



**COMUNE DI PIANO DI SORRENTO
CITTA' METROPOLITA DI NAPOLI**

**LAVORI DI RIPRISTINO DI UN TRATTO DI STRADA LUNGO VIA PONTE ORAZIO E DI
MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL COSTONE TUFACEO SOTTOSTANTE LA SEDE DI VIA
PONTE ORAZIO NEL COMUNE DI PIANO DI SORRENTO.**

PROGETTO ESECUTIVO

**il R.U.P.
Arch. Francesco Saverio Cannavale**

**Il progettista
Ing. Michele Ercolano**

Studio vulcanologico e geologico-tecnico

CODICE PROGETTO		DATA	REVISIONE	PAGINE
G _ P I A _ 2 0 _ 1 9		26/07/2019	0 1	24
5				
4				
3				
2			Dott. Geol. Luigi Persico	
1		01/08/2019	Prof. Geol. Giuseppe Rolandi	
rev.	descrizione	data	redatto	verificato

Premessa

Per incarico dell' *Amministrazione Comunale di Piano di Sorrento*, – Ufficio Tecnico – V Settore Lavori Pubblici – la *G.I.A. Consulting S.r.l.*, ha eseguito una campagna d' indagini geognostiche, geofisiche e di rilievi topografici, propedeutica all' esecuzione del progetto di ripristino di un tratto di strada di Via Ponte Orazio e di Manutenzione straordinaria del costone tufaceo sottostante CUP: B13D18000300004.

Per conto della medesima Società gli scriventi Prof. Geol. Giuseppe Rolandi e dott. Geol. Luigi Persico hanno eseguito lo studio richiamato in oggetto a supporto del medesimo intendimento progettuale, costituente un approfondito quadro conoscitivo che concorre alla definizione della pericolosità e del rischio geologico-geomorfologico dell' ammasso tufaceo presente nella località Ponte Orazio, così come previsto dalla vigente normativa in materia appresso riportata.

In particolare, lo studio redatto dagli scriventi, previo un preliminare inquadramento geologico-geomorfologico e degli aspetti idrografico - idrologici ed idrogeologici della zona circostante l' area di interesse, ha avuto la finalità di ricostruire l' assetto geologico - strutturale dell' ammasso tufaceo, attraverso il supporto di dati quantitativi, acquisiti da sopralluoghi di dettaglio, dall' analisi delle caratteristiche fisico-meccaniche, dalle indagini geofisiche e dall' impiego laser scanner quale strumento di rilievo tridimensionale ad alta precisione del fronte tufaceo, indispensabili per la stesura del modello geologico - tecnico a supporto dell' opera in progetto.

Lo studio è stato eseguito ai sensi della seguente normativa vigente:

- *Norme di Attuazione ed Allegato D del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell' Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale, adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.1 del 23/02/2015 (B.U.R.C. n. 20 del 23/03/2015);*
- *Decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163 - Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE - (G.U. n. 100 del 2 maggio 2006);*
- *D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE». (G.U. n. 288 del 10 dicembre 2010);*
- *D.L. 13 maggio 2011, n. 70 - Prime disposizioni urgenti per l'economia – Misure in materia di appalti, demanio marittimo, semplificazioni in edilizia, risorse idriche;*
- *D.M.17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».*
- *Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (Gazzetta Ufficiale 11/2/2019, n. 35 - Suppl. ord. n. 5).*

- *Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte prima: regole generali – UNI ENV 1997-1 (Aprile 1997);*
- *Eurocodice EN 1997-2: 2007 (E) Sezione 2 sulla “Programmazione delle Indagini sui Terreni”;*
- *Associazione Geotecnica Italiana (giugno 1977) - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;*
- *Associazione Geotecnica Italiana (maggio 1990) - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio;*
- *Legge Regione Campania 7 gennaio 1983 n. 9 “Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico”.*

1 – Assetto geologico – morfologico generale della dorsale Penisola Sorrentina – Monti Lattari

Questa dorsale costituisce un alto strutturale allungato trasversalmente alla catena appenninica, delimitata dalle profonde depressioni della Piana Campana a nord e del fiume Sele a Sud. L'ossatura della dorsale è costituita da una successione calcareo-dolomitica mesozoica, potente più di mille metri, che risulta immergente verso NNW individuando, in grande, una struttura monoclinale. Questa è caratterizzata dall'affioramento di calcari dolomitici triassici e giurassici, in giacitura a reggipoggio sul versante Salernitano e da calcari cretacici in giacitura a franapoggio, localmente ricoperti da flysch trasgressivi miocenici, sul versante napoletano. I terreni più recenti sono rappresentati da depositi continentali detritici e piroclastici, i primi sono riferibili a breccie di versante e a ghiaie conglomeratiche di conoide, i secondi a depositi ignibritici e del Tufo Grigio Campano, vulcanoclastiti, spesso rimaneggiate ed umificate, collegate a prodotti da caduta degli apparati vulcanici dei Campi Flegrei e del Vesuvio.

Tali piroclastiti rivestono ampie porzioni dei versanti calcarei e affiorano maggiormente sul versante napoletano che in generale, nonostante le elevate pendenze, si presenta comunque meno acclive del versante Salernitano-Amalfitano.

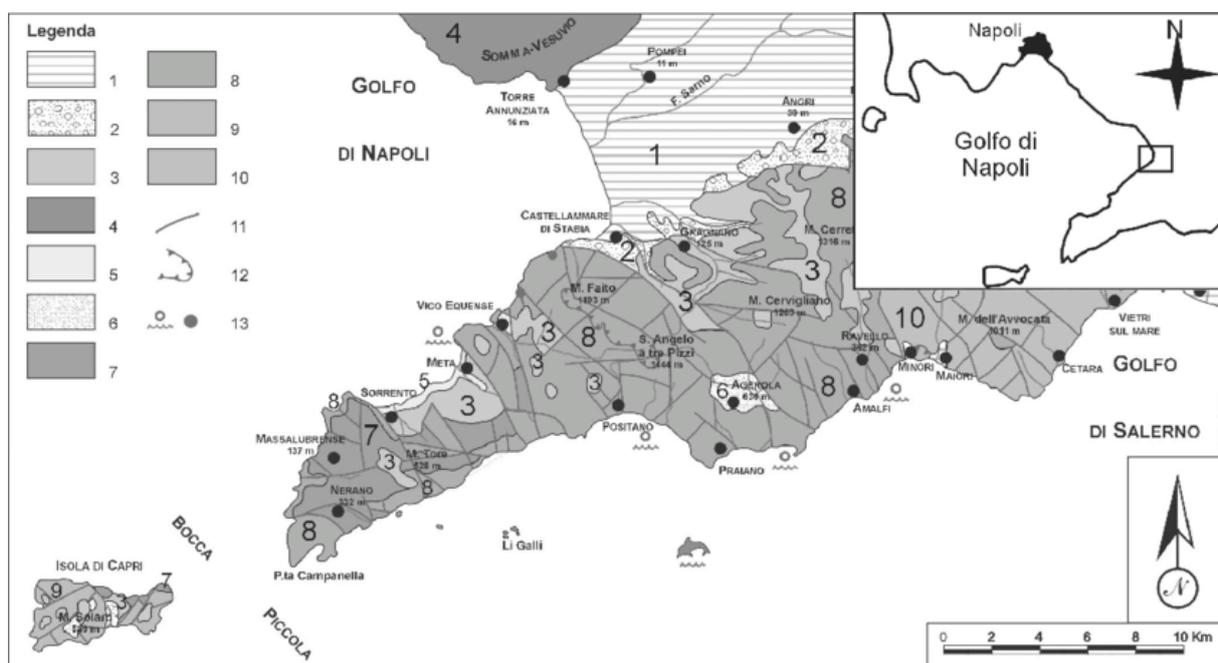


Fig. 1 - Schema geologico dei Monti Lattari (da Bonardi et al., 1988 mod.): 1) Depositi marini, piroclastici ed alluvionali recenti e attuali; 2) Detrito di falda; 3) Depositi piroclastici in posto o rimaneggiati; 4) Depositi vulcanici del Somma-Vesuvio; 5) Ignimbrite campana (IC) (39.000 anni fa); 6) Conglomerati di Agerola; 7) Arenarie mioceniche della formazione di Punta Lagno; 8) Calcari dolomitici intensamente fratturati e carsificati; 9) Calcari (Lias-Cretaceo); 10) Dolomie triassiche; 11) Faglia; 12) Sovrascorrimento; 13) Sorgente e sorgente sottomarina.

L'attuale assetto morfostrutturale della Penisola Sorrentina è stato raggiunto durante il Pleistocene medio per l'azione di diverse fasi tettoniche da collegarsi in parte ai movimenti compressivi mio-pliocenici (sovrascorrimenti e faglie trascorrenti), in parte ad una tettonica distensiva plio-quadernaria caratterizzata da faglie con rigetti prevalentemente verticali.

In particolare queste ultime hanno disarticolato i monti Lattari, individuando alcuni alti strutturali (M.Faito, M. Pendolo) ed alcune depressioni costiere ed in tramontane, come il Graben di Sorrento e la Piana di Agerola.

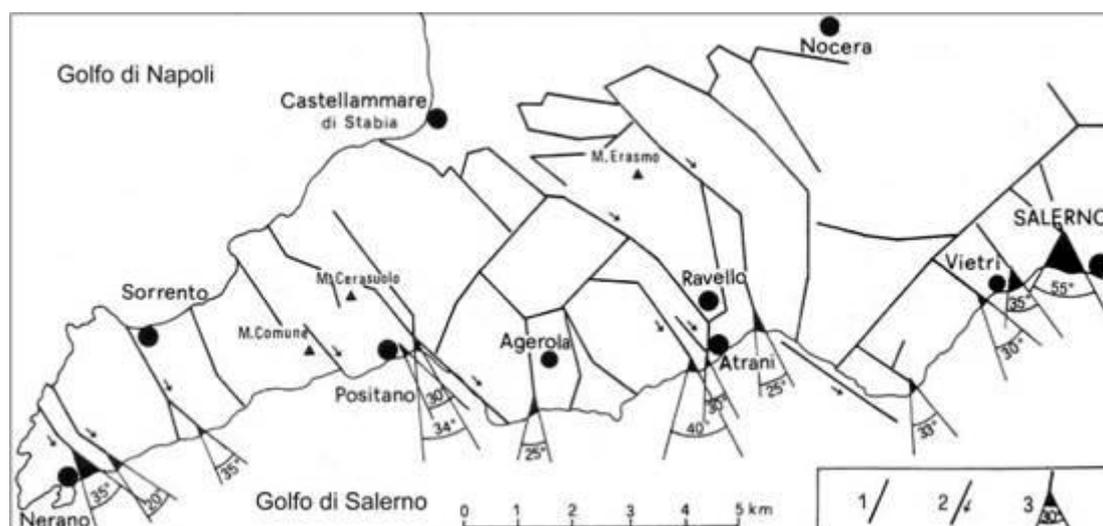


Fig. 2 - Schema strutturale della Penisola Sorrentina. 1: lineamenti strutturali principali; 2: principali faglie trascorrenti; 3 depressioni costiere subtriangolari e rispettivi angoli al vertice.

Il sollevamento e la disarticolazione della dorsale dei monti Lattari ha chiaramente condizionato la deposizione dei terreni quadernari; essi appaiono prevalentemente preservati dall'erosione nelle depressioni tettoniche e lungo le fasce pedemontane, dove presentano spessori considerevoli spesso superiori ai 50 metri. Le osservazioni in prossimità dell'area di interesse indicano che gran parte degli abitati di Piano di Sorrento e di Meta si estendono su ampie zone pianeggianti, corrispondenti alla porzione sommitale dei depositi associati all'eruzione del **Tufo Grigio Campano (TGC) (Ignimbrite Campana IC**, di 39.000 anni fa), la cui continuità deposizionale è spesso interrotta da strette e approfondite linee torrentizie, dette *valloni*. Queste incisioni sono caratterizzate da direzioni N/NW – S/SE per quasi tutto il percorso e da un profilo di base che tende ad approfondirsi progressivamente, raggiungendo una profondità massima, rispetto alla superficie della piana, di circa 50-60 m.

Tutte le linee di drenaggio hanno origine nella retrostante zona collinare, corrispondenti ai fianchi dei rilievi carbonatici, con l'incisione delle rocce calcaree e arenaceo-marnose, estesa alle

contigue fasce detritiche presenti ai piedi dei versanti, fino ad intersecare i depositi ignimbrici nel tratto terminale. Il rapido approfondimento delle incisioni fluviali, alimentate da sporadiche sorgenti e con discreto ruscellamento in alveo durante i periodi piovosi, è da mettere in relazione sia alla agevole erodibilità dei litotipi vulcanici, sia dalla variazione del livello del mare dopo la messa in posto della sequenza tufacea, che ha comportato per gli alvei la necessità di raccordarsi velocemente al livello di base dell'erosione, con i fianchi degli impluvi che, non avendo tempo di allargarsi, hanno assunto configurazioni pressoché verticali, dando origine ai “valloni” incisi nel Tufo Grigio Campano.

2 – L'Ignimbrite Campana (IC)

Questa formazione, presente diffusamente nella dorsale Penisola Sorrentina – Monti Lattari (**Fig. 1**), è diffusa in tutte e 5 le provincie della Campania (**Fig. 3**). Fu emessa in seguito ad una eruzione di 39.000 anni fa (Rolandi et al, 2003) e viene identificata anche con il nome di *Tufo Grigio Campano (TGC)* (Di Girolamo 1968). Verranno di seguito illustrate le sue principali caratteristiche vulcanologiche e geotecniche in ambito regionale, con l'intento di dimostrare come, in funzione delle diverse condizioni deposizionali, i materiali di questa eruzione mostrano una marcata differenziazione in risposta agli stress applicati.

2.1 – Aspetti vulcanologici del TGC

E' un flusso piroclastico emesso 39.000 anni fa, che si è espanso ad alta velocità, ad alte temperature e su lunghe distanze. Nella **Fig.4** viene rappresentato lo schema di formazione di un flusso piroclastico: In **a**) e **b**) si ha la formazione e la discesa lungo i fianchi di una struttura vulcanica o di una faglia, in **c**) si ha la formazione di un “*plume convettivo*” alla rottura di pendenza, per diminuzione della velocità, attraverso un meccanismo di galleggiamento che si protende nell'atmosfera, in **d**) la nube piroclastica si è strutturata con altezze di 4 – 10 km, in grado di sormontare i rilievi circostanti (**Fig. 3**).

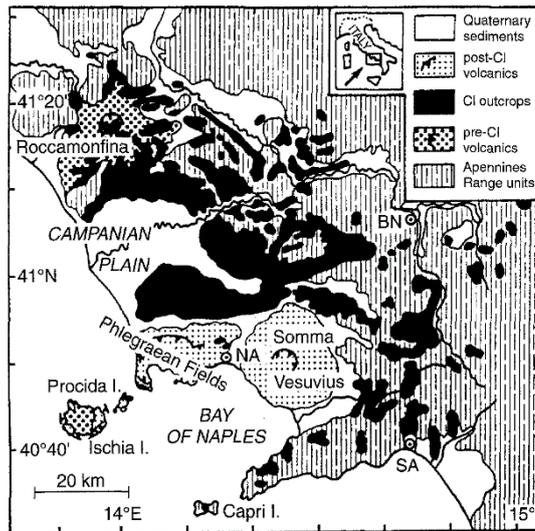


Fig. 3 – La distribuzione dell’Ignimbrite Campana a scala regionale

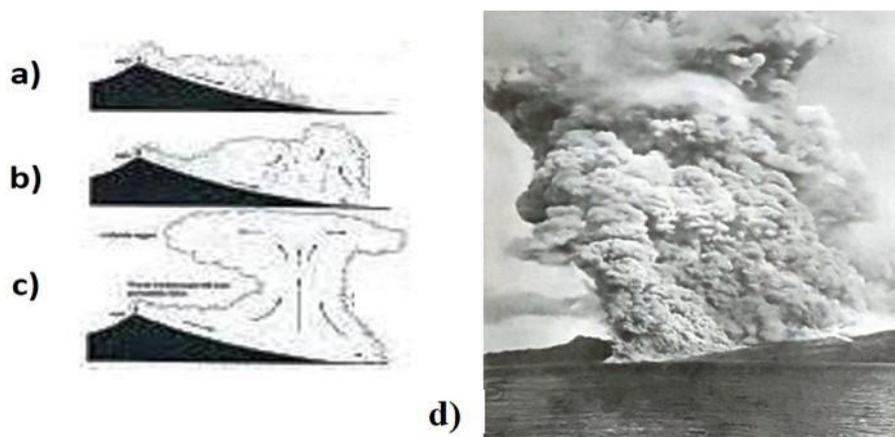


Fig. 4 - Modello di espansione di Flussi piroclastici

1.2 – Proprietà geotecniche

Dallo schema di **Fig. 5** si deduce che esiste una diretta correlazione tra il modello deposizionale e le proprietà fisico-meccaniche che il materiale ignimbrítico assume via via che viene depositato in zone: **a)** prossimali, **b)** lungo le pendici dei rilievi carbonatici investite del flusso, **c)** intermedie, **d)** distali. In relazione a ciò l’**IC**, ovvero il **TGC**, anche se si è depositato in un unico atto eruttivo, si caratterizza per la variabilità delle sue caratteristiche fisico-meccaniche con la distanza dall’area sorgente, potendo presentare: **1)** una consistenza litoide simile a quella delle rocce, **2)** una consistenza medio-bassa tipica delle rocce tenere, **3)** una bassa consistenza tipica di una “soft rock”, che in taluni casi può sbriciolarsi con la semplice pressione delle mani (Rolandi et al 2019):



**Fig. 5 - Distribuzione dell' IC nella Piana Campana e variazione della σ_c .
La curva rossa indica una probabile area sorgente**

- *Nel caso 1*), il comportamento è tipico dell'ammasso tufaceo prossimo alla zona di emissione, o più in generale, della parte basale soggetta a maggiore schiacciamento nelle zone di attraversamento dei rilievi Appenninici (Di Girolamo 1968). In tali contesti, infatti, il Tufo Grigio presenta una struttura simile a quella del *piperno*. La più alta temperatura ed il maggiore spessore sono fattori che causano lo schiacciamento delle scorie scure più bollose, dette *fiamme*, conferendo al Tufo la cosiddetta tessitura *eutassitica* (Fig. 6 a, b), mentre i frammenti di maggiori dimensioni, meno bollosi, detti *magma blobs* (Rolandi et al 2019), sono presenti con una forma rotondeggiante e con una consistenza molto compatta (Fig. 2a).

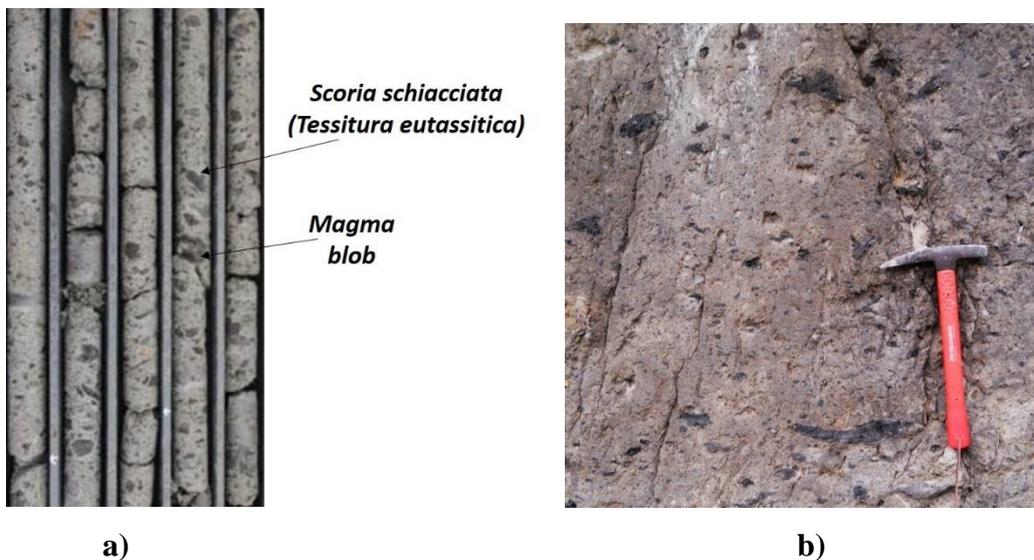


Fig. 6 – Tufo Grigio carotato a Giugliano (a) (Rolandi et al 2019) e presente alla base delle successioni tufacee sui crinali Appenninici (b) nella varietà *Piperno* (Di Girolamo 1968)

Parametri fisico Meccanici	
ρ (kgmc)	1600 - 2400
η_{eff} (%)	9 - 35
σ_c (MN/mq)	12 - 55
σ_T (MN/mq)	3- 7
φ (°)	29 - 35
C (MN/mq)	6 - 13

Tab. 1 - Parametri fisico-meccanici della varietà Piperno

I parametri che si riscontrano nella varietà *piperno* (Tab. 1) sono corrispondenti ai blocchi lavici imballati in prossimità dell'area sorgente (frammenti non bollosi schiacciati o di forma rotondeggiante, detti magma blobs, Rolandi et al. 2019), o negli affioramenti sui crinali Appenninici, dove l'ammasso nella zona basale subisce una compressione a causa degli effetti dello sforzo di trazione (Di Girolamo 1968). Tali parametri indicano valori medio-alti della densità, medio-bassi della porosità, buona compressione, trazione medio-bassa, buona coesione.

- *Nel caso 2*), il TGC si presenta quasi sempre in associazione con il sottostante piperno, venendo identificato come "*Tufo s.s.*". Tale facies presenta abbondanti pomici e scorie scure, immerse in una massa cineritica di colore generalmente più chiaro in grado di formare un ammasso tufaceo a struttura colonnare e a tessitura caotica, dove una parte delle scorie sono schiacciate e sono presenti assieme a quelle non schiacciate a contorno rotondeggiante e di discrete dimensioni (20cm), (Fig-7). Se la presenza delle scorie schiacciate aumenta il TGC prende il nome di "*Tufo Pipernoide*" (Di Girolamo 1968).



Fig. 7 – Tufo pipernoide a fessurazione colonnare

I dati fisico-meccanici (**Tab. 2**) indicano valori medio-bassi della densità, della porosità, della compressione e trazione, scadente coesione.

<i>Parametri fisico Meccanici</i>	
ρ (kgmc)	1300 - 1500
η_{eff} (%)	35 - 40
σ_c (MN/mq)	5 - 12
σ_T (MN/mq)	1 - 3
φ (°)	27 - 38
C (MN/mq)	1 - 6

Tab. 2 – Parametri fisico-meccanici della varietà Tufo s.s.

La varietà *tufo s.s.* è stata per il passato diffusamente usata come materiale da costruzione, specialmente in numerosi comuni a nord di Napoli, nel Casertano, nella zona di Angri e Nocera. Abbiamo osservato al riguardo, che, sebbene le caratteristiche fisico – meccaniche sono molto

variabili da luogo a luogo, come pure nella medesima località, mediamente, esse oscillano nell'intervallo di valori riportati in **Tab. 2**.

- *Nel caso 3*), il **TGC** è presente nelle zone intermedie della Piana Campana e nelle zone distali orientali, oltre l'Appennino. Le scorie sono di piccole dimensioni, immerse in matrice poco addensata.



Fig. 8 – TGC in facies intermedia – distale

In rapporto alla deposizione in facies distale questi ammassi di **TGC** **presentano** bassa densità ed alta porosità, sono molto deboli in compressione, resistenza alla trazione e coesione (**Tab. 3**).

<i>Parametri fisico Meccanici</i>	
ρ (kgmc)	<1300
η_{eff} (%)	> 40
σ_c (MN/mq)	<5
σ_T (MN/mq)	<1
φ (°)	27 - 38
C (MN/mq)	<1

Tab. 3 – Parametri fisico-meccanici del TGC in facies distale

Lo Slake durability test – Id₂

E' un test di durabilità in grado di valutare la resistenza del materiale roccioso agli agenti atmosferici e alla disintegrazione se sottoposto a due cicli standard di asciugatura e bagnatura (**Id₂**), accettato come test standard nella letteratura geotecnica anglosassone (Rock Mechanics Society).

Per quel che concerne, in particolare, i materiali ignimbratici, nella fattispecie il **TGC**, abbiamo mostrato nelle **Tab. 1, 2, 3** la loro ampia gamma di caratteristiche geomeccaniche, derivanti dal fatto che il meccanismo deposizionale esercita un controllo primario sul comportamento geomeccanico di questa ignimbrite.

Lo Slake durability test (**Id₂**) è un ulteriore parametro molto significativo che consente una pronta suddivisione dei materiali rocciosi, nella fattispecie, quelli ignimbratici, in due gruppi principali: ignimbriti *non durevoli* (**Id₂ 30%**), e ignimbrite *durevoli* (**Id₂ > 90%**), (**Tab 5**), sulla base dei dati geotecnici precedentemente riportati nelle **Tab. 1, 2, 3** (Moon 1993).

Slake Durability index (Id ₂ %)	Parametri fisico-meccanici corrispondenti							
	ρ (kgmc)	η _{eff} (%)	σ _c (MN/mq)	σ _T (MN/mq)	φ (°)	C (MN/mq)		
>98 MOLTO ALTO	>1500	<35	>15	>3	27-38	>6		
95-98 ALTO								
95-85 MEDIO-ALTO								
85-60 MEDIO	1300-1500	35-40	mag-15	<3	27-38	1 - 6		
60-30 BASSO								
<30 MOLTO BASSO	<1300	>40	<5	<3	27-38	<1		

Tab.4 – Classificazione dei tufi ignimbratici in base agli intervalli di valori dello slake durability index (Id₂) (Goodman 1989, correlati con i corrispondenti parametri fisico-meccanici (Moon1993)

In conclusione: Lo scopo di questo capitolo è stato quello di dimostrare che, in funzione delle diverse condizioni deposizionali, i materiali di una stessa eruzione, quale quella dell'IC di 39.000 anni fa, mostrano una marcata differenziazione in risposta agli stress applicati. In relazione a ciò vi sono depositi ignimbratici che rispondono allo stress come le rocce "normali" (ignimbriti durevoli), che si differenziano da altri (ignimbriti non durevoli) che si comportano come "rocce molli". In quest'ultimo caso, questi materiali mostrano molte proprietà di transizione tra rocce e suoli. La conoscenza del comportamento di questi materiali, in un senso o nell'altro, assume notevole importanza ai fini della stabilità dei pendii

3 – Caratteristiche vulcanologiche, morfo-strutturali e geologico-tecniche dell'ammasso di Tufo Grigio in Loc. Ponte Orazio

Vengono utilizzati i lineamenti geologico-strutturali e geomorfici discussi nel primo capitolo, nonché gli aspetti vulcanologici e geotecnici del TGC, molto presente nella costiera Sorrentina.

Tali aspetti sono stati, quindi, integrati da analisi di laboratorio per l'acquisizione dei dati geotecnici che caratterizzano questa formazione tufacea presente in località Ponte Orazio, unitamente ai dati topografici, stratigrafici, geosismici e geoelettrici, necessari per gli intendimenti progettuali inerenti il recupero della strada comunale che si snoda sul terrazzamento sommitale del medesimo ammasso tufaceo.

3.1 - Assetto geomorfologico dell'area d'intervento

Si sviluppa a partire dalla dorsale Penisola Sorrentina – Monti Lattari, lungo il vallone Lavinola, esteso circa 4 km e caratterizzato da un bacino idrografico molto ampio. Il ventaglio di testata si estende fino alle pendici occidentali del M. Comune, a partire dal quale, dopo aver attraversato le successioni calcaree, all'altezza della Loc. Trinità cambia direzione, assumendo andamento N/NW – S/SE fino allo sbocco a mare nei pressi della spiaggia del “Purgatorio”, segnando il confine tra i comuni di Piano di Sorrento e Meta (**Fig.9**). È uno dei valloni più belli, per la folta vegetazione arborea, della Penisola Sorrentina, ben visibile dai tre ponti di Meta, quello della zona Madonna di Rosella, quello del Corso Italia e quello detto Ponte Orazio (in origine O' Razio – Ponte del Dazio che si pagava per attraversarlo).

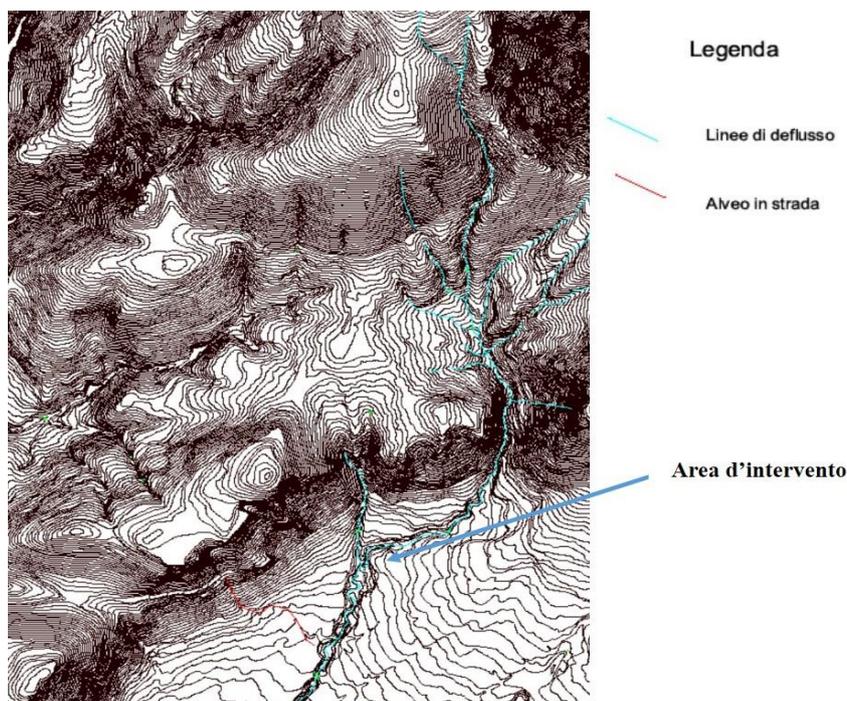


Fig. 9 - CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Il tratto di costone tufaceo oggetto d'intervento è quello centrale del vallone, in sinistra orografica ed è localizzato subito a valle del Ponte Orazio per una lunghezza complessiva pari a circa 100 m (**Fig. 9**). Il vallone evidenzia il massimo restringimento in corrispondenza del ponte, andando a costituire una vera e propria forra con le due pareti che distano tra loro pochi metri.

Solo in questo tratto le acque defluenti nell'alveo hanno modo di interagire direttamente con la parete tufacea e poter quindi svolgere una pericolosa azione di erosione sulla stessa.

Immediatamente a valle del ponte la sezione comincia ad allargarsi il letto dell'alveo ad allontanarsi dalla parete stessa, dapprima tenuto a distanza dal solo cumulo detritico formatosi nel tempo al piede del costone e successivamente anche dalla presenza di opere di protezione del fronte del cumulo consistenti essenzialmente in murature realizzate con mattoni di tufo.

La sezione tende successivamente ad allargarsi ulteriormente a causa della presenza di un pre-esistente impluvio, che si innestava quasi ad angolo retto sul vallone Lavinola, attualmente non più presente in quanto progressivamente colmato per lo più artificialmente, e che contribuiva a drenare le acque provenienti dai settori meridionali della struttura M. Crocione – Camaldoli, attualmente defluenti lungo la rete viaria (alvei strada), come si può anche rilevare anche dagli elaborati cartografici allegati al Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico predisposto dall'ex A.d.B. della Campania Centrale.

Proseguendo verso la costa, in corrispondenza del ponte del Corso Italia, la sezione valliva torna a restringersi.

3.2 - Lineamenti vulcanologici

In aggiunta a quanto descritto nel cap.2, tenendo conto di quanto esposto nella fase conclusiva dello stesso cap., si rende necessaria una ulteriore precisazione relativamente alla deposizione del **TGC** presente lungo la falesia costiera della penisola Sorrentina. Osserviamo dalle **Fig. 1 e 3** la distribuzione del **TGC** lungo la falesia costiera Sorrentina, con diffusione lungo i crinali e le valli dei massicci carbonatici interni, superando altezze di 700-1000 metri. Vi sono concreti elementi per ipotizzare che il flusso piroclastico, probabilmente emesso da una faglia ubicata nel Golfo di Napoli, ha percorso un numero imprecisato di km sulla superficie del mare. In virtù di tale ipotesi, in accordo con il modello di **Fig. 10**, la parte più pesante costituita da pomici e clasti si inflette al di sotto del livello marino; la nube sovrastante più turbolenta si espande al di sopra del livello del mare, deponendo la parte più grossolana lungo la falesia carbonatica della penisola Sorrentina, mentre la parte ancora più leggera si espande sui Monti Lattari.

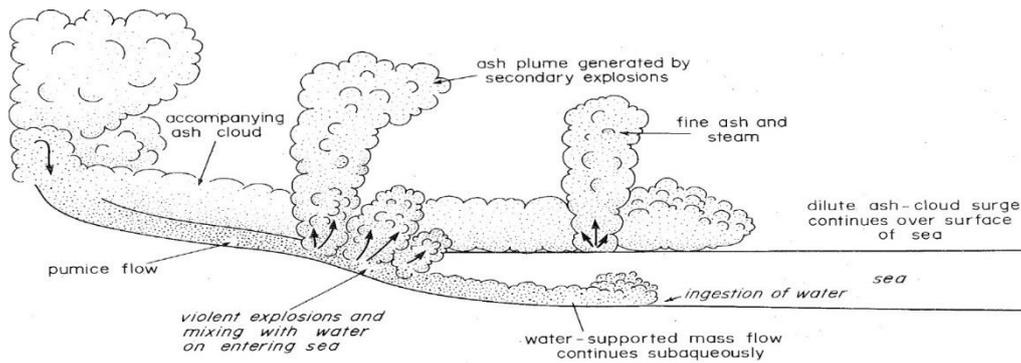


Fig. 10 – Modello di espansione di un Flusso piroclastico sulla superficie del mare

In accordo con il modello deposizionale illustrato in **Fig.10** vi sono, inoltre, evidenze che la deposizione dell'ammasso tufaceo lungo la penisola Sorrentina è avvenuta in condizioni di $T < 600^\circ$, ovvero in assenza dei processi di schiacciamento delle scorie e di *vapour phase crystallization*, responsabili della saldatura a temperature più alte.

2.3 - Caratteristiche geotecniche

Nella **Tab.5** vengono riportati i valori delle caratteristiche Fisico-meccaniche relative a N°3 campioni di Tufo prelevati nella parte basale e sommitale dell'ammasso. I dati forniti dal laboratorio vengono riportati in allegato.

I dati sono conformi con quelli della **Tab. 3**, ovvero, hanno bassa densità alta porosità e bassa compressione e coesione, elevato valore dell'angolo di attrito. Questi valori si correlano con il test **Id₂**, che assume valori < 30 .

L'inquadramento dell'ammasso tufaceo di Ponte Orazio nell'ambito delle *ignimbriti non durevoli* indica che una sua classificazione come "*soft rock*". L'elevato valore dell'angolo di attrito consente a questo materiale di mantenere dei fronti con angoli di scarpa prossimi a 90° . Tuttavia, il basso valore dell'indice **Id₂** < 30 lo rende suscettibile di una marcata erosione ed imbibizione, fattori che innescano una diffusa instabilità in tutta la parete tufacea.

Nell'appendice 1 si riportano i dati di due stratigrafie di saggio eseguite sull'ammasso tufaceo.

Il materiale non è stato estratto sotto forma di carote litoidi, ma come sabbia fine -,grossolana con clasti (vedi risultati dell'analisi granulometrica in appendice). I parametri geotecnici ricavati per correlazione alle prove SPT vengono riportati nell'Allegato delle indagini Geognostiche

Parametri fisico Meccanici	1	2	3
● ρ (kgmc)	1050	1060	1217
● $\eta_{eff}(\%)$	59.5	58.7	56.2
● σ_c (MN/mq)	1	1.1	0.2
σ_T (MN/mq)	--	--	--
■ φ (°)	27 – 38°	27 - 38°	27 - 38°
■ C (MN/mq)	< 1	< 1	< 1
■ Id_2	< 30	< 30	< 30

**Tab. 5 – Parametri fisico-meccanici dell’ammasso tufaceo di Ponte Orazio
ottenuti da analisi di laboratorio (Vedi appendice)**

- Dati ottenuti da analisi effettuate per il presente lavoro
- Dati ottenuti per correlazione

Questa è una prova ulteriore delle carenti proprietà geotecniche dell’ammasso tufaceo in studio. Durante l’esecuzione dei due sondaggi sono state eseguite N° 4 prove penetrometriche tipo SPT. Nella **Tab. 6** viene riportata la variazione del numero di colpi con la profondità. Il N° di colpi aumenta con regolarità, pervenendo a rifiuto alla profondità di 15m.

Nc (eff.) SPT	Profondità (m)	Sondaggio n°1	Sondaggio n°2
19	4.5		●
31	7.5	●	
41	11.5		●
Rif.	15	●	

Tab. 6 – N° di colpi alla prova SPT con la profondità

Ciò indica, in accordo con i dati fisico-meccanici, che il materiale relativamente più consistente, caratterizzato dai valori dei parametri di **Tab. 5**, è presente nella parte medio-basale e che nella parte alta dell'ammasso la consistenza tufacea è più bassa.

In definitiva, per il banco tufaceo di **TGC** di Ponte Orazio, e più in generale, per quello della penisola Sorrentina, viene pienamente confermato che il modello deposizionale della **Fig. 10** condiziona notevolmente le caratteristiche geotecniche del deposito ignimbrico (**Tab. 5**).

2.4 – Indagini geofisiche

E' stata effettuata una campagna di indagini indirette di tipo geoelettrico e sismico, della quale vengono riassunte alcune considerazioni circa la struttura della zona interna dell'ammasso tufaceo.

● Indagini Geoelettriche

Sono state osservate due zone distinte con valori di resistività differenti:

- Via via in profondità vengono individuati alti valori di resistività elettrica (oltre $1200 \Omega \cdot m$) e quindi terreni poco conduttivi. Sono indicativi di assenza di acqua, uno scarso addensamento dei terreni, associato ad un alto grado di fratturazione ed alla eventuale presenza di cavità naturali e/o antropiche, osservate anche durante le diverse fasi delle indagini.
- In superficie, al contrario, si individuano valori piuttosto bassi di resistività elettrica (fino a $22 \Omega \cdot m$), condizioni che potrebbero essere legate alla presenza di acqua interstiziale e/o ad un reticolo di fratture con presenza di acqua meteorica,

● Indagini di sismica a rifrazione

L'indagine di sismica a rifrazione effettuata nell'area di interesse, mette in evidenza la presenza di 2 sismostrati principali, individuati in virtù dei diversi valori delle velocità delle onde P (V_P). Il limite sismo-stratigrafico, attraverso il quale si osserva un aumento del valore di V_P , si rinviene ad una profondità variabile dai 5 ai 15 m.

Viene osservato un aumento di alcuni parametri geotecnici passando dallo strato superficiale a quello più profondo: il Modulo di deformazione al taglio (G_0) ha un incremento medio da 42 MPa a 59 MPa, il Modulo edometrico (E_d) passa da un valore medio di 186 Mpa a 261 Mpa, il Modulo di compressibilità volumetrica (M_0) da 143 MPa a 201 MPa, mentre per il Modulo di Young (E_y) si ha un incremento medio da 116 MPa a 162 MPa.

● Indagini Masw

I risultati dell'indagine sismica di tipo MASW confermano la presenza, di 2 sismostrati principali. Lo strato più superficiale ha uno spessore di circa 4.5 m e poggia su un secondo strato caratterizzato

da un maggiore grado di addensamento. Nel passaggio da primo al secondo strato viene registrato un aumento della velocità delle onde P che, in media, passa da circa 190 m/s a circa 330 m/s. Attraverso la stessa indagine, sulla base del valore $V_{S, eq}$, emerge che la categoria di sottosuolo risulta essere la medesima:

$$V_{S, eq} \text{ Stendimento 1} = 314,11 \text{ m/s}$$

$$V_{S, eq} \text{ Stendimento 2} = 297,08 \text{ m/s}$$

$$V_{S, eq} \text{ Stendimento 3} = 287,37 \text{ m/s}$$

Pertanto, la zona di interesse progettuale, ai sensi delle NTC/2018, ricade nella categoria di sottosuolo **C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

2.5 - Rilievo geostrutturale

L'inquadramento geologico - strutturale dell'ammasso tufaceo è stato eseguito secondo gli standard più aggiornati, preceduto da un rilievo topografico di estremo dettaglio basato sulla metodologia *laser scanner e strumentazioni SAPR*, supporto indispensabile per l'individuazione dei principali lineamenti mesostrutturali presenti nel versante.

Congiuntamente al rilievo topografico si è proceduto ad elaborare il quadro fessurativo del fronte, che presenta l'andamento di un piano verticale con giacitura di circa **N110°W**. Da tale analisi emerge la presenza di due principali famiglie di fratture, compresa una terza con andamento "randomly" tipo *tension cracks* (vedi **Fig. 11** inserita nel fascicolo)

L'analisi del suo quadro fessurativo è stata eseguita secondo le raccomandazioni della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce (ISRM, 1978).

Le misure delle giaciture sono state elaborate utilizzando il programma Stereonet che permette di creare degli stereogrammi sia di piani che di lineamenti (**Fig. 12**), semplicemente inserendo i valori delle stesse giaciture all'interno di una griglia di calcolo. In questo modo è possibile creare diversi data set per classificare i diversi tipi di strutture.

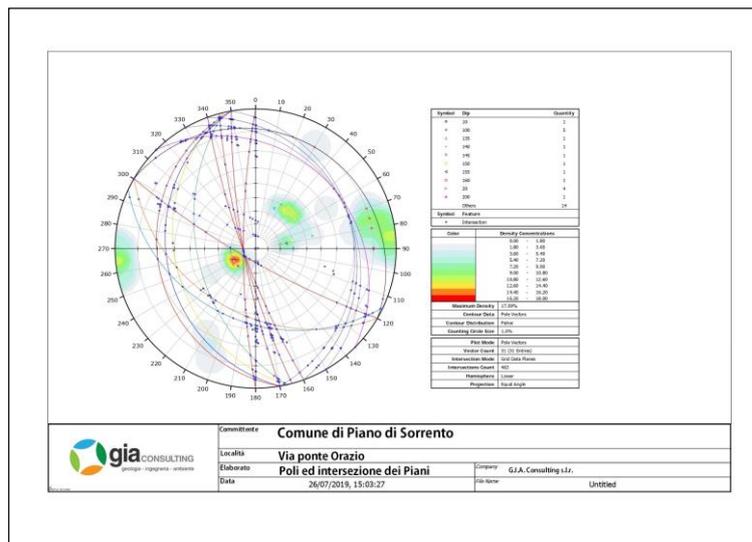
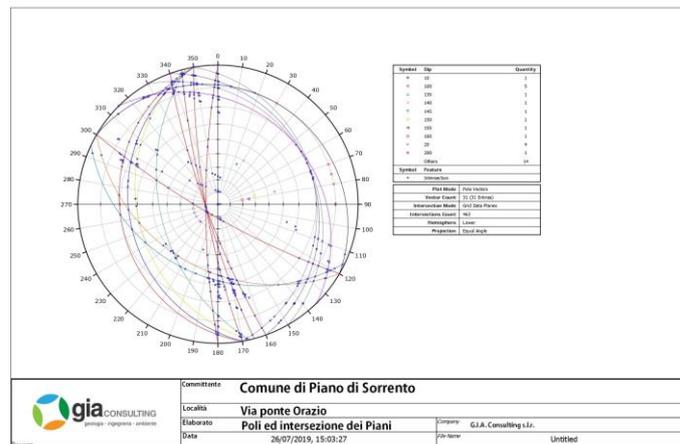
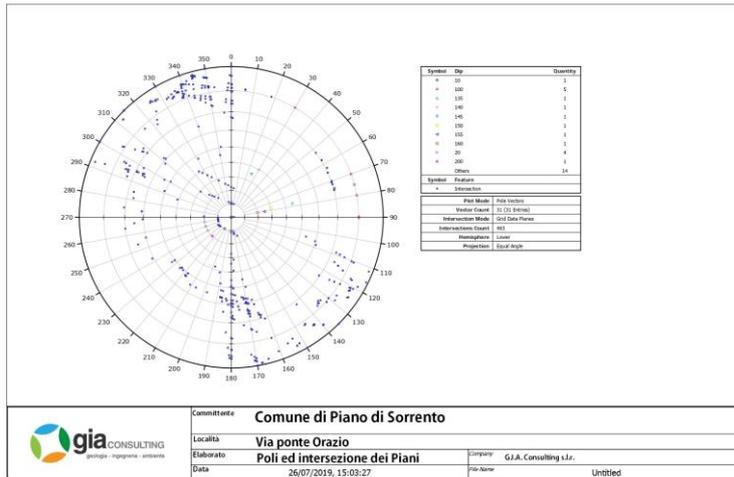


Fig. 12 – Stereogrammi dei piani e dei lineamenti strutturali dell'ammasso tufaceo

Nella **Fig. 13** viene proposta la rappresentazione di un diagramma a rosetta, dal quale vengono meglio evidenziate le famiglie più importanti di fratture:

a - La prima è costituita da piani aventi una giacitura **N85W 45° - 65°W**. E' assimilabile alla tipologia di giunti di strato, con lunghezza continua di 20-30m, spaziatura tra le parti di pochi mm, assenza di materiale di riempimento, e di acqua ;

b - La seconda presenta piani con direzione ed angoli di inclinazione di 90°, assimilabile alla tipologia di giunti tra blocchi verticali, con lunghezza continua di 15-20m, , spaziatura tra le parti di 5-10 mm, presenza trascurabile di materiale di riempimento, si notano indizi di presenza di acqua.

c - Altri sistemi di fratture con andamento “randomly”, inquadrabili nelle cosiddette **tension cracks**, intersecano con diversa orientazione entrambe le famiglie principali di discontinuità. Si tratta di fratture da inclinate a subverticali, che presentano giunti di lunghezza molto più contenuta, per la maggior parte associati alla circolazione di acqua.

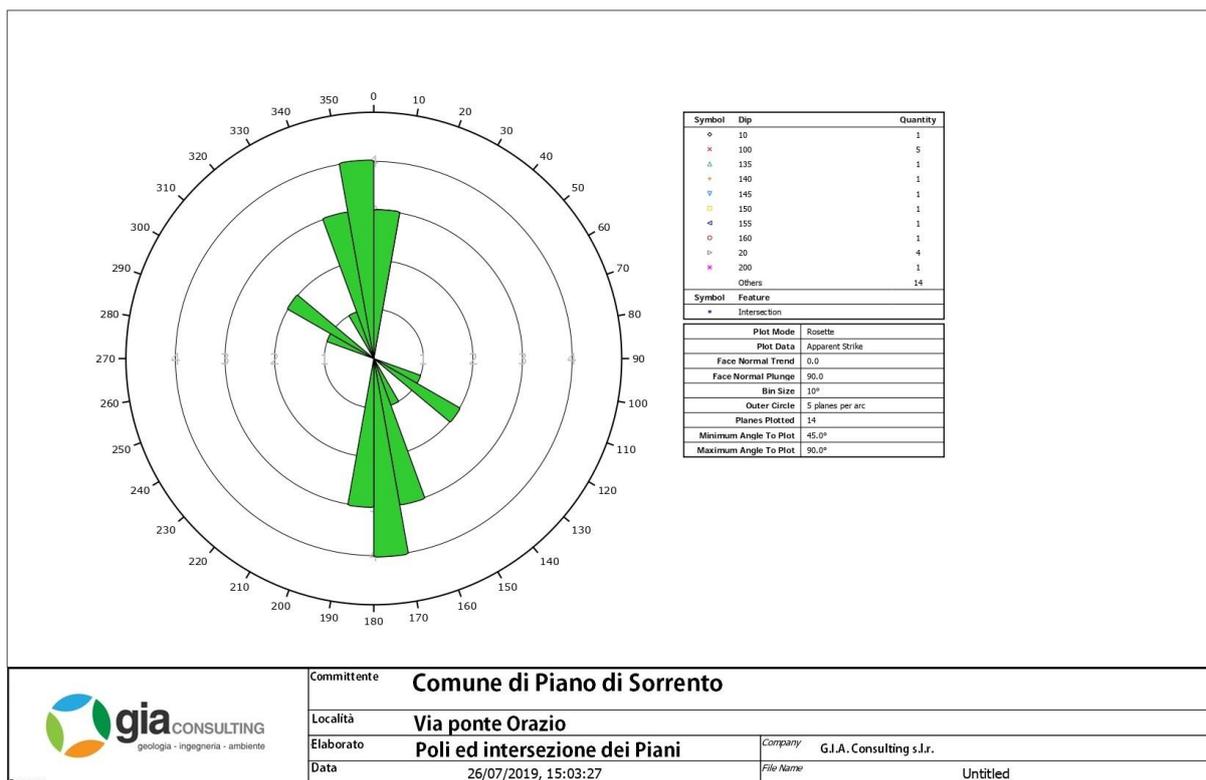


Fig. 13 – Diagramma a rosetta delle giaciture rilevate sul fronte tufaceo

2.6 - Il dissesto di via Ponte Orazio

2.6.1 - Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale (ex A. di B. Campania Centrale)- Inquadramento nel Piano stralcio per l'assetto idrogeologico - Elemento 466144 – Comune di Meta (NA) –

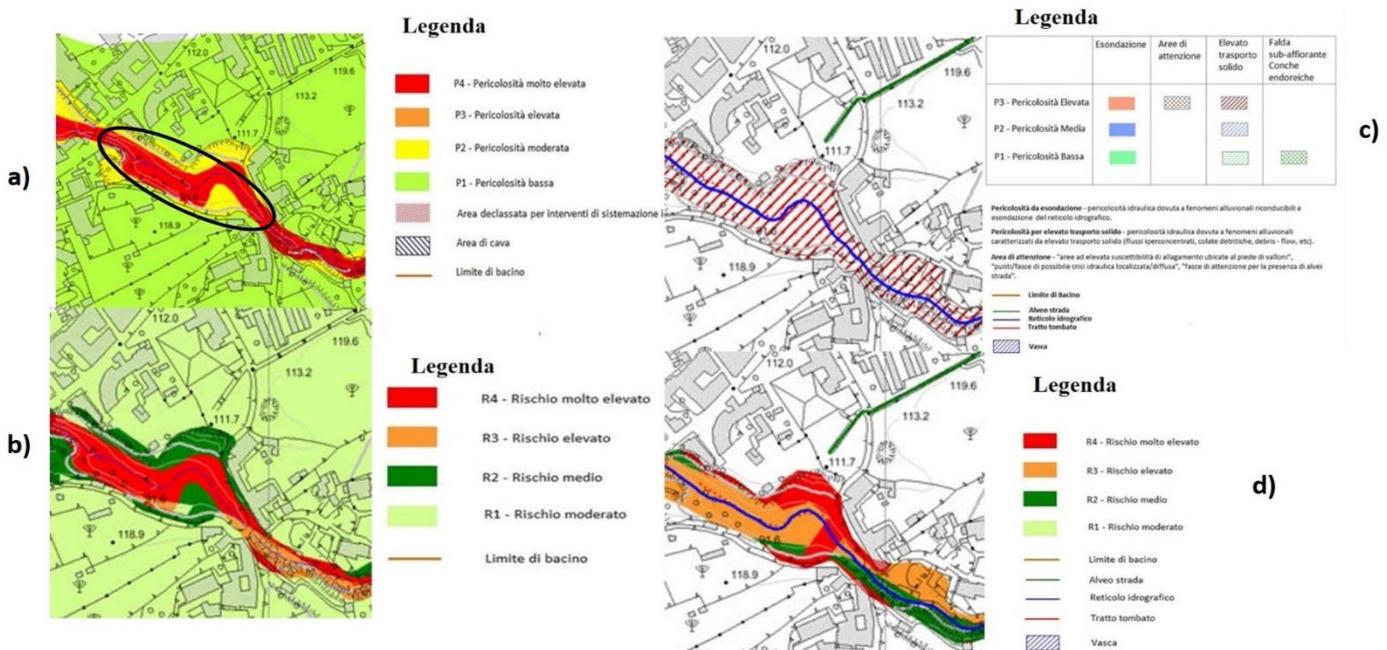
La cartografia delle pericolosità e del rischio relative alle diverse tipologie di dissesti presenti nell'area di interesse evidenzia le seguenti criticità (**Fig. 14**)

Pericolosità da FRANA (a)

P4 (molto elevata) in corrispondenza dei tratti di costone in prossimità del ponte Orazio e del tratto interessato dal franamento incluso l'alveo (sponde dx e sx);

P2 (moderata) nello sperone di costone che si rinviene subito a valle dei fabbricati ubicati in corrispondenza dello slargo dopo ponte Orazio (lato Piano di Sorrento) e a seguire, lungo il ciglio del costone stesso, a ridosso del parapetto della strada, e piccoli tratti della strada stessa fino al tratto franato;

P1 (bassa) per gran parte della sede stradale e tutta l'area retrostante



**Fig. 14 – Cartografia della pericolosità e rischio da frana e idraulico elaborate dal Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale (ex A. di B. Campania Centrale)-
Inquadramento nel Piano stralcio per l'assetto idrogeologico - Elemento 466144 – Comune di Meta (NA) –**

Rischio da FRANA (b)

R4 (molto elevato) in corrispondenza dei tratti di costone in prossimità del ponte Orazio e del tratto interessato dal franamento incluso l'alveo (sponde dx e sx)

R3 (elevato) in parte del Ponte Orazio e del costone immediatamente a ridosso

R2 (moderata) lo sperone di costone che si rinviene subito a valle dei fabbricati ubicati in corrispondenza dello slargo dopo ponte Orazio (lato Piano di Sorrento) e a seguire il ciglio del costone, a ridosso del parapetto della strada, e piccoli tratti della strada stessa fino al tratto franato

R1 (bassa) numerosi tratti della sede stradale e tutta l'area retrostante

Pericolosità IDRAULICA (c)

P3 (elevata) A partire dal ciglio del costone fino all'alveo si definisce una pericolosità elevata dovuta a fenomeni alluvionali caratterizzati da elevato trasporto solido;

Rischio IDRAULICO (d)

R4/R3 (Rischio molto elevato e elevato) Parte del ponte Orazio, fondo alveo e costone fino al tratto interessato dal franamento, parte della strada.

R2 (Rischio medio) Parte del ponte Orazio e del costone adiacente, tratto iniziale della strada subito dopo il ponte (lato Piano di Sorrento).

2.6.2 – Inquadramento e cause del dissesto

La pericolosità ed il rischio frana, di principale interesse per il progetto in parola, vengono ben rappresentate nelle cartografie della competente A.di B, prescindendo da qualche incongruenza. In questo paragrafo vengono evidenziate in dettaglio le cause del dissesto di via Ponte Orazio, tenendo ben presente il concetto che la conoscenza della classe di qualità a cui appartiene un ammasso roccioso è utile per valutare la sua predisposizione a fenomeni di instabilità. Tra i metodi generali di classificazione, i più utilizzati sono l'RMR di Bieniawski (1973 e seguenti – cfr. bibliografia) ed il Q di Barton (Barton et al., 1974). Nel caso in esame, tuttavia, trattandosi di un ammasso di TGC, si deve adottare un differente criterio, basato sul fatto che tutte le considerazioni sul quadro fessurativo effettuate nel *par. 2.5*, integrandosi con l'analisi geotecnica discussa nel *par. 2.3*, mediante la quale tale ammasso è stato classificato alla stregua di una “*Soft Rock*”, definiscono in maniera esauriente la propensione all'instabilità dell'ammasso stesso. In particolare, il dissesto si inquadra nel generale fenomeno di regressione della la porzione medio-sommitale del banco

tufaceo, dovuto alle particolari scadenti proprietà geotecniche dei primi 11 m dell'ammasso (Tab. 5), su un totale circa 20m dell'intero fronte.

Il tratto coinvolto nel dissesto si estende per circa 30m, in rapporto al tratto di strada investigato di circa 110 m.

- L'area dissestata, nella porzione più occidentale, ha una lunghezza di 18 m. Essendo la parete post-crollo regredita verso l'interno di 2.5m, si può presumere un volume totale di materiale franato di circa 800 m³. Si osserva che il crollo della parete tufacea ha provocato, nello stesso tempo, anche il crollo di gran parte della struttura in mattoni, con geometria ad archi appoggiata al versante (Fig.15).

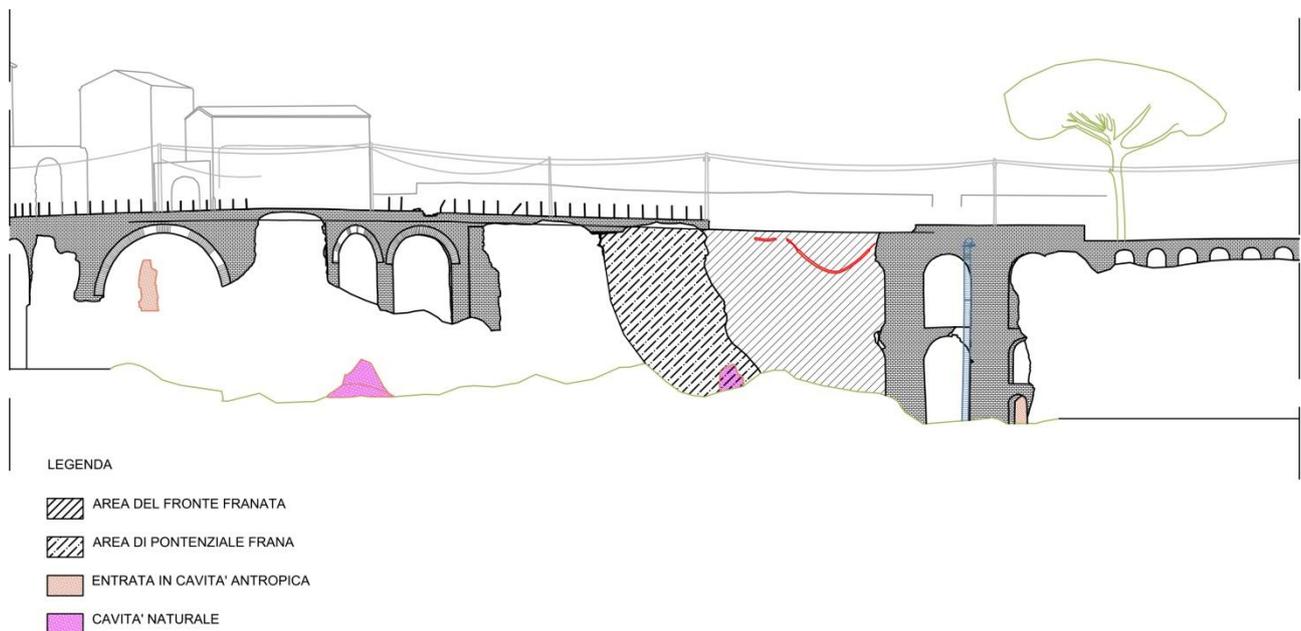


Fig. 15 – Rappresentazione cartografica dell'area dissestata e di quella di potenziale dissesto. Sono altresì rappresentate tutte le cavità presenti nel fronte di interesse progettuale.

- Via via verso est, il dissesto, per una lunghezza di 10,5 m, pur non evolvendosi nella sua interezza mediante il crollo della parete, si è evidenziato attraverso una importante frattura larga 2.5 m , che ha in parte interessato la strada, determinato il contemporaneo scollamento di una cospicua porzione del fronte. Possiamo, quindi, dedurre che questo tratto di fronte, predisposto ad imminente distacco, può generare un potenziale crollo materiale tufaceo di circa 470 m³.

Il dissesto si è verificato nell'ambito di una ignimbrite classificata come non durevole e, pertanto, suscettibile di stress causati da cambiamenti strutturali, per es., dovuti al fatto che il reticolo di fratture si riempie di acqua meteorica, che esercita una spinta idrostatica, in concomitanza all'instaurarsi di pressioni elevate nei pori dell'acqua, in presenza di elevati valori percentuali della porosità. Questi meccanismi sono stati in grado di provocare la rapida rottura della struttura ignimbratica, con conseguente perdita di resistenza, determinando il cedimento di un'ampia porzione del fronte tufaceo.

Considerazioni conclusive

1- Nei precedenti capitoli abbiamo più volte richiamato il seguente concetto, che ribadiamo in fase conclusiva: I depositi ignimbratici, in virtù delle differenti condizioni chimico-fisiche di deposizione, si dividono tra quelli che rispondono allo stress come le rocce "normali" (ignimbriti durevoli) e quelli che si comportano come "rocce molli" (ignimbriti non durevoli). In quest'ultimo caso, questi materiali mostrano molte proprietà di transizione tra rocce e suoli.;

2- Abbiamo altresì evidenziato che l'ammasso tufaceo di Ponte Orazio si inquadra nella seconda tipologia di materiali, ovvero, nell'ambito delle *ignimbriti non durevoli*, che implica, a sua volta, la classificazione come "*soft rock*". Sebbene presenti bassa densità alta porosità e bassa compressione e coesione, l'elevato valore dell'angolo di attrito consente a questo materiale di mantenere dei fronti con angoli di scarpa prossimi a 90°. Tuttavia, il basso valore dell'indice $Id_2 < 30$ lo rende suscettibile di una marcata erosione ed imbibizione, fattori che innescano una diffusa instabilità in tutta la parete tufacea;

3- Alto fattore di instabilità si individua nella diffusa fratturazione. Sono state evidenziate due classi principali di fratture, rispettivamente con inclinazione di 45°-70° e di 90°. La prima famiglia è certamente in relazione con la deposizione del flusso piroclastico. Infatti, la nube si espande in contropendenza sul rilievo carbonatico depositando in massa i materiali ignimbratici sul versante, con spessore via via più ridotto. Il rifluimento in contropendenza ne determina poi una grossolana stratificazione. E' molto probabile che anche la seconda famiglia di fratture sia da mettere in relazione con la deposizione. In questo caso infatti, le ondate successive di materiali si vanno a

depositare sul materiale già deposto che ha già livellato i versanti. Le fratture sarebbero da mettere in relazione a cedimenti di poca entità con componente verticale. Infine, il terzo sistema di fratture presenta chiara dipendenza della circolazione dell'acqua meteorica formando un reticolo nella parte sommitale dell'ammasso.

4 – I tre punti che precedono danno una chiara indicazione di come si possono instaurare fenomeni di instabilità nel fronte tufaceo ed al tempo stesso offrono indicazioni al progettista circa la scelta degli interventi di stabilizzazione e di protezione del fronte, in rapporto al ripristino funzionale dell'arteria stradale che ne attraversa la sommità. Si potrebbe configurare un risanamento di tutto il fronte tufaceo con diverse tipologie di interventi, quali:

a) Raccolta e allontanamento delle acque dal ciglio superiore del fronte, al fine di evitare l'infiltrazione attraverso le diffuse *tension cracks* presente sul fronte medesimo, che comunque dovrà essere risanato con una protezione in superficie, consistente nella posa in opera di un manto in *spritzbeton*;

b) Incremento della resistenza meccanica che può essere conseguito mediante opere di sostegno che agiscono alla superficie dell'ammasso tufaceo, quale il ripristino di strutture con geometrie ad arco in aderenza al banco tufaceo. Per queste ultime, il miglioramento funzionale di quelle da ripristinare e di quelle esistenti, si potrà ottenere con l'aggiunta di barre d'acciaio in grado di fissare ulteriormente la struttura al fronte tufaceo:

c) La progettazione di interventi attivi con l'impiego di barre di ancoraggio potrà essere prevista anche per la stabilizzazione di singoli blocchi isolati presenti alla base;

d) Riempimento di almeno due cavità naturali. Per quelle antropiche (Fig. 15), si consiglia ai proprietari di incaricare un ingegnere strutturista per la verifica della stabilità della volta oggetto di deterioramento continuo.