIATO CONDOTTA IN "VALLE CARBONARA"

Sulla base delle indagini sismiche eseguite lungo questo tratto di condotta ed illustrate nel §12.4, integrate con prove penetrometriche dinamiche (DPM) eseguite dallo scrivente nel corso di studi svolti in area negli anni 2011-2012 [Riferimenti: 1) coordinate DPM: 41.724030° N - 15.923095° E); 2) coordinate DPM: 41.720514° N - 15.930556° E); 3) coordinate DPM: 41.719541° N - 15.924183° E)], è possibile indicare il sottostante modello geologico-tecnico di riferimento.

Stratigrafia	Spessore (m)	descrizione terreno	Peso di Volume naturale (kN/m ³)	Coesione (kPa)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coefficiente di Poisson (σ)	Coefficiente di Winkler k_s (kg/cm ³)	Modulo di Young dinamico (E_{din}) - MPa	Modulo di Young statico (E_s) - MPa
	0,5÷1,5	Terreno vegetale	17	-	18°	0,42	-	59	4
	2÷10	Depositi detritici e/o colluviali (terre rosse)	19	20	25°÷29°	0,43	3÷4	292	21
	-	Calcari molto fratturati	23	40÷60	32°÷33°	0,36	8÷9	1459	99

16. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO

La normativa sismica italiana, D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento della «Norme Tecniche per le Costruzioni», la normativa tecnica europea (Eurocodici EC 7 e EC 8) e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni).

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio V_s degli strati di terreno presenti nel sito, secondo quanto richiesto dalle sopra citate normative. Il profilo delle onde di taglio V_s risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio V_s è possibile determinare una velocità equivalente $V_{s,eq}$ rappresentativa del sito in esame, che consente di classificare il sito come suolo di tipo A, B, C, D, E, secondo la normativa sismica italiana.

Il calcolo viene sviluppato utilizzando la stratigrafia V_s e la seguente formula:

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

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale di N strati, mentre con H si indica la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (di seguito riportata), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>

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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi 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.

Tab. 3.2.II - classificazione dei suoli in base alla $V_{s,eq}$.

Pertanto, per entrambi i siti studiati, caratterizzati da un substrato con velocità $V_s > 800\text{m/s}$ e con una leggera copertura di terreni più scendenti (spessore $< 3\text{m}$), è possibile senz'altro attribuire la **categoria di sottosuolo A**.

17. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

All'interno dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", di cui al D.M. 17 gennaio 2018, la **pericolosità sismica** costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati.

" [...] La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa α_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vr} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione. Ai fini della presente normativa, le **forme spettrali** sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{vr} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- α_g accelerazione orizzontale massima al sito
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per valori di α_g , F_o , T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti".

La pericolosità sismica sopra descritta è da intendersi come **pericolosità sismica di base**, derivante da studi condotti a livello nazionale, che hanno portato alla realizzazione del **reticolo o griglia di riferimento**. Individuata, per un determinato tempo di ritorno **TR (intervallo di riferimento)**,

l'azione sismica di base, l'azione sismica di progetto viene ottenuta tenendo in considerazione la risposta sismica locale del sito in esame, ossia degli effetti di amplificazione sismica locale sopra esposti.

17.1. Analisi di pericolosità sismica di base per l'impianto di sollevamento

Di seguito si riportano i risultati di analisi di pericolosità sismica di base calcolati in base alle coordinate geografiche del sito in esame ed impostando una categoria di sottosuolo di tipo **A** (determinata dalla indagine sismica eseguita *in situ*) e una categoria topografica **T1**.

Per l'area relativa all'impianto di sollevamento, con riferimento alla immagine sottostante e considerando che ai fini dell'amplificazione topografica le creste (o dorsali) si ritengono significative solo se hanno larghezza alla sommità sensibilmente inferiore rispetto alla base, è verosimile l'utilizzo della categoria topografica **T1**. Lo strutturista, in ogni caso, potrà confermare tale ipotesi, utilizzare (a vantaggio della sicurezza) una diversa categoria topografica ovvero predisporre una specifica analisi di risposta sismica locale (§ 3.2.2. NTC2018).

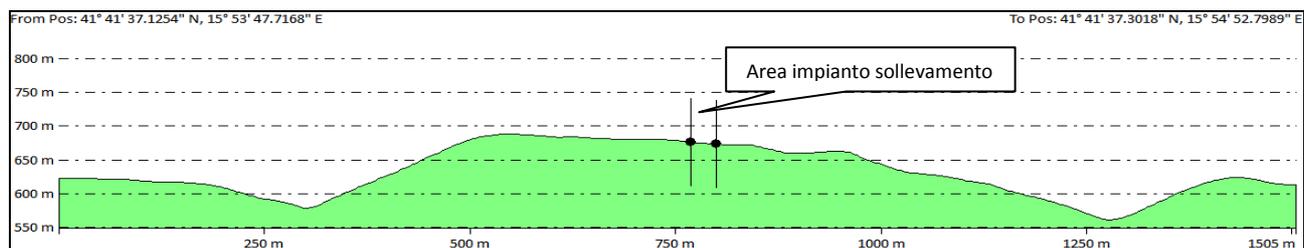


Fig. 35 - Profilo topografico dell'area dell'impianto di sollevamento

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 41,694544
longitudine: 15,906888
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	29229	41,7097	15,9016	1737,865
Sito 2	29230	41,7082	15,9686	5342,534
Sito 3	29452	41,6583	15,9666	6395,767
Sito 4	29451	41,6597	15,8997	3920,918

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **A**
Categoria topografica: **T1**
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,476

Tc*: 0,274 [s]

Danno (SLD):
 Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,074 g
 Fo: 2,495
 Tc*: 0,285 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
 Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,206 g
 Fo: 2,448
 Tc*: 0,326 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
 Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,272 g
 Fo: 2,427
 Tc*: 0,338 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,000
 Kh: 0,011
 Kv: 0,006
 Amax: 0,546
 Beta: 0,200

SLD:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,000
 Kh: 0,015
 Kv: 0,007
 Amax: 0,723
 Beta: 0,200

SLV:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,000
 Kh: 0,062
 Kv: 0,031
 Amax: 2,017
 Beta: 0,300

SLC:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,000
 Kh: 0,082
 Kv: 0,041
 Amax: 2,665
 Beta: 0,300

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
 Geostru

Coordinate WGS84
 latitudine: 41.693576
 longitudine: 15.906042

17.2. Analisi di pericolosità sismica di base per il serbatoio di accumulo

Di seguito si riportano i risultati di analisi di pericolosità sismica di base calcolati in base alle coordinate geografiche del sito in esame ed impostando una categoria di sottosuolo di tipo **A** (determinata dalla indagine sismica eseguita *in situ*) e una categoria topografica **T1**.

Per l'area relativa al serbatoio di accumulo, con riferimento alla immagine sottostante, considerando che il versante in direzione ovest rispetto all'area di costruzione del serbatoio di accumulo ha una pendenza media di circa 10°, è verosimile l'utilizzo della categoria topografica **T1**.

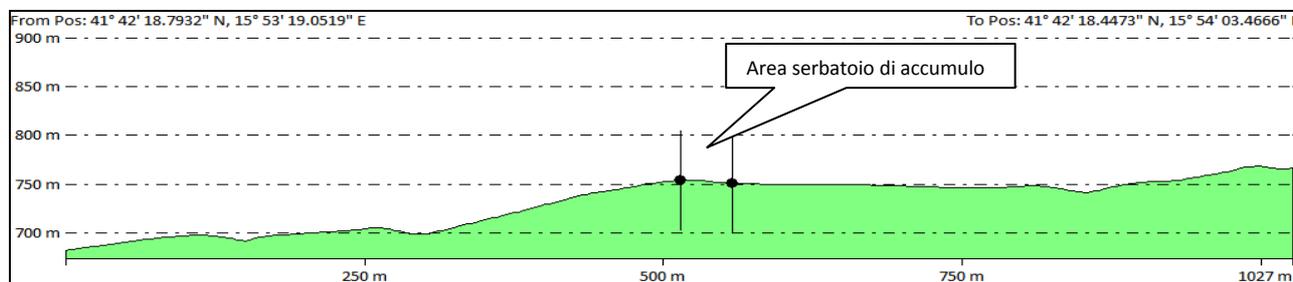


Fig. 36 - Profilo topografico dell'area dell'impianto di sollevamento

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 41,7061292152676
longitudine: 15,8958751371586
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 29228	Lat: 41,7111	Lon: 15,8347	Distanza: 5107,738
Sito 2 ID: 29229	Lat: 41,7097	Lon: 15,9016	Distanza: 618,418
Sito 3 ID: 29451	Lat: 41,6597	Lon: 15,8997	Distanza: 5173,719
Sito 4 ID: 29450	Lat: 41,6611	Lon: 15,8329	Distanza: 7245,457

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **A**
Categoria topografica: **T1**
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,478
Tc*: 0,274 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,074 g
Fo: 2,496
Tc*: 0,285 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,207 g
Fo: 2,446
Tc*: 0,326 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,273 g
Fo: 2,426
Tc*: 0,338 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO: Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,000
Kh: 0,011
Kv: 0,006
Amax: 0,548
Beta: 0,200

SLD: Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,000
Kh: 0,015
Kv: 0,007
Amax: 0,727
Beta: 0,200

SLV: Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,000
Kh: 0,062
Kv: 0,031
Amax: 2,026
Beta: 0,300

SLC: Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,000
Kh: 0,082
Kv: 0,041
Amax: 2,676
Beta: 0,300

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 41.705161
longitudine: 15.895029

18. DESCRIZIONE PROGETTO E COMPATIBILITÀ PAI

Il progetto in esame riguarda la realizzazione di un acquedotto rurale in agro del Comune di Monte Sant'Angelo (FG).

Le opere in progetto sono:

1. una condotta idrica, con sviluppo di circa 14.000ml;
2. un impianto di sollevamento;
3. un serbatoio di accumulo.

Come si evince dalla figura sottostante, il tracciato della condotta "interseca" aree a pericolosità geomorfologica "media e moderata" (PG1) per circa 3500ml e a pericolosità geomorfologica "elevata" (PG2) per circa 64ml. Tutte le opere ingegneristiche (impianto di sollevamento e serbatoio di accumulo) non sono localizzate in aree a pericolosità geomorfologica.

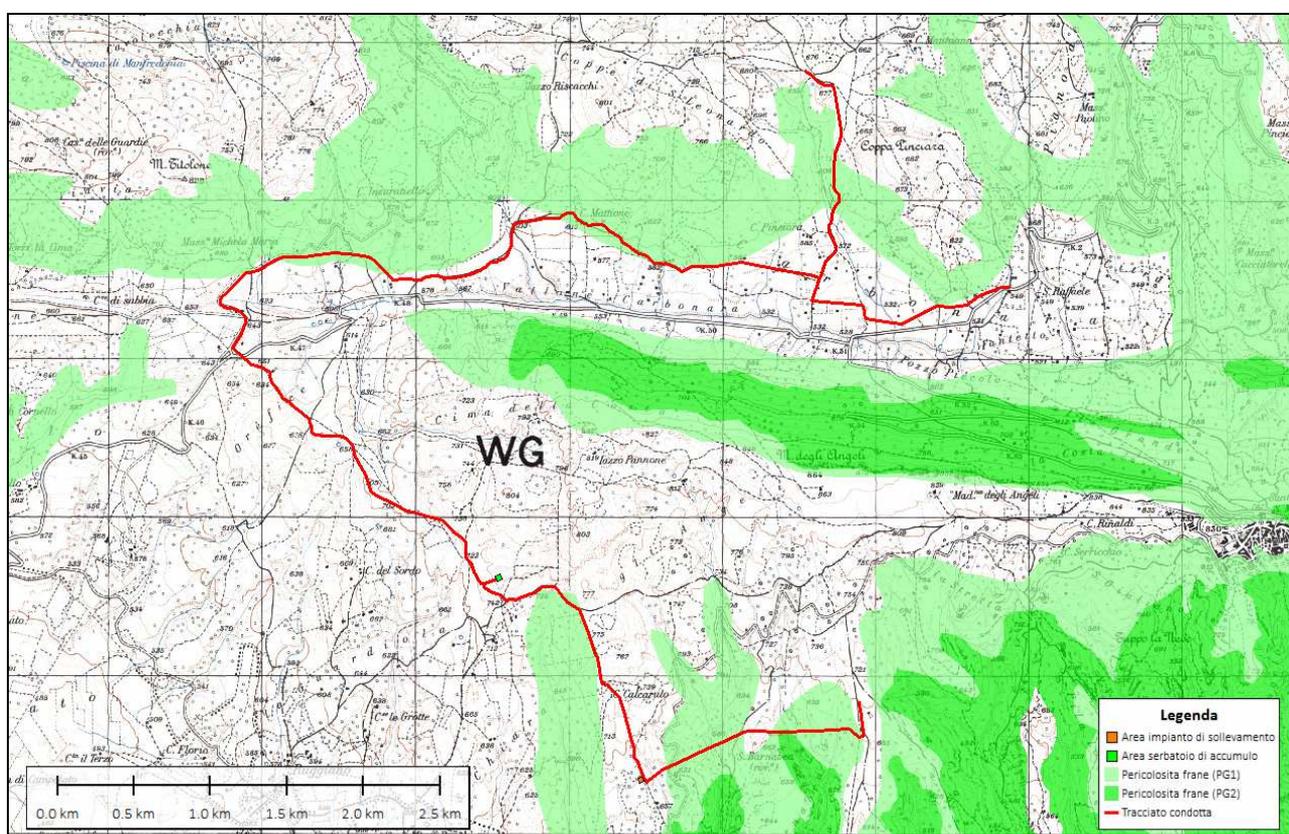


Fig. 37 – pericolosità geomorfologica Autorità di Bacino

Dal punto di vista del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del ex Autorità di Bacino della Puglia (ora Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Sede Puglia), il sito oggetto di intervento, come già detto, risulta classificato come "ZONA P.G. 1", ovvero "zona a pericolosità geomorfologica media e moderata" e in piccolissima parte (soli 64ml) come "ZONA P.G. 2", ovvero "zona a pericolosità geomorfologica elevata".

I regimi di tutela imposti dal P.A.I., per le aree "P.G. 1" e "P.G. 2", sono esplicitati negli artt. nn. 14 e 15 delle NTA, che recitano come segue:

ARTICOLO 14 Interventi consentiti nelle aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2)

- 1 Nelle aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2), oltre agli interventi di cui all'articolo precedente e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:
 - a) gli ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile senza che si costituiscano nuove unità immobiliari nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, purché corredati da un adeguato studio geologico e geotecnico da cui risulti la compatibilità con le condizioni di pericolosità che gravano sull'area.
 - b) Ulteriori tipologie di intervento sono consentite a condizione che venga dimostrata da uno studio geologico e geotecnico la compatibilità dell'intervento con le condizioni di pericolosità dell'area ovvero che siano preventivamente realizzate le opere di consolidamento e di messa in sicurezza, con superamento delle condizioni di instabilità, relative al sito interessato. Detto studio e i progetti preliminari delle opere di consolidamento e di messa in sicurezza dell'area sono soggetti a parere vincolante da parte dell'Autorità di Bacino secondo quanto previsto agli artt. 12, 24, 25 e 26 in materia di aggiornamento dal PAI. Qualora le opere di consolidamento e messa in sicurezza siano elemento strutturale sostanziale della nuova edificazione, è ammessa la contestualità. In tal caso, nei provvedimenti autorizzativi ovvero in atti unilaterali d'obbligo, ovvero in appositi accordi laddove le Amministrazioni competenti lo ritengano necessario, dovranno essere indicate le prescrizioni necessarie (procedure di adempimento, tempi, modalità, ecc.) nonché le condizioni che possano pregiudicare l'abitabilità o l'agibilità.
2. Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che ne analizzi compiutamente gli effetti sulla stabilità dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a) e b) del presente articolo.

Autorità di Bacino della Puglia - Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico

ARTICOLO 15 Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)

1. Nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.
2. Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che ne analizzi compiutamente gli effetti sulla stabilità dell'area interessata.

La potenziale pericolosità geomorfologica discende dalle pendenze in gioco che qualora considerevoli e, soprattutto, con presenza di terreni in affioramento poco coerenti, potrebbe sviluppare azioni destabilizzanti.

Nel presente caso, però, i litotipi in affioramento sono rappresentati da **Formazioni calcaree** localmente coperte da uno strato di terreno vegetale, le pendenze in gioco non sono elevate e, soprattutto, l'opera a realizzarsi è una condotta idrica, attestata a circa 1,5m dal p.c..

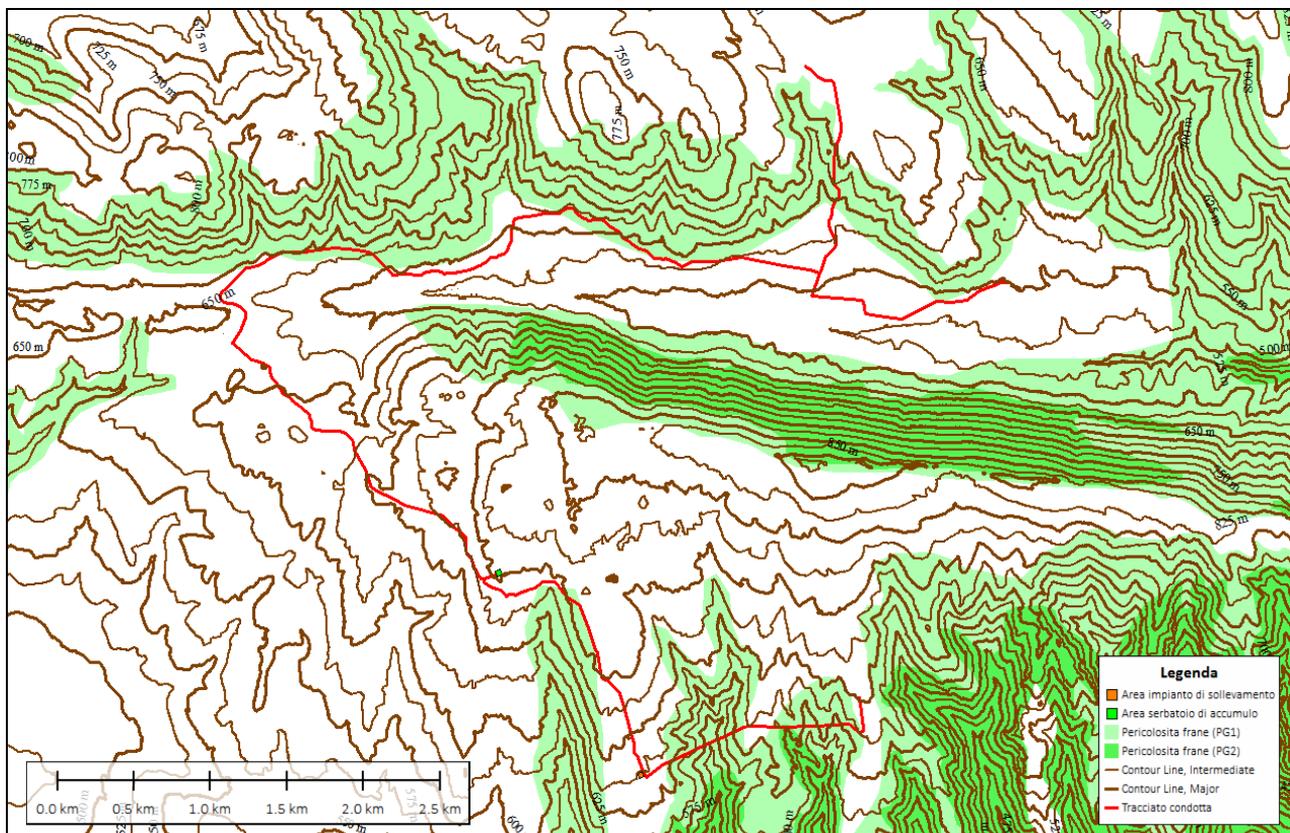


Fig. 38 – curve di livello generate dal DTM dell'area

In Fig. 38 si riportano le curve di livello generate dal Lidar dell'area; da essa si evince che solo in tre zone il tracciato della condotta ha pendenze più accentuate: in località "S. Barnabea" e lungo la strada comunale "Cerrosaldo"; negli altri tratti la condotta si snoda quasi parallelamente alle curve di livello con pendenze, di conseguenza, modeste.

Per quanto detto e per la tipologia di opera a realizzarsi, si eseguirà solamente una analisi di stabilità del versante a maggiore pendenza e cioè quello ricadente in zona PG2. Se la verifica risulterà soddisfatta, anche gli altri tratti in zone PG1 con pendenze inferiori, potranno essere considerati, di conseguenza, verificati.

18.1. Analisi di stabilità del versante

Per analizzare la generale condizione di stabilità dell'area si è eseguita una verifica di stabilità lungo il tracciato della condotta passante sul versante interessato da pericolosità geomorfologica elevata (PG2) che è anche il versante a maggior pendenza morfologica.

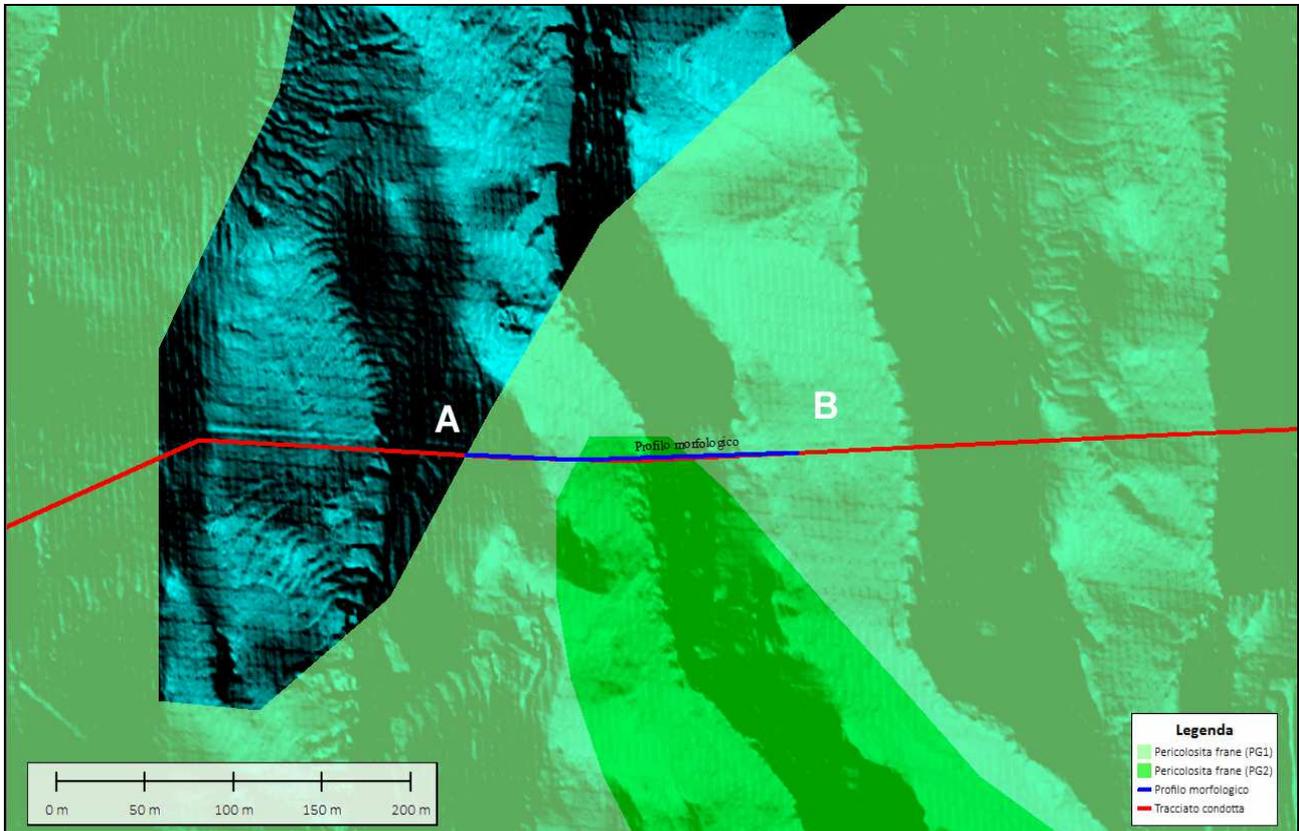


Fig. 39 – traccia su DEM della sezione analizzata

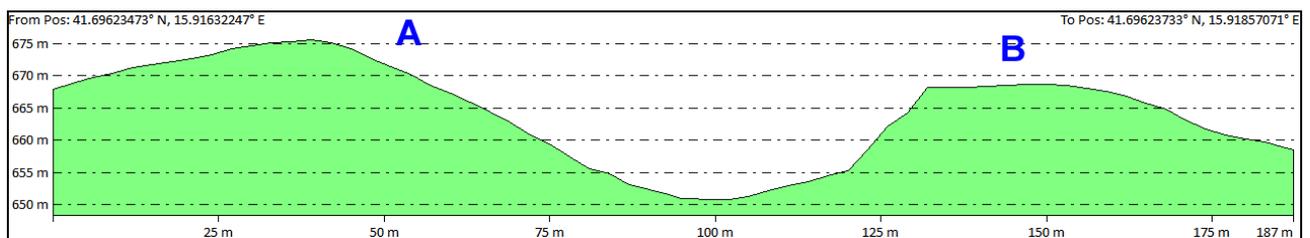


Fig. 40 – profilo morfologico indicato in Fig. 37

Per semplicità, trattandosi di litotipi calcarei e di pendenze medie non eccessive (dell'ordine di 25°), è stata eseguita l'analisi di stabilità esclusivamente in condizioni dinamiche agli SLU per la configurazione attuale/di progetto, visto che la condotta comporterà trascurabili variazioni dei carichi agenti sul versante stesso.

Trattandosi di materiali rocciosi sono state eseguite due simulazioni:

1) la prima, considerando il pendio in roccia ed utilizzando il Metodo di Hoek e Bray, successivamente descritto, che utilizza l'RMR di Bieniawski per calcolare i parametri di coesione e angolo di attrito della roccia;

2) la seconda, considerando il pendio in terra ed utilizzando i parametri di coesione ed angolo di attrito della roccia, così come calcolati nel presente studio e riportati nel § 14.

18.2. Metodo di analisi per pendii in roccia (Metodo di Hoek & Bray)

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia col metodo di Hoek & Brown viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\operatorname{tg}\varphi = AB \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1}$$

$$c = A\sigma_c \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N\operatorname{tg}\varphi$$

dove:

σ_c è la resistenza a compressione monoassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (riportati in tab. 3);

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i due sistemi di classificazione, sulla base di 111 esempi analizzati, è stata trovata la seguente correlazione:

$$\operatorname{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

	Calcari Dolomie Marne	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti
RMR = 100 Q = 500	A = 0.816 B = 0.658 T = -0.140	A = 0.918 B = 0.677 T = -0.099	A = 1.044 B = 0.692 T = -0.067	A = 1.086 B = 0.696 T = -0.059	A = 1.220 B = 0.705 T = -0.040
RMR = 85 Q = 100	A = 0.651 B = 0.679 T = -0.028	A = 0.739 B = 0.692 T = -0.020	A = 0.848 B = 0.702 T = -0.013	A = 0.883 B = 0.705 T = -0.012	A = 0.998 B = 0.712 T = -0.008
RMR = 65 Q = 10	A = 0.369 B = 0.669 T = -0.006	A = 0.427 B = 0.683 T = -0.004	A = 0.501 B = 0.695 T = -0.003	A = 0.525 B = 0.698 T = -0.002	A = 0.603 B = 0.707 T = -0.002
RMR = 44 Q = 1	A = 0.198 B = 0.662 T = -0.0007	A = 0.234 B = 0.675 T = -0.0005	A = 0.280 B = 0.688 T = -0.0003	A = 0.295 B = 0.691 T = -0.003	A = 0.346 B = 0.700 T = -0.0002
RMR = 23 Q = 0.1	A = 0.115 B = 0.646 T = -0.0002	A = 0.129 B = 0.655 T = -0.0002	A = 0.162 B = 0.672 T = -0.0001	A = 0.172 B = 0.676 T = -0.0001	A = 0.203 B = 0.686 T = -0.0001
RMR = 3 Q = 0.01	A = 0.042 B = 0.534 T = 0	A = 0.050 B = 0.539 T = 0	A = 0.061 B = 0.546 T = 0	A = 0.065 B = 0.548 T = 0	A = 0.078 B = 0.556 T = 0

Tab. 4 – parametri geotecnici utilizzati nel calcolo: in rosso i parametri per la formazione calcarea e in verde quelli per i materiali del terrapieno.

18.3. Elaborazione analisi pendio in roccia

Sezione1 – situazione attuale/futura

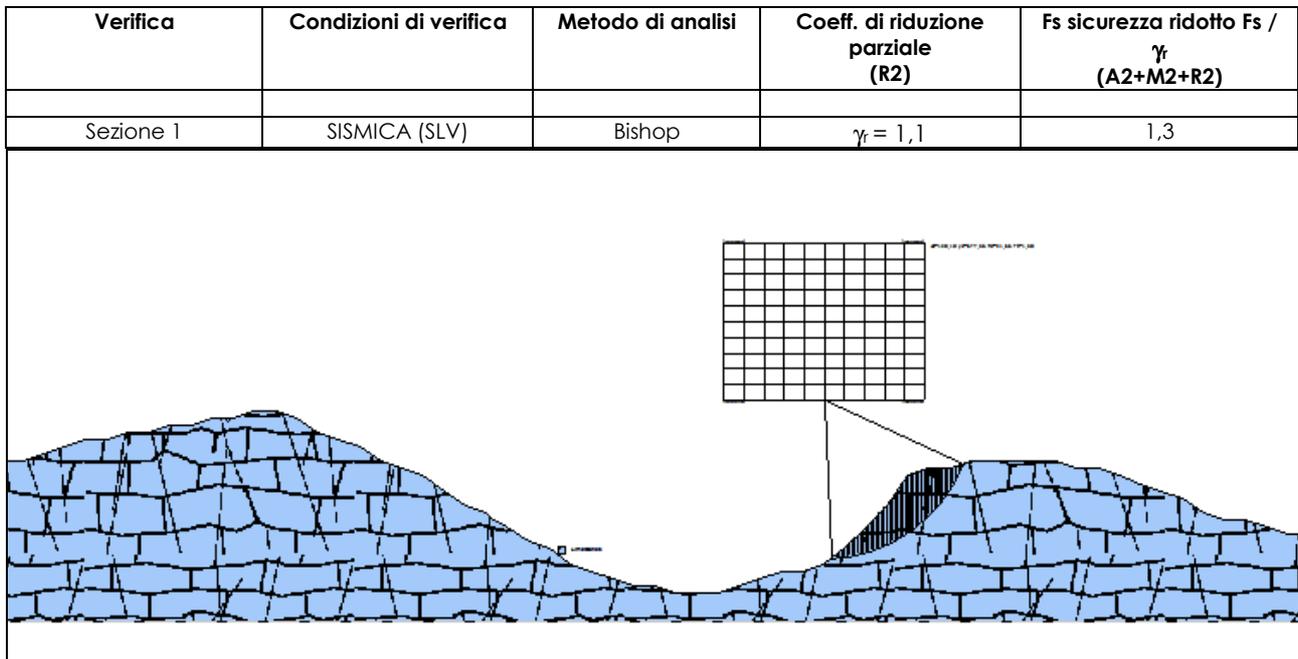


FIGURA 41 – RISULTATI VERIFICHE DI STABILITÀ ALLO SLV IN CONDIZIONI PSEUDO-STATICHE APPLICANDO IL METODO DI BISHOP (FS MIN. 1,3)

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	41,693576/15,906042
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	50,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	105,85 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	677,36 m
Ascissa vertice destro superiore xs	134,34 m
Ordinata vertice destro superiore ys	698,99 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,55	2,48	0,27
S.L.D.	50,0	0,73	2,5	0,29
S.L.V.	475,0	2,02	2,45	0,33
S.L.C.	975,0	2,67	2,43	0,34

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,55	0,2	0,0112	0,0056
S.L.D.	0,73	0,2	0,0149	0,0074
S.L.V.	2,02	0,3	0,0618	0,0309
S.L.C.	2,67	0,3	0,0817	0,0408

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,062

Coefficiente azione sismica verticale

0,031

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	668,0
2	3,0	669,0
3	6,0	669,0
4	9,0	670,0
5	12,0	671,0
6	15,0	672,0
7	18,0	672,0
8	21,0	673,0
9	24,0	673,0
10	27,0	674,0
11	30,0	674,0
12	33,0	675,0
13	36,0	675,0
14	39,0	676,0
15	42,0	676,0
16	45,0	675,0
17	48,0	673,0
18	51,0	672,0
19	54,0	671,0
20	57,0	669,0
21	60,0	668,0
22	63,0	667,0
23	66,0	665,0
24	69,0	663,0
25	72,0	662,0
26	73,0	661,0
27	75,0	660,0
28	78,0	658,0
29	81,0	657,0
30	84,0	655,0
31	87,0	654,0
32	90,0	653,0
33	93,0	652,0
34	96,0	652,0
35	99,0	651,0
36	102,0	651,0
37	105,0	651,0
38	108,0	652,0
39	111,0	653,0
40	114,0	654,0
41	117,0	654,0
42	120,0	655,0
43	123,0	657,0
44	126,0	660,0
45	129,0	663,0
46	132,0	667,0
47	135,0	668,0
48	138,0	668,0
49	141,0	669,0
50	141,0	669,0
51	144,0	669,0
52	147,0	669,0
53	150,0	669,0
54	153,0	669,0
55	156,0	668,0
56	159,0	668,0
57	162,0	667,0
58	165,0	666,0
59	168,0	665,0
60	171,0	664,0
61	174,0	662,0
62	177,0	661,0
63	180,0	661,0
64	183,0	660,0
65	186,0	659,0
66	188,0	659,0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0
 Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,25
 Coesione efficace 1,25
 Coesione non drenata 1,4
 Riduzione parametri geotecnici terreno Si

Stratigrafia

Strato	Peso unità di volume (kN/m³)	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kN/m²)	Texture	Descrizione
1	24	0,176	0,659	-0,00046	20000		Limestones

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato 1,3
 Ascissa centro superficie 120,1 m
 Ordinata centro superficie 677,36 m
 Raggio superficie 21,66 m

xc = 120,096 yc = 677,36 Rc = 21,66 Fs=1,30

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,38	3,1	0,38	107,33	6,65	3,33	17,94	49,4	0,0	78,1	546,6
2	0,38	4,1	0,38	317,03	19,66	9,83	18,68	45,7	0,0	268,3	695,8
3	0,38	5,2	0,38	520,66	32,28	16,14	19,62	43,2	0,0	448,5	823,5
4	0,38	6,0	0,38	718,14	44,52	22,26	20,6	41,2	0,0	622,8	938,2
5	0,41	7,2	0,41	995,12	61,7	30,85	21,61	39,6	0,0	859,9	1132,7
6	0,34	8,2	0,35	1057,49	65,56	32,78	22,82	38,0	0,0	915,0	1067,3
7	0,38	9,1	0,38	1437,4	89,12	44,56	24,24	36,4	0,0	1246,1	1303,3
8	0,38	10,1	0,38	1725,93	107,01	53,5	25,65	35,1	0,0	1496,5	1436,1
9	0,38	11,2	0,38	2007,97	124,49	62,25	26,98	34,0	0,0	1739,2	1559,6
10	0,38	12,2	0,39	2283,74	141,59	70,8	28,23	33,1	0,0	1975,1	1675,7
11	0,38	13,2	0,39	2552,99	158,29	79,14	29,4	32,3	0,0	2204,1	1785,3
12	0,38	14,2	0,39	2815,66	174,57	87,29	30,5	31,6	0,0	2426,8	1889,2
13	0,39	15,3	0,41	3221,17	199,71	99,86	31,54	31,0	0,0	2770,2	2083,1
14	0,36	16,3	0,37	3171,59	196,64	98,32	32,48	30,5	0,0	2722,7	1987,4
15	0,38	17,4	0,39	3563,64	220,95	110,47	33,33	30,0	0,0	3054,2	2173,0
16	0,38	18,4	0,4	3799,12	235,55	117,77	34,13	29,6	0,0	3251,7	2260,1
17	0,38	19,4	0,4	4027,54	249,71	124,85	34,88	29,3	0,0	3445,3	2344,1
18	0,38	20,5	0,4	4248,87	263,43	131,71	35,52	29,0	0,0	3629,4	2424,8
19	0,38	21,6	0,41	4462,79	276,69	138,35	36,11	28,7	0,0	3809,5	2502,9
20	0,38	22,6	0,41	4669,08	289,48	144,74	36,64	28,5	0,0	3983,6	2578,5
21	0,38	23,7	0,42	4910,79	304,47	152,23	37,09	28,3	0,0	4188,4	2675,0
22	0,37	24,8	0,41	5072,71	314,51	157,25	37,69	28,0	0,0	4331,5	2719,9
23	0,38	26,0	0,42	5414,07	335,67	167,84	38,37	27,8	0,0	4632,2	2853,3
24	0,38	27,0	0,42	5704,36	353,67	176,84	39,04	27,5	0,0	4893,9	2960,2
25	0,38	28,1	0,43	5986,35	371,15	185,58	39,59	27,3	0,0	5149,4	3065,5
26	0,38	29,3	0,43	6258,95	388,05	194,03	40,0	27,1	0,0	5398,3	3169,6
27	0,38	30,4	0,44	6522,68	404,41	202,2	40,42	27,0	0,0	5643,7	3270,4
28	0,38	31,6	0,44	6777,07	420,18	210,09	40,67	26,9	0,0	5882,6	3371,9
29	0,37	32,7	0,43	6812,29	422,36	211,18	40,89	26,8	0,0	5933,7	3367,4
30	0,39	34,0	0,47	7281,41	451,45	225,72	40,44	27,0	0,0	6347,5	3611,0
31	0,38	35,2	0,46	6948,39	430,8	215,4	39,51	27,3	0,0	6045,0	3484,6
32	0,38	36,4	0,47	6813,93	422,46	211,23	38,54	27,7	0,0	5915,2	3459,5
33	0,38	37,7	0,48	6667,32	413,37	206,69	37,52	28,1	0,0	5773,9	3431,1
34	0,38	38,9	0,48	6508,78	403,54	201,77	36,47	28,6	0,0	5621,0	3399,1
35	0,38	40,2	0,49	6337,66	392,94	196,47	35,38	29,0	0,0	5455,5	3363,2
36	0,38	41,6	0,5	6152,47	381,45	190,73	34,22	29,6	0,0	5275,8	3324,4
37	0,35	42,8	0,48	5558,65	344,64	172,32	33,14	30,1	0,0	4744,8	3057,9
38	0,4	44,2	0,56	6066,85	376,14	188,07	31,79	30,8	0,0	5138,8	3418,9
39	0,38	45,6	0,54	5325,81	330,2	165,1	30,3	31,7	0,0	4456,7	3090,5
40	0,38	47,1	0,55	4960,84	307,57	153,79	28,79	32,7	0,0	4089,6	2972,8
41	0,38	48,6	0,57	4576,84	283,76	141,88	27,32	33,7	0,0	3700,5	2839,5
42	0,38	50,1	0,59	4172,18	258,68	129,34	25,86	34,9	0,0	3287,9	2690,2
43	0,38	51,7	0,61	3744,11	232,14	116,07	24,42	36,2	0,0	2849,3	2521,0
44	0,38	53,4	0,63	3290,78	204,03	102,01	23,03	37,8	0,0	2383,6	2328,3
45	0,38	55,1	0,66	2808,96	174,16	87,08	21,71	39,5	0,0	1889,3	2106,6

46	0,38	56,8	0,69	2365,07	146,63	73,32	20,59	41,2	0,0	1432,2	1889,4
47	0,38	58,7	0,73	1929,74	119,64	59,82	19,64	43,1	0,0	984,0	1660,2
48	0,38	60,7	0,77	1451,02	89,96	44,98	18,81	45,3	0,0	496,7	1385,0
49	0,38	62,8	0,82	920,73	57,09	28,54	18,2	47,7	0,0	-26,4	1049,0
50	0,38	65,1	0,9	326,76	20,26	10,13	17,85	50,4	0,0	-595,2	636,1

18.4. Elaborazione analisi pendio in terra

Sezione1 – situazione attuale/futura

Verifica	Condizioni di verifica	Metodo di analisi	Coeff. di riduzione parziale (R2)	Fs sicurezza ridotto Fs / γ_r (A2+M2+R2)
Sezione 1	SISMICA (SLV)	Morgenstern-Price	$\gamma_r = 1,1$	1,88

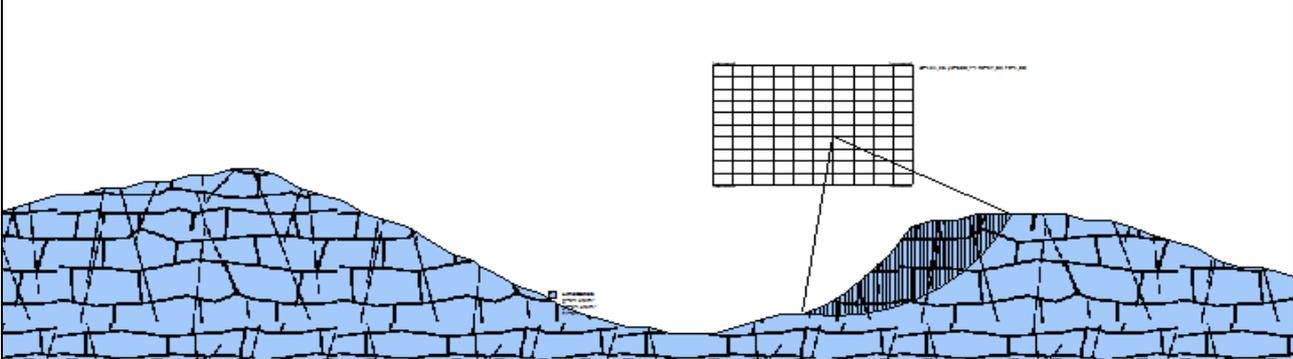


FIGURA 42 – RISULTATI VERIFICHE DI STABILITÀ ALLO SLV IN CONDIZIONI PSEUDO-STATICHE APPLICANDO IL METODO DI MORGENSTERN-PRICE (FS MIN. 1,88)

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)

Lat./Long.	41,693576/15,906042
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	50,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	104,7 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	673,48 m
Ascissa vertice destro superiore xs	132,3 m
Ordinata vertice destro superiore ys	691,62 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
----------------------	-------------------------------	---------------------------	-----------	--------------

S.L.O.	30,0	0,55	2,48	0,27
S.L.D.	50,0	0,73	2,5	0,29
S.L.V.	475,0	2,02	2,45	0,33
S.L.C.	975,0	2,67	2,43	0,34

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,55	0,2	0,0112	0,0056
S.L.D.	0,73	0,2	0,0149	0,0074
S.L.V.	2,02	0,3	0,0618	0,0309
S.L.C.	2,67	0,3	0,0817	0,0408

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,062

Coefficiente azione sismica verticale

0,031

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	668,0
2	3,0	669,0
3	6,0	669,0
4	9,0	670,0
5	12,0	671,0
6	15,0	672,0
7	18,0	672,0
8	21,0	673,0
9	24,0	673,0
10	27,0	674,0
11	30,0	674,0
12	33,0	675,0
13	36,0	675,0
14	39,0	676,0
15	42,0	676,0
16	45,0	675,0
17	48,0	673,0
18	51,0	672,0
19	54,0	671,0
20	57,0	669,0
21	60,0	668,0
22	63,0	667,0
23	66,0	665,0
24	69,0	663,0
25	72,0	662,0
26	73,0	661,0
27	75,0	660,0
28	78,0	658,0
29	81,0	657,0
30	84,0	655,0
31	87,0	654,0
32	90,0	653,0
33	93,0	652,0
34	96,0	652,0
35	99,0	651,0
36	102,0	651,0
37	105,0	651,0
38	108,0	652,0
39	111,0	653,0
40	114,0	654,0
41	117,0	654,0
42	120,0	655,0
43	123,0	657,0
44	126,0	660,0
45	129,0	663,0
46	132,0	667,0
47	135,0	668,0
48	138,0	668,0
49	141,0	669,0
50	141,0	669,0
51	144,0	669,0
52	147,0	669,0
53	150,0	669,0
54	153,0	669,0
55	156,0	668,0
56	159,0	668,0
57	162,0	667,0
58	165,0	666,0
59	168,0	665,0
60	171,0	664,0
61	174,0	662,0

62	177,0	661,0
63	180,0	661,0
64	183,0	660,0
65	186,0	659,0
66	188,0	659,0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia
1	80		34	24	24	Limestones 

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,88
Ascissa centro superficie	121,26 m
Ordinata centro superficie	680,74 m
Raggio superficie	27,02 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

xc = 121,258 yc = 680,739 Rc = 27,021 Fs=1,884
 Lambda = 0,482

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	0,57	-8,15	0,58	191,29
2	0,57	-7,0	0,57	562,21
3	0,57	-5,76	0,57	915,87
4	0,57	-4,6	0,57	1252,5
5	0,61	-3,32	0,61	1692,93
6	0,53	-2,13	0,53	1869,06
7	0,57	-0,93	0,57	2540,15
8	0,57	0,29	0,57	3074,24
9	0,57	1,45	0,57	3591,66
10	0,76	2,92	0,76	5575,18
11	0,38	4,03	0,38	3151,91
12	0,57	5,12	0,57	5351,32
13	0,57	6,35	0,57	6066,11
14	0,57	7,53	0,57	6763,8
15	0,57	8,76	0,58	7444,2
16	0,34	9,71	0,35	4798,75
17	0,8	10,97	0,81	12062,53
18	0,57	12,48	0,58	9380,83
19	0,57	13,68	0,59	9990,91
20	0,57	14,94	0,59	10582,57
21	0,49	16,1	0,51	9646,9
22	0,65	17,37	0,68	13388,12
23	0,57	18,71	0,6	12676,91
24	0,57	20,0	0,61	13456,79
25	0,57	21,26	0,61	14216,6
26	0,65	22,7	0,7	17010,73
27	0,49	23,99	0,54	13320,14
28	0,57	25,24	0,63	15284,02
29	0,57	26,59	0,64	15162,53
30	0,57	27,96	0,64	15018,44
31	0,8	29,6	0,92	20735,46
32	0,34	30,95	0,4	8723,38
33	0,57	32,13	0,67	14144,02
34	0,57	33,58	0,68	13631,41
35	0,57	35,01	0,7	13089,26

36	0,57	36,51	0,71	12517,53
37	0,57	38,04	0,72	11913,02
38	0,57	39,6	0,74	11495,12
39	0,57	41,2	0,76	11084,54
40	0,57	42,79	0,78	10634,56
41	0,57	44,47	0,8	10142,1
42	0,53	46,13	0,77	8968,29
43	0,61	47,88	0,91	9499,68
44	0,57	49,82	0,88	7955,03
45	0,57	51,71	0,92	6983,17
46	0,57	53,71	0,96	5940,77
47	0,57	55,78	1,01	4817,31
48	0,57	58,03	1,08	3599,48
49	0,57	60,37	1,15	2268,61
50	0,57	62,91	1,25	798,01

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	1190,96	2471,9	0,0	0,0	-1332,52	1465,35	0,0
2	2426,74	5036,8	1190,96	2471,9	-959,57	1557,59	0,0
3	3690,91	7660,65	2426,74	5036,8	-576,07	1653,11	0,0
4	4973,85	10323,44	3690,91	7660,65	-198,97	1747,99	0,0
5	6278,96	13032,26	4973,85	10323,44	288,78	1996,99	0,0
6	7561,84	15694,93	6278,96	13032,26	549,04	1813,52	0,0
7	8881,17	18433,26	7561,84	15694,93	1257,64	2121,7	0,0
8	10204,61	21180,12	8881,17	18433,26	1858,95	2278,04	0,0
9	11521,12	23912,59	10204,61	21180,12	2449,43	2432,36	0,0
10	12921,42	26818,97	11521,12	23912,59	4472,55	3563,6	0,0
11	14076,0	29215,35	12921,42	26818,97	2244,55	1779,46	0,0
12	15310,18	31776,95	14076,0	29215,35	4465,07	2963,82	0,0
13	16498,88	34244,14	15310,18	31776,95	5265,71	3176,18	0,0
14	17631,36	36594,65	16498,88	34244,14	6043,6	3383,23	0,0
15	18689,82	38791,54	17631,36	36594,65	6803,59	3586,67	0,0
16	19640,98	40765,71	18689,82	38791,54	4221,92	2194,26	0,0
17	20541,95	42635,71	19640,98	40765,71	11538,33	5559,77	0,0
18	21304,54	44218,52	20541,95	42635,71	8914,87	4158,67	0,0
19	21951,24	45560,75	21304,54	44218,52	9550,99	4333,29	0,0
20	22467,42	46632,11	21951,24	45560,75	10150,01	4499,67	0,0
21	22918,79	47568,95	22467,42	46632,11	9216,26	4019,84	0,0
22	23070,38	47883,59	22918,79	47568,95	12875,12	5480,89	0,0
23	23122,31	47991,37	23070,38	47883,59	12112,52	5047,97	0,0
24	22987,63	47711,83	23122,31	47991,37	12782,41	5237,5	0,0
25	22660,15	47032,13	22987,63	47711,83	13399,3	5413,9	0,0
26	21915,87	45487,35	22660,15	47032,13	15863,43	6335,21	0,0
27	21392,97	44402,05	21915,87	45487,35	12247,61	4890,06	0,0
28	20528,64	42608,09	21392,97	44402,05	13866,28	5593,87	0,0
29	19533,48	40542,59	20528,64	42608,09	13523,6	5527,45	0,0
30	18413,63	38218,28	19533,48	40542,59	13138,99	5452,28	0,0
31	16302,56	33836,68	18413,63	38218,28	17625,76	7477,5	0,0
32	15850,42	32898,23	16302,56	33836,68	7339,71	3166,69	0,0
33	14456,0	30004,06	15850,42	32898,23	11524,18	5119,16	0,0
34	13019,04	27021,59	14456,0	30004,06	10788,35	4962,49	0,0
35	11559,4	23992,04	13019,04	27021,59	10044,79	4805,78	0,0
36	10090,79	20943,87	11559,4	23992,04	9278,91	4647,96	0,0
37	8631,41	17914,87	10090,79	20943,87	8501,68	4491,45	0,0
38	7154,64	14849,76	8631,41	17914,87	7861,92	4375,35	0,0
39	5668,03	11764,24	7154,64	14849,76	7232,93	4267,51	0,0
40	4192,96	8702,67	5668,03	11764,24	6601,62	4163,44	0,0
41	2747,93	5703,45	4192,96	8702,67	5952,42	4063,6	0,0
42	1524,06	3163,25	2747,93	5703,45	5023,34	3720,69	0,0
43	88,35	183,38	1524,06	3163,25	4884,5	4128,7	0,0
44	-986,65	-2047,84	88,35	183,38	3903,61	3797,03	0,0
45	-1822,47	-3782,62	-986,65	-2047,84	3278,27	3748,54	0,0
46	-2365,3	-4909,28	-1822,47	-3782,62	2741,69	3744,79	0,0
47	-2549,14	-5290,84	-2365,3	-4909,28	2334,25	3797,53	0,0
48	-2291,46	-4756,03	-2549,14	-5290,84	2092,74	3933,41	0,0
49	-1488,73	-3089,93	-2291,46	-4756,03	2085,48	4171,62	0,0
50	-1,1	-2,29	-1488,73	-3089,93	2401,91	4564,28	0,0

18.5. Analisi dei risultati

Lo studio di stabilità della sezione evidenzia valori di coefficienti di sicurezza ampiamente superiori all'unità.

Pertanto, considerando che:

- il modello geologico e geotecnico dell'area è abbastanza semplice;
- i parametri geotecnici della formazione calcarea sono stati determinati dallo studio geomeccanico di pareti rocciose presenti in zona e da correlazioni sperimentali tra le Vs e il parametro RMR di Bieniawski;
- a vantaggio della sicurezza, nel programma di calcolo utilizzato per le analisi di stabilità (Slope della Geostru) sono stati inseriti parametri geotecnici più restrittivi di quelli reali;

si ritiene che i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle analisi di stabilità siano sufficientemente adeguati.

Pertanto l'analisi delle condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito d'interesse, alla luce di quanto riportato nei capitoli precedenti, consente di affermare che l'area è:

- stabile per posizione nelle condizioni attuali;
- non interessata da fenomeni erosivi intensi, da frane o da instabilità del suolo o del sottosuolo;
- senza segni di ulteriori pericolosità geologiche diverse in relazione all'intervento realizzato.

Quindi si può concludere dicendo che l'intervento di progetto non incide negativamente sugli equilibri idrogeologici dell'area poiché non determina apprezzabili turbative degli assetti geomorfologici, idrogeologici o geotecnici dei terreni presenti. Trattasi di intervento dunque compatibile con gli attuali assetti geomorfologici del sito.

Alla luce di quanto sopra si conclude, per il presente intervento, con un giudizio positivo di compatibilità geologica e geotecnica al P.A.I..

19. VERIFICA PRESENZA CAVITÀ CARSIICHE

In questa fase di studio non si sono eseguite verifiche "strumentali" della eventuale presenza di cavità carsiche essenzialmente per la scarsa accessibilità ai luoghi.

Considerando che le aree interessate dalle opere strutturali mostrano evidenze di fenomeni carsici riconducibili essenzialmente alla presenza di "campi di pietre" e doline, si prescrive che in fase esecutiva o prima dell'inizio dei lavori vengano eseguite, in entrambi i siti, indagini dirette e/o indirette programmate *ad hoc* per la verifica di tali eventuali evenienze.

20. INTERPRETAZIONE SULLA ESCAVABILITÀ IN RELAZIONE ALL'INDAGINE SISMICA

Comparando la velocità delle onde P e il grado di scavabilità delle formazioni interessate dall'indagine, si può ipotizzare la metodica di scavo con l'utilizzo di mezzi di adeguata potenza.

Esiste, infatti, una significativa correlazione tra la velocità con cui le onde sismiche attraversano la roccia e l'efficienza di scavo delle macchine per il movimento terra. Nella Fig. 43 si evince che con l'utilizzo di un escavatore con pala a cucchiaio l'escavabilità dei terreni è possibile, indipendentemente dalla formazione, per quei sismostrati che hanno velocità massime di 900 m/sec. Oltre questa velocità e per valori massimi di 1.400 m/sec si deve obbligatoriamente fare utilizzo di martelloni pneumatici, indipendentemente dalle geometrie della sezione di scavo.

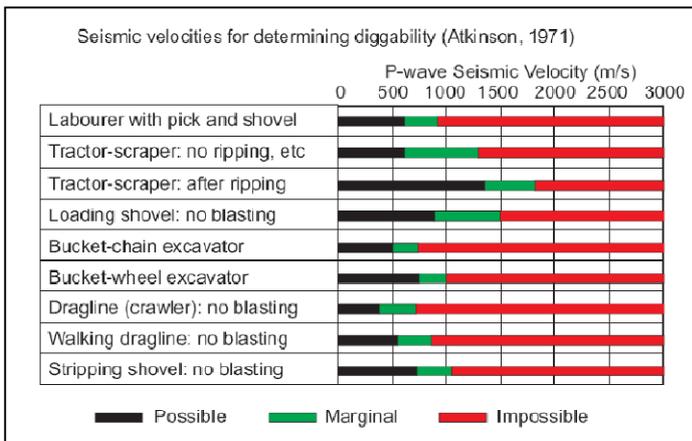


Fig. 43 - Velocità sismiche per la determinazione della rippabilità

Una ricerca approfondita nella letteratura internazionale, ha permesso di rintracciare correlazioni alternative che, nella pratica risultano molto realistiche, soprattutto considerate le attrezzature normalmente utilizzate nelle nostre zone. Esse sono riportate nelle tabelle seguenti e sono quelle utilizzate per le valutazioni successive, permettendo la divisione degli ammassi rocciosi presenti nelle aree indagate nelle seguenti classi:

- $V_p < 600$ m/s: ammasso roccioso scavabile;
- $600 < V_p < 1000$ m/s: ammasso facilmente rippabile;
- $1000 < V_p < 1400$ m/s: ammasso rippabile con difficoltà;
- $V_p > 1400$ m/s: ammasso non rippabile (indispensabile l'uso di martello demolitore).

Correlazione utilizzata dal California Department of Trasportations

Velocity (m/s)	Rippability
< 1050	Easily Ripped
1050 - 1500	Moderately Difficult
1500 - 2000	Difficult Ripping / Light Blasting
> 2000	Blasting Required

Table 1. Standard Caltrans Rippability Chart

Considerando che il primo tratto della condotta posto ad sud della intersezione con la S.S. 272 si snoda quasi esclusivamente su roccia affiorante (tranne piccoli lembi coperti da un sottile strato di terreno vegetale) e che le Vp medie sono superiori a 1400 m/s, tale tratto viene considerato non rippabile.

Il tratto, invece, che si snoda a nord rispetto alla intersezione con la S.S. 272 evidenzia la presenza di terreni "morbidi" ricoprenti – a zone – la formazione calcarea.

In tale tratto, come descritto al §12.4 sono stati eseguiti n. 7 profili sismici a rirazione per la determinazione delle onde Vp. I valori delle onde Vp nei primi 2m investigati sono generalmente inferiori a 900 ÷ 1000 m/s, e quindi essi risultano rippabili.

Considerando che la condotta sarà posizionale al max a 1,5m dal p.c. e valutando, in maniera integrata, le aree dove sono state eseguite le indagini sismiche con le aree con Uso del Suolo a "seminativi semplici in aree non irrigue" (aree coltivate a grano) oltre che i risultati del rilievo speditivo eseguito sul tracciato della condotta, si può ragionevolmente ipotizzare che almeno 3000÷3500 m di condotta saranno posizionati su terreni facilmente rippabili.

21. CONCLUSIONI

Lo studio dei caratteri geologici, morfologici e tettonici locali permettono di esprimere le seguenti considerazioni conclusive.

A. CARATTERISTICHE DELL'OPERA

- L'opera in progetto riguarda la "**Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle Comunità agricole presenti sul territorio montano di Monte Sant'Angelo (FG)**". In particolare il progetto prevede la sostituzione di un tratto di condotte dell'Acquedotto Pugliese che da Monte Sant'Angelo collega San Giovanni Rotondo e la realizzazione di una diramazione dalla stessa condotta per approvvigionare le sole aree interne del comune di Monte Sant'Angelo.
- Lo sviluppo complessivo della rete è pari a 14.000 ml circa.
- L'opera si completa con la realizzazione del serbatoio di accumulo da realizzarsi nella zona alta del tracciato sita a sud del vallone Carbonara e dell'impianto di sollevamento da realizzarsi lungo il tracciato in un'area individuata a circa ml 1.500 dalla diramazione dalla rete AQP.

B. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E PRINCIPALI VINCOLI PRESENTI IN ZONA

- La zona di studio è compresa nella tavoletta topografica Il S.E. "*San Salvatore*" del Foglio n. 156 della Carta d'Italia in scala 1:25.000;
- l'area è soggetta a vincolo idrogeologico ex RDL 3267/1923;
- L'area di sviluppo del tracciato, per quanto riguarda il Piano di bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino della Puglia, risulta soggetta a pericolosità geomorfologica:
 1. "media e moderata" (PG1) per il 25% del tracciato;
 2. "elevata" (PG2) per il 0,46% del tracciato.
- In relazione al PPTR della Regione Puglia, l'area, interessa i seguenti Beni Paesaggistici (BP) e Ulteriori Contesti Paesaggistici (UCP):
 1. **Beni Paesaggistici:** "fiumi e torrenti, acque pubbliche", "boschi", "parchi e riserve", "immobili ed aree di notevole interesse pubblico", "zone gravate da usi civici".
 2. **Ulteriori contesti paesaggistici:** "versanti", "vincolo idrogeologico", "area di rispetto dei boschi", "prati e pascoli naturali", "formazioni arbustive in evoluzione", "siti di rilevanza naturalistica", "rete tratturi", "area di rispetto rete tratturi", "strade panoramiche".

C. NATURA E LITOLOGIA AFFIORANTE

- Le formazioni in affioramento lungo il tracciato della condotta, sono rappresentate per la quasi totalità dell'opera da formazioni calcaree appartenenti a diverse formazioni

geologiche: Formazione di Monte Sant'Angelo; Formazione di Cagnano e Formazione di Monte Spigno. Nella "Valle di Carbonara" le formazioni affioranti sono, localmente, coperte da terreni eluviali e colluviali (terre rosse).

D. INDAGINE ESEGUITE E MODELLO GEOLOGICO-TECNICO AREE IMPIANTI TECNICI

- Per la caratterizzazione geomeccanica dei **terreni di fondazione nelle aree di realizzazione dell'impianto di sollevamento, del serbatoio di accumulo e del tratto di condotta che si sviluppa a nord rispetto alla S.S. 272**, sono state effettuate indagini sismiche e caratterizzazioni geomeccaniche su pareti di scavo utilizzando la metodologia di Bieniawki.
- Di seguito si riporta una "stratigrafia geologica e geotecnica di sintesi" relativa alla sequenza litostratigrafica locale con l'indicazione dei principali parametri geotecnici. I parametri di rottura calcolati con il criterio di Mohr Coulomb, sono i valori medi tra quelli determinati dall'analisi con il software Roclab e quelli determinati dalla correlazione con i dati di sismica. Ovviamente non sono stati inseriti i parametri della sottile copertura di terreno vegetale, in quanto essa sarà rimossa.

Stratigrafia	descrizione terreno	Peso di Volume naturale (kN/m ³)	Criterio di rottura di Mohr Coulomb		Criterio di rottura di Hoek-Brown				Resistenza a compr. monoassiale roccia (σ_{ci}) - MPa	Modulo di deformabilità (Mpa)	Coefficiente di Poisson (σ)	Coefficiente di Winkler k_s (kg/cm ³)	Capacità portante ultima q_u (kPa)	Modulo di Young dinamico (E_{din}) - MPa	Modulo di Young statico (E_s) - MPa
			Coesione (kPa)	Angolo di resistenza al taglio (ϕ)	mb	s	a								

	Terreno vegetale e/o "terre rosse" residuali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calcari da mediamente a molto fratturati	24	60÷80	32°÷34°	0,739	0,0004	0,522	20	1100	0,30	9÷10	300÷350	7000	175	

- Per quanto riguarda i parametri di coesione ed angolo di attrito determinati con il criterio di rottura di Mohr Coulomb, considerando che l'analisi sismica ha evidenziato una differenza di qualità della roccia nel sito di realizzazione dell'impianto di sollevamento e in quello del serbatoio di accumulo, in tabella sono stati inseriti un range di valori per essi; si consiglia l'utilizzo del valore più basso per le opere relative al serbatoio di accumulo e quello più alto per le opere relative all'impianto di sollevamento ovvero un valore medio per entrambe le opere.

E. INDAGINE ESEGUITE E MODELLO GEOLOGICO-TECNICO AREA TRACCIATO CONDOTTA IN “VALLE CARBONARA”

- Per la caratterizzazione geomeccanica dei **terreni di posa della condotta nel tratto che si sviluppa a sud rispetto alla S.S. 272**, sono state effettuate indagini sismiche e sono state rielaborate prove penetrometriche DPM eseguite dallo scrivente negli anni 2011-2012.
- Di seguito si riporta una “stratigrafia geologica e geotecnica di sintesi” relativa alla sequenza litostratigrafica locale con l'indicazione dei principali parametri geotecnici.

Stratigrafia	Spessore (m)	descrizione terreno	Peso di Volume naturale (kN/m ³)	Coesione (kPa)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coefficiente di Poisson (σ)	Coefficiente di Winkler k_s (kg/cm ³)	Modulo di Young dinamico (E_{din}) - MPa	Modulo di Young statico (E_s) - MPa
	0,5÷1,5	Terreno vegetale	17	-	18°	0,42	-	59	4
	2÷10	Depositi detritici e/o colluviali (terre rosse)	19	20	25°÷29°	0,43	3÷4	292	21
	>30	Calcari molto fratturati	23	40÷60	32°÷33°	0,36	8÷9	1459	99

F. CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE PER OPERE STRUTTURALI (D.M. 17.01.2018)

- I valori di $V_{s,eq}$ ricavati dall'analisi sismica con il metodo MASW ci permettono di attribuire i suoli indagati alla categoria, come da riferimento alla nuova normativa sismica:
 - ✓ **classe A** con $V_s > 800$ m/s

G. CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE CONDOTTA IDRICA (D.M. 17.01.2018)

- I valori di $V_{s,eq}$ ricavati dall'analisi sismica con il metodo MASW lungo il tracciato della condotta ci permettono di definire due macro aree, il cui spartiacque è attestato grossomodo all'intersezione della condotta con la S.S. 272, caratterizzate da categoria di suolo differenti:
 - ✓ Il tratto di condotta posto a sud della S.S. 272 con **classe A** ($V_s > 800$ m/s);
 - ✓ Il tratto di condotta posto a nord della S.S. 273 con **classe C** ($V_s < 360$ m/s).

H. COMPATIBILITÀ CON AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA PAI

- Per quanto riguarda la stabilità generale dell'area si può osservare, come già detto, che solo una piccola parte della condotta idrica interessa aree a diversa pericolosità geomorfologica; le opere ingegneristiche (impianto di sollevamento e serbatoio di accumulo) sono fuori da pericolosità geomorfologiche PAI. La condotta idrica, per le sue peculiarità (opera interrata) non altera le generali situazioni di stabilità dei versanti

attraversati né aggrava le situazioni in cui essa attraversa aree potenzialmente instabili (PG1 e PG2 ai sensi del PAI) in quanto si tratta di: 1) opera interrata di modesta entità; 2) i versanti attraversati sono versanti in roccia.

Per tutto quanto esposto dai paragrafi 1 a 20 (**che si invita ad un attenta lettura**) e solo in parte richiamati nel presente paragrafo conclusivo, si considera l'opera compatibile con la situazione geologica, geomorfologica ed idrologica generale dell'area.

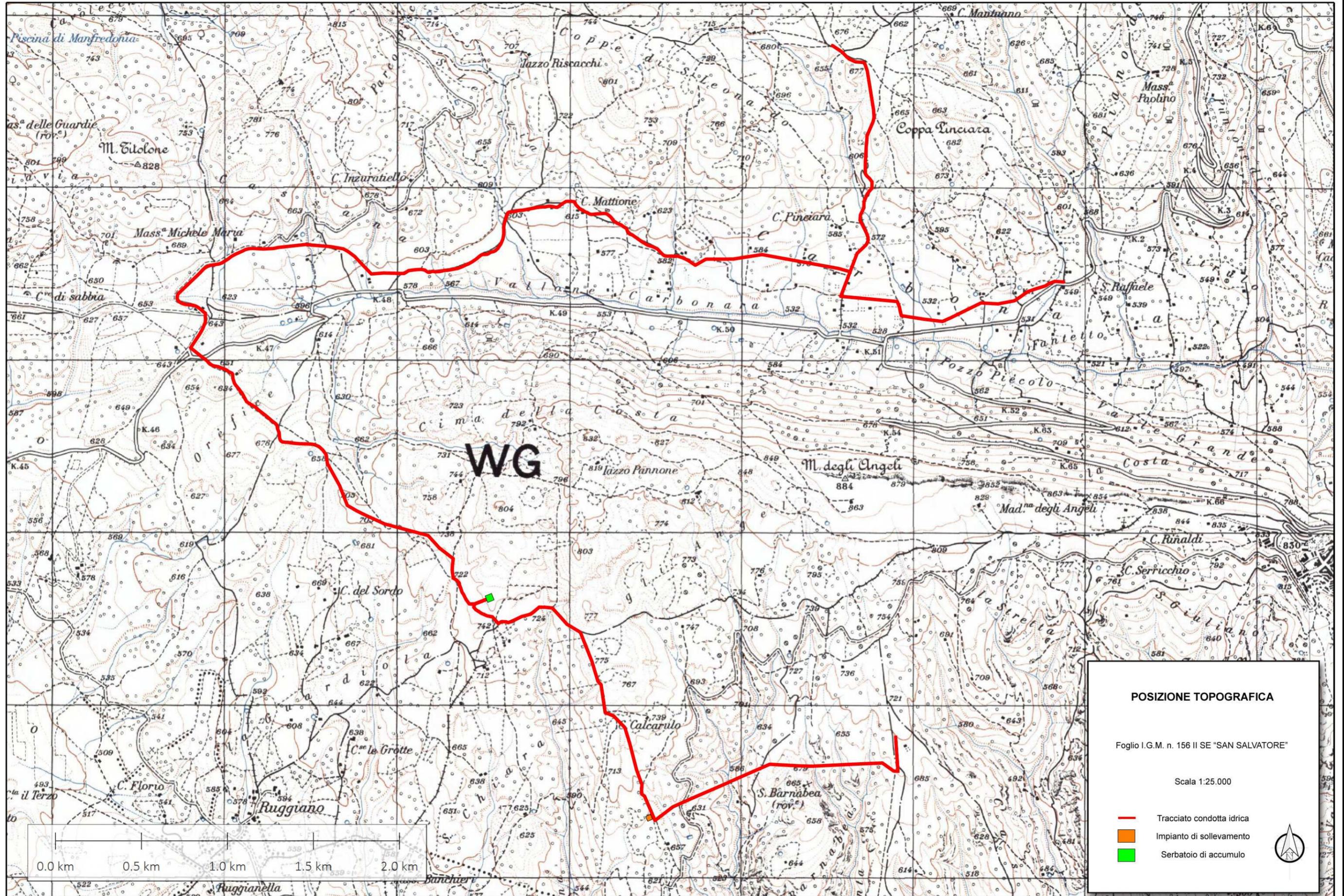
La presente relazione è composta da 91 pagine e dai seguenti allegati:

- tracciato condotta ed opere accessorie su IGM in scala 1:20.000;
- tracciato condotta ed opere accessorie su ortofoto in scala 1:20.000;
- stralcio carta geologica in scala 1:18.000;
- tracciato condotta ed opere accessorie su cartografia PAI in scala 1:18.000;
- ubicazione indagini sismiche su base ortofoto in scala 1:18.000;
- n. 2 certificati laboratorio;
- Report indagine geofisica eseguita (allegato esterno);
- documentazione fotografica;
- dichiarazione di responsabilità per Servizio Foreste Regione Puglia.

Si riconoscono come originali i soli elaborati vidimati dall'autore con firma digitale. Senza il consenso dello stesso non è consentita la riproduzione, anche parziale, dell'elaborato.

Foggia, 06 settembre 2019

dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello



POSIZIONE TOPOGRAFICA

Foglio I.G.M. n. 156 II SE "SAN SALVATORE"

Scala 1:25.000

- Tracciato condotta idrica
- Impianto di sollevamento
- Serbatoio di accumulo





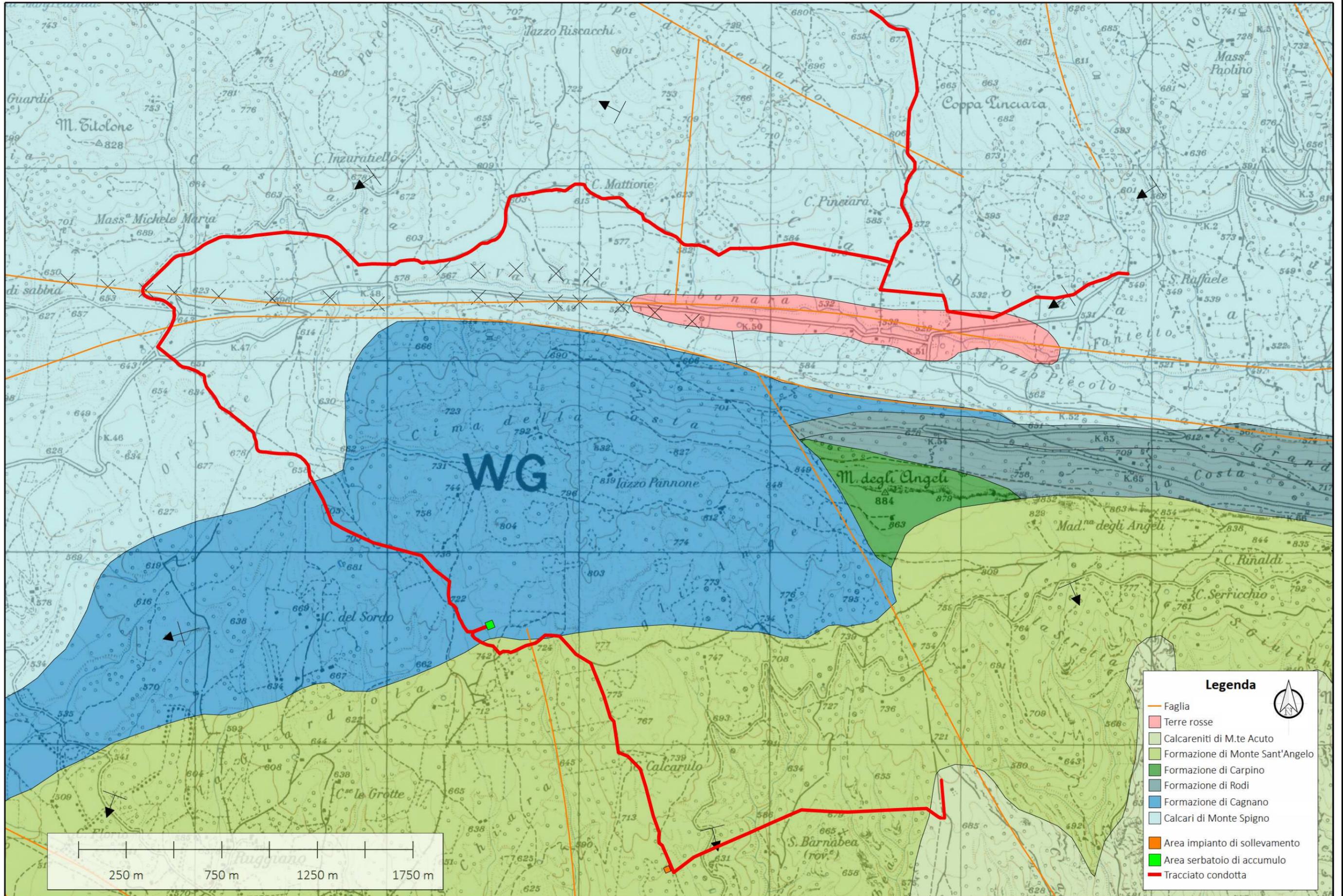
POSIZIONE TOPOGRAFICA

Foglio I.G.M. n. 156 II SE "SAN SALVATORE"

Scala 1:25.000

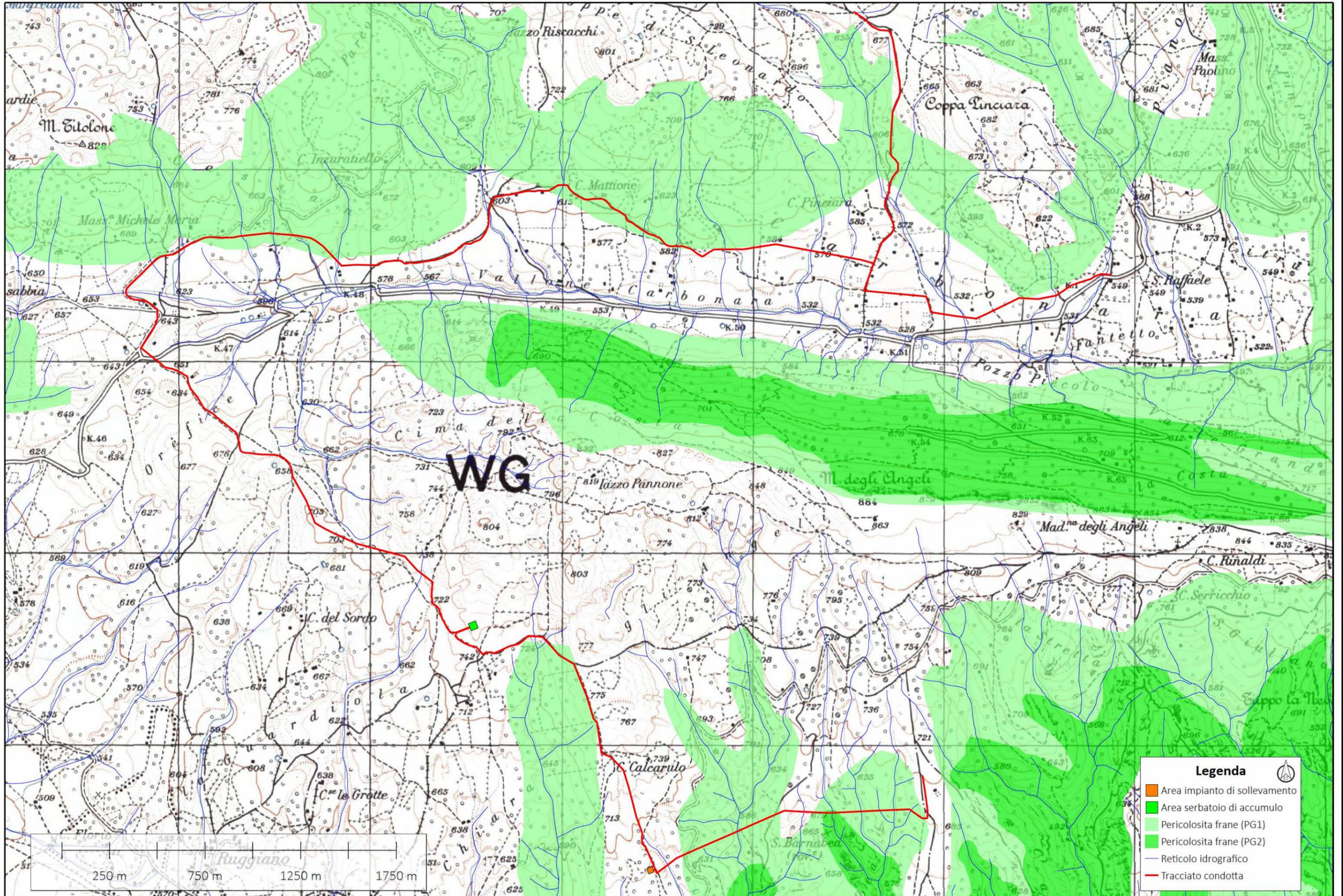
-  Tracciato condotta idrica
-  Impianto di sollevamento
-  Serbatoio di accumulo

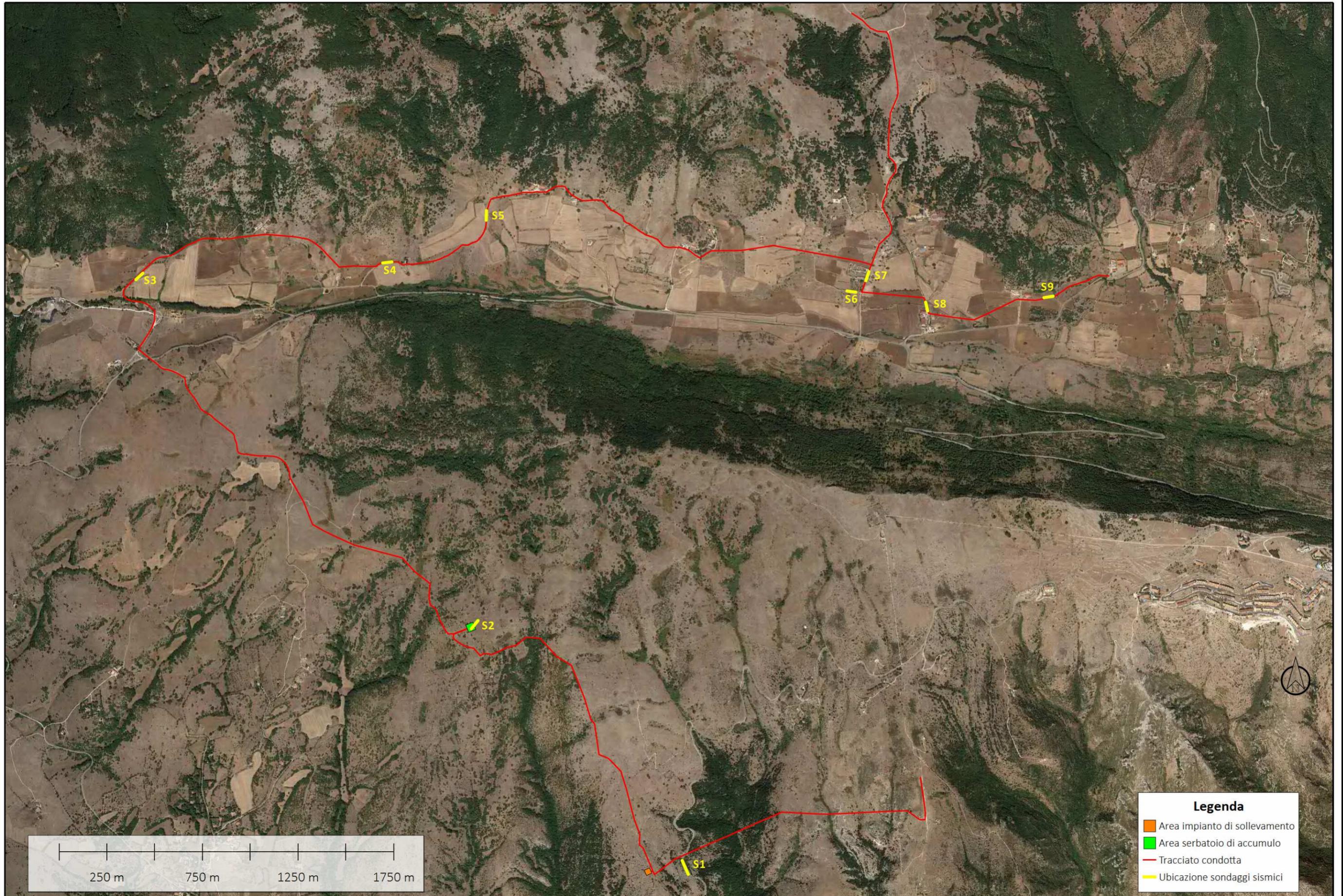




Legenda

- Faglia
- Terre rosse
- Calcareni di M.te Acuto
- Formazione di Monte Sant'Angelo
- Formazione di Carpino
- Formazione di Rodi
- Formazione di Cagnano
- Calcarei di Monte Spigno
- Area impianto di sollevamento
- Area serbatoio di accumulo
- Tracciato condotta







UNIVERSITÀ DI BARI
FACOLTÀ DI SCIENZE
DIPARTIMENTO DI GEOLOGIA E GEOFISICA
LABORATORIO DI GEOLOGIA TECNICA



CERTIFICATO N° 85/98

COMMITTENTE: Dott. Geol. D. IMPAGNATIELLO

CAMPIONE: S-3-

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE

LOCALITÀ: CANTIERE "SANTA MARIA
DI PULSANO"
MONTESANT'ANGELO -FG-

Peso di volume secco	$\gamma_d = 2.54 \text{ g/cm}^3$
Peso specifico reale	$\gamma_g = 2.71 \text{ g/cm}^3$
Compattezza	$C = 0.937$
Porosità	$\eta = 6.3 \%$
Resistenza a compressione	$\sigma_r = 710 \text{ Kg/cm}^2$

Il Funzionario tecnico
(Dott. Felice Figliuolo)

Il Direttore del Laboratorio
(Prof. Nicola Walsh)



IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO
(Prof. Nicola Walsh)

Bari 8.4.98



UNIVERSITÀ DI BARI
FACOLTÀ DI SCIENZE
DIPARTIMENTO DI GEOLOGIA E GEOFISICA
LABORATORIO DI GEOLOGIA TECNICA



CERTIFICATO N° 84/98

COMMITTENTE: Dott. Geol. D. IMPAGNATIELLO

CAMPIONE: S-1-

LOCALITÀ: CANTIERE "SANTA MARIA
DI PULSANO"
MONTESANT'ANGELO -FG-

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE

Peso di volume secco	$\gamma_d = 2.01 \text{ g/cm}^3$
Peso specifico reale	$\gamma_g = 2.71 \text{ g/cm}^3$
Compattezza	$C = 0.742$
Porosità	$\eta = 25.8 \%$
Resistenza a compressione	$\sigma_r = 219 \text{ Kg/cm}^2$

Il Funzionario tecnico
(Dott. Felice Figliuolo)

Il Direttore del Laboratorio
(Prof. Nicola Walsh)
IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO
(Prof. Nicola Walsh)

Bari 8.4.98

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto n. 1 – Area di ubicazione serbatoio di accumulo



Foto n. 2 – Area di ubicazione impianto di sollevamento



Foto n. 3 – Caratterizzazione geomeccanica parete di scavo

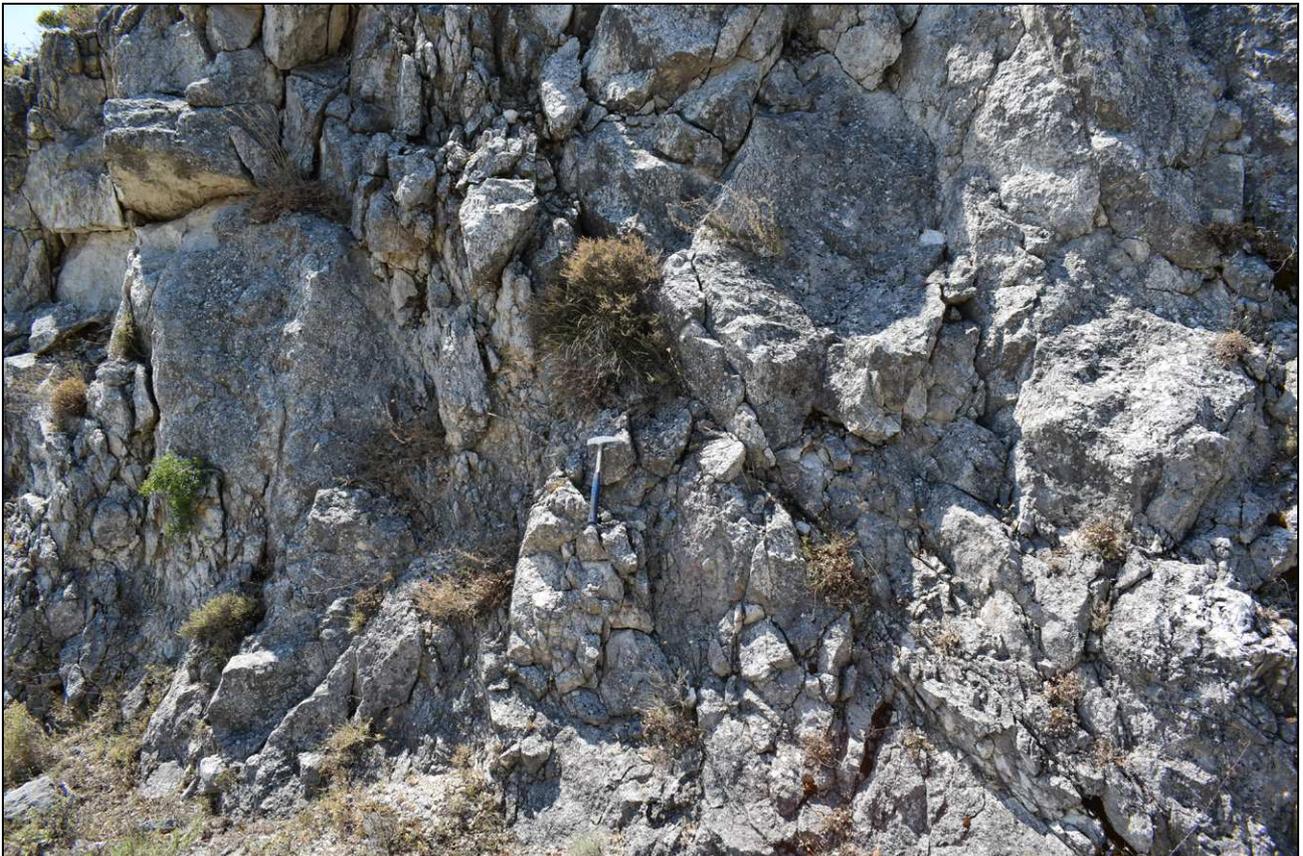


Foto n. 4 – Caratterizzazione geomeccanica parete di scavo



Foto n. 5 – Caratterizzazione geomeccanica parete di scavo



Foto n. 6 – Esecuzione sondaggio sismico S1



Foto n. 7 – Esecuzione sondaggio sismico S2

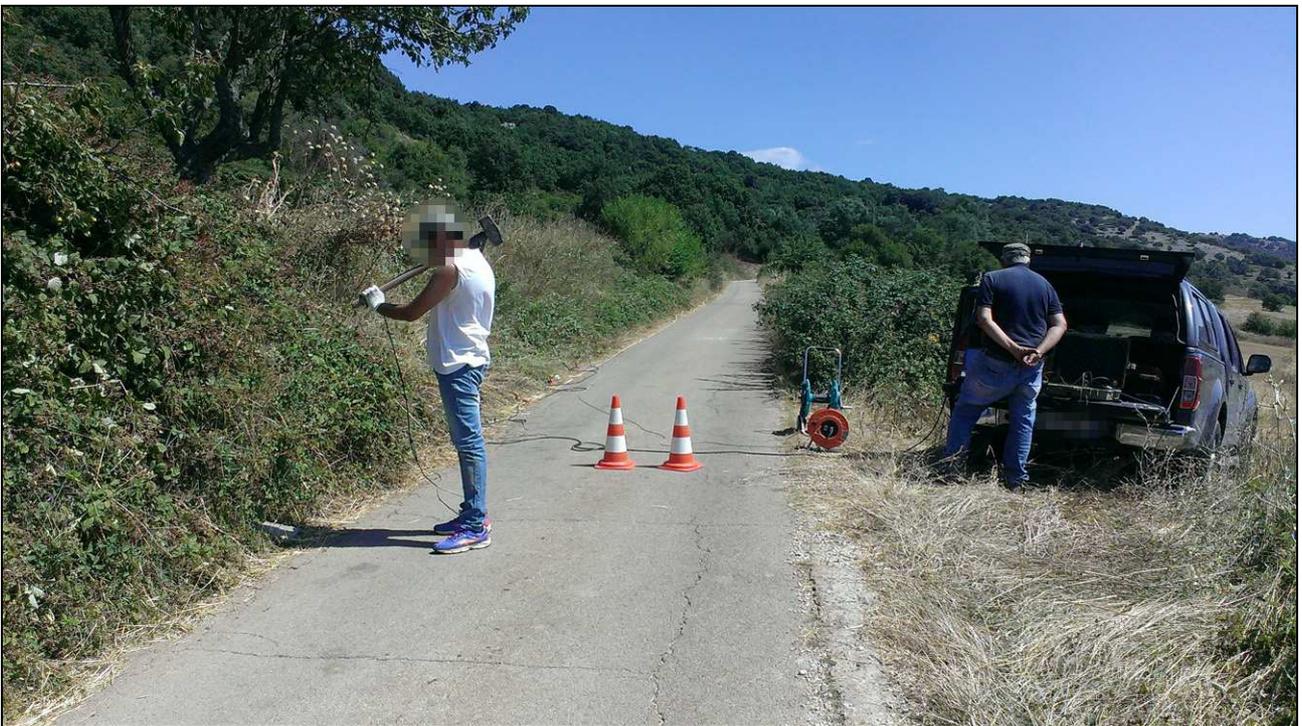


Foto n. 8 – Esecuzione sondaggio sismico S3



Foto n. 9 – Esecuzione sondaggio sismico S4



Foto n. 10 – Esecuzione sondaggio sismico S5



Foto n. 11 – Esecuzione sondaggio sismico S6



Foto n. 12 – Esecuzione sondaggio sismico S7



Foto n. 13 – Esecuzione sondaggio sismico S8



Foto n. 14 – Esecuzione sondaggio sismico S9

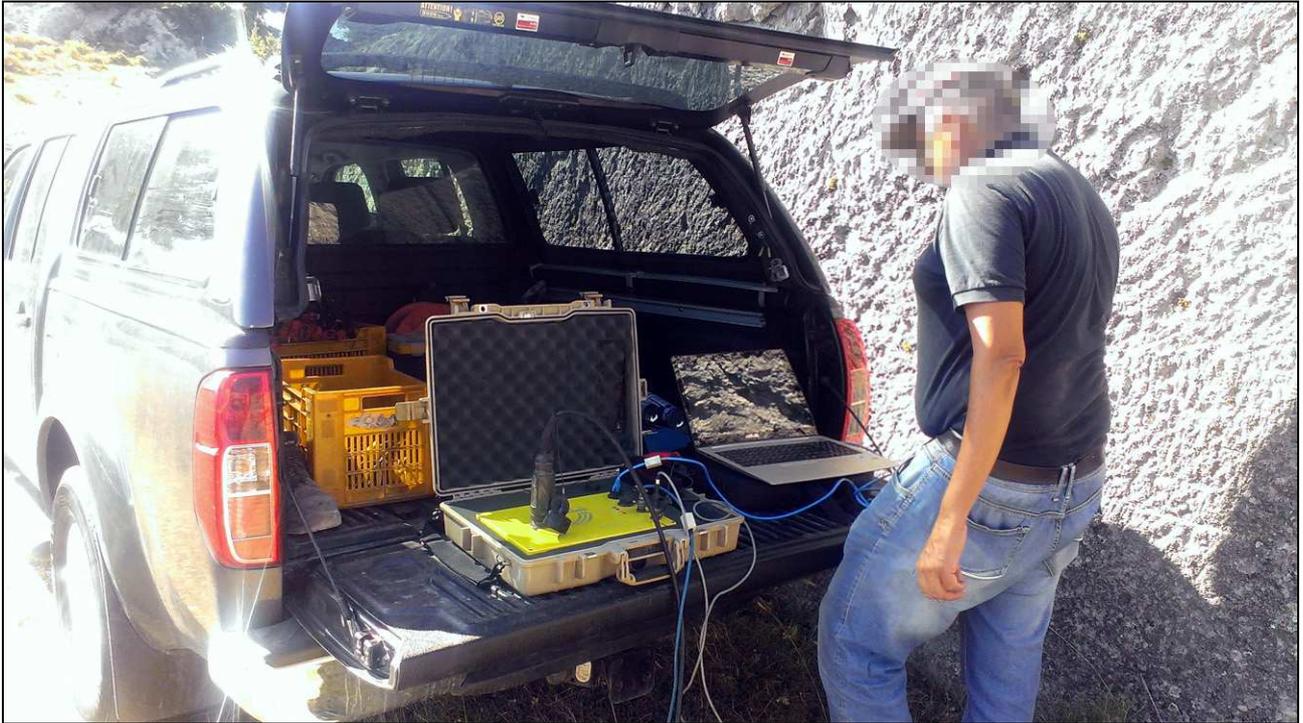


Foto n. 15 – Fase di acquisizione dati sismici

DICHIARAZIONE DI RESPONSABILITA'

rilasciata ai sensi dell'art. 63 L.R. N. 27/85

Oggetto: **Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle Comunità agricole presenti sul territorio montano di Monte Sant'Angelo (FG).**

Comune di: Monte Sant'Angelo (FG)

Committente: Consorzio di Bonifica Montana del Gargano

Dati Catastali: Fogli nn. 143, 142, 141, 139, 140, 136, 99, 98, 100, 101, 102, 92.

Il sottoscritto dottore geologo Domenico Paolo Impagnatiello iscritto all'albo professionale con n. 254 incaricato di redigere la relazione geologica ai sensi del D.M. 11.3.88 per il progetto indicato

DICHIARA

che lo studio geologico riguardante i lavori suindicati è stato redatto nel rispetto del D.M. 11.3.1988 (L. n. 64/74) oltre che del Regolamento Regionale 11 marzo 2015, "*Norme per i terreni soggetti a vincolo idrogeologico*", che la zona oggetto degli interventi è stabile e che le opere di che trattasi non determinano turbativa dell'assetto idrogeologico del suolo.

IL GEOLOGO
