



REGIONE  
PUGLIA



PROVINCIA  
DI BARI



COMUNE  
DI TORITTO



COMUNE  
DI PALO DEL COLLE



COMUNE  
DI GRUMO APPULA

**REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGRIVOLTAICO DESTINATO AL PASCOLO DI OVINI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE FOTOVOLTAICA DA UBICARSI IN AGRO DI TORITTO (BA) DELLA POTENZA DI CIRCA 30 MW E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA NAZIONALE (RTN) MEDIANTE CAVIDOTTO IN MEDIA TENSIONE COLLEGATO ALLA STAZIONE RTN PALO DEL COLLE (BA) ED IMPIANTO DI PRODUZIONE E DISTRIBUZIONE DI IDROGENO IN AGRO DI GRUMO APPULA (BA) ALIMENTATO DALLO STESSO IMPIANTO FV**

Potenza nominale cc: 30,38 MWp - Potenza in immissione ca: 29,97 MVA

ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA**

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello progetto	Codice pratica	Documento	Codice elaborato	n° foglio	n° tot. fogli	Nome file	Data	Scala
PD	--	R	2.19_01	-	-	R_2.19_01_RELGEOLEGEOM.pdf	02/2022	n.a.

REVISIONI

Rev. n°	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	02/02/2022	1° Emissione	DIMOLA	LZU	GZU

PROGETTAZIONE:

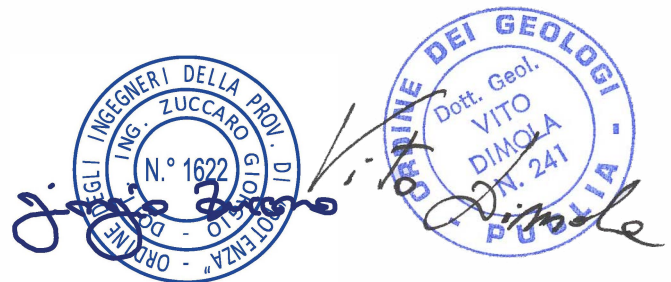
**MATE System Unipersonale Srl**

Via Papa Pio XII, n.8 | 70020 - Cassano delle Murge (BA)  
tel. +39 080 3072072  
mail: info@matesystemsrl.it | pec: matesystem@pec.it



F4 INGEGNERIA

Via Di Giura - Centro Direzionale, 85100 Potenza  
tel. +39 0971 1944797 - Fax +39 0971 55452  
mail: info@f4ingegneria.it pec: f4ingegneria@pec.it



DIRITTI Questo elaborato è di proprietà della Banzi Solare S.r.l. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

PROPONENTE:  
BANZI SOLARE S.R.L.  
S.P 238 Km 52.500  
ALTAMURA

PARTNERSHIP:



## Sommario

PREMESSA .....	1
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARATTERI GEOLOGICI.....	2
1.1. Inquadramento dell'area di intervento.....	2
1.2. Inquadramento geologico dell'area .....	5
2. LITOLOGIA DI DETTAGLIO.....	8
3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....	10
4. CARATTERI IDROGEOLOGICI .....	12
5. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI INDICATIVI .....	17
5.2 Determinazione carico di rottura ammasso roccioso calcareo .....	22
6. AZIONI SISMICHE.....	23
7. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE .....	28
8. SISMICITÀ DELLA ZONA E DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	29
8.1. Inquadramento Sismico .....	29
8.2. Verifica dell'azione sismica .....	35
8.3. Analisi sismica del sito di progetto.....	38
10. CONCLUSIONI.....	41

## Allegati

- Tav\_01 Corografia della zona
- Tav\_02 Ortofoto della zona
- Tav\_03 CTR Puglia
- Tav\_04 Carta Geolitologica
- Tav\_05 Carta Geomorfologica
- Tav\_06 Stratigrafie
- Tav\_07 Sezione Geolitologica-modello geologico-tecnico
- Tav\_08 Stralcio PPTR Puglia
- Tav\_09 Stralcio PTA Puglia
- Tav\_09 Stralcio Cartografia del Rischio AdB
- Tav\_10 Indagini Indirette (Geofisica) e parametri sismici

## PREMESSA

Scopo della seguente relazione è quello di descrivere i caratteri geo-litologico, stratigrafici, geomorfologici, sismici e geotecnici dei terreni interessati dalla realizzazione di un parco fotovoltaico, di un impianto di produzione idrogeno e delle relative opere di collegamento di rete con la Stazione Elettrica in arrivo di MT e AT di Palo del Colle. L'area di intervento è ubicata nel comune di Grumo Appula, di Toritto e di Palo del Colle, di preciso:

- il parco fotovoltaico in territorio di Toritto (Ba);
- l'impianto di produzione idrogeno in territorio di Grumo Appula;
- il cavidotto di collegamento in territorio di Grumo Appula, Toritto e Palo del Colle.

La presente relazione, redatta in ottemperanza al Decreto Ministeriale 11 Marzo 1988 n 47, al D.M. 17/01/2018 e dell'art. 89 del DPR 380/01, riferisce sui risultati evinti da una indagine sismica effettuata nell' area in studio e sugli elementi geo-morfologici osservati in sito e da indagini effettuate in passato in aree limitrofe. Tali osservazioni sono state condotte sull'area mediante indagini indirette "prospezioni sismiche e sui fronti di uno scavo limitrofo alla zona in studio (sottopassaggio ferroviario Stazione di Mellitto), fornendo indicazioni sulle proprietà geologico-tecniche del terreno di fondazione.

Dall'osservazione condotte, è stato possibile ricostruire la successione litostratigrafica della zona e verificare la stabilità geomorfologica dell'area. Sugli strati di roccia affioranti si sono eseguite alcune prove in sito per determinare la qualità e la resistenza dell'ammasso roccioso, ai fini della stesura della relazione geotecnica geognostica.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- descrizione dei caratteri geologici generali del territorio di Grumo Appula e dell'area oggetto d'intervento;
- individuazione dei rapporti stratigrafici esistenti tra le formazioni geologiche presenti ed affioranti nell'area d'intervento;
- studio delle caratteristiche geomorfologiche, con particolare riguardo alle condizioni di stabilità;
- descrizione dei caratteri idrogeologici del territorio di Grumo Appula;
- descrizione delle caratteristiche geologico-tecniche del sottosuolo dell'area d'intervento;
- descrizione delle caratteristiche sismiche del territorio (in allegato);
- individuazione delle pericolosità geologiche nel territorio di Grumo Appula.

Lo scopo finale dello studio è stato quello di ottenere infine un modello geologico relativo alle aree d'intervento per poter effettuare una verifica geotecnica.

I caratteri geologici dell'area di studio sono stati descritti facendo riferimento alla carta geologica in scala 1:100.000 del foglio n°189 "Altamura" e 177 "Bari".

I caratteri idro-geomorfologici facendo riferimento alla Carta idro-geomorfologica della Regione Puglia in scala 1:50.000 dei fogli n. 454 "Altamura", n. 437 "Corato" e n. 438 "Bari".

Si precisa che, secondo la normativa in vigore, il comune di Grumo Appula – Toritto e Palo del Colle rientrano nella perimetrazione sismica identificata come zona 3.

# 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARATTERI GEOLOGICI

## 1.1. Inquadramento dell'area di intervento

L'area oggetto si trova in parte nella zona industriale "Mellitto" del comune di Grumo Appula, in parte nel territorio di Toritto ed in parte del territorio di Palo del Colle, in una zona sostanzialmente sub-pianeggiante leggermente digradante verso nord.

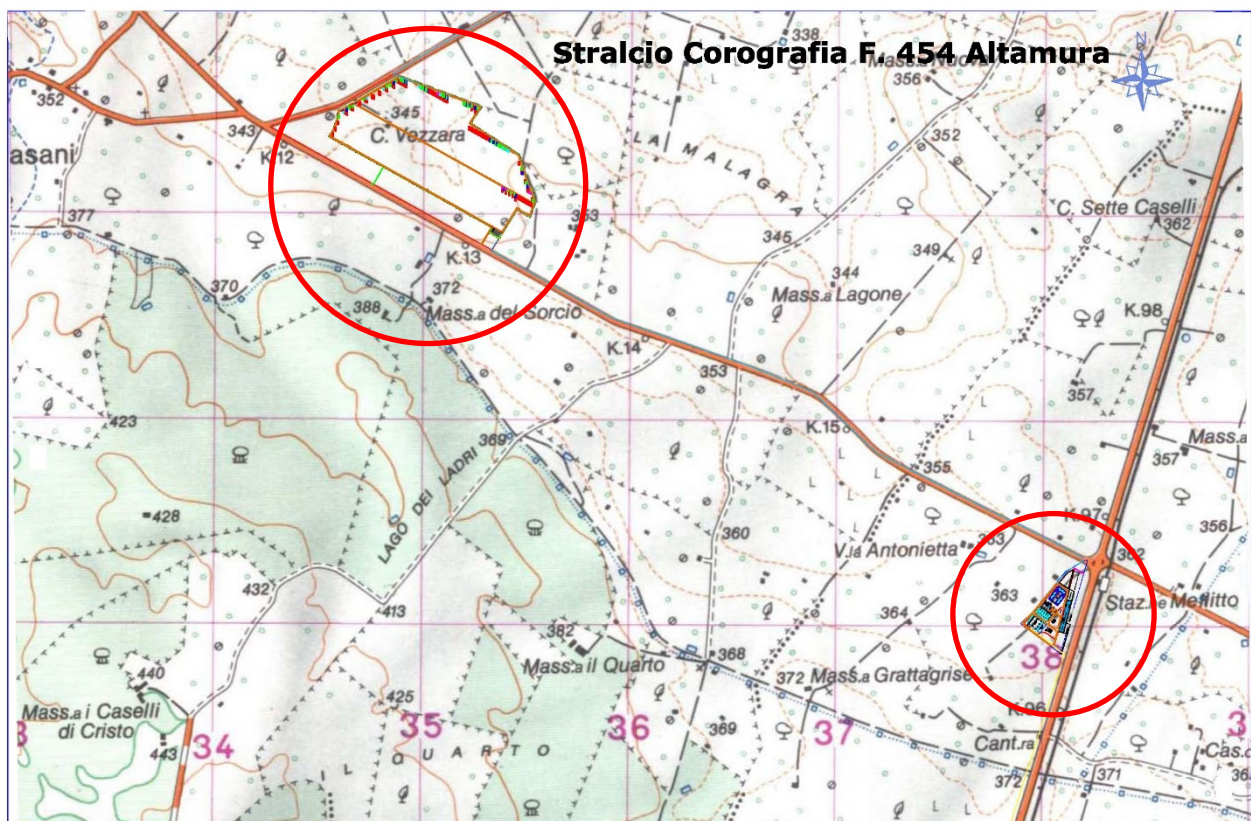


Figura 1 - Dettaglio dell'area di intervento su stralcio F. 454 in scala 1:50.000

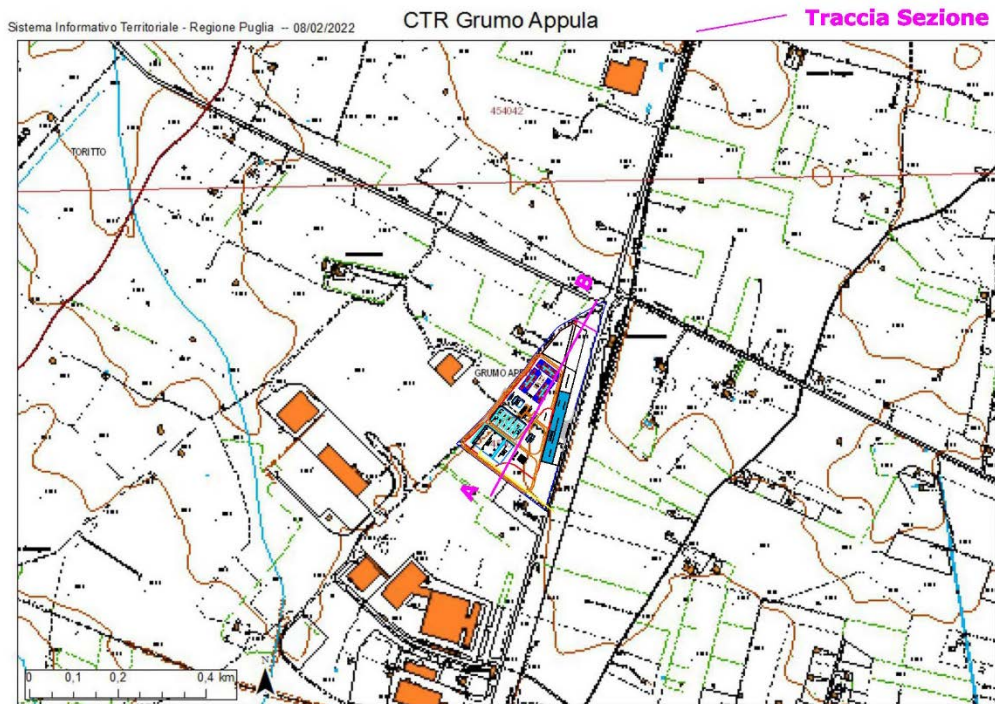


Figura 2 - Dettaglio dell'area di intervento su CTR Regione Puglia Impianto di produzione Idrogeno

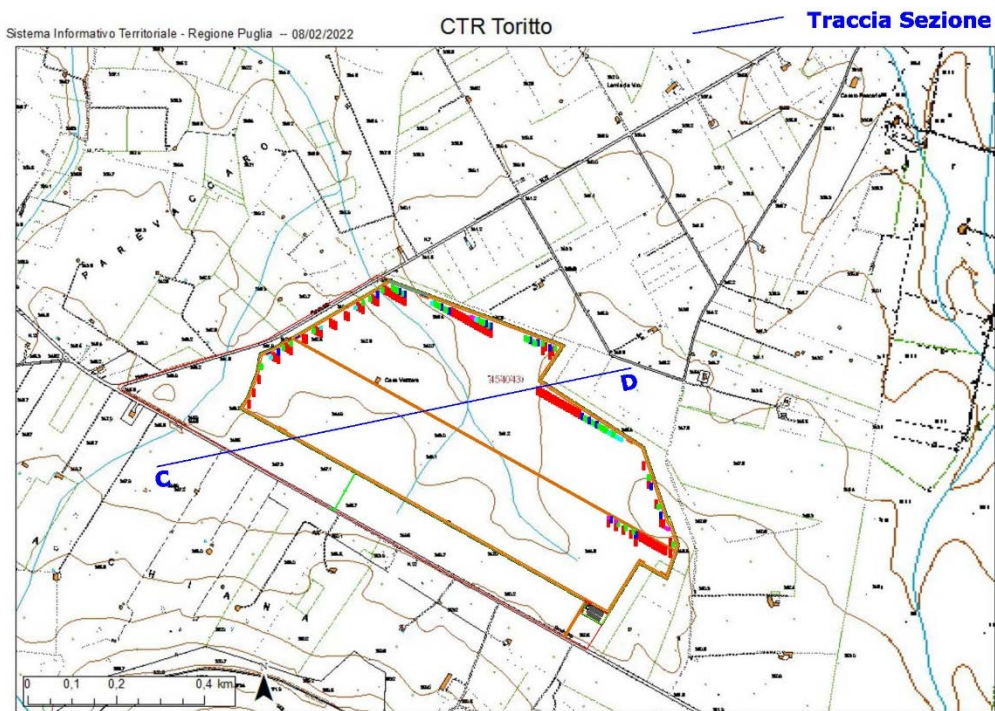


Figura 3 - Area di intervento su CTR Regione Puglia impianto Fotovoltaico



*Figura 4 – Ortofoto con tutta l'area di intervento*

## 1.2. Inquadramento geologico dell'area

Il territorio in studio si trova sul confine centro-orientale del dominio geologico della Fossa bradanica, essa si è iniziata a formare circa 2 milioni di anni fa (Pliocene), nelle ultime fasi dell'orogenesi appenninica, quando il sistema appenninico migrò, causando una progressiva subsidenza delle aree occidentali dell'Avampaese Apulo e formando un ampio bacino marino. Questa evoluzione dell'avanfossa sudappenninica termina circa 1 milione di anni fa, quando l'intero sistema catena-avanfossa-avampaese comincia a sollevarsi e la Fossa bradanica a colmarsi progressivamente, riempita dai sedimenti provenienti dalla Catena Appenninica, fino a raggiungere le condizioni attuali.

A pochissimi km dall'area di studio, in direzione nord-est, si incontra il dominio geologico dell'Avampaese Apulo, in particolare l'Altopiano delle Murge. Esso è costituito dal complesso mesozoico meglio conosciuto come "**Gruppo dei Calcari delle Murge**", formati da una potente successione di calcari, calcari dolomitici e, subordinatamente dolomie, formatesi in ambiente marino di relativamente basse profondità e localmente ricoperti da lembi trasgressivi di formazioni plio-quadernarie. La struttura delle Murge è a monoclinale, con immersione degli strati per lo più a SW, complicata da alcune pieghe e faglie variamente orientate, a rigetto modesto e di tipo essenzialmente distensivo. Le rocce carbonatiche delle Murge derivano dalla litificazione di sedimenti formati in un bacino sedimentario di piattaforma carbonatica: in questo ambiente epioceanico per tutto il Cretaceo si è protratta la sedimentazione consentendo, col lento abbassamento del fondo del bacino, l'accumulo della serie carbonatica. Nel passaggio dal Secondario al Terziario si sono verificate due fasi tettoniche distensive seguite poi, nel Terziario alto (Pliocene), nell'ambito della formazione della Catena appenninica meridionale, da più fasi tettoniche principalmente compressive. Queste fasi tettoniche hanno influito sull'assetto della piattaforma carbonatica apula con la suddivisione in blocchi e la formazione di una serie di blande pieghe anticlinali e sinclinali. L'attuale altopiano delle Murge rappresenta uno dei blocchi più sollevati.

Il quadro litostratigrafico che caratterizza il territorio in studio risulta definito da una successione di rocce calcaree e calcareo-dolomitiche di età cretacea a diverso grado di fratturazione e carsismo, riferibile alle formazioni del "**Calcare di Bari**". Al di sopra dei calcari, sono presenti diverse unità facenti parte delle formazioni della Fossa bradanica, come la "**Calcarenite di Gravina**", le "**Argille subappennine**", le "**Sabbie di Monte Marano**" e il "**Conglomerato di Irsina**".

Per conoscere le condizioni nelle quali si trovano i terreni in esame, si espongono alcuni brevi cenni sui caratteri geologici dei terreni affioranti nell'area in studio. Assumendo come riferimento la Carta Geologica d'Italia: Foglio 177 "**Bari**" (Fig. 1) i terreni affioranti nell'area possono essere distinti, dal basso verso l'alto, in:

La Formazione del **Calcare di Bari (Turoniano-Barremiano)** - comprendono calcari, calcari dolomitici e dolomie, e rappresentano il substrato affiorante. I calcari sono detritici microgranulari, biancastre ed avana, ed in genere si presentano in strati e banchi, a luoghi lastriformi, localmente detti a "chiancarelle". Intercalati ad essi si rinvengono dolomie grigie, in strati o bancate massicce.

La giacitura è poco variabile per cui gli strati si presentano ora suborizzontali ora debolmente inclinati a causa di locali disturbi tettonici di debole entità, rappresentati da faglie di modesto rigetto, pieghe o piani di fratturazione. Tali fenomeni determinano la caratteristica

anisotropia della formazione calcareo-dolomitica che si manifesta sia in senso orizzontale che in senso verticale, comportando variazioni di condizioni geologico-tecniche anche in aree tra loro molto vicine. Lo stato di fratturazione, unitamente alla natura carbonatica della serie, agevola l'instaurarsi del fenomeno carsico, legato sia alla dissoluzione chimica sia all'azione meccanica delle acque di infiltrazione, le quali contribuiscono direttamente all'allargamento dei giunti di fratturazione e fessurazione. Prodotto ultimo del succitato fenomeno carsico è la formazione di materiale di natura limoso-argilloso (terre rosse) che vanno a depositarsi sotto forma di sacche o vene.

La formazione del **Calcere di Altamura** è costituita da calcari detritici organogeni a grana più o meno fine, con alcuni livelli marnosi e abbondante presenza di Rudiste. La presenza di calcari incrostanti rossastri e terrosi e la leggera discordanza angolare con cui poggia sui Calcari di Bari permette la differenziazione da questi ultimi. Questa formazione, si è sedimentata in un ambiente di mare sottile, con movimenti ascenzionali episodici che hanno portato a periodi di erosione subaerea. La presenza di Rudiste e Foraminiferi ha permesso di attribuire questa formazione al Senoniano (Cretaceo Superiore). Lo spessore del Calcere di Altamura si attesta su circa 850 m.

La **Calcarenite di Gravina** è costituita da calcareniti e biocalcareniti ricche in fossili di colore bianco- giallastre, a granulometria da medio-fine a grossolana, a cementazione variabile, con livelli calcisiltitici fini talora intercalati; poggia in trasgressione con discordanza angolare sul Calcere di Altamura e presenta una stratificazione poco evidente o accennata. L'età attribuibile a questi depositi è il Pliocene inferiore (Calabriano). Lo spessore di questa formazione è estremamente variabile e va da pochi metri fino ad un massimo di 50-60 m.

Le **Argille Subappennine** sono costituite da argille siltose intensamente bioturbate contenenti frammenti di bivalvi, briozoi e serpulidi, , silt argillosi e, a luoghi, da silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, con intercalazioni sabbiose o, più raramente, conglomeratiche. La formazione si presenta in strati di spessore variabile da pochi centimetri a oltre un metro; a luoghi si osservano strati gradati normalmente, spesso caratterizzati dalla presenza di strutture quali lamine piano-parallele o *ripple*. Il limite inferiore della formazione corrisponde ad un passaggio netto in continuità di sedimentazione con la Calcarenite di Gravina. L'età delle argille subappennine dovrebbe essere da attribuire al Pleistocene inferiore (Calabriano). Il loro spessore è molto variabile, va dai pochi metri dell'area di studio fino a diverse centinaia di metri nella zona centrale della Fossa bradanica.

Le **Sabbie di Monte Marano** sono costituite da sabbie calcareo-quarzose gialle che vanno da fini a grossolane procedendo dal basso verso l'alto dello strato, con laminazioni da piano parallele ad oblique a basso angolo, si presentano fortemente bioturbate. Sono presenti abbondanti fossili marini, soprattutto lamellibranchi. Poggiano sulle argille subappennine in concordanza. L'età è attribuibile anche per esse al Pleistocene inferiore e raggiungono uno spessore massimo di 50-60m.

Il **Conglomerato di Irsina** è formato da depositi prevalentemente conglomeratici, con ciottoli di media grandezza più o meno arrotondati e alle volte appiattiti. Si trova in contatto erosivo sulla formazione delle sabbie di Monte Marano e localmente sulle argille subappennine. Anche questo conglomerato risale al Pleistocene inferiore. Nei pressi dell'area di intervento ha uno spessore di pochi metri, mentre in altre aree della Fossa bradanica (Irsina) può raggiungere i 60 m di spessore.



I depositi alluvionali ed eluvio-colluviali recenti sono distribuiti negli alvei dei corsi d'acqua episodici presenti nel territorio in studio. Sono depositi a prevalente componente pelitica o sabbioso-ghiaiosa e risultano prevalentemente sciolti.

Le giaciture di strato dell'ammasso roccioso calcareo presentano valori di inclinazione compresi tra 5° e 15°, con immersione generalmente verso i quadranti meridionali. Nella zona a nord-est dell'area di intervento, si rileva un sinclinale, con direzione NW-SE. Nella copertura calcarenitica non si rilevano strutture tettoniche e le giaciture degli strati sono sempre sub-orizzontali. Al disotto della calcarenite, in alcuni punti, si rilevano dei depositi di terra rossa residuale. Questo deposito residuale è la diretta espressione del fenomeno carsico, diffusamente presente nel territorio murciano, che testimonia la notevole influenza esercitata dalla componente climatica sull'incarsimento della roccia, sul condizionamento dei processi genetici e sull'evoluzione delle stesse forme carsiche. Dal punto di vista geologico strutturale, dall'esame della carta geologica si rileva che nella zona in studio sono presenti dei sistemi di faglie con direzione sia circa appenninica N.O.-S.E. che circa antiappenninica N.E.-S.O.. Sono presenti anche assi di pieghe, sia sinclinali che anticlinali, con direzioni assiali principalmente N.O.-S.E. Queste sono ben visibili a nord-est dell'area di intervento (fig. 5).

**Nella zona affiora un ammasso roccioso calcareo variamente fratturato ed alterato con, a luoghi, diffuse terre rosse residuali.**

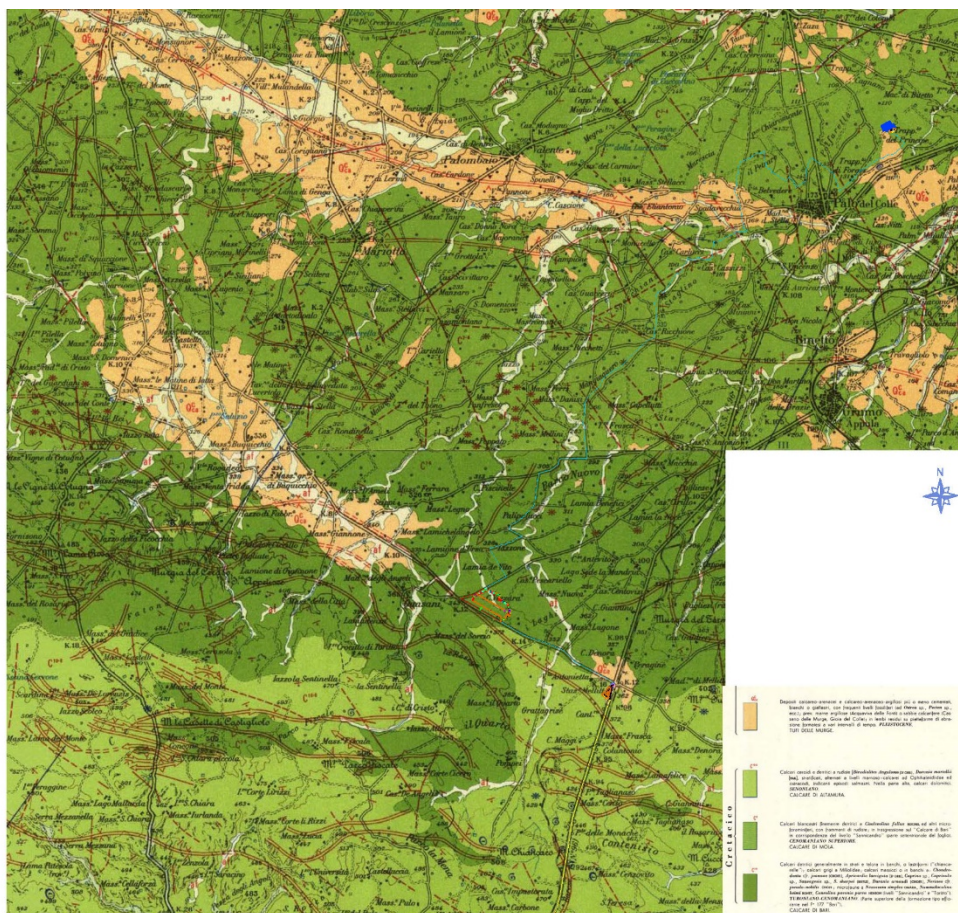


Figura 5 - Carta geologica dei dintorni dell'area di intervento

## 2. LITOLOGIA DI DETTAGLIO

L'area che verrà interessata dall'opera in progetto è caratterizzata in affioramento prevalentemente da due tipologie di depositi, qui di seguito descritti:

- 1 - terreno vegetale e depositi eluviali per uno spessore di m. 0,5÷1,5;
- 2 - rocce calcaree con grado di fratturazione medio-alto con fratture riempite da terreni residuali passanti verso il basso a rocce calcaree con grado di fratturazione medio per uno spessore di circa m 3;
- 3- rocce calcaree con grado di fratturazione medio con fratture riempite da terreni residuali passanti verso il basso a rocce calcaree con grado di fratturazione medio.

Le formazioni rilevate sul campo coincidono perfettamente con quelli emersi dalla carta geologica. Nelle figure 6 è possibile osservare l'interpretazione stratigrafica del sottosuolo nell'area in studio.

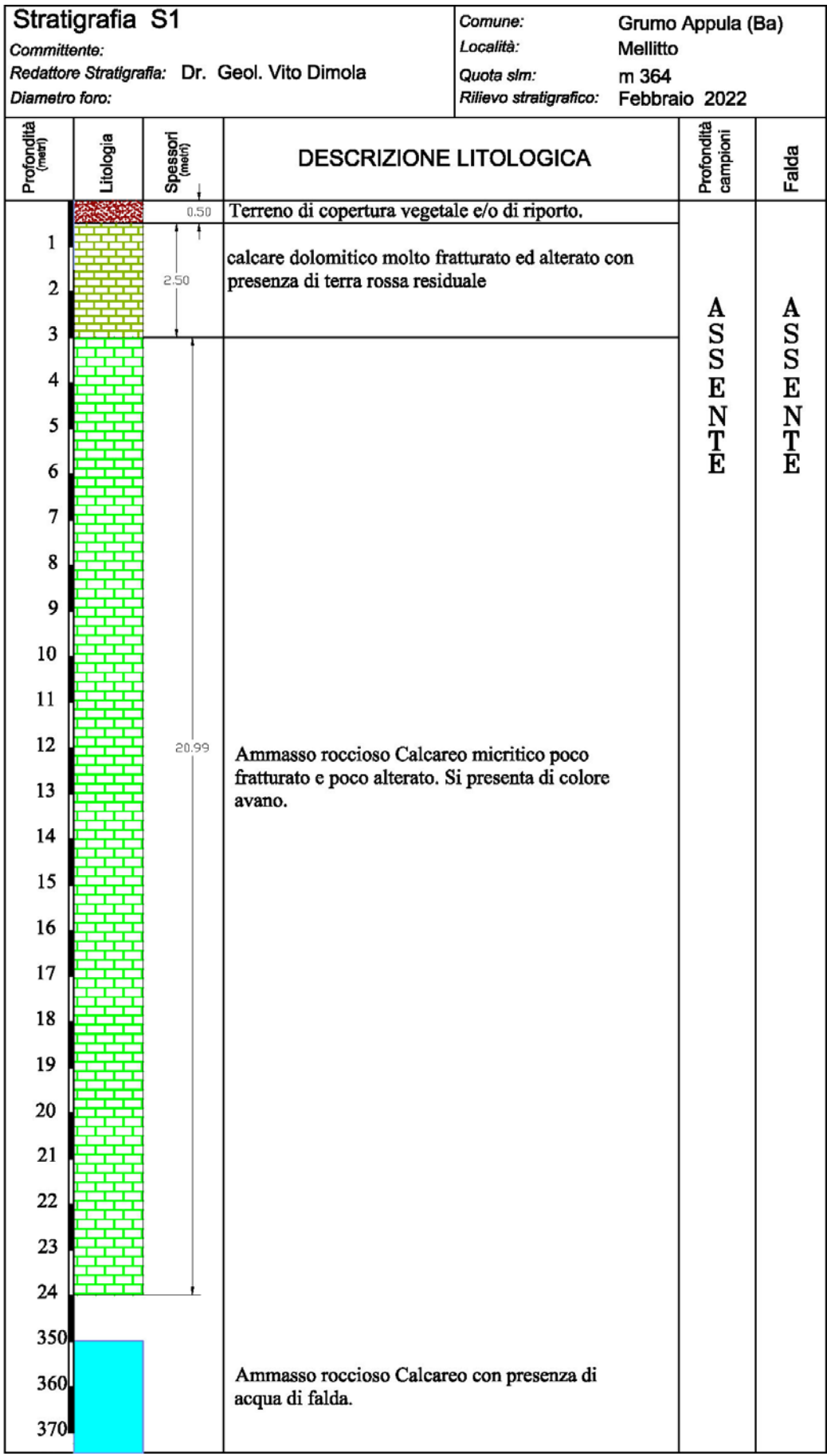


Figura 6 - Colonna stratigrafica

### 3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Il territorio dell'area di intervento presenta poche manifestazioni morfologiche rilevanti, configurandosi circa sub-pianeggiante, con quote che variano tra 345÷367 m s.l.m.

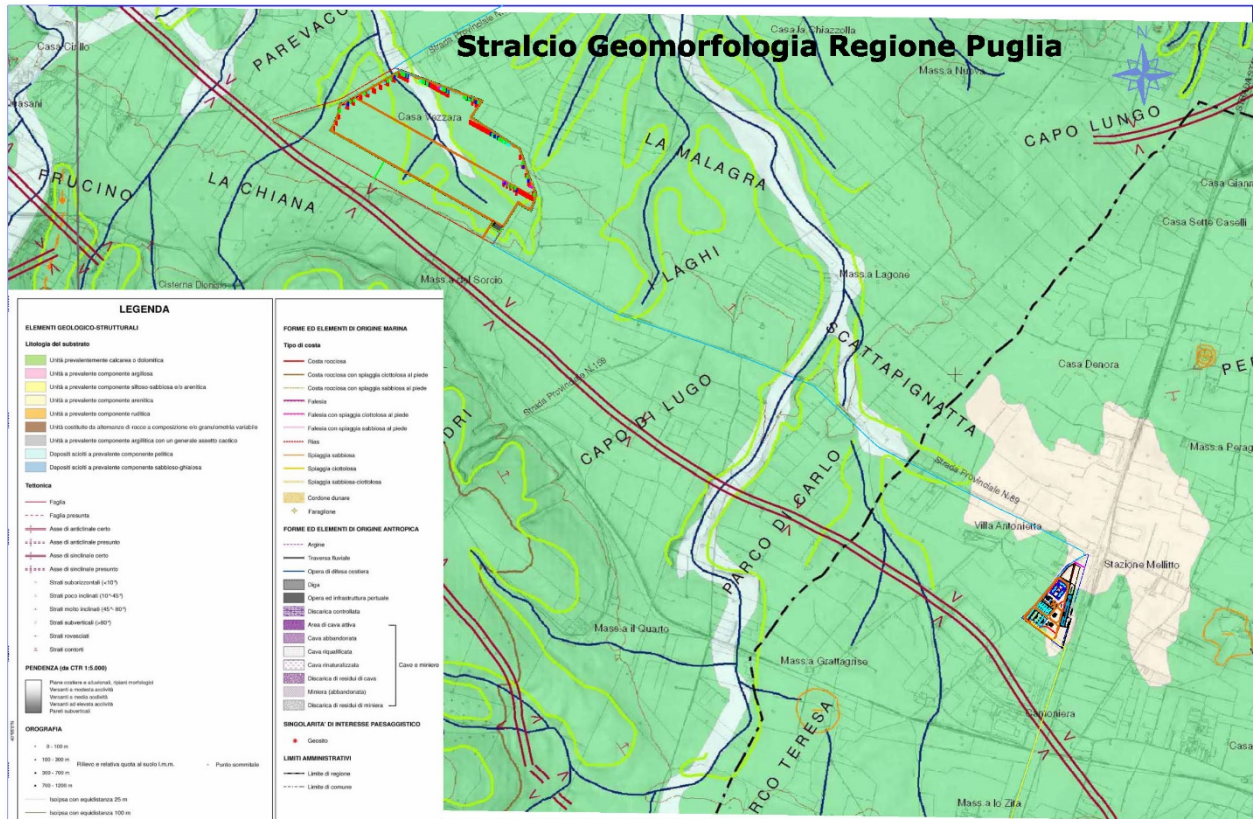


Figura 7 - Carta idrogeomorfologica a grande scala dell'area di intervento

L'area in studio è collocata sul versante di una sinclinale. Nei dintorni dell'area di intervento non sono presenti salti di pendenza, la zona si presenta subpianeggiante.

Non sembrano essere presenti morfologie carsiche epigee o ingressi di morfologie ipogee né all'interno dell'area di intervento, né nei suoi dintorni.

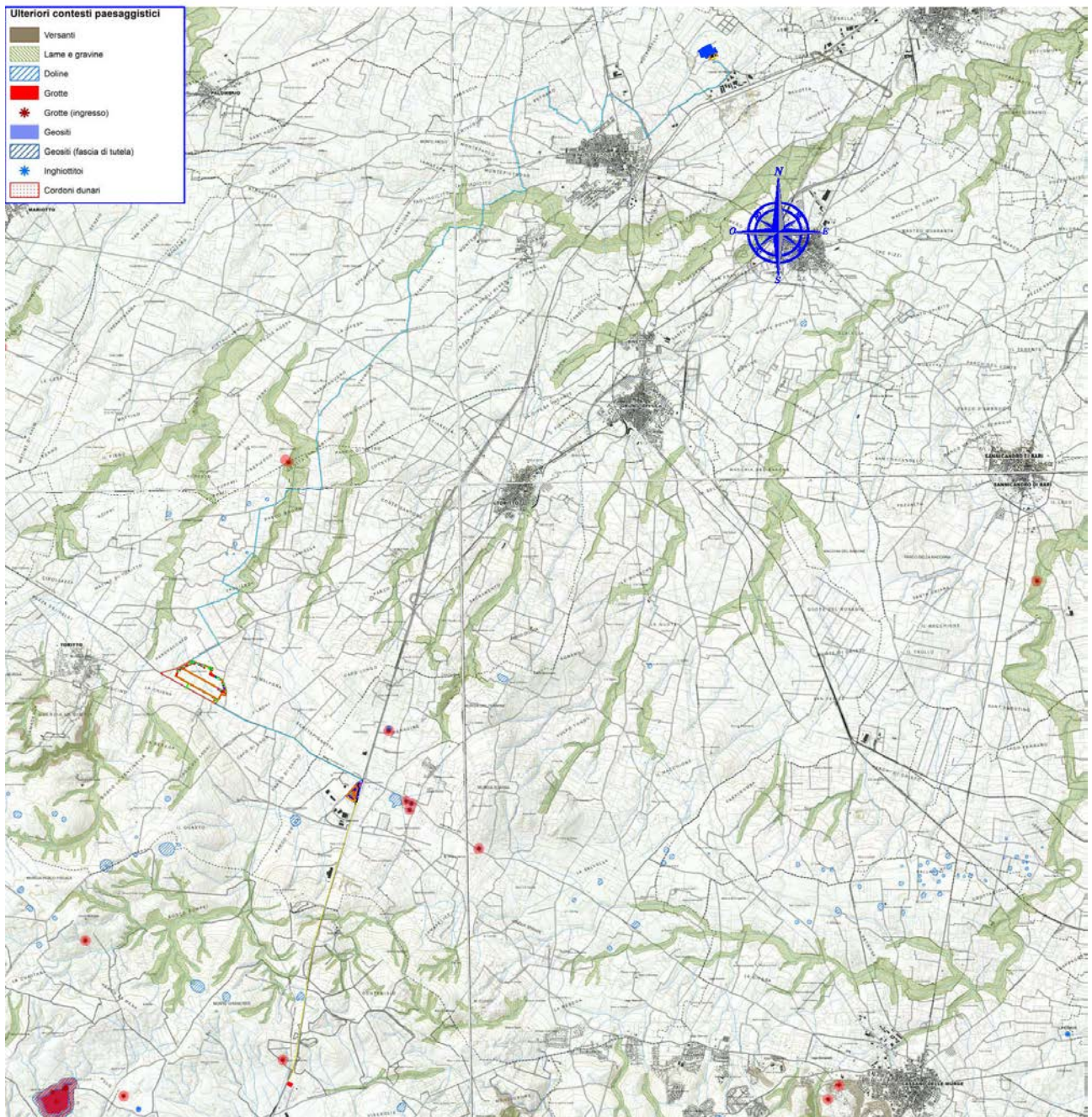


Figura 8 - Carta geomorfologica dell'area di intervento

## 4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

L'area interessata dalle opere da realizzare è situata nei pressi della SS 96 Bari-Altamura e nel tratto della strada che porta a Mariotto ad una quota che varia da m 367 a m 345 sul livello del mare; la morfologia nell'area di studio a causa della forte antropizzazione risulta modificata nel aspetto originale.

Le osservazioni condotte su tale area, pongono in evidenza che esistono rocce calcaree mediamente permeabili sia in affioramento che in profondità che non hanno permesso lo sviluppo di un reticolo idrografico superficiale ma provocano una infiltrazione molto rapida della stessa.

Dal punto di vista idrogeologico generale, nel sottosuolo dell'area in studio esiste un acquifero sottostante che ha sede nei calcari cretacei e fa parte dell'ampia circolazione idrica dell'acquifero murgiano.

I terreni affioranti nella zona vengono divisi, dal punto di vista idrogeologico, in due unità:

1) la prima, più superficiale, costituita da terreno vegetale e calcarenitico, permeabile per porosità con valori di permeabilità compresi tra:

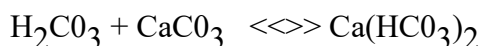
$$K = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s} \div K = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s};$$

2) la seconda, sottostante, costituita da calcari, permeabili per fessurazione e carsismo, hanno valori di permeabilità (a grande scala) compresi tra:

$$K = 1 \times 10^{-2} \text{ m/s} \div K = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}.$$

(Il valore del coefficiente di permeabilità varia a seconda del grado di fratturazione e carsismo dell'ammasso roccioso, tende a zero in presenza di giunti aperti)

Alla prima unità, di piccolo spessore, appartengono i depositi eluviali permeabili per porosità, mentre alla seconda unità appartengono i calcari cretacei (Calcarea di Altamura), i quali, se compatti e non fratturati, si comportano in tutto e per tutto come rocce impermeabili. Queste rocce, se sottoposte a stress tettonici, rispondono alla sollecitazione come un corpo rigido, fratturandosi. Le fratture permettono la penetrazione in profondità dell'acqua meteorica, leggermente acidula per la dissoluzione in essa di anidride carbonica; l'acido carbonico aggredisce i calcari portando in soluzione bicarbonato di calcio, secondo la reazione:



questo processo permette l'allargarsi delle fratture fino alla formazione di ampi sistemi carsici nei quali potrà aver sede una circolazione idrica sotterranea che dipenderà essenzialmente dallo stato di fessurazione dei calcari (Si ricorda che il valore del coefficiente di permeabilità varia a seconda del grado di fratturazione e carsismo dell'ammasso roccioso).

Le rocce calcareo-dolomitiche di età cretacea delle Murge, permeabili per fessurazione e carsismo, ospitano una estesa falda idrica sotterranea, caratterizzata da notevoli potenzialità e spessore. La falda trae alimentazione dalle precipitazioni atmosferiche che ricadono in tutto il territorio delle Murge; la zona di prevalente ricarica di questa falda è collocata in corrispondenza

principalmente delle aree più interne, nei territori dell'Alta Murgia, dove maggiori sono le entità delle precipitazioni. La distribuzione dei carichi piezometrici all'interno della falda (fig. 10) mostra che, nel settore considerato, il deflusso delle acque sotterranee avviene principalmente in direzione N-N E, per quanto riguarda il settore adriatico delle Murge. Uno spartiacque idrogeologico si individua tra Gravina in Puglia ed Altamura. I carichi piezometrici variano da zero (livello di base), in corrispondenza della linea di costa, a circa 100 m, nelle aree più interne. I gradienti piezometrici sono nel complesso elevati, con valori che aumentano procedendo dalle aree interne verso la costa. Le caratteristiche dell'acquifero sono legate alle condizioni strutturali e litologiche delle rocce che lo costituiscono. Il frequente alternarsi, sia in senso orizzontale che verticale, di livelli rocciosi più o meno fratturati e carsificati, diversamente permeabili, determina una forte disomogeneità delle caratteristiche idrauliche. Nelle aree interne delle Murge, la falda si rinviene a notevole profondità dal p.c., confinata da strati rocciosi poco fratturati, decine o centinaia di metri al di sotto del livello del mare. Nelle aree costiere, la falda si rinviene a profondità assai minori, spesso a pelo libero. Al di sotto della quota di rinvenimento dell'acqua, la presenza di interstrati rocciosi poco fratturati, impermeabili, determina spesso il frazionamento della falda su più livelli sovrapposti. La permeabilità d'insieme delle rocce carbonatiche delle Murge non è generalmente molto elevata; a causa della scarsa trasmissività dell'acquifero, le depressioni dinamiche del livello piezometrico, nei pozzi per acqua, sono di solito elevate anche in corrispondenza di portate nel complesso modeste. La base dell'acquifero delle Murge è indefinita in quanto rappresentata da livelli delle stesse rocce calcareo-dolomitiche che con la profondità presentano un grado di fratturazione, porosità d'insieme e permeabilità via via decrescente.

Nelle zone costiere, al di sotto dello strato di acqua dolce, si rinviene l'acqua marina di intrusione continentale. Lo spessore del corpo di acqua dolce aumenta procedendo dalla costa verso l'interno. I valori di salinità dell'acqua, in corrispondenza del tetto della falda, crescono da circa 0.5 g/l nelle aree interne della Murgia, fino a 4-5 g/l nelle aree più vicine alla linea di costa.

La disponibilità di dati stratigrafici e idraulici, relativi ad indagini geoelettriche, eseguite in passato in aree limitrofe, consentono di definire le caratteristiche idrogeologiche locali. La stratigrafia evidenzia che la zona insatura è costituita da un notevole spessore di rocce fratturate, carsificate, permeabili, e da un sottostante intervallo di roccia compatta, che può ritenersi dotato di una conducibilità idraulica molto bassa (acquitardo). **Lo spessore complessivo della zona insatura è di circa 360 m.** Nella fig. 11, si riporta lo schema della sezione geologica della zona.

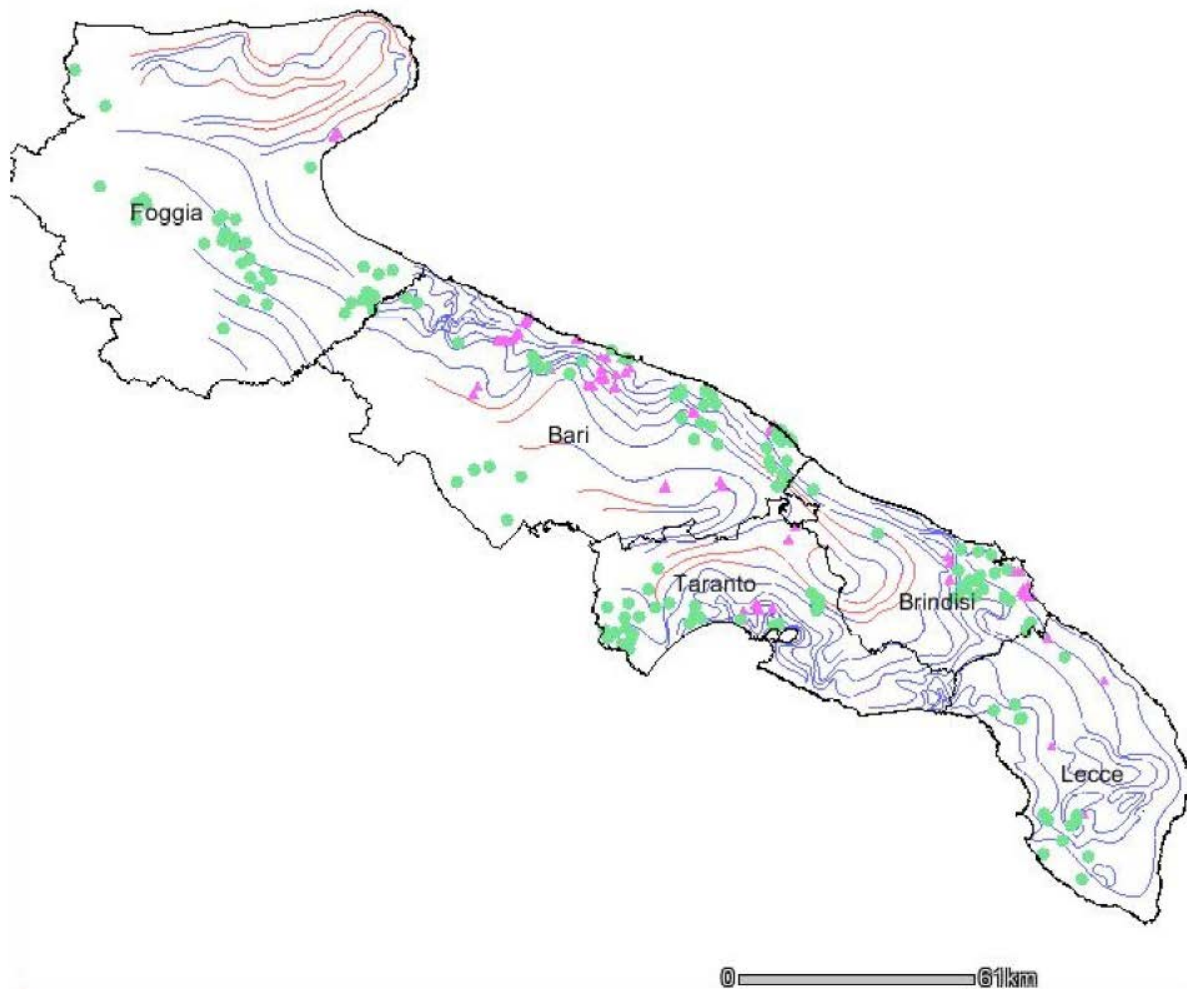
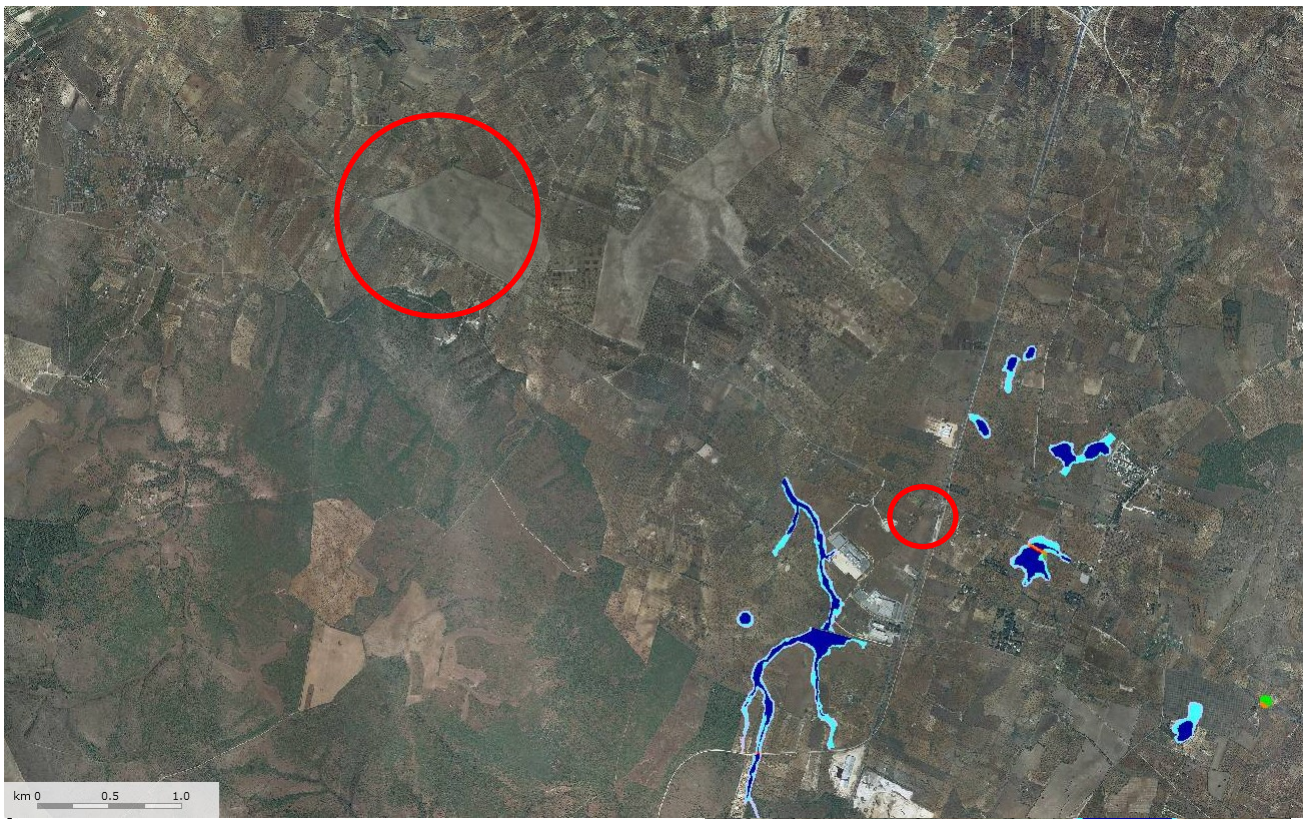


Fig. 9 Carta delle isofreatiche e delle direzione di flusso







**Pericolosità e Rischio**

**Peric. Geomorf.**

media e moderata (PG1)

elevata (PG3)

elevata (PG2)

**Peric. Idraulica**

bassa (BP)

alta (AP)

media (MP)

**Rischio**

R1

R3

R2

R4

Figura 11 – Carta del Rischio del PAI “Autorità Distrettuale dell’Appennino Meridionale”

## 5. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI INDICATIVI

La caratterizzazione geologico-tecnica del sottosuolo è stata compiuta attraverso un'analisi dei dati determinati da prove in sito e dai dati esistenti di bibliografia tecnico-scientifica e relativi a litotipi analoghi a quelli presenti nell'area oggetto d'intervento. Dal punto di vista geologico tecnico i litotipi presenti nelle aree d'intervento possono essere suddivisi in tre principali unità caratterizzate da i seguenti parametri geologico-tecnici di massima che di solito vengono utilizzati per descriverne il comportamento meccanico:

### 1) UNITA' CALCAREO-DOLOMITICA CRETACEA

ammasso roccioso calcareo					
W	Umidità naturale		(%)		
$\gamma_v$	peso di volume naturale	21	KN/m <sup>3</sup>	<b>2,141</b>	g/cm <sup>3</sup>
Cu	coesione non drenata (valido per le terre)		KN/m <sup>2</sup>		Kg/cm <sup>2</sup>
q	resistenza alla compressione			300÷600	Kg/cm <sup>2</sup>
c	coesione puntuale			150	Kg/cm <sup>2</sup>
c <sub>amm</sub>	coesione ammasso roccioso	300	KN/m <sup>2</sup>	3,06	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	angolo di attrito	35÷45	°	35÷45	°
$\mu$	modulo di poisson	0,20÷0,30			
E	Modulo Edometrico (valido per le terre)		KPa		Kg/cm <sup>2</sup>
Ed	Modulo di Young dinamico	3418 ÷ 9389	Mpa		
Es	Modulo di Young statico	355 ÷ 1197	Mpa		
Gd	Modulo di taglio dinamico	1188 ÷ 4120	Mpa		
Gs	Modulo di taglio statico	143 ÷ 496	Mpa		
Rm	rimbalzo martello di Schmidt	22			
KW x	costante di Winkler orizzontale	350	N/cm <sup>3</sup>	35,69	Kg/cm <sup>3</sup>
KW y	costante di Winkler orizzontale	350	N/cm <sup>3</sup>	35,69	Kg/cm <sup>3</sup>
KW z	costante di Winkler verticale	450	N/cm <sup>3</sup>	45,89	Kg/cm <sup>3</sup>

## 2) UNITÀ CALCARENITICA PLEISTOCENICA

ammasso roccioso calcarenitico					
W	Umidità naturale		(%)		
$\gamma_v$	peso di volume naturale	15÷18	KN/m <sup>3</sup>	1,5÷1,8	g/cm <sup>3</sup>
n	porosità	54	%		
C	compattezza	0,46			
$\mu$	modulo di poisson	0,25÷0,32			
Cu	coesione non drenata (valido per le terre)	250	KN/m <sup>2</sup>	2,55	Kg/cm <sup>2</sup>
q	resistenza alla compressione			5÷20	Kg/cm <sup>2</sup>
c	coesione ammasso roccioso	125	KN/m <sup>2</sup>	1,27	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	angolo di attrito	24÷30	°	24÷30	°
E	Modulo Edometrico (valido per le terre)		KPa	200,00	Kg/cm <sup>2</sup>
Ed	Modulo di Young dinamico	5509÷9654	Mpa		
Es	Modulo di Young statico	275÷644	Mpa		
Gd	Modulo di taglio dinamico	2087÷3771	Mpa		
Gs	Modulo di taglio statico		Mpa		
	rigidità sismica	20579÷28382	m/s*KN/m <sup>3</sup>		
KW x	costante di Winkler orizzontale	80	N/cm <sup>3</sup>	8,16	Kg/cm <sup>3</sup>
KW y	costante di Winkler orizzontale	80	N/cm <sup>3</sup>	8,16	Kg/cm <sup>3</sup>
KW z	costante di Winkler verticale	80	N/cm <sup>3</sup>	8,16	Kg/cm <sup>3</sup>

## 3) UNITÀ TERRE ROSSE RESIDUALI

Terra Rossa Residuale Limo-argilloso					
W	Umidità naturale	30	(%)		
$\gamma_v$	peso di volume naturale	18,95	KN/m <sup>3</sup>	1,932	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	peso di volume secco	14,6	KN/m <sup>3</sup>	1,489	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo	19,66	KN/m <sup>3</sup>	2,005	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_s$	peso specifico	26,3	KN/m <sup>3</sup>	2,682	g/cm <sup>3</sup>
e	indice dei vuoti	0,82			
n	porosità	45,06	(%)		
Sr	Grado di saturazione	78,85	(%)		
Ghiaia		0	(%)		
Sabbia		3,97	(%)		
Limo		56,76	(%)		
Argilla		39,28	(%)		
LL	Limite Liquido		(%)		
LP	Limite Plastico		(%)		
IP	Indice Plastico		(%)		
Cu		195,5	KN/m <sup>2</sup>	1,99	Kg/cm <sup>2</sup>
c	coesione	19,5	KN/m <sup>2</sup>	0,20	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	angolo di attrito	24÷25	°	24÷25	°
Ed	Edometrica		KPa	103÷123	Kg/cm <sup>2</sup>
CNR-UNI		A - 7-5 MH			

## 5.1 Classificazione ammasso roccioso

I caratteri di resistenza della formazione rocciosa in esame, considerata nel suo complesso, sono condizionati da due aspetti:

- a) caratteri di resistenza della roccia costituente l'ammasso;
- b) caratteri strutturali dell'ammasso.

### a) Caratteri di resistenza

I caratteri di resistenza della roccia sono stati ricavati attraverso prove in sito, utilizzando il martello di Schmidt, attraverso cui si determina la resistenza a rottura della roccia. Le prove puntuali, di un numero totale di 60, sono state eseguite principalmente sulle rocce calcaree appartenenti agli strati 2 e 3 della colonna stratigrafica riportata in fig. n. 3, e collocati ad una profondità > di m 2 dal p.c. Tale scelta è scaturita dal fatto che su simili strati saranno collocate le strutture di fondazione. I dati ricavati dalle prove sono riportati in tab. A.

PROVE IN SITO SU ROCCE CALCAREE			Peso di volume 2.62
numero strati	natura geologica	numero di prove	rimbalzo martello
1	terreno residuale con litoclasti	-----	-----
2	calcare intens. fratturato	30	20
3	calcare med. fratturato	30	22
numero totale di misurazioni		60	
Valore medio di rimbalzo			21
Resistenza a rottura E.L.L. [kg/cm <sup>2</sup> ]			300÷400
Valore R.Q.D. [%]			40
			tab_A

### b) Caratteri strutturali

I caratteri strutturali sono definiti, in generale, dal complesso degli elementi singenetici o post deposizionali che conferiscono discontinuità all'ammasso quali: giunti di stratificazione, di fessurazione e la relativa morfologia (tipo di contatto, spaziatura, apertura, tipo di riempimento, alterazione delle pareti ecc.).

In questa sede, per fornire un giudizio complessivo della "qualità" dell'ammasso roccioso, sono state considerate alcune delle classiche tecniche correntemente utilizzate in meccanica delle rocce. Uno dei più semplici e noti sistemi di classificazione tecnica delle rocce in sito è l'indice R.Q.D. Tale indice viene determinato dall'osservazione delle carote dei sondaggi. Poiché non è sempre possibile, come nel caso in esame, disporre del materiale necessario per la determinazione

dell'R.Q.D., è possibile correlare l'indice R.Q.D. con la frequenza di fratturazione rilevate sui fronti dello scavo, calcolando così la sommatoria degli strati interi maggiori di cm 10 e dividendola per la lunghezza totale del fronte esaminato. Il valore determinato dall'indice R.Q.D. è risultato essere uguale a:

$$\text{RQD \%} = 40\%$$

Partendo dai valori di R.Q.D. e richiamando i valori dei carichi di rottura medi riportati in tab. A, possiamo, utilizzando la classifica CSIR di BENIAWSKI (1979), classificare qualitativamente l'ammasso roccioso.

La classifica CSIR schematizzata in tab. B tiene conto di cinque parametri:

- 1) la resistenza a compressione;
- 2) il valore di R.Q.D.;
- 3) la spaziatura dei giunti;
- 4) le condizioni dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, grado di riempimento);
- 5) condizioni idrauliche (afflusso d'acqua nello scavo, press. interstiziale).

Ciascun parametro viene valutato in modo quantitativo o qualitativo e a ciascuno di essi è assegnato un indice parziale. Dalla sommatoria di questi, riportati in tab. B, si ricava un indice globale R.M.R. (Rock Mass Roting) che definisce la qualità della roccia, (vedi tab. C). L'ammasso roccioso, riferito agli strati esaminati, secondo la classifica utilizzata, risulta essere di qualità discreta. L'esame di tutti i dati geostratigrafici dell'ammasso roccioso affiorante, sia sul fondo che sulle pareti dello scavo, hanno permesso di stabilire la successione litologica già descritta nel paragrafo 3.

D'ora in poi nella trattazione geotecnica si farà riferimento soltanto al litotipo interessato dalle fondazioni (calcare dolomitico del 2° e 3° strato). Il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione in esame, è assimilabile a quello di un ammasso roccioso caratterizzato da discontinuità costituite principalmente dai giunti di stratificazione e secondariamente da fessure sub-verticali, nonché da fenomenologie carsiche quali cavità di dissoluzione, vuoti singenetici e terre rosse residuali.

I giunti di stratificazione hanno giacitura N 20W 5°SW con spaziature centimetriche, a luoghi evidenziati da terra rossa e/o da terreni residuali. Le fessure e/o le fratture sono quasi sempre totalmente occluse da terre rosse residuali o da prodotti chimici di precipitazione. Le fratture hanno giacitura N 40 E sub-verticale ed hanno una distanza normale che varia da m 0,25 a m 2,2.

I litotipi calcarei, costituenti la "roccia integra", sono interessati talvolta da micro cavità e locali alterazioni che non riducono apprezzabilmente le resistenze meccaniche degli elementi di roccia, i cui valori a compressione semplice, ricavate da prove in laboratorio, sono dell'ordine di 500-800 Kg/cm<sup>2</sup>. Da prove in sito eseguite con il martello di Schmidt, si è ricavato un valore medio di rimbalzo di 22 a cui corrisponde una resistenza alla compressione compresa da 300-400 Kg/cm<sup>2</sup>.

Dalla somma degli indici della tabella B, relativi ai cinque parametri, si ricava l'indice globale dell'ammasso roccioso. L'indice globale RMR e la qualità dell'ammasso roccioso sono riportati in tab. C. In sostanza i dati geostratigrafici osservati indicano la presenza di un ammasso

con resistenza geomeccanica crescente verso il basso, tale che le fondazioni da realizzare saranno attestate ad una profondità tale da raggiungere l'ammasso calcareo integro.

<b>CLASSIFICA GEOMECCANICA CSIR PER GLI AMMASSI ROCCIOSI (BIENIAWSKI 1989)</b>					
<b>Parametri</b>	<b>Campo Valori</b>				
<b>resistenza a compressione della roccia integra [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	> 2.000	1.000÷2000	500÷1.000	250÷500	100÷250
indice	15	12	7	4	2
<b>R.Q.D. [%]</b>	90÷100	75÷90	50÷75	25÷50	< 25
indice	20	17	13	8	3
<b>spaziatura giunti [cm]</b>	> 200	60÷200	20÷60	6÷20	< 6
indice	20	15	10	8	5
<b>condizioni giunti</b>	Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia fresca	Superfici scabre. Apertura <1 mm. Pareti di roccia lievemente alterata	Superfici scabre. Apertura <1 mm. Pareti di roccia alterata	Superfici: lisce o laminate. Riempimento < 5 mm	Riempimento tenero > 5mm di spessore. Giunti aperti > 5mm. Giunti continui
indice	30	25	20	10	0
<b>condizioni idrauliche</b>	molto asciutta	umida	molto umida	acqua in debole pressione	severi problemi idraulici
indice	15	10	7	4	0
					<b>Tab_B</b>

<b>QUALITA' INTRINSECA DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN FUNZIONE DELL'INDICE "RMR"</b>	
<b>SOMMATORIA DEGLI'INDICI</b>	<b>CLASSE E QUALITA'</b>
100÷81	OTTIMA
80÷61	BUONA
60÷41	DISCRETA
40÷21	SCADENTE
< 20	MOLTO SCADENTE
	<b>Tab_C</b>

## 5.2 Determinazione carico di rottura ammasso roccioso calcareo

Per quanto riguarda la determinazione del valore della massima pressione ammissibile sul terreno, sono ben note le difficoltà di fare riferimento a procedimenti teorici di calcolo a causa della complessità della caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, quale quello in oggetto. Infatti il comportamento geomeccanico di un ammasso roccioso è subordinato alla conoscenza di parametri di difficile determinazione, quali: la resistenza a compressione delle pareti dei giunti, i coefficienti di rugosità, l'angolo di attrito di base dei giunti, la scabrezza, ecc. L'esatta valutazione dei suddetti parametri, che serve a definire la legge che collega la resistenza al taglio di picco nei giunti con gli sforzi normali effettivi, può avvenire soltanto attraverso sofisticate ed onerose prove di laboratorio ed in sito, che esorbitano dalle finalità stabilite dalla presente relazione.

Pertanto si farà riferimento a parametri geomeccanici ricavati da prove in sito e da relazioni empiriche. Considerando per la parte di roccia integra una resistenza a compressione semplice pari a 300 Kg/cm<sup>2</sup> (valore min. mis.) ed un angolo di attrito pari a 45°; considerando lo stato di fratturazione dello strato su cui poggeranno le fondazioni ed applicando la relazione di Moven e Avramova-Tacheva (1970), che tiene conto delle discontinuità a metro lineare di roccia, dell'angolo di attrito lungo le superfici dei giunti e della resistenza a compressione ad espansione laterale libera, si ha che:

1) la coesione in sito sarà:

$$c_{amm} = c \times (0,114 \times e^{-0,48(i-2)} + 0,02) \text{ --->}$$

$$c_{amm} = 150 \times (0,114 \times e^{-0,48(12-2)} + 0,02) = 3,05 \text{ Kg/cm}^2$$

2) il carico di rottura unitario sarà:

$$\sigma = 2 c_{amm} \text{tg}^2(45+f/2) \text{ ---> } 35,5 \text{ Kg/cm}^2$$



## 6. AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

**$a_g$**  accelerazione orizzontale massima al sito;

**$F_0$**  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

**$T^*C$**  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*C$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

### STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d’uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti

strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

**Tabella 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

## CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento che di seguito si riporta:

**Tabella 3.2.II** – Categorie di sottosuolo

#### Categoria Descrizione

**A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

**B** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, 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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale 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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale 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.*

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (Per *volume significativo* di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*)  $NSPT_{,30}$  (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle presenti norme D.M. 17/01/2018.

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

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

### **Condizioni topografiche**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

## PERICOLOSITA' SISMICA

Ai fini di una valutazione dell'azione sismica indotta da un terremoto su strutture esistenti o in fase progettuale per il controllo del grado di danneggiamento che potrebbe verificarsi, è utile definire, per l'area di interesse, il livello di "pericolosità sismica di base", riferita ad un suolo rigido con superficie topografica orizzontale e derivante da studi condotti a scala nazionale con procedure e metodologie validate. Detta pericolosità sismica va descritta in modo tale da renderla compatibile con le norme tecniche vigenti ed occorre dotarla di un sufficiente livello di dettaglio sia in termini geografici sia temporali, fornendo, i valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e i parametri che consentono di fornire gli spettri di risposta per diverse probabilità di superamento in 50 anni. Quest'ultima informazione consente di adottare, sia nella progettazione sia nella verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della struttura e all'uso cui essa è destinata, permettendo in tal modo, soluzioni più agevoli del problema progettuale con significative economie. Allo stato attuale, la pericolosità sismica sul reticolo e nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) in cui, i valori di  $a_g$  riportati sono quelli calcolati dal Gruppo di Lavoro MPS (2004) che ha redatto la carta di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Le azioni sismiche di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali le quali vengono definite in funzione di tre parametri:

**$a_g$**  – accelerazione orizzontale massima del terreno

**$F_0$**  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale

**$T^*c$**  – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

. **ag** - il valore previsto dalla pericolosità sismica,

. **F<sub>0</sub>** e **T\*c** – i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine, per individuare a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche, occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione

- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PvR associate a ciascuno degli stati limite considerati. Detta operazione deve essere possibile per tutte le vie di riferimento e per tutti gli stati limite considerati dalle NTC, utilizzando, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica TR espresso in anni.

Fissata, quindi, la vita di riferimento VR, i due parametri TR e PvR sono esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$TR = VR / [-\ln (1 - PvR)]$$

### **Criteri generali di classificazione**

Al fine di trattare i problemi tecnico-amministrativi tipici della gestione del territorio, ogni Regione ha definito l'appartenenza di ciascun Comune o parte di esso, ad una determinata zona sismica, sulla base del valore massimo di un parametro di pericolosità sismica opportunamente valutato, all'interno dell'area considerata.

In particolare è stato utilizzato il valore dell'accelerazione orizzontale massima al suolo **ag<sub>475</sub>**, ossia quella relativa al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni ed una probabilità di superamento del 10%.

In tal modo, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche così definite, con una tolleranza di 0,025 g che permetta di rendere più continua la classificazione sul territorio:

**zona 1**- ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali  $ag_{475} \geq 0,25g$ .

**zona 2** - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali  $0,25 > ag_{475} \geq 0,15g$ .

**zona 3** - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali  $0,15 > ag_{475} \leq 0,05g$ .

**zona 4** - ricadono in questa zona i comuni o parti di essi per i quali  $ag_{475} < 0,05g$ .

## 7. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

I riferimenti legislativi in materia di costruzioni in zona sismica e classificazione sismica del territorio nazionale, in tema di “Microzonazione sismica”, hanno suddiviso il territorio nazionale in quattro “Zone sismiche” caratterizzate da differenti valori di “accelerazione orizzontale massima” su suolo di categoria A. Sulla base dell’O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/03, il comune di Grumo Appula risulta essere classificato in **Zona 3**. Tale Ordinanza, ripresa dal DM del 17 gennaio 2018, contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) non più necessariamente fino alla profondità di 30 m (come era nelle NTC precedenti a quella del 2018), ma alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell’assetto geologico del sottosuolo.

La classificazione è effettuata principalmente sulla base della seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde S  $V_s(strato)$ . Per H si intende 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.

## 8. SISMICITÀ DELLA ZONA E DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

### 8.1. Inquadramento Sismico

Per valutare la sismicità storica del Comune di Grumo Appula e di Toritto sono stati estratti dal catalogo parametrico prodotto dall' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia i terremoti che hanno interessato l'area Comunale dal 1900 al 2012 (fig. 12).

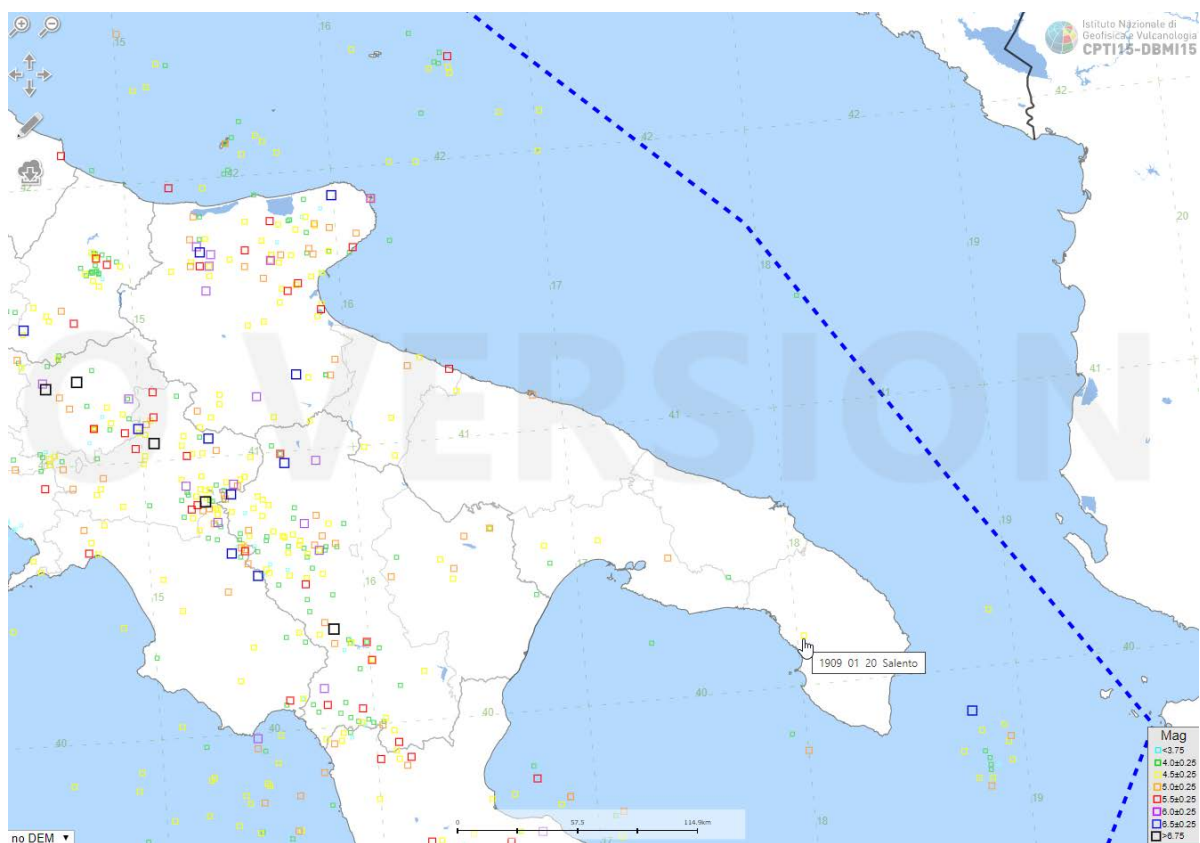


Figura 12 - Ubicazione epicentri terremoti

Come è ben visibile nella figura gli epicentri dei terremoti sono concentrati quasi esclusivamente nella zona Appenninica, la quale risulta essere un'area altamente sismica. Di questi solo alcuni, che hanno presentato magnitudo elevate, sono stati avvertiti nel territorio Comunale: il terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, e quello del Potentino del 5 Maggio del 1990, rispettivamente con magnitudo di 6.8 e 5.2 che corrispondono all'incirca al X-XI e VII grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg) sono stati avvertiti distintamente. Il sisma dell'Irpinia interessò un'area di circa 3.500 Km<sup>2</sup>. In riferimento all'OPCM n° 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche che hanno definito i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (GU n. 105 del 8-5-2003- Suppl. Ordinario n.72), il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche omogenee (fig. 13).

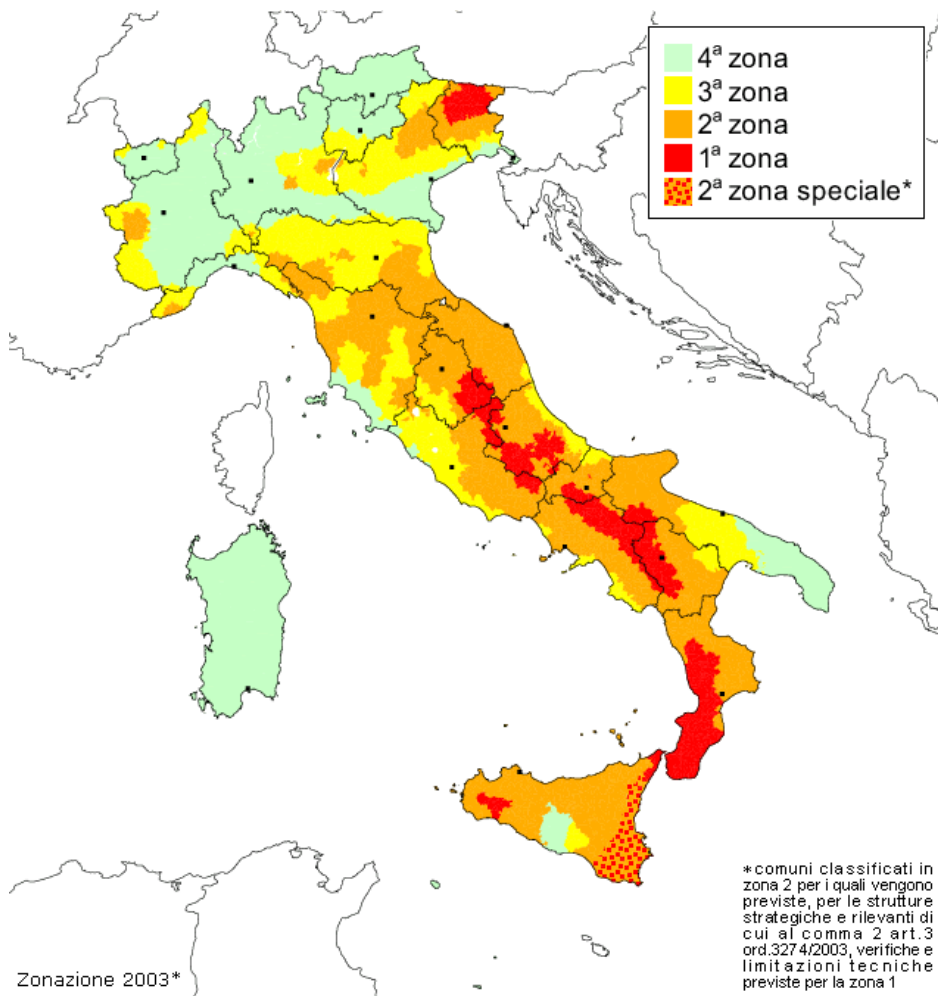


TABELLA 1		
CATEGORIE	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI AG/G	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (NORME TECNICHE) AG/G
1	>0.25	0.35
2	0.15-0.25	0.25
3	0.05-0.15	0.15
4	<0.05	0.05

Livelli energetici delle Azioni sismiche previste dall'OPCM 3274/03 per le varie Zone

Figura 13 - Distribuzione delle categorie sismiche sul territorio nazionale (OPCM n°3274 /03)

Ai Comuni in studio è stata attribuita la Categoria 3<sup>a</sup>, a **medio rischio sismico**. Ad ognuna di queste zone corrisponde un' accelerazione (ag) di riferimento variabile da 0.35 g nella prima zona, fino a 0.05 g nella quarta zona. Nelle figure sottostanti sono riportate le accelerazioni per ogni zona omogenea di riferimento (fig. 14 e 15).



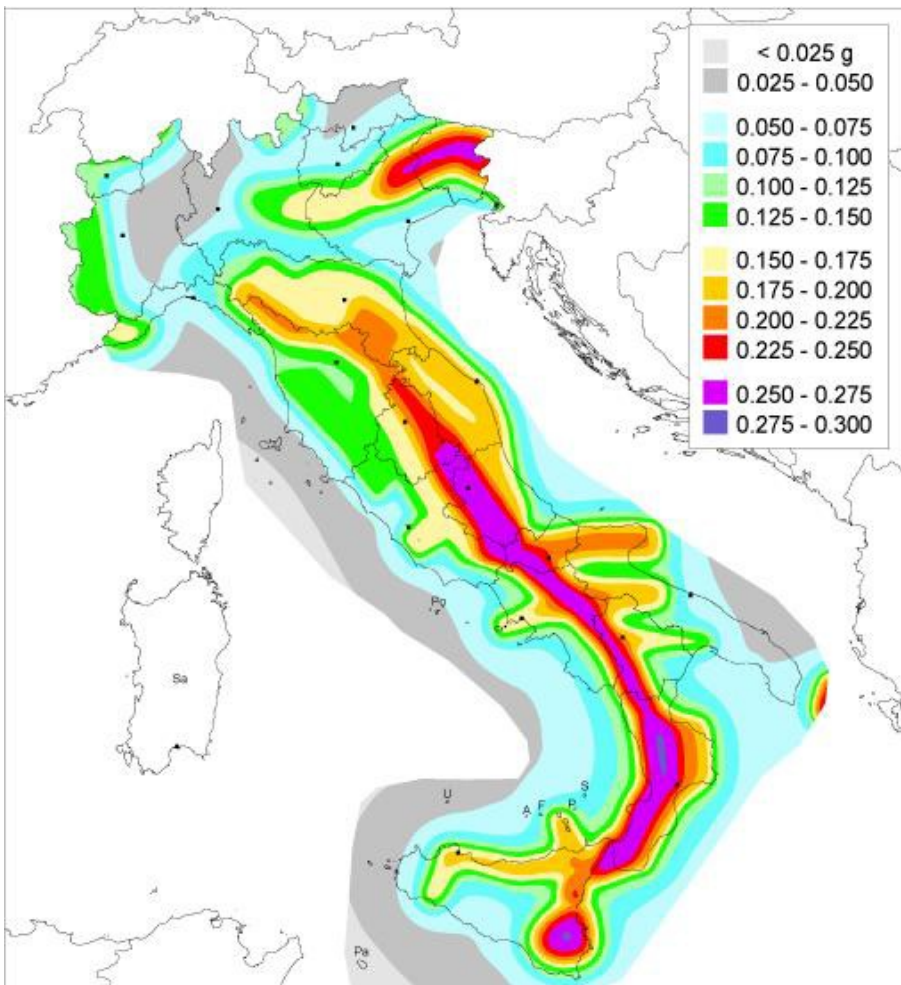
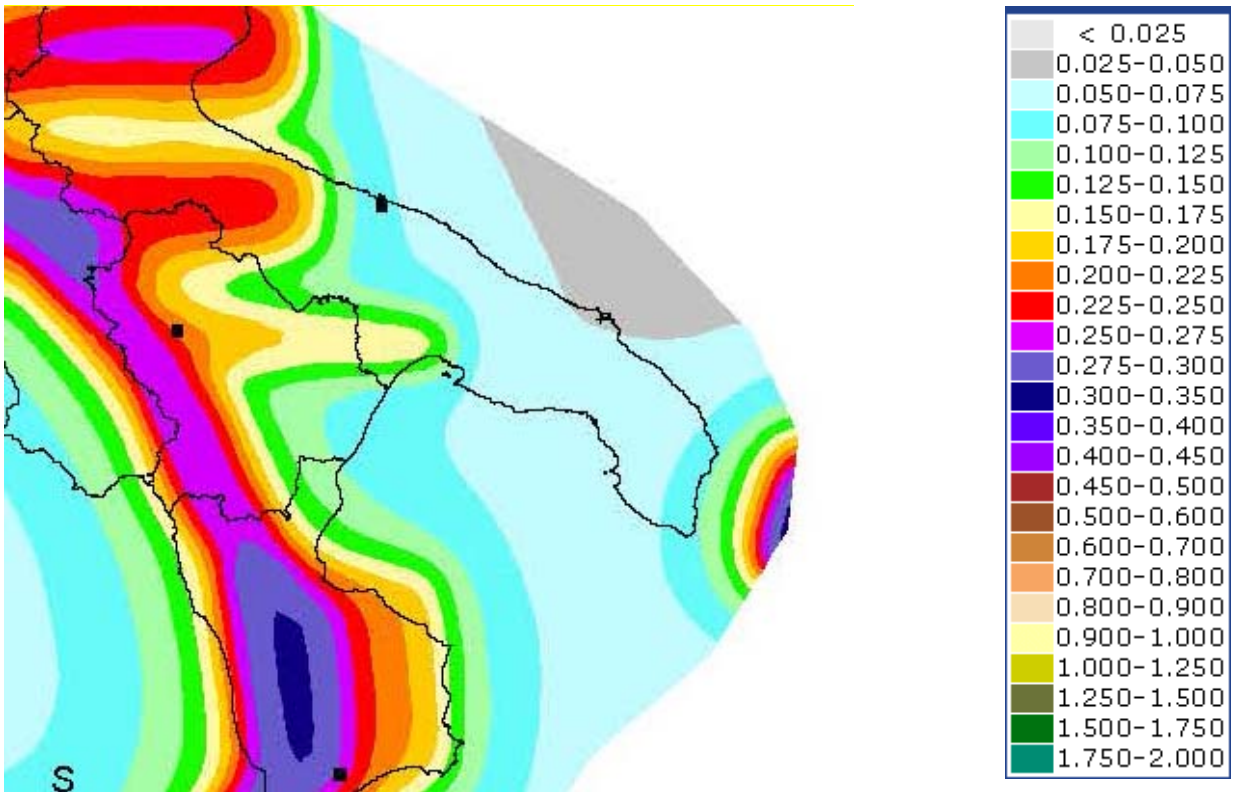


Figura 14 - Distribuzione delle accelerazioni  $a_g$  per ogni zona omogenea di riferimento (OPCM n°3519 /06)

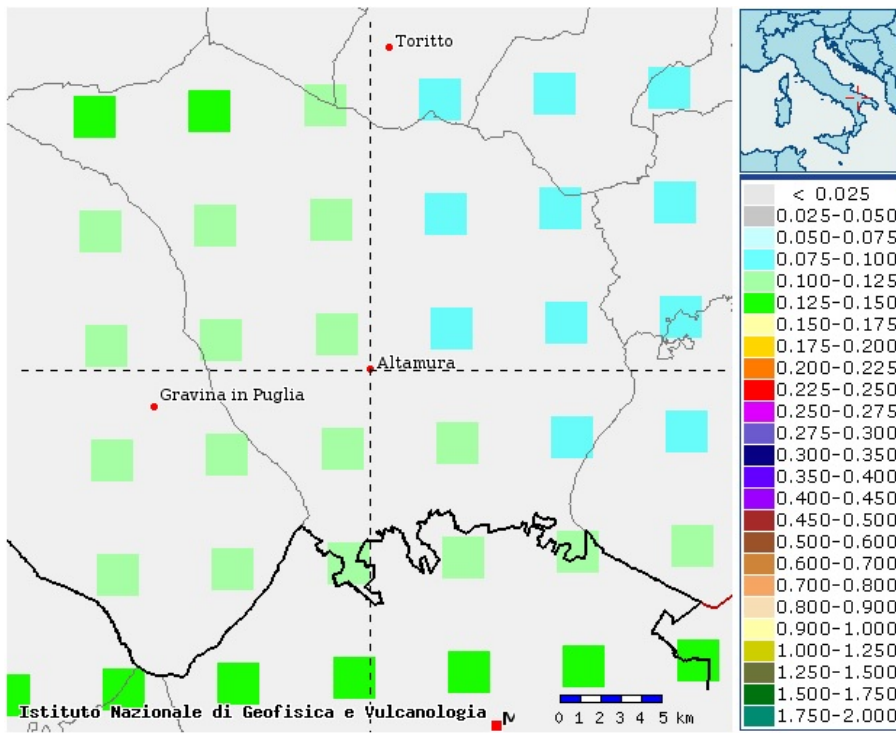


Figura 15- Carta delle accelerazioni sismiche locali

I valori riportati nella figura 16 sono tutti riferiti alle accelerazioni che sono attese a seguito di un evento sismico laddove il sottosuolo interessato sia costituito da formazioni litoidi o rigide, definite quali suoli di Categoria A ( $VS_{30} \geq 800$  m/s). Nella prima colonna della tabella (fig. 13) è riportato il valore di picco orizzontale del suolo ( $ag/g$ ) espresso in percentuale di “g” (accelerazione di gravità), mentre nella seconda colonna sono riportati i valori dell’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico nelle norme tecniche sulle costruzioni. I Comuni in studio sono stati classificati come zona sismica di 3<sup>a</sup> categoria a cui corrisponde un’accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra 0,05 g e 0,15 g che si traduce in un’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a:  $0.15$  ( $ag/g$ ). A chiarimento di questo paragrafo si riportano (Fonte CPTI15 v2.0 - DBMI15 “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani” consultati per località, a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)) i risultati di uno studio eseguito su tutto il territorio nazionale, che considera la ricorrenza dei forti terremoti dall’anno 1000. Per una completa comprensione della tabella si consideri che la colonna “effetti” riporta, in termini di intensità (Int.) (Scala Mercalli – MCS), mentre la colonna “in occasione del terremoto del” riporta, oltre al toponimo dell’area epicentrale, quanto “forte” è stato il terremoto sia in termini di intensità ( $I_0$ ) che di magnitudo ( $M_w$ ) (Scala Richter).

Di seguito si riportano osservazioni sismiche disponibili per Grumo Appula e Toritto (tab. 1 e 2 e fig. 16-17).

## Storia sismica di Grumo Appula [41.012, 16.708]



Numero di eventi: 9

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
6	1857 12 16 21:15	Basilicata	340	11 7.03 ±0.08	
3	1893 08 10 20:52	Gargano	69	8 5.36 ±0.22	
6	1948 08 18 21:12	Puglia settentrionale	59	7-8 5.64 ±0.21	
6	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09	
4-5	1990 05 05 07:21	Potentino	1374	5.80 ±0.09	
3	1991 05 26 12:26	Potentino	597	7 5.11 ±0.09	
4-5	1995 09 30 10:14	Gargano	145	6 5.18 ±0.09	
NF	1996 04 03 13:04	Irpinia	557	6 4.93 ±0.09	
4-5	2006 05 29 02:20	Promontorio del Gargano	384	5-6 4.63 ±0.09	

Tabella 1 - Elenco degli eventi sismici registrati nel territorio di Grumo Appula

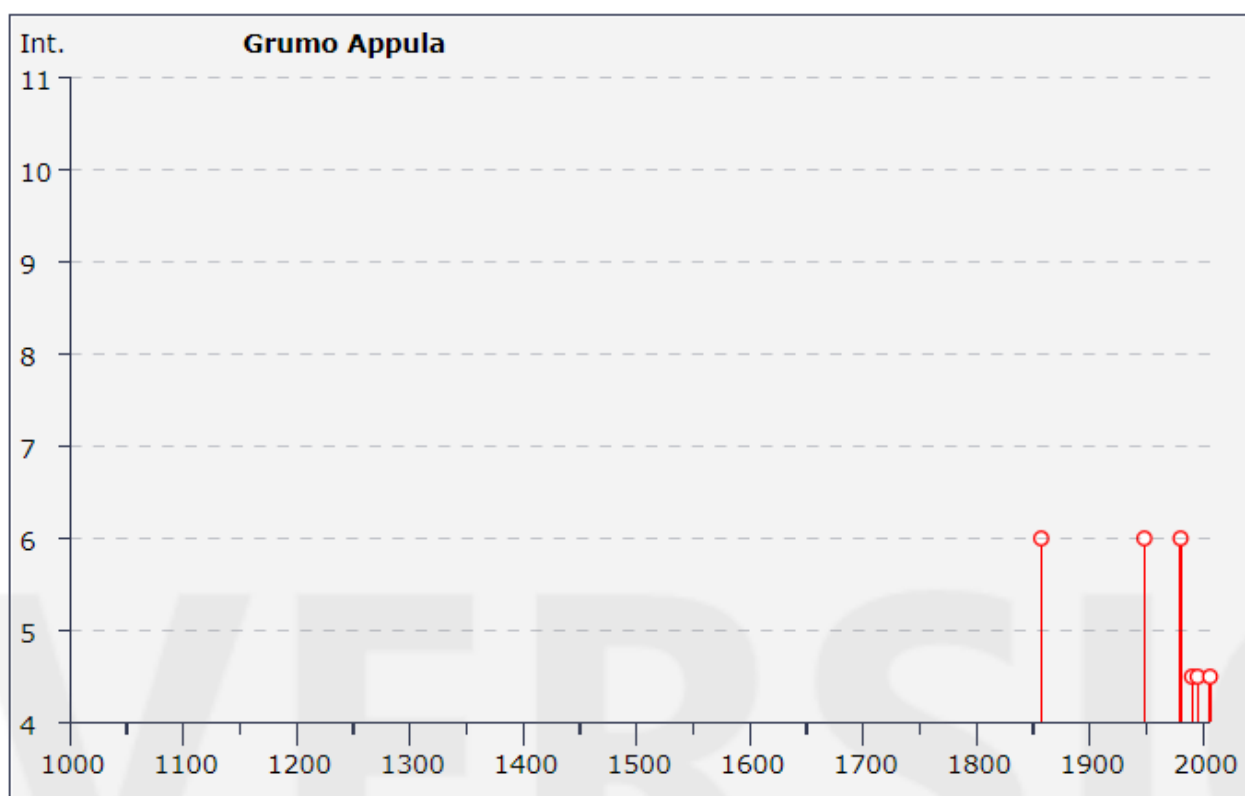


Figura 16- Eventi sismici rilevati nel territorio di Altamura su grafico anno-intensità

Legenda:

**NF** - non avvertito (not felt); in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a I = 1

**F** - avvertito (felt); in genere si esclude che vi siano danni (equiparabile ad I = 3.9)

## Storia sismica di Toritto [40.997, 16.680]



Numero di eventi: 9

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1978 09 25 10:08	Matera	120	6 4.88 ±0.13
5	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
NF	1984 05 07 17:49	Appennino abruzzese	912	8 5.89 ±0.09
NF	1984 05 11 10:41	Appennino abruzzese	342	5.50 ±0.09
NF	1988 04 26 00:53	Adriatico centrale	78	5.39 ±0.09
5	1990 05 05 07:21	Potentino	1374	5.80 ±0.09
4-5	1991 05 26 12:26	Potentino	597	7 5.11 ±0.09
4	1995 09 30 10:14	Gargano	145	6 5.18 ±0.09
NF	1996 04 03 13:04	Irpinia	557	6 4.93 ±0.09

Tabella 22 - Elenco degli eventi sismici registrati nel territorio di Toritto

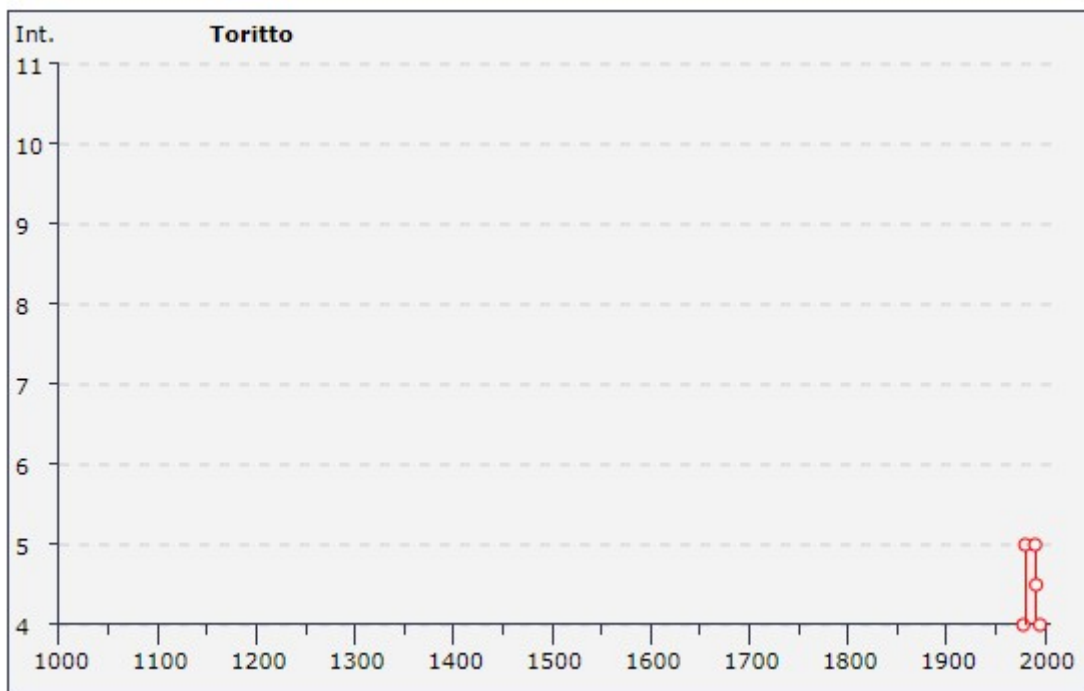


Figura 17- Eventi sismici rilevati nel territorio di Altamura su grafico anno-intensità

Legenda:

NF - non avvertito (not felt); in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a I = 1

F - avvertito (felt); in genere si esclude che vi siano danni (equiparabile ad I = 3.9)

## 8.2. Verifica dell'azione sismica

Con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni – D.M. 17.01.18, vengono stabiliti nuovi e precisi criteri prestazionali di verifica dell'azione sismica nella progettazione di nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante un'analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle categorie di sottosuolo e della definizione della pericolosità di base fondata su un reticolo di punti di riferimento costruito per l'intero territorio nazionale. La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tab. 2.

TIPI DI COSTRUZIONI		Vita nominale VN (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 3 - Vita nominale VN per diversi tipi di opera (NTC 2018)

In presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso, la cui definizione viene di seguito sinteticamente riportata:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso provochi conseguenze rilevanti;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B, importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe annesse al funzionamento di acquedotti e ad impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN \cdot CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tab. 3:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE CU	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 4 - Valori del coefficiente d'uso CU (NTC 2018)

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti:

**Gli stati limite di esercizio sono:**

- Stato Limite di Operatività (SLO);
- Stato Limite di Danno (SLD).

**Gli stati limite ultimi sono:**

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tab. 4:

Stati Limite	PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 5 - Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite (NTC 2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del D.M. In alternativa, 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 (VS). I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove, oppure sono valutati opportunamente in funzione di relazioni empiriche. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in tab. 5.

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<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>B</b>	<i>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.</i>
<b>C</b>	<i>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.</i>
<b>D</b>	<i>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.</i>
<b>E</b>	<i>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.</i>

Tabella 6 - Categorie di sottosuolo (NTC 2018)

Per la determinazione dell'azione sismica occorre considerare anche le condizioni stratigrafiche locali e il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità, è possibile adottare la seguente classificazione (tab. 6):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7 - Classificazione dei terreni in funzione delle condizioni topografiche del sito

### 8.3. Analisi sismica del sito di progetto

#### DATI DI INPUT PER AMMASSO ROCCIOSO

##### **Tipo "A"**

Comune	<b>GRUMO APPULA (Ba)</b>
Latitudine e Latitudine WGS84	<b>40.944544 - 16.640098</b>
Latitudine e Latitudine ED50	<b>40.945524 – 16.640917</b>
Categoria suolo	<b>A</b>
Tipo di costruzione	<b>2</b>
Vita Nominale	<b>50 anni</b>
Classe d'uso	<b>II</b>
Coefficiente d'uso	<b>1</b>
Vita di riferimento ( $V_R = V_N \times C_U$ )	<b>50</b>

##### **Tipo "A"**

Comune	<b>TORITTO (Ba)</b>
Latitudine e Latitudine WGS84	<b>40.966062 - 16.601246</b>
Latitudine e Latitudine ED50	<b>40.967041 – 16.602066</b>
Categoria suolo	<b>A</b>
Tipo di costruzione	<b>2</b>
Vita Nominale	<b>50 anni</b>
Classe d'uso	<b>II</b>
Coefficiente d'uso	<b>1</b>
Vita di riferimento ( $V_R = V_N \times C_U$ )	<b>50</b>

In riferimento al sito di progetto, la struttura da realizzare rientra in classe II – Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari con una vita nominale  $V_N$  50 anni. In considerazione delle risultanze dello studio geofisico ottenuto attraverso una prospezione sismica ed in particolare dai valori di velocità delle onde di tipo S (Allegato INDAGINI SISMICHE ottenuti da stendimenti sismici, è possibile assegnare al sito in studio la categoria del sottosuolo di tipo "A"). Trattandosi di area pianeggiante, l'area in esame ricade in categoria T1, a cui non è attribuibile alcun fenomeno di amplificazione sismica legato alle condizioni topografiche .



Categoria topografica	Ubicazione intervento	ST
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	<b>1,0</b>
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4

**Tab. 6** Tabella amplificazione topografica

I parametri sismici calcolati per i diversi tempi di ritorno sono indicati nella tabella 7 seguente, considerando il periodo di riferimento per l'azione sismica 50 anni:

**Parametri Categoria suolo tipo "A" GRUMO APPULA "Produzione Idrogeno"**

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
<b>SLO</b>	30	0,031	2,472	0,252
<b>SLD</b>	50	0,038	2,519	0,292
<b>SLV</b>	475	0,092	2,653	0,447
<b>SLC</b>	975	0,123	2,653	0,493

**Parametri Categoria suolo tipo "A" TORITTO "Parco Fotovoltaico"**

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
<b>SLO</b>	30	0,033	2,488	0,256
<b>SLD</b>	50	0,040	2,530	0,295
<b>SLV</b>	475	0,106	2,523	0,438
<b>SLC</b>	975	0,143	2,605	0,438

**Tab. 7** Valori dei parametri sismici per i periodi di ritorno  $T_R$

calcolando il fattore topografico ST e il coefficiente di amplificazione stratigrafica o di sottosuolo SS è possibile determinare, infine, i valori di accelerazione massima **A<sub>max</sub>** del sito per ciascuno stato limite e rispetto al periodo di ritorno  $T_R$ , riportati nella successiva tabella 8.

*Valori coefficienti sismici GRUMO APPULA "Produzione Idrogeno"*

<b>Stato limite</b>	<b>SS</b>	<b>CC</b>	<b>ST</b>	<b>Kh</b>	<b>Kv</b>	<b>A max</b>	<b>Beta</b>
<b>SLO</b>	1,00	1,00	1,0	0,006	0,003	0,307	0,200
<b>SLD</b>	1,00	1,00	1,0	0,008	0,004	0,377	0,200
<b>SLV</b>	1,00	1,00	1,0	0,018	0,009	0,900	0,200
<b>SLC</b>	1,00	1,00	1,0	0,033	0,017	1,211	0,270

*Valori coefficienti sismici TORITTO "Parco Fotovoltaico"*

<b>Stato limite</b>	<b>SS</b>	<b>CC</b>	<b>ST</b>	<b>Kh</b>	<b>Kv</b>	<b>A max</b>	<b>Beta</b>
<b>SLO</b>	1,00	1,00	1,0	0,007	0,003	0,319	0,200
<b>SLD</b>	1,00	1,00	1,0	0,008	0,004	0,392	0,200
<b>SLV</b>	1,00	1,00	1,0	0,029	0,014	1,037	0,270
<b>SLC</b>	1,00	1,00	1,0	0,039	0,019	1,400	0,270

*Tab. 8 Valori dei coefficienti sismici associati a ciascun Stato Limite*

<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</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.
<b>C</b>	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.
<b>D</b>	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 m/s e 180 m/s.
<b>E</b>	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 30m.

*Tabella 9 –*

*Categorie di sottosuolo NTC 2018, con evidenziata la categoria di suolo A, corrispondente al suolo indagato.*

## 10. CONCLUSIONI

L'indagine geologica, con applicazioni geotecniche e geofisiche, eseguita sui terreni fondali, ha mostrato che il sito d'intervento ricade su di un ammasso roccioso calcareo, ricoperto da una coltre di deposito eluviale di piccolo spessore. A luoghi, si rilevano sacche di terra rossa residuale. Pertanto le fondazioni potranno incontrare tre tipi di materiali. Si consiglia di attestare le fondazioni sull'ammasso roccioso calcareo, superando in ogni caso, le zone alterate. Nella zona è presente una falda profonda ad una profondità di circa m 360 dal piano campagna, considerata la profondità di rilevazione, non potrà causare interferenze e/o cedimenti delle fondazioni a causa di eventuali oscillazioni del livello statico della falda stessa. Non sono previste interferenze della falda con le opere fondali previste in progetto.

Secondo la nuova classificazione sismica, Grumo Appula e Toritto ricadono in zona 3.

La categoria di profilo stratigrafico associato alla nostra zona è di tipo:

- categoria "A" per l'ammasso roccioso calcareo.

Di seguito si riporta il carico di rottura delle formazioni presenti nell'area di intervento:

### *Deposito di copertura vegetale/eluviale:*

$$\begin{aligned} \gamma &= 1,80 && \text{g/cm}^3 \\ \phi &= 22 \div 25 && ^\circ \\ - \sigma_r &= 2 && \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Il carico SLU da applicare al deposito eluviale non deve superare il valore di:

-  $\sigma_{\text{SLU}} = 0.86 \text{ Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili nello SLU del deposito).

### *Terre Rosse Residuali:*

$$\begin{aligned} \gamma &= 1,93 && \text{g/cm}^3 \\ \phi &= 24 \div 25 && ^\circ \\ C &= 0,20 && \text{Kg/cm}^2 \\ Cu &= 1,10 \div 1,90 && \text{Kg/cm}^2 \\ - \sigma_r &= 2,2 && \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Il carico SLU da applicare al deposito eluviale non deve superare il valore di:

-  $\sigma_{\text{SLU}} = 0.95 \text{ Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili nello SLU del deposito).

Il coefficiente di reazione è:

-  $K_{w_h} = 5 \div 10 \text{ Kg/cm}^3$ ;

-  $K_{w_z} = 5 \div 10 \text{ Kg/cm}^3$ .

**Unità calcarea:**

$\gamma$	=	2,14÷2,35	$\text{g/cm}^3$
$\phi$	=	35÷45	°
$C$	=	150	$\text{Kg/cm}^2$
$C_{amm}$	=	3,50	$\text{Kg/cm}^2$
$-\sigma_r$	=	35,5	$\text{Kg/cm}^2$

Il carico SLU da applicare all'unità calcarea non deve superare il valore di:

-  $\sigma_{SLU} = 15 \text{ Kg/cm}^2$  (tensioni ammissibili nello SLU dell'ammasso roccioso calcareo).

Il coefficiente di reazione è:

-  $K_{wh} = 20 \div 45 \text{ Kg/cm}^3$ ;

-  $K_{wz} = 35 \div 80 \text{ Kg/cm}^3$ .

Sulla scorta di quanto detto in precedenza si è potuto definire il modello geologico e geologico-tecnico che caratterizza l'area di intervento, che risulta così definito:

- il sottosuolo dell'area di intervento risulta costituito da una successione di rocce calcaree che si presenta più fratturato ed alterato nella parte più superficiale per poi diventare meno fratturato e meno alterato più in profondità;
- nell'area d'intervento non sono presenti forme di carsismo epigeo come doline, vore o pozzi carsici che risultano ubicate principalmente a nord-est rispetto all'area di interesse;
- il livello statico della falda acquifera carsica di base, per la zona in studio, si attesta ad una profondità di circa m 360 dal p.c., con uno carico piezometrico di circa 10 m s.l.m., pertanto non sussistono problemi d'interazione tra la stessa e le opere o manufatti da realizzare;
- ai sensi del PPTR l'area non risulta interessata dall'ambito Aree Protette (SIC-ZPS) e sono state collocate in aree prive di componenti ambientali sensibili;
- ai sensi del P.A.I. (Autorità Distrettuale dell'Appennino Meridionale) le aree d'intervento non ricadono in aree a pericolosità idraulica e geomorfologica di alcun tipo.

In conclusione si può dunque asserire che l'attuazione del progetto è possibile, con le dovute attenzioni da rivolgere alla tipologia di fondazione scelta. Particolare cura dovrà essere rivolta nella messa in opera delle opere di captazione e smaltimento delle acque piovane e delle opere fognarie, in modo da evitare infiltrazioni e ristagni idrici al livello e sotto i piani fondali, con conseguente scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e successivo innesco di possibili cedimenti differenziali. Dal punto di vista geologico, idrogeologico, morfologico, idraulico e sismico la realizzazione dell'intervento, così come proposto, non modificherà l'assetto dell'intera area e non creerà fenomeni di instabilità di alcun genere. **Atteso tutto ciò, considerato i carichi trasmessi al terreno di fondazione, l'intervento proposto, dal punto di vista geologico, idrogeologico, morfologico e sismico, si ritiene ammissibile.**

Altamura, Febbraio 2022

il geologo

## Parametri fisico-meccanici

### 1) UNITA' CALCAREO-DOLOMITICA CRETACEA

ammasso roccioso calcareo					
W	Umidità naturale		(%)		
$\gamma_v$	peso di volume naturale	21	KN/m <sup>3</sup>	<b>2,141</b>	g/cm <sup>3</sup>
Cu	coesione non drenata (valido per le terre)		KN/m <sup>2</sup>		Kg/cm <sup>2</sup>
q	resistenza alla compressione			300÷600	Kg/cm <sup>2</sup>
c	coesione puntuale			150	Kg/cm <sup>2</sup>
c <sub>amm</sub>	coesione ammasso roccioso	300	KN/m <sup>2</sup>	3,06	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	angolo di attrito	35÷45	°	35÷45	°
$\mu$	modulo di poisson	0,20÷0,30			
E	Modulo Edometrico (valido per le terre)		KPa		Kg/cm <sup>2</sup>
Ed	Modulo di Young dinamico	3418 ÷ 9389	Mpa		
Es	Modulo di Young statico	355 ÷ 1197	Mpa		
Gd	Modulo di taglio dinamico	1188 ÷ 4120	Mpa		
Gs	Modulo di taglio statico	143 ÷ 496	Mpa		
Rm	rimbalzo martello di Schmidt	22			
KW <sub>x</sub>	costante di Winkler orizzontale	350	N/cm <sup>3</sup>	35,69	Kg/cm <sup>3</sup>
KW <sub>y</sub>	costante di Winkler orizzontale	350	N/cm <sup>3</sup>	35,69	Kg/cm <sup>3</sup>
KW <sub>z</sub>	costante di Winkler verticale	450	N/cm <sup>3</sup>	45,89	Kg/cm <sup>3</sup>

## 2) UNITÀ CALCARENITICA PLEISTOCENICA

ammasso roccioso calcarenitico					
W	Umidità naturale		(%)		
$\gamma_v$	peso di volume naturale	15÷18	KN/m <sup>3</sup>	<b>1,5÷1,8</b>	g/cm <sup>3</sup>
n	porosità	54	%		
C	compattezza	0,46			
$\mu$	modulo di poisson	0,25÷0,32			
Cu	coesione non drenata (valido per le terre)	250	KN/m <sup>2</sup>	2,55	Kg/cm <sup>2</sup>
q	resistenza alla compressione			5÷20	Kg/cm <sup>2</sup>
c	coesione ammasso roccioso	125	KN/m <sup>2</sup>	1,27	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	angolo di attrito	24÷30	°	24÷30	°
E	Modulo Edometrico (valido per le terre)		KPa	200,00	Kg/cm <sup>2</sup>
Ed	Modulo di Young dinamico	5509÷9654	Mpa		
Es	Modulo di Young statico	275÷644	Mpa		
Gd	Modulo di taglio dinamico	2087÷3771	Mpa		
Gs	Modulo di taglio statico		Mpa		
	rigidità sismica	20579÷28382	m/s*KN/m <sup>3</sup>		
KW x	costante di Winkler orizzontale	80	N/cm <sup>3</sup>	8,16	Kg/cm <sup>3</sup>
KW y	costante di Winkler orizzontale	80	N/cm <sup>3</sup>	8,16	Kg/cm <sup>3</sup>
KW z	costante di Winkler verticale	80	N/cm <sup>3</sup>	8,16	Kg/cm <sup>3</sup>

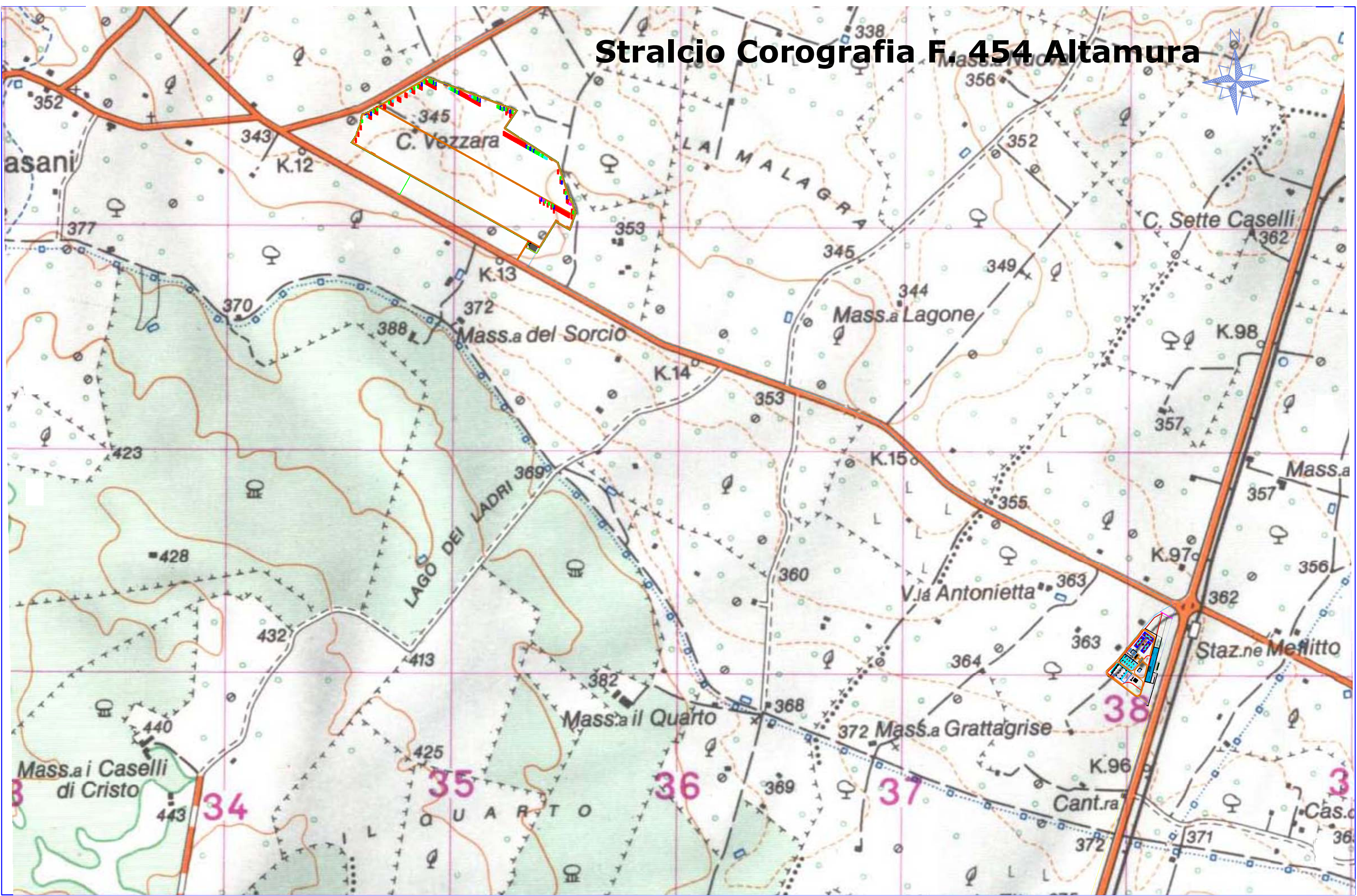
## 3) UNITÀ TERRE ROSSE RESIDUALI

Terra Rossa Residuale Limo-argilloso					
W	Umidità naturale	30	(%)		
$\gamma_v$	peso di volume naturale	18,95	KN/m <sup>3</sup>	1,932	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_d$	peso di volume secco	14,6	KN/m <sup>3</sup>	1,489	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo	19,66	KN/m <sup>3</sup>	2,005	g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_s$	peso specifico	26,3	KN/m <sup>3</sup>	2,682	g/cm <sup>3</sup>
e	indice dei vuoti	0,82			
n	porosità	45,06	(%)		
Sr	Grado di saturazione	78,85	(%)		
Ghiaia		0	(%)		
Sabbia		3,97	(%)		
Limo		56,76	(%)		
Argilla		39,28	(%)		
LL	Limite Liquido		(%)		
LP	Limite Plastico		(%)		
IP	Indice Plastico		(%)		
Cu		195,5	KN/m <sup>2</sup>	1,99	Kg/cm <sup>2</sup>
c	coesione	19,5	KN/m <sup>2</sup>	0,20	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	angolo di attrito	24÷25	°	24÷25	°
Ed	Edometrica		KPa	103÷123	Kg/cm <sup>2</sup>
CNR-UNI		A - 7-5 MH			

## **Allegati**

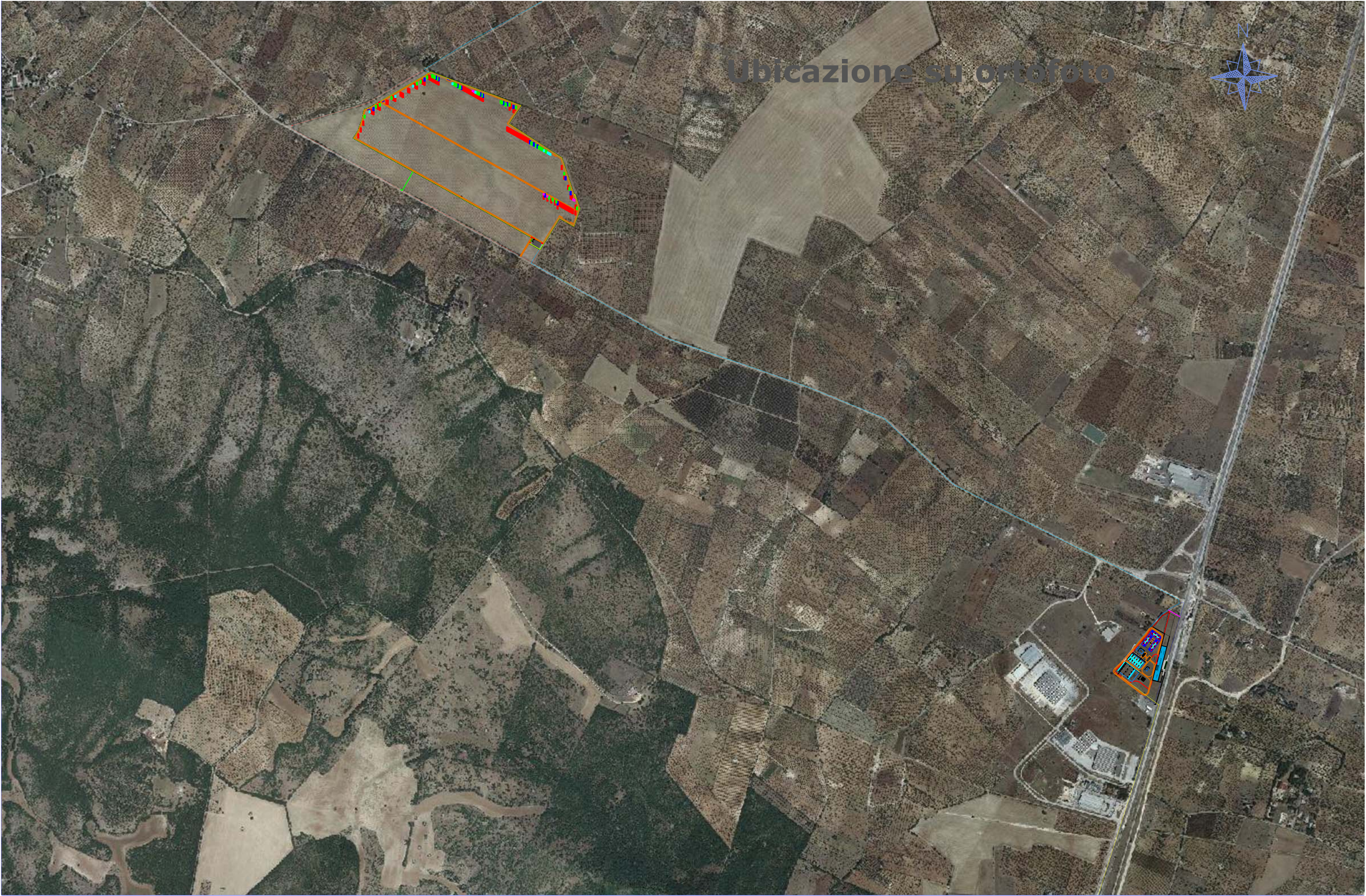
- **Tav\_01 Corografia della zona**
- **Tav\_02 Ortofoto della zona**
- **Tav\_03 CTR Puglia**
- **Tav\_04 Carta Geolitologica**
- **Tav\_05 Carta Geomorfologica**
- **Tav\_06 Stratigrafie**
- **Tav\_07 Sezione Geolitologica-modello geologico-tecnico**
- **Tav\_08 Stralcio PPTR Puglia**
- **Tav\_09 Stralcio PTA Puglia**
- **Tav\_09 Stralcio Cartografia del Rischio AdB**
- **Tav\_10 Indagini Indirette (Geofisica) e parametri sismici**

# Stralcio Corografia F. 454 Altamura



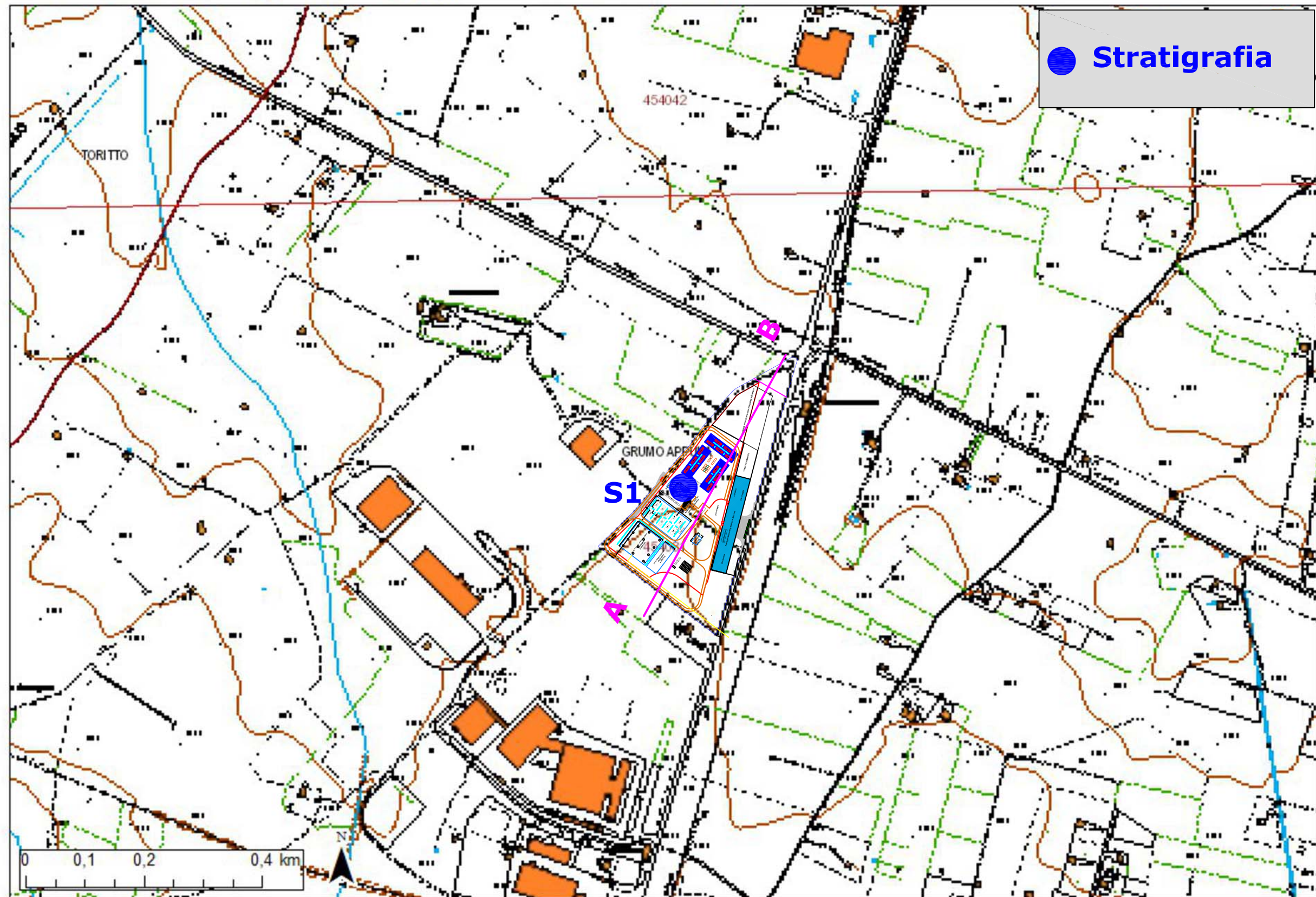


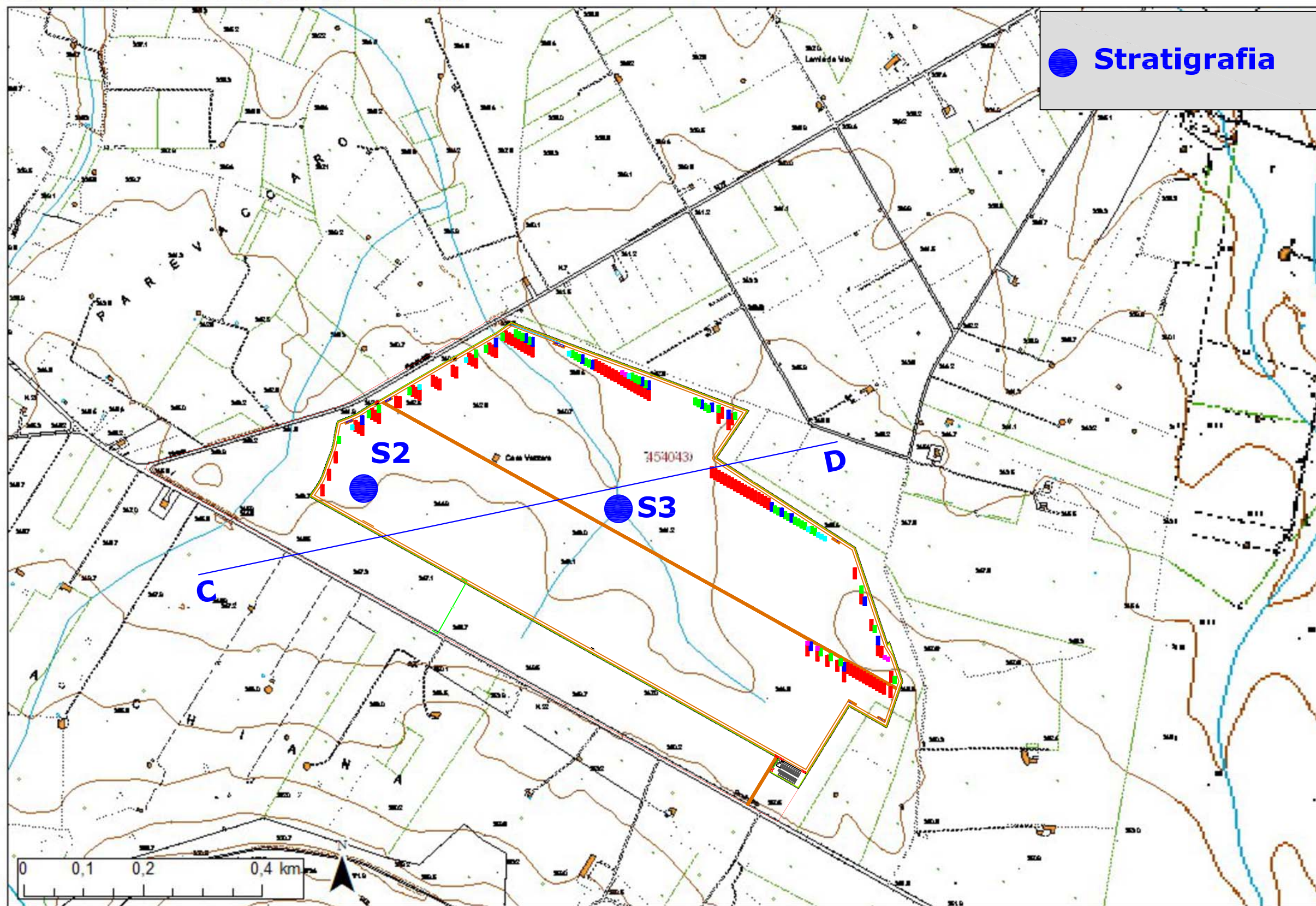
# Ubicazione su ortofoto



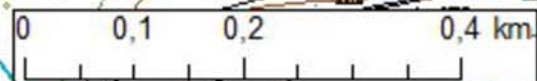
Traccia Sezione

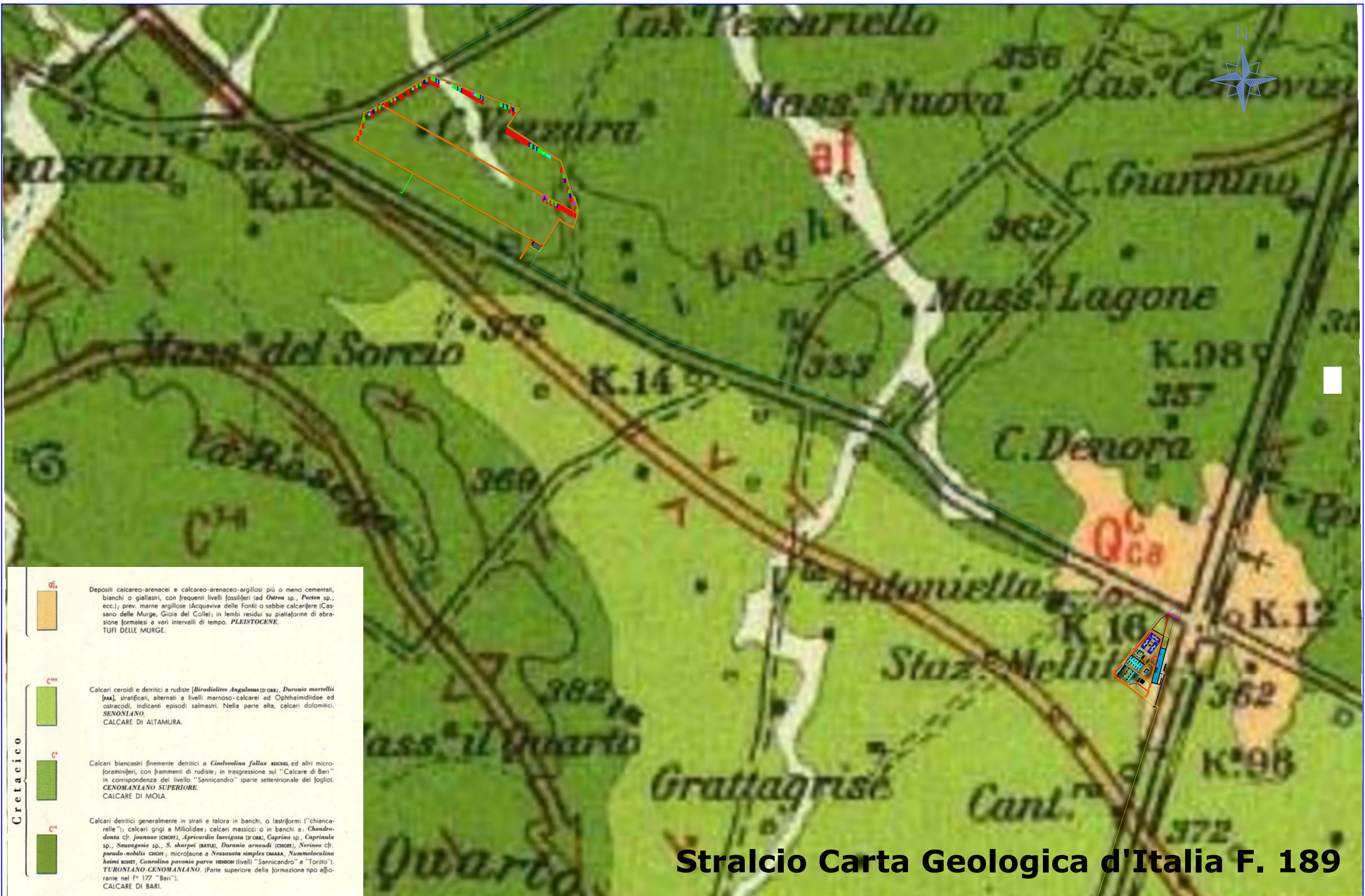
● Stratigrafia



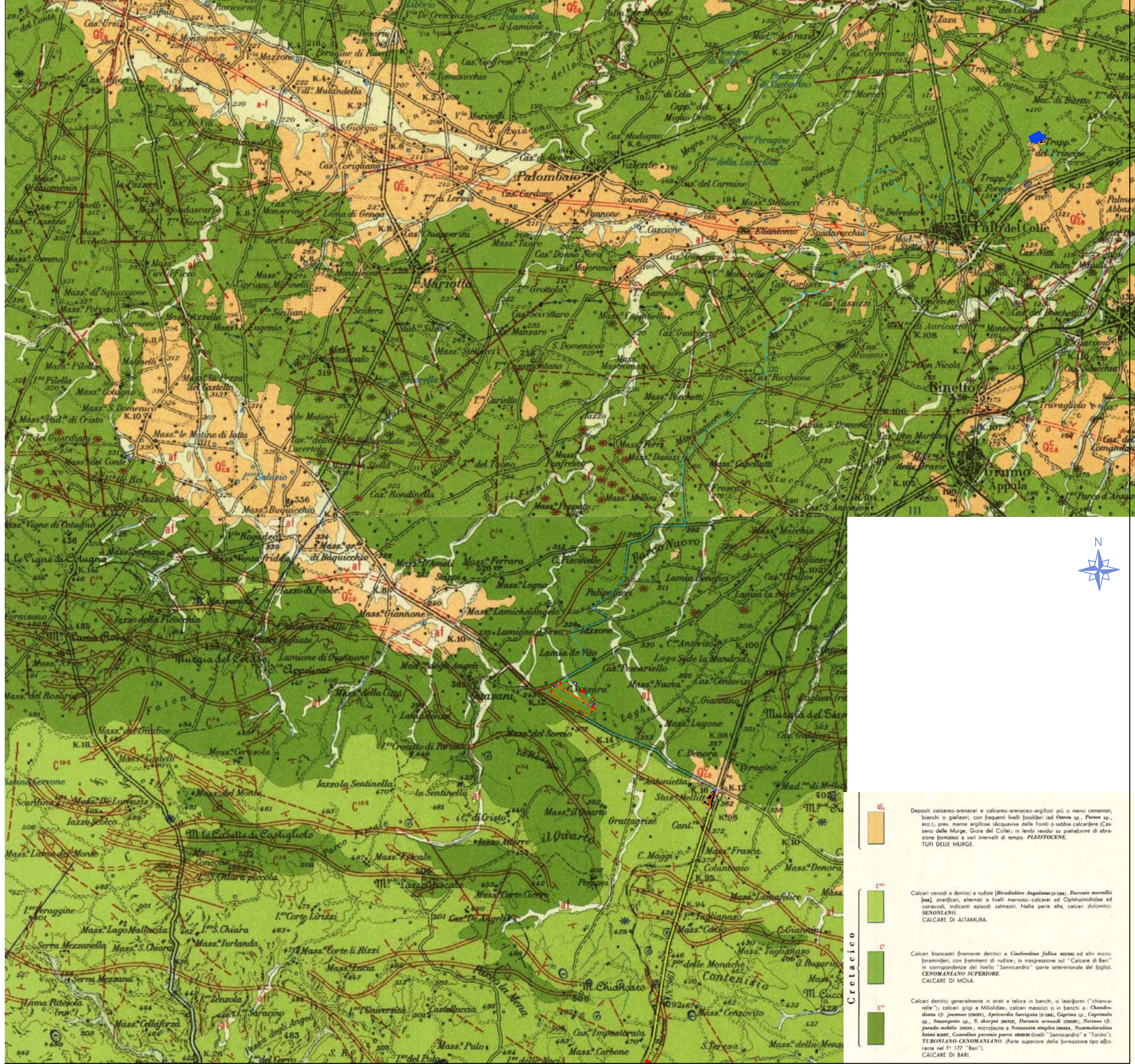


● Stratigrafia



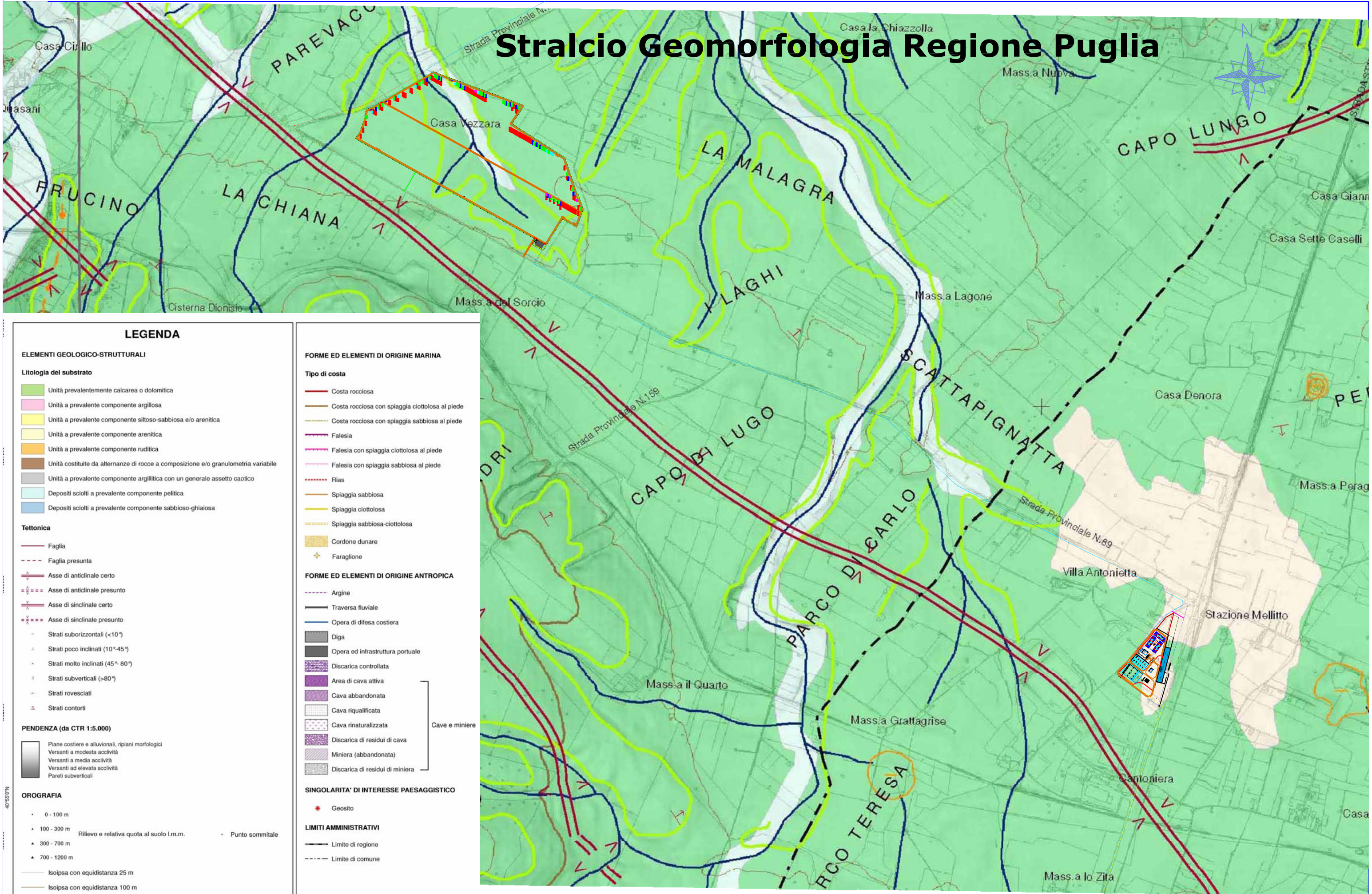


**Stralcio Carta Geologica d'Italia F. 189**



- Q<sub>ca</sub>**
- Depositi calcareo-arenacei e calcareo-arenaceo-argillosi più o meno cementati, bianchi o giallastri, con frequenti livelli fossiliferi (ad *Ostrea* sp., *Pecten* sp., ecc.); prev. marne argillose (Acquedive delle Fonti) o sabbie calcariere (Cassano delle Murge, Gioia del Colle); in lembi residui su piattaforme di erosione formatesi a vari intervalli di tempo. **PLIOSTOCENE.**
- C<sup>10a</sup>**
- Calcarei ceroidi e detritici a rudiste [*Biradiolites Angulosa* (ROSS), *Durania martelli* (SA), stratificati, alternati a livelli memoso-calcarei ad *Ophthalmitoides* ed ostracodi, indicanti episodi salmastri. Nella parte alta, calcari dolomiti. **SENONIANO.**  
CALCARE DI ALTAMURA.
- C<sup>10b</sup>**
- Calcarei biancastri finemente detritici a *Cinetrodina fallax* (ROSS) ed altri microforaminiferi, con frammenti di rudiste; in trasgressione sul "Calcare di Bari" in corrispondenza del livello "Sannicandro" (parte settentrionale del foglio). **CENOMANIANO SUPERIORE.**  
CALCARE DI MOIA.
- C<sup>10c</sup>**
- Calcarei detritici generalmente in strati e talora in banchi, o lastriiformi ("chiancarelle"); calcari grigi o miceloidi; calcari massicci o in banchi a *Chondrodonta cf. jovanus* (SCHOTT), *Apicardina larvigata* (ZORR), *Caprina* sp., *Caprinella* sp., *Sauvignoni* sp., *S. shorpei* (BATES), *Durania arsanudi* (SCHOTT), *Nerinea cf. parvula*, *nobilis* (SCHOTT); microfune a *Neosassa simplex* (OMARA), *Nummuloculina heimi* (ROSS), *Canadolina pavonia* (parvi) (HEDEN) (livelli "Sannicandro" e "Torito"). **TURONIANO-CENOMANIANO.** (Parte superiore della formazione tipo effiorante nel P. 177 "Bari").  
CALCARE DI BARI.

# Stralcio Geomorfologia Regione Puglia



## LEGENDA

### ELEMENTI GEOLOGICO-STRUTTURALI

#### Litologia del substrato

- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
- Unità a prevalente componente argillosa
- Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
- Unità a prevalente componente arenitica
- Unità a prevalente componente ruditica
- Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile
- Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico
- Depositi sciolti a prevalente componente pelitica
- Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa

#### Tettonica

- Faglia
- Faglia presunta
- Asse di anticlinale certo
- Asse di anticlinale presunto
- Asse di sinclinale certo
- Asse di sinclinale presunto
- Strati suborizzontali (<10°)
- Strati poco inclinati (10°-45°)
- Strati molto inclinati (45°-80°)
- Strati subverticali (>80°)
- Strati rovesciati
- Strati contorti

#### PENDENZA (da CTR 1:5.000)

- Piane costiere e alluvionali, ripiani morfologici
- Versanti a modesta acclività
- Versanti a media acclività
- Versanti ad elevata acclività
- Pareti subverticali

#### OROGRAFIA

- 0 - 100 m
- 100 - 300 m
- 300 - 700 m
- 700 - 1200 m
- Isolipsa con equidistanza 25 m
- Isolipsa con equidistanza 100 m
- Rilievo e relativa quota al suolo l.m.m.
- Punto sommitale

### FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE MARINA

#### Tipo di costa

- Costa rocciosa
- Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede
- Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede
- Falesia
- Falesia con spiaggia ciottolosa al piede
- Falesia con spiaggia sabbiosa al piede
- Rias
- Spiaggia sabbiosa
- Spiaggia ciottolosa
- Spiaggia sabbiosa-ciottolosa
- Cordone dunare
- Faraglione

### FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA

- Argine
- Traversa fluviale
- Opera di difesa costiera
- Diga
- Opera ed infrastruttura portuale
- Discarica controllata
- Area di cava attiva
- Cava abbandonata
- Cava riqualificata
- Cava rinaturalizzata
- Discarica di residui di cava
- Miniera (abbandonata)
- Discarica di residui di miniera

Cave e miniere

### SINGOLARITA' DI INTERESSE PAESAGGISTICO

- Geosito

### LIMITI AMMINISTRATIVI

- Limite di regione
- Limite di comune

# Stratigrafia S1

Committente:

Redattore Stratigrafia: Dr. Geol. Vito Dimola

Diametro foro:

Comune:

Grumo Appula (Ba)

Località:

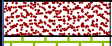
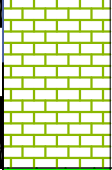
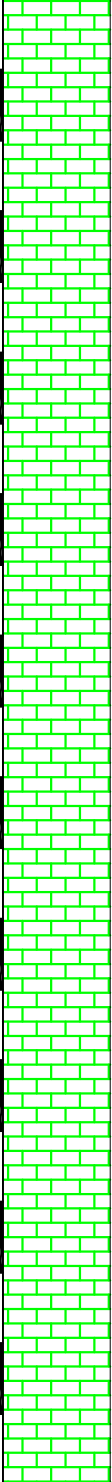
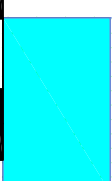
Mellitto

Quota slm:

m 364

Rilievo stratigrafico:

Febbraio 2022

Profondità (metri)	Litologia	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Profondità campioni	Falda
		0.50	Terreno di copertura vegetale e/o di riporto.		
1		2.50	calcarea dolomitico molto fratturato ed alterato con presenza di terra rossa residuale	A S S E N T E	A S S E N T E
2					
3					
4		20.99	Ammasso roccioso Calcareao micritico poco fratturato e poco alterato. Si presenta di colore avano.		
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
350			Ammasso roccioso Calcareao con presenza di acqua di falda.		
360					
370					

# Stratigrafia S2

Committente:

Redattore Stratigrafia: Dr. Geol. Vito Dimola

Diametro foro:

Comune:

Toritto (Ba)

Località:



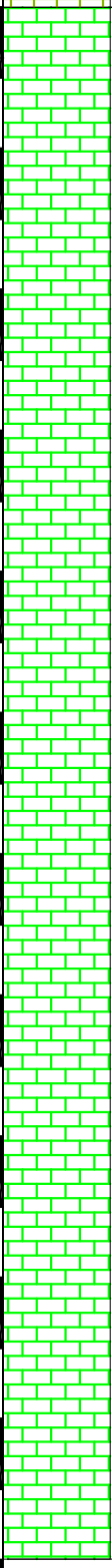
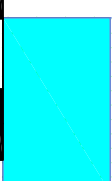
Parevaccaro

Quota p.c. slm:

m 346

Rilievo stratigrafico:

Febbraio 2022

Profondità (metri)	Litologia	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Profondità campioni	Falda
		0.50	Terreno di copertura vegetale e/o di riporto.		
1		1.50	calcare in straterelli molto fratturato ed alterato		
2		21.99	Ammasso roccioso Calcereo micritico poco fratturato e poco alterato. Si presenta di colore avano.	A S S E N T E	A S S E N T E
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
330			Ammasso roccioso Calcereo con presenza di acqua di falda.		
340					
350					



# Stratigrafia S3

Committente:

Redattore Stratigrafia: Dr. Geol. Vito Dimola

Diametro foro:

Comune:

Toritto (Ba)

Località:


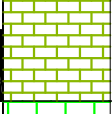
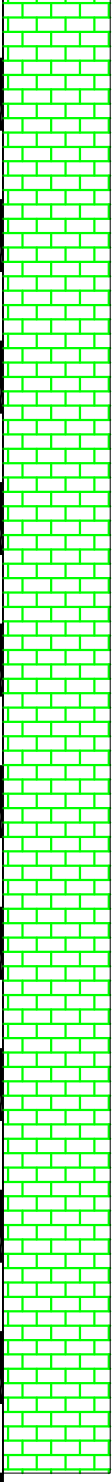
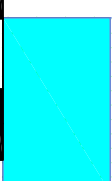
Parevaccaro

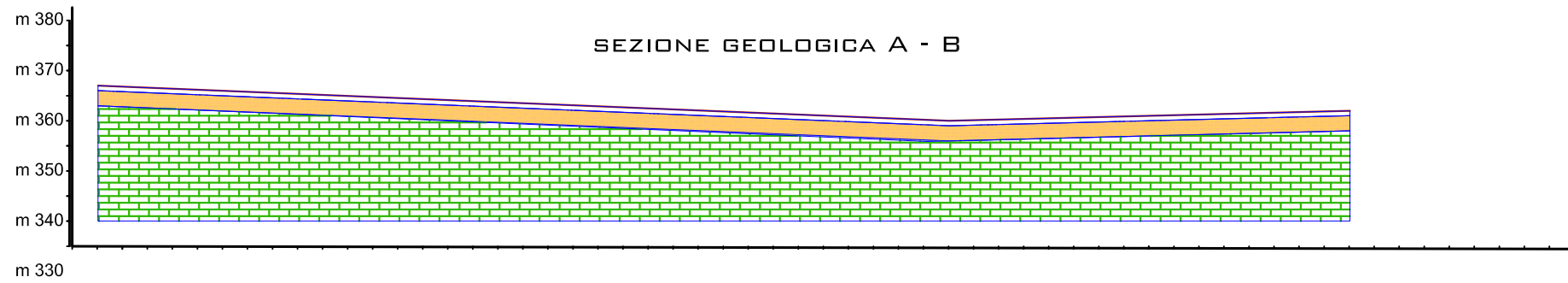
Quota p.c. slm:

m 345

Rilievo stratigrafico:

Febbraio 2022

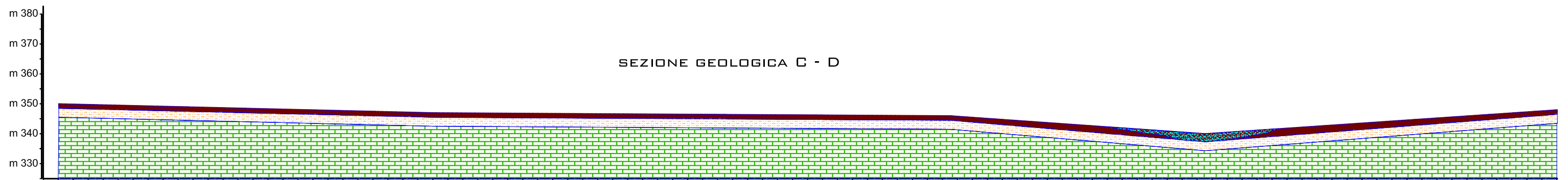
Profondità (metri)	Litologia	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Profondità campioni	Falda
1		1.50	Terreno di copertura vegetale e deposito eluviale	<b>A S S E N T E</b>	<b>A S S E N T E</b>
2		1.50	calcare in straterelli molto fratturato ed alterato		
3		21.00	Ammasso roccioso Calcereo micritico poco fratturato e poco alterato. Si presenta di colore avano.		
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
330			Ammasso roccioso Calcereo con presenza di acqua di falda.		
340					
350					



LEGENDA

- Terreno agrario di colore bruno
- Conglomerato poligenico con ciottoli immersi in matrice sabbiosa, di colore rossastro
- Sabbia con ciottoli, di colore rossastro
- Argilla limosa, di colore grigio-azzurro
- Sabbia fine limosa-argillosa, e ciottoli di colore giallastro
- Calcarenite bianco-giallastra
- Calcare bianco grigiastro, stratificato, fratturato e carsificato
- Calcare bianco grigiastro, stratificato, fratturato con terra rossa residuale

traccia sezione

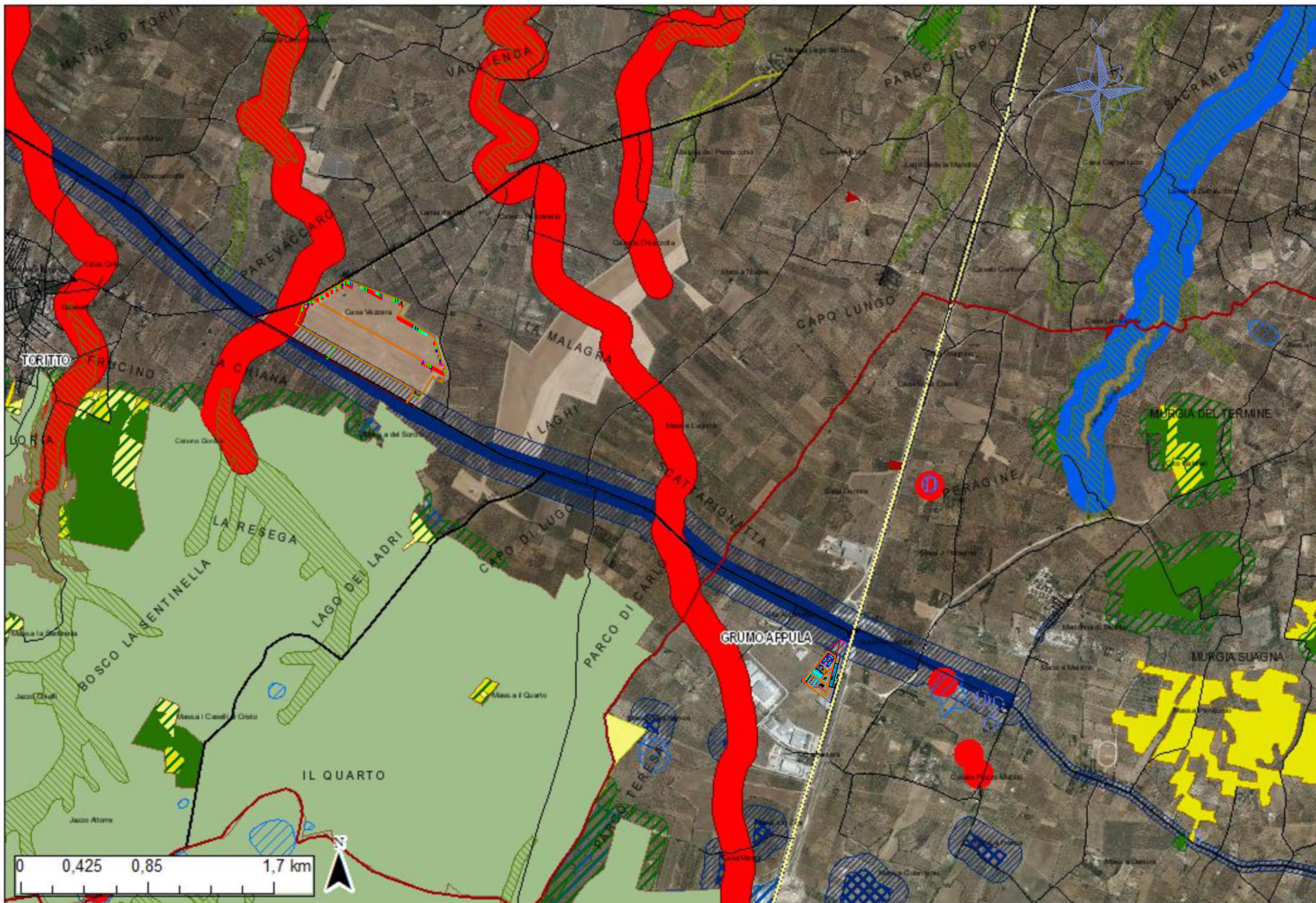


LEGENDA

- Terreno agrario di colore bruno
- Conglomerato poligenico con ciottoli immersi in matrice sabbiosa, di colore rossastro
- Sabbia con ciottoli, di colore rossastro
- Argilla limosa, di colore grigio-azzurro
- Depositi alluvionali sabbie brunastre
- Sabbia fine limosa-argillosa, e ciottoli di colore giallastro
- Calcarenite bianco-giallastra
- Calcare bianco grigiastro, stratificato, fratturato e carsificato
- Calcare bianco grigiastro, stratificato, fratturato con terra rossa residuale

traccia sezione

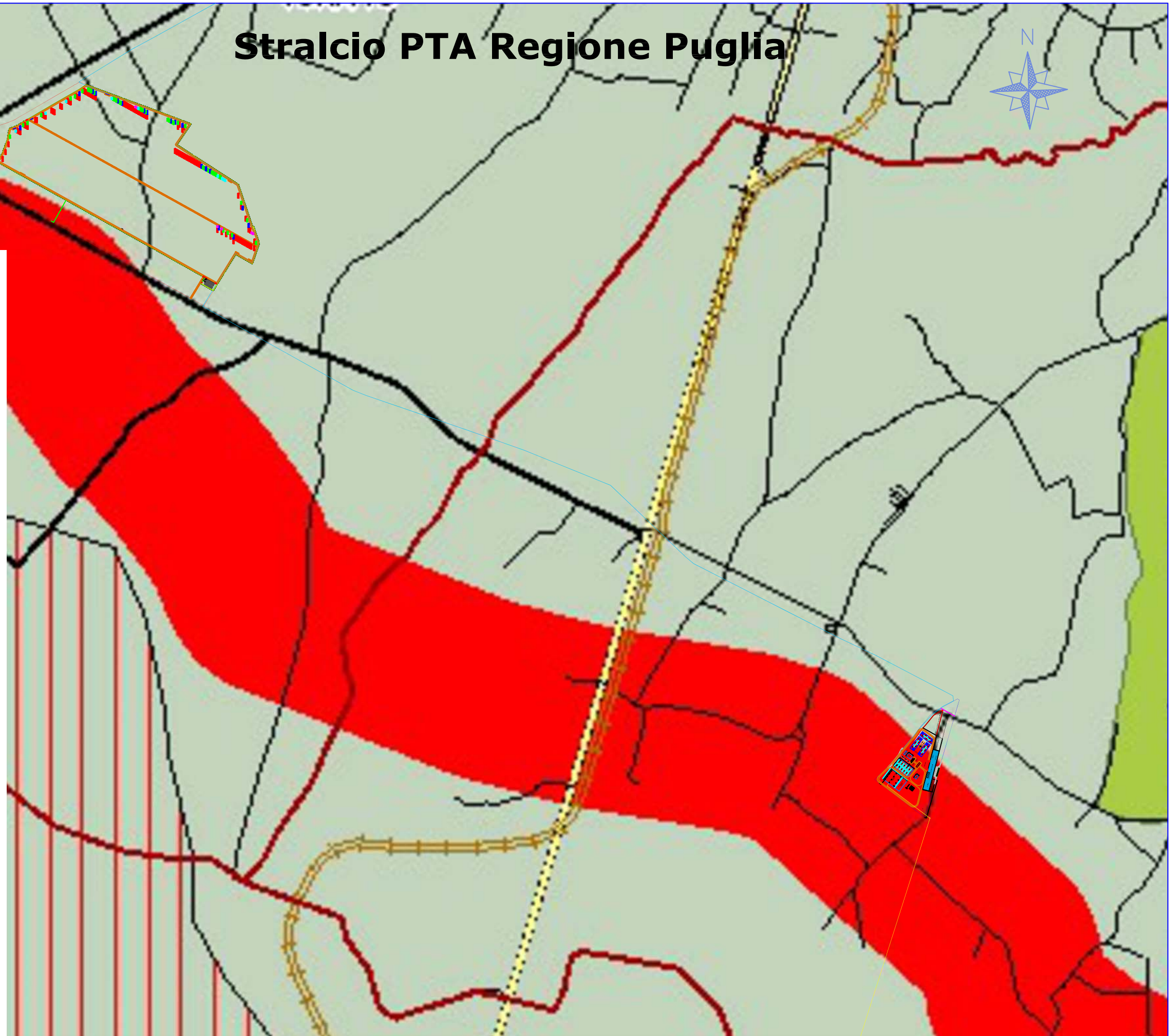
# PPTR Approvato

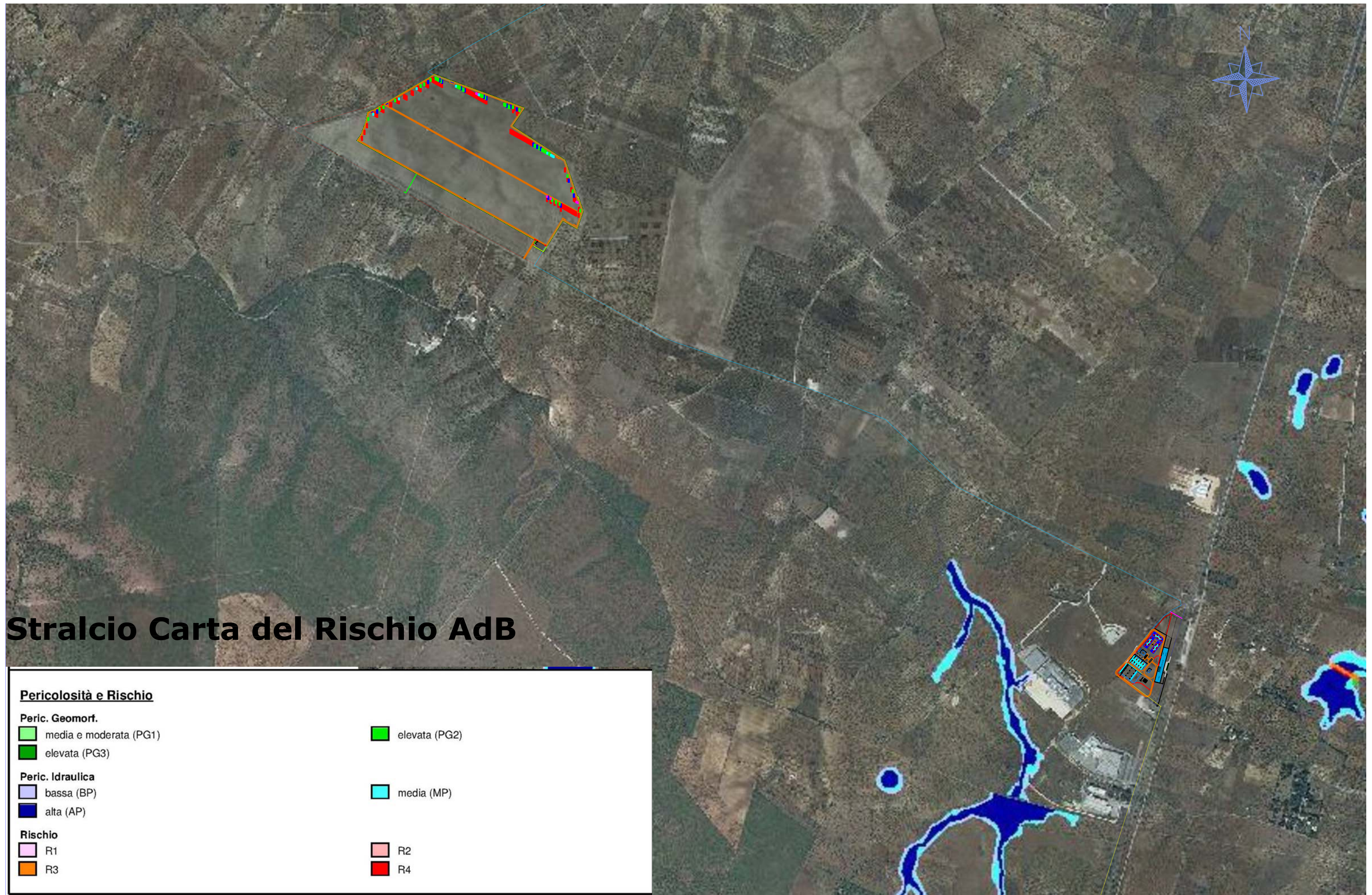


# Stralcio PTA Regione Puglia



- Legenda**
- Confini Comunali
  - Aeroporti
  - Autostrade
  - Ferrovie
  - Grigliati IGM 50.000
  - P.T.A. 2015-21 Adottato - Vincoli
  - Aree di vincolo d'uso degli acquiferi
  - Canale Principale dell'Acquedotto Pugliese
  - Aree di tutela per approvvigionamento idrico di emergenza
  - Aree di tutela quali-quantitativa
  - Aree vulnerabili alla contaminazione salina
  - Aree di tutela quantitativa
  - Approvvigionamento idrico
  - Acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile
  - Opere di captazione utilizzate a scopo potabile
    - Regime ordinario
    - Regime emergenziale
  - Corpi idrici acquiferi calcarei tardo e post-cretacei utilizzati a scopo potabile
    - 3-1-1 / IT16BSAL-MIOCO / SALENTO MIOCENICO CENTRO-ORIENTALE
  - Corpi idrici acquiferi calcarei cretacei utilizzati a scopo potabile
    - 1-1-1 / IT16AGAR-CO / GARGANO CENTRO-ORIENTALE
    - 2-1-2 / IT16AMUG-AL / ALTA MURGIA
    - 2-1-3 / IT16AMUG-BRA / MURGIA BRADANICA
    - 2-1-1 / IT16AMUG-CO / MURGIA COSTIERA
    - 2-1-4 / IT16AMUG-TA / MURGIA TARANTINA
    - 2-2-3 / IT16SALEN-CM / SALENTO CENTRO-MERIDIONALE
    - 2-2-1 / IT16SALEN-COS / SALENTO COSTIERO
    - 2-2-2 / IT16SALEN-CS / SALENTO CENTRO-SETTENTRIONALE
  - Aree sensibili
    - Perimetrazione Area Sensibile
    - Bacino Area Sensibile





# Stralcio Carta del Rischio AdB

## Pericolosità e Rischio

- Peric. Geomorf.**  
■ media e moderata (PG1)  
■ elevata (PG3)

■ elevata (PG2)

- Peric. Idraulica**  
■ bassa (BP)  
■ alta (AP)

■ media (MP)

- Rischio**  
■ R1  
■ R3

■ R2  
■ R4

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. CENNI SUL METODO</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE</b>	<b>5</b>
3.1 Base sismica SS01	6
3.2 Indagine Sismica MASW	8
<b>4. PERICOLOSITA' SISMICA</b>	<b>9</b>
<b>5. CALCOLO DEL <math>V_{s,eq}</math></b>	<b>10</b>
<b>5. ALLEGATI</b>	<b>11</b>

- fig. 3.1 - SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA;
- tab. P1 - CALCOLO SPESSORI E PARAMETRI SISMICI E MECCANICI;
- tab. D1 - DROMOCRONE;
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA;
- fig. 1.1 - PLANIMETRIA;
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- SISMOGRAMMI.

## 1. PREMESSA

Su incarico conferitomi dalla Banzi Solare srl di Altamura è stata eseguita una base sismica, con il metodo a rifrazione, per l'acquisizione di onde P ed onde S relative ad un terreno di sedime interessato "dalla realizzazione di un impianto di produzione di idrogeno ubicato come da cartografia allegata fig. 1.1.

La presente relazione effettuata in ottemperanza dell'O.P.C.M. del 20/03/2003 n. 3274, "Norme Tecniche per le costruzioni" Decreto 14 gennaio 2008, Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP e Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".

L'indagine è stata commissionata allo scopo di acquisire le seguenti informazioni:

- la velocità di propagazione delle onde P ed onde S nel sottosuolo;
- lo spessore del terreno agrario o di riporto e dei materiali sciolti di copertura;
- la profondità del bedrock;
- la determinazione qualitativa e semiquantitativa di alcuni parametri elastici relativi sismostrati, utili anche ai fini del calcolo del coefficiente di sottofondo;
- il presumibile valore del  $V_{S,eq}$ ;

La base sismica coniugata a rifrazione (SS01), è stata eseguita a quota del piano campagna, di lunghezza pari a 33m.

## 2. CENNI SUL METODO

L'indagine geognostica, eseguita con il metodo della sismica a rifrazione, ha avuto lo scopo di:

- a) ricostruire la successione litostratigrafica del sottosuolo individuando superfici di discontinuità fisiche laterali e/o verticali;
- b) fornire indicazioni sulle caratteristiche geomeccaniche dei terreni in oggetto;
- c) evidenziare la presenza di eventuali anomalie geofisiche;
- d) definire la "Categoria di suolo di fondazione" attraverso il calcolo del valore del  $V_{s,eq}$ ;

Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente ad impatto o esplosiva, e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito o da un'onda elastica diretta o da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, viene generata da interfacce rifrangenti, che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità.

I primi arrivi, individuati su sismogrammi e rilevati da geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche.

La strumentazione utilizzata è composta da un sismografo a 12 canali, della "Pasi" modello 16S12, con acquisizione computerizzata dei dati. È stata utilizzata una sorgente del tipo ad impatto verticale ed orizzontale (massa battente) per la generazione di onde, rilevate da 12 geofoni verticali a 14 Hz per le onde P e da 12 geofoni orizzontali a 10 Hz per le onde S.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;

b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0.25 * z$ ;

c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;

d) le velocità delle onde P misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale; perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al disotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio.



e) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso;

Infatti, secondo Zezza<sup>1</sup> (1976), possono essere distinti 5 differenti gradi di carsificazione ai quali corrispondono le seguenti caratteristiche dell'ammasso roccioso carsificato:

grado V:  $V_p = 0,7-1,0$  km/sec. Sono cancellati i caratteri tessiturali della roccia in posto i cui relitti si trovano inglobati in abbondanti terre rosse;

grado IV:  $V_p = 1,1-1,9$  km/sec. Sono conservati i caratteri tessiturali della roccia in posto attraversata in ogni senso da cavità carsiche attive e fossili;

grado III:  $V_p = 2,0-3,0$  km/sec. Diffusa presenza di cavità collegate ai processi di dissoluzione carsica;

grado II:  $V_p = 3,1- 4,5$  km/sec. Giunti di fessurazione interessati solo parzialmente da manifestazioni carsiche;

grado I:  $V_p > 4,5$  km/sec. Assenza completa di manifestazioni carsiche; giunti di fessurazione radi e bancate compatte.

**Tabella 1.1 – Valori di velocità per le onde di compressione** (da “Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo” di Carrara – Rapolla – Roberti, “Il manuale del geologo” di Cassadio – Elmi)

LITOTIPO	$V_p$ (m/sec)
Areato superficiale	300-800
Argille	1100-2900
Sabbia asciutta	200-1000
Sabbie umida	600-1800
Terreni alluvionali sciolti	400-2100
Acqua	1400-1500
Calcere fratturato	700-4200
Calcere compatto	2800-6400
Calcere cristallino	5700-6400
Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Arenaria	1400-4500
Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Anidrite	3500-5500
Gesso	1800-4000
Gneiss e scisti	3500-7500

<sup>1</sup> Valutazione geologica-tecnica degli ammassi rocciosi carsificati con particolare riferimento alle aree carsiche pugliesi. Mem. Soc. Geol. It. 14, (1976).

### 3. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

E' stato eseguito un profilo sismico coniugato (SS01), di lunghezza pari a 33m (compreso le battute esterne) ed offset di 1,5m con battuta centrale, tra i geofoni G6 e G7, oltre a quelle classiche alle estremità.

Nel sondaggio SS01 sono state rilevate anche onde superficiali o di Rayleigh da utilizzare nella metodologia MASW.

La profondità di investigazione massima ottenuta negli stendimenti è stata di circa 12m con l'utilizzo della metodologia a rifrazione, mentre l'utilizzo della metodologia MASW ha consentito di investigare oltre i 30m di profondità.

L'indagine è stata eseguita in data 07/02/2022 sull'area oggetto del progetto investigando in totale 33 metri.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati dei sondaggi è importante sottolineare che l'indagine sismica è stata eseguita a quota dell'attuale piano campagna con lo stendimento orientati così come riportato nella planimetria allegata fig. 1.1. Adoperando opportune relazioni analitiche desunte da correlazioni empiriche è possibile associare alle caratteristiche elastiche alcuni parametri fisico-meccanici (vedi tabelle allegate).

Sono stati calcolati, oltre alle velocità di propagazione delle onde P ed allo spessore dei mezzi sismici individuati, alcuni parametri geotecnici. In termini congrui, dalle velocità sismiche, assegnato il coefficiente di Poisson e la densità del materiale, è stato elaborato il modulo elastico dinamico e la velocità delle onde S.

Le determinazioni dei moduli elastici effettuate mediante metodologie sismiche sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate, a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia. I moduli elastici sismici possono essere messi in relazione ai normali moduli statici, attraverso un fattore di riduzione, (Rzhevsky et alii, 1971) evidenziando semplicemente che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

Infine, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno  $K_s$  (Kg/cm<sup>2</sup>) attraverso la relazione semplificata di Vesic (1961):

$$K_s = E/B(1 - \nu^2)$$

con B = larghezza della fondazione; E = modulo di elasticità del terreno;  
 $\nu$  = coefficiente di Poisson.

### 3.1 Base sismica SS01

Le indagini sono state eseguite a quota dell'attuale piano campagna, caratterizzato dalla presenza di una aiuola.

Sulla base dell'interpretazione quantitativa del profilo sismico eseguito è stato possibile rilevare che il sottosuolo indagato risulta costituito da tre sismostrati ben definiti, le cui caratteristiche dinamiche migliorano procedendo in profondità (vedi sezione sismostratigrafica allegate fig. 3.1).

In particolare, si riscontra un primo sismostrato a bassa velocità di propagazione delle onde P (da 259m/s a 600m/s), cui segue in profondità un secondo sismostrato caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde P da 667m/s a 1580m/s, al disotto troviamo un terzo sismostrato caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde P da 1957m/s a 2681m/s.

Il primo sismostrato comprende materiale di riporto costituito da materiale di riporto costituito da terreno agrario, ghiaia, sabbia, trovanti calcari e calcare alterato.

La profondità è compresa tra 0,2m e 0,6m dal piano campagna. La velocità media delle onde S è di 183m/s.

Il secondo sismostrato ha una velocità media delle onde P di 1054m/s, ed è associabile a materiale di riporto addensato, calcare alterato, stratificato, fratturato e carsificato con sacche di "terra rossa".

Esso si rinviene fino ad una profondità variabile da 1,1m a 2,4m dal piano campagna. La velocità media delle onde S è di 542m/s.

Il terzo sismostrato, ha una velocità media delle onde P di 2377m/s, ed è associabile a calcare stratificato, fratturato e carsificato. La velocità media delle onde S è di 1271m/s.

L'esame analitico delle dromocrone mostra, infatti, consistenti anomalie contraddistinte da "*ritardi d'onda*" e "*anticipi d'onda*", che sottolineano l'eterogeneità dei mezzi sismici attraversati.

In sintesi, per i "mezzi sismici" rinvenuti, non considerando il primo sismostrato in quanto, costituito soprattutto da materiale di riporto e terreno agrario con trovanti calcarei, è possibile fare riferimento ai seguenti valori medi:

Sismostrato n°2:

V <sub>p</sub>	1054
V <sub>s</sub>	542
E <sub>d</sub>	1367
E <sub>s</sub>	91
γ	1,8
ν	0,32

Sismostrato n°3:

V <sub>p</sub>	2377
V <sub>s</sub>	1271
E <sub>d</sub>	9069
E <sub>s</sub>	907
γ	2,2
ν	0,30

V<sub>p</sub> = velocità onde longitudinali (m/s)

E<sub>s</sub> = modulo elastico statico (MPa)

V<sub>s</sub> = velocità onde trasversali (m/s)

γ = densità del mezzo (t/m<sup>3</sup>)

E<sub>d</sub> = modulo elastico dinamico (MPa)

ν = coefficiente di Poisson

### 3.2 Indagine Sismica MASW

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006).

Nel nostro caso abbiamo utilizzato il "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono rilevate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Le bande spettrali indagate ci consentono di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 5 e 70 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20 m - 30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

Nell'esecuzione della prova MASW è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 3 m dal primo geofono.

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Geopsy) vedi fig. M.1.

Modalità esecutive:

Spaziatura geofoni:	3m
Distanza sorgente 1° geofono:	3m
Tempo di campionamento:	1,0 ms
Tempo di registrazione:	2,048 s

#### 4. PERICOLOSITA' SISMICA

L'azione sismica ai sensi del Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito.

La "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A**), 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* del sito.

Nell'Allegato A e B delle norme, su un reticolo di riferimento sono stati calcolati i valori dei parametri  $p$  ( $a_g, F_0, T_c^*$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto.

Sulla base delle indicazioni del rilievo geologico e dalle indagini sismiche eseguita in sito, considerando il profilo stratigrafico dell'attuale piano di fondazione, esso appartiene alla **categoria A**, di suolo di fondazione, avendo una velocità di propagazione delle onde S misurata **maggiore di 800m/sec**.

Per quanto riguarda l'*Amplificazione topografica* in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizza il valore del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI (*Norme Tecniche per le Costruzioni*), in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera con  $T_1$  pari a  $S_T = 1,0$ .

Categoria di suolo di fondazione	Caratteristiche della superficie topografica	Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$
<p style="text-align: center;"><b>A</b></p> <p style="text-align: center;"><math>V_s &gt; 800</math> m/sec</p> <p>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.</p>	<p style="text-align: center;"><b>T1</b></p> <p>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></p>	<p style="text-align: center;"><b>T1</b></p> <p style="text-align: center;">1,0</p>
<p><b>COORDINATE GEOGRAFICHE MEDIE DELL'AREA</b>            (GPS-WGS84) Lat. 40.944544    Long. 16.640098            (ED50)            Lat. 40.945524    Long. 16.640917</p>		

## 5. CALCOLO DEL $V_{s,eq}$

L'indagine ha inoltre evidenziato la presenza di aree eterogenee e di litotipi incoerenti nella parte superficiale dell'area.

È tuttavia verosimile, come peraltro si rileva nelle tracce di registrazione sismica, che siano presenti nell'ammasso discontinuità significative con forme "aperte" anche di dimensione submetriche assimilabili a modeste cavità o sacche riempite di "terra rossa", sabbie e limi, spesso presenti nella formazione.

Dai risultati dell'indagine sismica è possibile determinare il valore delle  $V_{s,eq}$  attraverso la relazione:

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

con:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

$$V_{s,eq} > \mathbf{800 \text{ m/s}} \text{ con metodo MASW}$$

Pertanto, ai fini dell'azione sismica di progetto, nell'area di indagine, la categoria di suolo di fondazione rientra nella Categoria **A** ("*Norme Tecniche per le Costruzioni*", approvate con D.M. 14/01/2008 e **Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"**).

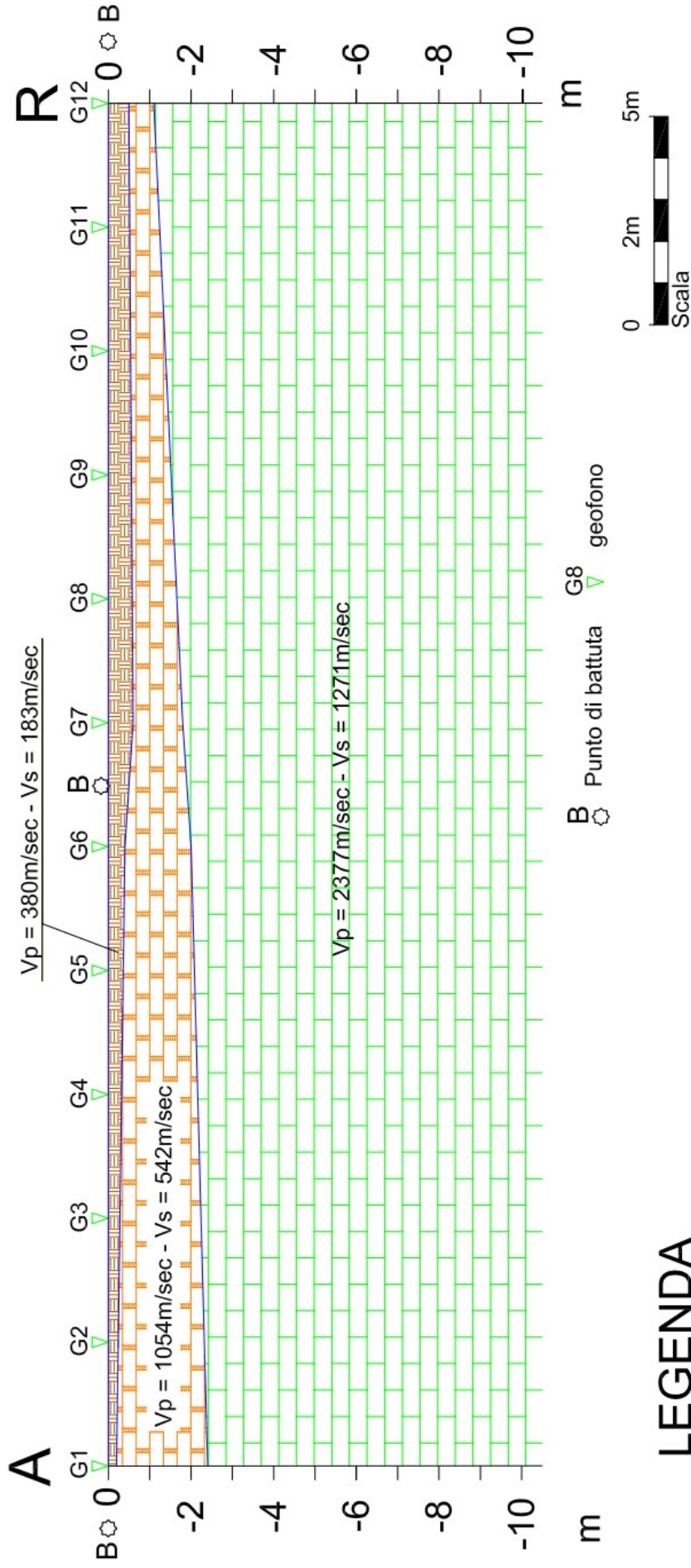
Tutte le ulteriori informazioni sugli spessori dei sismostrati, sui valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio e sulle caratteristiche elastiche del mezzo sono riportate nelle tabelle dei parametri sismici e meccanici (tab. P1) e nella sezione sismostratigrafica (fig. 3.1).

## **5. ALLEGATI**


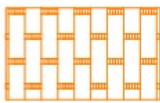
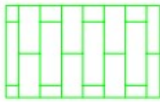


# SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA BASE SISMICA - SS01

fig. 3.1



## LEGENDA

- 
**Sismostrato 1:**  
 Materiale di riporto costituito da terreno agrario, ghiaia, sabbia, materiale inerte, trovanti calcari e calcare alterato
- 
**Sismostrato 2:**  
 Materiale di riporto addensato, calcare alterato, stratificato, fratturato e carsificato con sacche di "terra rossa"
- 
**Sismostrato 3:**  
 Calcare stratificato, fratturato e carsificato.

**CALCOLO SPESSORE ORIZZONTI SISMICI-Metodo delle "intercette"**

**Sondaggio Sismico a rifrazione SS01**

**Velocità sismostrati**

Andata		Cent. Andata		Cent. Ritorno		Ritorno	
v1:	294 m/s	v1:	366 m/s	v1:	259 m/s	v1:	600 m/s
v2:	667 m/s	v2:	769 m/s	v2:	1200 m/s	v2:	1580 m/s
v3:	2811 m/s	v3:	2881 m/s	v3:	2267 m/s	v3:	1967 m/s

Velocità media  
380 m/s  
1054 m/s  
2377 m/s

**Tempi di intercetta**

Andata		Cent. Andata		Cent. Ritorno		Ritorno	
t12:	1,50	t12:	2,15	t12:	4,55	t12:	1,55
t13:	6,07	t13:	6,46	t13:	6,24	t13:	2,01

**RISULTATI**

**Spessore orizzonti sismici**

Andata		Centrale Andata a m 12		Centrale Ritorno a m 18		Ritorno	
Z1	0,2 m	Z1	0,4 m	Z1	0,6 m	Z1	0,5 m
Z2	2,2 m	Z2	1,6 m	Z2	1,2 m	Z2	0,6 m
Z3	- m	Z3	- m	Z3	- m	Z3	- m

Z medio  
0,4 m  
1,4 m

**Profondità orizzonti sismici**

Andata		Centrale Andata a m 12		Centrale Ritorno a m 18		Ritorno	
H1	0,2 m	Z1	0,4 m	Z1	0,6 m	Z1	0,5 m
H2	2,4 m	Z2	2,0 m	Z2	1,8 m	Z2	1,1 m
H3	- m	Z3	- m	Z3	- m	Z3	- m

H media  
0,4 m  
1,8 m

**Tabella parametri sismici e meccanici dei sismostrati**

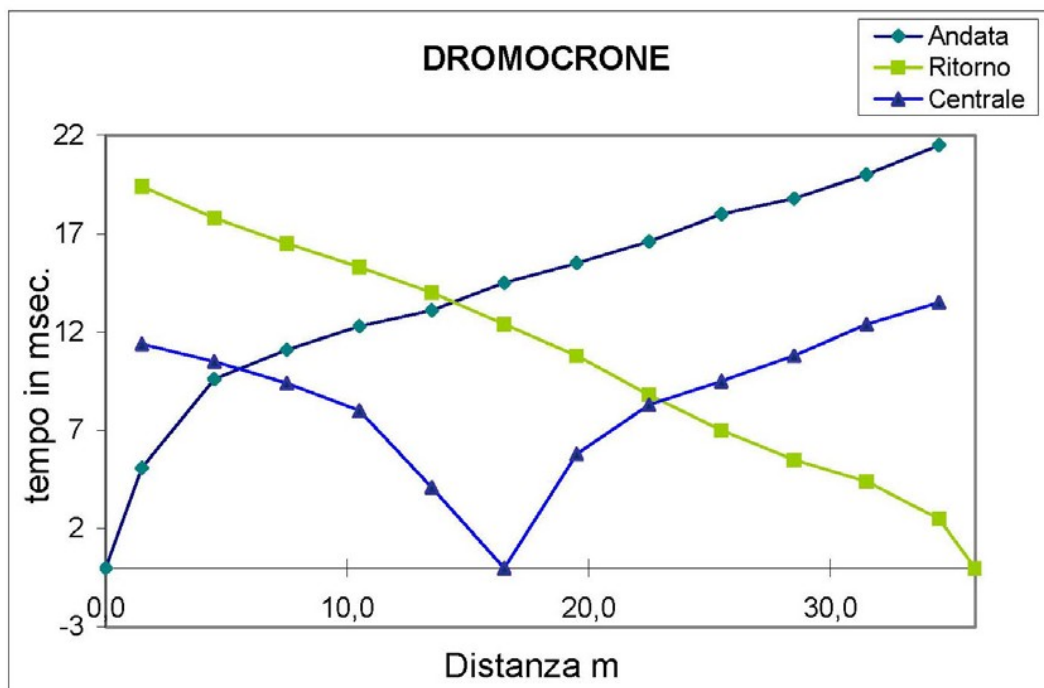
N° orizzonte sismico	Descrizione litologica	Vp	Vs	Mod. di Poisson	Densità in sito	ID (indice di disomogeneità)	Edin (mod. di Young dinamico)	G (mod. di taglio)	Es (mod. di Young statico)	Rigidità Sismica	Periodo dello strato	Frequenza dello strato
		m/s	m/s		gr/cm <sup>3</sup>	%	MPa	MPa	MPa	m/s <sup>2</sup> kN/m <sup>3</sup>	sec.	hz
1	Materiale di riporto costituito da terreno agrario, ghiaia, sabbia, trovanti calcari e calcare alterato.	380	183	0,35	1,4	2,08	121	45	6	2507	0,009	114
2	Materiale di riporto addensato, calcare alterato, stratificato, fratturato e carsificato con sacche di "terra rossa"	1054	542	0,32	1,8	1,94	1367	518	91	9539	0,010	97
3	Calcare stratificato, fratturato e carsificato	2377	1271	0,30	2,2	1,87	9069	3488	907	27454	-	-

Tab. P1

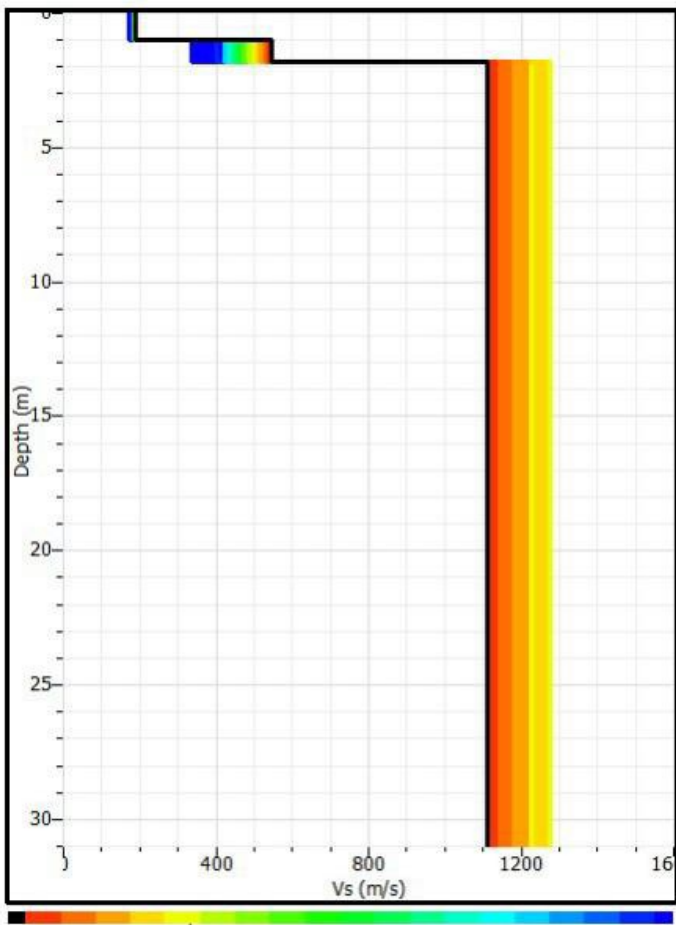
### Sondaggio Sismico a rifrazione SS01

**Distanza intergeofonica:** m. 3,0  
**Lunghezza stendimento:** m. 33,0  
**Offset** m. 1,5

	Geofono	Distanza A/R	Time A	Time R	Geofono	Distanza C	Time C
	N°	m	ms	ms	N°		ms
Punto di battuta (A)		0,0	0	-			-
	1	1,5	5,1	19,4	1	1,5	12,6
	2	4,5	9,6	17,8	2	4,5	11,4
	3	7,5	11,1	16,5	3	7,5	10,5
	4	10,5	12,3	15,3	4	10,5	9,4
	5	13,5	13,1	14,0	5	13,5	8,0
Punto di battuta (C)	6	16,5	14,5	12,4	6	16,5	4,1
	7	19,5	15,5	10,8	Battuta (C)	18,0	0,0
	8	22,5	16,6	8,8	7	19,5	5,8
	9	25,5	18,0	7,0	8	22,5	8,3
	10	28,5	18,8	5,5	9	25,5	9,5
	11	31,5	20,0	4,4	10	28,5	10,8
	12	34,5	21,5	2,5	11	31,5	12,4
Punto di battuta (R)		36,0	-	0	12	34,5	13,5

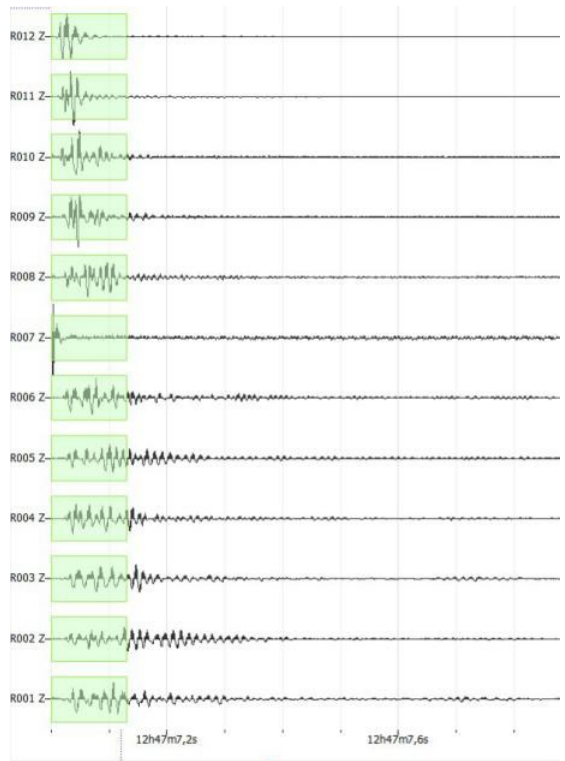
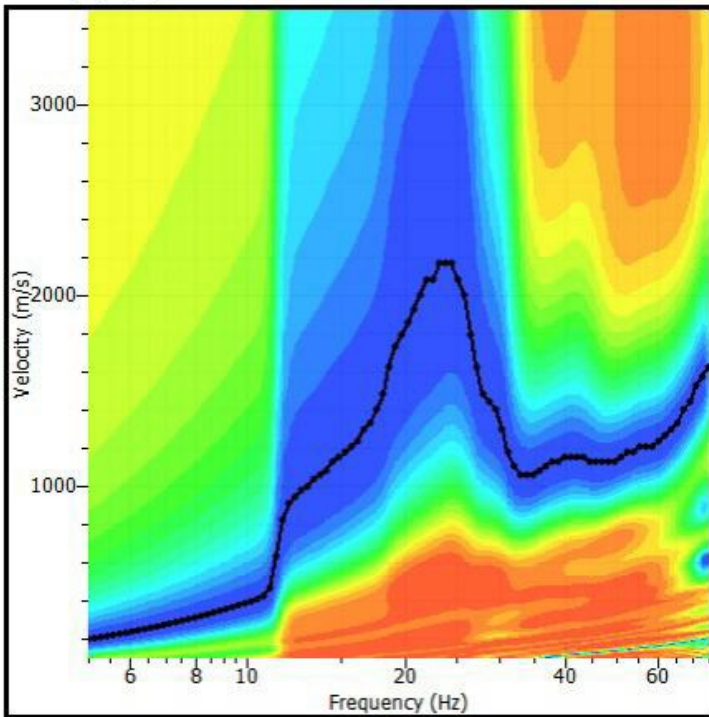


tab. D1



$V_{s,eq} > 800$  m/sec

Misfit value  
Shot at (36, 0, 0), time=2020-07-17



MASW SS01 - fig. M.1



BASE NW-SE



BASE SE-NW

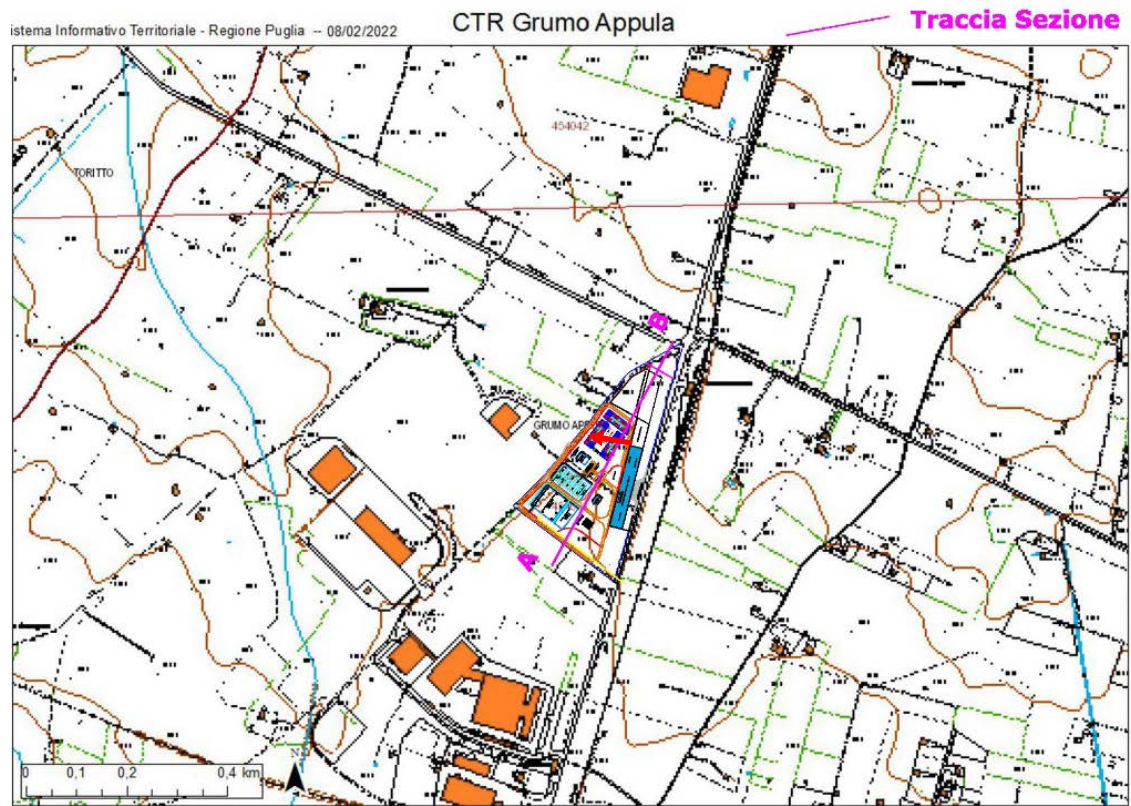
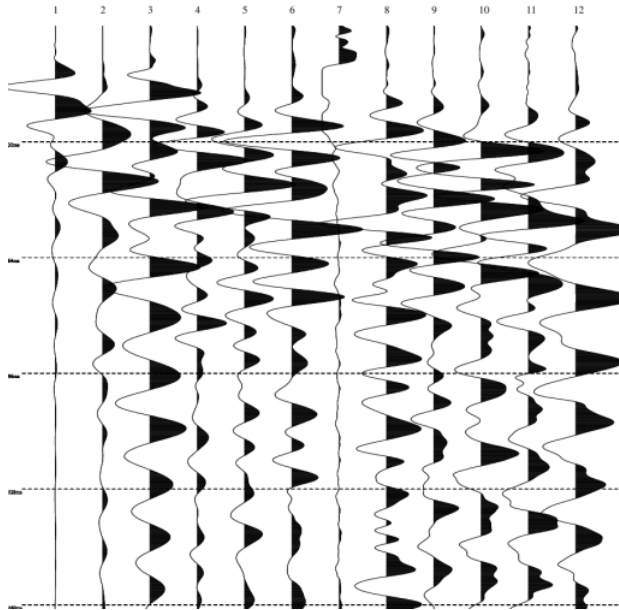


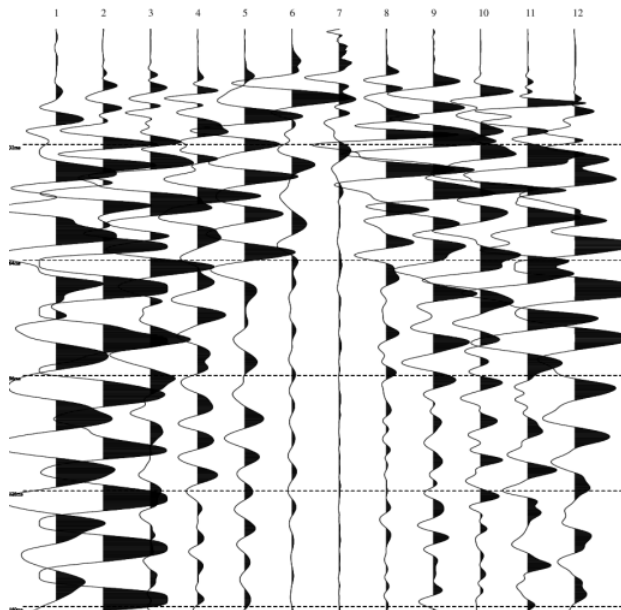
Fig. 1.1 Planimetria con Ubicazione indagine sismica



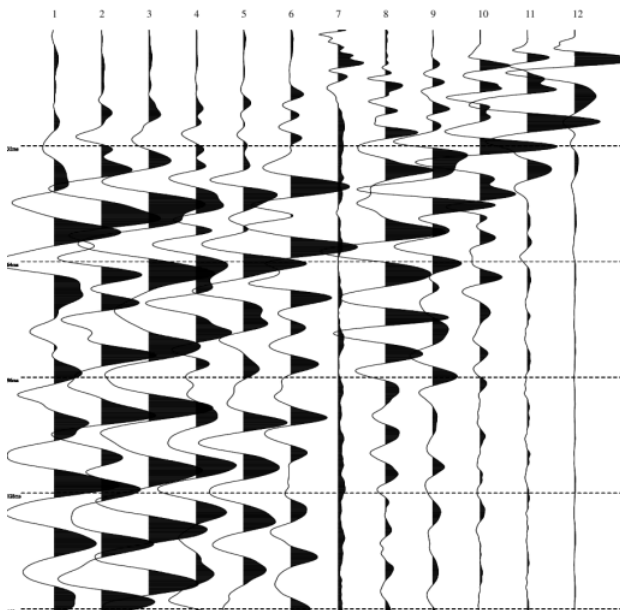


SISMOGRAMMI

BATTUTA DI ANDATA - ONDE P



BATTUTA CENTRALE - ONDE P



BATTUTA DI RITORNO - ONDE P

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. CENNI SUL METODO</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE</b>	<b>5</b>
3.1 Base sismica SS01	6
3.2 Indagine Sismica MASW	8
<b>4. PERICOLOSITA' SISMICA</b>	<b>9</b>
<b>5. CALCOLO DEL <math>V_{s,eq}</math></b>	<b>10</b>
<b>5. ALLEGATI</b>	<b>11</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- fig. 3.1 - SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA;</li><li>- tab. P1 - CALCOLO SPESSORI E PARAMETRI SISMICI E MECCANICI;</li><li>- tab. D1 - DROMOCRONE;</li><li>- fig. 1.1 - PLANIMETRIA;</li><li>- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA;</li><li>- SISMOGRAMMI.</li></ul>	



## 1. PREMESSA

Su incarico conferitomi dalla Banzi Solare srl è stata eseguita una base sismica, con il metodo a rifrazione, per l'acquisizione di onde P ed onde S relative ad un terreno di sedime interessato "dalla realizzazione di un impianto fotovoltaico allocato come da cartografia allegata fig. 1.1.

La presente relazione effettuata in ottemperanza dell'O.P.C.M. del 20/03/2003 n. 3274, "Norme Tecniche per le costruzioni" Decreto 14 gennaio 2008, Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP e Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".

L'indagine è stata commissionata allo scopo di acquisire le seguenti informazioni:

- la velocità di propagazione delle onde P ed onde S nel sottosuolo;
- lo spessore del terreno agrario o di riporto e dei materiali sciolti di copertura;
- la profondità del bedrock;
- la determinazione qualitativa e semiquantitativa di alcuni parametri elastici relativi sismostrati, utili anche ai fini del calcolo del coefficiente di sottofondo;
- il presumibile valore del  $V_{S,eq}$ ;

La base sismica coniugata a rifrazione (SS01), è stata eseguita a quota del piano campagna, di lunghezza pari a 33m.

## 2. CENNI SUL METODO

L'indagine geognostica, eseguita con il metodo della sismica a rifrazione, ha avuto lo scopo di:

- a) ricostruire la successione litostratigrafica del sottosuolo individuando superfici di discontinuità fisiche laterali e/o verticali;
- b) fornire indicazioni sulle caratteristiche geomeccaniche dei terreni in oggetto;
- c) evidenziare la presenza di eventuali anomalie geofisiche;
- d) definire la "Categoria di suolo di fondazione" attraverso il calcolo del valore del  $V_{s,eq}$ ;

Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente ad impatto o esplosiva, e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito o da un'onda elastica diretta o da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, viene generata da interfacce rifrangenti, che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità.

I primi arrivi, individuati su sismogrammi e rilevati da geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche.

La strumentazione utilizzata è composta da un sismografo a 12 canali, della "Pasi" modello 16S12, con acquisizione computerizzata dei dati. È stata utilizzata una sorgente del tipo ad impatto verticale ed orizzontale (massa battente) per la generazione di onde, rilevate da 12 geofoni verticali a 14 Hz per le onde P e da 12 geofoni orizzontali a 10 Hz per le onde S.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante sottolineare che:

a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;

b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0.25 * z$ ;

c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P; quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;

d) le velocità delle onde P misurate in terreni saturi o molto umidi dipende, talora in maniera decisiva, dalle vibrazioni trasmesse dall'acqua interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale; perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Ne consegue che per alcuni terreni al disotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio.

e) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso;

Infatti, secondo Zezza<sup>1</sup> (1976), possono essere distinti 5 differenti gradi di carsificazione ai quali corrispondono le seguenti caratteristiche dell'ammasso roccioso carsificato:

grado V:  $V_p = 0,7-1,0$  km/sec. Sono cancellati i caratteri tessiturali della roccia in posto i cui relitti si trovano inglobati in abbondanti terre rosse;

grado IV:  $V_p = 1,1-1,9$  km/sec. Sono conservati i caratteri tessiturali della roccia in posto attraversata in ogni senso da cavità carsiche attive e fossili;

grado III:  $V_p = 2,0-3,0$  km/sec. Diffusa presenza di cavità collegate ai processi di dissoluzione carsica;

grado II:  $V_p = 3,1- 4,5$  km/sec. Giunti di fessurazione interessati solo parzialmente da manifestazioni carsiche;

grado I:  $V_p > 4,5$  km/sec. Assenza completa di manifestazioni carsiche; giunti di fessurazione radi e bancate compatte.

**Tabella 1.1 – Valori di velocità per le onde di compressione** (da *“Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo”* di Carrara – Rapolla – Roberti, *“Il manuale del geologo”* di Cassadio – Elmi)

LITOTIPO	Vp (m/sec)
Areato superficiale	300-800
Argille	1100-2900
Sabbia asciutta	200-1000
Sabbie umida	600-1800
Terreni alluvionali sciolti	400-2100
Acqua	1400-1500
Calcere fratturato	700-4200
Calcere compatto	2800-6400
Calcere cristallino	5700-6400
Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Arenaria	1400-4500
Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Anidrite	3500-5500
Gesso	1800-4000
Gneiss e scisti	3500-7500

<sup>1</sup> Valutazione geologica-tecnica degli ammassi rocciosi carsificati con particolare riferimento alle aree carsiche pugliesi. Mem. Soc. Geol. It. 14, (1976).

### 3. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

E' stato eseguito un profilo sismico coniugato (SS01), di lunghezza pari a 33m (compreso le battute esterne) ed offset di 1,5m con battuta centrale, tra i geofoni G6 e G7, oltre a quelle classiche alle estremità.

Nel sondaggio SS01 sono state rilevate anche onde superficiali o di Rayleigh da utilizzare nella metodologia MASW.

La profondità di investigazione massima ottenuta negli stendimenti è stata di circa 12m con l'utilizzo della metodologia a rifrazione, mentre l'utilizzo della metodologia MASW ha consentito di investigare oltre i 30m di profondità.

L'indagine è stata eseguita in data 07/02/2022 sull'area oggetto del progetto investigando in totale 33 metri.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati dei sondaggi è importante sottolineare che l'indagine sismica è stata eseguita a quota dell'attuale piano campagna con lo stendimento orientati così come riportato nella planimetria allegata fig. 1.1. Adoperando opportune relazioni analitiche desunte da correlazioni empiriche è possibile associare alle caratteristiche elastiche alcuni parametri fisico-meccanici (vedi tabelle allegate).

Sono stati calcolati, oltre alle velocità di propagazione delle onde P ed allo spessore dei mezzi sismici individuati, alcuni parametri geotecnici. In termini congrui, dalle velocità sismiche, assegnato il coefficiente di Poisson e la densità del materiale, è stato elaborato il modulo elastico dinamico e la velocità delle onde S.

Le determinazioni dei moduli elastici effettuate mediante metodologie sismiche sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate, a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia. I moduli elastici sismici possono essere messi in relazione ai normali moduli statici, attraverso un fattore di riduzione, (Rzhevsky et alii, 1971) evidenziando semplicemente che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

Infine, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno  $K_s$  (Kg/cm<sup>2</sup>) attraverso la relazione semplificata di Vesic (1961):

$$K_s = E/B(1 - \nu^2)$$

con B = larghezza della fondazione; E = modulo di elasticità del terreno;  
 $\nu$  = coefficiente di Poisson.

### 3.1 Base sismica SS01

Le indagini sono state eseguite a quota dell'attuale piano campagna, caratterizzato dalla presenza di una aiuola.

Sulla base dell'interpretazione quantitativa del profilo sismico eseguito è stato possibile rilevare che il sottosuolo indagato risulta costituito da tre sismostrati ben definiti, le cui caratteristiche dinamiche migliorano procedendo in profondità (vedi sezione sismostratigrafica allegate fig. 3.1).

In particolare, si riscontra un primo sismostrato a bassa velocità di propagazione delle onde P (da 259m/s a 600m/s), cui segue in profondità un secondo sismostrato caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde P da 667m/s a 1580m/s, al disotto troviamo un terzo sismostrato caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde P da 1957m/s a 2681m/s.

Il primo sismostrato comprende materiale di riporto costituito da materiale di riporto costituito da terreno agrario, ghiaia, sabbia, trovanti calcari e calcare alterato.

La profondità è compresa tra 0,2m e 0,6m dal piano campagna. La velocità media delle onde S è di 183m/s.

Il secondo sismostrato ha una velocità media delle onde P di 1054m/s, ed è associabile a materiale di riporto addensato, calcare alterato, stratificato, fratturato e carsificato con sacche di "terra rossa".

Esso si rinviene fino ad una profondità variabile da 1,1m a 2,4m dal piano campagna. La velocità media delle onde S è di 542m/s.

Il terzo sismostrato, ha una velocità media delle onde P di 2377m/s, ed è associabile a calcare stratificato, fratturato e carsificato. La velocità media delle onde S è di 1271m/s.

L'esame analitico delle dromocrone mostra, infatti, consistenti anomalie contraddistinte da "*ritardi d'onda*" e "*anticipi d'onda*", che sottolineano l'eterogeneità dei mezzi sismici attraversati.

In sintesi, per i "mezzi sismici" rinvenuti, non considerando il primo sismostrato in quanto, costituito soprattutto da materiale di riporto e terreno agrario con trovanti calcarei, è possibile fare riferimento ai seguenti valori medi:

Sismostrato n°2:

V <sub>p</sub>	1054
V <sub>s</sub>	542
E <sub>d</sub>	1367
E <sub>s</sub>	91
γ	1,8
ν	0,32

Sismostrato n°3:

V <sub>p</sub>	2377
V <sub>s</sub>	1271
E <sub>d</sub>	9069
E <sub>s</sub>	907
γ	2,2
ν	0,30

V<sub>p</sub> = velocità onde longitudinali (m/s)

E<sub>s</sub> = modulo elastico statico (MPa)

V<sub>s</sub> = velocità onde trasversali (m/s)

γ = densità del mezzo (t/m<sup>3</sup>)

E<sub>d</sub> = modulo elastico dinamico (MPa)

ν = coefficiente di Poisson

### 3.2 Indagine Sismica MASW

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006).

Nel nostro caso abbiamo utilizzato il "metodo attivo", le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono rilevate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

Le bande spettrali indagate ci consentono di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 5 e 70 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20 m - 30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

Nell'esecuzione della prova MASW è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 3 m dal primo geofono.

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Geopsy) vedi fig. M.1.

Modalità esecutive:

Spaziatura geofoni:	3m
Distanza sorgente 1° geofono:	3m
Tempo di campionamento:	1,0 ms
Tempo di registrazione:	2,048 s

#### 4. PERICOLOSITA' SISMICA

L'azione sismica ai sensi del Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì sito per sito.

La "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A**), 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* del sito.

Nell'Allegato A e B delle norme, su un reticolo di riferimento sono stati calcolati i valori dei parametri  $p$  ( $a_g, F_0, T_c^*$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto.

Sulla base delle indicazioni del rilievo geologico e dalle indagini sismiche eseguita in sito, considerando il profilo stratigrafico dell'attuale piano di fondazione, esso appartiene alla **categoria A**, di suolo di fondazione, avendo una velocità di propagazione delle onde S misurata **maggiore di 800m/sec**.

Per quanto riguarda l'*Amplificazione topografica* in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizza il valore del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.VI (*Norme Tecniche per le Costruzioni*), in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera con  $T_1$  pari a  $S_T = 1,0$ .

Categoria di suolo di fondazione	Caratteristiche della superficie topografica	Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$
<p style="text-align: center;"><b>A</b></p> <p style="text-align: center;"><math>V_s &gt; 800</math> m/sec</p> <p>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.</p>	<p style="text-align: center;"><b>T1</b></p> <p>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></p>	<p style="text-align: center;"><b>T1</b></p> <p style="text-align: center;">1,0</p>
<p><b>COORDINATE GEOGRAFICHE MEDIE DELL'AREA</b></p> <p><b>WGS84 40.966062 - 16.601246</b></p> <p><b>ED50 40.967041 - 16.602066</b></p>		



## 5. CALCOLO DEL $V_{s,eq}$

L'indagine ha inoltre evidenziato la presenza di aree eterogenee e di litotipi incoerenti nella parte superficiale dell'area.

È tuttavia verosimile, come peraltro si rileva nelle tracce di registrazione sismica, che siano presenti nell'ammasso discontinuità significative con forme "aperte" anche di dimensione submetriche assimilabili a modeste cavità o sacche riempite di "terra rossa", sabbie e limi, spesso presenti nella formazione.

Dai risultati dell'indagine sismica è possibile determinare il valore delle  $V_{s,eq}$  attraverso la relazione:

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

con:

$h_i$  = spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

$$V_{s,eq} > \mathbf{800 \text{ m/s}}$$
 con metodo MASW

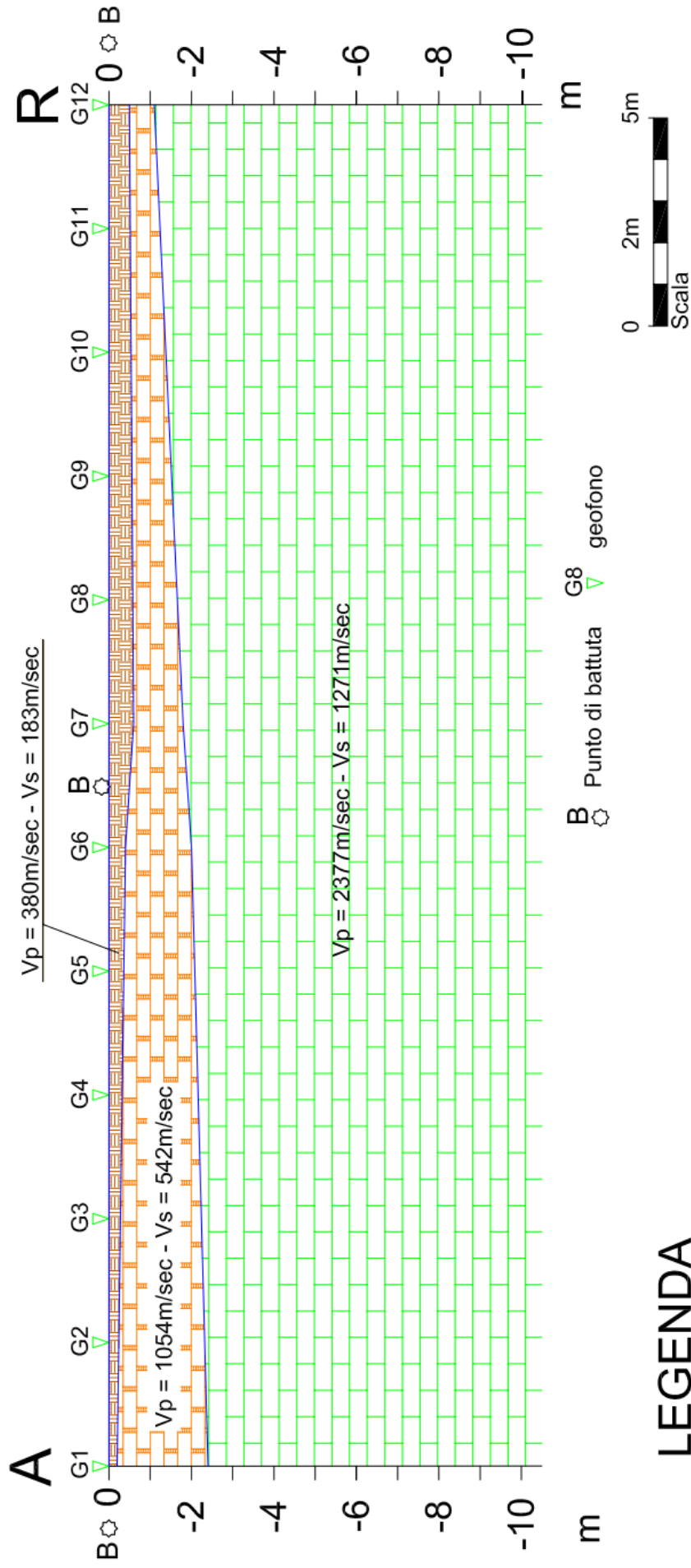
Pertanto, ai fini dell'azione sismica di progetto, nell'area di indagine, la categoria di suolo di fondazione rientra nella Categoria **A** ("*Norme Tecniche per le Costruzioni*", approvate con D.M. 14/01/2008 e **Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"**).

Tutte le ulteriori informazioni sugli spessori dei sismostrati, sui valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio e sulle caratteristiche elastiche del mezzo sono riportate nelle tabelle dei parametri sismici e meccanici (tab. P1) e nella sezione sismostratigrafica (fig. 3.1).

## **5. ALLEGATI**

# SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA BASE SISMICA - SS01

fig. 3.1



## LEGENDA

Velocità sismostrati

Andata		Cent. Andata		Cent. Ritorno		Ritorno		Velocità media	
v1:	294 m/s	v1:	366 m/s	v1:	259 m/s	v1:	600 m/s		380 m/s
v2:	667 m/s	v2:	769 m/s	v2:	1200 m/s	v2:	1580 m/s		1054 m/s
v3:	2611 m/s	v3:	2681 m/s	v3:	2257 m/s	v3:	1957 m/s	2377 m/s	

Tempi di intercetta

Andata		Cent. Andata		Cent. Ritorno		Ritorno	
ti2:	1,50	ti2:	2,15	ti2:	4,55	ti2:	1,55
ti3:	8,07	ti3:	6,46	ti3:	6,24	ti3:	2,01

RISULTATI

Spessore orizzonti sismici

Andata		Centrale Andata a m 12		Centrale Ritorno a m 18		Ritorno		Z medio	
Z1	0,2 m	Z1	0,4 m	Z1	0,6 m	Z1	0,5 m		0,4 m
Z2	2,2 m	Z2	1,6 m	Z2	1,2 m	Z2	0,6 m		1,4 m
Z3	- m	Z3	- m	Z3	- m	Z3	- m		

Profondità orizzonti sismici

Andata		Centrale Andata a m 12		Centrale Ritorno a m 18		Ritorno		H media	
H1	0,2 m	Z1	0,4 m	Z1	0,6 m	Z1	0,5 m		0,4 m
H2	2,4 m	Z2	2,0 m	Z2	1,8 m	Z2	1,1 m		1,8 m
H3	- m	Z3	- m	Z3	- m	Z3	- m		

Tabella parametri sismici e meccanici dei sismostrati

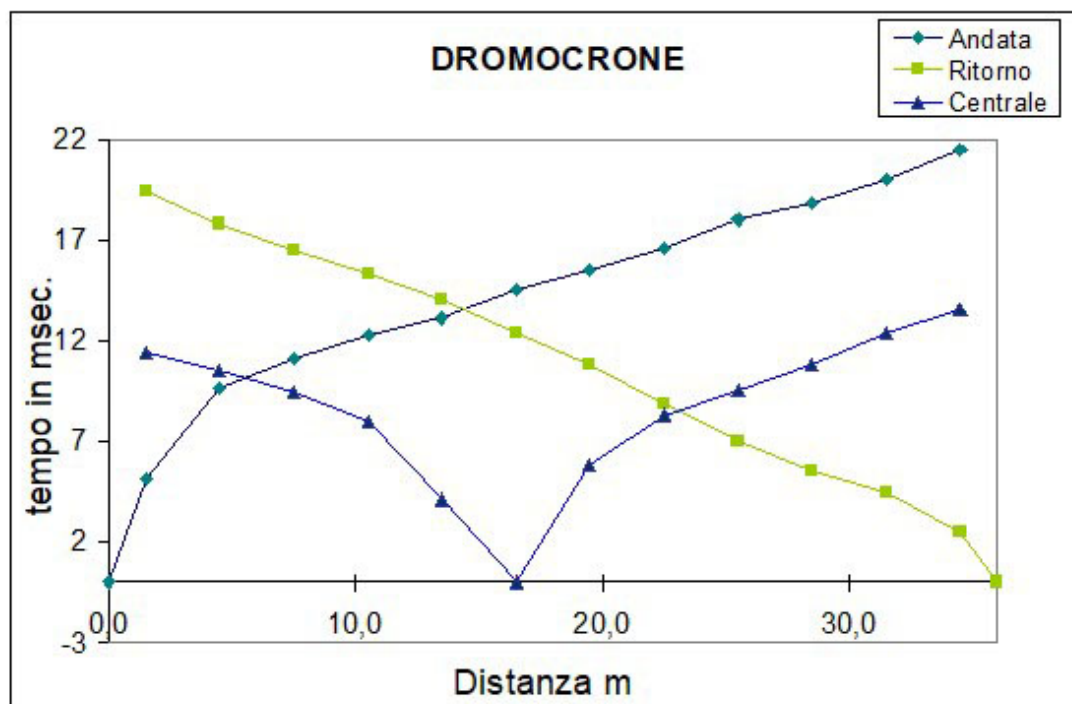
N° orizzonte sismico	Descrizione litologica	Vp	Vs	Mod. di Poisson	Densità in sito	ID Indice di disomogeneità	Edin (mod. di Young dinamico)	G (mod. di taglio)	Es (mod. di Young statico)	Rigidità Sismica	Periodo dello strato	Frequenza dello strato
		m/s	m/s		gr/cm <sup>3</sup>	%	MPa	MPa	MPa	m/s <sup>2</sup> *kN/m <sup>3</sup>	sec.	hz
1	Materiale di riporto costituito da terreno agrario, ghiaia, sabbia, trovanti calcari e calcare alterato	380	183	0,35	1,4	2,08	121	45	6	2507	0,009	114
2	Materiale di riporto addensato, calcare alterato, stratificato, fratturato e carsificato con sacche di "terra rossa"	1054	542	0,32	1,8	1,94	1367	518	91	9539	0,010	97
3	Calcare stratificato, fratturato e carsificato	2377	1271	0,30	2,2	1,87	9069	3488	907	27454	-	-

Tab. P1

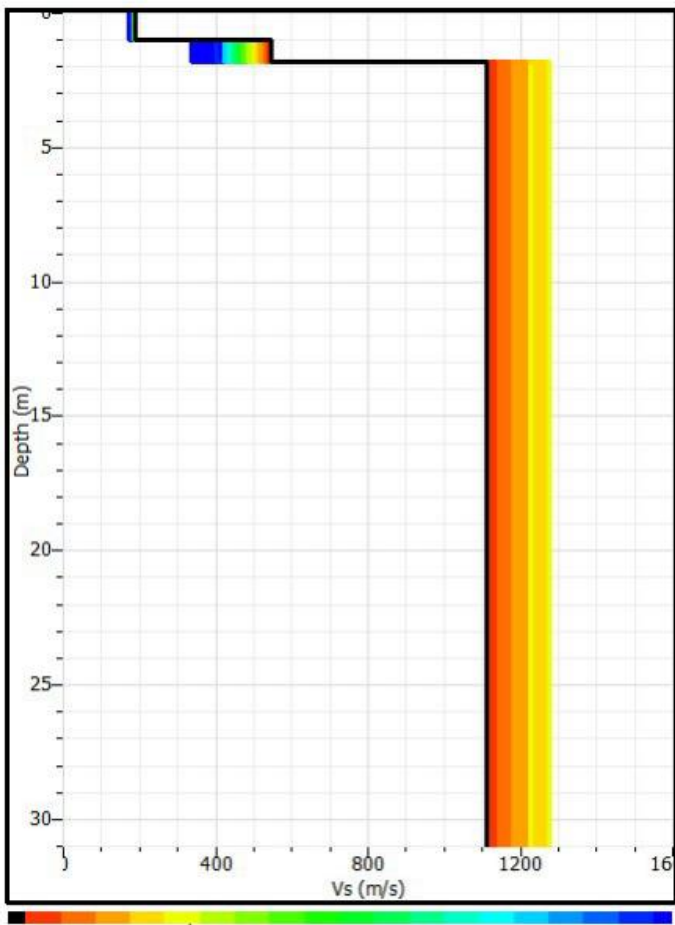
### Sondaggio Sismico a rifrazione SS01

**Distanza intergeofonica:** m 3,0  
**Lunghezza stendimento:** m 33,0  
**Offset** m 1,5

	Geofono	Distanza A/R	Time A	Time R	Geofono	Distanza C	Time C
	N°	m	ms	ms	N°		ms
Punto di battuta (A)		0,0	0	-			-
	1	1,5	5,1	19,4	1	1,5	12,6
	2	4,5	9,6	17,8	2	4,5	11,4
	3	7,5	11,1	16,5	3	7,5	10,5
	4	10,5	12,3	15,3	4	10,5	9,4
	5	13,5	13,1	14,0	5	13,5	8,0
Punto di battuta (C)	6	16,5	14,5	12,4	6	16,5	4,1
	7	19,5	15,5	10,8	Battuta (C)	18,0	0,0
	8	22,5	16,6	8,8	7	19,5	5,8
	9	25,5	18,0	7,0	8	22,5	8,3
	10	28,5	18,8	5,5	9	25,5	9,5
	11	31,5	20,0	4,4	10	28,5	10,8
	12	34,5	21,5	2,5	11	31,5	12,4
Punto di battuta (R)	12	36,0	-	0	12	34,5	13,5

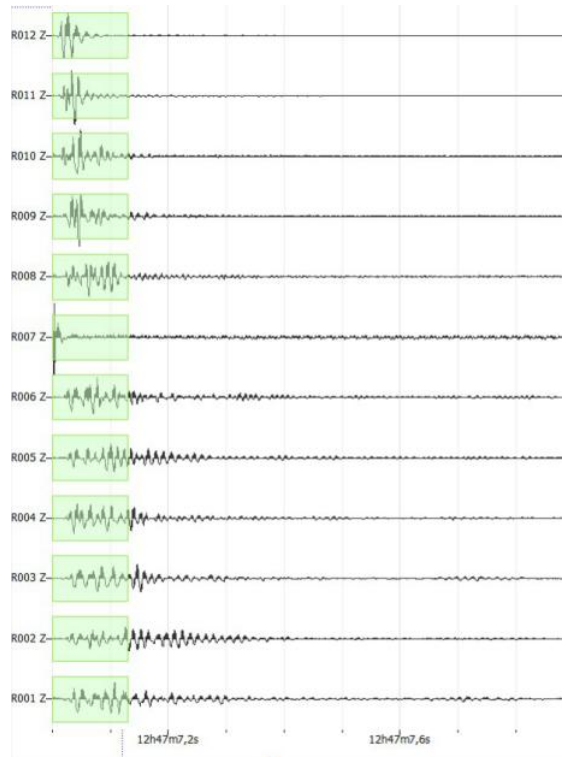
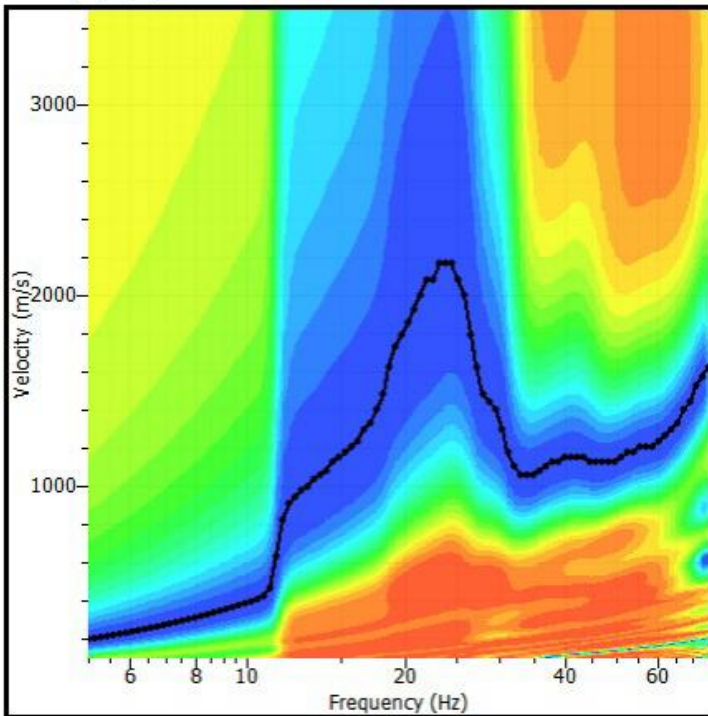


tab. D1



$V_{s,eq} > 800$  m/sec

Misfit value  
Shot at (36, 0, 0), time=2020-07-17



MASW SS01 - fig. M.1

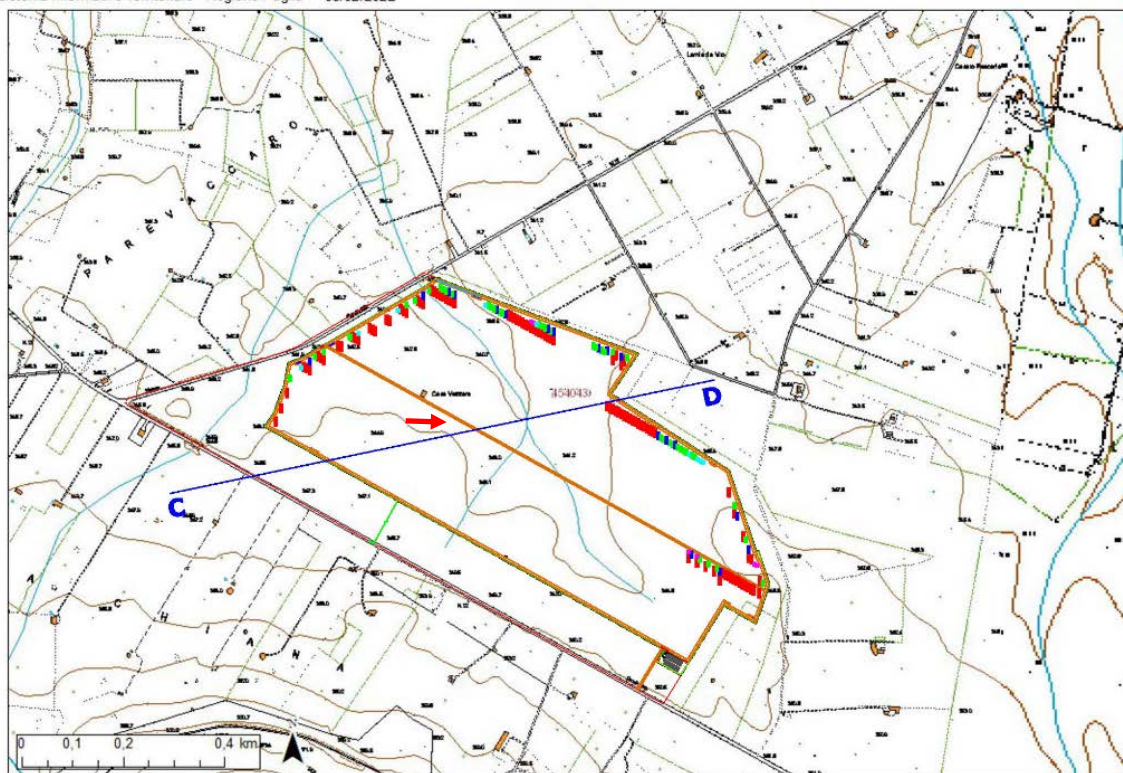
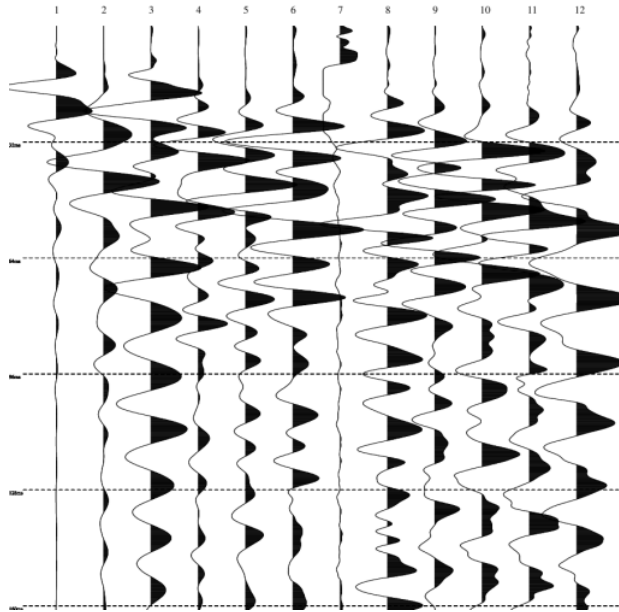


FIG. 1.1 UBICAZIONE SISMICA

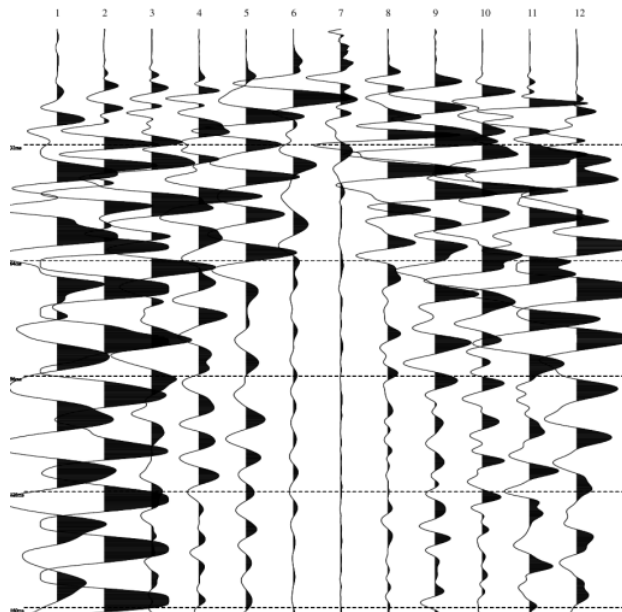




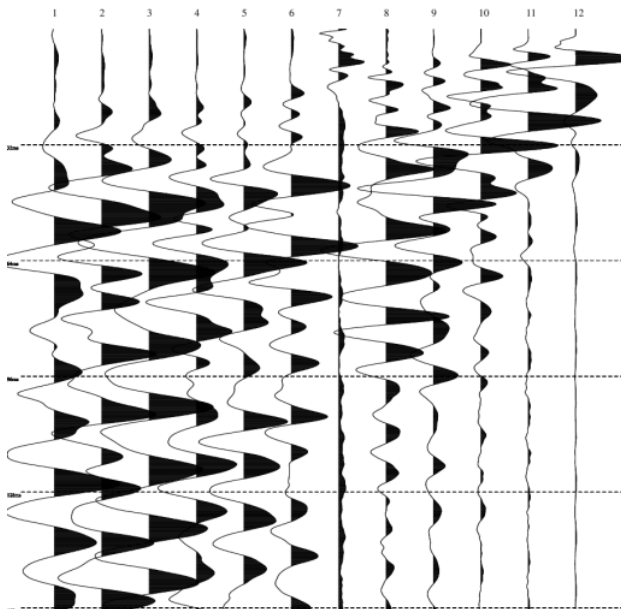


SISMOGRAMMI

BATTUTA DI ANDATA - ONDE P



BATTUTA CENTRALE - ONDE P



BATTUTA DI RITORNO - ONDE P