

Proponente



IONIO FUEL S.r.l.
Riviera di Chiaia, 276 - 80121 NAPOLI

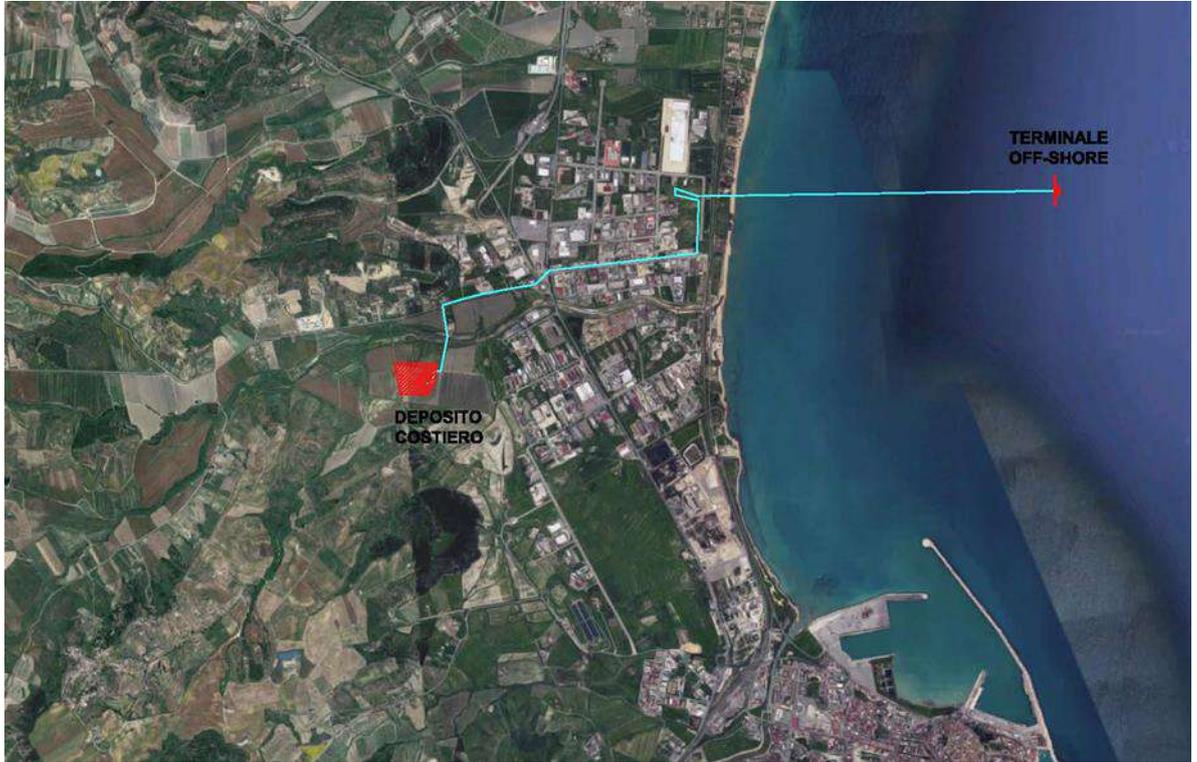
DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE PER IL GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Comune di Crotona area industriale CO.R.A.P. "Ionio Fuel - Crotona LNG"

Società di Ingegneria incaricata per la progettazione



PROTO POWER S.R.L.
Sede legale ed uffici:
80121 Napoli (NA) – Riviera di Chiaia n.°276
P.IVA: 05805521217

DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE DI GNL DA 20.000 MC NEL COMUNE DI CROTONE IN ZONA INDUSTRIALE CO.R.A.P. PROVINCIA DI CROTONE



Gruppo di lavoro	Consulenze specialistiche
Studio di Impatto Ambientale Arch. Maddalena Proto Opere Antincendio Arch. Luigi Vartuli Opere Strutturali Ing. Alfredo Stompanato Sicurezza Cantieri Arch. Rosa Vartuli Opere Civili Arch. Maddalena Proto Arch. Luigi Vartuli Ingegneria Gestionale Dott. Ing. Valentina Vartuli	Studio di fattibilità Dott. Luca Lamagna Geologia e Geotecnica Geol. Alessandro Amato Opere Idrauliche Ing. Giovanni Bruno Opere marittime Ing. Roberto De Rosa Studio di Impatto acustico ed elettromagnetico Ing. Carmine Iandolo Rapporto preliminare di sicurezza ICARO S.r.l.

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E IDRAULICA
01- ELABORATI TECNICI E SPECIALISTICI

NOME FILE P.01_ES_18_RGL_R02				Progetto Definitivo		FORMATO	
CODICE ELAB P 01 ES 18 RGL R02				REV. C		A4	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATT	VERIFICATO	APPROVATO		
C		Novembre 2022					

INDICE

<i>PREMESSA</i>	2
<i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE</i>	3
<i>INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE</i>	7
<i>INQUADRAMENTO URBANISTICO – CARTOGRAFIE</i>	9
<i>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO DELL’AREA IN ESAME</i>	13
<i>Caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dell’area</i>	13
<i>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO DELL’AREA IN ESAME</i> ..	16
<i>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL’AREA IN ESAME</i>	18
<i>VERIFICA A LIQUEFAZIONE</i>	27
<i>CONCLUSIONI</i>	29

PREMESSA

Per incarico conferitogli dalla società Ionio Fuel S.r.l. nel mese di marzo 2019, il sottoscritto Dott. Geol. Alessandro Amato ha eseguito, in ottemperanza alla normativa vigente (Regolamento Edilizio del Comune di Crotone, PSC del Comune di Crotone, Norme Tecniche di costruzione 2018 di cui al D.M. del 20-02-2018, Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Delibera di Comitato Istituzionale n. 1 del 23/2/2015) un'indagine geologica preliminare sul sottosuolo dell'area interessate al progetto di realizzazione di un Deposito costiero di rigassificazione di gas naturale liquefatto (GNL) da 20.000 mc nella zona industriale C.O.R.A.P. del Comune di Crotone.

L'indagine si è svolta attraverso una serie di sopralluoghi geologici sull'area, al fine di verificarne le condizioni geomorfologiche, litostratigrafiche e di stabilità mediante osservazioni dirette su affioramenti e sezioni naturali. I risultati sono stati correlati con notizie e dati noti che caratterizzano l'area in esame, in particolare quelli forniti dalla relazione tecnica e dalla cartografia del Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e del PSC del Comune di Crotone.

Dopo questa fase preliminare sarà necessario indagare con apparecchiature geognostiche, al fine di avere informazioni quanto più dettagliate possibili circa la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche dei terreni e poter contemporaneamente ottenere una sezione geologica interpretativa dell'ambito d'interesse.

Particolare attenzione è stata posta per quanto riguarda lo studio delle falde idriche sotterranee indagate direttamente con l'analisi dei pozzi presenti nell'area e, che successivamente sarà analizzata mediante prove penetrometriche, prova sismica e sondaggi. Il presente studio preliminare intende fornire:

- un inquadramento geologico e idrogeologico generale;
- un inquadramento geologico, idrogeologico e sismico dell'area in esame;
- una caratterizzazione stratigrafica dell'area in esame.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE

Il territorio calabrese possiede caratteri fisici e climatici anomali rispetto al resto dell'Italia meridionale. Il sistema orografico risulta complesso e caratterizzato da un'energia di rilievo abbastanza notevole, a causa dell'evoluzione geologico- strutturale, dell'intensa attività neotettonica, nonché delle litologie ivi affioranti. A ciò bisogna aggiungere le caratteristiche climatiche, variabili da una zona all'altra della regione, che hanno determinato gli intensi processi morfogeneteci, attualmente riscontrabili nel territorio calabrese. Sulla base dei lineamenti fisici e climatici la Calabria può essere suddivisa in tre fasce principali (CRITELLI, GABRIELE, 1991), ognuna caratterizzata da una dinamica morfologica diversa per modalità ed intensità. In particolare si distinguono:

- fascia ionica, contraddistinta da un regime pluviometrico di tipo impulsivo, dove a lunghi periodi siccitosi seguono brevi ma intense piogge (VERSACE et alii, 1989). Tale regime provoca l'insorgere di fenomeni d'instabilità superficiale dei versanti con rapida erosione, dilavamento e fenomeni di colamento;
- fascia tirrenica, che presenta un clima umido con periodi piovosi doppi rispetto alla fascia ionica, ma di minore intensità. Tale fascia è contraddistinta da una minore franosità rispetto alla precedente, sia per il regime pluviometrico, sia per la geologia caratterizzata dalla sovrapposizione di litotipi a comportamento meccanico differente, da un forte tasso di sollevamento con un sistema strutturale degradante verso il mare;
- fascia centrale, che si sviluppa dal bacino del fiume Crati a quello del fiume Mesima, contraddistinta da caratteri climatici e geologici intermedi rispetto ai precedenti.

Dal punto di vista geologico è costituita per la maggior parte da sedimenti quaternari scarsamente litificati e da intensi fenomeni franosi. La configurazione orografica della Calabria si presenta movimentata, la superficie è prevalentemente montuosa, con catene di monti con forme aspre, valli profonde e ripide pendici. Le zone pianeggianti, che occupano meno del 10% del territorio, si limitano alle pianure alluvionali che si estendono nei tratti inferiori dei principali corsi d'acqua e nelle strette fasce litoranee. La più vasta area pianeggiante della regione è la piana di Sibari, affacciata sullo Ionio e formata dalle alluvioni del Fiume Crati e del Cosciale; altre aree pianeggianti sono formate dalla piana di Sant'Eufemia e dalla piana di Gioia Tauro, entrambe appartenenti al versante tirrenico. La

geologia della Calabria deriva dalla storia tettonica che la regione ha subito durante la sua strutturazione. Essa è caratterizzata prevalentemente da falde cristalline, messe in posto, nel Miocene inferiore, durante l'orogenesi alpina. Nella parte Settentrionale della Calabria tali falde (denominate Unità dell'Arco Calabro–Peloritano da AMODIO MORELLI et alii, 1976) sono costituite da rocce granitiche e da rocce metamorfiche e ofiolitiche sia di basso che di alto grado poggianti sulle unità carbonatiche della Catena appenninica. Nella parte meridionale, le rocce granitiche e metamorfiche che costituiscono i rilievi dell'Aspromonte e delle Serre, proseguono nei Monti Peloritani della Sicilia. Nell'insieme, le coltri cristalline della Calabria meridionale e dei monti Peloritani si sono accavallate sulle unità sedimentarie della Catena delle Maghrebidi siciliane.

Successivamente alla sua strutturazione, la Calabria è stata interessata da un'intensa fase tettonica post-orogena estensionale (tutt'ora in atto) legata al sollevamento isostatico dell'Arco Calabro, indotto dall'assottigliamento crostale e dal distaccamento in profondità della placca ionica subdotta (DE JONGE et alii, 1994; WORTEL & SPACKMAN, 1993; WESTAWAY, 1993). L'estensione ha prodotto un'ampia zona di rift, strutturata da un sistema di faglie normali tuttora attive. I singoli segmenti di faglia che costituiscono la rift-zone hanno frammentato l'Arco Calabro in bacini sedimentari ed in blocchi sollevati. I blocchi sollevati corrispondono ai principali sistemi montuosi e sono orientati parallelamente rispetto all'asse della Catena. Sono rappresentati, da Nord verso Sud, dai massicci cristallini costituenti la Catena Costiera, la Sila, le Serre e l'Aspromonte. I bacini sedimentari, emersi e sommersi, possono essere suddivisi in:

- bacini paralleli all'asse della catena, rappresentati dai bacini peri tirrenici, dalle Fosse dell'Alto Crati e del Mesima e dai bacini perionici;
- bacini trasversali all'asse della catena, lungo cui si attua la curvatura dell'Arco, rappresentati dalle fosse trasversali del Basso Crati-Sibari, Catanzaro e Siderno (GHISSETTI, 1979).

LITOTIPI AFFIORANTI NEL TERRITORIO

In Calabria i terreni affioranti possono essere raggruppati in una serie di tipi litologici principali, includenti anche altri che, sebbene ad un'analisi di dettaglio presentino sostanziali diversità, in linea di massima mostrano, un comportamento analogo nei confronti delle fenomenologie di dissesto idrogeologico.

Rocce carbonatiche

Questo gruppo comprende le Unità mesozoico-paleogeniche del Complesso Panormide affioranti al confine Calabro - Lucano e in Catena Costiera e le coperture giurassiche delle Unità alpine affioranti in Calabria meridionale. Tali formazioni risultano in linea di massimi stabili ma sono soggette a fenomeni di tipo crollo o ribaltamento lungo i versanti più acclivi nei punti più intensamente tettonizzati.

Terreni cristallini

Si tratta delle rocce intrusive acide e delle metamorfiti (Complesso Calabride) costituenti la quasi totalità dei rilievi della Sila, delle Serre e dell'Aspromonte. L'alterazione chimico-fisica esercitata dagli agenti atmosferici e la disarticolazione dovuta ad eventi tettonici, determinano un notevole indebolimento di tali rocce che localmente perdono gran parte delle caratteristiche originarie. Frequenza areale e tipologia dei dissesti dipendono dal litotipo considerato e dal livello raggiunto nei processi di disfacimento.

Terreni sedimentari detritici coerenti

Il gruppo comprende calcareniti, conglomerati e calcari esenti da fenomeni apprezzabili di degradazione, se si esclude, data la scarsa resistenza all'erosione, la presenza di spessori di terreno superficiale disgregato dagli eventi atmosferici e la presenza di sistemi di fratturazione nei termini calcarenitici. Tali rocce affiorano prevalentemente lungo il bordo ionico meridionale, in Sila Piccola e lungo la Catena Costiera.

Terreni sedimentari sciolti a composizione sabbioso-argillosa

Affiorano estesamente lungo le valli di numerosi fiumi della Calabria, nella zona del Marchesato e nella "stretta di Catanzaro". La loro granulometria risulta variabile così come le loro caratteristiche tecniche dissesto idrogeologico.

Metamorfiti a basso e medio grado.

In questo gruppo rientra parte del basamento pre-mesozoico di alcune falde del Complesso Calabride (le cosiddette Unità di Castagna, Longi e Taormina) e parte della formazione del Frido (Complesso Liguride). Tali materiali presentano una scarsa resistenza alla degradazione chimica e all'erosione. La loro tessitura favorisce l'insorgenza di fenomeni di scivolamento lungo i piani discistosità.

Gessi e formazioni associate.

Comprendono le formazioni evaporitiche del Miocene superiore (gessi massicci, calcari evaporitici, marne e sedimenti silicei). Affiorano esclusivamente sul versante ionico calabrese e più estesamente nei bacini Crotonese e Rossanese. Si tratta di materiali facilmente soggetti a fenomeni di dissoluzione. I termini più argillosi sono frequentemente interessati da intensa erosione calanchiva.

Terreni argillosi.

L'unità comprende le argille marnose del Pliocene superiore - Calabriano del litorale ionico e dei bacini del Crati e del Mesima, le marne argillose del Pliocene inferiore-medio, le argille della serie solfifera, le marne argillose tortoniane e le argille siltose brune della parte alta del Flysch tardorogeno Calabride. Sono in prevalenza peliti con rare intercalazioni sabbiose, le cui caratteristiche geotecniche variano in funzione dei livelli di pre consolidamento.

Terreni flyschiodi.

Si tratta di alternanze ritmiche a prevalente componente arenaceo-marnosa, calcareo-marnosa, o argilloso-marnosa affioranti diffusamente in Calabria ed aventi caratteristiche meccaniche fortemente dipendenti dalle proporzioni dei litotipi costituenti. I terreni appartenenti a questo gruppo sono fortemente soggetti a fenomeni franosi, specie di tipo colata, le cui mobilizzazioni spesso sono conseguenti ai periodi piovosi (PETRUCCI et alii, 1996).

INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

Il reticolo idrografico della regione è fortemente condizionato dalla morfologia, la quale risulta controllata dalla tettonica a causa dell'elevato sollevamento a cui è soggetta a tutt'oggi la Calabria; di conseguenza l'approfondimento del reticolato idrografico risulta molto intenso ed i limiti dei principali bacini mostrano buone corrispondenze con le principali strutture tettoniche (SORRISOVALVO & SYLVESTER,1993). Oltre che la morfologia molto tormentata, anche la breve distanza che intercorre fra i principali sistemi montuosi ed il mare ed il rilevante sviluppo costiero rispetto all'estensione territoriale, fanno sì che i corsi d'acqua siano caratterizzati da bacini imbriferi generalmente molto modesti, da breve corso in pianura e da forte pendenze longitudinali (VERSACE et alii, 1989). La suddivisione in bacini idrografici del territorio calabrese adottata dall'Autorità di Bacino Regionale (ABR) per la redazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), si osserva che i limiti dei principali bacini idrografici mostrano discrete corrispondenze con le principali strutture neotettoniche calabresi. Le correlazioni appaiono molto marcate soprattutto in corrispondenza dei bacini del Crati e del Mesima, strutturati dalle maggiori faglie normali appartenenti alla rift-zone. L'assetto neotettonico regionale e l'attuale morfologia del territorio consentono lo sviluppo dei fiumi di maggiore lunghezza (Crati, Neto) soltanto nel settore settentrionale della Calabria.

I bacini calabresi data la loro modesta estensione e la loro notevole pendenza, fanno sì che le acque meteoriche vengano smaltite molto rapidamente, specie se i bacini sono costituiti da suoli prevalentemente impermeabili. Di conseguenza, il regime dei corsi d'acqua è strettamente correlato all'andamento dei deflussi meteorici convogliando grandi quantitativi di acqua durante il periodo delle precipitazioni e rimanendo con portate molto modeste o addirittura nulle nella stagione estiva.

L'area ricade in una zona di pertinenza di un sottobacino idrologico che divide le vallecole dei fossi minori del torrente Passovecchio ad est con il bacino del fiume Esaro ad ovest.

Le principali caratteristiche meteorologiche del bacino idrico sono di seguito riassunte:

- temperatura media annua è pari a 16,3 °C;
- temperatura media nella stagione invernale 9,8°C; quella più calda 23,9 °C;
- precipitazione 670 mm di pioggia, concentrata nei periodi autunno-inverno, alternati a

lunghi periodi siccitosi, tipici del periodo primavera-estate;

- eventi idrometeorici concentrati e pronunciati a regime impulsivo che possono evolvere in eventi alluvionali di una certa intensità;
- evapotraspirazione superiore ai 920 mm annui e da un deficit idrico oscillante tra i 400 e i 500 mm annui.

L'eccedenza idrica che riguarda i soli mesi da dicembre a marzo, in verità non molto bassa (200 – 300 mm), in virtù delle precipitazioni invernali fa sì che il terreno sia sottoposto a notevoli variazioni di umidità e di volume, viste le caratteristiche proprie dei terreni affioranti per lo più di natura argillosa.

L'idrografia presenta la tipica conformazione dendritica, propria dei litotipi argillosi, con il sistema di fossi che si ramifica sui fianchi del rilievo e si concentra a valle sui fossi principali. Il dilavamento dei terreni si espleta principalmente con un drenaggio areale delle acque a monte e canalizzato verso valle. Durante il periodo delle piogge, lungo il loro percorso, le acque possono localmente infiltrarsi nel sottosuolo e conseguentemente possono rinvenirsi accumuli idrici sotterranei di modesta entità principalmente reperibili su aree poco impermeabilizzate e prive di vegetazione.

La circolazione sotterranea interessa solamente lo spessore superficiale, visto che la particolare litologia non facilita la formazione di acquiferi ma si limita a qualche locale accumulo. In particolare, specialmente durante la stagione delle piogge, sono molto probabili locali accumuli di acqua sotterranea impantanata all'intercapedine tra la formazione argillosa e il riporto sabbioso-ghiaioso sovrapposto in superficie.

INQUADRAMENTO URBANISTICO - CARTOGRAFIE

Ai sensi della L. 183/89 l'area in esame ricade all'interno del limite amministrativo dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

In base allo studio preliminare del Piano Strutturale del Comune di Crotone e al Piano Stralcio dell'Appennino Distrettuale dell'Appennino Meridionale si rappresenta l'area in esame, dal punto di vista litologico, geologico-strutturale, idrogeologico, sismico, rischi, pericolosità, vincoli e fattibilità geologica nelle cartografie di seguito.

Carta Geologica e Strutturale

Come si può osservare dalla cartografia (Rif. P_02_IN_73_GEO_R00) l'area in esame (deposito e condotta) è compresa nella zona di colore celeste definita "bb Depositi Alluvionali Recenti".

Nell'area d'interesse affiorano estesamente le alluvioni fluviali del torrente Passovecchio, trattandosi di materiale caratterizzato da granulometria variabile.

Dal punto di vista strutturale, osservando la cartografia (Rif. P_02_IN_73_GEO_R00), l'area di progettazione, comprendente il deposito e la condotta, non è interessata da presenza di faglie attive.

Carta Idrogeologica e del sistema Idrografico

Come si può osservare dalla cartografia (Rif. P_02_IN_75_GEO_R00) l'area in esame (deposito e condotta) è compresa nella zona di colore celeste definita "Terreni con grado di permeabilità elevato".

L'area in esame si trova in prossimità del torrente Passovecchio. La falda, per tutte le valutazioni di tipo progettuale, può definirsi oscillante fino ad una profondità minima che non risale al di sopra dei - 3,5 m dal piano campagna. Considerando la condotta, in prossimità della linea di costa, la falda risulta più superficiale.

Carta dell'erosibilità

Come si può osservare dalla cartografia (Rif. P_02_IN_79_GEO_R00) l'area in esame (deposito e condotta) è compresa nella zona di colore grigio definita "Terreni con classe poco erodibile".

Carta Litotecnica

Come si può osservare dalla cartografia (Rif. P_02_IN_81_GEO_R00) l'area in esame

(deposito e condotta) è compresa nella zona di colore giallo chiaro definita “Terreni con Zona 6”.

ZONA 6

SMpi: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di piana inondabile. Da sciolto a moderatamente addensato. (Spessore 3 - 5 m; Vs 150 - 400 m/s);

CO: Substrato geologico coesivo sovraconsolidato. Da poco consistenti a molto consistenti. (Spessore 400 - 500 m; Vs >300 m/s);

Carta della stabilità potenziale integrata dei versanti

Come si può osservare dalla cartografia (Rif. P_02_IN_82_GEO_R00) l'area destinata al deposito è compresa nella zona di colore verde chiaro definita “Instabilità potenziale limitata”.

Invece l'area destinata alla condotta è compresa nella zona di colore verde definita “situazione potenzialmente stabile”.

Quindi sia il deposito che la condotta dal punto di vista geologico, idrogeologico e morfologico non hanno problemi di stabilità.

Carta dei Vincoli

La Carta dei Vincoli (Rif. P_02_IN_83_GEO_R00) riporta la perimetrazione di tutti quegli elementi che sul territorio possono rappresentare un pericolo sotto il profilo geologico e idrogeologico e la relativa classificazione in termini di rischio. Il Piano per l'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, che offre una lettura completa del territorio per quanto si attiene alle problematiche geomorfologiche ed idrauliche, individua e cataloga numerosi dissesti nel territorio comunale, ascrivibili a processi di erosione e alcuni fenomeni di inondazione nelle aree adiacenti al torrente Passovecchio. Tale normativa prevede, in base alle diverse perimetrazioni e classificazioni delle aree a rischio idrogeologico e geologico, specifici adempimenti. Il sito in questione non è presente in una zona a rischio frana (Rif. P_02_IN_83_GEO_R00). Per il rischio idraulico l'area in cui verrà realizzato il deposito presenta una piccola porzione a rischio idraulico medio R2 (area di colore giallo) invece nell'area in cui sarà realizzata la condotta, in un piccolo tratto, è presente un rischio idraulico molto elevato R4 (area di colore rosso) e un rischio idraulico medio R2 (Rif. P_02_IN_83_GEO_R00). Per il deposito sarà progettato un rilevato per evitare fenomeni di allagamento, invece la condotta, in quanto realizzata nel

sottosuolo, non sarà soggetta a rischio idraulico R4.

Carta delle Pericolosità Geologiche

La Carta delle Pericolosità Geologiche (Rif. P_02_IN_84_GEO_R00) riporta la perimetrazione di tutti quegli elementi che sul territorio possono rappresentare un pericolo sotto il profilo geologico e idrogeologico e la relativa classificazione in termini di pericolosità.

Il Piano per l'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, che offre una lettura completa del territorio per quanto si attiene alle problematiche geomorfologiche ed idrauliche, individua e cataloga numerosi dissesti nel territorio comunale, ascrivibili a processi di erosione e alcuni fenomeni di inondazione nelle aree adiacenti al torrente Passovecchio. Tale normativa prevede, in base alle diverse perimetrazioni e classificazioni delle aree a pericolosità idrogeologica e geologica, specifici adempimenti. Il sito in questione non è presente in una zona a Pericolosità frana (Rif. P_02_IN_84_GEO_R00). Per la Pericolosità idraulica l'area in cui verrà realizzata la centrale presenta una piccola porzione a pericolosità idraulica media P2 (area di colore celeste) invece nell'area in cui sarà realizzata la condotta, in un piccolo tratto, è presente una pericolosità idraulica molto elevata P3 (area di colore rosa) e una pericolosità idraulica media P2 (Rif. P_02_IN_84_GEO_R00). Per il deposito sarà progettato un rilevato per evitare fenomeni di allagamento, invece per la condotta, in quanto realizzata nel sottosuolo, non sarà soggetta a pericolosità idraulica P3.

Dalla cartografia si può osservare che, nel tratto della condotta corrispondente alla linea di costa costituita da spiaggia, è presente una pericolosità per erosione costiera elevata P3 (area di colore rosso). La pericolosità per erosione costiera elevata P3 è dovuta all'erosione della spiaggia soggetta a moto ondoso del mare, ciò non influirà sulla condotta perché la stessa sarà interrata ad una profondità idonea.

Carta fattibilità delle Azioni di Piano

La carta sulla Fattibilità delle Azioni di Piano (Rif. P_02_IN_85_GEO_R00) riporta la perimetrazione di tutti quegli elementi che sul territorio possono rappresentare un pericolo sotto il profilo geologico e sismico e la relativa classificazione in termini di pericolosità. Essa è il risultato dell'incrocio di diversi tematismi, tramite sistemi GIS, per la definizione della fattibilità rispetto alle azioni di piano.

Attraverso la legenda proposta dalle Linee Guida, essa individua, con una suddivisione per classi, i livelli di “rischio geologico”, area per area ed indica le possibilità di intervento nel territorio comunale attraverso una gradualità di valori da “fattibilità senza limitazioni” a “fattibilità con gravi limitazioni”, il tutto finalizzato alla salvaguardia ambientale e alla tutela delle popolazioni residenti.

L’area destinata alla realizzazione del deposito è compresa in una piccola porzione con “classe di fattibilità con consistenti limitazioni 3 (area di colore arancione)” invece la parte rimanente con “classe di fattibilità senza limitazioni 1 (area di colore verde)”. La piccola porzione è definita a “classe di fattibilità con consistenti limitazioni” in quanto è soggetta a rischio idraulico e pericolosità idraulica. Come precedentemente detto, per evitare il rischio idraulico sarà realizzato un rilevato.

L’area destinata alla realizzazione della condotta in un piccolo tratto presenterà una “classe di fattibilità con gravi limitazioni 4 (area di colore rosso) invece la parte restante presenterà classi di fattibilità 1, 2 e 3. Anche in questo caso la zona interessata alla condotta è soggetta a rischio idraulico ed a pericolosità idraulica. Il rischio idraulico e la pericolosità idraulica non influiranno sulla condotta perché la stessa risulterà interrata ad una profondità idonea.

Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica

Come si può osservare dalla cartografia (Rif. P_02_IN_87_MOS_R00) l’area in esame (deposito e condotta) è compresa nella “zona 2006” di colore gialla definita “zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”.

CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO DELL'AREA IN ESAME

Caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dell'area

Il deposito costiero di rigassificazione del GNL oggetto di questo studio, è localizzato nella zona C.O.R.A.P. del comune di Crotona (KR) in area industriale. Il sito è situato al centro di un antico terrazzo morfologico su cui si dislocano buona parte dei centri abitati e delle realtà industriali del bacino crotonese. L'andamento morfologico è infatti caratterizzato da ampie superfici pianeggianti inserite nelle Formazioni di San Mauro e delle Argille di Cutro, intervallate da gradini esalti morfologici, modellati ed addolciti nelle forme ad assumere pendenze del 10 % circa, che seguono l'allineamento tipico degli antichi paleoalvei e corrispondenti superfici terrazzate spesso simmetriche ed ancora ben leggibili. Il lento degradare a lievi balzi verso il mar Ionio, ad est, è stato fortemente condizionato, nelle linee morfologiche principali, dai numerosi movimenti di terreno operati dall'uomo che hanno modificato in parte gli equilibri idrogeologici senza però determinare situazioni di dissesto di una certa rilevanza. La morfologia risulta quella tipica delle unità terrazzate del crotonese, la cui continuità viene interrotta a causa del lavoro erosivo degli agenti esogeni operato tra la fine del Pleistocene e l'Olocene, che hanno scoperto la formazione sottostante delle Argille di Cutro.

I termini litologici affioranti nell'area sono stati identificati attraverso l'esame della cartografia geologica rilevata sulla bibliografia disponibile e da sondaggi eseguiti in terreni limitrofi all'area in esame; essi risultano appartenere ai depositi sedimentari marini e continentali del Pleistocene - Olocene (età compresa tra 1,8 milioni di anni e l'attuale) e sono rappresentati dalle seguenti formazioni:

- *Formazione di San Mauro*, costituita da sabbie e ghiaie terrazzate, di colore rossastro, in facies regressiva, formati da elementi litici ben arrotondati immersi in banchi sabbiosi, con inclinazioni degli strati non definibile. Rappresentano depositi marini del Pleistocene Medio ed affiorano su vaste estensioni del Bacino Crotonese e risultano possedere spessore di qualche metro. Dal punto di vista litotecnico presentano un certo grado di addensamento e possono presentare anche coesione apparente; la cementazione è scarsa, legata ad episodi diagenetici, ma certamente localizzata ed effimera.
- *Formazione delle argille di Cutro*, rappresentata da limi argillosi, argille limose e

marnose, argille sabbiose del Pleistocene inferiore, di origine marina, costituenti la formazione più diffusa del bacino e derivante da estese ingressioni marine provocate da episodi di tettonica distensiva. Dal punto di vista litotecnico le argille di base, nella parte superiore, sono generalmente plastiche e in taluni casi a comportamento semi-rigido (nei termini più sabbiosi); presentano strati di modesta inclinazione, con sistemi di leptoclasti e in qualche caso di diaclasi, e inclusi ghiaiosi di varia pezzatura.

Nell'area d'interesse affiorano estesamente le alluvioni fluviali del torrente Passovecchio caratterizzato da materiale a granulometria variabile. La variabilità granulometrica è funzione delle caratteristiche geologiche del bacino, delle dinamiche fluviali, nonché delle eventuali attività antropiche in alveo. La gran parte del bacino idrografico è invece caratterizzato da formazioni sedimentarie pliopleistoceniche. Si tratta di argille siltose di colore grigio azzurre con sottili intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose. Queste argille sono sormontate dalla formazione dei conglomerati e sabbie di colore bruno rossastri con intercalazioni lenticolari di calcare bioclastico, e piuttosto comuni sono intercalazioni arenacee e ghiaiose a cemento calcareo. L'analisi dei dati ottenuti dalle indagini eseguite per la fase progettuale preliminare, unitamente al rilievo geologico di superficie hanno permesso di definire il modello geologico dell'area interessata. Tale modello può essere sinteticamente rappresentato da un corpo costituito da materiale alluvionale ed eluviale di natura argilloso-limosa dello spessore (variabile da punto a punto) ma con valori massimi dell'ordine di 6-8 metri, sovrastante un substrato con spessore notevole costituito da argilla limosa.

L'idrogeologia dell'area in esame è regolata in massima parte dalle caratteristiche fisiche dei terreni e in particolare dal grado di permeabilità dei litotipi, oltre che dai rapporti giacitureali fra le varie formazioni affioranti in tutta l'area. I numerosi impluvi che dissecano l'area, ben canalizzati, alcuni sistemati artificialmente, tendono, nelle zone più interne, a sezionare la formazione di S. Mauro portando allo scoperto le argille sottostanti; in una situazione simile, con una esile copertura mediamente permeabile, con $10^{-1} < K < 1$ cm/sec, ed un complesso francamente poco permeabile, se non addirittura impermeabile alla base (argilla limosa, con $10^{-7} < K < 10^{-5}$ cm/sec) la situazione idrogeologica tende a configurarsi come piuttosto semplice, con un complesso tamponante per limite di permeabilità definito, mentre l'acquifero principale, superficiale, racchiude una falda freatica poco potente, talora effimera e non significativa. In tale situazione la

piovosità media annua, seppur scarsa, intorno ai 600-700 mm annui, con una stagione secca e con deflussi idrici superficiali cospicui solo nel periodo primaverile, tende a formare una falda mediamente superficiale negli strati superiori della formazione argillosa che, possedendo buone qualità drenanti (porosità elevata per lo stato di costante imbibizione e degradazione meccanica); tale falda potrebbe subire anche oscillazioni temporanee, di tipo stagionale. La falda idrica più superficiale, che interessa direttamente il sito in esame, tende preferenzialmente al deflusso verticale; è desumibile come i deflussi idrici tendano alla verticalità nelle sabbie e conglomerati poco o mediamente compatte data l'elevata permeabilità che le caratterizza (10^{-1} cm/sec.), mentre ove sono presenti le frazioni siltose e/o argillose la permeabilità si abbassa (10^{-5} cm/sec.) e le linee di deflusso assumono un andamento tendente all'orizzontale. Si instaurano così le condizioni per la formazione di una falda a carattere temporaneo, superficiale, sviluppantesi in occasione dei mesi piovosi. La falda, per tutte le valutazioni di tipo progettuale, può definirsi oscillante fino ad una profondità minima che non risale al di sopra dei - 3,5 m dal piano campagna. L'area in esame in corrispondenza della linea di costa la falda risulta molto superficiale.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO DELL'AREA IN ESAME

Il sottosuolo dell'area da investigare, al di sotto del terreno di riporto è costituito da un deposito sedimentario alluvionale e argilloso. Successivamente saranno eseguite indagini geognostiche dirette e indirette per individuare la profondità esatta degli strati e i parametri medi fisico-meccanici dei terreni necessari per i lavori di realizzazione del deposito costiero.

STRATO A) Terreno vegetale (da 0,00 a 1,00 m. dal p.c)

Essi costituiscono la porzione più superficiale del sottosuolo dell'area in esame e si comportano come materiale detritico inglobato in un'abbondante matrice argilloso-sabbiosa. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche scadenti.

STRATO B) Deposito eluvio-colluviali sabbia limosa argillosa con ghiaia (da 1,00 m. a 6,00/8,00 m. dal p.c)

Lo spessore mediamente variabile da 5 m a 7 m è composto da n. 2 orizzonti di diverso stato di addensamento; in superficie per il primo metro prevale la presenza di sabbia con poca ghiaia, poco addensata mentre in profondità aumenta la frazione sabbiosa limosa con ciottoli eterometrici passando ad uno strato di medio addensamento. Lo strato presenta inoltre una spiccata variabilità litologica laterale per la presenza di livelli ghiaioso ciottolosi addensati. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche discrete. Dall'elaborazione dei dati, ottenuti dalle prove eseguite nei terreni limitrofi all'area di progetto, presentano le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume (P_{uv}) = 1,85 t/mc; peso unità di volume saturo (P_{uvs}) = 2,00 t/mc; modulo edometrico (E_d) = 80 Kg/cmq; angolo d'attrito (F_i) = 30,0°; (c') = 0,17 kg/cmq; densità relativa (D_r) = 58 %; modulo di Young (E_y) = 170,00 Kg/cmq; modulo di Poisson (N_i) = 0.33; modulo di deformazione a taglio dinamico = 540 Kg/cmq, V_s = 200-240 m/s.

STRATO C) Formazione delle argille di Cutro – Limo argilloso sabbioso da poco a mediamente consistente (da 6,00/8,00 a 13,00/15,00 m. dal p.c)

Lo spessore rappresenta il terreno colluviale eroso a monte al cui interno si trovano occasionali clasti calcarenitici trasportati ed inglobati nell'erosione laminare; si presenta con una consistenza crescente con la profondità. Sia in profondità che lateralmente, si mantiene

abbastanza omogeneo nelle sue caratteristiche geologico-tecniche, presentando uno stato di consistenza medio. Al tetto, nello spessore a contatto con la sabbia soprastante può presentare una elevata umidità, specialmente per l'interazione con l'acqua d'infiltrazione; Lo strato si colloca nella fascia di terreno saturo/insaturo per la presenza di umidità stagionale (accumuli idrici modesti in occasione delle piogge); si presenta generalmente con un aumento della consistenza con la profondità. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche buone. Dall'elaborazione dei dati, ottenuti dalle prove eseguite nei terreni limitrofi all'area di progetto, presentano le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume (P_{uv}) = 1,60 t/mc; peso unità di volume saturo (P_{uvs}) = 1,90 t/mc; modulo edometrico (E_d) = 90 Kg/cmq; angolo d'attrito (F_i) = 26,0°; coesione non drenata (C_u) = 0,85 kg/cmq; densità relativa (D_r) = 60 %; modulo di Young (E_y) = 180,00 Kg/cmq; modulo di Poisson (N_i) = 0.33; modulo di deformazione a taglio dinamico = 620 Kg/cmq, V_s = 280-340 m/s.

STRATO D) Formazione delle argille di Cutro – Argilla limosa da molto consistente a estremamente dura (da 13,00/15,00 a 30,00 m. dal p.c)

Il litotipo presenta le caratteristiche granulometriche delle argille limose e costituisce uno spessore di terreno estremamente compatto sul quale si sono sovrapposti in trasgressione i sedimenti recenti. Dal punto di vista geotecnico l'unità si presenta alterata e pedogenizzata e con caratteristiche geotecniche ottime. Dall'elaborazione dei dati, ottenuti dalle prove eseguite nei terreni limitrofi all'area di progetto, presentano le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume (P_{uv}) = 1,70 t/mc; peso unità di volume saturo (P_{uvs}) = 2,00 t/mc; modulo edometrico (E_d) = 120 Kg/cmq; angolo d'attrito (F_i) = 27,0°; coesione non drenata (C_u) = 1,70 kg/cmq; densità relativa (D_r) = 68 %; modulo di Young (E_y) = 220,00 Kg/cmq; modulo di Poisson (N_i) = 0.31; modulo di deformazione a taglio dinamico = 820 Kg/cmq, V_s = 400-440 m/s.

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA IN ESAME

Nel contesto geologico regionale dell'Arco calabro-peloritano, l'assetto geologico strutturale del territorio comunale di Crotone, sul margine meridionale del massiccio delle Sila, è condizionato dall'attivazione della faglia normale che partendo dalla bassa valle del F. Tacina si collega con i laghi Ampollino e Arvo.

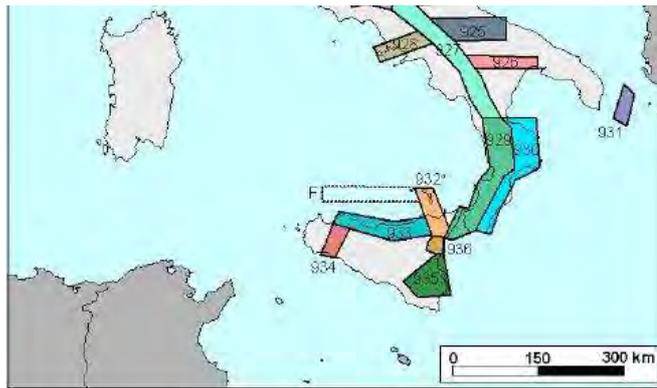
La sorgente potenziale dei terremoti che hanno interessato il Marchesato di Crotone appartiene alla zona 930 della zona sismo genetica ZS9 che comprende la Calabria ionica.

Storia sismica di Crotone

Effetti In occasione del terremoto:

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
10	1638	03	27	15	05		Calabria	11	7.00
8-9	1905	09	08	01	43	11	Calabria	11	7.06
6-7	1783	03	28	18	55		Calabria	10	6.94
6	1908	12	28	04	20	27	Calabria meridionale	11	7.24
5	1947	05	11	06	32	15	Calabria centrale	8	5.71

Il territorio comunale di Crotone appartiene alla Zona 2 della Mappa sismica indicativa della zonizzazione del territorio italiano in base all'Ordinanza 3274 del Marzo 2003, secondo un grado di sismicità $S = 9$, quindi, secondo i criteri e metodi della II Categoria Sismica. Nel più recente Rapporto Conclusivo Zonazione Sismogenetica ZS9, le zone-sorgenti della Calabria fino allo stretto di Messina (zone da 65 a 72 in ZS4) sono state modificate in due nuove zone, una sul lato tirrenico della regione (zona 929) e una sul lato ionico (zona 930). La figura mostra il modello proposto in relazione al contenuto informativo di DISS 2.0. L'esistenza di queste due distinte zone rispecchia livelli di sismicità ben differenti. I terremoti con più elevata magnitudo hanno interessato il bacino del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo stretto di (Messina Zona 929). Tra questi eventi spiccano la sequenza del 1783 e i terremoti del 1905 e 1908. Viceversa sul lato ionico della Calabria solo 4 eventi hanno superato il valore di magnitudo pari a 6, e tra questi il terremoto del 1638 appare come l'evento più forte verificatosi.



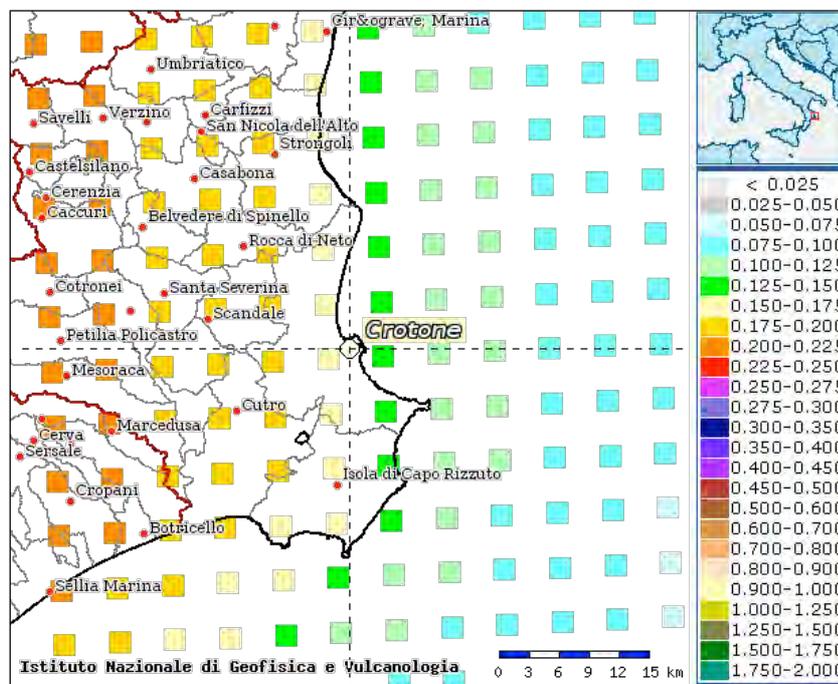
Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.



Figura 10 – Zonazione sismogenetica ZS9 per l'Arco calabro e la Sicilia (bordi in nero) a confronto con la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DJSS

Peraltro recenti studi paleosismici (Galli e Bossi, 2003) porrebbero l'evento del 9 giugno 1638 in relazione alla faglia dei Laghi posti sulla Sila. L'area della Sila che ZS4 veniva equiparata al background, nella nuova proposta viene divisa in due parti attribuite alle due zone sopra descritte. Secondo lo stesso criterio si è deciso di attribuire alla zona 929 l'area che in ZS4 era compresa tra le zone 71 e 72. Si evidenzia che nell'elaborato relativo si legge: "Meccanismi estensionali sono attesi nelle zone 929 e 930, come risultato della risposta superficiale all'arretramento flessurale della litosfera adriatica. Tale interpretazione è in accordo con il presupposto cinematico su cui si fondava ZS4. le modifiche alle zone della Calabria, risultato dei recenti avanzamenti nella conoscenza della tettonica attiva di questo settore, non cambiano il quadro cinematico di riferimento.

Come nel resto del territorio italiano, le faglie di trasferimento (su cui erano state modellate le zone 65 e 68 di ZS4) sono state incluse nelle zone longitudinali.” Il 4 febbraio 2008 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti sul sito dell'INGV al termine del Progetto S1. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica; tali parametri sono proposti nell'allegato A del Decreto Ministeriale. Di seguito inoltre si riportano stralci delle Mappe interattive della pericolosità sismica.



Ai sensi della Classificazione Sismica Del Territorio Nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N° 3274, marzo 2003), il Comune di Lamezia Terme viene classificato zona sismica di n°2 caratterizzata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria "A" $a_g = 0.25g$. Le condizioni morfologiche locali, la sovrapposizione di unità litostratigrafiche a differente rigidità, la presenza di lineamenti tettonici a consistente sviluppo lineare e rientranti in una tettonica a maggiore rischio di riattivazione in caso di scuotimento sismico, la frequenza di pareti subverticali e di posizioni di creste strette,

determinano, sotto il profilo geomorfologico, elementi di vulnerabilità sismica. Inoltre, le caratteristiche aggregative del patrimonio edilizio di Crotona, sono fattori che determinano una amplificazione della risposta sismica locale, topografica per il centro storico, stratigrafico per l'agglomerato lungo la costa (NTC'18).

In relazione alla pericolosità sismica e di elementi di esposizione al rischio sismico, risulta necessario, pertanto, l'adeguamento sismico dell'edificato esistente e messa in sicurezza degli edifici, in special modo lungo tutte scarpate di faglia cartografate, in cui sono prevedibili possibili spostamenti relativi dei terreni di fondazione in caso di scuotimento sismico, e in tutte le altre situazioni a maggiore pericolosità sismica locale individuate.

Il 20 febbraio 2018 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Tali Norme prevedono che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dal Progetto S1 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Per l'indagine preliminare sono state utilizzate indagine sismiche eseguite nell'area limitrofe per finalizzare la caratterizzazione sismica dei terreni. I risultati ricavati evidenziano che il sottosuolo dell'area d'intervento può essere considerato un sismostrato in cui la velocità media delle onde Vs corrisponde al **suolo di tipo C**.

Risposta sismica di base (RSL)

La RSL è stata determinata con il "metodo semplificato" come definita dal 7.11.3.1 delle NTC18, perché la struttura è di modesta entità e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni migliorano con la profondità. Quindi l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima o dallo spettro di risposta elastico di una determinata categoria di sottosuolo (3.2.2 NTC 2018) calcolata attraverso indagini sismiche.

La pericolosità sismica di base espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ($T_r=475$ anni) riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s), dell'area che racchiude il sito si esplica con la conoscenza dei seguenti quattro parametri fondamentali che dovranno essere calcolati per i diversi stati limite (S.L.O. stato limite di operatività; S.L.D. stato limite di danno – entrambi i suddetti stati si considerano stati di esercizio dell'opera; S.L.V. e S.L.C. che si considerano stati limite di salvaguardia della vita: T_R (tempo di ritorno dell'evento); a_g (accelerazione massima su

affioramento rigido con $V_{s30} > 800$ m/s con piano campagna orizzontale); F_0 (massimo valore del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione); T_c (periodo del tratto a velocità costante). I parametri di cui sopra è possibile conoscerli attraverso la lettura della “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (rif. O.P.C.M. 3519 del 28/04/06). Per accedere ai parametri di cui sopra nelle varie zone della suddetta mappa bisogna conoscere le: coordinate geografiche (latitudine e longitudine); il tipo di opera (opere provvisorie, opere ordinarie, grandi opere) e la sua vita nominale (numero di anni) che è funzione della classe d’uso (suddivisa in quattro classi principali: classe I: costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli; classe II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali; classe III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi; classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità, le caratteristiche geologiche (categoria di sottosuolo) e morfologiche (categoria topografica).

Per le categorie topografiche saranno utilizzate le seguenti: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$; T2: Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$; T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$; T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel capitolo 7.11.3. del NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. II del NTC 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al capitolo 6.2.2. del NTC 2018. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove

penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_s , eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = spessore (in m.);

V_i = velocità delle onde di taglio dello strato i esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m. superiori;

N = numero di strati.

$H(30)$ profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Considerando il nostro progetto avendo una classe d'uso "2" e le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni dell'area in esame siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del NTC 2018 si fa riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II del N.T.C. 2018. Si suddividono nelle seguenti cinque tipologie con differente caratterizzazione litostratigrafica e geomeccanica del sottosuolo e differenziate per la diversa velocità di propagazione delle onde "S" (V_{s30}) in direzione verticale entro i 30 m del sottosuolo.

Terreno	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametro Vs 30 (m/s)	Nspt	Cu (KPa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di	> 800		
B	Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360 - 800	>50	>250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori da diverse decine fino a centinaia di metri	> 180 -360	15 -50	70 - 250
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco o a mediamente consistenti	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da stati superficiali alluvionali, con valori Vs 30 simili a quelli C e D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di.....	0 - 360	0 - 50	0 - 250

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti ($V_s < 100$ m/s), è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Ebbene per il sito di intervento (zona industriale C.O.R.A.P., Crotone) si hanno i seguenti dati generali:

Latitudine (WGS84): 39,1068
 Longitudine (WGS84): 17,0817
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe II
 Vita nominale: 50,0[anni]
 Vita di riferimento: 50,0[anni]

Ed ancora i seguenti parametri sismici:

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-] ⁴	TC* [sec]	Ss Ampl. Strat.	Cc Coef. F. Categ.	St Amplif. Topog.
S.L.O.	45,0	0,44	2,35	0,280	1,50	1,60	1,00
S.L.D.	75,0	0,58	2,36	0,309	1,50	1,55	1,00
S.L.V.	712,0	1,72	2,39	0,364	1,45	1,47	1,00
S.L.C.	1462,0	2,28	2,45	0,377	1,37	1,45	1,00

Dopo aver individuato i parametri sismici riferiti in particolare al sito di intervento possono essere calcolati i coefficienti sismici orizzontali e verticali che influenzeranno, nel calcolo del carico limite del sistema terreno-opera di fondazione il valore della resistenza di progetto R_d dell'opera che dovrà essere verificata, nei diversi stati limiti (S.L.O.; S.L.D.; S.L.V.; S.L.C), rispetto alle azioni di progetto dovute ai carichi dell'opera a farsi. Come già detto la risposta sismica locale dipende dalle caratteristiche geologiche, geotecniche, geosismiche e geomorfologiche del sito di intervento.

Le caratteristiche geologiche e geotecniche sono state elaborate e illustrate nel modello geologico-geotecnico di cui ai capitoli precedenti che fornisce il quadro sinottico della litologia e stratigrafia dei terreni che costituiscono il sottosuolo del sito di intervento (modello geologico) e la parametrizzazione geotecnica degli stessi terreni.

Per i diversi stati limiti (S.L.O.; S.L.D.; S.L.V.; S.L.C.) si avranno i seguenti parametri sismici orizzontali e verticali in funzione delle caratteristiche geologiche e geotecniche:

1. **A_{max}** che è l'accelerazione massima orizzontale attesa al sito che è dipendente dagli effetti di amplificazione stratigrafica e dagli effetti di amplificazione topografica.
2. **Beta** che è un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito. Nel caso di opere di sostegno o stabilità dei pendii esso è funzione della categoria del sottosuolo e del valore di "ag" mentre nel caso di paratie è funzione dello spostamento massimo ammissibile "Us".
3. **K_h** è il coefficiente di intensità sismica orizzontale.
4. **K_v** è il coefficiente di intensità sismica verticale.

Per il sito di riferimento dove sorgeranno le strutture si hanno i seguenti coefficienti sismici:

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,654	0,200	0,013	0,007
S.L.D.	0,860	0,200	0,018	0,009
S.L.V.	2,444	0,240	0,060	0,030
S.L.C.	3,057	0,280	0,087	0,044

VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione dinamica assume una particolare pericolosità in presenza di materiali granulari poco addensati saturi; il meccanismo di tale fenomeno dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geotecnici. Come riportato nel par. 7.11.3.4.2 del DM 14-01-2008 e modificata nelle N.T.C. 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

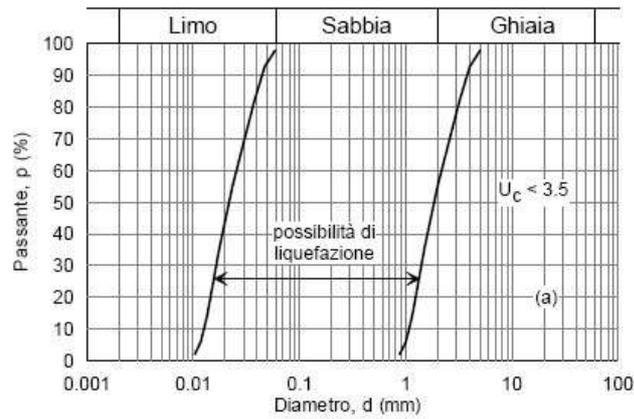


Figura 7.11.1(a) DM 14-01-2008

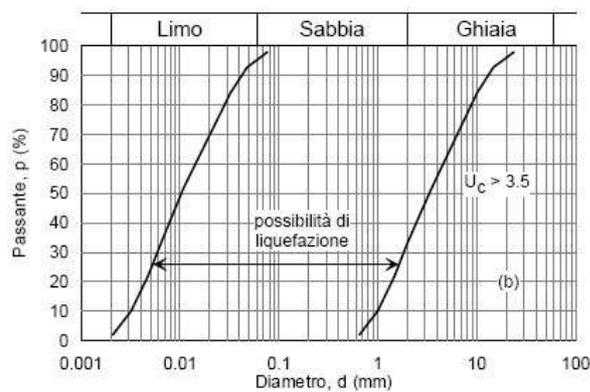


Figura 7.11.1(b) DM 14-01-2008

Visto il deposito argilloso, si mette in evidenza che non sono presenti spessori di terreno in profondità compatibili con il fenomeno della liquefazione sotto scuotimento sismico e quindi si può affermare che la situazione oggetto di questo studio rientra nella circostanza n. 4 per la quale le verifiche a liquefazione possono essere omesse.

CONCLUSIONI

Su incarico del committente è stata eseguita un'indagine preliminare nell'area ove è previsto un progetto di realizzazione di un deposito costiero di rigassificazione di gas naturale liquefatto.

L'indagine ha consentito la definizione delle caratteristiche morfologiche, strutturali, geolitologiche ed idrogeologiche dell'area interessata e di quelle circostanti invece per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni impegnati dalle strutture di fondazione e la caratterizzazione del sito in prospettiva sismica è necessaria e indispensabile un piano d'indagini geognostiche dirette e indirette.

La realizzazione dell'intervento di progetto non determinerà particolari alterazioni dell'equilibrio morfo-evolutivo dell'area, interessando una zona dalla continuità morfologica garantita da linee piatte e non interrotte da discontinuità geomorfologiche e comprese in settori caratterizzati da fenomeni di dissesto antichi o recenti. Dallo studio geomorfologico, effettuato attraverso l'osservazione stereoscopica delle foto aeree e la verifica condotta sul terreno, è emerso che le condizioni geostatiche dell'area in esame sono soddisfacenti; si può infatti asserire che il sito, riguardato nell'insieme, si presenta indenne da processi erosivi in atto tali da determinare modificazioni nel tempo e squilibri e danni, e inoltre non si sono riscontrati elementi riferibili a dissesti in atto o potenzialmente prevedibili.

Per ciò che riguarda le caratteristiche geotecniche del terreno, abbiamo attribuito alle formazioni presenti, dei parametri geomeccanici, puramente bibliografici, in fase esecutiva è necessario eseguire nell'area in esame indagini geognostiche ai fini di accertare i valori geotecnici bibliografici riportati.

Ai fini di una corretta impostazione tecnica degli interventi che si realizzeranno e per evitare pericolose infiltrazioni alle quali potrebbero essere attribuiti i segni di un possibile degrado delle strutture nel tempo, è opportuno impedire che il piano di fondazione venga in contatto diretto con le acque di saturazione per cui occorrerà prevedere la messa in opera di un valido sistema drenante che separi la struttura dal terreno circostante e dal piano di posa. L'impaludamento dell'area si potrebbe verificare trattandosi di una zona di affioramento detritico e, dunque, passibile di ritenzione idrica; inoltre l'area è caratterizzata da deboli pendenze che non consentono lo smaltimento delle acque le quali, in occasione di eventi piovosi eccezionali, potrebbero saturare i terreni superficiali.

Gli sbancamenti previsti andranno protetti da strutture di sostegno e dovranno essere provviste di opportuni drenaggi e relative cunette per lo smaltimento delle acque nonché di fori per la fuoriuscita delle stesse.

Napoli, 21 ottobre 2022

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Alessandro Amato

