Studio di geologia tecnica

Ignazio Luciano Mancini - Ivan Mancini

Geologi

Via T. Fiore, 14 – 70056 Molfetta (Ba)

Telefax 080 3346819 - email: imancini@libero.it

OGGETTO	**Piano Urbanistico Esecutivo** **Comparto Edilizio n. 9 sub comparto B** **Variante n. 2** **Comune di Molfetta (Ba)**	
DENOMINAZIONE	**Relazione geologica, geomorfologica e geotecnica generale (resa ai sensi dell'art. 89 del DPR 06/06/2001 n. 380)**	
COMMITTENTE	**Felice Brattoli Edilizia di Brattoli Felice**	
DATA	febbraio 2025	geol. 22/25
geologi	**geol. Ignazio L Mancini** **geol. Ivan Mancini**	

Documento riservato a termini di legge con divieto di riprodurlo e renderlo noto a terzi

Premessa

Su incarico conferito a chi da "Felice Brattoli Edilizia di Brattoli Felice", è stato redatto il seguente studio geologico, geomorfologico e geotecnico generale sui terreni in cui insistono i terreni interessati dal **Progetto Urbanistico Esecutivo di Variante 2 del Comparto Urbanistico 9/B – Edilizia Privata - del PRGC**, nel Comune di **Molfetta**..

Il presente studio è stato redatto sia in conformità del D.M. 11/03/1988 e successive variazioni e modificazioni, sia a quanto dettato dal Testo Unico delle Costruzioni **DM 17.01.2018** aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed alla Circ. Min. n. 7 del 21/01/2019.

L'area ricade nella tav. **IV SE** del **F° 177** della Carta Topografica d'Italia ed è posta a quote variabili da **+ 39.00 m. a + 46.00 m. s.l.m.**

Il **Comparto Urbanistico n. 9/B** è sito immediatamente a nord dell'arteria SS 16 bis, in contrada Madonna delle Rose; Nel comparto, oggetto di studio verranno realizzate sette "stecche", che comprendono 48 unità residenziali private e n° 48 unità residenziali pubbliche. Tutte le unità residenziali saranno costituite da piano seminterrato, piano rialzato + primo piano, per un'altezza massima fuori terra di 8.00 m.

Si riportano inoltre le risultanze di un'indagine microsismica condotta da chi scrive nel sito in esame ed inoltre le osservazioni eseguite nel sito d'interesse.

Lo scrivente ha già consegnato una relazione sul prefato comparto; questa costituisce una variante. Considerando i parametri di resistenza e di deformabilità dei terreni, viene indicata la tipologia fondale più idonea, anche in relazione alle condizioni di massima sollecitazione.

Le infrastrutture di cui all'oggetto si inseriranno in un contesto paesaggistico-ambientale non assoggettato dal vincolo paesaggistico e idrogeologico e né tanto meno rientrano nelle aree a rischio esondazione di cui all'approvato PAI (queste aree sono state stralciate e non vengono interessate dal sedime degli edificandi corpi di fabbrica), per cui la costruzione dei manufatti di cui all'oggetto non creerà interferenze negative con l'ambiente circostante e né implementa situazioni di rischio.

Il Comune di Molfetta con Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 è stato classificato come zona sismica di bassa categoria (Z = 3) per cui particolare attenzione è stata rivolta anche a tale aspetto.

Per le finalità di cui all'oggetto sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nel sito in epigrafe con raccolta dati e rilevamento geologico di dettaglio, inoltre sono state visionate le foto aeree della zona.

1. Generalità e Riferimenti Normativi e Legislazione

Con deliberazione della G.R. n° 527 del 10 maggio 2001, pubblicata su BURP n° 96 del 04/07/2001, è stato definitivamente approvato il vigente PRGC.

Con deliberazione del C.C. n° 114 del 15/12/98 è stato adottato il Piano di Zona 167 di cui alla legge 167/1962.

Con deliberazione di C.C. n 59 del 20 dicembre 2001 è stato approvato in via definitiva il Piano di Zona 167/1962 relativo ai comparti n°4-5-6-7-8-9-17.

Con deliberazione di C.C. n°150 del 14 novembre 2002 è stato definitivamente approvato il PUE del Comparto n°9 sub B.

Con delibera di Giunta Comunale n°207 del 29.10.2012 è stato adottato un progetto di variante relativo all'intero comparto 9 che, per una porzione pari a 1194 mq dell'area in progetto, pressoché coincidente con le aree catastali del fg. 26 p.lle 1895 e 1897, ha previsto una variazione di destinazione da *verde pubblico a parcheggi* in favore di altre aree del comparto, di pari estensione che, per equilibrio degli standard di comparto, hanno subito mutazione inversa ossia *da parcheggi a verde pubblico.*

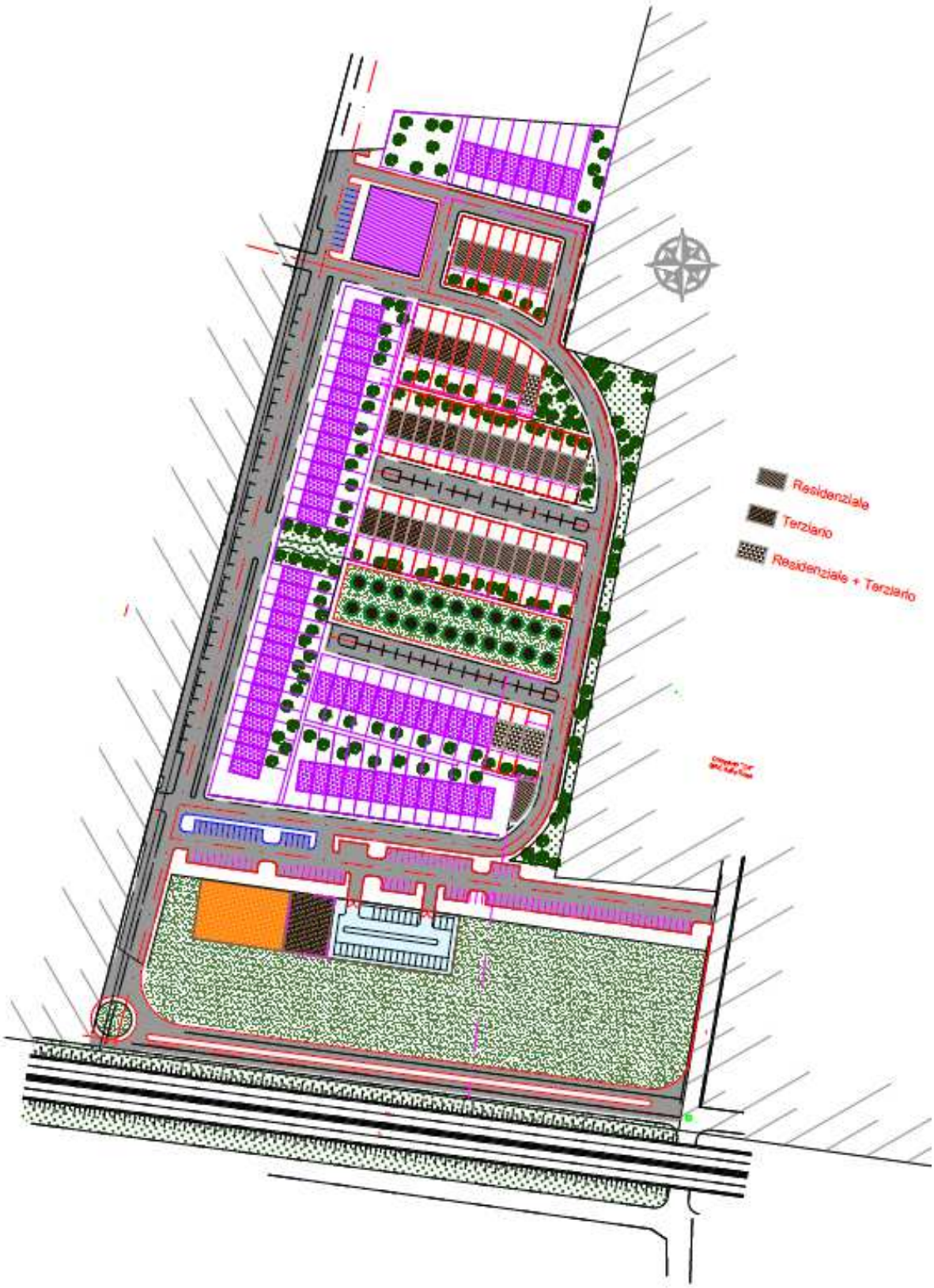


fig. 1

Con Deliberazione della Giunta Comunale n. 236 del 05.12.2022, previa verifica e validazione del progetto esecutivo effettuata dal RUP in data 05.12.2022 ai sensi dell'art. 26 del D.Lgs. n. 50/2016, è stato approvato il Progetto esecutivo relativo all'intervento di "Realizzazione della Cittadella dello Sport", nelle aree di proprietà comunale poste sul versante sud del comparto, a ridosso della statale 16 bis.

Con tale progetto, al fine di consentire la più opportuna allocazione dei blocchi funzionali, l'area a parcheggio prevista dal progetto di Variante del Comparto 9 di cui alla delibera di Giunta Comunale n°207 del 29.10.2012, di estensione pari a mq 1194, è stata ricollocata sul versante Est del lotto di intervento con accesso da via Giovanni Spadolini su un fronte in cui i parcheggi potrebbero essere utilizzati tanto dal centro sportivo in progetto che su tale area ha un ulteriore accesso, quanto dal vicino blocco terziario privato.

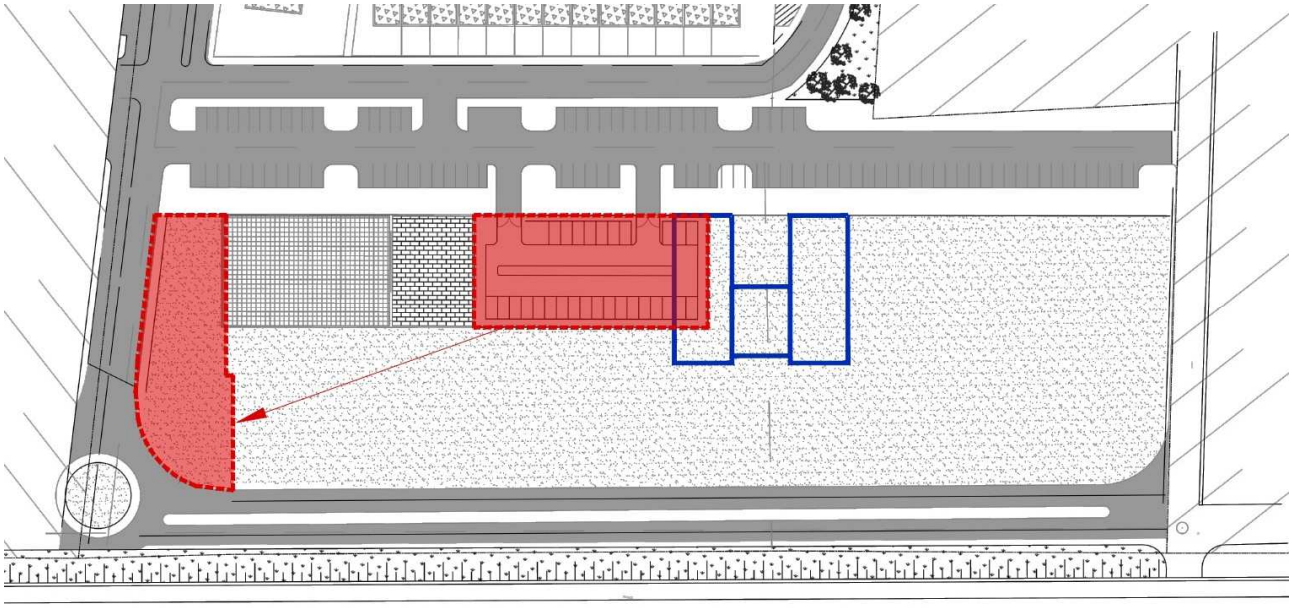


Fig. 2

Con il presente progetto, la ditta istante, stante l'impossibilità tecnica di conformare il progetto alle richieste dell'U.T.C. allocando le proprie volumetrie su due corpi distinti, e stanti le ulteriori incongruenze riscontrate in sede di progettazione esecutiva, intende proporre la variazione dell'assetto planivolumetrico della porzione del Piano di lottizzazione di proprio diretto interesse.

Il presente studio è stato redatto in conformità al **D.M. 11/03/1988** "*Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la programmazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre ed opere di fondazione*" e successive variazioni e modificazioni. In riferimento al comma H.1 "Fattibilità geotecnica di

opere su grandi aree” al punto a) si riporta “Nuovi insediamenti Urbani o Civili o Industriali”. In particolare gli studi geologici e geotecnici devono accertare le condizioni di stabilità dei pendii, i possibili fenomeni di subsidenza prodotti da modifiche del regime delle acque superficiali e profonde nonché alla caratterizzazione del territorio, per la ricerca dei parametri di progetto in accordo con quanto previsto dalle Norme Sismiche.

Inoltre lo studio è conforme alla **L. 64/74**, in cui all’ art. 13 *(Parere delle sezioni a competenza statale degli uffici del genio civile sugli strumenti urbanistici)* si riporta: “*Tutti i comuni nei quali sono applicabili le norme di cui al titolo II della presente legge e quelli di cui al precedente art. 2, devono richiedere il parere delle sezioni a competenza statale del competente ufficio del genio civile sugli strumenti urbanistici generali e particolareggiati prima della delibera di adozione nonché sulle lottizzazioni convenzionate prima della delibera di approvazione, e loro varianti ai fini della verifica della compatibilità delle rispettive previsioni con le condizioni geomorfologiche del territorio*”.

Il presente studio è stato redatto in conformità DM 17.01.2018 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed alla Circ. Min. n. 7 del 21/01/2019.

Il Comune di Molfetta con Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 è stato classificato come zona sismica di bassa categoria (Z = 3) per cui particolare attenzione è stata rivolta anche a tale aspetto.

Infine risponde anche a quanto dettato dal **DPR 6 giugno 2001 n. 380**, in cui all’art. 89 è riportato: “*Tutti i comuni nei quali sono applicabili le norme di cui alla presente sezione e quelli di cui all'art. 61, devono richiedere il parere del competente ufficio tecnico regionale sugli strumenti urbanistici generali e particolareggiati prima della delibera di adozione nonché sulle lottizzazioni convenzionate prima della delibera di approvazione, e loro varianti ai fini della verifica della compatibilità delle rispettive previsioni con le condizioni geomorfologiche del territorio*”.

2. Ubicazione dell’area

Il **Comparto Urbanistico n. 9/B** è sito immediatamente a nord dell’arteria SS 16 bis, in contrada Madonna delle Rose; Nel comparto, oggetto di studio verranno realizzate sette “stecche”, che comprendono 48 unità residenziali private e n° 48 unità residenziali pubbliche. Tutte le unità residenziali saranno costituite da piano seminterrato, piano rialzato + primo piano, per un’altezza massima fuori terra di 8.00 m.

Nelle figg. seguenti si riporta la sistemazione urbanistica assentita e quella oggetto di variante unitamente alle caratteristiche del corpo di fabbrica.

Fig. 3: sistemazione urbanistica assentita

Fig. 4: sistemazione urbanistica di variante

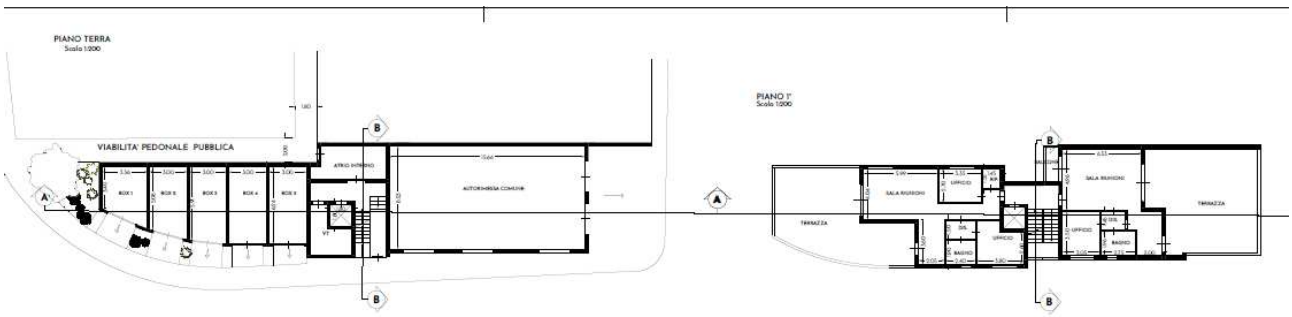


Fig. 5: piante piano terra e primo piano

Fig. 6: prospetto

Fig. 7: sezione

Al fine superare i limiti descritti nel precedente paragrafo, con il presente progetto si intende riproporre l'originaria idea progettuale che prevedeva la continuità nelle testate delle ultime due schiere e, al contempo, si intende ripristinare la viabilità pedonale alle spalle del lotto "ROS".

L'intervento di variante proposto è minimale e non comporta modificazioni sostanziali.

Come inquadramento, il Comparto n. 9A, o meglio l'area si intervento, è caratterizzato dalle seguenti coordinate UTM medie:

- 634124.00 m. E;
- 4560605.00 m. N.

Nella figura che segue si riporta l'ortofoto con dell'area.

FIG. 8: **ortofoto**

Nella fig. 9 si riporta lo stralcio CTR, mentre nella fig. 10 che segue si riporta la sistemazione del comparto su base fotogrammetrica con l'individuazione dell'intervento, caratterizzato da una quota di + 45.0 m. s.l.m.

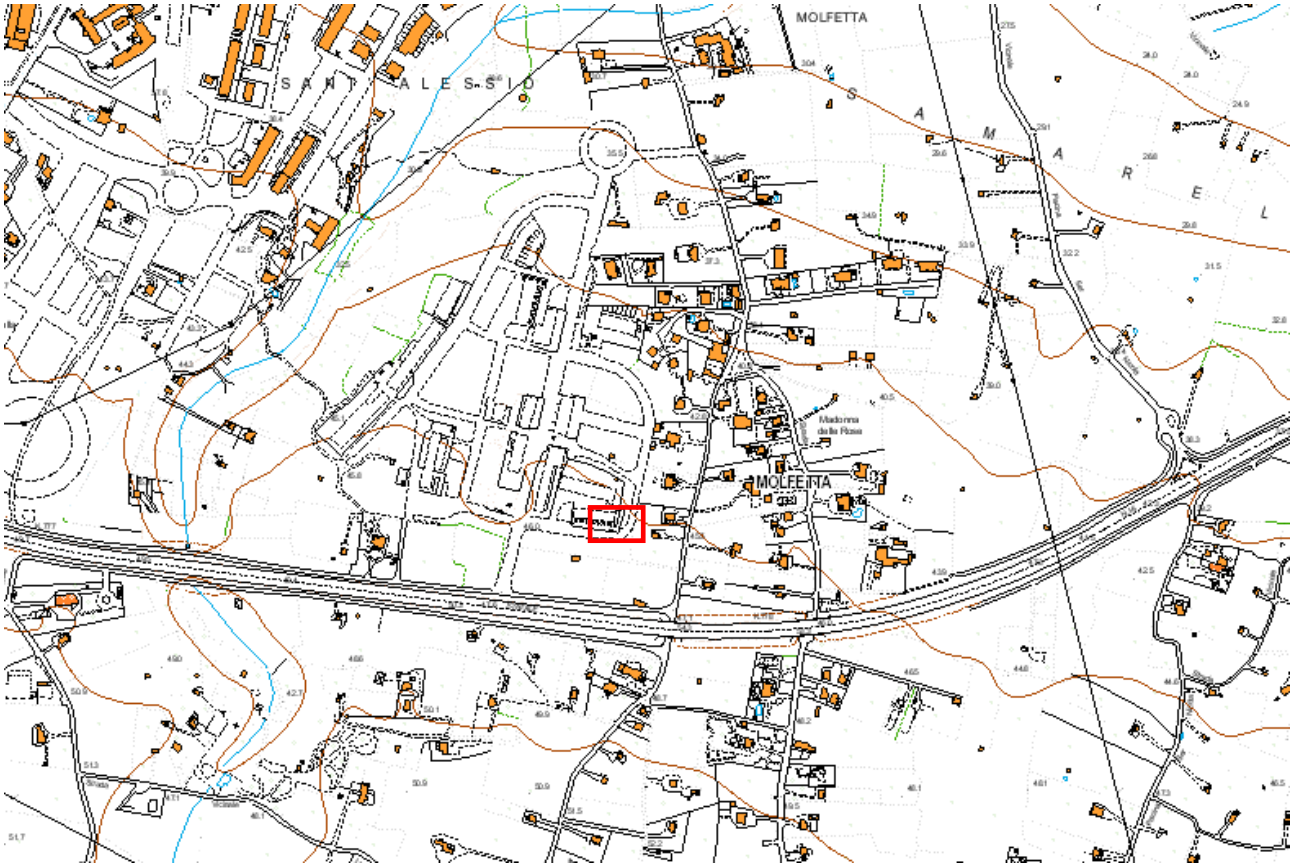


Fig. 9:stralcio CTR

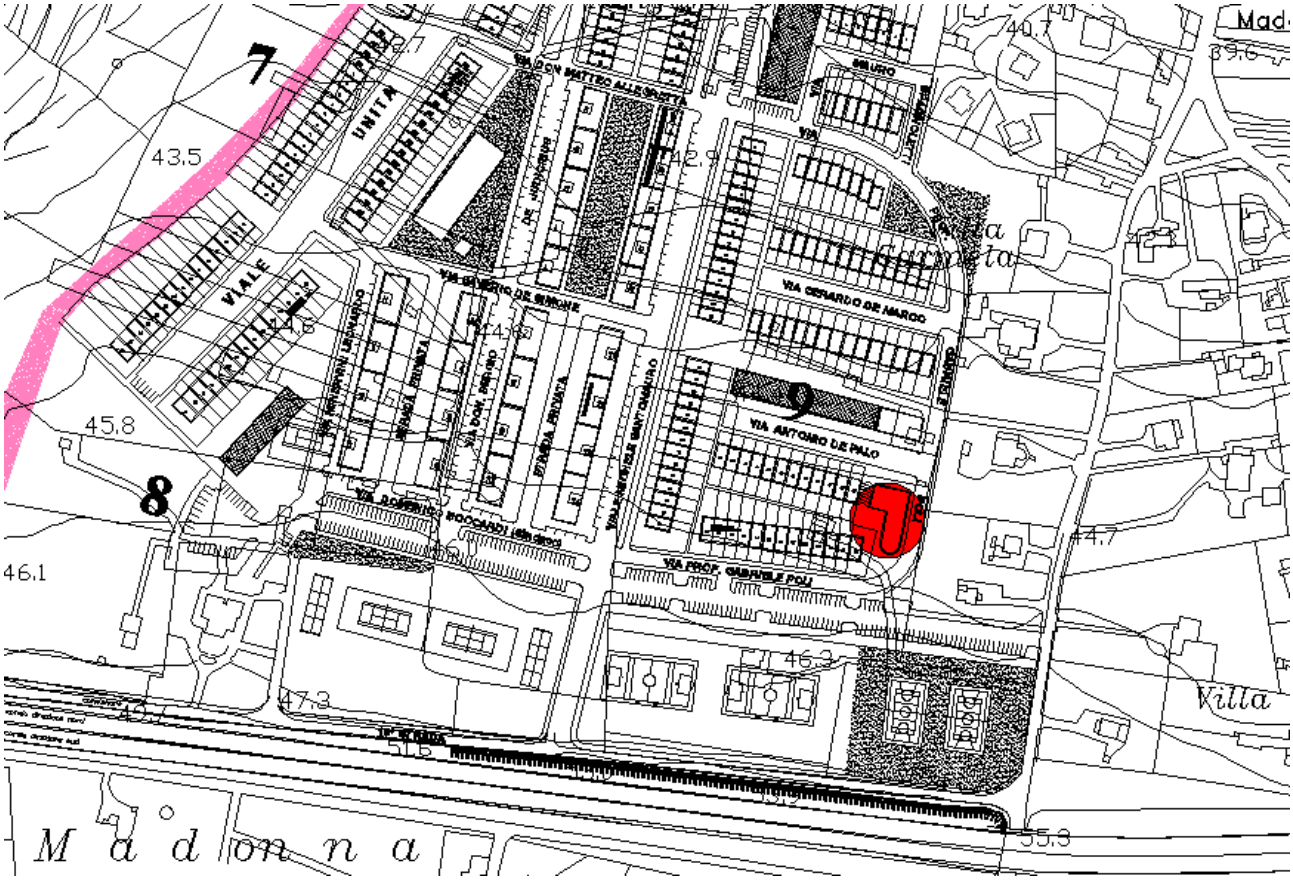


fig. 10: comparto 9 su base fotogrammetrica

3. Caratteri geomorfologici

L'area in oggetto, ubicata nella zona meridionale del Comune di **Molfetta,** è caratterizzata in affioramento da rocce carbonatiche di età Cretacea, il **“ Calcare di Bari ”.** Localmente, la serie calcarea è costituita da un'alternanza monotona di strati calcarei bianco-grigiastri e subordinatamente da calcari dolomitici di colore grigio-avana, dello spessore variabile da qualche decimetro fino al metro, a tessitura omogenea, di norma tenaci e compatti. A tratti, nell'ambito di ciascuno strato sono evidenti veli argillosi di terra bruno-rossastra. La roccia mostra di aver subito, in passato, modeste sollecitazioni di compressione e di trazione che non hanno sconvolto l'originaria tessitura e struttura tabulare. Sono presenti talora, con mancanza assolta di continuità areale, come materiale di interstrato o come riempimento di microcavità e fratture, modesti depositi di argille verdastre e sedimenti calcarenitici dotati di discreti caratteri di compressibilità. A luoghi, gli strati si distinguono per l'interposizione di livelli millimetrici di materiale detritico a differente colorazione ed imputabile ad apporti diversificati e leggere variazioni sinsedimentarie delle caratteristiche microambientali. La continuità spaziale degli strati viene interrotta dalla presenza di piani di fratturazione ad andamento subverticale e a differente orientazione. Sul terreno si evidenziano almeno due sistemi principali di fratturazione. Le caratteristiche di tali superfici (persistenza, spaziatura, orientazione ecc.) sono elementi geometrici fortemente variabili da zona a zona. Tali piani, unitamente ai giunti di strato, suddividono la roccia in poliedri grossolanamente irregolari che, formando vie preferenziali per l'acqua, hanno favorito l'esplicarsi del fenomeno carsico epigeo ed ipogeo. L'acqua con la sua azione ha compromesso le porzioni più superficiali, già fratturate, realizzando, in concentrazioni modeste, lembi terroso-argillosi verdastri che possono svilupparsi anche in profondità, interessando maggiori porzioni rocciose. E' da porre in essere come talora i calcari, a seguito dell'intervento combinato dell'alterazione chimica, della dissoluzione carsica, della microtettonica, possano risultare intensamente fratturati e con caratteristiche geomeccaniche non confacenti ai materiali lapidei. Inoltre, nella zona, stante la natura carsica dei terreni, non si esclude la presenza di soluzioni verticali a minor continuità (capivento, fratture imbutiformi, ecc.). L'andamento generale degli strati calcarei è **N50W** con immersione a NE di pochi gradi; inoltre in adiacenza sono evidenti piccoli salti di pendenza dell’ordine di 60 – 70 cm ascrivibili a paleo terrazzi marini.. La stratificazione, fitta nelle parti alte (con strati dell'ordine del decimetro, le “chiancarelle”) si fa più importante con l'aumentare della profondità (si riscontrano "mani" superiori al metro).

La roccia appare nel complesso come mediamente tenace.

Sui calcari si rinviene una copertura agraria pedogenizzata per attività antropica dello spessore massimo di **50** cm; tale materiale a luoghi è praticamente assente. Sul terreno vegetale sono presenti ciottoli calcarei a testimonianza dell'esiguo spessore dello stesso.

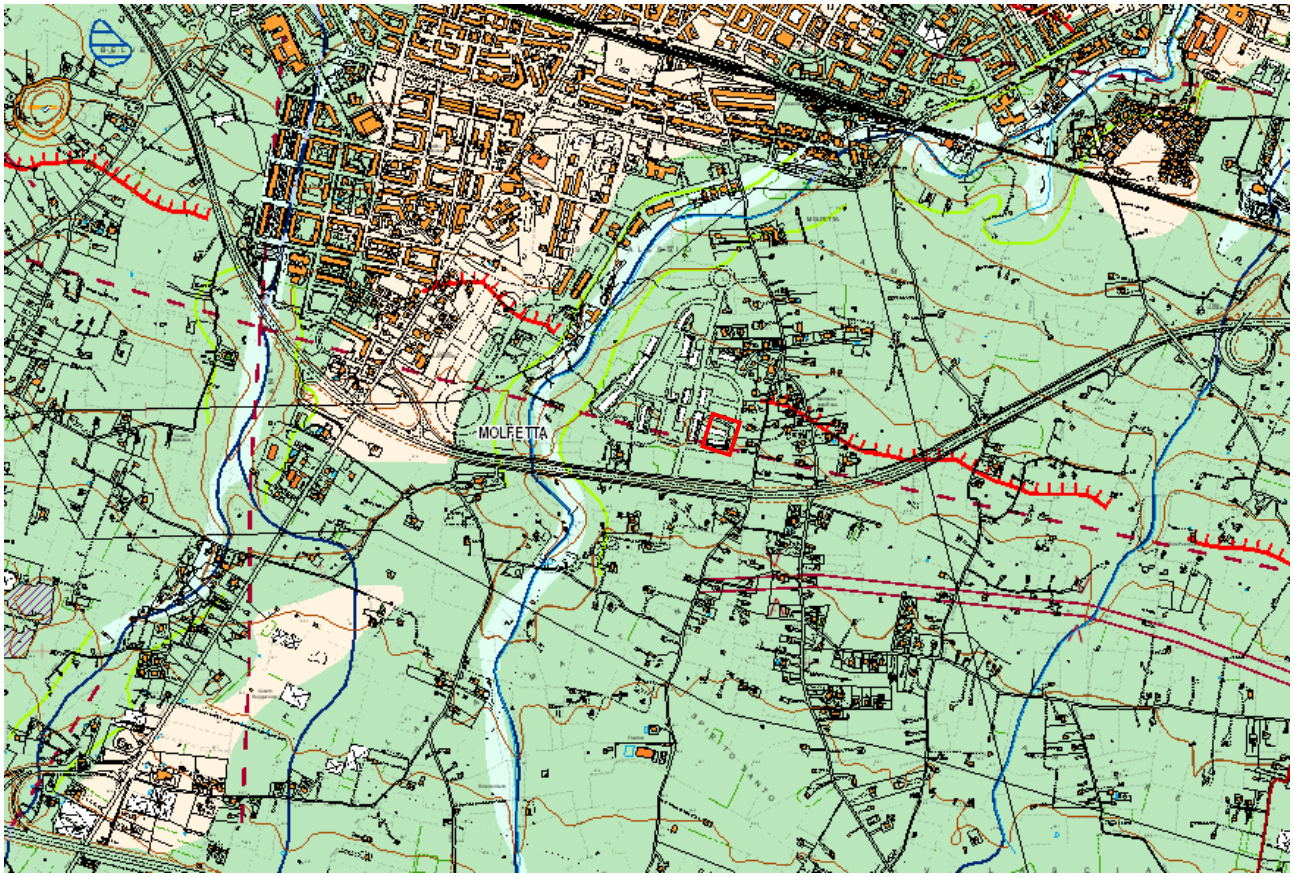
Morfologicamente la zona, nel complesso, degrada dolcemente verso l'attuale linea di costa. Essa si presenta come un tipico territorio interessato dal processo carsico e quindi con l'alternanza di dossi (corrispondenti a cerniere di anticlinali), intervallati a forme più depresse ("lame"), e per l'affioramento, in talune aree, di terreni agrari rossastri. In prossimità dell'area d'intervento esiste la "lama Martina" che sbocca in prossimità della 1^ cala. In riferimento ai rapporti geometrici e di distanza tra la maglia n. 6 e questo ultimo elemento geomorfologico qui nel seguito si riporta ortofoto esplicativa.

Tettonicamente la zona si presenta a struttura tabulare. L'andamento generale degli strati si configura come una monoclinale immergente a nord-ovest, solo a tratti complicata da deboli episodi plicativi e disgiuntivi.

Idrologicamente la falda freatica di tipo carsico, circolante a luoghi in pressione, sostenuta da acque salate di ingressione marina è confinata a profondità tali da non interferire con le strutture in progetto (nella zona la profondità minimo di rinvenimento dell'acquifero è di circa 60 m dal p.c.). Stante la permeabilità per fratturazione presentata dai calcari cretacei e per la mancanza di strati francamente impermeabili, non esistono i presupposti per l'esistenza di falde superficiali sospese che possano interferire con le strutture in progetto.

In riferimento alle caratteristiche geologiche dell'area si riportano:

- carta idrogeomorfologica (TAV. 11);
- sezione geolitologica schematica e colonna litostratigrafica locale (TAV. 12).



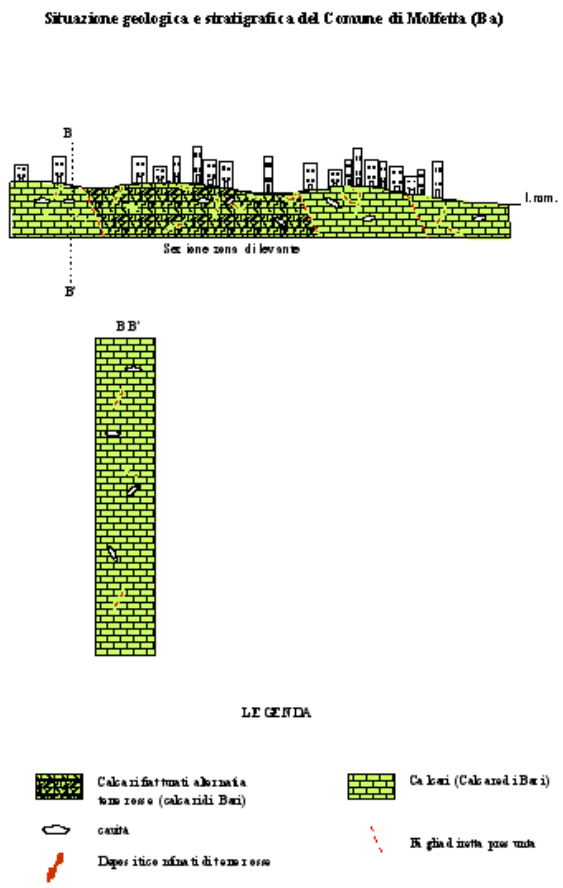
LEGENDA

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

Tav. 11: carta idrogeomorfologica



TAV. 12: sezione e colonna litostratigrafica

4. Rapporti con gli strumenti programmatori e di pianificazione

PAI

Per quel che riguarda il Piano di Bacino Stralcio per l' Assetto Idrogeologico, adottato in data 15.12.2004 dalla Regione Puglia e regolarmente approvato, il Comparto n. 9 non rientra in ambiti perimetrati come zone a rischio di alluvionamento. Nella tavola che segue si riporta uno stralcio della cartografia del PAI, da dove si evince l'insussistenza di vincoli di alluvionamento.

Perimetrazioni PAI	
agg. al 27.12.2010	
Aree a pericolosità da inondazione	
AP - Alta pericolosità	
MP - Media pericolosità	
BP - Bassa pericolosità	
Cartografia di base CTR 2006	

TAV. 13: PAI

L’area è situata sulla sponda dx della lama Martina, da cui dista circa 450 m dalle parti sommitali mentre dista circa 130 m dalle zone a rischio di allagamento.

L'intervento, in definitiva, risulta congruente con la normativa e la pianificazione in essere. Tutti gli interventi di trasformazione fisica del territorio e/o insediativi, pertanto, andranno resi compatibili con la conservazione degli elementi caratterizzanti il sistema botanico-vegetazionale, la sua ricostituzione, le attività agricole coerenti con

la conservazione del suolo. Va ancora evitata ogni destinazione d'uso non compatibile con le finalità di salvaguardia e, di contro, vanno individuati i modi per innescare processi di corretto riutilizzo e valorizzazione.

Per quanto riportato nella descrizione degli interventi da eseguirsi nel territorio di Molfetta, i lavori in oggetto sono compatibili con il regime vincolistico esistente.

Verificata l'inesistenza di vincoli di alcun tipo, a parere di chi scrive non si riavvisa limitazione alcuna per la realizzazione del progetto in epigrafe e **né sussistono rischi idraulici, idrogeologici e tettonici che possano mettere a rischio l'incolumità di cose e persone.**

5. Indagini

5.1 Rilievo geologico di dettaglio

Nell'area di interesse sono stati effettuati numerosi sopralluoghi per meglio comprendere la situazione geomorfologica esistente, soprattutto perché chi scrive ha seguito tanti interventi delle costruzioni qui realizzate.

Nell'area è possibile osservare in affioramento strati e banchi calcarei ben visibili. La zona è caratterizzata da un esiguo spessore di terreno vegetale di copertura e stante la suborizzontalità presentata dagli strati calcarei, di frequente si osservano le facce di strato dell'ammasso carbonatico, così come meglio evidenziato dalle foto riportate in allegato. Gli strati calcarei hanno direzione N50W ed immersione a SE di pochi gradi. Sul terreno si osservano due sistemi principali di fratturazione, subverticali e circa ortogonali; il principale ha direzione NS ed il secondo EW.

5.1 Indagine sismica

La presente riferisce sui risultati della campagna di indagine geofisica eseguita mediante l'esecuzione di n°1 profili di sismica a rifrazione in onde P ed n°2 profili MASW. Lo studio, come da piano di indagine, ha seguito il seguente sviluppo:

- n°1 prospezione di sismica a rifrazione in onde P (REF01).
- n°1 prospezioni Multichannel analysis of Surface Waves (MASW01)
- elaborazione dei dati raccolti.

Lo scopo dell'indagine, oltre alla stima del parametro VSeq (VS equivalente) caratteristico dell'area, ovvero la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio rispetto alla quota di imposta della fondazione, così come previsto da:

- **D. Min. Infrastrutture 17/01/2018**
- **Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 02/02/2009, n. 617 C.S.LL.PP.** (Suppl.Ord. alla G.U. 26.2.2009, n. 47 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008)

è quello di offrire un contributo all'implementazione di un modello geologico - geotecnico dell'area di indagine.

Mediante l'indagine di sismica a rifrazione in onde P si è potuto caratterizzare la stratigrafia sismica del sottosuolo in termini di spessori e velocità sismiche in onde P (Vp);

Inoltre, attraverso relazioni (cfr. 6.3) tra valori di Vp (sismica a rifrazione) e Vs (MASW) è stato possibile ottenere una stima dei moduli dinamici caratterizzanti i litotipi oggetto di studio.

Le indagini sono state condotte seguendo linee guida nazionali ed internazionali:

- Linee guida per indagini geofisiche A.S.G (Associazione Società di Geofisica)
- ASTM D 5777 - 95 (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation).

Le indagini di sismica a rifrazione permettono la ricostruzione delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, le profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici mediante correlazioni tra i valori di Vp e Vs ed i suddetti parametri. Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della birifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche ed uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde rifratte. Tali onde giungono sulla superficie rifrangente (discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse) con un angolo di incidenza critico (legge di Snell) e vengono quindi rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà alla base di tale fenomeno possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori verticali sensibili al del moto del suolo (velocimetri o accelerometri) ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere per la generazione di onde P, una massa battente (diversamente applicata e guidata), un fucile sismico o una carica esplosiva a seconda della lunghezza dello stendimento e

della profondità di indagine richiesta. Nell'indagine sismica a rifrazione i trasduttori rilevano le onde rifratte che viaggiano a velocità più elevata. Conoscendo i tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite l'analisi delle curve dei primi arrivi ad ogni trasduttore (dromocrone) si può determinare la velocità dei vari strati; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo. Le indagini di sismica a rifrazione si basa sulla determinazione dei primi arrivi (First Break Picking) i quali sottoposti ad un apposito algoritmo di inversione, permette di ricostruire la distribuzione bidimensionale delle velocità sismiche.

Il metodo MASW, Multichannel Analysis of Surface Waves, (Park et al., 1999) è una tecnica di indagine che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. La determinazione delle Vs viene ottenuta tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali e correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obbiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza (cf -f), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse. Dall'estrazione delle coppie frequenza velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate. Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle proprietà fisiche del sottosuolo. Un

miglioramento nell'individuazione di un modello più accurato può essere ottenuto, come è stato fatto nel presente lavoro, utilizzando, nel processo di inversione, curve relative a più modi di vibrazione.

Lo stendimento sismico è stato realizzato utilizzando 24 canali d'acquisizione, adottando una distanza intergeofonica pari a 2.0 m. L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° geofoni: 24
- distanza intergeofonica: 2.0 m
- n° 4/9 *shot* per ogni punto di energizzazione da sottoporre al processo di *stacking* in fase di processing per ottimizzare il rapporto *signal/noise.*
- tempo di acquisizione: 1.0 s
- intervallo di campionamento 0.265 μs.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismostratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*) rispetto al profilo, vengono disposti ai suoi estremi (end) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali). In questa occasione sono stati utilizzati 6 *shot points*.

- 2 *end-shots* posti rispettivamente a -2.0 e +48.0 m rispetto al geofono 1.
- 4 intermedi posti rispettivamente in corrispondenza del 5°, 10°, 15°, 20° geofono.

I dati sismici sono stati acquisiti utilizzando un numero di *shots* piuttosto elevato contribuendo ad incrementare la capacità risolutiva del metodo.

Si riportano le caratteristiche spazio-temporali relative all'acquisizione MASW eseguita:

- n° geofoni: 17
- distanza intergeofonica di 2.0 *m* per complessivi 32 *m* di rilievo
- n° 2 punti di energizzazione: il primo distante -2.0 m dal I geofono, +34.0 m dall'ultimo geofono
- n° 4/9 shot per ogni punto di energizzazione da sottoporre al processo di stacking

in fase di processing per ottimizzare il rapporto signal/noise.

- tempo di acquisizione: 2.0 s
- intervallo di campionamento 0.256 μs.

Il processing dei dataset di sismica a rifrazione in onda P è stato condotto mediante il Software *RAYFRACT* (*Intelligent Resources Inc*., Canada), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche eseguite in superficie, realizzate sia con onde P

che SH, per scopi geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse. Rayfract consente sia la ricostruzione della geometria dei rifrattori con la sismica a rifrazione tradizionale, che la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche.

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, in funzione delle modalità di acquisizione, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Lo schema di processing tomografico utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (Brückl 1987; Jones and Jovanovich 1985) e del Plus-minus (Hagedoorn 1959), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brückl 1987). Tale metodo può essere considerato un ottimizzazione dell'algoritmo del GRM, capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. A partire dal modello sopraccitato è stato quindi utilizzato il codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

La tomografia sismica (TAV. 10) suggerisce un sottosuolo costituito dall'alto verso il basso da 2 unità sismostratigrafiche di base:

UsC – unità di copertura

UsS – unità del substrato

L'unità sismica ***UsC*** preserva un assetto pressoché stratiforme si estende sino ad una profondità mediamente compresa tra 1.1÷2.1 m da p.c.

Tale sismostrato presenta Vp comprese tra 400÷800 m/s distribuiti in maniera piuttosto omogenea con un rapido incremento di Vp in profondità. il contatto con il sismostrato sottostante appare piuttosto marcato in quanto caratterizzato da valori del gradiente molto elevati.

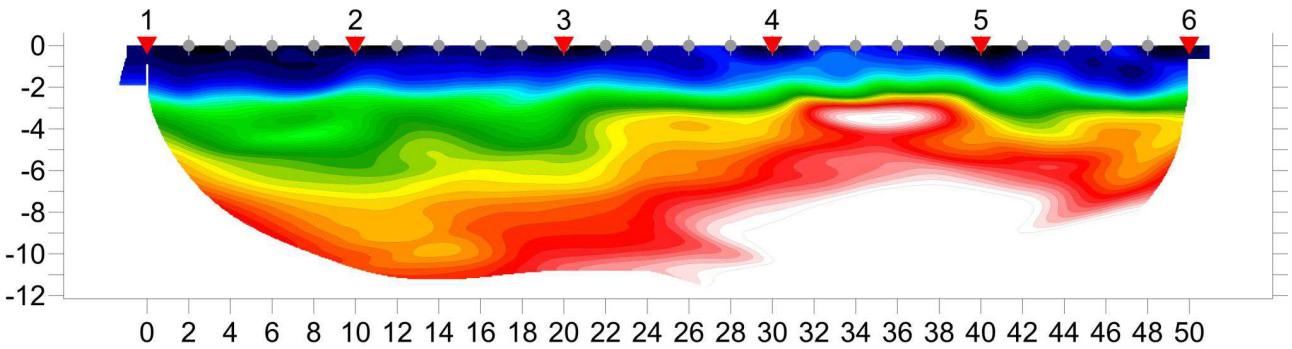
Segue l'unità ***UsS*** che segna un netto incremento nelle velocità rilevate e presenta una distribuzione piuttosto eterogenea dei valori rilevati. Questa unità che chiude la

sequenza sismostratigrafica per i valori rilevati ed i contatti dettati dal *plot* del gradiente di velocità, può essere ulteriormente suddivisa in 2 subunità

• la subunità ***UsS1*** presenta uno spessore variabile tra 1÷4.5 m circa con un evidente inspessimento in direzione se ovvero verso lo *shot n°1*.

Di fatto appare caratterizzata da Vp comprese tra 1400÷2500 m/s con un generale incremento in profondità

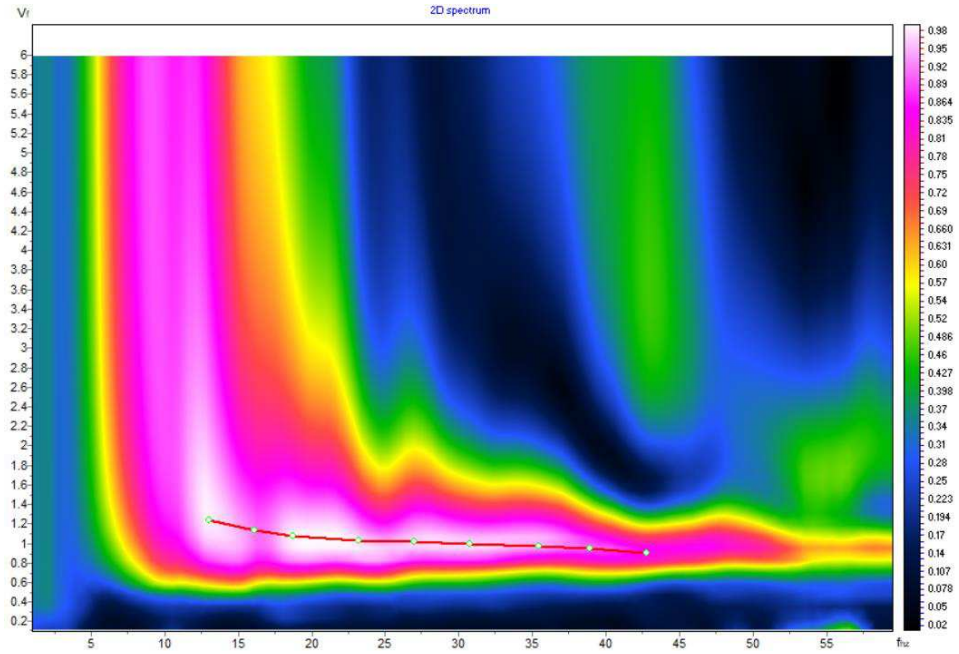
• la subunità ***UsS2*** che funge da semispazio risulta caratterizzata da Vp maggiori di 2900 m/s distribuite in maniera piuttosto eterogenea con evidenti variazioni sia verticali che orizzontali che definiscono una distribuzione in sismozone a bassa ed elevata Vp. In particolare si evidenzia una sismozona ad elevata Vp compresa tra le prohgressive 31÷39 m e tra profondità comprese tra -2.5÷-4.5 m da p.c. Inoltre sussiste un notevole incremento di Vp nel settore NE dello stendimento oltre una profondità pari a circa -5.5 m da p.c. in cui si evidenziano velocità sismiche superiori a 4500 m/s.



TAV.14: tomografia sismica

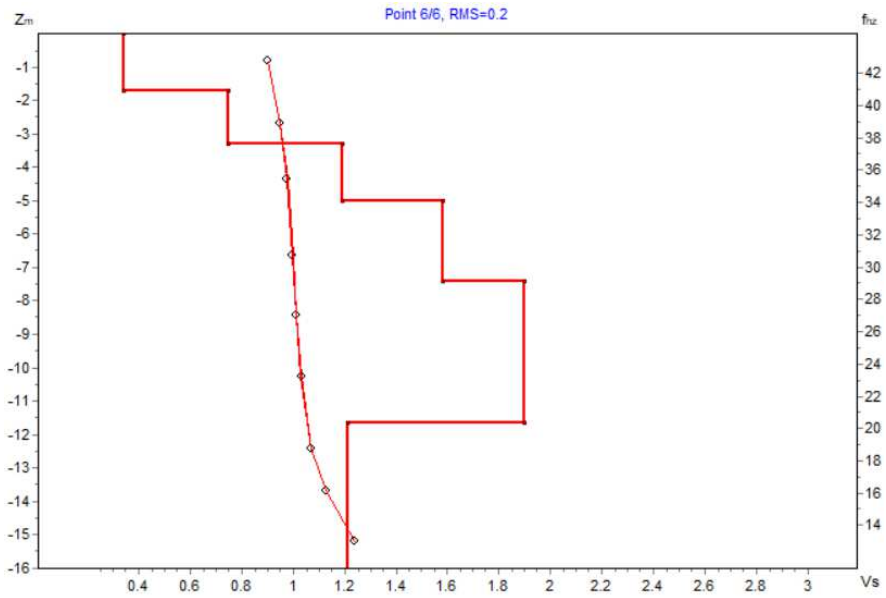
L'indagine MASW è stata effettuata per estrapolare la sismostratigrafia in onde S da poter correlare ai valori di Vp al fine di ottenere una stima dei moduli dinamici relativi ai sismostrati indagati e per la valutazione del parametro V_{Seq}.

L'analisi in frequenza (TAV.15) è stata condotta sino a 40Hz. Tale *range* risulta sufficiente ad indagare il volume di sottosuolo di interesse.



TAV. 15: Spettro frequenza/velocità di fase. sovraimposte sono i picking del modo fondamentale (rosso).

In tale *range* di frequenza la curva di dispersione appare dominata dal modo fondamentale (rosso). L'indagine MASW suggerisce un sottosuolo assimilabile a quello evidenziato dall'indagine di sismica a rifrazione in termini sia di spessori che di velocità rilevate, pur rappresentando una misura monodimensionale che media i valori in termini di spessori e velocità.



TAV.16: Profilo di Vs (Km/s); sovraimposti lo spettro, la curva di dispersione misurata e calcolata; fondamentale.

Si riporta la tabella riepilogativa dell'andamento delle velocità delle onde S con la profondità per i sismostrati individuati attraverso l'analisi del modello di inversione.

	Strato	VS (m/s)	profondità top (m)	spessore (m)
	1	340	0.0	1.7
	2	750	1.7	1.6
Bedrock sismico →	3	1190	3.3	1.7
	4	1580	5.0	2.4
	5	1900	7.4	4.3
	6	1210	11.7	-

Tab. 1: Vs - profondità

La problematica inerente la classificazione del terreno da un punto di vista sismico è stata oggetto di numerose ordinanze e normative (OPCM 3274; DM 14/09/2005); in ultimo, il Decreto del Ministero per le Infrastrutture del 17 gennaio 2018, che costituisce l'approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

Nel suddetto Decreto al par. 3.2.2. "Categorie di Sottosuolo e Condizioni Topografiche", facente parte del più ampio capitolo riguardante l'Azione Sismica, si riporta che "... 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". Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel "volume significativo", ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs_{eq} di propagazione delle onde di taglio entro gli strati con velocità inferiore agli 800 m/s. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse.

Tali categorie sono riepilogate nella tabella di seguito riportata.

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

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

Tab. 2

Suddivisione delle categorie di suolo

La velocità equivalente delle onde di taglio Vs30 è definita dall'espressione:

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

dove:

hi è lo spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 *m* di profondità;
Vsi velocità (in m/s) 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, caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s.
Pertanto, sulla base delle risultanze delle indagini condotte nell'area (Tab. III), ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (*Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003*, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004*; DGR Puglia 2 marzo 2004* e dalle modifiche allo stesso portate dal *Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005, D.M. 17/01/2018*), si dichiara che: *il sottosuolo oggetto di indagine appartiene alla CATEGORIA "B" sino ad una profondità inferiore a 0.2 m da p.c.*
A partire da una profondità pari a 0.3 da p.c. il sottosuolo oggetto di indagine appartiene alla CATEGORIA "A".

PROFONDITA' FONDAZIONE (m da p.c.)	V_{SEQ} (m/s)	CATEGORIA
0.0	463	B
-0.2	474	B
-0.3		A

Tab. 3

Considerando l'analogia tra le unità sismostratigrafiche individuate dai due metodi sismici applicati a tale studio (VP –VS), in termini di spessori e di coerenza tra i rapporti VP/VS è stato possibile effettuare una stima approssimativa dei valori dei moduli dinamici caratterizzanti le unità, riassunti nelle seguenti tabelle.

	VP (m/s)		VS (m/s)		ϕ (°)		Poisson		Densità (KN/m3)	
UsC	400	800	-	340	-	31.3	-	0.39	15.6	17.8
UsS_1	1600	2400	780	1190	38.9	42.9	0.34	0.34	20.3	22.0
UsS_2	2900	-	1580	-	45.4	-	0.29	-	22.8	-

	Young Din. (Mpa)		Shear (Mpa)		Bulk (Mpa)		Young stat. (Mpa)		RMR		K – Winkler (N/mm^3)	
UsC	-	572	-	206	-	866	21	39	-	25	-	0.030
UsS_1	3324	8313	1237	3109	3554	8500	134	455	56	72	0.218	0.602
UsS_2	14644	-	5681	-	11563	-	978	-	81	-	1.188	-

Tabelle 4 relative a: velocità e moduli dinamici rilevati

La sequenza litostratigrafica deducibile dalle indagini eseguite e dal contesto geologico, inizia con uno sismostrato (***UsC***) che presenta una geometria pressoché tabulare. Per le osservazioni di superficie e per le velocità rilevate, risulta assimilabile a terreno vegetale / materiale di riporto nella porzione superiore con un probabile incremento di clasti nella porzione inferiore.

I sismostrati individuati al di sotto di tale sismostrato presentano una distribuzione delle velocità sottoforma di sismostrati ed a tratti sottoforma di sismozone. Tale distribuzione, nel contesto geologico in cui sono state effettuate le indagini, risulta compatibile con la presenza del substrato roccioso, caratterizzato da facies a diverso grado di fratturazione/alterazione. Si nota una variabilità principalmente verticale e secondariamente orizzontale nella sismostratigrafia individuata.

La subunità ***UsS1*** risulta assimilabile principalmente a calcare ad elevata fratturazione/alterazione.

Chiude la sequenza la subunità ***UsS2*** che risulta compatibile con calcare a medio-bassa fratturazione/alterazione.

6. Pluviometria

I dati delle precipitazioni medie disponibili, coprono un periodo di osservazione che va dal 1921 al 1980 ("Precipitazioni in Puglia : mappe stagionali" di G. Zito & G. ed inoltre sono stati implementati con altri che coprono un periodo che arriva al 2020.

Nella tabella 5 e nella fig. 17 si riportano le medie mensili ed annuali delle precipitazioni relative alle stazioni di osservazione di Bisceglie (16 m. s.l.m.) e di Giovinazzo (13 m. s.l.m.) essendone Molfetta priva. I valori riscontrati sono del tutto confrontabili; il valore medio delle precipitazioni annue è rispettivamente di 570 mm e di 572 mm per Bisceglie e Giovinazzo.

I massimi delle precipitazioni mensili sono concentrati nel quadrimestre Ott. – Gen., mentre i minimi occorrono nel mese di luglio.

Stazione	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Bisceglie	58,8	52,6	49,6	43,5	34,3	26,6	19,4	29,6	52,4	66,2	68,2	69,2	570,4
Giovinazzo	59,7	52,2	52,9	42,4	35,4	27,9	15,9	26,3	51,5	65,1	72,6	70,7	572,5

Tab. 5: Medie Mensili e annuali delle precipitazioni (anni di osservaz.1921-1980)

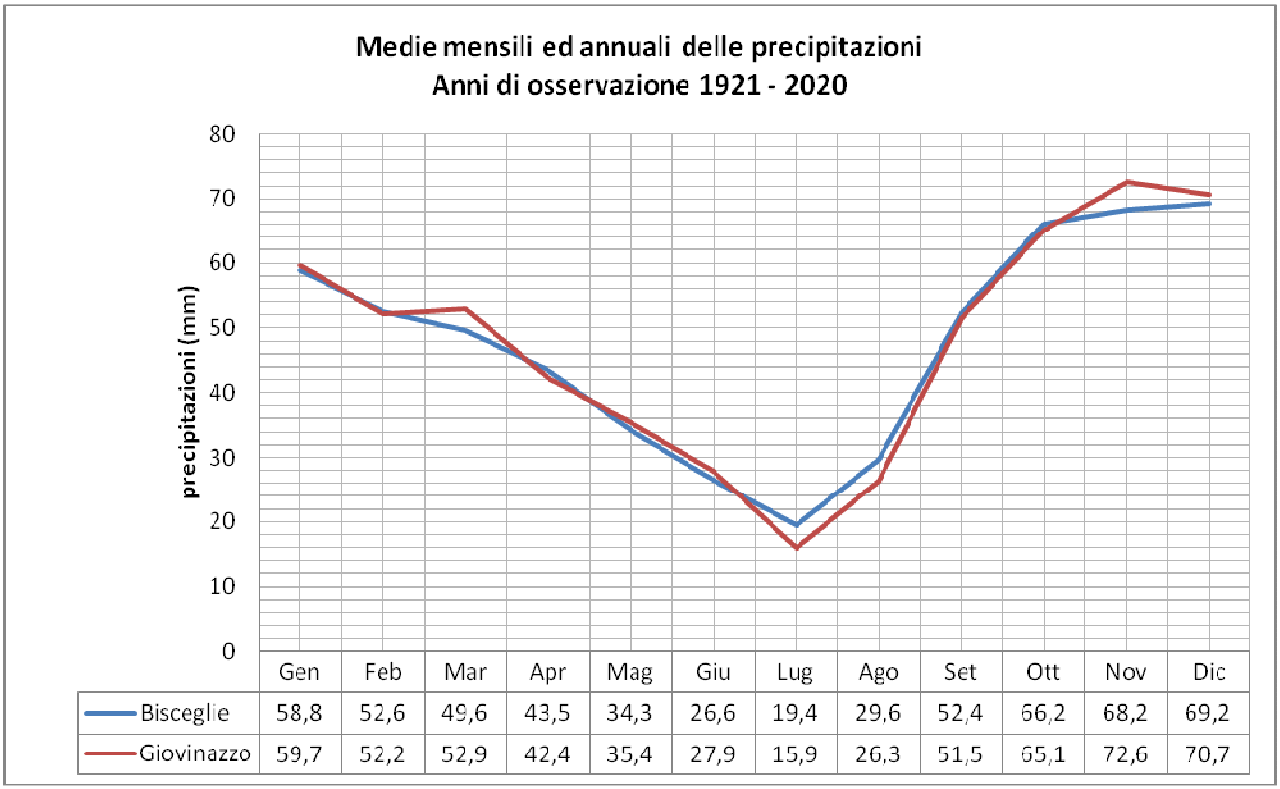


Fig. 17

Nella tabella 6 e nella TAV. 18, invece, si riportano le medie mensili ed annuali dei giorni piovosi relative alle stesse stazioni di osservazione. La media annua dei giorni piovosi varia da 67.6 per la stazione di Giovinazzo a 66.1 gg. per quella di Bisceglie (il 18 % riferito all'intero anno). Nel mese di luglio si hanno i valori minimi (2.0 e 2.2); il regime di tali piogge riveste un carattere temporalesco (per ciascun evento cadono dagli 8.0 ai 9.0 mm. di acqua). I valori massimi si hanno nel mese di dicembre per entrambe le stazioni.

Stazione	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Bisceglie	7,4	6,3	7,0	5,9	4,9	3,4	2,2	2,6	5,0	6,4	7,4	7,7	66,1
Giovinazzo	7,7	6,8	7,1	5,9	4,8	3,3	2,0	2,5	4,9	6,5	7,8	8,4	67,6

Tab. 6: Medie Mensili e annuali dei giorni piovosi (anni di osservaz.1921-1980)

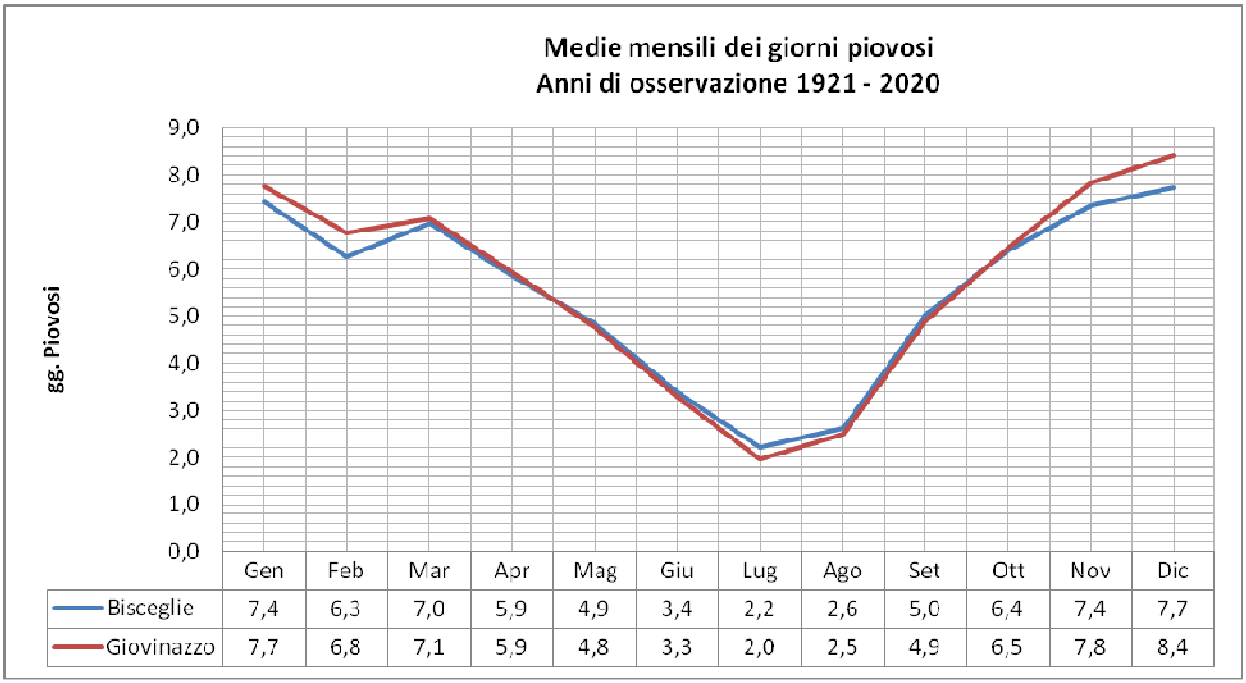


Fig. 18

L'andamento annuale è piuttosto regolare.

Nella zona in esame, il regime pluviometrico è di tipo mediterraneo con estati calde ed inverno freddo-umido. Le precipitazioni sono rilevanti nel periodo tardo-autunnale ed invernale; prolungata siccità, salvo sporadici rovesci di notevole intensità e breve durata, nel corso del periodo estivo.

7. Criteri di progettazione in aree carsiche

Nelle aree sede di fenomeni erosivi di tipo carsico, i problemi nascono dalla difficile determinazione sia della disposizione, sia della forma e dimensioni di eventuali cavità presenti al di sotto del piano di posa delle fondazioni.

La continuità laterale e verticale della roccia non è comunque quasi mai verificata né regolare, per la presenza di zone a luoghi più allentate e fratturate che, talvolta, potrebbero reagire in modo difforme sotto l'aspetto geostatico.

Il confronto tra lo stato di fratturazione e lo sviluppo della rete carsica porta ad una caratterizzazione della roccia in sito che può essere ascritta al **GRADO II** o **III** ("Valutazione geologico-tecnica degli ammassi rocciosi carsificati"; F. ZEZZA, 1976). Cioè si passa da ammasso poco carsificato (II grado) a quello mediamente carsificato (III grado). La roccia è definibile come "discreta", con giunti di stratificazione solo parzialmente interessati da manifestazioni di tipo carsico ed ancora caratterizzata dalla presenza di piccole cavità, a sviluppo essenzialmente verticale, collegate ai processi di erosione e di dissoluzione carsica.

Per questo tipo di roccia l'indice di qualità della roccia (**RQD**) varia dal 50 al 70%.

Tenendo conto delle incertezze relative alla conoscenza precisa e puntuale del sottosuolo è necessario prevedere la possibilità di impiegare opportuni interventi che possono avere come obiettivo, o il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della porzione di terreno all'interno della quale gli incrementi delle sollecitazioni, prodotti dall'opera in oggetto, sono significativi, ovvero il trasferimento di tali incrementi in zone più resistenti.

8. Aspetti geodinamici

Tutti gli aspetti precedentemente descritti si riferiscono solo a quelli geostatici. Rientrando il Comune di Molfetta nella zona sismica di 3^ categoria andranno altresì considerati gli aspetti geodinamici connessi al terreno.

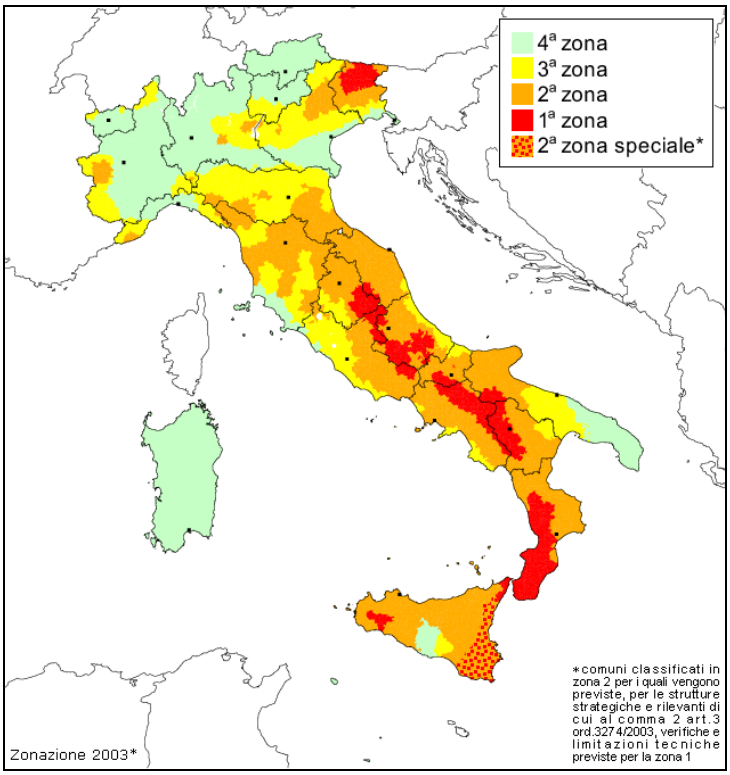
I più importanti sono le caratteristiche del moto sismico nel suolo e la risposta dinamica della struttura e del terreno di fondazione. In proposito va segnalato che l'assenza di condizioni geostrutturali predisponenti all'evento (carta d'Italia del rischio sismico :studio effettuato dal CNR nell'ambito del progetto finalizzato Geodinamica) e la bassa sismicità assegnata al sito esclusivamente con criteri statistico-storici (come è noto l'inserimento è dovuto agli effetti indotti in zona dal grave sisma che ha interessato nel novembre 1980 le regioni limitrofe), permettono di affermare che la distanza epicentrale R è stata e, nel caso di eventi futuri, sarà in ogni caso piuttosto elevata (la zona più vicina classificata di 1^ categoria è il Gargano), ed

in conseguenza, anche in caso di terremoti di grande magnitudo gli effetti saranno sicuramente modesti.

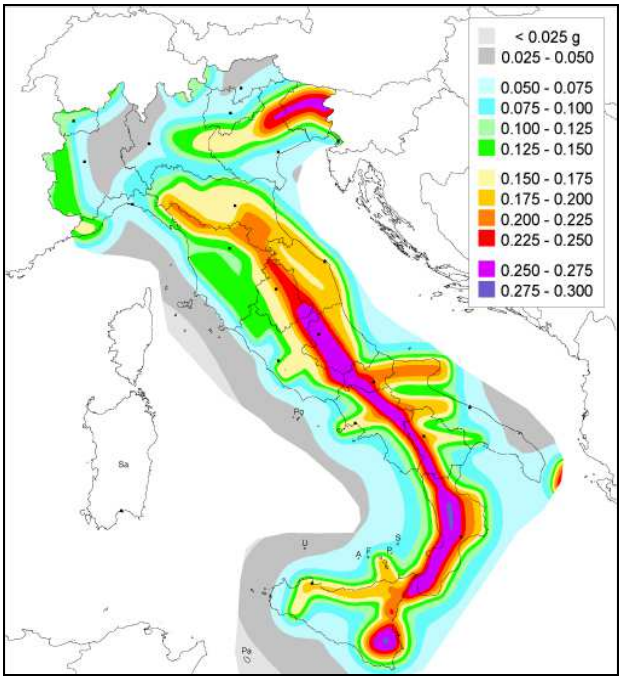
9. Sismicità dell'area

Il Comune di Molfetta è stato classificato, in base all'O.P.C.M. 3274 nella zona sismica di 3^ categoria, pertanto andranno altresì considerati gli aspetti geodinamici connessi al terreno. I più importanti sono le caratteristiche del moto sismico nel suolo e la risposta dinamica della struttura e del terreno di fondazione. In proposito va segnalato che l'assenza di condizioni geostrutturali predisponenti all'evento (carta d'Italia del rischio sismico: studio effettuato dal CNR nell'ambito del progetto finalizzato Geodinamica) e la bassa sismicità assegnata al sito esclusivamente con criteri statistico-storici (come è noto l'inserimento è dovuto agli effetti indotti in zona dal grave sisma che ha interessato nel novembre 1980 le regioni limitrofe), permettono di affermare che la distanza epicentrale R è stata e, nel caso di eventi futuri, sarà in ogni caso piuttosto elevata (la zona più vicina classificata di 1^ categoria è il Gargano), ed in conseguenza, anche in caso di terremoti di grande magnitudo gli effetti saranno sicuramente modesti. Si riporta in seguito la zonazione sismica del territorio nazionale ad opera dell'INGV ed inoltre la carta delle accelerazioni del suolo (INGV) in termini di frazioni di "g" (accelerazione di gravità), alle quali il suolo può essere sottoposto a seconda dell'area in cui ricade.

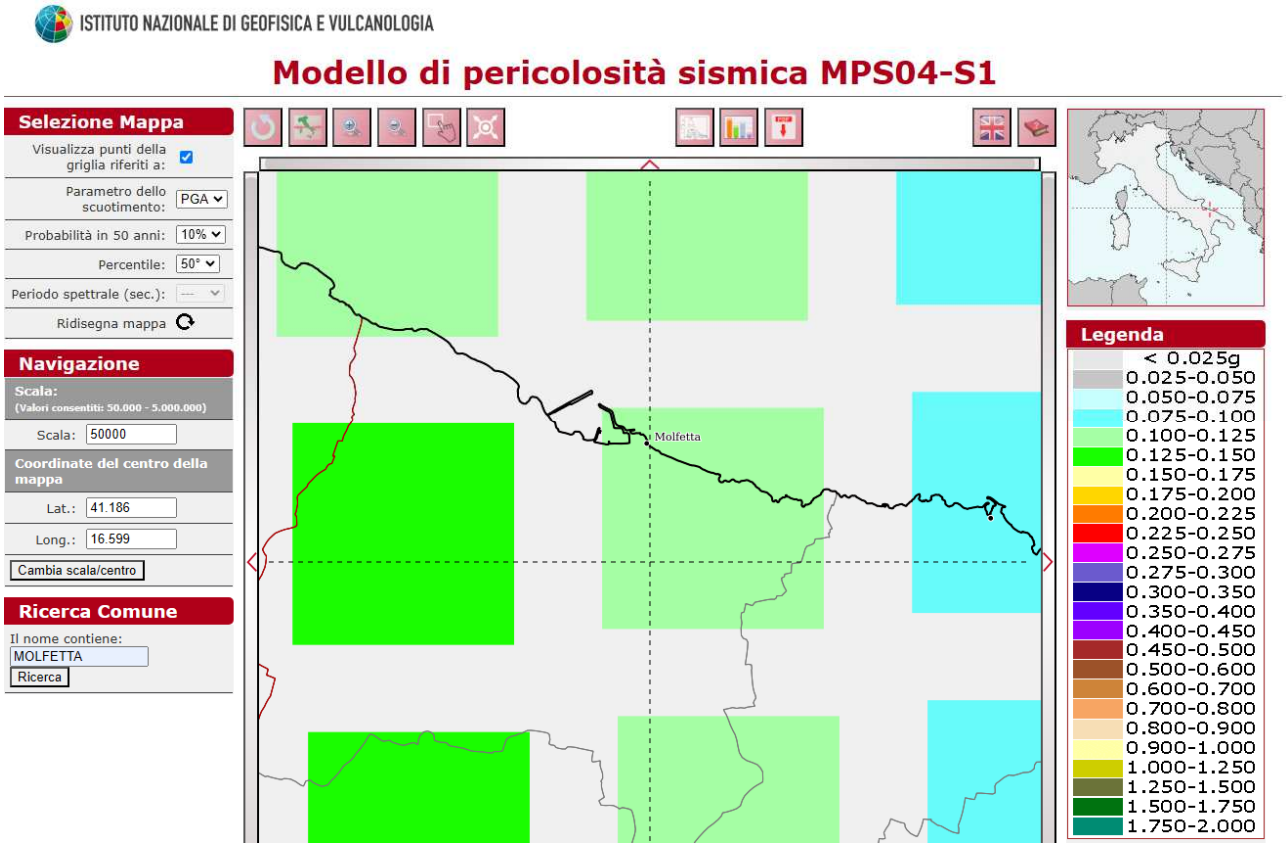
I nuovi criteri di caratterizzazione sismica locale, come accennato in premessa sono menzionati nel D.M. 14/01/08 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" ed entrati ufficialmente in vigore in data 05/08/09 a seguito della Circolare emessa dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e pubblicata su G.U. n. 187 del 13 /08/2009, per cui per maggiore chiarezza sulla caratterizzazione sismica locale in termini di accelerazione del suolo in caso di sisma, riporteremo in seguito uno stralcio tratto dal sito ufficiale dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) in formato web-gis, in cui è possibile ulteriormente osservare la categoria di accelerazione sismica locale in cui il comune di Molfetta ricade; la quale da un'analisi cromatica della cartografia esaminata si aggira intorno a valori compresi tra 0,125 e 0,150 g.



TAV. 19: Zonazione sismica del territorio nazionale

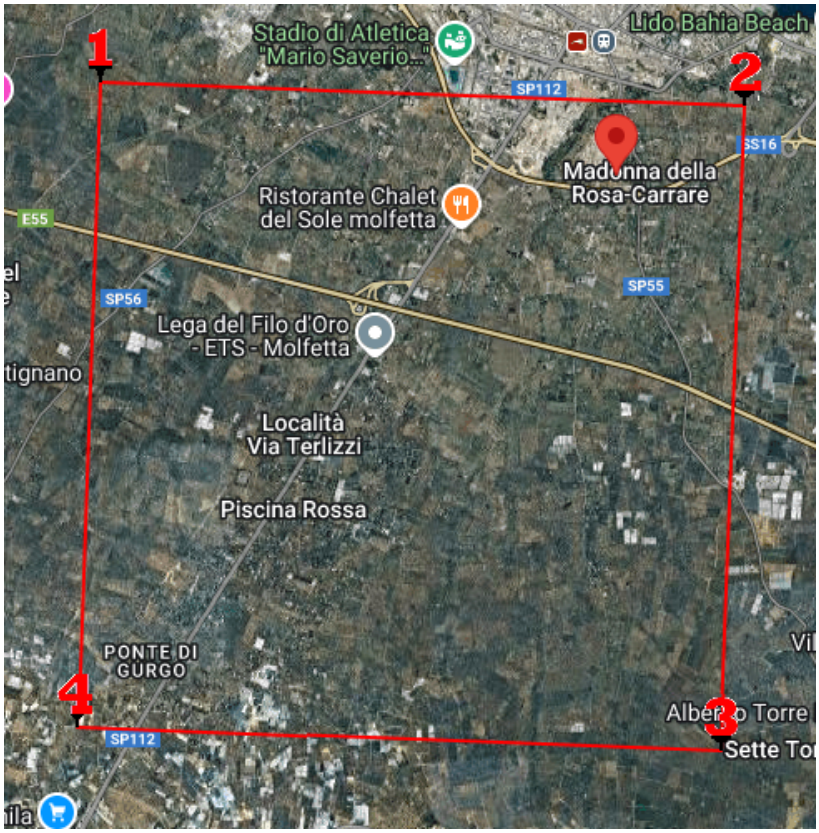


Tav. 20: Carta delle accelerazioni sismiche locali



TAV. 21: Zonazione sismica nazionale (web-gis) in termini di accelerazione sismica locale

Qui di seguito si riportano i vertici della maglia sismica, gli stati limiti ed i coefficienti sismici.



TAV. 22: Vertici della maglia

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.031	2.469	0.247
Danno (SLD)	50	0.039	2.513	0.289
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.111	2.488	0.422
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.152	2.556	0.423
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

TAB. 8: Stati limite

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: A

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☑ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.012	0.017	0.017
kv	0.006	0.006	0.008	0.008
Amax [m/s²]	0.600	0.600	0.600	0.600
Beta	0.200	0.200	0.270	0.270

TAB. 9: Coefficienti sismici

Sempre in riferimento alla succitata circolare e alle nuove Norme Tecniche è necessario inoltre caratterizzare il sito in funzione degli spettri di risposta sismica delle componenti orizzontali e verticali del suolo. Gli spettri di risposta sismica vanno stimati in relazione ai differenti Stati Limite a cui un manufatto è potenzialmente sottoposto; tale stima è stata effettuata disponendo di un software fornito dal sito del

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (www.cslp.it), il quale è strutturato in tre fasi per la valutazione degli spettri di risposta:

FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito (sulla base del progetto S 1 dell'INGV);

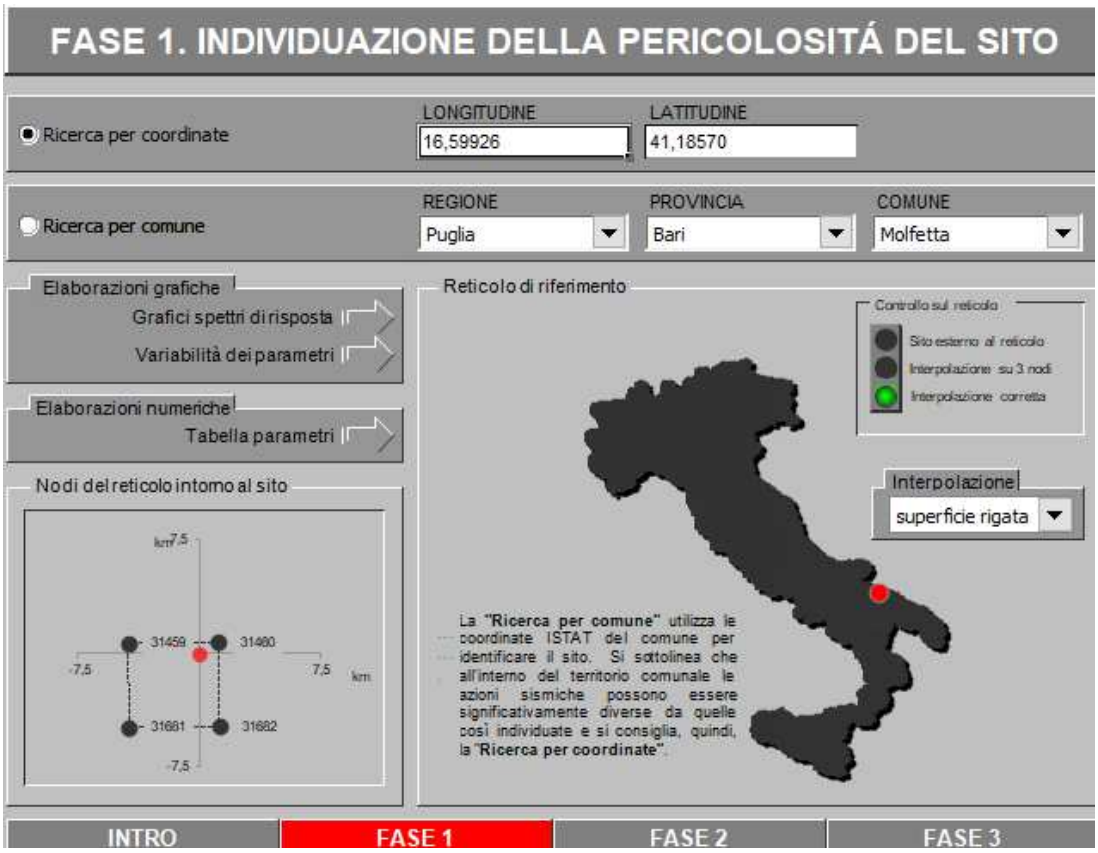
FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione;

FASE 3 - Determinazione dell'azione di progetto.

Risulta chiaro che i dati di input al software sono scelti in funzione di diversi parametri, i quali dipendono direttamente da svariati aspetti come per esempio: dall'ubicazione del sito, dalla vita nominale del manufatto, dal coefficiente d'uso del manufatto, dalla tipologia di stato limite per cui si intende calcolare gli spettri di risposta elastica, dalla categoria di sottosuolo, dalla categoria topografica ed infine da aspetti di carattere strutturale dell'edificio (fattore di struttura).

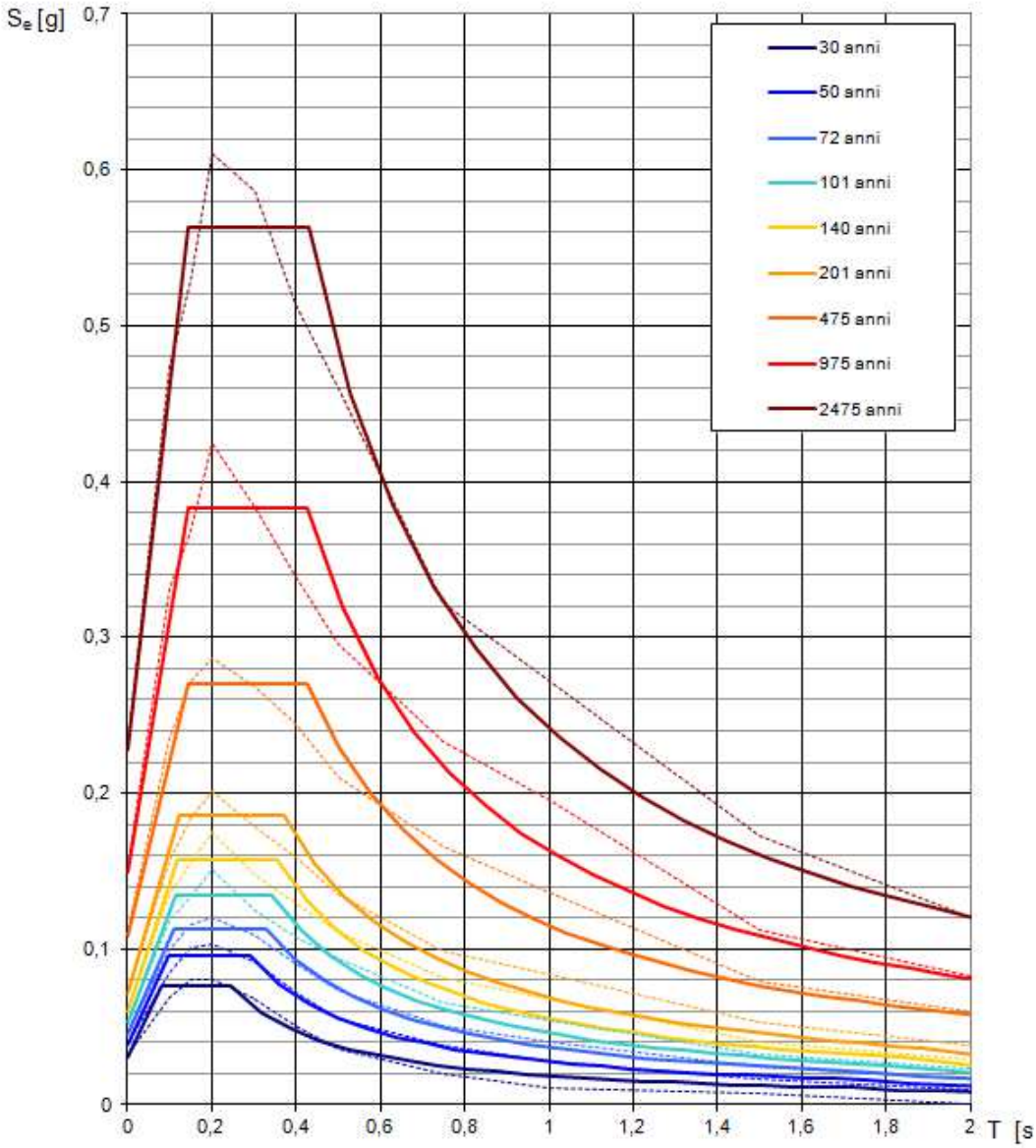
Saranno pertanto di seguito riportate la relative schermate del software utilizzato da cui si potrà facilmente apprendere la fase di input dei dati per le tre FASI di lavoro e i relativi grafici riferiti agli spettri di risposta elastica, nonché tabelle in cui sono riassunti i principali parametri sismici locali.

Nella schermata di input dei dati relativi alla FASE 1 si è preferito effettuare una individuazione del sito in funzione delle coordinate geografiche espresse in termini di latitudine e longitudine.



TAV. 23

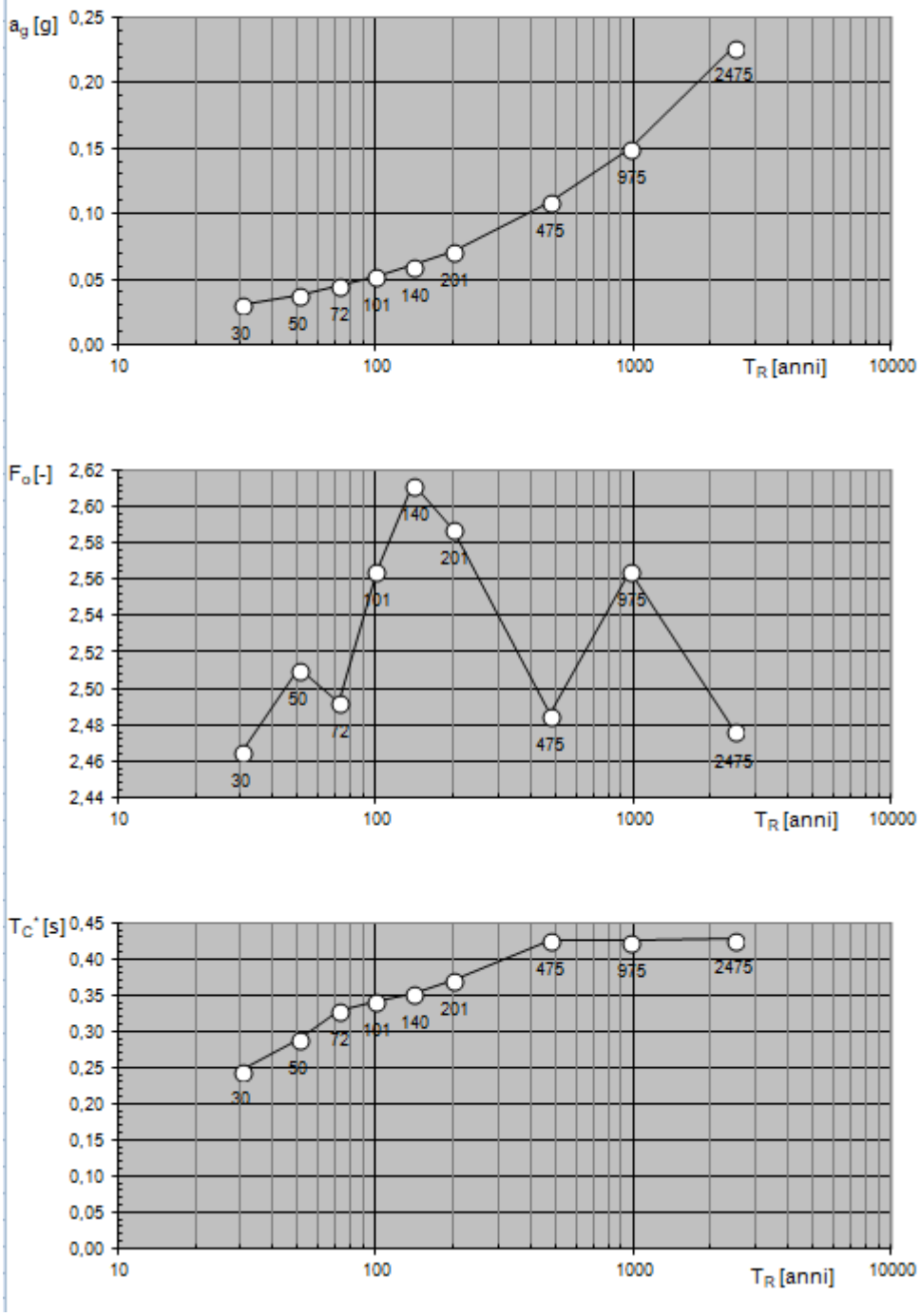
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

TAV. 24: Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^*: variabilità col periodo di ritorno T_R



TAV. 25

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

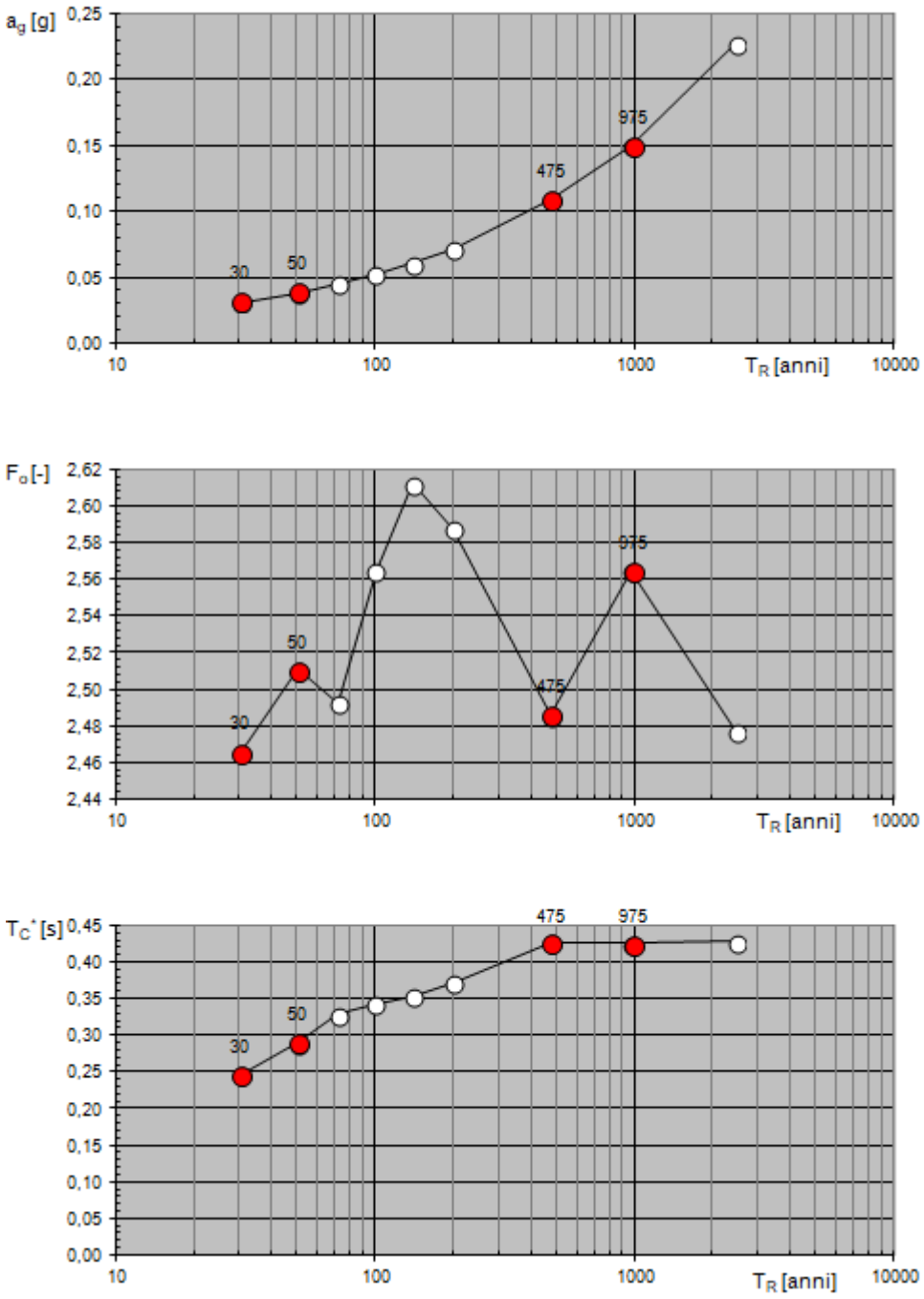
T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,031	2,465	0,246
50	0,038	2,511	0,289
72	0,045	2,492	0,329
101	0,052	2,565	0,343
140	0,060	2,612	0,353
201	0,072	2,587	0,371
475	0,109	2,486	0,426
975	0,149	2,565	0,425
2475	0,228	2,476	0,428

Tav. 26

Nella seguente schermata relativa alla fase di input dei dati della FASE 2 è stata considerata una vita nominale della costruzione pari a 50 anni (cfr. par. 2.4.1 NTC 14/01/2008) e un coefficiente d'uso della costruzione pari a 1 in funzione della tipologia d'uso dell'edificio (cfr. par. 2.4.3 NTC 17/01/2018)

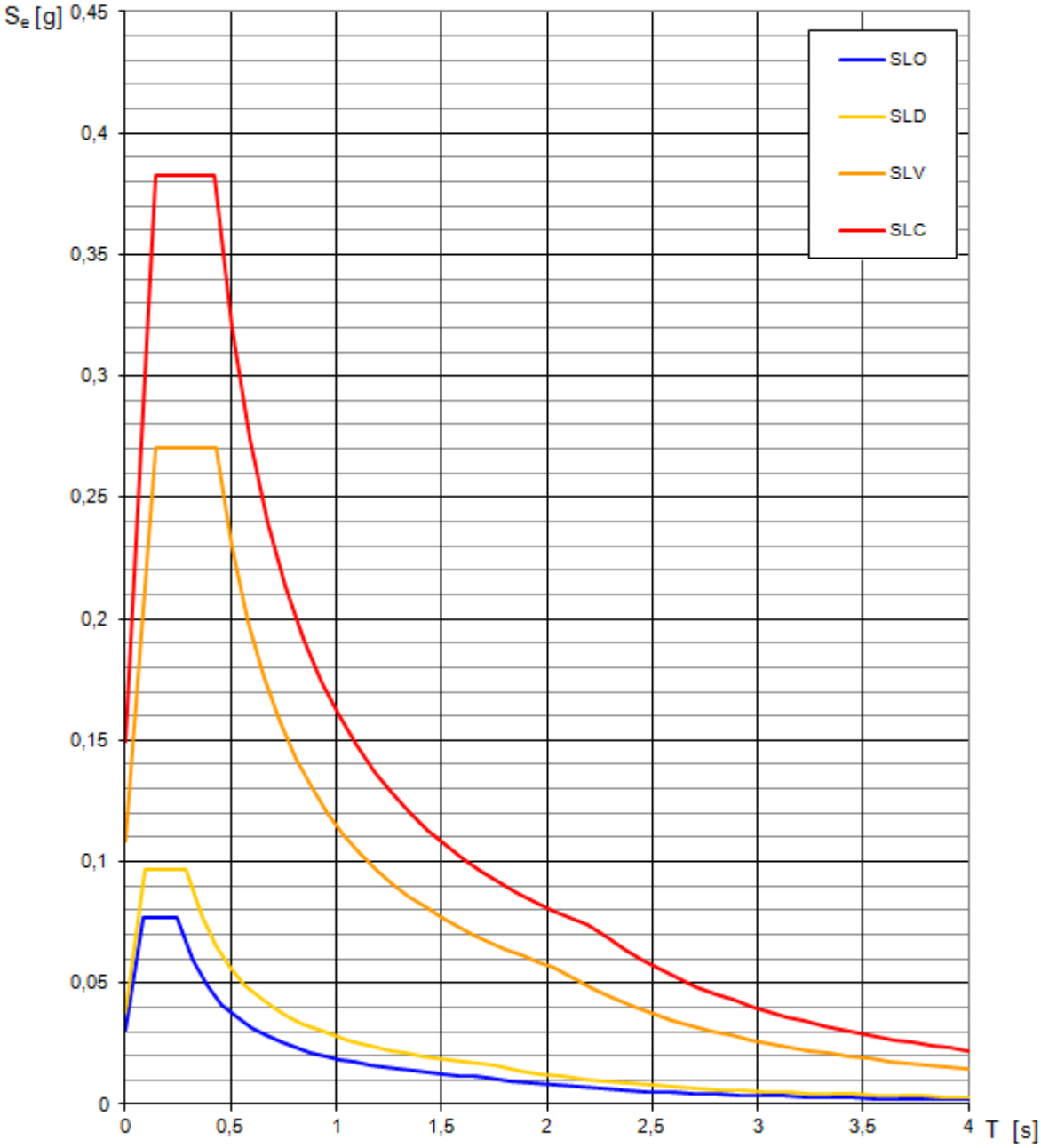
Tav. 27

Valori di progetto dei parametri a_g, F_o, T_C^* in funzione del periodo di ritc



Tav. 28

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



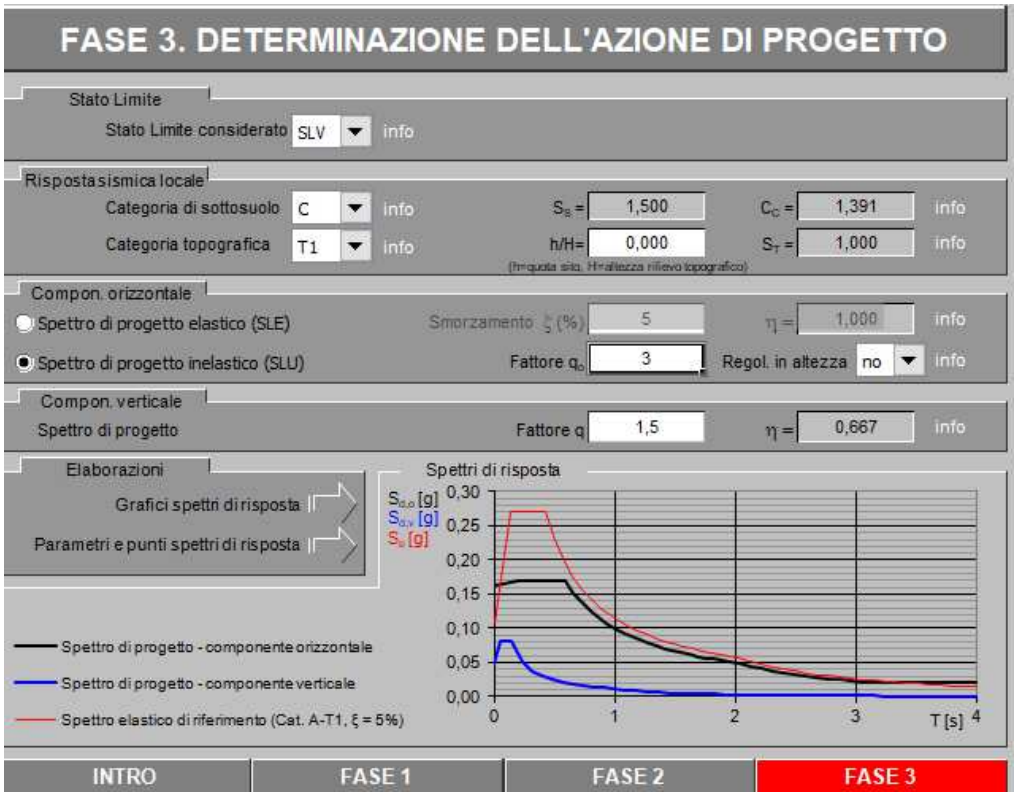
Tav. 29

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,031	2,466	0,247
SLD	50	0,038	2,510	0,290
SLV	475	0,109	2,486	0,426
SLC	975	0,149	2,565	0,425

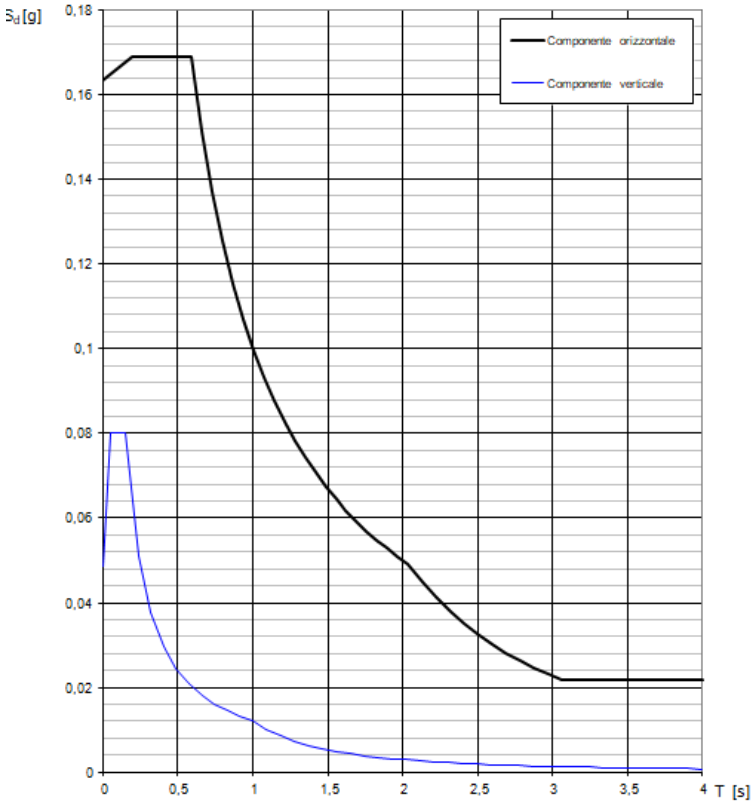
Tav. 30

Nelle successive schermate relative alla FASE 3 i parametri di input del software utilizzati consistono in una verifica in funzione dell'SLD e dell'SLV (Stato Limite di Danno e Stato Limite di salvaguardia della Vita, cfr. par 3.2.1 NTC 14/01/2008), considerando una categoria di suolo di tipo A (cfr. par. 3.2.2 NTC 14/01/2008), una categoria topografica T1 (ossia con pendenze inferiori a 15°, cfr. par. 3.2.2 NTC 14/01/2008), un fattore qo pari a 1.2 in funzione della tipologia costruttiva (cfr. par 7.3.1 NTC 14/01/2008), un fattore q pari a 1,5 (cfr. par 7.3.1 NTC 14/01/2008). Sono di seguito riportati anche i grafici dei corrispondenti spettri di risposta elastica relativi ad entrambe le verifiche.



Tav. 31

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV



Tav. 32

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,109 g
F_o	2,486
T_C^*	0,426 s
S_S	1,500
C_C	1,391
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,500
η	0,417
T_B	0,198 s
T_C	0,593 s
T_D	2,035 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,163
T_B	0,198	0,169
T_C	0,593	0,169
	0,662	0,151
	0,730	0,137
	0,799	0,125
	0,868	0,115
	0,936	0,107
	1,005	0,100
	1,074	0,093
	1,142	0,088
	1,211	0,083
	1,280	0,078
	1,348	0,074
	1,417	0,071
	1,486	0,067
	1,554	0,064
	1,623	0,062
	1,692	0,059
	1,760	0,057
	1,829	0,055
	1,898	0,053
	1,966	0,051
T_D	2,035	0,049
	2,129	0,045
	2,222	0,041
	2,316	0,038
	2,409	0,035
	2,503	0,033
	2,596	0,030
	2,690	0,028
	2,784	0,026
	2,877	0,025
	2,971	0,023
	3,064	0,022
	3,158	0,022
	3,251	0,022
	3,345	0,022
	3,439	0,022
	3,532	0,022
	3,626	0,022
	3,719	0,022
	3,813	0,022
	3,906	0,022
	4,000	0,022

Tab. 10

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato lim SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,048 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,107
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = 1/q$ (NTC-08 §. 3.2.3.5)

$F_v = 1{,}35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$ (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$0 \le T < T_B$ | $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \le T < T_C$ | $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$

$T_C \le T < T_D$ | $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \le T$ | $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right)$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,048
T_B ←	0,050	0,080
T_C ←	0,150	0,080
	0,235	0,051
	0,320	0,038
	0,405	0,030
	0,490	0,025
	0,575	0,021
	0,660	0,018
	0,745	0,016
	0,830	0,015
	0,915	0,013
T_D ←	1,000	0,012
	1,094	0,010
	1,188	0,009
	1,281	0,007
	1,375	0,006
	1,469	0,006
	1,563	0,005
	1,656	0,004
	1,750	0,004
	1,844	0,004
	1,938	0,003
	2,031	0,003
	2,125	0,003
	2,219	0,002
	2,313	0,002
	2,406	0,002
	2,500	0,002
	2,594	0,002
	2,688	0,002
	2,781	0,002
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

Tab. 11

10. Descrizione delle costruzioni

Le opere di che trattasi rientrano nella Classe II così come definita al par. 2.4.2. del DM 17.01.2018 e cioè "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui

interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti", con vita nominale ≥ 50 anni così come riportato nella tab. 2.4.I del sopraccitato DM.

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Inoltre in base a quanto riportato al par. 2.1 dell' EC7, la categoria geotecnica da attribuire alla struttura in esame è la categoria geotecnica 2.

"Questa categoria comprende tipi convenzionali di strutture e fondazioni, che non presentino rischi eccessivi oppure condizioni di sottosuolo o di carico non comuni o eccezionalmente difficili. Le strutture categoria geotecnica 2 richiedono dati geotecnici e analisi di tipo quantitativo per verificare che siano soddisfatti i requisisti fondamentali; possono essere, peraltro, adottate procedure di prova in sito ed in laboratorio, nonché di progetto di costruzione di tipo convenzionale."

Questo giustifica la tipologia di analisi e studi effettuati per la determinazione delle caratteristiche di progetto del piano di sedime.

11. Parametri geotecnici dei terreni

La valutazione dei parametri geotecnici del terreno di fondazione, è stata basata sulle caratteristiche litologiche e strutturali dell'ammasso roccioso, valutando il numero di fratture per metro (**i**), presenti nel terreno.

Sono state considerate le risultanze delle indagini sismiche condotte in sito e i risultati di prove di laboratorio condotte su materiali similari (come condizioni di fratturazione e carsismo) appartenenti alla formazione del "Calcare di Bari. Si riportano qui di seguito i parametri più significativi.

parametro	unità di misura	valore
γ_g peso specifico dei granuli	t/mc	2.70
γ peso di volume in laboratorio	"	2.60
n porosità l.s.	%	3.70
C grado di compattezza	-----	0.96
ϕ' angolo di attrito intergranulare	gradi	35
σ_r tensione di rottura per compressione	kg/cmq	500

Tab. 12: parametri fisico-meccanici (laboratorio).

I parametri ottenuti in laboratorio devono essere trasferiti in sito applicando dei coefficienti riduttivi che tengano conto dello stato di fratturazione, della presenza di materiale compressibile (terre rosse l.s.) e comunque, più in generale, di tutti i difetti strutturali e tessiturali della roccia.

I parametri geotecnici vanno oltremodo corretti tenendo presente lo "effetto scala" (Madhav & Rama Krishna, 1980).

Considerato che l'ammasso roccioso è interessato dalla presenza di piani di discontinuità, con frequenza degli stessi di **i = 10 piani/metro**, partendo dalla relazione proposta da Fissenko (1961), Manev & Avramova-Tacheva (1970), hanno correlato l'abbattimento dei valori di resistenza in funzione della frequenza delle discontinuità. Partendo da tale relazione si ottengono i parametri corretti in sito.

parametro	un. di misura	valore
γ_g peso specifico dei granuli	t/mc	2.70
γ peso di volume in sito	"	2.15
i piani di fratturazione	piani/metro	10
n' porosità in sito	%	20.4
C' grado di compattezza	---	0.80
σ_s tensione di rottura in sito	kg/cmq	11.22

Tab. 13 : parametri fisico-meccanici (in sito).

I calcari non possono essere considerati come praticamente indeformabili e pertanto si potrà fare riferimento ai seguenti parametri elastici:

μ	coefficiente di Poisson	adim.	**0.335**
E	modulo elastico statico in sito	kg/cmq	**3.000**

Pertanto dovendo schematizzare l'ambiente fondale si tratta di calcari fratturati e carsificati con giunti poco allargati e scarse terre rosse.

E' chiaro che in siffatto ambiente esiste la potenzialità del rinvenimento di piccole cavità merofossili. Queste risultano da tempo escluse dalla rete idrica sotterranea.

E' bene sottolineare il fatto come i materiali riempienti, in parte o totalmente le cavità, non possono considerarsi condizionanti ai fini della stabilità delle fondazioni.

Ciò in quanto il rapporto tra i moduli di deformazione dei materiali stessi rispetto ai moduli dei calcari incassanti è certamente non superiore ad 1/20. Questo significa che la capacità portante del terreno di fondazione è garantita quasi esclusivamente dalle proprietà geomeccaniche della struttura calcarea incassante.

Per contro, ai fini della stabilità nel tempo delle cavità, gli stessi terreni possono svolgere una rilevante funzione di contenimento delle strutture disarticolate e di regolazione delle vie che l'acqua di infiltrazione può percorrere.

Per quanto concerne la soluzione dei calcoli progettuali, occorre tenere conto del concorso di due distinti aspetti : la stabilità a breve e a lungo termine dell'insieme roccia-fondazione-struttura.

Quantunque il problema non si presti a generalizzazioni e ad estrapolazioni, per il gran numero di parametri che lo governano, tuttavia la soluzione è riconducibile a modelli numerici di tipo elastico isotropo ed anisotropo, per i quali, può essere sufficiente l'uso in campo elastico lineare, specificando per i materiali la non-resistenza a trazione.

Le proprietà meccaniche sopra definite delle rocce carsificate sono condizionate non solo dallo stato di fratturazione ma anche dalla presenza dei materiali di riempimento e, in particolare, dalle terre rosse. Tali depositi possono assumere un andamento stratoide o lentiforme quando riempiono le cavità interstratali, si dispongono a guisa di filoni sedimentari variamente inclinati, quando colmano le cavità carsiche di tipo composto, più o meno ampie; formano infine, un insieme caotico con la roccia ospitante quando questa risulta particolarmente rilassata e carsificata.

La spinta anisotropia che caratterizza gli ammassi rocciosi carsificati si riflette, pertanto, sulle proprietà meccaniche che possono variare anche notevolmente, entro distanze assai brevi.

12. Tipologie fondali

Il terreno di sedime è costituito essenzialmente da sedimenti calcarei per cui non si pone il problema della resistenza almeno secondo il concetto della capacità portante.

Infatti, la rottura del terreno può avvenire, ma per altre cause che non il superamento della resistenza a taglio della roccia stessa. In tal caso, l'instabilità può manifestarsi per la presenza di cavità o fessure occupate da materiale di alterazione a comportamento argilloso e dalla presenza sotto il piano di sedime, della terra rossa.

Nella teoria precedentemente esposta vengono prese in considerazione tali eventualità e pertanto si spiega il notevole abbattimento subito dai parametri fisico-meccanici e soprattutto dalla resistenza a compressione.

Quindi nell'ipotesi di rottura del terreno per compressione monoassiale con contenimento laterale nullo ($\sigma_v \neq 0$ e $\sigma_h = 0$), per un coefficiente di sicurezza $\eta = 2.3$, la SLU:

$\boldsymbol{\sigma_{slu}} = \sigma_{slu}/\eta = 11.22/2.3 =$ **4.11 kg/cmq**

Per quanto riguarda le fondazioni potranno essere utilizzate solo ed esclusivamente fondazioni superficiali costituite da plinti e travi di collegamento, un reticolo di travi ovvero una platea di fondazione.

Conclusioni

L'indagine di cui alla presente nota riveste un carattere generale per cui non esaurisce l'obbligo di approfondire i problemi specifici del corpo di fabbrica.

Previa autorizzazione, andranno eseguiti dapprima gli scavi per il raggiungimento del piano fondale e su questo andranno eseguite prove geofisiche (elettrica e sismica) atte alla migliore caratterizzazione dell'ammasso roccioso ivi presente. Lo sbancamento preliminare servirà a calibrare le misure geofisiche più idonee da eseguirvi.

Il sito in epigrafe è esente da rischi di instabilità e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di sisma.

Per quanto riguarda la categoria di appartenenza del suolo di fondazione, di cui al punto 3.1 della Normativa sismica, questa è la "**A**" - *formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* – caratterizzati da valori di $\mathbf{V_{S30}}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3.00 m.

Allo stato non si riscontrano particolari condizioni di rischio idraulico, sismico, idrogeologico e geologico l.s. per cui non ci sono limitazioni a quanto previsto nel progetto di variante del **Comparto Edificatorio 9/B,** nel comune di Molfetta.

Molfetta,

geologo

(**geol. Ignazio L. Mancini**)

ORDINE DEI GEOLOGI
Dott. Geol.
MANCINI
IGNAZIO LUCIANO
N° 163
PUGLIA