UNIONE EUROPEA

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI VIBO VALENTIA

"Studio di Fattibilità per il Recupero Urbanistico del Quartiere Pennello"

PISU- POR CALABRIA FESR 2007/2013- ASSE VIII
Linea d'Intervento 8.1.2.1.

Relazione Geologica, Geotecnica e di Pericolosità Sismica

Geologo
Domenico Pontillo

COMUNE DI VIBO VALENTIA

SETTORE 5 – Pianificazione Territoriale E Urbanistica

STUDIO DI FATTIBILITÀ PER IL RECUPERO URBANISTICO DEL QUARTIERE PENNELLO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Geologo Domenico Pontillo

SOMMARIO

PREMESSA 3
ASSETTO GEOMORFOLOGICO 5
Caratteri generali 5
Rischio esondazione 8
ASSETTO GEOLOGICO 13
Caratteri Generali 13
CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE 19
Complesso dei depositi recenti 19
Complesso calcareo - arenaceo 20
Complesso argilloso - siltoso 20
Complesso igneo - metamorfico 21
REGIME PLUVIOMETRICO 22
CARATTERISTICHE FISICO - MECCANICHE 23
Metodi utilizzati per l'interpretazione delle prove 26
Stratigrafia del sondaggio - classificazione e proprietà indici 32
SISMICITÀ DELL'AREA 35
Caratteri generali 35
Sismicità storica 38
Zonazione sismica 39
CARATTERISTICHE SISMICHE D.M. 14.01.2008 41
Caratteri generali 41
Spettro di risposta elastico in accelerazione 45
Amplificazione stratigrafica 46
Amplificazione topografica 47
Classificazione del suolo con il metodo MASW 48
Strumentazione utilizzata 49
Interpretazione delle prove MASW 51
VERIFICA DEL PUNTO DI LIQUEFAZIONE 53
Metodo utilizzato 53
Calcolo del punto di liquefazione in condizioni sismiche 55
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 59

SONO ALLEGATI ALLA PRESENTE RELAZIONE I SEGUENTI ELABORATI:

- TAV 1 CARTA COROGRAFICA SCALA 1:25.000;
- TAV 2 CARTA PERIMETRAZIONE DEI BACINI SCALA 1:5.000;
- TAV 3 CARTA GEOLOGICA SCALA 1:5.000;
- TAV 4 CARTA DELLA MICROZONAZIONE SISMICA SCALA 1:5.000;
- TAV 5 CARTA DELLE ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO SCALA 1:5.000.

PREMESSA

Su incarico del *Comune di Vibo Valentia*, *SETTORE 5 – Pianificazione Territoriale e Urbanistica*, é stata redatta la presente relazione **geologica, geotecnica e di pericolosità sismica** a supporto dello "*studio di fattibilità per il recupero urbanistico del Quartiere Pennello*".

Questo studio è stato condotto in osservanza delle seguenti Norme Tecniche:

- *L. n° 64 del 2 Febbraio 1974, dal D. M. dei LL. PP. del 11 Marzo 1988, dalla Circolare del D. M. dei LL. PP. del 24 Settembre 1988;*
- *OPCM 3274 del 20.03.2003 " Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i.*
- *OPCM 3519 del 28/4/2006 (G.U. n.108 del 11/5/2006), che ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPSO4 quale riferimento ufficiale, ha definito i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche di cui le Regioni dovranno tenere conto nei loro provvedimenti all'atto della individuazione delle zone sismiche.*
- *Norme Tecniche per le costruzioni approvate con **D.M. 14.01.2008**, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30 entrate in vigore il 01.07.2009 e s.m.i.;*

Inoltre, per la redazione di questa relazione, si è tenuto conto di diversi lavori, eseguiti nel sito di nostro stretto interesse con committenza pubblica, che si riportano qui di seguito:

- gli studi effettuati dall'Autorità di Bacino della Calabria in attuazione delle direttive comunitarie in termini di alluvioni;
- il "Piano di interventi infrastrutturali di emergenza e di prima sistemazione idrogeologica", comunemente denominato "Piano Versace", il cui responsabile Scientifico di tale lavoro è stato il Prof. Ing. Pasquale Versace,
- lo "*studio idraulico e geomorfologico per la definizione degli areali a rischio idrogeologico del territorio comunale*" effettuato dal *Prof. Ing. Giuseppe Tito Aronica* e dal *Geologo Giuseppe Scalamandrè*;
- le indagini allegate al Piano Strutturale Comunale PSC, eseguite dalla ditta *Geoconsol di Cosenza*;
- le indagini geognostiche relative al progetto di sistemazione Piazzale Capannina realizzate dal Geologo Carmine Nigro.
- lo studio di microzonazione sismica di livello 1 a firma del Geologo Carlo Artusa.

ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Caratteri generali

Il territorio comunale di Vibo Valentia è situato nel settore nord - occidentale della Provincia di Vibo Valentia e confina con i comuni a Est di Pizzo Calabro, S. Onofrio e Stefanaconi a Sud San Gregorio d'Ippona, Ionadi e Francica a Ovest Filandari, Cessaniti e Briatico.

L'area, oggetto di studio, ricade a nord del territorio Comunale di Vibo Valentia ed esattamente nel Quartiere "Pennello" di Vibo Marina, lungo la fascia costiera tirrenica; l'altitudine è compresa tra le quote di circa metri 1,00 s.l.m. e di circa 4,00 metri. Il punto centrale di tale area si individua con le seguenti coordinate geografiche:

Sistema coordinate	Geografiche WGS84 GMS	Rappresentazione conforme di Gauss – Boaga (Fuso Est)
Longitudine	16° 06' 56" E	2.617.063 E
Latitudine	38° 42' 54" N	4.285.808 N

Il settore in studio, è rintracciabile nelle seguenti carte topografiche:

- Tavoletta "Vibo Valentia" foglio 241 Quadrante III Orientamento S.E., della Carta d'Italia in scala 1: 25.000 edita dall'I.G.M.;
- Sezione n° 579060 "Pizzo", della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Figura 1: Immagine tratta dall'Ortofoto anno 2012 (fuori scala)

L'assetto geomorfologico generale è vario e composito, strettamente legato alle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, agli effetti della neo tettonica e agli eventi meteorici.

L'attività neotettonica, con evidenti movimenti a principale componente verticale, ha sollevato questo settore creando vari ordini di terrazzamenti delimitati da versanti acclivi. I depositi ivi presenti sono caratterizzati da sedimenti eterogenei sciolti con spessore variabile, poggianti su un basamento metamorfico. Tali sedimenti, nel tempo, sono stati modellati dagli agenti atmosferici attraverso una prevalente azione erosiva. Il centro abitato di Vibo Valentia sorge su uno di questi terrazzamenti.

La pianura alluvionale, caratterizzata dall'affioramento di terreni limoso-sabbioso-ghiaiosi, possiede un andamento morfologico praticamente sub-orizzontale, con una quota media di 3 metri s.l.m. con costante direzione della pendenza verso il mare del 1-2 % circa. Nel Quartiere "Pennello" sono presenti tre corsi d'acqua, che per lo più sono da considerarsi fossi originati da

valloni nella parte di monte del loro asse idrografico, denominati Fosso Cutura (La Badessa), Fosso Galera (Antonucci) e Fosso Calzone (Rio Bravo).

Nel sito di nostro stretto interesse non sono state individuate aree in dissesto e/o a rischio frana, difatti, tale zone, sono ubicate poco più a monte, lungo i versanti che posseggono una certa acclività e che sono ricoperti da successioni litologiche soggetti a erosione sotto gli effetti delle acque meteoriche.

Rischio esondazione

Dal punto di vista idrogeologico, il Quartiere "Pennello" è soggetto a rischio idraulico, a causa di una conformazione morfologica, del contesto ove è inserito, particolarmente sfavorevole. Difatti, il sito in questione è localizzato su un'area alluvionale, prossima alla costa, con pendenze quasi nulle (<10°), mentre, nell'immediato entroterra, è presente un versante, con andamento NE-SW, avente un elevato gradiente topografico, difatti, si passa rapidamente dalla quota di mt 50 s.l.m. alla quota di circa mt 450 s.l.m., con pendenze comprese tra 30° e 40°, ma a tratti si superano abbondantemente i 50°, fino a quando non si raggiunge il centro abitato di Vibo Valentia che sorge su un altopiano dove le pendenze sono inferiori a 10°.

A causa di ciò, il reticolo idrografico principale, dei vari fossi qui presenti, che inizia a margine dell'altopiano, raggiunge rapidamente la parte costiera sviluppandosi lungo questi versanti acclivi, di conseguenza le sezioni trasversali degli alvei sono molto ridotte.

Questo tipo di morfologia, in occasioni di precipitazioni particolarmente intese, unita alla totale mancanza di manutenzione e pulizia degli alvei, o addirittura, in taluni casi, alla cancellazione o l'ostruzione di tatti di essi, genera, soprattutto dove si ha il brusco cambiamento di pendenza, l'esondazione di notevoli volumi idrici dagli alvei naturali, talvolta misti a fango e detriti.

Il "Piano Versace", redatto a seguito dell'evento alluvionale del 3 luglio 2006, ha trattato ampiamente il problema del rischio idraulico, a cui nel settore di nostro interesse è predisposto.

Questo studio pone particolare attenzione alle zone pianeggianti, specie in prossimità delle foci dei fossi che attraversano i centri abitati delle zone marine come il Quartiere "Pennello".

Il nubifragio del 3 luglio 2006 è stato un evento eccezionale, caratterizzato da tempi di ritorno di 500 anni, dove sono caduti in tre ore circa 200 mm di pioggia, che hanno causato allagamenti, smottamenti e dissesti di varia natura coinvolgendo numerose abitazioni con perdita di vite umane e, inoltre, circa 300 persone sono state sfollate. Le frazioni maggiormente colpite sono state quelle di Vibo Marina, Bivona e Longobardi.

Dal "Piano Versace" emerge che a seguito dell'evento alluvionale si sono attivati, nel settore collinare e montuoso, ovvero poco più a sud del sito di nostro stretto interesse, numerosissimi fenomeni di dissesto di dimensioni modeste ma con elevata diffusione areale.

Tali dissesti, hanno convogliato ingenti apporti detritici nelle aste drenanti del reticolo idrografico, specie nelle testate dei tributari di ordine inferiore, che si sono aggiunti agli apporti solidi generati dai fenomeni erosivi; pertanto, il trasporto solido, è stato enormemente incrementato da questi ulteriori materiali detritici. Le ingenti quantità di materiali asportati dalle pendici montane, miste alle acque di ruscellamento, successivamente sono state convogliate verso il settore costiero dove, la scarsa capacità di deflusso dei fossi e dei torrenti, ha determinato la crisi totale del sistema di drenaggio con ampie esondazioni lungo la fascia costiera.

Tali fenomeni di esondazione hanno interessato sia i corsi d'acqua naturali che i canali artificiali di raccolta d'acqua piovana, determinando l'inondazione di ampie aree urbanizzate del settore costiero e di vari tratti della rete viaria sia urbana che extraurbana.

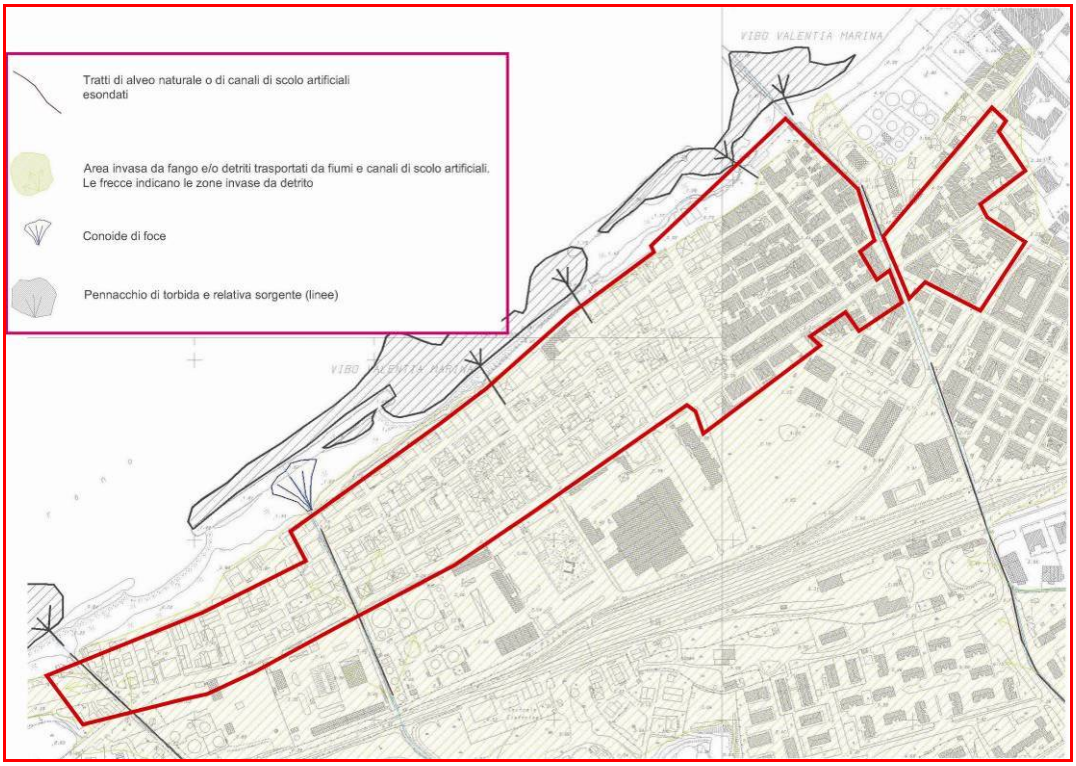

Figura 2: effetti al suolo del 3 luglio 2006 – stralcio "Piano Versace" – fuori scala

L'esondazioni hanno riguardato il tratto terminale di tutti i corsi d'acqua dove si è verificato il fenomeno alluvionale, interessando sia i bacini di maggiore dimensione che quelli dotati di estensione ridotta e portata generalmente limitata.

L'area esondata ha interessato nell'entroterra settori limitati delle aree golenali lungo i corsi d'acqua, mentre, nel settore costiero ha interessato una fascia pressoché continua e parallela alla costa. Il Quartiere "Pennello", come evidenziato nella figura 2, è stato quasi completamente ricoperto da fango e depositi detritici.

In definitiva, l'esondazioni, derivanti dall'evento alluvionale del 3 luglio 2006, si sono verificate soprattutto a causa dell'eccezionale trasporto di materiale solido e dal restringimento degli alvei. In effetti, lungo i fossi non si effettuavano mai le opportune manutenzioni e pulizie; per di più, lungo i cigli degli alvei erano presenti manufatti di diverso tipo, alcuni tratti di impluvi

tombati, o addirittura cancellati con totale riempimento della originaria incisione che avrebbe dovuto accogliere le acque piovane. In altri casi i fossi sono stati spesso usati abusivamente come discarica di enormi quantitativi di rifiuti urbani di vario genere e di materiale inerte.

Il "Piano Versace" è stato condotto a partire nell'immediatezza dell'evento del 3 Luglio 2006 e completato nei primi mesi del 2007; e ha avuto come obiettivo l'analisi di quanto era accaduto e la conseguente predisposizione di un piano per l'eliminazione delle cause scatenanti i fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua.

Tale lavoro costituisce la base uniforme per il dimensionamento idrologico dei vari collettori (fossi, fiumare, ecc.), attraverso l'identificazione dei valori delle portate di progetto e di assicurare un omogeneo livello di sicurezza idraulica all'intero territorio comunale.

Il Piano individuava, quindi, le criticità idrauliche ed elencava una serie di interventi per il ripristino dell'officiosità idraulica dei vari corsi d'acqua.

In seguito al Piano Versace e al finanziamento delle opere atte al ripristino delle ufficiosità idrauliche dei fossi interessati, la Provincia di Vibo Valentia ha nel tempo dato corso a una serie di progettazioni e interventi che hanno attenuato notevolmente la pericolosità idraulica del Quartiere "Pennello".

Allo "Studio Versace" è seguito lo studio del Prof. Ing. Aronica e del Dott. Geologo Scalamandrè, realizzato nell'anno 2010 e integrato successivamente nel Giugno 2011 e nell'Agosto 2011.

Tali integrazioni si sono rese necessarie, la prima per modifiche richieste dall'Autorità di Bacino per l'adeguamento dei risultati a quanto presente nel PIANO VERSACE e la seconda per

le variate condizioni al contorno costituite dall'evolversi dei lavori di messa in sicurezza delle aste dei fossi condotti dalla Provincia di Vibo Valentia, che da allora sono continuati aumentando ulteriormente le condizioni di sicurezza.

Lo studio "Aronica - Scalamandrè" ha avuto l'obiettivo di valutare la pericolosità idraulica delle aree comprese tra la Fiumara Trainiti e Porto Santo Venere, comprendendo, quindi, l'area industriale di Porto Salvo, le frazioni abitate di Bivona e Vibo Marina.

Dal detto studio si evince, che i lavori eseguiti di messa in sicurezza, hanno portato dei enormi benefici, difatti sono diminuite molto le altezze idriche di inondazione e che le stesse quando avvengono sono per la maggioranza de casi con tiranti idrici variabili tra 0,05 ÷ 0,20 m e tra 0,20 ÷ 0,50 m, altezze idriche, del tutto irrisorie in molte aree, che quindi non mettono in rischio di vita gli abitanti, ma che potrebbero causare il solo allagamento dei piani terra e/o seminterrati.

Tali benefici effetti sulle altezze idriche di allagamento, purtroppo, non si rispecchiano nella carta del rischio e della pericolosità idraulica, del tutto simili a quelle poi elaborate dall'Autorità di Bacino, poiché esse non dipendono dalle altezze idriche di inondazione ma semplicemente dal fatto che un'area possa essere allagata o meno.

Una soluzione per eliminare completamente le condizioni di eventuali inondazioni è quella di realizzare una rete di raccolta delle acque meteoriche e con l'ausilio di vasche di laminazione, e se necessarie, con delle stazioni di sollevamento in grado di recepire i volumi d'acqua superficiali e trasportarli presso il recapito finale. Un sistema di questo tipo porterebbe all'annullamento delle altezze idriche superficiali migliorando il deflusso e quindi la conseguente riduzione della pericolosità idraulica del quartiere.

ASSETTO GEOLOGICO

Caratteri Generali

Il settori in studio, al punto di vista geologico strutturale è ubicato all'interno dell'Arco Calabro-Peloritano. Esso è il tratto della catena che raccorda l'Appennino meridionale allungato in senso NW-SE con le Maghrebidi siciliane disposte da Est a O-vest. Con i suoi terreni cristallini e metamorfici in opposizione ai terreni sedimentari dell'Appennino meridionale e della Sicilia. Tale catena si colloca dal punto di vista geodinamico in prossimità del margine tra la placca eurasiatica e quella africana.

L'arco è delimitato da due allineamenti tettonici: la linea di Sangineto a Nord e la linea di Taormina a Sud. Questi due lineamenti trascorrenti sinistro e destro rispettivamente, hanno svolto la loro attività fino al Tortoniano superiore (Amodio-Morelli et al., 1976).

L'Arco Calabro-Peloritano è un edificio tettonico a falde di ricoprimento che si sono costituite e messe in posto durante le fasi pre-mioceniche dell'orogenesi alpina.

Tali falde derivano dalla deformazione di un'area oceanica e di un margine continentale e sono sovrascorse nel neogene su un margine continentale prima della costruzione della catena appenninica (Amodio-Morelli et al., 1976).

L'Arco Calabro-Peloritano è costituito da due settori (uno settentrionale e l'altro meridionale) che si distinguono nell'assetto tettonico-stratigrafico delle unità di cui si compongono, nelle caratteristiche strutturali e nell'evoluzione tettonica (Bonardi et al., 1980). I due settori sono distinti e separati approssimativamente dalla pianura che corre grosso modo da Capo Vaticano, attraverso la piana di S. Eufemia, fino a Soverato. La distinzione tet-

tonica fra questi due settori è evidente se si considera la loro evoluzione. Nel settore meridionale a vergenza meridionale delle falde, a differenza di quello settentrionale, non sono presenti unità a carattere ofiolitico né unità cristalline interessate da metamorfismo come, anche, spicca la mancanza di unità carbonatiche sottostanti a quelle cristalline.

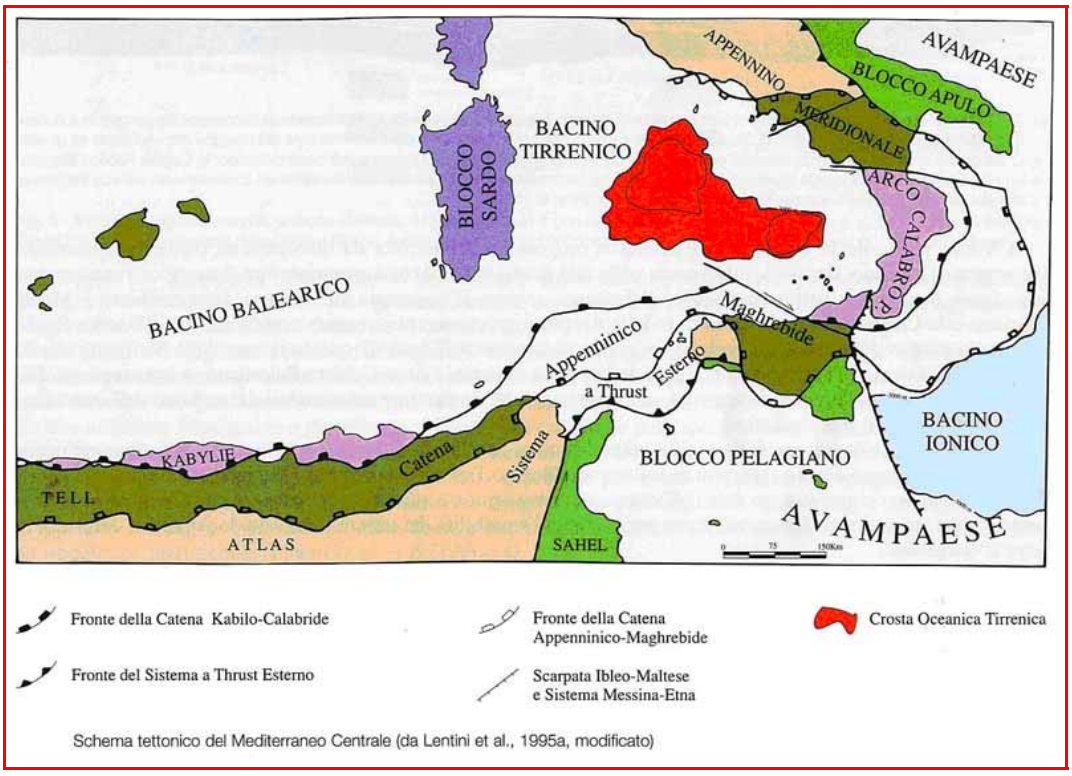

Figura 3: Schema dei domini strutturali nel Mediterraneo centrale

Il territorio comunale di Vibo Valentia è ubicato nel settore settentrionale dell'arco e si sviluppa prevalentemente sull'altopiano che rappresenta il prolungamento verso NE dell'"alto strutturale" individuato dal Massiccio di Monte Poro.

Il rilievo su cui sorge l'abitato della città costituisce un dominio geologico-strutturale la cui origine è legata alla tettonica "recente" che ha esercitato un forte controllo sulla geomorfologia dell'intero territorio, individuando due distinti versanti, quello "marino", o settentrionale, e quello "interno", corrispondente con il margine dell'importante bacino sedimentario rappresentato dal-

la Valle del Fiume Mesima.

L'evoluzione tettonica e i cicli sedimentari sono naturalmente legati alla storia geologica dell'intera Calabria, a sua volta fortemente condizionata dall'evoluzione dell'intero Arco Calabro-Peloritano.

All'orogenesi alpina è quindi seguita la formazione di importanti faglie organizzate prevalentemente secondo un sistema longitudinale, parallelo cioè alle direttrici strutturali della catena appenninica, e un sistema trasversale alla stessa, che hanno segmentato l'intero arco in più unità morfologico-strutturali individuando, fra queste, "alti strutturali" quali il *massiccio del Monte Poro*.

L'altopiano di Vibo Valentia, che ne rappresenta il naturale prolungamento occidentale, é ben delimitato da due importanti dislocazioni tettoniche ad andamento SO-NE (*Vibo fault e Mileto faults*) che costituiscono il limite settentrionale del "*Mesima basin*".

La struttura di queste unità morfologiche secondarie può essere costituita, oltre che dalla roccia di base, da una serie trasgressiva di sedimenti marini sinorogenici, di età compresa fra il *miocene* inferiore fino a tutto il *pliocene*.

L'ossatura dei principali rilievi è quindi costituita dal basamento metamorfico di età paleozoica, costituito prevalentemente da scisti e gneiss quarzo-biotitici-granatiferi, e da rocce cristalline con composizione variabile dalla quarzo-monzonite al granito.

Tali rocce presentano in linea generale elevate resistenze meccaniche che conferiscono, oltre ad una limitata erodibilità, una buona stabilità ai versanti lungo i quali affiora, anche con pendenze accentuate.

Localmente, tuttavia, la fratturazione e/o il degrado di tali

rocce possono arrivare a rappresentare il principale elemento predisponente movimenti franosi delle più svariate tipologie.

Al di sopra del complesso metamorfico di base, in trasgressione, normalmente seguono le formazioni di due diversi cicli sedimentari marini sin-orogenetici, rispettivamente del Miocene e del Pliocene.

In particolare, lungo il versante marino e nella parte sud-occidentale del territorio comunale, affiorano prevalentemente, le sabbie mioceniche e, verso l'alto, il calcare evaporitico e le argille plioceniche.

Lungo il versante interno, sopra le formazioni del calcare evaporitico e delle sabbie plioceniche, prevalgono invece gli affioramenti di argille plioceniche, che insieme danno luogo ad una tipica successione stratigrafica che si ripresenta a differenti quote lungo tutte le vallate, a causa delle dislocazioni tettoniche già descritte.

Entrambe le formazioni plioceniche presentano una modesta resistenza all'erosione e limitate resistenze meccaniche, tanto da essere frequentemente interessate da movimenti franosi.

Nelle sabbie si assiste prevalentemente a scorrimenti rotoTraslativi, in genere lungo i versanti più acclivi ed in presenza di livelli idrici, per lo più localizzati in corrispondenza di orizzonti argillosi all'interno della stessa o di veri e propri strati riconducibili a locali episodi sedimentari.

Più raramente le stesse formazioni sabbiose possono generare frane per crollo, la dove affiorano su scarpate subverticali con una discreta cementazione, causate per lo più da fenomeni di scalzamento al piede, o per progressivo degrado delle caratteristiche meccaniche da parte degli agenti meteorici.

Le argille danno luogo, per lo più, a movimenti di tipo "co-

lata" o "scorrimento-colata", che possono manifestarsi anche lungo pendii poco acclivi, soprattutto dove la morfologia favorisce la concentrazione e l'infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale.

La serie stratigrafica termina generalmente con i c.d. *depositi continentali* del Pleistocene, costituiti da conglomerati, conglomerati sabbiosi e sabbie dotati di scarsa resistenza all'erosione ed elevata permeabilità.

Questi terreni, date le limitate resistenze meccaniche, sono difficilmente rinvenibili al di fuori delle varie superfici terrazzate, alla sommità delle quali, l'assetto sub-orizzontale, riesce a garantire una minima stabilità.

La successione sedimentaria appena descritta presenta tuttavia frequenti lacune stratigrafiche e discontinuità legate sia all'essere sinorogenica, parallela cioè ai movimenti verticali del basamento legati alla tettonica, sia ai successivi fenomeni erosivi avviati in ambiente continentale.

Spesso la serie è ridotta nei tipi e/o negli spessori, costituendo una limitata coltre direttamente sulla roccia di base che, in condizioni giaciturali favorevoli, può rappresentare il piano di scorrimento per movimenti di massa anche estesi.

Tale predisposizione viene accentuata la dove, per la limitata permeabilità dell'ammasso roccioso, la permanenza di una pur minima circolazione idrica crea un livello di argillificazione superficiale.

Non è raro tuttavia che tale argillificazione interessi la roccia metamorfica per spessori consistenti, nell'ordine delle decine di metri, che possono originare scorrimenti profondi, lenti e stagionali, che possono evolvere in più corpi di frana sovrapposti.

I depositi recenti, ovvero le coltri alluvionali di fondovalle e le falde detritiche alla base dei principali versanti, rappresentano

i materiali mobilitabili per dar luogo a flussi di detrito (*debris flow*), lungo gli impluvi più modesti, o a flussi iperconcentrati (*hyper-concentrated flow*) lungo gli impluvi principali, in occasione di eventi di pioggia fuori dalla norma.

In definitiva l'assetto strutturale e le litologie affioranti, controllano considerevolmente l'evoluzione morfodinamica dei due versanti (*marino ed interno*) che presentano così sostanziali differenze, con gradienti di quota più accentuati a nord che, generalizzando, si traducono in movimenti franosi ed eventi di piena fluviale di maggiore intensità.

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La circolazione idrica sotterranea e determinata dalle diverse condizioni climatiche, ed è strettamente legata alle caratteristiche geolitologiche e chimico - fisiche dei terreni, al tipo di rapporto stratigrafico e alle diverse disposizioni spaziali. Difatti, sulla base del rilevamento geologico del territorio in esame e delle suddette caratteristiche, è stata possibile una verosimile identificazione del tipo di permeabilità.

I terreni affioranti, pertanto, sono stati raggruppati in quattro diversi tipi idrogeologici:

1 Complesso dei depositi recenti;
2 Complesso calcareo - arenaceo;
3 Complesso argilloso - siltoso;
4 Complesso igneo - metamorfico.

Complesso dei depositi recenti

Annoveriamo in questa categoria i terreni derivanti dai processi di alterazione e degradazione del basamento cristallino.

Si tratta di depositi costituiti da clasti eterometrici compresi tra le ghiaie e i limi, di conseguenza, dotati, di una rete molto fitta di meati interconnessi, formatesi contemporaneamente alla deposizione del sedimento stesso, (permeabilità per porosità di tipo "primario"), la permeabilità che ne deriva è variabile ed è strettamente legata alla granulometria, ovvero, decresce con l'aumento dei clasti più fini, in talune situazioni, si può riscontrare, anche, una parziale cementificazione del sedimento che riduce la circolazione idrica.

Dal punto di vista litologico si tratta prevalentemente di terreni incoerenti sciolti, rappresentati da depositi alluvionali attuali e recenti e da depositi colluviali. Questi terreni porosi rappresentano la sede di falde idriche di notevole interesse.

Nel Quartiere "Pennello", sede di affioramento di depositi sabbioso ghiaiosi, la profondità della falda freatica si attesta a circa 3,0 metri di profondità dal piano campagna.

Questo complesso presenta valori di conducibilità idraulica $k>10^{-2}$ cm/sec.

Complesso calcareo - arenaceo

Appartiene a questo tipo idrogeologico la formazione del calcare evaporitico, in facies di calcare marnoso di colore bianco giallastro, talora, arenaceo, spesso in banchi di spessore variabile.

La permeabilità è di tipo primario per fatturazione, e la circolazione idrica avviene per infiltrazione attraverso le varie fratture presenti nell'ammasso roccioso, essa è molto irregolare, ma in genere, molto elevata, si riduce solo in presenza di elevato contenuto matrice siltosa molto fine. In questa formazione si possono rinvenire, specie se essa poggia su terreni impermeabili, accumuli idrici.

Questo complesso presenta valori di conducibilità idraulica $10^{-4}>k>10^{-7}$ cm/sec.

Complesso argilloso - siltoso

Sono ascrivibili a questo tipo idrogeologico le argille e le argille siltosa plio – pleistoceniche.

Si tratta di litotipi impermeabili o poco permeabili. Se sono affioranti favoriscono il ruscellamento e l'erosione superficiale, mentre, se si rinvengono in profondità la superficie di contatto,

con il sovrastante terreno permeabile, rappresenta il limite di permeabilità.

Questo complesso presenta valori di conducibilità idraulica $10^{-7}>k$.

Complesso igneo - metamorfico

Sono rappresentati dal basamento cristallino; si tratta di terreni fratturati alterati, quindi, con una porosità secondaria generata dalle svariate vicissitudini tettoniche alle quali, nel tempo, sono state sottoposte. Il conseguente assetto idrogeologico ha determinato la presenza di una falda freatica, con pelo libero, che si sviluppa all'interno del massiccio cristallino per una potenza variabile, ma che generalmente inizia a diversi metri di profondità dal p.c. e che prosegue fino a quando non si richiudono in profondità i campi di fratture; il basamento più superficiale, in genere, si presenta arenizzato, quindi con una permeabilità per porosità più alta.

Questo complesso presenta valori di conducibilità idraulica ($10^{-4}>k>10^{-7}$ cm/sec).

Complesso idrogeologico	Grado di permeabilità	Litologie presenti	Conducibilità idraulica (cm/sec)	Coefficiente d'infiltrazione potenziale (%)
Depositi recenti	Elevato	Depositi alluvionali ed elio - colluviali	$K>10^{-2}$	70<C.I.P.<100
Calcareo arenaceo	Medio - elevato	Calcare evaporitico	$10^{-2}>K>10^{-4}$	30<C.I.P.<70
Argilloso siltoso	Impermeabile	Argille siltose e silt	$K>10^{-7}$	5<C.I.P.<30
Igneo - metamorfico	Scarso	Terreni metamorfici	$10^{-4}>K>10^{-7}$	10<C.I.P.<30

Figura 4: Sintesi dei parametri idrogeologici

REGIME PLUVIOMETRICO

Dal punto di vista climatico il Comune di Vibo Valentia è caratterizzato da un clima mediterraneo, caratterizzato da una stagione estiva con piogge limitate, e un periodo invernale con piogge costanti ed intense.

Dai dati pluviometrici forniti dal pluviometro di Vibo Valentia, si ottiene una piovosità media annua di 913 mm di pioggia, (periodo di osservazione 1921 – 1990).

I mesi più piovosi risultano novembre, dicembre e gennaio, il periodo secco è invece concentrato nei mesi di luglio e agosto.

La massima precipitazione mensile registrata per Vibo Valentia è stata 345 mm nel mese di dicembre del 1921, mentre, quella annuale è stata nel 1930 con 1395 mm di pioggia.

L'evento pluviometrico 3 luglio 2006 è stato particolarmente intenso soprattutto tra le ore 10 e le ore 14 con altezze di pioggia registrate nelle stazione pluviometriche di Vibo di 202 mm di cui 130 mm tra le 11:30 e 12:40).

Dall'analisi dei dati storici emerge che eventi pluviometrici di questa intensità hanno un tempo di ritorno di oltre mille anni per la stazione pluviometrica di Vibo Valentia e tra i 50 e i 150 anni per le altre stazioni della zona.

CARATTERISTICHE FISICO - MECCANICHE

Al fine di caratterizzare dal punto di vista fisico – meccanico i terreni di nostro stretto interesse è stata presa in considerazione, limitatamente al sondaggio a carotaggio continuo distinto con il n° S8, la campagna indagini geognostiche e prove di laboratorio eseguita dalla ditta *Geoconsol di Cosenza* a corredo del *Piano Strutturale Comunale (P.S.C.)* del Comune di Vibo Valentia.

Il sondaggio S8 è stato realizzato all'interno del Quartiere "Pennello", ad una quota di circa 2 metri s.l.m., lungo la Via Torino, e si ritiene abbastanza rappresentativo di tutto il settore in studio, in quanto, tutto il Quartiere è caratterizzato da depositi alluvionali recenti pressoché omogenei in tutta l'area di nostro stretto interesse.

Sistema coordinate	Geografiche WGS84 GMS	Rappresentazione conforme di Gauss – Boaga (Fuso Est)
Longitudine	16° 06' 40" E	2.616.637 E
Latitudine	38° 42' 47" N	4.285.548 N

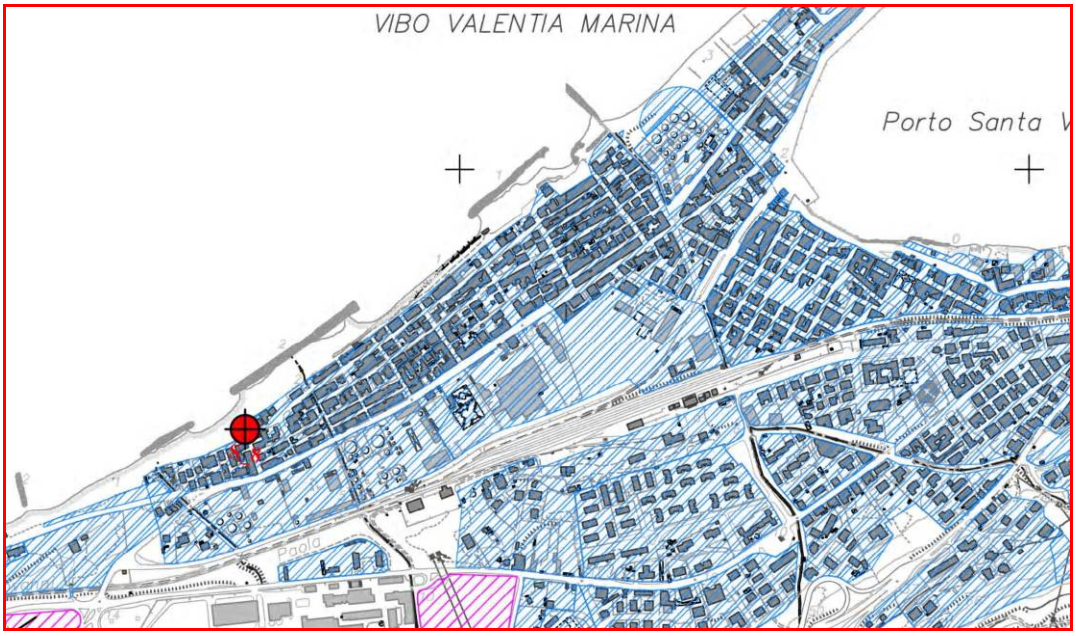

Figura 5: Ubicazione sondaggio a carotaggio continuo S8

Il sondaggio meccanico è stato eseguito a carotaggio continuo, ed ha raggiunto una profondità di 29,50 m dal p.c., durante la perforazione sono stati eseguiti n° 9 prove penetrometriche del tipo S.P.T. (Standard Penetration Test) ad intervalli prefissati, e sono stati prelevati n° 7 campioni da sottoporre a prove di laboratorio (utilizzando fustelle di tipo "*Shelby*".

Campione	Profondità (m)		Prove SPT	Prove di classificazione
	da	a		
CR1	1,70	1,90		GR
	3,00	3,45	SPT1	
CR2	3,20	3,40		GR
CR3	4,80	5,00		GR
CR4	5,50	5,70		GR
CR5	6,80	7,00		GR
	7,00	7,45	SPT2	
CR6	8,80	9,00		Wn, GR LA
	9,00	9,45	SPT3	
	12,00	12,45	SPT4	
	14,80	14,83	SPT5	
	18,00	18,45	SPT6	
CR7	19,20	18,40		Wn, GR LA
	21,00	21,24	SPT7	
	23,50	23,55	SPT8	
	28,00	28,42	SPT8	

Tabella 1: riepilogo prove e classificazione sondaggio n° 8 - Wn Contenuto naturale d'Acqua, GR Granulometria per vagliatura meccanica – LA Limiti di Atterberg.

Per il carotaggio è stata utilizzata una sonda oleodinamica CMV 900 cingolata, munita di carotiere semplice e doppio, di diametro pari a 101 mm.

Le prove S.P.T., sono state eseguite secondo le norme codificate dall'Associazione Geotecnica Italiana, che prevedono la misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni standard per 30 cm (due intervalli di 15); l'infissione avviene sotto il carico di un maglio di 623 Newton che precipita in caduta libera da un'altezza di 0,76 m, la prova, in pratica, consiste nel

misurare in numero di colpi necessari per l'infissione; l'apparecchiatura impiegata per l'esecuzione di tali prove possiede le seguenti caratteristiche tecniche:

- diametro interno scarpa 35,0 mm
- diametro esterno scarpa 51,0 mm
- angolo spigolo 20°
- peso del maglio 63,5 kg
- altezza caduta 76 mm

Metodi utilizzati per l'interpretazione delle prove

La valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche della coltre detritica è stata ricavata attraverso l'interpretazione delle prove SPT realizzate durante il carotaggio meccanico n° S8.

I principali parametri geomeccanici valutabili per terreni incoerenti (componente sabbiosa o ghiaiosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori relativi al numero di colpi sono:

- Angolo di attrito interno ϕ
- Densità relativa Dr
- Modulo dinamico di taglio (G_0)
- Modulo di *Young* (E')
- Modulo di deformazione confinata (M_o)

Per quanto concerne l'angolo di attrito interno è stato usato sia il metodo di correlazione diretta di *Shioi-Fukuni* (1982), valido per terreni incoerenti, che si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi(°) = \sqrt{15\, xN_{SPT}} + 15$$

Sia il metodo di correlazione diretta di De Mello (1971), valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il p.c.).

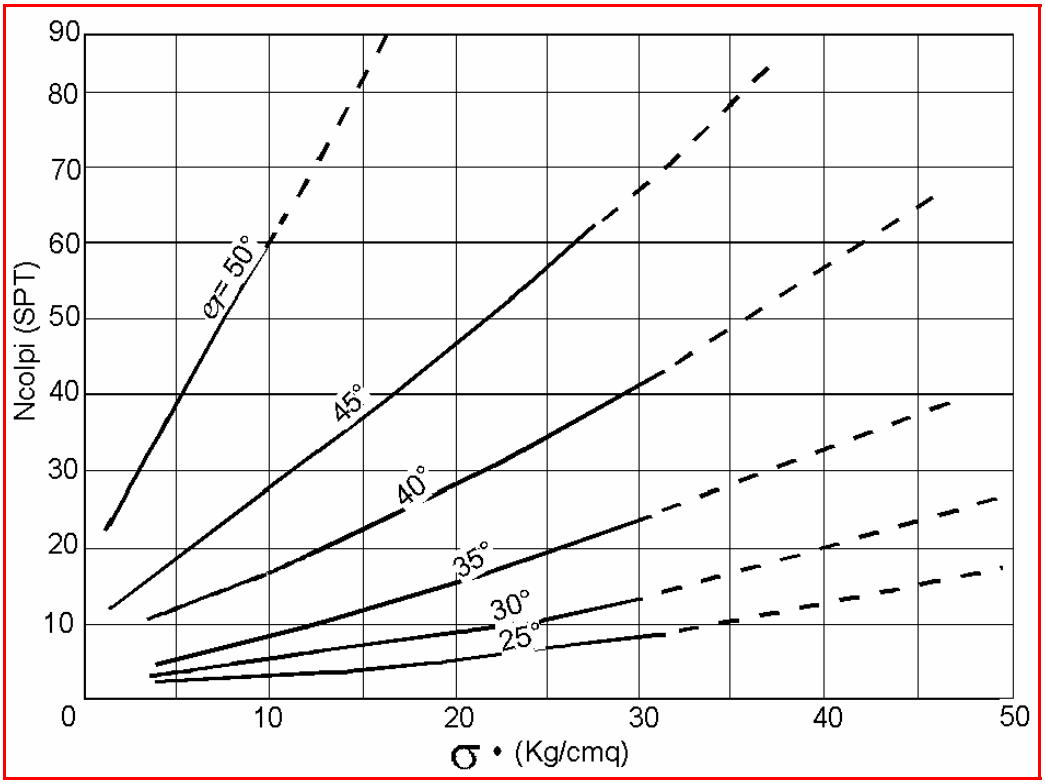

Figura 6:Correlazione di DE MELLO per la valutazione dell'angolo di attrito

La Dr (densità relativa), invece, è stata ricavata con il metodo di *Gibbs e Holtz* (1957) che si basa dalla correlazione tra i valori di resistenza alla penetrazione e la profondità dello strato. Mentre, per la descrizione qualitativa dello stato di addensamento è stato utilizzato il grafico ideato da *Terzaghi e Peck* (1948) (Tabella 1).

$N_{SPT(30)}$ (Colpi / 30 cm)	**Densità Relativa**	
	Terzaghi-Peck (1948)	*Gibbs-Holtz (1957)*
0-4	**M. S.** molto sciolta	0-15%
4-10	**S.** sciolta	15-35%
10-30	**M.** media	35-65%
30-50	**D.** densa	65-85%
Oltre 50	**M. D.** molto densa	85-100%

Tabella 2: Correlazione tra la densità relativa e i valori di $N_{SPT(30)}$

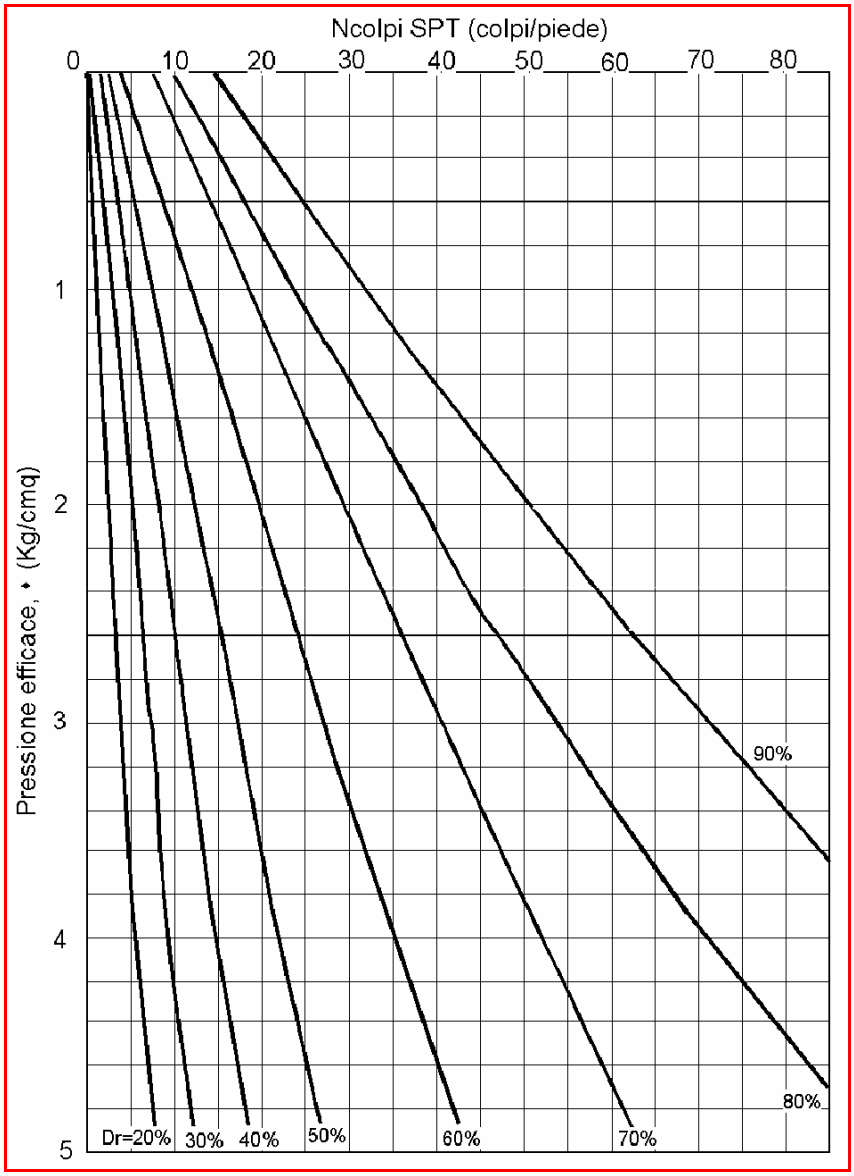

Figura 7: Metodo di Gibbs-Holtz per la valutazione della densità relativa

Per la valutazione del Modulo dinamico di taglio (G_0), è opportuno utilizzare il metodo proposto da *Ohta Goto* (1978), che ricava dapprima la velocità delle onde di taglio $V_S = f\,(N_{spt})$.

$$V_s = 54{,}33\ N_{spt}^{\ 0{,}173}\ \alpha\beta \left(\frac{z}{0{,}33}\right)^{0{,}193}$$

z = profondità (m)

α = coefficiente che dipende dall'età del deposito:

α = 1 per depositi recenti (*Olocene*)

α = 1,33 depositi del *Pleistocene* e *Terziario*

β = coefficiente che dipende dalla composizione granulometrica:

β = 1 per limi e argille

β = 1,09 per sabbie

β = 1,19 per sabbie e ghiaie

Quindi il *Modulo Dinamico di Taglio* (G_O), che può essere ricavato dalla seguente espressione:

$$G_O = (V_s)^2 \frac{\gamma}{g}$$

γ = peso di volume unitario (KN/m^3)

g = accelerazione di gravità (m/sec^2).

Il modulo di deformazione non confinato o modulo di *Young* (E') si ricava attraverso il metodo di *Denver* (1982), valido per sabbia + ghiaia fino a sabbie ricche in fine plastico. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di E con la profondità. In genere è il metodo più attendibile fra quelli proposti in letteratura.

Per la stima del modulo vengono prese in considerazione le correlazioni più note ed usate in letteratura, attraverso una serie di curve legate a varie litologie e relative a vari autori, come meglio riportato nel grafico che segue.

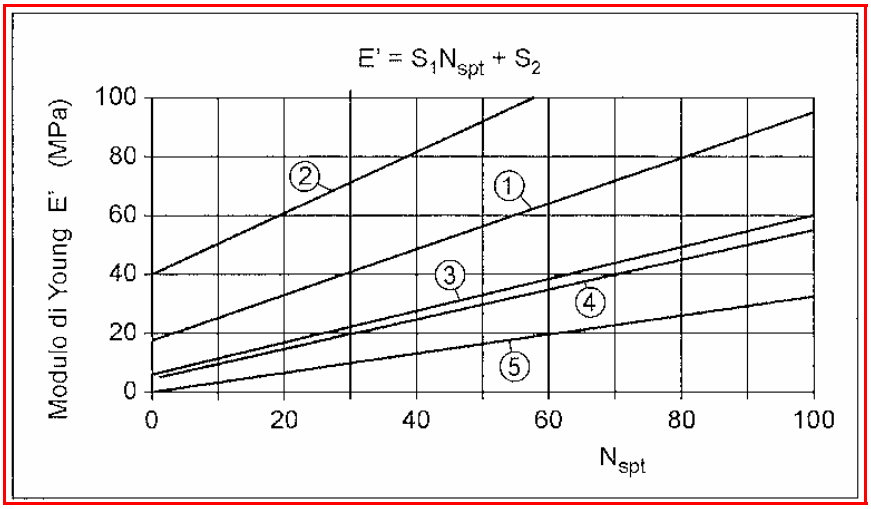

Figura 8: Stima del modulo di Yonug da prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Le varie curve sono espresse dalla seguente relazione lineare:

$$E' = S_1 N_{spt} + S_2$$

Dove S_1 e S_2 sono costanti che assumono valori in funzione della granulometria e della litologia e sono riportate nella tabella successiva, con il riferimento, anche, ai vari autori.

Curva	S_1(MPa)	S_2(MPa)	Note	Riferimento
1	0,756	18,75	**sabbia e ghiaia NC**	**D'Appollonia et al., 1970**
2	1,043	36,79	**Sabbia SC**	**D'Appollonia et al., 1970**
3	0,517	7,46	**(tiene conto delle tensioni efficaci)**	**Schultze & Menzenbach, 1961**
4	0,478	7,17	**Sabbia satura**	**Webb, 1970**
5	0,316	1,58	**Sabbia argillosa**	**Webb, 1970**

Figura 9: Parametri S1 e S2 per la stima del Modulo di Young

Per quanto riguarda il modulo di deformazione confinata (M_o) le correlazioni proposte dai diversi autori, tengono conto sia delle diverse granulometrie sia delle varie pressioni litostatiche.

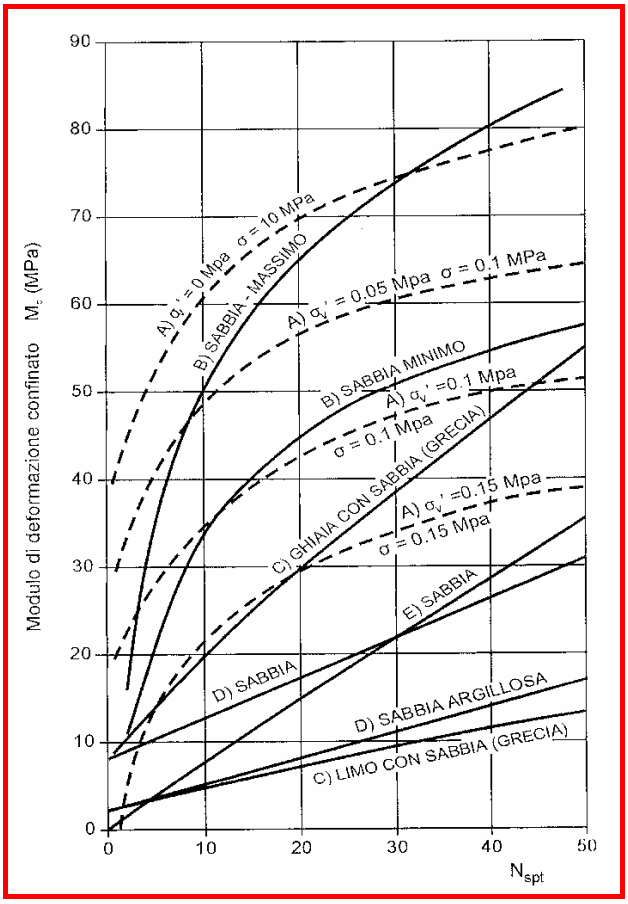

Figura 10: Stima del Modulo di Deformazione confinato da prove SPT

Qui di seguito si riportano gli autori delle varie correlazioni:

A) Correlazioni Schultze & Mezenbach (1965)

B) Correlazione di Trofimenokov (1974)

C) Correlazioni di Begemann (1974)

D) Correlazioni di Webb (1969)

E) Correlazione di Farrent (1963)

Stratigrafia del sondaggio - classificazione e proprietà indici

La normativa usata per la classificazione granulometria è la UNI CEN ISO/TS 14688-1, mentre, per i terreni coesivi, la classificazione utilizzata è la carta di plasticità di Casagrande.

I terreni che si riscontrano lungo la verticale del sondaggio n° S8 sono costituiti:

- *da mt 0,00 a mt 7,70: "Sabbia prevalentemente media e grossa, quarzoso feldspatica, con lenti da 10 a 15 cm di sabbia fine debolmente ghiaiosa";*
- *da mt 7,70 a mt 17,30: "calcari evaporitici prevalentemente pseudocoerenti costituiti da sabbia limosa con sabbia fine, che solo occasionalmente si presentano con consistenza litoide tenera, vacuolari";*
- *da mt 17,30 a mt 29,50: "marne argillose con intercalazioni al più decimetriche di marne calcaree spesso fratturate".*

Le prove di classificazione dei terreni, dal punto di vista geotecnico, eseguite su 7 campioni prelevati fino alla profondità di 19,40 m dal p.c., hanno evidenziato la presenza di:

- ***Sabbia limosa (campione CR1);***
- ***Sabbia ghiaiosa debolmente limosa (campione CR2, CR3 e CR4);***
- ***Ghiaia con sabbia (CR5);***
- ***Limi organici di alta e media compressibilità e argille e limi organici (campione CR6 e CR7).***

La falda rilevata durante l'escavazione del sondaggio, in data 9 luglio 2013, risulta presente a partire da 3,3 m rispetto al p.c..

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg, per i campioni CR6 e CR7, si sono determinati valori del **limite di liquidità W_L** compresi tra 44,9% (campione CR7) e il 61,4% (campione CR6) e del **limite di plasticità W_P** compresi tra il 30,1 (campione CR7) e 41% (campione CR6).

L'**Indice di plasticità I_p** , risulta variabile dal 14,8% (campione CR7) al 20,4% (campione CR6).

Il **Contenuto naturale d'acqua W_n** risulta variabile tra il 23,4% (campione CR7) e il 38,0% (campione CR6).

L'**Indice di consistenza I_c** è risultato variabile da 1,15% (Campione CR6) a 1,46% (Campione CR7), accertando la presenza di una frazione di terreni a grana fine di consistenza semi-solida.

Campione	Profondità (m)	Descrizione (UNI-CEN ISO/TS 17892-1)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
CR1	1,70-1,90	Sabbia limosa	3	80	13	4
CR2	3,20-3,40	Sabbia Ghiaiosa debolmente limosa	11	81	8	/
CR3	4,80-5,00	Sabbia Ghiaiosa debolmente limosa	23	72	5	/
CR4	5,50-5,70	Sabbia Ghiaiosa debolmente limosa	25	70	5	/
CR5	6,80-7,00	Ghiaia con sabbia	50	46	4	/
CR6	8,80-9,00	Limo con Argilla	/	2	61	37
CR7	19,20-19,40	Limo con argilla	/	2	54	44

Tabella 3: Composizione granulometrica dei campioni prelevati nel sondaggio S8.

Campione	Profondità (m)	Wn (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Ic (%)	A (%)	Classificazione
CR1	1,70-1,90	/	/	/	/	/	/	/
CR2	3,20-3,40	/	/	/	/	/	/	/
CR3	4,80-5,00	/	/	/	/	/	/	/
CR4	5,50-5,70	/	/	/	/	/	/	/
CR5	6,80-7,00	/	/	/	/	/	/	/
CR6	8,80-9,00	37,98	61,35	40,96	20,39	1,15	0,55	Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
CR7	19,20-19,40	23,37	44,86	30,10	14,76	1,46	0,34	Limi inorganici di media compressibilità e limi organici

Tabella 4: Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg, indice di plasticità, indice di consistenza, indice di attività

Prova	Profondità (m)		N1	N2	N3	N_{SPT}
	da	a				
SPT1	3,00	3,45	10	19	22	41
SPT2	6,00	6,45	13	20	21	41
SPT3	9,00	9,45	11	17	19	36
SPT4	12,00	12,21	39	6R	/	Rif.
SPT5	14,80	14,83	3R	/	/	Rif.
SPT6	18,00	18,45	17	22	37	59
SPT7	21,00	21,24	33	9R		Rif.
SPT8	23,50	23,55	5R	/	/	Rif.
SPT9	28,00	28,42	22	37	12R	Rif.

Tabella 5: Risultati delle prove SPT.

Qui di seguito vengono riportati in forma tabellare e sintetica i parametri geomeccanici ricavati dalle prove SPT elaborati secondo come descritto nel paragrafo precedente

Prova	Profondità (m)		N_{SPT}	Tipo	φ°	Dr (%)	E Mpa	M_0 Mpa	G_0 Mpa	P
	da	a								
SPT1	3,00	3,45	41	Inc.	35,50	100	21,1	8,33	146	0,3
SPT2	6,00	6,45	41	Inc.	35,50	92	21,1	8,33	146	0,3
SPT3	9,00	9,45	36	Inc.	34,50	76,67	20	7,83	134	0,3
SPT4	12,00	12,21	Rif.	Inc.	/	/	/	/	/	/
SPT5	14,80	14,83	Rif.	Inc.	/	/	/	/	/	/
SPT6	18,00	18,45	59	Inc.	38,60	67,62	25,5	10,15	190	0,28
SPT7	21,00	21,24	Rif.	Inc.	/	/	/	/	/	/
SPT8	23,50	23,55	Rif.	Coes.	/	/	/	/	/	/
SPT9	28,00	28,42	Rif.	Coes.	/	/	/	/	/	/

Tabella 6: Sintesi parametri geomeccanici - *φ° Angolo d'Attrito interno, Dr Densità relativa, E Modulo di Young, M_0 Modulo edometrico, G_0 Modulo di taglio, P Modulo di Poisson*

Nella tabella che segue vengono riportati i parametri geotecnici medi e cautelativi, dei depositi alluvionali, che caratterizzano il sino di nostro stretto interesse, a partire già dalla profondità di circa un metro dal piano campagna:

ANG. ATTR. INT.ϕ (°) = 32°

Peso volume (γ)t/m^3 = 1,9

Coesione (c) kg/cm^2 = 0,0

SISMICITÀ DELL'AREA

Caratteri generali

In Calabria la zona di rift siculo-calabra è caratterizzata da segmenti di faglie normali che separano i principali bacini Plio-Pleistocenici dalle catene montuose delle Serre e dell'Aspromonte le quali risultano ancora in sollevamento.

La sismicità dell'area a scala regionale, tuttavia, può essere essenzialmente ricondotta alla presenza di uno slab della litosfera ionica al di sotto dell'Arco Calabro, infatti gli studi più recenti compiuti dall'Istituto Nazionale di Geofisica sulla distribuzione degli ipocentri degli eventi sismici strumentali degli ultimi venti anni indicano una notevole frequenza degli eventi crostali profondi e sub-crostali proprio nell'area dell'Arco Calabro; gli ipocentri, in particolare, tendono a disporsi secondo un piano di Benioff con immersione 70° NO, mentre appare evidente come lateralmente la parte sismicamente attiva dello *slab* abbia un'estensione (250 km circa) notevolmente inferiore rispetto a quella verticale. Si è osservato inoltre che la distribuzione degli ipocentri è continua nell'area meridionale, mentre a nord esiste una lacuna tra i 100 ed i 200 km di profondità in corrispondenza di una zona nella quale il piano di Benioff tende a ruotare.

La Calabria è una tra le Regioni italiane a maggior rischio sismico.

La riclassificazione sismica del territorio nazionale, effettuata ai sensi dell'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 ha classificato l'intero territorio nazionale in quattro zone indicate con i numeri da 1 (a maggior rischio) e 4 (a minor rischio). I 409 comuni calabresi ricadono tutti nella zona 1 o 2, precisamente 261 ricadono nella zona 1 e 148 nella zona 2.

Come si può notare dalla classificazione dell'intero nazionale da parte del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, la Calabria è l'unica Regione Italiana ad essere interamente compresa nelle zone 1 e 2. La categoria di appartenenza di tutti i comuni calabresi è riportata nell'allegata mappa.

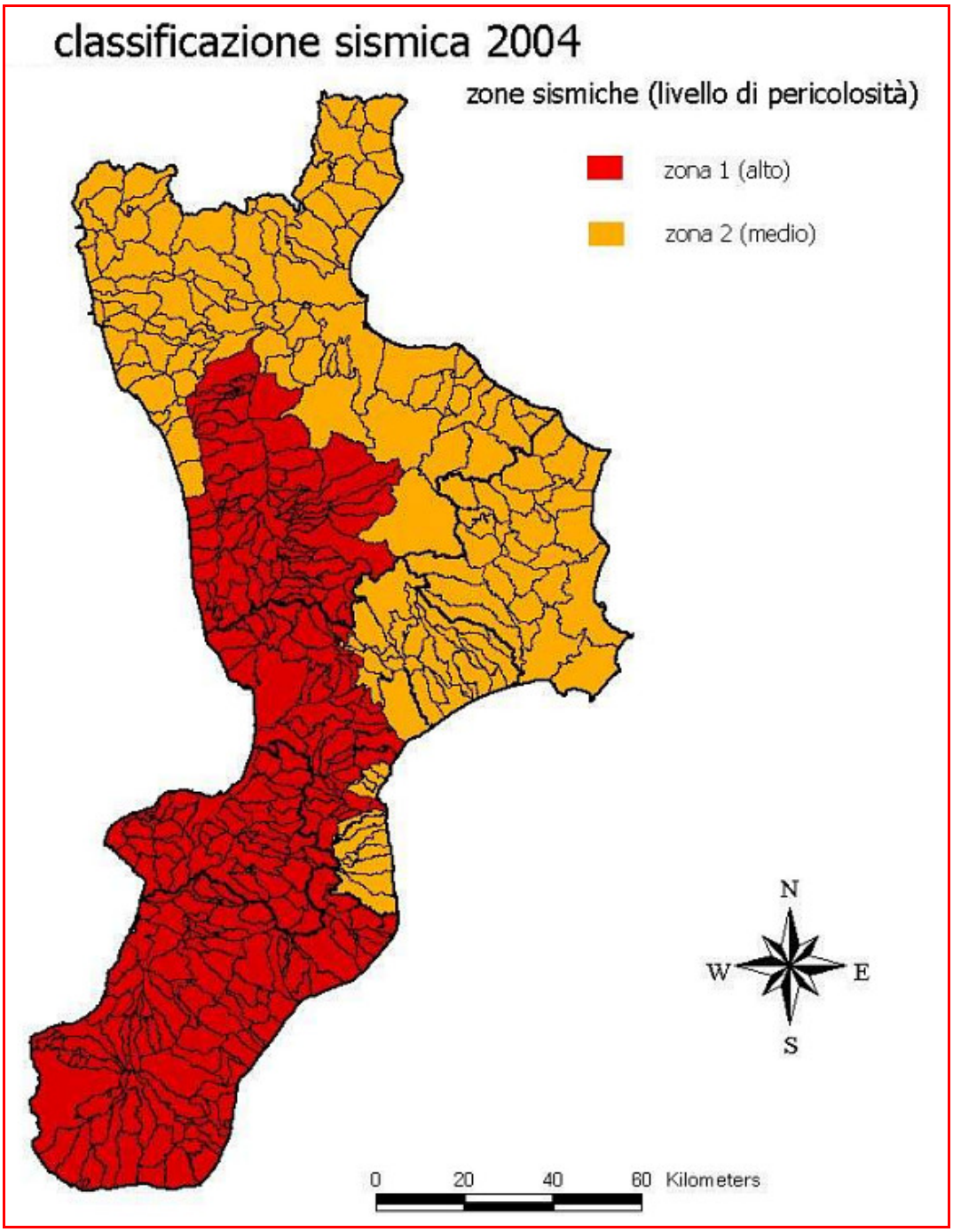

Figura 11: Classificazione sismica Regione Calabria - anno 2004

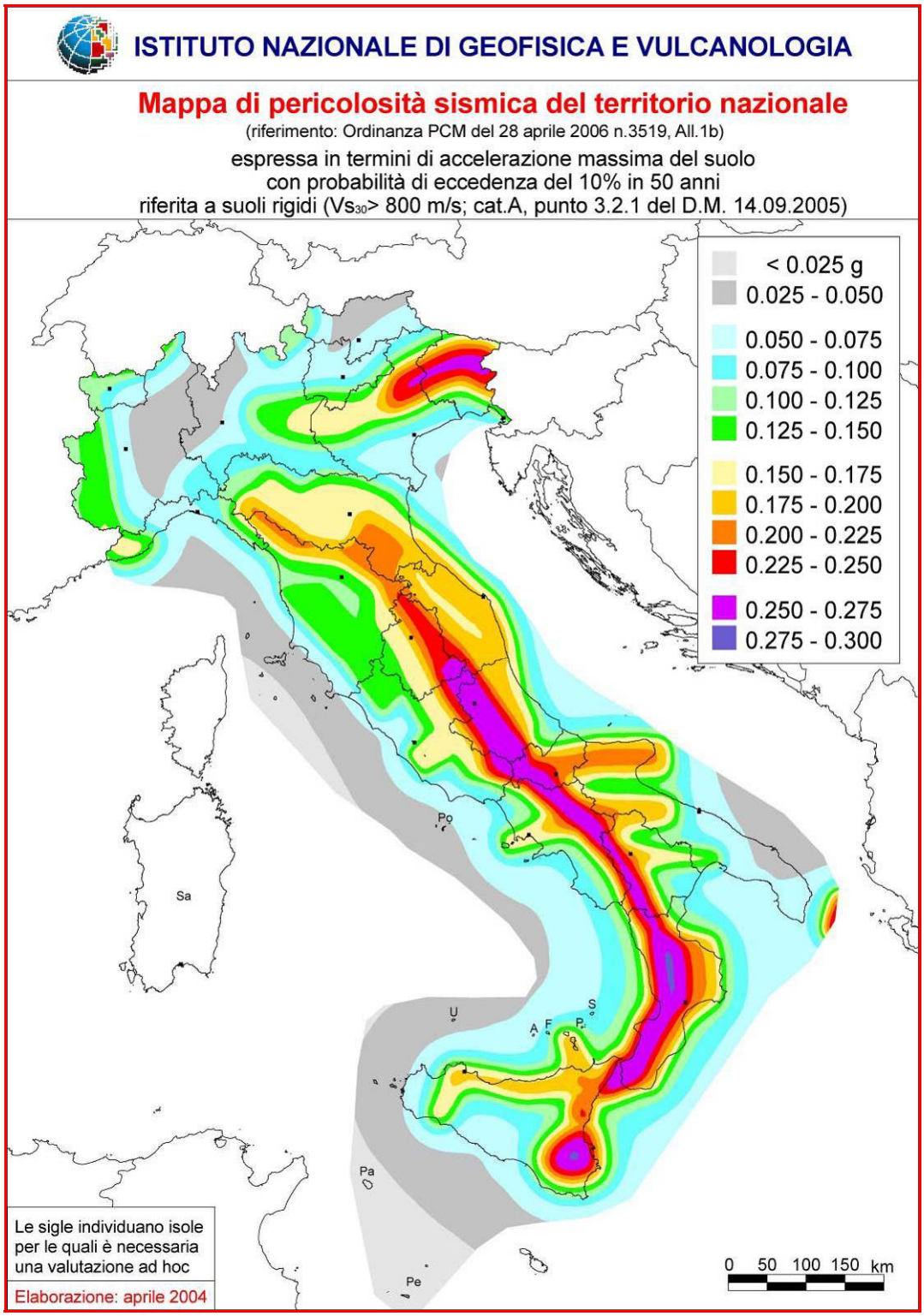

Figura 12: Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale

Sismicità storica

Negli ultimi decenni non si sono verificati in Calabria sismi di forte intensità, ma nel passato, la Calabria è stata teatro di alcuni tra i sismi più catastrofici verificatisi in Italia che hanno provocato decine di migliaia di vittime e la distruzione di interi centri abitati. La seguente tabella riporta i più gravi eventi sismici che hanno interessato la Calabria nell'ultimo millennio:

1184	IX-X	Terribile terremoto nella valle del Crati, che provocò gravissimi danni a Cosenza, dove crollò la cattedrale, a Bisognano, San Lucido e Luzzi
27.03.1638	XI	Violento terremoto che colpì particolarmente la zona di Nicastro; i morti furono diverse migliaia. Il 9 giugno un nuovo terremoto provocò danni nel crotonese.
05.11.1659	IX-X	Forte terremoto che interessò la Calabria centrale nell'area compresa fra i golfi di Sant'Eufemia e di Squillace; le vittime furono più di 2000
1783	XI	Fra febbraio e marzo del 1783 un violento periodo sismico interessò la Calabria meridionale ed il messinese, provocando la distruzione di moltissime località e danni gravissimi in molte altre; moltissime repliche si ebbero nei mesi e negli anni successivi. I morti furono più di 30.000
1832	X	Terremoto che provocò gravi danni ad una cinquantina di località, prevalentemente nel crotonese; più di 200 le vittime.
25.04.1836	X	Terremoto che colpì il versante ionico della Calabria settentrionale, con gravissimi danni a Crosia e Rossano: le vittime furono oltre 200
12.02.1854		Terremoto nel cosentino: effetti distruttivi si ebbero nell'alta valle del Crati; i danni furono gravi anche a Cosenza. Le vittime furono circa 500
4.10.1870	X	Terremoto nell'area cosentina (già colpita dall'evento del 1854), fra le alte valli del Savuto e del Crati, con oltre 100 vittime.
4.10.1870	X	Violento terremoto nella Calabria centrale, avvertito in tutta l'Italia meridionale e nella Sicilia orientale: danni gravissimi e più di 500 vittime
28.12.1908	XI	Terremoto calabro-messinese: Reggio Calabria e la parte bassa di Messina vennero rase al suolo; le vittime furono oltre 80.000, di cui circa 2.000 inghiottite dall'onda di maremoto (tsunami).

Figura 13: Eventi sismici che hanno interessato la Calabria nell'ultimo millennio

Zonazione sismica

Con l'emanazione dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* " (modificata dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03/05/2005 " *Ulteriori modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 ….*") si è riformulato le norme tecniche relative all'attività di progettazione in aree ad elevato rischio sismico del territorio nazionale.

In particolare, nell'allegato relativo ai "*Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone*" si è proceduto alla riclassificazione sismica dei comuni italiani in funzione di fattori quali l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni e dell'accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Sono state così definite quattro zone con fattori di rischio decrescente:

Zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0.25	**0.35**
2	0.15 ÷ 0.25	**0.25**
3	0.05 ÷ 0.15	**0.15**
4	< 0.05	**0.05**

Figura 14: Schema in cui si riportano i valori di a_g in funzione delle zone simogenetiche.

Nell'allegato "*Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone*" della recente Ordinanza del Presidente del consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territo-

rio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Secondo questa nuova classificazione sismica del territorio nazionale, il Comune di VIBO VALENTIA appartiene ad un'area di Zona I, ed è quindi caratterizzata da una accelerazione orizzontale massima ag = 0,35*g (m/s^2).

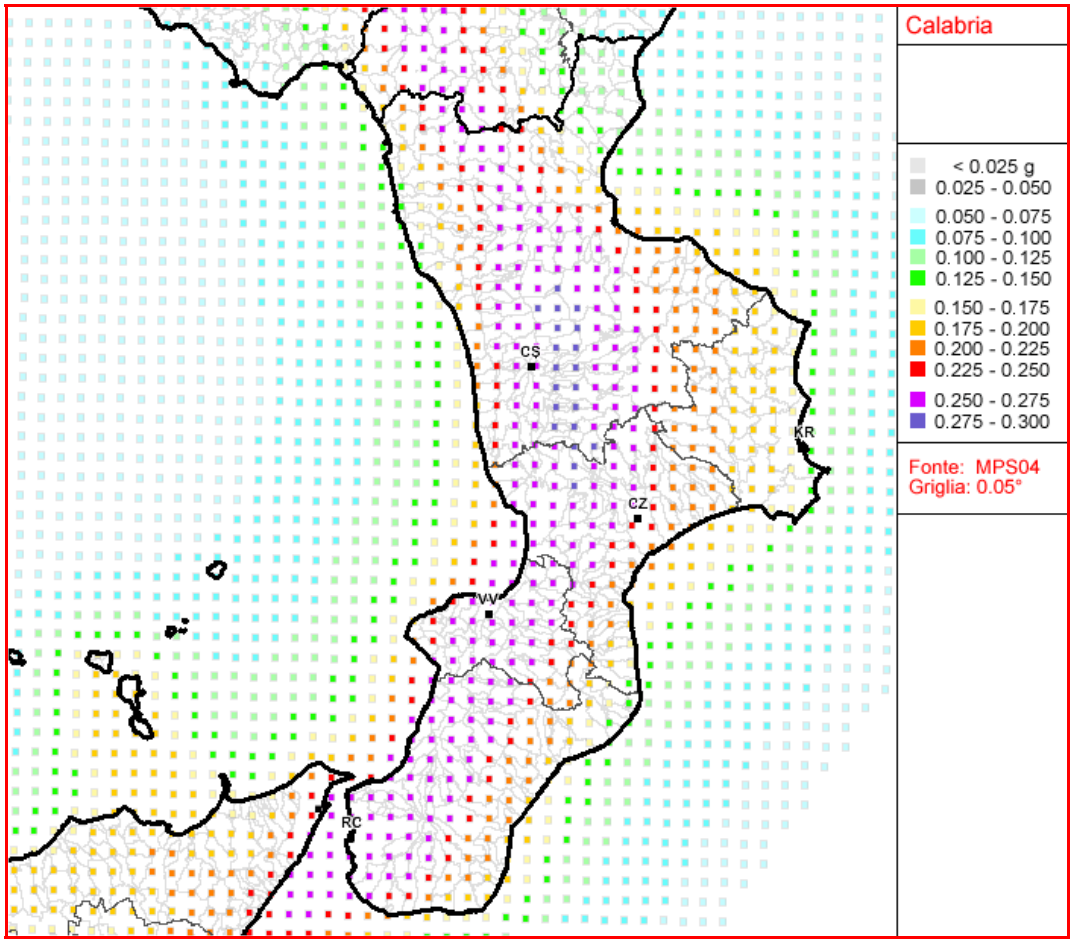

Figura 15: Valori di pericolosità sismica della Regione Calabria.

CARATTERISTICHE SISMICHE D.M. 14.01.2008

Caratteri generali

La "risposta sismica locale" o "effetto di sito" si definisce dal punto di vista fisico come l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il moto sismico subisce passando dal bedrock ai terreni soprastanti fino alla superficie. Il rapporto tra l'accelerazione massima alla superficie e quella al substrato roccioso, quando risulta maggiore dell'unità, definisce il fattore di amplificazione locale.

La valutazione quantitativa della risposta sismica locale si basa sulla ricostruzione dello spettro di risposta, cioè del diagramma di spostamento,velocità o accelerazione al variare di T, con uno smorzamento ζ assegnato. L'ampiezza spettrale in termini di accelerazione S_e (T) consente di rappresentare nella maniera più efficace e utile per l'ingegnere gli effetti delle caratteristiche del moto del terreno sul comportamento delle strutture. Lo spettro di risposta consente di porre attenzione ai fenomeni di "risonanza", dovuti alla coincidenza tra periodo del segnale sismico in ingresso e periodo proprio del sottosuolo([1]), ed alla possibile "doppia risonanza", cioè alla corrispondenza tra il periodo del segnale sismico in superficie e quello dei manufatti ([2]).

Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale, considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima (a_g*S) del terreno che caratterizza il sito.

[1] il periodo proprio del sottosuolo risulta T = 4H/Vs.
[2] il periodo di un edificio risulta T = 0,1 N con N = numero di impalcati.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento[3]:

La nuova normativa sismica italiana, come riportato nel nuovo DM 14/01/2008 "Norme Tecniche sulle Costruzioni" definisce l'azione sismica di progetto basandosi sulla categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità (V_{s30}) Per V_{s30} si intende, quindi, la media "equivalente" delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 m di profondità dal piano di posa della fondazione calcolata secondo la seguente relazione definita al punto 3.2.2 delle citate NTC:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1N} \frac{h_i}{V_{S,1}}}$$

Sulla base del suddetto valore vengono individuate le seguenti cinque categorie di suolo ed in generale il fenomeno dell'amplificazione diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E :

[3] ***DECRETO 14 gennaio 2008*** *(approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui alla legge 27 luglio 2004, n. 186, di conversione del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136)*

CATEGORIA	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$ > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < $N_{SPT,30}$ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$ < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con V_s > 800 m/s).

Tabella 7: Categorie di sottosuolo

la classificazione si effettua quindi in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

CATEGORIA	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 8: Categorie aggiuntive di sottosuolo

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

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

Tabella 9: Categorie topografiche

Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}.

Nelle espressioni che descrivono lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale sono contenuti T ed S_e ed S che sono, rispettivamente, periodo di vibrazione, accelerazione spettrale orizzontale e un coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione: $S = S_S * S_T$, essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T il coefficiente di amplificazione topografica.

Inoltre, F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, sul sito di riferimento rigido orizzontale e T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da: $T_C = C_C * T_C$. C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo.

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_O e T*C relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite di seguito, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi:

categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \leq 1{,}40 - 0{,}40 * F_o * (a_g/g) \leq 1{,}20$	$1{,}10 * (T^*_C)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \leq 1{,}70 - 0{,}60 * F_o * (a_g/g) \leq 1{,}50$	$1{,}05 * (T^*_C)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \leq 2{,}40 - 1{,}50 * F_o * (a_g/g) \leq 1{,}80$	$1{,}25 * (T^*_C)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \leq 2{,}00 - 1{,}10 * F_o * (a_g/g) \leq 1{,}60$	$1{,}15 * (T^*_C)^{-0{,}40}$

Tabella 10: Espressioni di Ss e di Cc

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica

locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati di seguito:

categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 11: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST

Classificazione del suolo con il metodo MASW

Per la caratterizzazione sismica del sottosuolo è stato preso in considerazione il profilo sismico ti tipo MASW. eseguito per il progetto definitivo di "Sistemazione Piazzale Capannina", ubicato in Via Lungomare (al confine tra il comparto 6 e 7), sufficientemente rappresentativo, in considerazione dell'omogeneità dei litotipi affioranti, di tutta l'area del Quartiere "Pennello". Si precisa, anche, che anche il profilo di tipo MASW n° 8, realizzato a tergo del lato sud - ovest del settore in studio (area prossima al comparto 1), e allegato al PSC ha dato risultati del tutto simili. Pur tuttavia, vista la vasta estensione dell'area in esame, non si esclude che tali terreni oggetto di studio non possono ricadere in categorie di sottosuolo diverse.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi geofoni posti sulla superficie del suolo. Recenti studi, infatti, hanno consentito di creare un modello matematico basandosi sull'analisi delle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. Il metodo si basa sull'analisi spettrale del sismogramma, mediante trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive in quanto si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo alle varie lunghezze d'onda (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati più superfi-

ciali e quindi danno informazioni sui primi metri di profondità invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano spessori maggiori di terreno.

Strumentazione utilizzata

L'apparecchiatura utilizzata per l'esecuzione delle indagini MASW consiste in un sismografo portatile accoppiato ad un sistema di rilevazione del segnale costituito da una serie di 12 geofoni con frequenza propria di oscillazione pari a 4.5 hz. Il sismografo consente l'amplificazione statica e dinamica del segnale; quella dinamica (regolazione del guadagno) permette di amplificare il segnale nel suo insieme, compreso il rumore di fondo. Per ottenere un segnale migliore è possibile sommare in memoria più tracce riferite alla stessa coppia energizzatore - geofono (stacking). Poiché il rumore è casuale mentre il segnale è costante, tale sommatoria finisce per esaltare quest'ultimo a scapito del disturbo. L'energizzazione del terreno è avvenuta tramite una massa battente del peso di 6 Kg. La disposizione dei geofoni è stata di tipo lineare con punto di scoppio e ricevitori collocati lungo una linea retta, distanza intergeofonica pari a 3 m, e la sorgente collocata ad una distanza di 6 m dal primo geofono, esternamente all'array; l'intervallo di acquisizione è stato di 0.125 ms e la durata della finestra di registrazione pari a 2 sec. Durante la fase di acquisizione non sono stati applicati filtri di nessun genere al segnale sismico.

L'interpretazione dei dati di campagna è stata effettuata mediante il programma di interpretazione "SWAN" della GEOASTIER srl. L'interpretazione si è articolata sinteticamente nelle seguenti tre fasi:

- La prima fase è consistita nel passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata F – K

- La seconda fase nell'estrazione della curva di dispersione sperimentale mediante interpretazione dello spettro F-K;

- la terza ed ultima fase è consistita nell'inversione, ovvero nella generazione di un modello sintetico a cui si associa una curva di dispersione teorica ben sovrapposta a quella sperimentale.

Interpretazione delle prove MASW

Nel sito di nostro stretto interesse, è stata presa in considerazione, per la valutazione delle onde sismiche di taglio V_{S30}, l'indagine di tipo a MASW eseguita in data 15/12/2011, in Via Lungomare (all'interno del comparto 7), dal Geologo Carmine Nigro.

Figura 16: Ubicazione indagine sismica di tipo MASW

Tale indagine ha messo in evidenza la presenza di 5 sismostrati con velocità delle onde di taglio diverse, nella tabella che segue si riportano le velocità dei singoli strati

Profondità dal p.c. in mt	Velocità onde di taglio V_{s30}
da 2 a 5	375
da 5 a 8	190
da 8 a 12	600
da 12 a 26	750
da 16 a ∞	306

Tabella 12: Velocità delle onde di taglio relative alla MASW eseguita in Via Lungo Mare

Il valore calcolato delle velocità delle onde sismiche di taglio V_{s30}, quindi, è risultato pari a **411m/sec**. Anche, nella prova Masw 8, realizzata per i lavori del PSC, le velocità delle onde sismiche di taglio V_{s30} hanno avuto un valori analoghi con velocità di V_{s30} pari a **427 m/sec**; quindi, in ambedue i casi, la categoria sismostratigrafica del suolo è di **tipo "B"**.

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(DM 14/01/2008)
CATEGORIA DI SOTTOSUOLO
"B"
CATEGORIA TOPOGRAFICA
"T1"

VERIFICA DEL PUNTO DI LIQUEFAZIONE

Metodo utilizzato

La valutazione del rischio di liquefazione dei terreni sabbiosi saturi è divenuta obbligatorio con l'Ordinanza del Presidente del consiglio dei Ministri n° 3274/03.

Per liquefazione si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno non coesivo saturo la diminuzione della resistenza e/o rigidezza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione di sconfinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il metodo di calcolo utilizzato (Seed ed Idriss) richiede la conoscenza di pochi parametri geotecnici di impiego corrente e dei parametri sismici necessari alla simulazione dello sforzo ciclico indotto dal terremoto.

La verifica si basa sulla determinazione del fattore di resistenza alla liquefazione calcolato come rapporto tra lo sforzo di taglio limite che induce liquefazione e lo sforzo di taglio massimo indotto dal sisma, prescindendo dalle pressioni interstiziali e dalle deformazioni che si sviluppano durante il sisma stesso.

Lo sforzo limite e lo sforzo massimo sono resi adimensionali tramite il rapporto di sforzo ciclico che si ottiene normaliz-

zando l'ampiezza dello sforzo di taglio con la pressione verticale effettiva iniziale $\sigma_v^{'}$ secondo la formulazione

$$F = \frac{(\tau/\sigma_v^{'})_{\lim}}{\tau/\sigma_v^{'}}$$

Esistono diversi metodi per determinare la resistenza alla liquefazione basati sullo studio del comportamento dei campioni durante le prove di laboratorio oppure sull'impiego di prove in situ nelle località che avevano dato luogo a manifestazioni di liquefazione. In ciascuno dei due casi si è arrivati a proporre delle correlazioni fra la resistenza alla liquefazione ed i parametri sismici e geotecnici del sito. Il parametro di cui esistono in letteratura il maggior numero di correlazioni e confronti è il numero di colpi della prova SPT.

La formulazione usata consente di tener conto del carattere sporadico dei picchi di accelerazione massima valutando il rapporto d sforzo ciclico indotto dal terremoto con riferimento ad un valore medio $\tau_{av} = 0.65\tau_{\max}$ anziché al valore massimo $\tau_{\max}$

Il fattore di resistenza alla liquefazione è quindi dato da

$$F = \frac{(\tau/\sigma_v^{'})_{\lim}}{\tau_{av}/\sigma_v^{'}}$$

Dove:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_v^{'}} = 0.65(a_{\max}/g)r_d\,(\sigma_v/\sigma_v^{'})$$

La resistenza alla liquefazione è valutata in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva e della densità relativa utilizzando le correlazioni fra rapporto di sforzo ciclico e numero di colpi osservate in terreni che hanno dato luogo a fenomeni di liquefazione e non liquefazione durante i terremoti reali.

Nell'abaco così derivato le linee relative ad un terremoto di data magnitudo separano il campo dei siti di probabile liquefazione e quello dei siti in cui questa è improbabile.

Calcolo del punto di liquefazione in condizioni sismiche

Il potenziale di liquefazione è stato calcolato con il programma "*Liquesab*" che si avvale di dati provenienti dalle prove SPT dei terreni sabbiosi sottoposti a carichi ciclici.

I parametri utilizzati per la stima sono quelli dedotti dalla campagna indagini geognostiche e prove di laboratorio eseguita dalla ditta *Geoconsol di Cosenza* a corredo del *Piano Strutturale Comunale (P.S.C.)* del Comune di Vibo Valentia, limitatamente perà al sondaggio a carotaggio continuo distinto con il n° S8.

In fase di calcolo il programma valuta, per ciascun SPT eseguito, il numero dei colpi corretto in modo da considerare l'effetto della pressione litostatica. Tale correzione viene effettuata utilizzando un coefficiente correttivo elaborato in funzione della profondità di esecuzione della prova e della densità relativa.

Il numero di colpi corretto consente di valutare per un dato valore di magnitudo il rapporto di sforzo ciclico che provoca liquefazione: se il fattore della resistenza alla liquefazione F è maggiore di 1,25 il deposito è considerato non liquefacibile.

Nel caso in questione per la verifica del punto di liquefazione delle sabbie si è proceduto prendendo in considerazione i sotto elencati parametri:

Profondità della falda = 3,3 metri
Magnitudo = 7
Accelerazione massima = 0,40 m/s^2

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

DATI DI CALCOLO

VERIFICA N°	1	MAGNITUDO	7	CARICO (kPa)	
AREA		ACCELERAZIONE MAX.	0,4	PROFONDITA' DEL CARICO (m)	
PROFONDITA' FALDA (m)	3,3				

DATI SULLE PROVE

PROVA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PROF.(m)	3	6	9												
(N)60	18	18	16												
% FINI	8	5	98												

DATI SULLA STRATIGRAFIA

STRATO N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROFONDITA' (m)	3	6	9							
DENSITA' (kN/mc)	17	18	19							
CLASSIFICAZIONE	SW	SW	CH							

Figura 17: Dati di calcolo

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

METODO SEED-IDRISS

MAGNITUDO = 7 ag (max.) = 0,4

Prova N°	Prof. (m)	% Fini	(N)60	Pt (kPa)	Pe (kPa)	CN	(N1)60	rd	CRR7.5	CRReq	CSR	FSL	PL/IPL %	Rischio di liquefazione	CL
1	3	8	18	51	51	1,29	24	0,979	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	6	5	18	105	78,52	1,11	20	0,957	0,215	0,256	0,332	0,771	49	MODERATO	2-3
3	9	98	16	162	106,1	0,97	24	0,922	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

LEGENDA

% Fini	Contenuto in fini	Pt	Tensione verticale litostatica totale
(N)60	Resistenza penetrometrica misurata nella prova Standard Penetration Test	Pe	Tensione verticale litostatica efficace
CN	Fattore correttivo per la tensione efficace alla profondità di prova	rd	Coefficiente di riduzione delle tensioni
(N1)60cs	Resistenza penetrometrica (N1)60 corretta (sabbia pulita)	FSL	Fattore di sicurezza
CRR7.5	Resistenza al taglio mobilitata per un terremoto di magnitudo 7.5	PL	Probabilità/Indice del potenziale di liquefazione
CRReq	Resistenza al taglio mobilitata corretta (magnitudo<> di 7.5)	CL	Classe di fattibilità geologica
CSRfsl	Sforzo di taglio indotto dal sisma corretto con un fattore di sicurezza fsl	N/A	Non applicabile per (N1)60>30 o altro

Figura 18: Verifica

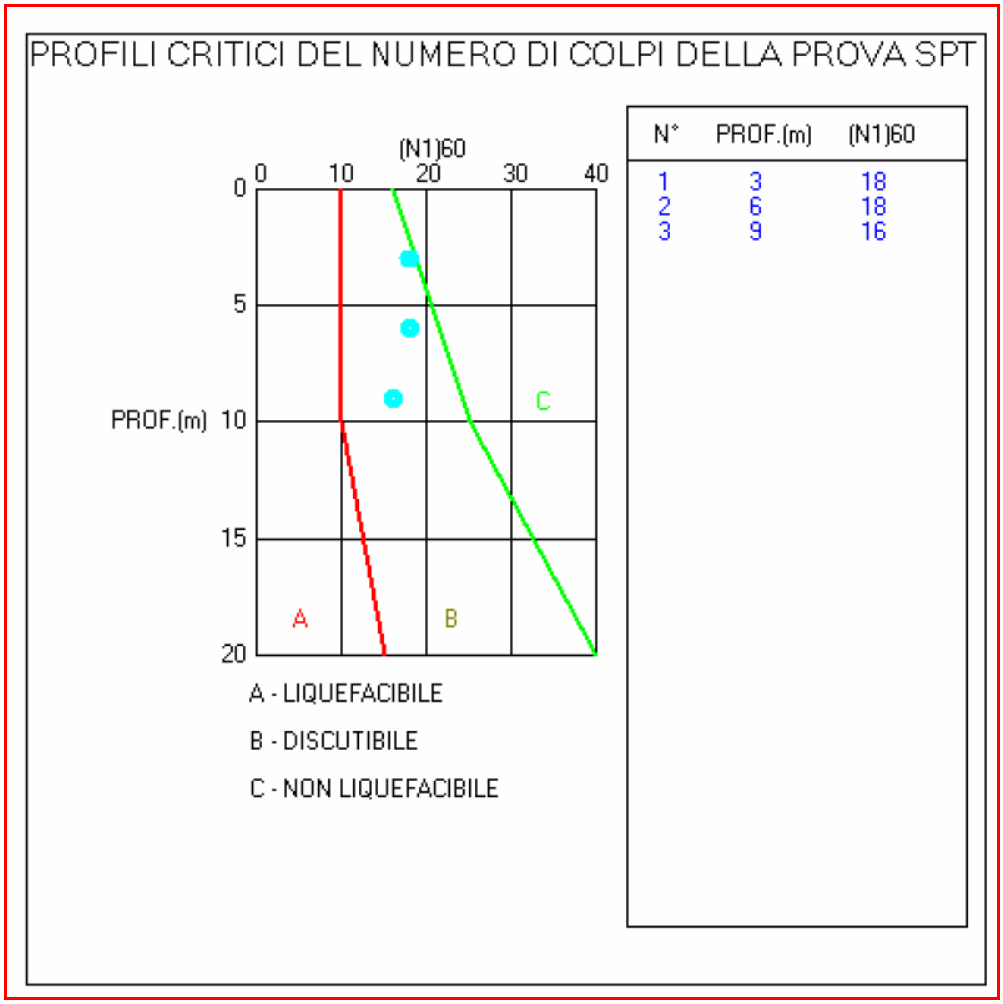

Figura 19: Profili critici

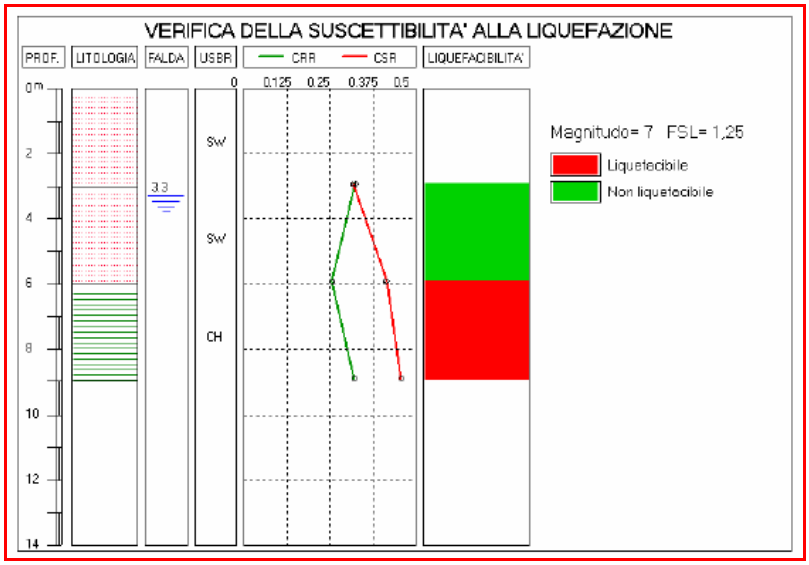

Figura 20: Verifica della suscettibilità alla liquefazione con sima di magnitudo pari a 7

Dai risultati del calcolo si evince che, i depositi alluvionali costituiti da materiali bel classati, con percentuali elevati di materiali fini, hanno un grado di suscettibilità alla liquefazione da moderato\basso a non liquefacibile. Si suggerisce, tuttavia, in sede di predisposizione di progetti edilizi di effettuare una verifica puntuale del potenziale di liquefazione, secondo il paragrafo 7.11.3.4 del NTC/2008.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'analisi delle diverse condizioni morfologiche, idrogeologiche, geolitologiche, e sismiche ed in rapporto alle finalità progettuali, si ritiene di poter trarre le seguenti considerazioni conclusive:

⇒ Il Quartiere "Pennello", ubicato in località Vibo Marina, ricade su terreni pianeggianti, con altitudini comprese tra le quote di circa metri 1,00 e circa metri 4,00 s.l.m., in tale settore, non sono stati individuate condizioni di instabilità morfologiche, né appaiono ipotizzabili modificazioni sostanziali di assetto tali da poter pregiudicare l'edificato ivi presente.

⇒ Dal punto di vista idrogeologico, invece, tutto il Quartiere "Pennello" è soggetto a rischio idraulico, a causa di una conformazione morfologica, del contesto ove è inserito, particolarmente sfavorevole. Difatti, il sito in questione è localizzato su un'area alluvionale, prossima alla costa, con pendenze quasi nulle (<10°), mentre, nell'immediato entroterra, è presente un versante, con andamento NE-SW, avente un elevato gradiente topografico, difatti, si passa rapidamente dalla quota di mt 50 s.l.m. alla quota di circa mt 450 s.l.m., con pendenze comprese tra 30° e 40°, ma a tratti si superano abbondantemente i 50°, fino a quando non si raggiunge il centro abitato di Vibo Valentia che sorge su un altopiano dove le pendenze sono inferiori a 10°. A causa di ciò, il reticolo idrografico principale, dei vari fossi qui presenti, che inizia a margine dell'altopiano, raggiunge rapidamente la parte costiera sviluppandosi lungo questi versanti acclivi, di conseguenza le sezioni trasversali degli alvei sono molto ridotte. Questo tipo di morfologia, in occasioni di precipitazioni particolarmente intese, unita alla totale

mancanza di manutenzione e pulizia degli alvei, o addirittura in taluni casi alla cancellazione o l'ostruzione di tatti di essi, genera, soprattutto dove si ha il brusco cambiamento di pendenza, l'esondazione di notevoli volumi idrici dagli alvei naturali, talvolta misti a fango e detriti. L'esondazioni, derivanti dall'evento alluvionale del 3 luglio 2006, si sono verificate, a causa dell'eccezionale trasporto di materiale solido e soprattutto dal restringimento degli alvei. In effetti, lungo i fossi non si effettuavano mai le opportune manutenzioni e pulizie; per di più, lungo i cigli degli alvei erano presenti manufatti di diverso tipo, alcuni tratti di impluvi tombati, o addirittura cancellati con totale riempimento dell'originaria incisione che avrebbe dovuto accogliere le acque piovane. In altri casi i fossi sono stati spesso usati abusivamente come discarica di enormi quantitativi di rifiuti urbani di vario genere e di materiale inerte.

Successivamente all'evento alluvionale sono stati eseguiti numerosi interventi, proposti nel "Piano Versace", di messa in sicurezza e pulizia degli alvei che hanno portato enormi benefici all'area costiera, in termini di sicurezza idrogeologica.

Dalle simulazioni, presenti nello studio di "Aronica - Scalamndrè", emerge che sono diminuite di molto le altezze idriche di inondazione e che le stesse quando avvengono sono per la maggioranza dei casi con tiranti idrici variabili tra 0,05 ÷ 0,20 m e più raramente tra 0,20 ÷ 0,50 m, sicuramente queste altezze idriche non mettono in rischio di vita gli abitanti, ma potrebbero causare irrisori allagamenti dei piani terra e/o seminterrati.

Tali benefici effetti sulle altezze idriche di allagamento, purtroppo, non si rispecchiano nelle carte del rischio e della pericolosità idraulica poiché esse dipendono dalla superficie sog-

getta all'allagamento a prescindere dalle altezze idriche di inondazione.

Una soluzione per eliminare completamente le condizioni di eventuali inondazioni potrebbe essere quella di realizzare una rete di raccolta delle acque meteoriche e con l'ausilio di vasche di laminazione, e se è necessario, con delle stazioni di sollevamento in grado di recepire i volumi d'acqua superficiali e trasportarli presso il recapito finale. Un sistema di questo tipo porterebbe all'annullamento delle altezze idriche superficiali migliorando il deflusso e quindi la conseguente riduzione della pericolosità idraulica del quartiere. Il sito oggetto di studio è caratterizzato, dal punto di vista litologico, da **depositi alluvionali recenti**, con spessori variabili comunque superiori a 7,00 metri che ricoprono i terreni sedimentari ascrivibili ai "**calcari evaporitici**".

⇒ Per ciò che concerne il rischio sismico il comune di Vibo Valentia ricade nella zona di I° categoria, con accelerazioni orizzontali massime su suolo rigido pari a 0,35 g.

⇒ Dalle indagini geotecniche, eseguite nel Quartiere "Pennello" con committenza pubblica ma per altri progetti, emerge che i terreni oggetto di studio, costituiti da depositi alluvionali con falda poco profonda, possiedono una suscettibilità alla liquefazione da moderata a non liquefacibile. Si suggerisce, tuttavia, in sede di predisposizione di progetti edilizi di effettuare una verifica puntuale del potenziale di liquefazione, secondo il paragrafo 7.11.3.4 del NTC/2008.

⇒ La profondità del pelo libero della falda freatica, è di circa 3 metri.

⇒ La categoria di sottosuolo, in riferimento all'Ordinanza Ministeriale n. 3274 e s.m.i, D.M. 14.09.2005 e D.M. 14.01.2008, è di

Tipo B, in quanto le velocità delle onde di taglio V_{S30} sono compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

⇒ La categoria topografica è di tipo T1, in quanto si tratta di "pendii con inclinazione media ≤ 15°".

⇒ Infine, si precisa, che, anche se i terreni del quartiere "Pennello", presentano una certa omogeneità, le indagini utilizzate per questo lavoro non possono esser rappresentativi, in maniera puntuale di tutto il sito in studio, pertanto, per studi esecutivi di maggior dettaglio, è necessaria l'esecuzione un'adeguata campagna indagini.

IL GEOLOGO
DOMENICO PONTILLO
O.R.G. di Sicilia n° 1601

UNIONE EUROPEA

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI VIBO VALENTIA

"Studio di Fattibilità per il Recupero Urbanistico del Quartiere Pennello"

PISU- POR CALABRIA FESR 2007/2013- ASSE VIII
Linea d'Intervento 8.1.2.1.

TAV. 1 Carta Corografica

Studio Geologico, Geotecnico e di Pericolosità Sismica
Geol. Domenico Pontillo

UNIONE EUROPEA

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI VIBO VALENTIA

"Studio di Fattibilità per il Recupero Urbanistico del Quartiere Pennello"

PISU- POR CALABRIA FESR 2007/2013- ASSE VIII
Linea d'Intervento 8.1.2.1.

TAV. 2 Carta della Perimetrazione dei Bacini

Studio Geologico, Geotecnico e di Pericolosità Sismica
Geol. Domenico Pontillo

UNIONE EUROPEA

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI VIBO VALENTIA

"Studio di Fattibilità per il Recupero Urbanistico del Quartiere Pennello"

PISU- POR CALABRIA FESR 2007/2013- ASSE VIII
Linea d'Intervento 8.1.2.1.

TAV. 3 Carta Geologica

Studio Geologico, Geotecnico e di Pericolosità Sismica
Geol. Domenico Pontillo

UNIONE EUROPEA

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI VIBO VALENTIA

"Studio di Fattibilità per il Recupero Urbanistico del Quartiere Pennello"

PISU- POR CALABRIA FESR 2007/2013- ASSE VIII
Linea d'Intervento 8.1.2.1.

TAV. 4 Carta della Microzonazione Sismica

Studio Geologico, Geotecnico e di Pericolosità Sismica
Geol. Domenico Pontillo

UNIONE EUROPEA

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI VIBO VALENTIA

"Studio di Fattibilità per il Recupero Urbanistico del Quartiere Pennello"

PISU- POR CALABRIA FESR 2007/2013- ASSE VIII
Linea d'Intervento 8.1.2.1.

TAV. 5 Carta delle Altezze Massime di Allagamento

Studio Geologico, Geotecnico e di Pericolosità Sismica
Geol. Domenico Pontillo