I N D I C E

- Premessa
- Indagini in sito
- Cartografia tematica
- Inquadramento geologico generale
- Inquadramento geomorfologico e idrogeologico della zona
- Caratteristiche del sito
- Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e modello geologico locale
- Caratterizzazione sismica del sito
- Sommario e conclusioni

°°°

Allegati:

- corografia - scala 1:25.000 (inquadramento territoriale)
- stralcio aereofotogrammetrico - scala 1:5000 (sito e indagini di riferimento)
- stralcio della carta del rischio da frane - scala 1:5000
- stralcio della carta della pericolosità da frane - scala 1:5000
- carta geologica - scala 1:25000
- elaborati cartografici tematici di sintesi - scala 1:5000
- modello geologico del sito - scala 1:200
- immagine satellitare (coordinate geografiche del sito)
- valori di progetto dei parametri a_g , F_0 e T_c* in funzione del periodo di ritorno T_R
- valori dei parametri a_g , F_0 e T_c* per i periodi ritorno T_R associati a ciascun SL
- parametri e punti della spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

°°°

Appendice tecnica:

- indagini geognostiche
- prove di laboratorio
- indagine geofisiche

°°°

Premessa

Il presente studio geologico è stato eseguito per conto della ditta "ENNEDUE s.r.l." (P. IVA: 02008930642), rappresentata dal signor Enrico Carlo Napoli, e si riferisce all'area ubicata in località Querce di Montoro Inferiore (AV) corrispondente alle particelle catastali 262 e 1955 del foglio 16 (v. stralci planimetrici allegati), interessata da un progetto di variante urbanistica (P.U.A.).

Il progetto redatto dagli ing. Domenico Landi & Achille Pascucci, oltre a realizzare aree di parcheggio per attività commerciali e di uso pubblico, prevede l'adeguamento della carreggiata stradale, il ridisegno dell'accesso, nonché la realizzazione di marciapiedi ed il rifacimento dell'impianto di pubblica illuminazione e fognario nella limitrofa zona del cimitero comunale Querce.

Nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del territorio redatto dall'Autorità di Bacino del Sarno (v. allegati), il sito in oggetto risulta classificato a:

- rischio moderato da frane (R_1): aree nelle quali i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- pericolosità bassa o trascurabile da frane (P_1): ambiti territoriali nei quali non si riscontra franosità avvenuta e che localmente possono essere interessati da fenomeni di bassa intensità e magnitudo.

Il sito medesimo appartiene ad una zona ben conosciuta dal punto di vista geologico-tecnico per le numerose indagini eseguite nelle immediate vicinanze e su terreni situati nelle medesime condizioni geomorfologiche e geolitologiche; gli interventi in progetto, inoltre, risultano di modesta rilevanza strutturale e riguardano opere da cui possono derivare ridotti pericoli per le persone e limitati danni alle cose.

Ciò premesso, per esprimere un motivato parere sulla reale incidenza dei lavori nel contesto territoriale circostante, nonché per verificarne la loro compatibilità geologica, geomorfologica ed idrogeologica, sono stati eseguiti sopralluoghi sulla zona mediante i quali è stato possibile conoscere e descrivere le principali strutture geologiche ivi presenti, graficamente sintetizzate in un'apposita carta geologica redatta in scala 1:25000.

Avvalendosi, inoltre, delle informazioni scaturite da una lettura della principale bibliografia geologica esistente, nonchè dei dati provenienti dal rilevamento geologico dell'area in esame e di un suo congruo intorno, è stata redatta un'apposita cartografia tematica di sintesi in scala 1:5000, secondo quanto indicato nell'art. 11 della Legge Regionale n°9/83, composta da:

- carta geolitologica,
- carta geomorfologica,
- carta idrogeologica,
- carta della stabilità,
- carta della microzonazione sismica.

Tali elaborati sono stati integrati con una sezione geologica, redatta anch'essa in scala 1:5000 lungo una traccia ritenuta di particolare significato rispetto alle problematiche della zona.

Per caratterizzare i terreni del sottosuolo, invece, sono stati utilizzati i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio eseguite nelle immediate vicinanze (v. stralcio planimetrico allegato) e relative a terreni ubicati in simili condizioni geolitologiche e geomorfologiche; le conoscenze così acquisite sono state graficamente sintetizzate in un'apposita stratigrafia redatta in scala 1:200 (v. allegato), nella quale vengono evidenziati il modello geologico del sito e le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Con i dati a disposizione, in rapporto alla tipologia ed all'entità dei lavori in oggetto, si ritiene possibile inquadrare le problematiche connesse al comportamento meccanico e dinamico dei terreni del locale sottosuolo, nonché di potere esprimere un giudizio oggettivo sulle condizioni generali di stabilità geomorfologica dell'area.

Indagini in sito

Le indagini a disposizione riferibili ai terreni della zona e che vengono utilizzate nel presente studio, si compongono di due sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di sei prove penetrometriche standard (S.P.T.), di sette prove penetrometriche dinamiche continue, di alcune prove geotecniche di laboratorio, nonché di due indagini geofisiche.

Sondaggi geognostici - Dei due sondaggi geognostici, la cui ubicazione viene indicata nell'apposito stralcio aerofotogrammetrico allegato, il sondaggio S_1 è stato eseguito nel mese di luglio 2010 per la costruzione di tre scale di emergenza e di una vasca antincendio a servizio dell'opificio commerciale di proprietà "ENNEDUE s.r.l."; il sondaggio S_2, invece, è stato eseguito nel mese di maggio 2011 per la realizzazione di nuovi loculi nel cimitero comunale.

Entrambi i sondaggi S_1 ed S_2, le cui colonne stratigrafiche vengono riportate nell'appendice tecnica allegata, sono stati approfonditi a 20 metri dal piano campagna.

Prove penetrometriche standard (S.P.T.) - Esse sono state realizzate nel corso dei sondaggi a profondità di particolare interesse geotecnico impiegando il penetrometro standard; per una visione di insieme, i valori registrati nelle prove vengono sintetizzati nella seguente tabella:

sondaggio	Profondità	N_1	N_2	N_3	$N_2 + N_3$
S_1	(2,00 - 2,45)	2	3	4	7
S_1	(9,20 - 9,65)	22	33	14	47
S_1	(13,00 - 13,45)	16	23	36	59
S_1	(20,00 - 20,45)	10	13	12	25
S_2	(4,50 - 4,95)	18	18	19	37
S_2	(13,00 - 13,09)	R	-	-	R

Prove penetrometriche dinamiche continue - Esse sono state eseguite sia per l'ampliamento del cimitero comunale Querce nel mese di maggio 2004 che sul sito dell'opificio commerciale "ENNEDUE s.r.l." nel mese di luglio 2007; il loro numero ed il relativo posizionamento viene riportato nell'apposito allegato planimetrico.

Una stima dei parametri fisico-meccanici dei terreni è possibile ricavarla applicando apposite metodologie di calcolo ed, in particolare:

- la resistenza dinamica alla punta è stata ricavata con la formula "Olandese";
- la densità relativa è stata ricavata con il metodo di "Schultze & Mezembach";
- il peso di volume è stato ricavato dalla correlazione con la densità relativa;
- l'angolo di attrito è stato ricavato con il metodo di "De Mello";
- il modulo edometrico è stato ricavato con il metodo di "Menzebach e Malcev".

L'utilizzo dei dati ottenuti mediante correlazioni indirette e con riferimento a più Autori viene trattato con le opportune cautele, basate sull'esperienza geologica acquisita dallo scrivente sui terreni della zona; le elaborazioni statistiche dei dati registrati in campagna ed i parametri geotecnici così stimati, vengono riportati nell'apposito paragrafo sui terreni del sottosuolo.

Prove geotecniche di laboratorio - Sul campione indisturbato C_1 prelevato nel corso del sondaggio S_1 tra le profondità di 1,5 e 2 metri, sono state eseguite le seguenti determinazioni sperimentali:

- apertura e descrizione litologica di campione contenuto in fustella di acciaio,
- determinazione del contenuto naturale in acqua,
- determinazione del peso di volume naturale mediante fustella tarata,
- calcolo del peso di volume secco, porosità, indice dei vuoti e grado di saturazione,
- determinazione del peso specifico dei granuli con il metodo del picnometro (media su due valori),
- prova di taglio diretta consolidata-drenata (CD) eseguita su n°3 provini.

I risultati delle analisi vengono riportati nell'appendice tecnica allegata.

Indagini geofisiche - Si dispone dei risultati di due prove, entrambe eseguite con la metodologia Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.) per determinare la velocità equivalente delle onde di taglio (V_{S30}).

La loro realizzazione è avvenuta per le stesse ragioni precedentemente indicate per i sondaggi geognostici e la rispettiva ubicazione viene riportata nell'apposito stralcio aerofotogrammetrico allegato; i dati ricavati per le V_{S30}, sono indicati nell'appendice tecnica allegata.

Cartografia tematica

Gli elaborati cartografici redatti in scala 1:5000, frutto di un'attività di rilevamento geologico di campagna, sintetizzano le conoscenze acquisite durante questa fase di ricerca; per la loro realizzazione è stato necessario inquadrare una parte di territorio in grado di rappresentare le principali fenomenologie di interesse geologico per il sito in esame.

Carta geolitologica - L'elaborato mette in evidenza le semplici caratteristiche geologiche del territorio, all'interno del quale rientra il sito in oggetto.

Quest'ultimo, infatti, fa parte del contesto tettonico-strutturale di una piana alluvionale formatasi tra il Terziario ed il tardo Quaternario, quando il bed-rock carbonatico di epoca mesozoica fu smembrato dai movimenti neo-tettonici locali, i quali determinarono la formazione di un'ampia vallata dalla tipica conformazione a "graben", in seguito ricolmata dalle potenti successioni vulcano-clastiche ed alluvionali.

Il rilevamento geologico, a conferma di quanto esposto, ha consentito di individuare due principali litotipi:

- il primo, costituito dai depositi eluviali-piroclastici sabbioso-limosi, frequentemente intercalato da lenti di materiale ghiaioso sia di natura piroclastica (pomici e lapilli) che alluvionale (ciottoli carbonatici), nonché da un potente banco di tufo grigio (Ignimbrite Campana);
- il secondo, invece, riconducibile ai depositi alluvionali trasportati dal torrente Solofrana a prevalente granulometria sabbioso-ghiaiosa, in matrice limosa piroclastica dilavata e rimaneggiata.

Carta geomorfologica - Tale elaborato evidenzia che il sito in oggetto appartiene alla piana del torrente Solofrana, caratterizzata da buone condizioni di stabilità in virtù delle modestissime pendenze del locale piano topografico.

In essa viene messo in risalto l'uso antropico del territorio, attestato dalla presenza di infrastrutture pubbliche e private; sono diffusamente presenti anche sentieri e carrarecce che, unitamente al reticolo di strade asfaltate, costituiscono una fitta rete di comunicazione fra le varie parti del territorio.

Laddove le originarie asperità del territorio costituivano un impedimento alla produttività agricola del territorio, si è provveduto alla costruzione di piccoli muretti aventi lo scopo di sostenere terrazzamenti atti ad ospitare le coltivazioni.

L'alveo del torrente Solofrana defluisce a sud-est del sito in oggetto ed il corso dello stesso appare abbastanza sinuoso, in virtù delle bassissime pendenze locali ivi osservabili; nella restante porzione di territorio si rinvengono sovente canali irrigui aventi lo scopo di ottimizzare la locale distribuzione idrica.

Carta idrogeologica - In essa è stato rappresentato un unico dominio idrogeologico riconducibile al complesso eluviale-piroclastico a permeabilità per porosità medio-bassa; in corrispondenza di strati a granulometria ghiaiosa, tuttavia, il potere drenante di questi ultimi aumenta considerevolmente, consentendo travasi idrici sotterranei sia in direzione verticale che orizzontale.

Al contrario, gli strati ed livelli di natura limo-argillosa sepolti fungono da impermeabili e possono dar luogo sia ad acquiferi pensili che confinati.

Il complesso eluviale-piroclastico rappresenta l'acquifero di recapito delle acque che si infiltrano nei massicci carbonatici a monte, dotati di elevata permeabilità per fratturazione e carsismo.

Il torrente Solofrana attraversa l'area in direzione sud-est, fluendo all'interno di un alveo-canale imbrigliato tra sponde in cemento appositamente costruite, che ne limitano l'azione erosiva e ne controllano l'esondazione; esso costituisce inoltre la sede di recapito preferenziale sia delle acque superficiali che profonde.

Carta della stabilità - Questo elaborato è stato ottenuto combinando fra loro gli effetti dei fattori che condizionano la stabilità della zona, quali le condizioni geomorfologiche e le principali caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei diversi terreni; in esso il territorio viene suddiviso in due zone a differente tipologia:

- la prima, corrispondente alla maggior parte del territorio cartografato, è ascrivibile all'area di piana entro cui ricade il sito in oggetto, caratterizzata da una buona stabilità in virtù delle condizioni geomorfologiche ivi presenti; essa, infatti, presenta pendenze molto basse determinate dalla natura incoerente dei materiali, i quali hanno ricolmato le originarie depressioni topografiche e livellato le asperità un tempo esistenti;
- la seconda, corrispondente invece all'alveo del torrente Solofrana, presenta condizioni di instabilità causate dal potere erosivo delle acque; essa è ubicata a distanza tale dal sito in esame da garantire la totale estraneità di quest'ultimo al coinvolgimento in eventuali fenomeni lesivi.

Il fatto che l'intera area abbia raggiunto ormai un buon grado di stabilità è confermato indirettamente anche dalla presenza di opere di pubblica utilità, quali strade, autostrade, ferrovie, opere di interesse pubblico, opifici, ecc.

Carta della microzonazione sismica - Tale elaborato è stato costruito tenendo conto dei dati di due indagini geofisiche ("M.A.S.W."), delle informazioni scaturite dal rilevamento geologico, nonchè dei risultati delle diverse indagini geognostiche relative alla zona in oggetto; laddove mancano conoscenze dirette si è fatto riferimento ai dati bibliografici disponibili.

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni del sottosuolo individuano nell'area cartografata un'unica litofacies sismica, rappresentata dai depositi eluviali-piroclastici di piana.

I dati ricavati per le V_{S30} nelle due indagini sismiche, per i quali si rimanda all'apposito fascicolo allegato, sono coerenti tra loro, essendosi rispettivamente registrati valori di 265 e 290 m./s.

Pertanto, il sito in oggetto è classificabile come un suolo di categoria "C", essendo la velocità delle onde V_{S30} compresa tra i valori di 180 e 360 m/sec.

Sezione geolitologica - Tale elaborato è stato costruito per evidenziale la locale successione stratigrafica dei terreni del sottosuolo, a partire dall'attuale piano campagna, caratterizzato da un andamento topografico sub-orizzontale.
In essa viene evidenziata la giacitura degli strati, abbastanza coerente con la locale morfologia, in quanto anch'essa sub-orizzontale.
In particolare si evince che i terreni di copertura che hanno ricolmato la valle di Montoro presentano uno spessore di circa 60-70 metri, quota alla quale si rinviene il sub,strato carbonatico roccioso di età mesozoica.

Inquadramento geologico generale

Il sito in oggetto ricade all'interno del foglio n°185 "Salerno" della carta geologica d'Italia redatta in scala 1:100000 dall'I.G.M. e nella tavoletta "Mercato S. Severino" 1:25000 dello stesso Ente (v. corografia); esso appartiene ad un'estesa area di piana (piana di Monitoro) bordata da massicci carbonatici, tranne nella porzione più settentrionale, laddove affiorano depositi flyscoidi miocenici.
L'ossatura dei rilievi affioranti nella zona è costituita quasi esclusivamente da rocce carbonatiche e dolomitiche mesozoiche derivanti dalla deformazione di domini paleo-geografici connessi al margine continentale africano.
La zona in questione è stata coinvolta nel contesto tettonico-strutturale che ha sottoposto il sub-strato carbonatico a movimenti di tipo compressivo, connessi al sollevamento della Catena Appenninica e, nello specifico, al sollevamento dell'Appennino Campano; i vari blocchi si sono quindi accavallati in falde sovrapposte seguendo una tipica vergenza appenninica ed anti-appenninica.
Tali depressioni strutturali sono in seguito state ricolmate, durante tutto il Pliocene ed il Quaternario, dalle potenti successioni vulcano-clastiche generatesi a partire dai due principali distretti vulcanici campani, il Somma-Vesuvio e, più a nord, i Campi Flegrei.
Durante i periodi di inattività vulcanica, il materiale deposto in precedenza sui versanti orografici è stato ripetutamente rimosso e rimaneggiato più a valle andando ad aggradare continuamente il piano campagna sottostante.
A nord dell'area affiorano invece successioni terrigene sinorogenetiche costituite da marne, argille e arenarie (flysch), stratigraficamente sovrapposte ai termini carbonatici, originatesi in seguito alle fasi tettoniche che hanno portato alla surrezione della regione.

Dalle più antichi alle più recenti, le principali formazioni affioranti nel territorio (v. carta geologica 1:25000) possono essere schematizzate nel seguente modo:

- dolomie e calcari dolomitici grigi, calcari avana finemente detritici a Nerinee e altri gasteropodi; si tratta di litotipi molto fratturati, spesso cataclasati e milonitizzati, oltre che carsificati (Malm sup.-Lias sup.),
- alternanze di calcari dolomitici e calcari detritici e microcristallini, grigiastri o avana; calcari e conglomerati calcarei di colore grigio scuro, con fitte intercalazioni di marne verdastre e calcari marnosi grigi con (Albiano-Valanginiano);
- calcari ben stratificati e caratterizzati da una fratturazione piuttosto spinta; soltanto in corrispondenza di faglie importanti (con particolare riferimento a quelle inverse) affiorano depositi in facies di flysch, costituiti da alternanze di argille, marne e calcari marnosi con intercalazioni arenacee (Senoniano-Cenomaniano);
- depositi detritici di versante costituiti da ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice piroclastica, derivanti dal disfacimento e dalla disgregazione dei vicini rilievi carbonatici (Pleistocene sup. - Olocene);
- depositi piroclastici limo-sabbiosi in giacitura primaria, con lenti di pomici; essi ricoprono il substrato carbonatico con uno spessore di alcuni decimetri (Pleistocene sup. - Olocene);
- depositi eluviali-piroclastici limosi e sabbiosi rimaneggiati ed alterati, con lenti di ghiaie e sabbie carbonatiche, che ricoprono un banco di Tufo Grigio; lo spessore del complesso è di diverse decine di metri (Pleistocene sup. - Olocene);
- depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi immersi in matrice limo-piroclastica (Olocene).

Dal punto di vista strutturale sono evidenti sia i segni della tettonica compressiva miocenica che quelli della tettonica distensiva più recente;

Le strutture tettoniche più diffuse ed evidenti sono costituite da monoclinali, le quali indicano un comportamento rigido dei materiali interessati dalle spinte tettogenetiche, essendo essi fratturati e smembrati in grossi blocchi; nelle monoclinali gli strati immergono generalmente verso nord, con inclinazioni medie di circa 20-30°, mentre altri tipi di giacitura sono per lo più limitate e dovute a disturbi locali.

Inquadramento geomorfologico ed idrogeologico della zona

La zona in esame è ubicata a margine della valle del fiume Solofrana ed appartiene al contesto geomorfologico della cosiddetta piana di Montoro.

I movimenti distensivi avvenuti nel Terziario e nel Quaternario, infatti, hanno dato luogo alla formazione di una valle tettonica (graben) e di pilastri tettonici (horst) rappresentati dai principali rilievi delimitanti l'area di piana; tra questi ultimi, si annoverano per importanza la dorsale di "Pizzo S. Michele" (1567 metri s.l.m.) ad est e del "Monte Salto" (957 metri s.l.m.) in direzione ovest.

La parte più alta dei rilievi è caratterizzata dagli affioramenti litoidi carbonatici e presenta le pendenze maggiori, mentre le fasce mediane dei versanti hanno pendenze inferiori che scemano progressivamente alla base dei versanti, dove possono ritrovarsi limitati accumuli cineritici, misti a detrito minuto carbonatico, con ridotta distribuzione areale.

L'agente modellatore finale è dato dal deposito dei materiali piroclastici che in più riprese ha ammantato i versanti, addolcendone le forme e colmandone le depressioni.

L'area di piana è stata progressivamente ricolmata dalla deposizione sia del materiale eluviale-piroclastico proveniente dalla circostante orografia, sia dai depositi piroclastici in giacitura primaria eruttati dai principali centri vulcanici della Campania; essa presenta comunque caratteristiche tali da poter affermare che si trova in una fase ancora poco matura, come mostrano le quote ancora abbastanza elevate e la larghezza della stessa non molto marcata.

Una differente unità geomorfologica è rappresentata dalle fasce pedemontane che collegano i due elementi appena citati, costituite in prevalenza da brecce di conoide più o meno cementate ed immerse in matrice piroclastica, granulometricamente variabile dai limi alle sabbie.

Le acque del ruscellamento superficiale relativo alle pendici montuose che chiudono su tre lati la piana di Montoro vengono raccolte in vari impluvi, generalmente asciutti, in quanto riferibili a limitati bacini idrografici; esse alimentano le acque del "Rio Laura" unitamente a quelle delle omonime sorgenti, per cui tale rio scorre sul territorio tutto l'anno, anche se con portate di modesta entità e a carattere torrentizio.

La sede di recapito preferenziale dei movimenti idrici è comunque rappresentata dall'alveo del Solofrana.

I litotipi che costituiscono la serie geologica del territorio si dividono quindi in due categorie principali: rocce serbatoio (calcari) e rocce di ritenuta, costituite dai terreni affioranti ai bordi dei rilievi carbonatici.
Nei calcari la circolazione è prevalentemente di tipo carsico e secondario, cioè avviene attraverso il reticolo di fratture formatosi in seguito ai moti tettonici della zona; in corrispondenza di ampie fasce cataclasate, tuttavia, si può avere una totale inversione di tendenza che può portare le superfici di faglia a diventare veri e propri spartiacque profondi.
I materiali affioranti nelle aree vallive e nel sito di intervento sono costituiti da depositi alluvionali (limi, sabbie e ghiaie) e prodotti vulcanici (lapilli e pomici alterate, tufi incoerenti) dotati di permeabilità per porosità.
L'elevata eterogeneità tessiturale e strutturale di questi depositi rende molto articolata la circolazione idrica sotterranea, caratterizzata da deflusso preferenziale nell'ambito dei livelli a granulometria maggiore e, quindi, a più alto grado di permeabilità relativa.

Caratteristiche del sito

Il sito in oggetto è ubicato alla quota di circa 190 metri s.l.m., a sud-est del territorio di Montoro Inferiore, e fa parte del dominio alluvionale della piana di Montoro, orientata da nord a sud e caratterizzata da un'evidente impostazione strutturale ("graben"),
Il contesto vallivo a cui appartiene il sito ha ormai raggiunto un buon livello di stabilità geomorfologica, come è testimoniato dalle ridotte pendenze ivi presenti che non superano mai i 5°; ciò in virtù delle caratteristiche intrinseche dei materiali di copertura eluviali-piroclastici incoerenti che vengono facilmente mobilitati e trasportati fino a ricolmare gli originari dislivelli topografici.
Tale azione si esplica sia ad opera delle acque di ruscellamento montano, sia in conseguenza della deposizione diretta di prodotti di eruzioni vulcaniche e dell'attività alluvionale del torrente Solofrana.
Il sito è comunque posto a distanza opportuna dei rilievi presenti a sud ed è quindi al riparo da ipotetici fenomeni di tipo gravitativo.
Inoltre, il reticolo idrografico mostra di avere raggiunto un assetto generale di deflusso decisamente stabile, con le acque provenienti dai valloni montani che si incanalano ordinatamente nell'alveo del Solofrana.

La stabilità raggiunta è indirettamente testimoniata anche dalla diffusa presenza di infrastrutture sia pubbliche che private (zona artigianale e commerciale, cimitero comunale, strade, autostrada SA-AV, impianti fognari, di illuminazione, ecc.).
Dal punto di vista stratigrafico, nel sottosuolo prevalgono i depositi di origine eluviale-piroclastica e detritico-alluvionale, a prevalente granulometria ghiaioso-sabbioso-limosa nei quali non mancano le alternanze di livelli francamente argillosi; essi presentano globalmente uno spessore di diverse decine di metri e ricoprono la sottostante formazione rocciosa carbonatica.
La presenza, inoltre, di livelli argillosi nella serie piroclastico-alluvionale della valle di Montoro, consente la formazione di modesti accumuli di limitate estensioni, distribuiti casualmente, mentre la maggior parte delle acque di infiltrazione raggiunge la falda di base alimentata dai massicci carbonatici, posta alla profondità di circa 60 metri.

Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e modello geologico locale

I dati del rilevamento geologico e quelli acquisiti con le indagini a disposizione consentono di conoscere le principali caratteristiche dei terreni del sottosuolo e di giungere ad una valutazione delle relative capacità meccaniche e dinamiche; al tempo stesso è possibile costruire il modello geologico per il sottosuolo dell'area (v. allegato).
Il rilevamento geologico di superficie ha evidenziato che il sito in questione è impostato su materiali granulari incoerenti, prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, accompagnati da frazioni più sottili; essi appartengono a depositi recenti, presenti nel sottosuolo della zona, sovrapposti alla formazione del "Tufo Grigio Campano".
L'intero complesso, messo in posto per deposizione diretta e/o per trasporto eluviale ed alluvionale, poggia sulla sottostante formazione rocciosa di natura calcareo-dolomitica.
Le differenti modalità di deposizione dei terreni hanno determinato la formazione di strati eterogenei per caratteristiche fisico-meccaniche, la cui reciproca geometria condiziona sia la circolazione idrica sotterranea che la risposta degli stessi ad eventuali accelerazioni determinate da fenomeni sismici.
Schematicamente, analizzando i dati geognostici e sismici disponibili, il sottosuolo può essere assimilato alla sovrapposizione abbastanza regolare e continua dei seguenti principali complessi litologici:

1. depositi eluviali-piroclastici (da 0 a 7 m.),
2. depositi detritico-alluvionali (da 7 a 18 m.),
3. Tufo Grigio Campano (da 18 a 24 m.),
4. depositi piroclastici in via di argillificazione.

I depositi eluviali-piroclastici (1) rappresentano la porzione iniziale di sottosuolo di interesse geotecnico, costituita da prodotti di sedimentazione secondaria dovuti al trasporto eluviale, di colore grigio-marrone e granulometricamente assimilabili a "limo argilloso-sabbioso", con inclusioni di minuto detrito carbonatico.

Essi si presentano mediamente compatti e, sulla base dei risultati delle indagini eseguite e dell'esperienza acquisita dallo scrivente sui terreni della zona in numerose altre circostanze, vengono caratterizzati dai seguenti principali parametri fisico-meccanici:

- peso di volume naturale (γ) = 1,6 t./m³.,
- porosità (η) = 56%,
- grado di saturazione (S_r) = 88%,
- coesione = 0,09 kg./cm².;
- angolo di attrito interno (φ) = 26°,
- modulo di compressibilità edometrica (E_d) = 45 kg./cm².

Da un esame di insieme dei parametri prima indicati e sulla base di esperienze fatte su terreni simili, è possibile affermare che:

- i valori del peso di volume naturale e del contenuto d'acqua indicano che trattasi di terreno a media porosità e con indice dei vuoti abbastanza elevato, tale che una differente quantità di acqua può influire sui parametri meccanici;
- l'analisi granulometrica indica che trattasi di materiale molto sottile e poco coesivo;
- i valori registrati con le prove "S.P.T." sono tipici di un terreno a grana sottile, caratterizzati da granuli sferoidali e dimensionalmente abbastanza omogenei, debolmente coesivi e con angolo di attrito medio;
- le caratteristiche di compressibilità sono tipiche di un terreno a comportamento plastico, caratterizzato da una deformazione lineare e da un trascurabile recupero elastico;
- nei limiti dei parametri per essi indicati, tali terreni possono ritenersi a comportamento meccanico e dinamico sufficientemente omogeneo ed affidabile.

Dalla profondità di 7 a quella di 18 metri il sottosuolo è costituito da depositi detritico-alluvionali (2) costituiti da ghiaia eterometrica sub-arrotondata di natura carbonatica, immersi in abbondante matrice sabbioso-limosa piroclastica; essi risultano ben addensati e vengono caratterizzati dai seguenti principali parametri fisico-meccanici:

- peso di volume naturale (γ) = 2,0 t./m³.,
- coesione = 0,0 kg./cm².;
- angolo di attrito (ϕ) = 35°,
- modulo edometrico (Ed) = 150 kg./cm².

Dalla profondità di 18 a quella di 24 metri, i risultati di un sondaggio geognostico eseguito nelle vicinanze indicano che i terreni del sottosuolo sono costituiti dal "Tufo Grigio Campano" (3), messo in posto in seguito all'eruzione parossistica Flegrea di 39000 anni b.p. (Pleistocene Med.); il litotipo, inizialmente alterato ("cappellaccio"), mostra una struttura disgregata e poco coerente e, sulla base dell'esperienza acquisita in analoghe circostanze, risulta mediamente caratterizzato dai seguenti principali parametri fisico-meccanici:

- peso di volume naturale (γ) = 1,7 t./m³.,
- coesione = 0,0 kg./cm².;
- angolo di attrito interno (φ) = 31°,
- modulo di compressibilità edometrica (E_d) = 100 kg./cm².

I depositi piroclastici in via di argillificazione (4) sono costituiti da prodotti di deposizione primaria, i quali hanno subito un progressivo processo di agillificazione, con percentuale di argilla in crescendo con l'approfondimento; essi si presentano abbastanza compatti e vengono mediamente rappresentati dai seguenti principali parametri fisico-meccanici:

- peso di volume naturale (γ) = 1,9 t./m³.,
- coesione = 0,2 kg./cm².;
- angolo di attrito interno (φ) = 26°,
- modulo di compressibilità edometrica (E_d) = 120 kg./cm².

La locale serie stratigrafica costituita dai citati depositi quaternari di copertura termina a circa 60-70 metri con una potente formazione rocciosa di natura calcareo-dolomitica, stratificata e straterellata, caratterizzata da ottimi moduli di resistenza meccanica e dinamica; considerata la sua distribuzione areale nel sottosuolo della zona, l'affioramento litoide carbonatico può essere ritenuto il "bed-rock" di riferimento.

I terreni del sottosuolo in oggetto, sulla base delle caratteristiche di permeabilità, risultano in grado di drenare in profondità le acque con cui vengono a contatto; una significativa circolazione idrica sotterranea è presente invece nel substrato carbonatico (acquifero profondo), affiorante nel sottosuolo della zona a partire dalla profondità di circa 60-70 metri.

Accumuli acquiferi discontinui e temporanei derivanti dall'infiltrazione delle precipitazioni meteoriche possono ritrovarsi tra le profondità di circa 23-34 metri; pertanto, non essendo presente alcuna falda acquifera nei primi 15 metri (v. § 7.11.3.4.2 del D.M. 14/01/2008 N.T.C.), non esiste pericolo di liquefazione dei terreni del sottosuolo del sito in oggetto.

Per una visualizzazione de modello geologico del sito si rimanda all'apposita stratigrafia allegata, redatta in scala 1:200.

Caratterizzazione sismica del sito

La nuova normativa sismica (D.M. del 14/01/2008 - NTC), tenuto conto del moto sismico atteso in termini di accelerazioni, individua classi di sottosuolo legate alla natura dei terreni che lo compongono ed a specifici parametri di comportamento meccanico degli stessi, il principale dei quali è la velocità delle onde di taglio (V_{S30}) dei primi 30 metri; quest'ultima, sulla base dei risultati delle due indagini geofisiche (MASW) eseguite nelle immediate vicinanze del sito in oggetto e calcolata con la formula:

$$- \quad V_{S30} \text{ (m./s.)} = 30 \ / \ \sum_{i=1,N} hi \ / \ Vs,i \ ,$$

è risultata pari a 265-290 m./s. e pertanto, dalla Tab. 3.2.II delle NTC 2008, il suolo di fondazione in oggetto viene classificato nella categoria "C", corrispondente a:

- depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m./s., con valori di N_{SPT30} compresi tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa, oppure con valori di C_{u30} compresi tra 70 e 250 KPa nei terreni a grana fina.

Per la determinazione delle azioni sismiche di progetto si fa riferimento alla pericolosità sismica di base del sito di costruzione; la rappresentazione dell'azione sismica è data dallo spettro di risposta elastico al suolo (v. allegato), le cui due componenti orizzontali s ricavano da espressioni matematiche nelle quali:

- "T" è il periodo proprio di vibrazione di un oscillatore semplice,
- "A_g" è l'accelerazione di gravità al suolo,
- "S" è il fattore suolo, che dipende dal tipo di sottosuolo,
- "T_B, T_C sono gli estremi degli intervalli dei periodi cui corrisponde il tratto costante della funzione spettrale "Se(T)",
- T_D è il periodo a partire dal quale la funzione spettrale "Se(T)" è tale da produrre uno spostamento costante,
- η è il fattore di correzione dello smorzamento, che assume valore unitario per smorzamento viscoso pari al 5%.

Consultando le mappe interattive di pericolosità sismica, attraverso la media ponderata dei valori della maglia quadrata alla quale appartiene il sito in oggetto individuato mediante le proprie coordinate geografiche (v. "immagine satellitare" allegata), si ricavano le caratteristiche del terremoto di riferimento.

Posti (v. § 2.4.1 NTC-08) per la vita nominale dell'opera in progetto un periodo di 50 anni e la classe II per l'uso della stessa (v. § 2.4.2 NTC-08), i valori dei parametri associati allo stato limite vita (SLV) per il periodo di ritorno (T_R) di 475 anni risultano (v. allegato):

- a_g (accelerazione orizzontale massima espressa in g/10) = 0,148,
- F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, dimensionale) = 2,460,
- T_c* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, espresso in secondi) = 0,393.

La forma spettrale, definita a partire dai valori precedentemente indicati riferiti al sito di riferimento rigido orizzontale, sulla base del modello geologico del caso in esame, tiene conto del coefficiente di correzione stratigrafica relativo ad un sottosuolo di categoria "C" (v. § 3.2.2 NTC-08), nonché del coefficiente di correzione topografica T_1 (S_T = 1).

Alle condizioni indicate, i valori dei punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite vita (SLV) risultano (v. grafico allegato):

	T_S	Se(g)
	0,000	0,219
T_B	0,187	0,539
T_C	0,562	0,539
T_D	2,192	0,138

Sommario e conclusioni

Il presente studio geologico, eseguito su incarico della ditta "ENNEDUE s.r.l.", si riferisce all'area ubicata in località Querce di Montoro Inferiore, interessata da un progetto di variante urbanistica (P.U.A.).

Al fine di valutare la compatibilità degli interventi previsti in progetto, di modesta entità strutturale, con il contesto geologico al quale esso appartiene, è stata organizzata una ricerca nell'ambito della bibliografia geologica e della cartografia esistente; inoltre, l'esecuzione di vari sopralluoghi ha consentito di conoscere i principali caratteri geologici e geomorfologici locali, graficamente rappresentati in un'apposita cartografia tematica.

Il sito in oggetto appartiene alla piana di Montoro e si inserisce in un contesto geomorfologico caratterizzato da pendenze topografiche modeste (0-5°); nella zona ed in un suo congruo intorno, non sono stati riscontrati incisivi elementi di evoluzione morfologica in atto, sia rispetto alla stabilità geostatica della stessa, che rispetto a fattori rivelatori di potenzialità morfo-evolutive legati all'azione delle acque superficiali.

Pertanto, le caratteristiche plano-altimetriche del sito in oggetto non innescano problematiche rispetto al suo assetto geomorfologico, né lasciano intravedere fenomeni di dissesti superficiali e/o profondi; quindi, in riferimento alla compatibilità idrogeologica dello stesso, in totale accordo con la classificazione fatta dall'Autorità di Bacino del Sarno nel "P.S.A.I.", si può affermare che:

- il rilevamento geologico e geomorfologico, nonchè i dati relativi ad indagini storiche e di archivio, non hanno riscontrato alcun fenomeno gravitativo in atto e/o potenziale;
- la stabilità geomorfologica dell'area, allo stato attuale, risulta assicurata dai fattori che la condizionano (topografia locale, rapporti litostratigrafici, caratteristiche tecniche dei terreni).

Nel rispetto della normativa vigente ed allo scopo di conoscere le caratteristiche stratigrafiche e tecniche dei terreni del sottosuolo, si è ritenuto di poter utilizzare i dati di indagini geognostiche, di laboratorio, geotecniche e sismiche realizzate nelle immediate vicinanze e sui medesimi terreni.

Il modello geologico del sito è dato dal risultato della progressiva aggradazione del locale piano campagna, ottenuta mediante la deposizione di terreni piroclastici e detritici, schematicamente rappresentati dalla successione dei seguenti principali complessi litologici:

1. depositi eluviali-piroclastici (da 0 a 7 m.),
2. depositi detritico-alluvionali (da 7 a 18 m.),
3. Tufo Grigio Campano (da 18 a 24 m.),
4. depositi piroclastici in via di argillificazione.

Globalmente, i terreni di fondazione presentano un comportamento abbastanza rigido e poco deformabile, con cedimenti che si manifestano in tempi rapidi rispetto a quelli di applicazione delle sollecitazioni e, nei limiti dei parametri per esso indicati, sufficientemente affidabile; in particolare, è stato sottolineato il loro comportamento plastico alle sollecitazioni, con deformazioni irreversibili ed un trascurabile recupero elastico.

I terreni del sottosuolo, inoltre, mostrano una globale permeabilità per porosità e sono in grado di drenare in profondità le acque circolanti, per cui essi non ospitano alcuna falda idrica significativa nella porzione di sottosuolo direttamente indagata; ed essendo la falda acquifera ubicata nel sottosuolo del sito in oggetto alla profondità di 60/70 metri, la verifica a liquefazione non viene richiesta (§ 7.11.3.4.2 del D.M. 14/01/2008) e, quindi, non eseguita.

Dai risultati dell'indagine geofisica eseguita e di tutti gli altri parametri stratigrafici e tecnici, i terreni del sottosuolo del sito in oggetto possono classificarsi come suolo di fondazione di categoria "C".

La pericolosità sismica di base del sito in questione, legata all'evento sismico di massima intensità che ha interessato lo stesso, ha consentito in entrambe le soluzioni considerate di determinare la forma spettrale di progetto, tenendo conto del coefficiente di correzione legato alle condizioni stratigrafiche ed alle condizioni topografiche locali.

Pertanto, si conclude affermando che l'insieme dei dati disponibili sulle caratteristiche dei terreni del sottosuolo del sito in questione, a parere dello scrivente, può ritenersi sufficiente a costruire un modello cinematico e dinamico, necessario per lo sviluppo del progetto geotecnico in questione.

Lancusi, ottobre 2012

ORDINE DEI GEOLOGI della Regione Campania - geologo Dr. Vincenzo Sessa Albo N° 146

dott. geologo Vincenzo Sessa
(iscritto all'O.R.G. al n°146)