

# COMUNE DI NAPOLI

## PROGETTO DI RECUPERO AMBIENTALE DELLA CAVA DI TUFO DISMESSA IN LOCALITA' CUPA VITRO CON ACCESSO DA VIA CINQUE CERCOLE LOCALITA' CHIAIANO



Committente: Ecocave S.R.L.

Titolo: Relazione idraulica

RG. 02

- ☐ PRELIMINARE  
☒ DEFINITIVO  
☐ ESECUTIVO



PROGETTO VERDE COOP. R.L.  
STUDIO di ARCHITETTURA del PAESAGGIO

Via F. Crispi, 74 - 80121 NAPOLI  
Tel.-Fax +39 081 7642169  
E-mail info@progettoverde.eu

Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi

Arch. Alessandro Cirillo  
Paesag. Rosanna Annunziata

CONSULENZA: GEOLOGICA Geol. Gaetano Ciccarelli  
IDRAULICA  
GEOTECNICA

data	SETTEMBRE 2018					formato	scala
rev.	descrizione	scala	data	formato	elaborato da	controllato da	approvato da

## INDICE

<b>1.-. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.-. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO DI FATTO .....</b>	<b>3</b>
2.1.-. RIFERIMENTI STORICI DELLA CAVA .....	3
<b>3.-. QUADRO PROGETTUALE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4.-. ASSETTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
4.1.-. QUADRO GEOLOGICO D'INSIEME .....	8
4.2.-. ELEMENTI MORFOLOGICI E STABILITÀ .....	9
4.3.-. ACQUE SUPERFICIALI .....	12
4.4.-. ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	12
4.5.-. VINCOLI IDROGEOLOGICI .....	14
<b>5.-. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE .....</b>	<b>20</b>
5.1.-. INDAGINI IN SITO .....	21
5.1.1.-. Sondaggi meccanici .....	21
5.1.2.-. Prove S.P.T. ....	21
5.1.3.-. Indagini sismiche .....	22
5.1.4.-. Prove di laboratorio sui campioni indisturbati .....	24
<b>6.-. ASSETTO GEOLITOLOGICO E MORFOLOGICO LOCALE E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI .....</b>	<b>25</b>
<b>7.-. ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>29</b>
7.1.-. MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI .....	30
7.2.-. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	31
7.3.-. PORTATE IDROLOGICHE .....	31
<b>8.-. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE OPERE .....</b>	<b>32</b>
8.1.-. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DI UNA CORRENTE A PELO LIBERO .....	32
8.1.1.-. MOTO UNIFORME NEI CANALI A PELO LIBERO .....	36
8.2.-. VERIFICA DELLE DIVERSE IPOTESI DI PROGETTO .....	37
8.2.1.-. SEZIONE TRAPEZOIDALE – PENDENZA 5% .....	37
8.2.2.-. SEZIONE SCATOLARE – PENDENZA 5% .....	38
8.2.3.-. SEZIONE CIRCOLARE – PENDENZA 5% .....	39
<b>9.-. CONCLUSIONI .....</b>	<b>41</b>

## 1.-..PREMESSA

A supporto della progettazione di ricomposizione dell'area dell'ex Cava Zara in località Chiaiano, in Comune di Napoli, s'è stato eseguito, sulla base dei dati disponibili, la verifica idraulica del sistema di smaltimento delle acque meteoriche così come previsto in progetto.

Il progetto di ricomposizione ambientale, agroforestale e paesaggistica dell'area di Cava Zara si propone come intervento attuativo di iniziativa privata della strategia pubblica di riqualificazione del territorio del Parco Metropolitano delle Colline di Napoli, così come emergente dal combinato disposto dei diversi strumenti di tutela e di disciplina urbanistica attualmente vigenti.

L'obiettivo è quello di ripristinare, dov'è ora situata l'imponente fossa di cava, un ecosistema agroforestale fortemente integrato con le aree forestali e seminaturali circostanti, ma anche con gli insediamenti urbani ad esso più prossimi, con la realizzazione di un'area naturalistica multifunzionale, che costituirà a tutti gli effetti un'attrezzatura di interesse pubblico per attività agricole, ricreative, escursionistiche, didattiche e culturali all'aria aperta.

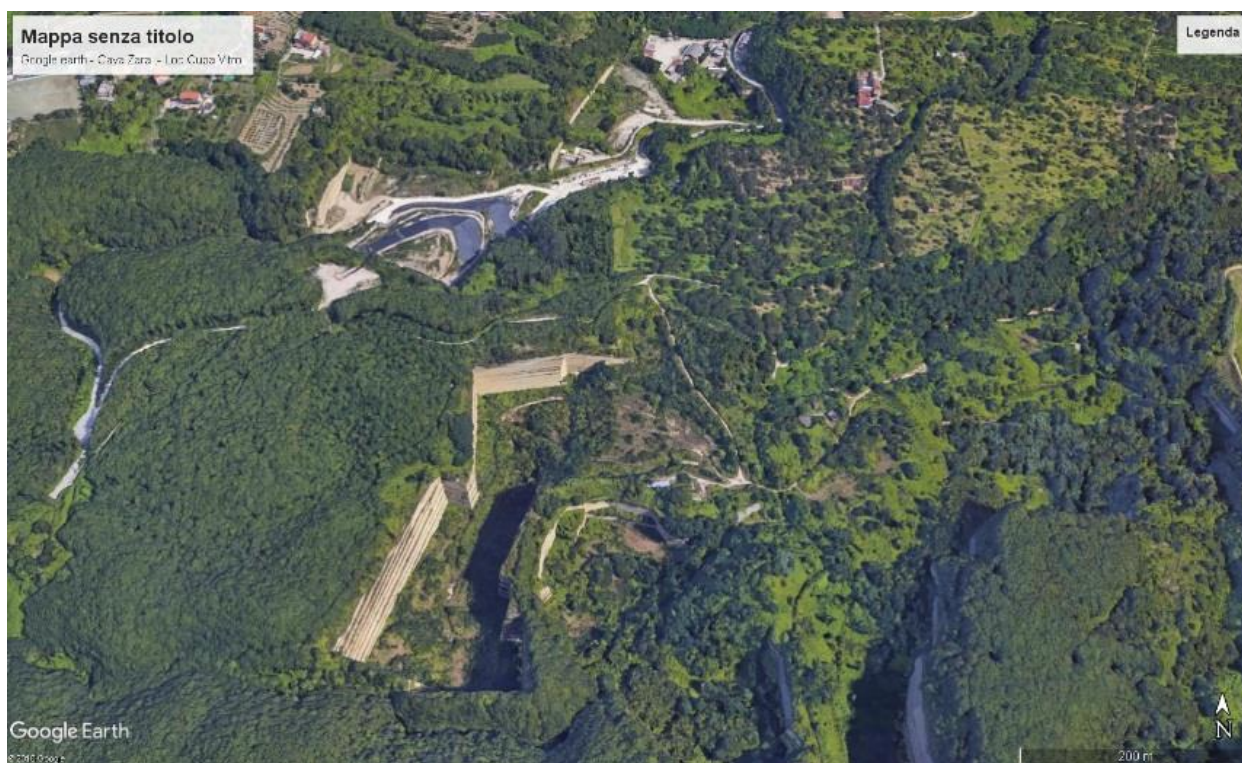


Figura 1 Area di Cava – Google Earth



## 2.-...INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO DI FATTO

L'area di cava interessata dal progetto allo stato attuale è inattiva, e pertanto obbligata al recupero ambientale ai sensi della L. n° 54/85 e s.m.i, occupa un'area individuata nel N.C.T. di Napoli al Foglio di mappa n. 29, particella 2. La cava ha una superficie di 56.700 mq.

Nel complesso l'area di cava interessata dal progetto di ricomposizione si presenta come una fossa di forma rettangolare, che si sviluppa lungo l'asse sud-ovest/nord-est per una lunghezza di circa 344 m ed una larghezza variabile da 85 m nella porzione meridionale, sino a 230 m in quella settentrionale.

La cava in oggetto è del tipo a cielo aperto e a fossa e lungo il varco di accesso alla cava è stata rilevata la presenza di solchi di erosione da ruscellamento concentrato.

L'area è riportata nell'elemento n. 447114 della carta CTR della regione Campania in scala 1:5.00. Le coordinate WGS84 del sito sono:

latitudine: 40.880295

longitudine: 14.198666

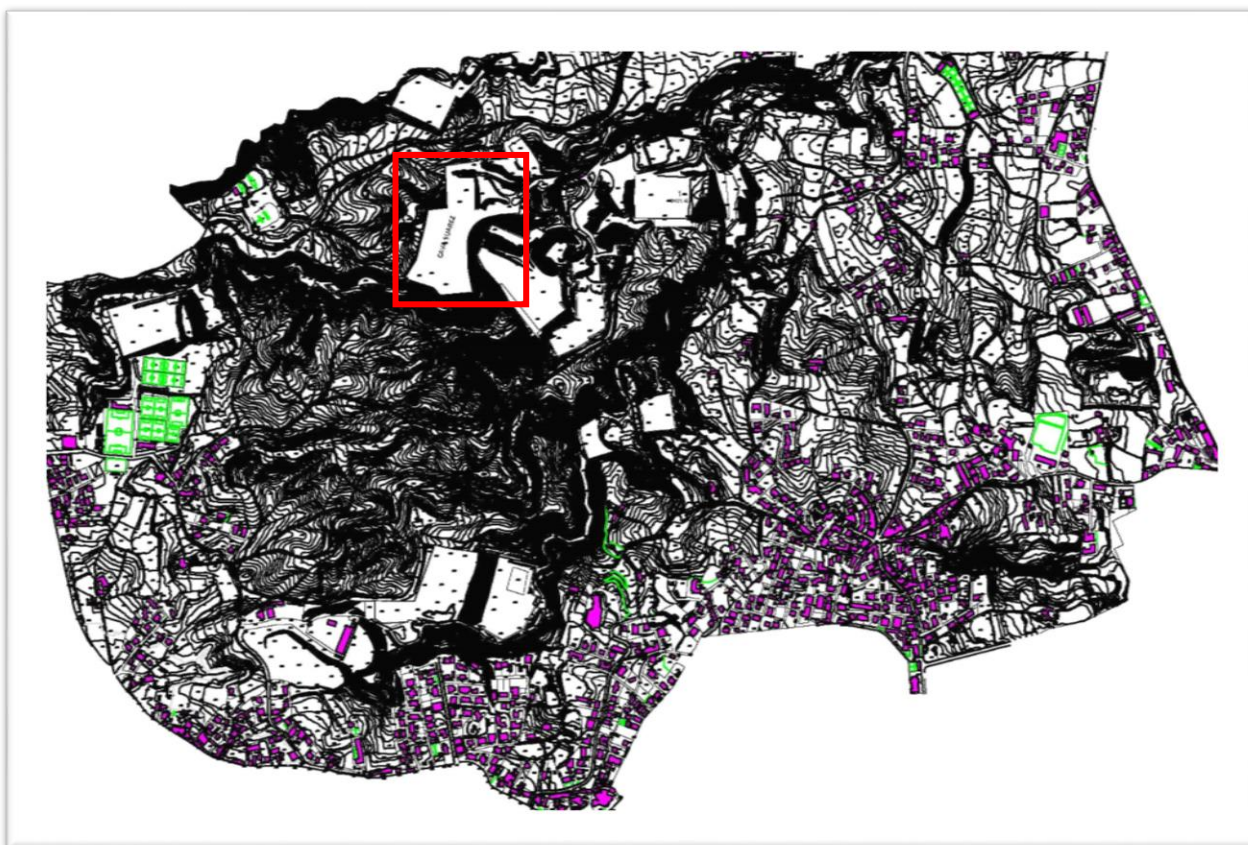


Figura 2 – Stralcio della corografia generale

### 2.1.-...RIFERIMENTI STORICI DELLA CAVA

L'area su cui si è sviluppata la cava si trova all'interno della Selva di Chiaiano, un'area storicamente caratterizzata dalla presenza di boschi di latifoglie tipici della fascia mediterranea, a cui è stata

affiancata da lungo tempo la coltivazione del castagno. Già sul finire del XIX secolo si sviluppano a partire dai margini della selva delle aree di cava del tufo giallo, tuttavia l'attività estrattiva non ha in questa fase un impatto notevole sul territorio, essendo limitata per estensione e soprattutto collocata in aree marginali della selva.

A partire dal secondo dopoguerra, come documentato dall'aerofotogrammetria GAI del 1954, si osserva il progressivo aumento delle superfici delle cave esistenti mentre parallelamente si assiste all'apertura di nuove cave sempre più interne all'originario sistema boschivo.

Nei decenni successivi l'attività estrattiva assume sempre maggiore rilevanza segnando profondamente il territorio della Selva di Chiaiano. L'aerofotogrammetria ALISUD del 1984 testimonia questi imponenti e repentini cambiamenti tra cui anche l'apertura del primo fronte della Cava Zara, si può notare che già in questa fase l'area di cava coincide con quella della prima fase di estrazione.

Esaurita la prima fase segue un periodo di stasi per l'attività di estrazione del tufo, che verrà ripresa successivamente all'autorizzazione alla continuazione dell'attività estrattiva con provvedimento regionale del 2 Set 1997 (N° 18969), portando l'ampliamento dell'area della cava fino alla superficie attuale, come testimoniato dal confronto tra la cartografia del Comune di Napoli del 1991 (tra l'altro base per l'elaborazione del PRG) e quella del 2004 (in cui si può apprezzare l'attuale estensione della cava).

La fine delle attività estrattive è avvenuta nel corso del 2005, in seguito è stato messo in sicurezza il fronte della strada di accesso della cava come visibile dall'aerofotogrammetria Landsat del 2008. L'area dismessa è stata quindi oggetto di fenomeni di rinaturalizzazione spontanea, che hanno gradualmente ricoperto di vegetazione l'intero invaso della cava.



EVOLUZIONE DEL SITO DELLA CAVA NELLE FOTO SATELLITARI  
(LANDSAT 2003 -2008)



2003. Sono ancora in atto visibili attività estrattive.



2008. Le attività estrattive sono esaurite ed è visibile il nuovo percorso di accesso al sito.

Figura 3 – Aereofoto che mostrano l'evoluzione delle attività nella Cava. Ai fini geomorfologici va notato come nelle fasi di lavorazione (anno 2003) il fondo del piazzale di lavorazione fosse completamente sgombrato di materiali di crolli ed accumuli detritici, condizioni già evidenti nel 2008 allorquando iniziarono gli accumuli detritici di scarto.

### 3.-.QUADRO PROGETTUALE DI RIFERIMENTO

Il progetto di ricomposizione ambientale, agroforestale e paesaggistica dell'area di Cava Zara si propone come intervento attuativo di iniziativa privata della strategia pubblica di riqualificazione del territorio del Parco Metropolitano delle Colline di Napoli, così come emergente dal combinato disposto dei diversi strumenti di tutela e di disciplina urbanistica attualmente vigenti.

L'obiettivo è quello di ripristinare, dov'è ora situata l'imponente fossa di cava, un ecosistema agroforestale fortemente integrato con le aree forestali e seminaturali circostanti, ma anche con gli insediamenti urbani ad esso più prossimi, con la realizzazione di un'area naturalistica multifunzionale, che costituirà a tutti gli effetti un'attrezzatura di interesse pubblico per attività agricole, ricreative, escursionistiche, didattiche e culturali all'aria aperta.

Il progetto è stato redatto in coerenza con gli obiettivi e con la disciplina del vigente Piano Regionale per le Attività Estrattive della Campania (PRAE), in particolare:

- Il materiale incoerente proveniente dalla coltivazione della cava è stato in larga misura stoccato all'interno del sito, e reimpiegato per la ricomposizione morfologica, in accordo con l'articolo 49 (*"Accantonamento di materia prima, di terreno sterile, di terreno agrario"*).
- Per il riempimento della cava è stato previsto esclusivamente l'impiego di materiali idonei ai sensi degli art. 52 (*"Materiali idonei per il riempimento di cavità generate dalle attività estrattive"*) e 61 (*"Criteri di ricomposizione"*), consistenti in:
  - terre e rocce da scavo;
  - materiali di scavo provenienti dalle attività estrattive;
  - materiali provenienti dalla prima lavorazione (frantumazione, selezione, lavaggio) di materiali di cava.
  - terreno proveniente dallo splateamento per la realizzazione di manufatti o opere edilizie;
  - materiali inerti derivanti dalle attività di demolizione e/o costruzione di manufatti (rocce e materiali litoidi, sfridi, materiali ceramici cotti, vetri) se non altrimenti recuperabili.

Gli interventi di ricomposizione ambientale sono stati definiti con riferimento ai criteri di ricomposizione pedologica e morfologica di cui all'art. 61 (*"Criteri di ricomposizione"*) e 62 (*"Cave di versante e cacuminali"*).

Il progetto è coerente con i criteri di riqualificazione del territorio contenuti negli articoli 74 (*"Criteri generali"*), 75 (*"Criteri generali di riqualificazione del territorio"*) e 76 (*"Elementi costitutivi dell'identità territoriale"*), anche con riferimento alla strategia a scala complessiva d'ambito definita dagli strumenti urbanistici e di tutela vigenti.





Figura 4 – Stralcio del progetto di sistemazione finale della Cava – Si noti l'ampia fascia di rispetto ad interdizione totale alla base delle pareti tufacee -

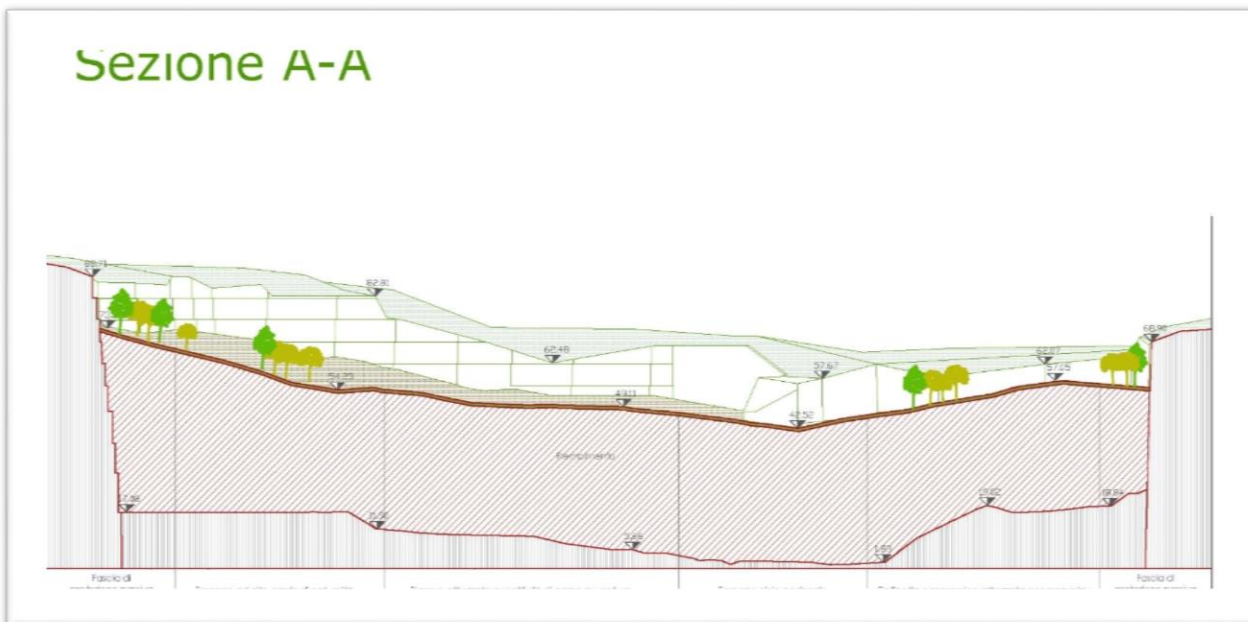


Figura 5 – Sistemazione finale della cava: sezione longitudinale di progetto



#### 4.-..ASSETTO GEOMORFOLOGICO

##### 4.1.-..QUADRO GEOLOGICO D'INSIEME

La zona in esame, ubicata nella zona nord/nord-occidentale del Comune di Napoli, è riportata nel Foglio n. 184 - *Napoli* della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000.

Sotto il profilo geologico il territorio, rientrando nello schema geologico delle assise vulcanoclastiche di Napoli – serie urbana, A.V. – in cui predominano materiali piroclastici sciolti ricoprenti, a varie profondità, un substrato tufaceo. Gran parte dell'assetto morfologico attuale si è impostato circa 12.000 anni fa con l'evento del Tufo Giallo Napoletano i cui materiali ricoprirono un'originaria struttura piano-altimetrica.

Nel settore in esame, le cave di tufo utilizzate per l'estrazione di materiale da costruzione, hanno portato in affioramento i depositi vulcanici appartenenti al II° Periodo Flegreo Superiore. Si tratta di tufi con pomice alterate e scorie, in banchi, noto in letteratura con il nome di Tufo Giallo Campano: materiali piroclastici saldati e messi in posto circa 12.000 anni fa tramite una serie di grandi eruzioni sottomarine provenienti da più centri eruttivi e depositatesi in ambiente subaereo. Il litotipo presenta una struttura caotica ed è costituito da pomice e litici immersi in una matrice fine più fortemente alterata, tipica delle zone distali dal centro d'emissione. Essi formano quasi esclusivamente l'ossatura della città di Napoli. Il volume stimato del T.G.N. è dell'ordine dei 10 km<sup>3</sup> e la superficie ricoperta di ca. 350 km<sup>2</sup>. Secondo i ricercatori dopo questa eruzione avvenne il collasso della parte centrale dei Campi Flegrei e la Collina dei Camaldoli sarebbe la testimonianza relitta dell'originario cono vulcanico.

Successivamente alla messa in posto del T.G.N. l'attività vulcanica proseguì con altri cicli eruttivi a cui si fanno risalire le formazioni dei vulcani di tufo giallo pseudostratificate (Gauro, Archiaverno, Monteruscello), dei vulcani piroclastici monogenici, dei conici di scorie e delle cupole laviche fino all'eruzione storica di Monte Nuovo nel 1538, Tale ultima attività vulcanica fu controllata dall'assetto vulcano-tettonico venutosi a creare dopo l'eruzione del T.G.N.. Una delle più importanti eruzioni del 4° ciclo si verificò circa 10.000 anni fa (>8.600: età del paleosuolo soprastante): la cosiddetta eruzione delle Pomice Principali. I materiali di questa eruzione si trovano ad est di Napoli e coprono una superficie di alcune centinaia di chilometri quadrati. Sebbene si tratti di un'eruzione la cui entità fu senz'altro inferiore alle due precedenti, essa è tuttavia paragonabile a quella del Vesuvio del 79 d. C. (pressappoco in questo periodo vi furono anche le eruzioni dell'Archiaverno e del Gauro). Seguirono poi le eruzioni di Monte Spina, La Pietra, Nisida, Montagna Spaccata, Monteruscello, vulcano di Pisani, Cigliano, complesso vulcanico di Agnano, Capo Miseno, Porto Miseno, Bacoli, Fondi di Baia, cupole di Monte Olibano e della Caprara, Solfatara, Astroni, Averno, Senga ed infine Monte Nuovo.

Il susseguirsi dei numerosi eventi esplosivi, d'intensità decrescente nel tempo, ha determinato una stratigrafia complessa derivante dalla sovrapposizione di prodotti piroclastici variabili in granulometria, spessore, stato di costipazione ed estensione laterale.

Nell'area metropolitana di Napoli, sia in affioramento, sia in profondità, si rinvencono altri depositi piroclastici sottostanti al T.G.N., spesso anch'essi tufacei (*Complesso Piroclastico Antico*; SCHERILLO et al., 1967). Sottoposti a questi ultimi si ritrovano, nell'area settentrionale ed orientale, i prodotti legati all'eruzione dell'Ignimbrite Campana rappresentati generalmente da tufo di colore grigio-violaceo, ricco di scorie grossolane nerastre [Di Girolamo, 1987]. Sondaggi profondi hanno evidenziato la presenza di numerosi livelli sabbioso-limosi di ambiente marino, piroclastiti e paleosuoli di età ancora più antica [D'Erasmus, 1931].

Al di sopra del T.G.N. si rileva, quasi ovunque, una successione piuttosto regolare di pomici e cineriti incoerenti (nella quale si trovano intercalati, a varie altezze, più livelli di paleosuoli), messa in posto durante le eruzioni recenti dei Campi Flegrei e nota come *Complesso Piroclastico Prossimale Recente* [Scherillo & Franco, 1960 e 1967].

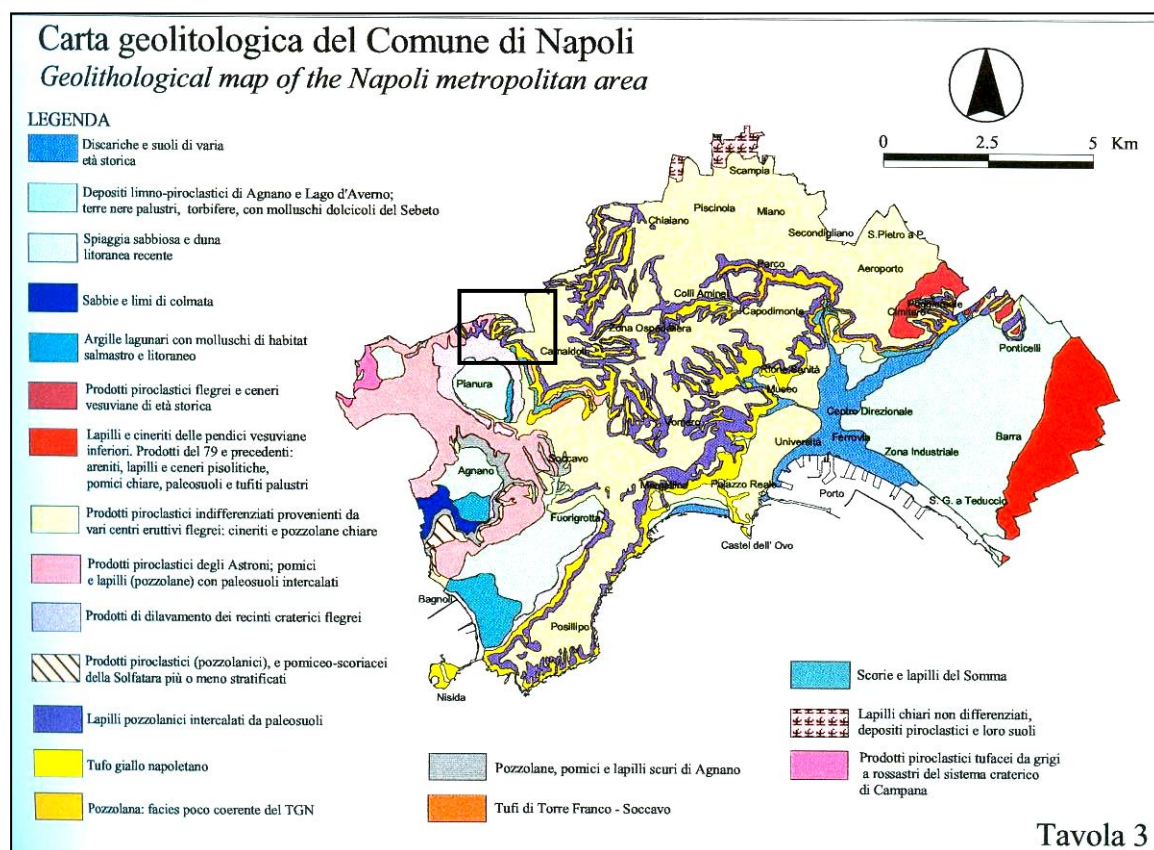


Figura 6 – Carta geolitologica del Comune di Napoli

#### 4.2.-...ELEMENTI MORFOLOGICI E STABILITÀ

Come detto, l'area di progetto è situata al margine di NNW del tenimento comunale di Napoli: collina dei Camaldoli, che rappresenta un alto morfologico di origine vulcanica di raccordo tra i sistemi collinari

posti a sud-est, la fascia flegrea, a nord-ovest e la Piana Campana a nord. La Cava è posizionata sul fianco nord orientale della collina dei Camaldoli e si articola intorno ad una profonda incisione idrografica (Vallone San Rocco) prodotta dallo scorrimento delle acque meteoriche.

L'assetto orografico del sistema collinare è bordato perimetralmente da versanti variamente acclivi con ampie aree crestali poste tra 330/340 m. slm ed allineate nelle direzioni NNW-SE e N-S. Le creste, generalmente sub-pianeggianti, sono incise dalle testate dei rivoli che erodendo gli affioramenti piroclastici hanno originato strette vallecole aventi andamenti governati dal diverso grado di resistenza delle rocce affioranti ed, in parte, dall'assetto strutturale locale. Le balze tufacee sub-verticali, che si rinvencono alla base dei versanti, sono generalmente associate a dislocazioni tettoniche distensive, non più attive, a direzione appenninica ed antiappenninica.

L'area di progetto si colloca nella porzione sommitale della collina dei Camaldoli bordata a settentrione, meridione e ad oriente da un esteso ed articolato sistema di versanti che, con pendenze medie > del 35 %, raccordano le quote assolute di 340 ÷ 100 m. slm e degradano verso la Piana Campana e la depressione flegrea; a valle della quota di 300 m slm si rilevano balze sub-verticali di altezza > di 50 m. in parte interessate da antiche cave per l'estrazione del tufo. I versanti sono caratterizzati da vari dossi mammellonari ribassati e delimitati al contorno da vallecole; di queste, quelle orientali sono più sviluppate e profonde e convogliano le acque drenate superficialmente verso l'omonimo alveo dei Camaldoli e del Vallone San Rocco. In testa a questo ultimo articolato sistema orografico si inserisce la cava di che trattasi.

Le acque dilavanti ed incanalate rappresentano l'elemento morfogenetico più attivo nell'ambito del sistema morfologico appena delineato; pertanto, i principali processi morfologici sono ad esso collegati e si esplicano attraverso la progressiva alterazione chimico-fisica dei depositi vulcanici con conseguente decadimento delle qualità tecniche dei medesimi terreni

Il risultato finale è la produzione di coltri terrose alterate e blocchi lapidei instabili che, là dove le pendenze sono maggiori, risultano instabili e soggetti a franare e/o a colare verso valle. In generale i manti detritici alterati sono assoggettati a deformazioni lente che evolvono occasionalmente in limitati scoscendimenti.

Gli affioramenti tufacei, e/o di materiali addensati, sono soggetti al rischio di crolli allorquando esposti lungo scarpate sub-verticali, i crolli si realizzano lungo linee preferenziali di frattura, spesso sindeposizionali, o di minore litificazione, e sono accelerati dai processi di disaggregazione

Per quanto sopra esposto, ne deriva che per preservare e migliorare l'attuale grado di stabilità morfologica locale: versanti a valle del sito e della stessa cava, è necessario che nell'ambito del progetto di ricomposizione occorre prevedere idonee opere per intercettare e rapidamente smaltire, evitando ogni sorta d'infiltrazione nel sottosuolo, tutte le acque meteoriche e ripristinare, nel



contempo, con opere impermeabili, i deflussi superficiali. Tanto vale per la stabilizzazione delle opere a farsi e di tutti i manufatti preesistenti e di progetto.

Lo studio geomorfologico dell'intero comprensorio (si veda l'elaborato Tavola G\_01) ha permesso il riconoscimento di forme e processi legati a diversi agenti geomorfologici.

I versanti del rilievo collinare in cui si inserisce l'area di cava sono intagliati sia nei depositi piroclastici precedenti il Tufo Giallo Napoletano sia nel tufo giallo stesso. Il perimetro della fossa della cava é conformato dai tagli in parete del tufo che hanno prodotto alte balze che, intersecando le famiglie delle fratture originarie del banco di tufo, si presentando esposte al rischio di crolli di prismi elementari di roccia di varie dimensioni e volumetrie: ciò si rileva solo laddove le fratture isolano blocchi elementari di roccia (lame) che, in assenza di sostegno al piede, sono esposte a rischio di crollo; ciò si riscontra in limitate fasce delle pareti meridionali ed occidentali della cava. Il processo di distacco è accelerato dalla disgregazione e dall'allargamento delle fratture ad opere degli agenti atmosferici.

**Tuttavia, in via generale, tutte le balze sono a rischio: ne deriva la necessità, in primo luogo di procedere al disgaggio dei blocchi instabili e là dove l'onere economico del consolidamento è elevato, di realizzare, in uno con la colmata, ampie fasce di rispetto precluse a qualsiasi attività antropica. Tali fasce devono rispondere al criterio di accumulo al piede del detrito e dei blocchi che si possono distaccare dalle pareti.**

Deformazioni delle coperture detritiche allentate si rilevano per modesti volumi e là dove le pendenze solo elevate ed incompatibili con le proprietà di resistenza dei materiali: cumuli detritici. Tali deformazioni possono attivarsi nell'area di progetto al margine settentrionale della fossa dove sono stati sversati ed accumulati oltre 10 – 20 mt di detriti e tagline di tufo – prodotti di scarto del taglio del tufo – che si sono disposti secondo angoli di scarpa naturali ma allo stato incompatibili con le progressive riduzioni di resistenza degli stessi materiali e per la spinta imbibizione che essi subiscono:

**si sottolinea, cioè, che i cumuli detritici sono in precarie condizioni di stabilità ed occorre, quindi, da un lato prevedere interventi di bonifica idrogeologica per il disciplinamento delle acque meteoriche, sia dilavanti, sia d'infiltrazione, e dall'altro incentivare la loro stabilizzazione attraverso la colmata e la successiva colonizzazione della vegetazione autoctona.**

Nel complesso, gli eventi di frana sono distribuiti in maniera abbastanza omogenea lungo tutte le aree di versante caratterizzate da elevata acclività e energia di rilievo spesso concentrati in corrispondenza degli orli di scarpata a controllo strutturale.

A monte della cava si rilevano forme di erosione quali: solchi da ruscellamento, alvei poco incisi, orli di scarpata, vallecicole a conca, vallecicole a fondo piatto, gomiti lungo aste fluviali a forte gradiente, soglie di valle sospesa e fasce di raccordo tra versante e fondovalle di origine alluvio-colluviale.

#### 4.3.-...ACQUE SUPERFICIALI

Con riferimento alla rete idrografica superficiale presente nell'intorno dell'area di cava non sussistono corpi idrici di primaria importanza, ma rivoli dall'andamento disordinato che discendono da monte, bordano le pareti tufacee meridionali ed orientali (si veda la figura n.4), e più a valle confluiscono in rivoli più definiti (Cupa del Cane).

L'area è caratterizzata da una serie di piccoli reticoli idrografici, alcuni dei quali hanno acqua solamente durante gli eventi piovosi.

#### 4.4.-...ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il comprensorio d'interesse sotto il profilo idrogeologico rientra nello schema del settore "Occidentale Flegreo", caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea per "falde sovrapposte", ma tra loro interconnesse, sia per l'interdigitazione di depositi a vario grado di permeabilità, sia tramite flussi verticali di "drenanza" [CELICO, 1983; CELICO & STANZIONE, 1988; CELICO et al., 1991].

Nell'ambito di tale schematizzazione si è osservato che le falde maggiormente produttive sono localizzate tutte nei prodotti sciolti giustapposti al Tufo Giallo Napoletano [CELICO, 1983] e che le relative quote di livellamento non si discostano in modo rilevante tra loro [VIPARELLI, 1967]. I diversi Autori [CIVITA et al., 1973; CELICO et al., 1988] concordano pertanto nel ritenere valido uno schema idrico a falda unica, costituita da vari orizzonti idraulicamente interconnessi per la mancanza di orizzonti impermeabili sufficientemente estesi arealmente.

L'andamento della morfologia piezometrica ed il chimismo delle acque, ben differenziabile da quello della restante area urbana, hanno consentito di considerare il settore "Occidentale - Flegreo" come una struttura sostanzialmente autonoma e indipendente rispetto al sistema delle falde della Piana Campana [CIVITA et al., 1973; CELICO et al., 1991]. L'area di ricarica principale è stata individuata da diversi Autori in una zona di alto piezometrico compreso tra l'abitato di Marano ed il retroterra di Pozzuoli [CELICO et al., 1991], dove si rinvenivano numerose conche endoreiche responsabili della riduzione delle aliquote d'acqua di ruscellamento superficiale.

Studi di dettaglio effettuati da Celico et al., 2001 riportano che nel settore "Occidentale- Flegreo" esiste una circolazione idrica superficiale all'interno del "*Complesso piroclastico prossimale recente*" costituito da una successione regolare di pomici e cineriti incoerenti nella quale si intercalano, a varie altezze, più livelli di paleosuoli. Il complesso piroclastico prossimale recente formerebbe dunque un acquifero mediamente trasmissivo ( $10^{-2} < T < 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ), poggiante sul T.G.N. (cfr. schema di Fig. 8), che rappresenta un setto impermeabile "relativo".

Le acque di falda defluiscono principalmente nei depositi del "Complesso piroclastico antico", come confermato da un sondaggio profondo realizzato per la vicina area dove è stata realizzata a Discarica di Chiaiano (Cava Cupa del Cane) e nel quale il livello della falda è stato misurato a circa 35.5 m s.l.m.,

all'interno delle cineriti addensate. Tale livello della falda profonda principale risulta pertanto essere protetto dalla superficie da un notevole spessore di sedimenti rappresentati dapprima da una successione di oltre 40 m di tufo giallo napoletano, poi da alternanze di cineriti diversamente addensate a cui si intercalano livelli di paleosuoli per uno spessore complessivo di oltre 80 m ed, infine, direttamente al tetto del complesso piroclastico antico, dalla presenza di un banco lavico trachitico a consistenza litoide, spesso oltre 15 m.

L'andamento piezometrico è ricavato dall'analisi della cartografia piezometrica più recente riportata nel "Secondo Rapporto sullo Stato dell'Ambiente nella Provincia di Napoli" Provincia di Napoli, Assessorato all'Ambiente (2004), proposta in Figura 10 e riferita alla campagna eseguita nel mese di febbraio 2003. L'assetto piezometrico della falda principale mostra un'alimentazione legata a significativi travasi sotterranei dai rilievi carbonatici che limitano la Piana Campana. Sempre secondo gli estensori di tale cartografia, un'ulteriore alimentazione deriva da apporti sotterranei originati nell'ambito del Vulcano del Somma-Vesuvio (ciò in accordo con quanto noto in letteratura scientifica), mentre a Ovest di Acerra è presente uno spartiacque sotterraneo che si collega a un alto piezometrico posto in corrispondenza delle colline flegree ove la falda si trova a quote superiori ai 20 m s.l.m..

Dalla ricostruzione delle isopiezometriche, basata sui punti di monitoraggio indicati dagli studi scientifici recenti (Celico et alii, 2003), risulta che in corrispondenza dell'areale d'interesse la falda idrica principale si troverebbe a una quota di circa 17-18 m s.l.m., mentre il gradiente idraulico medio è pari allo 0.24%.

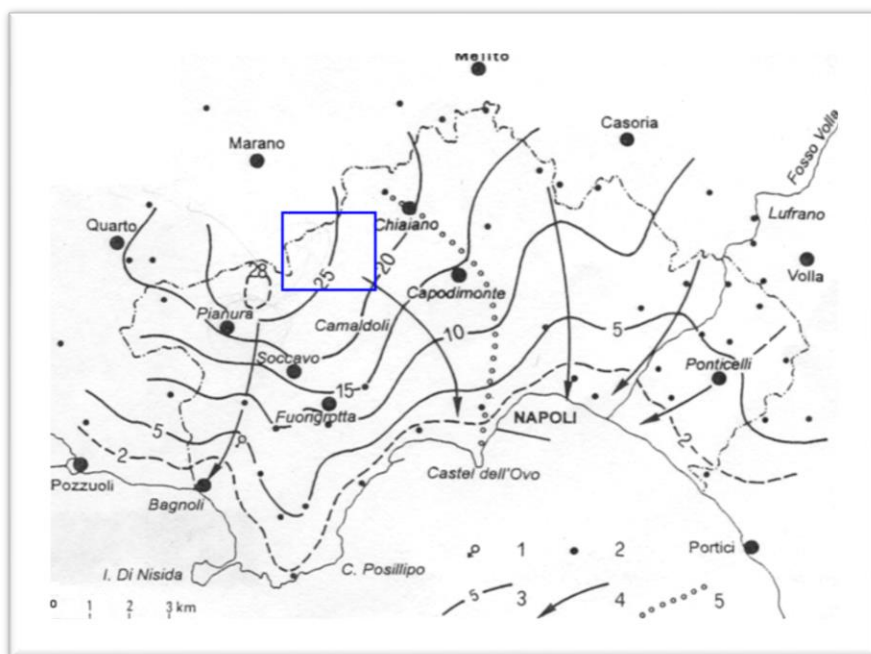


Figura 7 Legenda: 1) Sorgenti principali; 2) punti di misura del livello di falda; 3) curve isopiezometriche e relative quote in m S.l.m. (l'equidistanza è pari a 5 metri); 4) assi di drenaggio preferenziali delle acque sotterranee; 5) spartiacque sotterranei principali.



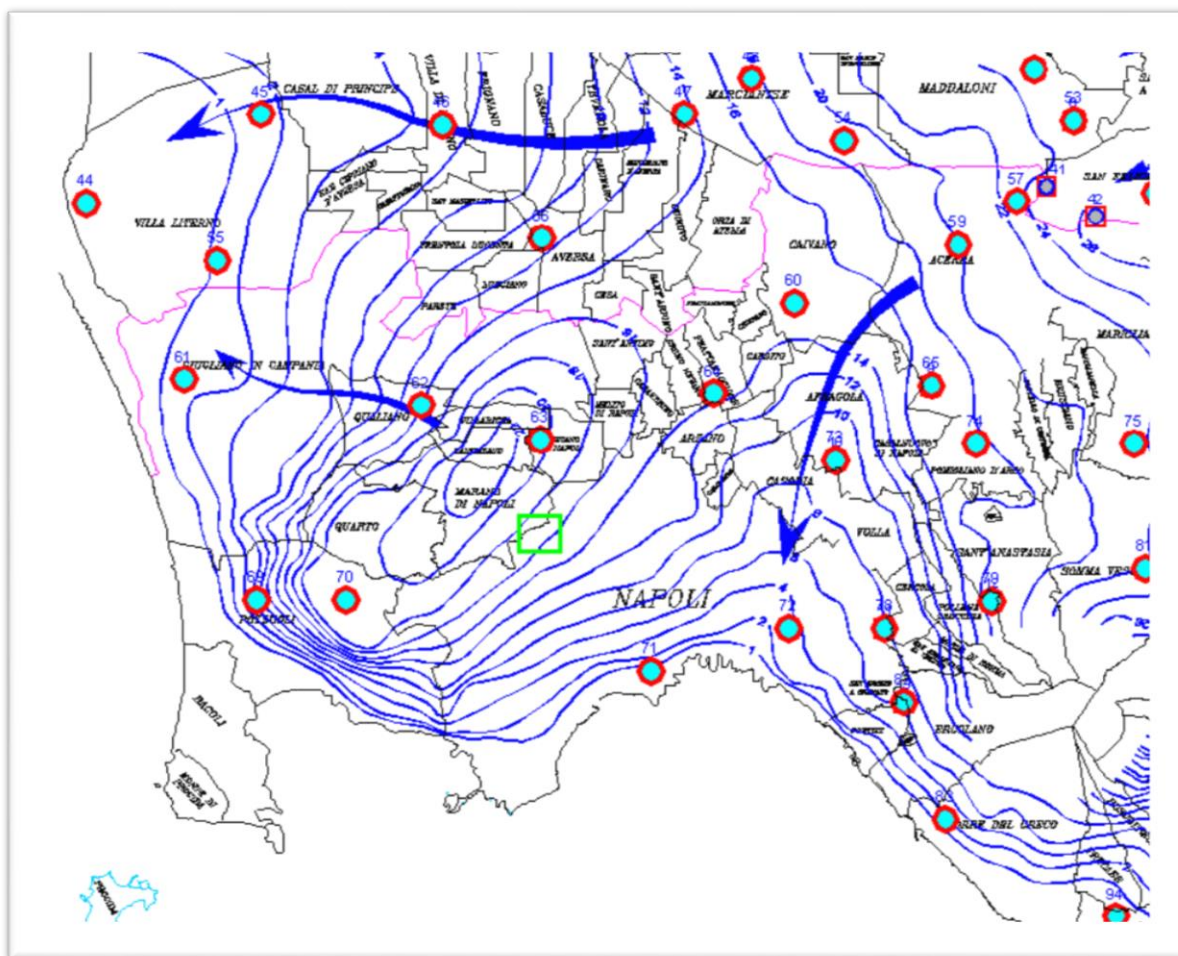


Figura 8 - Andamento piezometrico tratto da "Carta idrogeologica" (Celico , 2003)

Nel sito di progetto il pozzo esistente all'ingresso del piazzale superiore (quota assoluta di 200 m. s.l.m.) la quota piezometrica giace a 90 m. s.l.m., sì che sembra appartenere ad un sistema idrico più superficiale rispetto a quella profonda posta, come detto a 17 / 18 m. s.l.m.; quest'ultima è una falda di tipo confinato/semiconfinato ad andamento regionale.

Il livello piezometrico del pozzo ubicato nei pressi della Cava Zara fa supporre la presenza di una falda locale sospesa rispetto al circuito principale più profondo; la quota piezometrica ivi misurata risulta difatti essere molto diversa e anomala rispetto a quelle riscontrate nei pozzi limitrofi, così da evidenziarne il carattere locale delle acque intercettate dal medesimo pozzo.

#### 4.5.-..VINCOLI IDROGEOLOGICI

In ordine alla definizione dei vincoli idrogeologici di cui alle vigenti norme in materia e, quindi, al Piano di Assetto Idrogeologico (PSAI, anno 2015) dell'ex competente Autorità di Bacino della Campania Centrale (ora Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale), si rileva che l'area è ascritta ad area di "cava" con conseguente livello di rischio da frana R4 (si veda la Figura n. 9 che riporta lo stralcio della Carta del Rischio da Frane – download dal sito ufficiale dell'Autorità di Bacino ): ne deriva la

**necessità di misure di mitigazione e di protezione dal rischio, comunque ricomprese nel progetto di ricomposizione.**

Sotto il profilo idraulico, l'area non è ascritta ad ambiti a rischio (si veda la figura n.10).

**Nello specifico, per il progetto in esame ed in tema di massimo rispetto della naturalità dell'area, ai fini del rischio da crolli di blocchi tufacei lungo le pareti della cava, si prevede di precludere l'uso e l'accesso lungo l'intero perimetro della cavea di una adeguata fascia a naturalità integrale, protetta e separata dal resto dell'area da una fascia di transizione alberata e dotata di presidi realizzati con le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica. L'area di rispetto verrà realizzata e mantenuta sia in fase di avanzamento della colmata, sia a colmata ultimata. A tal proposito non è superfluo evidenziare come la ricomposizione della cava mediante colmata produca effetti positivi sulle pareti tufacee sia in termini di contenimento, sia di protezione dall'azione disagregatrice degli atmosferici: fattori questi che concorrono sicuramente alla stabilizzazione delle balze rocciose.**

**Evidenziato che gli interventi previsti nel progetto in parola rientrano tra quelli ammissibili e necessari per la mitigazione del rischio idrogeologico, restano, comunque, valide tutte le prescrizioni ed i vincoli, di cui alle norme di attuazione del PSAI.**

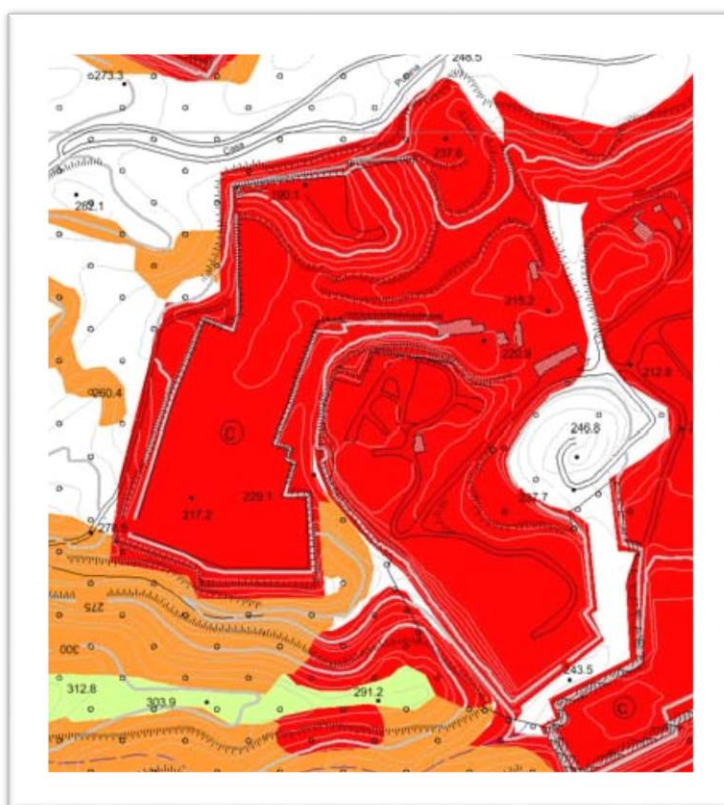


Figura 9 Stralcio della Carta del Rischio da Frane – PSAI –

## LEGENDA

- R4 - Rischio molto elevato
- R3 - Rischio elevato
- R2 - Rischio medio
- R1 - Rischio moderato
- Limite di bacino

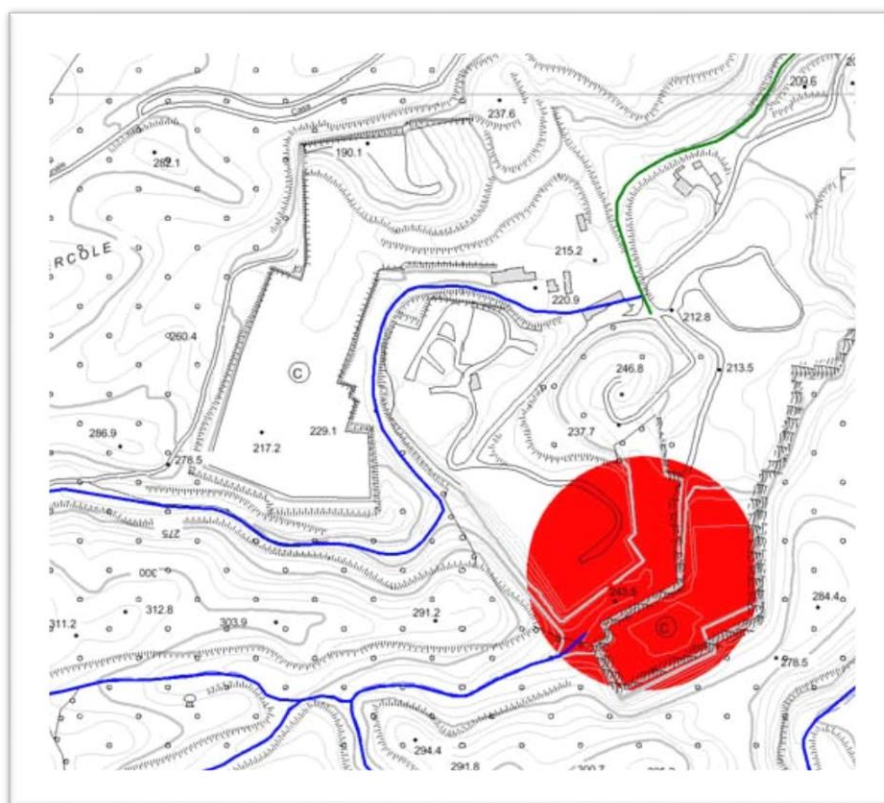


Figura 10 – Stralcio Carta del Rischio Idraulico – PSAI –



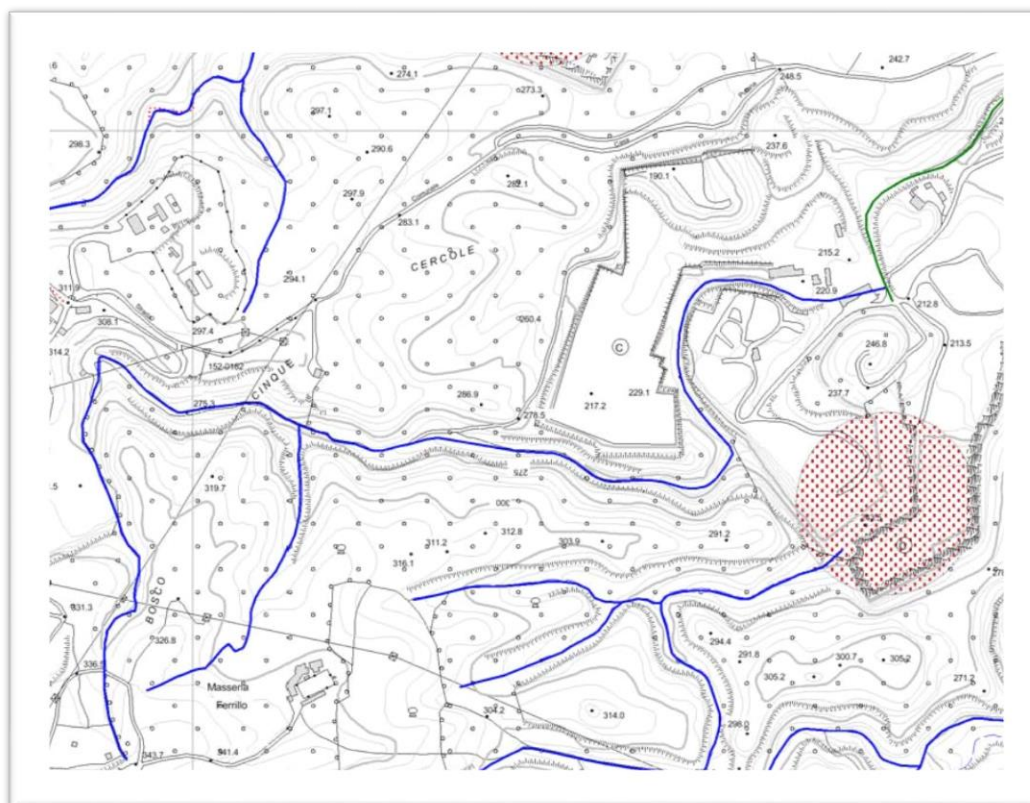


Figura 11 – Stralcio Carta della Pericolosità Idraulica – PSAI –

## LEGENDA

	Esondazione	Aree di attenzione	Elevato trasporto solido	Falda sub-affiorante Conche endoreiche
P3 - Pericolosità Elevata				
P2 - Pericolosità Media				
P1 - Pericolosità Bassa				

**Pericolosità da esondazione** - pericolosità idraulica dovuta a fenomeni alluvionali riconducibili a esondazione del reticolo idrografico.

**Pericolosità per elevato trasporto solido** - pericolosità idraulica dovuta a fenomeni alluvionali caratterizzati da elevato trasporto solido (flussi iperconcentrati, colate detritiche, debris - flow, etc).

**Area di attenzione** - "aree ad elevata suscettibilità di allagamento ubicate al piede di valloni", "punti/fasce di possibile crisi idraulica localizzata/diffusa", "fasce di attenzione per la presenza di alvei strada".

- Limite di Bacino
- Alveo strada
- Reticolo idrografico
- Tratto tombato
- Vasca

Con riferimento all'area in esame il PTR e il PRG vigente del Comune di Napoli classificano l'area come aree di cava (figura n. 12): difatti il profilo originale dell'area in esame è stato modificato in seguito ad attività antropica e attualmente le pareti perimetrali hanno profilo pressoché verticale.

Analizzando anche la carta del rischio atteso per i fattori di pericolosità idraulica e da frana (Variante al PRG, 2004) si osserva come per la zona oggetto di studio sia richiesto un propedeutico approfondimento per definire il livello di rischio (Figura 13).

Nella Carta della stabilità del richiamato PRG, il sito è ascritto ad un ambito “stabile” – si veda la figura n.14 -.

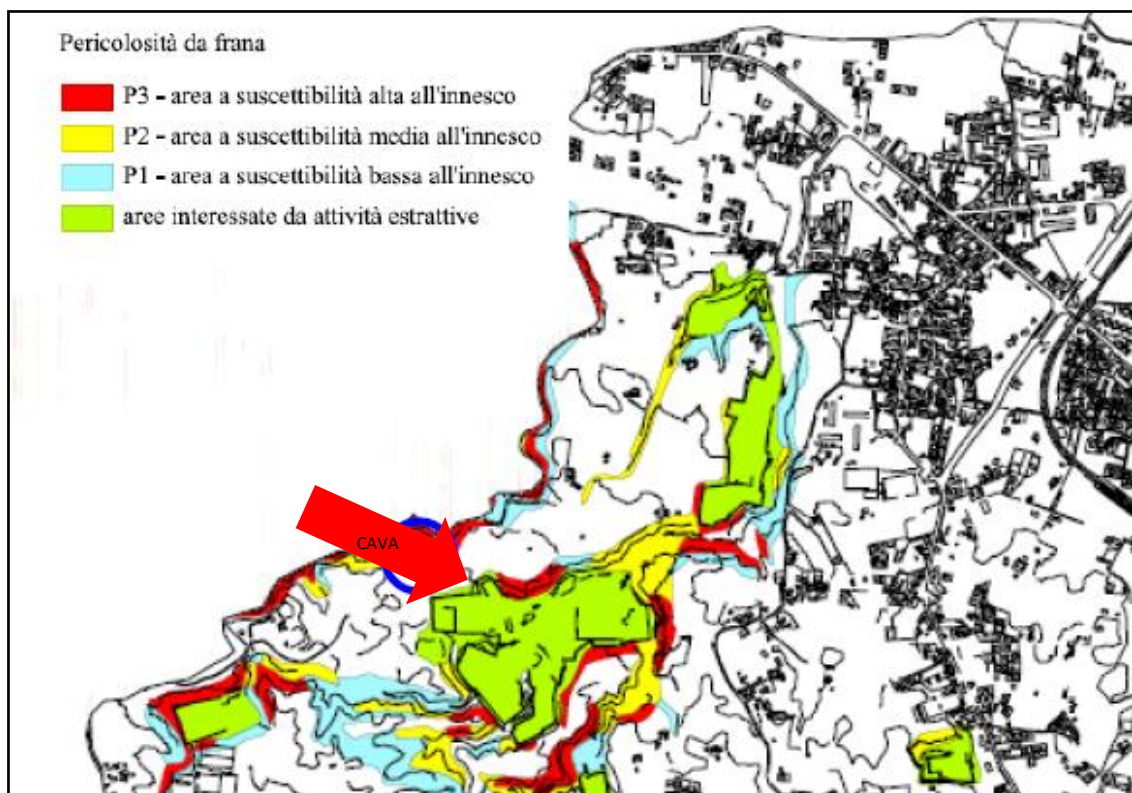


Figura 12 – Stralcio della Carta di Pericolosità da Frane – Variante al PRG, 2004 –

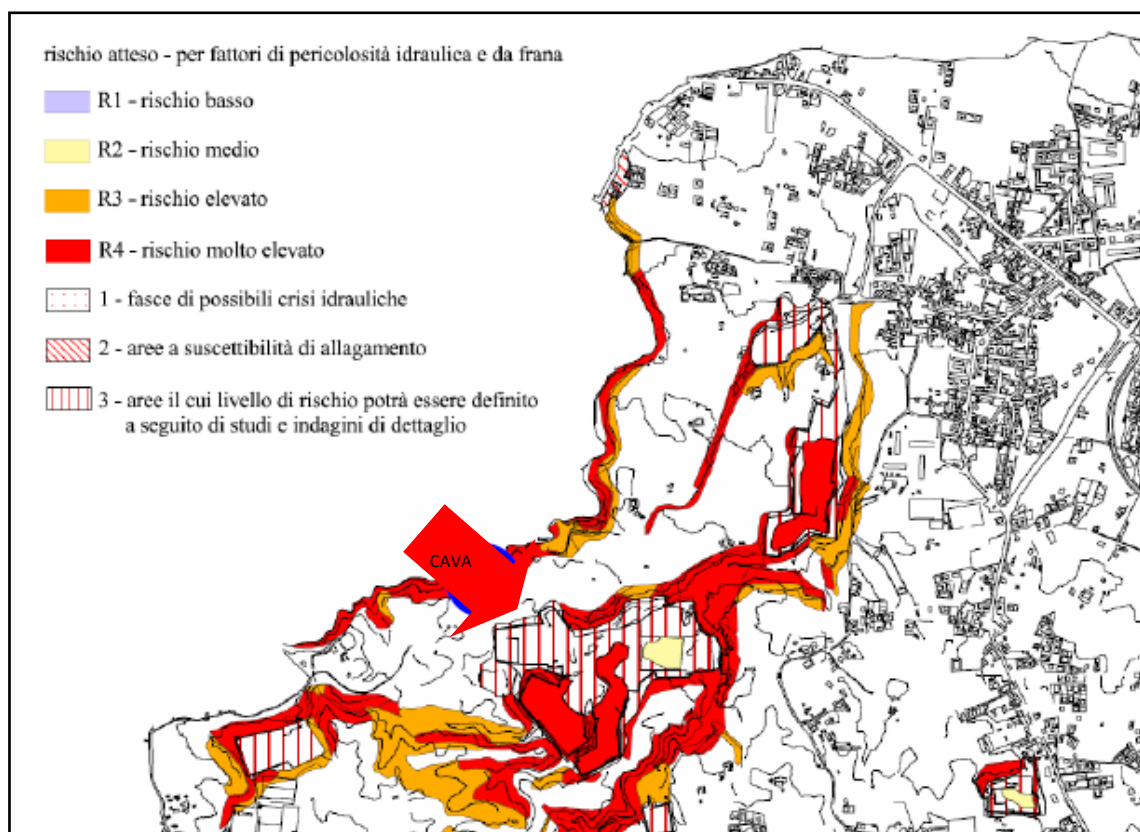


Figura 13 - Carta del rischio atteso per fattori di pericolosità idraulica e da frana (Variante al PRG, 2004)

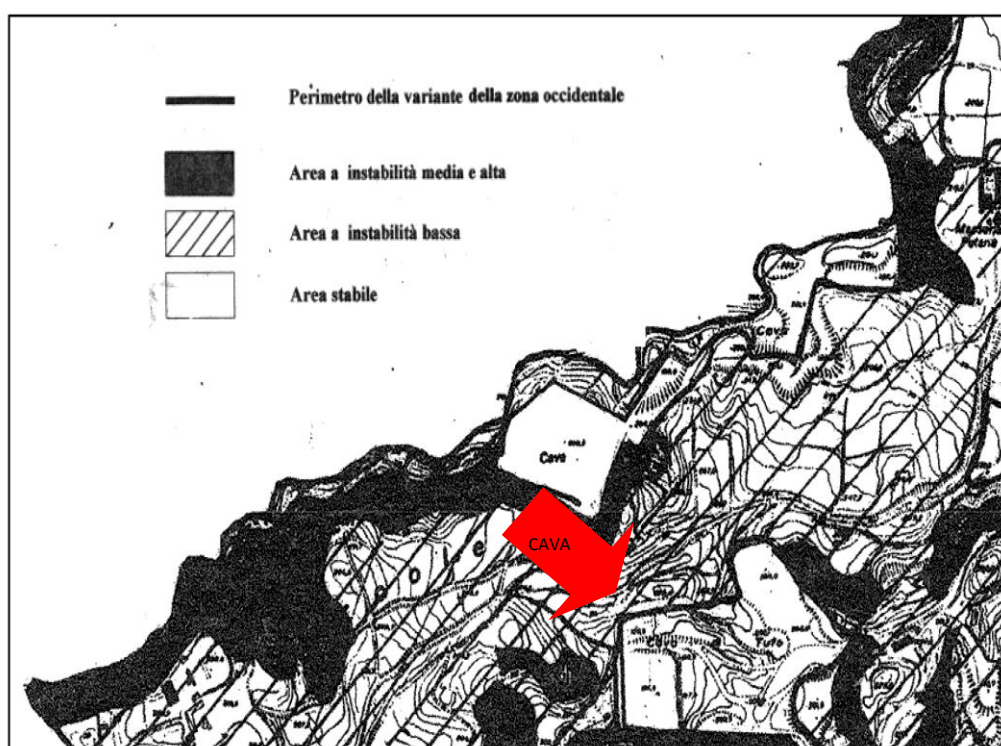


Figura 14 – Stralcio della Carta della Stabilità del PRG di Napoli



## 5.-.DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Al fine di caratterizzare i terreni affioranti sul fondo cava ed in ottemperanza del Decreto Ministeriale LL.PP. 11/3/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle opere di fondazione -, sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a profondità di - 30 mt dal p.c.,
- esecuzione in avanzamento dei sondaggi geognostici di n. 6 Standard Penetration Test (SPT);
- prelievo di n. 6 campioni di terreno indisturbati sottoposti ad analisi di laboratorio per la loro caratterizzazione fisica e di resistenza meccanica;
- n. 3 profili di sismica a rifrazione.

I materiali recuperati dal carotaggio sono stati conservati in opportune cassette catalogatrici ed utilizzate per la redazione delle stratigrafie che sono qui allegate nel fascicolo fornito dall'impresa esecutrice.

Le indagini sono state affidate ed eseguite dalla società "GEOchimie r.l." nel mese di maggio – giugno 2018; l'ubicazione è riportata nella figura 11.

Per le tecniche, la strumentazione e le metodologie d'investigazione, si rimanda all'elaborato prodotto dalla ditta esecutrice che riporta anche i singoli certificati delle sperimentazioni.

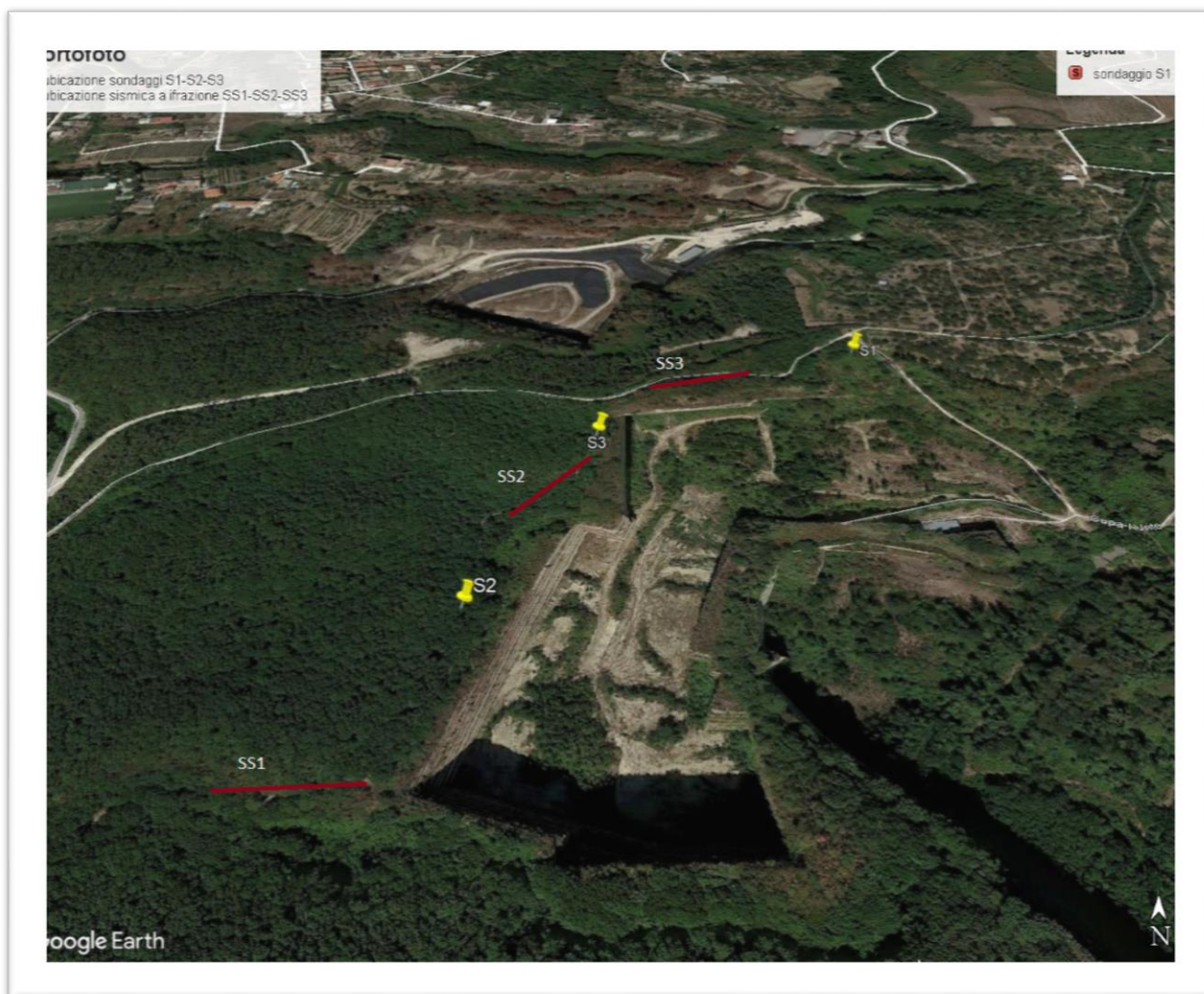


Figura 15 Ubicazione delle indagini

## 5.1.-...INDAGINI IN SITO

### 5.1.1.-...SONDAGGI MECCANICI.

In totale sono stati eseguiti n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo. I sondaggi, eseguiti a secco per il maggior recupero della campionatura, sono stati portati alle profondità di – 30 metri dal p.c..

I risultati dei sondaggi sono graficizzati nei certificati prodotti dalla ditta che eseguito i lavori. Tali stratigrafie sono state redatte facendo riferimento alla composizione granulometrica dei singoli terreni.

### 5.1.2.-...PROVE S.P.T.

Nel corso dei carotaggi sono state altresì eseguite anche sei prove di penetrazione meglio dette Standard Penetration Test. Tale prova consiste nell'infiggere nel terreno, a fondo foro e alle profondità stabilite dal committente, una punta aperta tipo Raymond per tre tratti consecutivi di 15 cm. annotando e riportandoli in stratigrafia il numero dei colpi occorrenti per l'infissione della punta per

ogni tratto. La prova verrà considerata conclusa se per un tratto verrà superato il valore di 50 colpi. L'energia utile all'infissione della punta viene fornita da un maglio a caduta libera, mediante apposito dispositivo di aggancio-sgancio del peso di 63.5 Kg con corsa di 76 mm. Tale maglio batte direttamente su di una testa di raccordo del peso di 15 Kg direttamente avvitata sulle aste di manovra del diametro di 51 mm. Per terreni ghiaiosi la punta aperta di cui sopra è sostituita con una punta conica chiusa avente angolo di apertura di 60°.

Tabella 1 Sondaggi

sondaggio	quota assoluta slm	profondità m.	Profondità del tetto tufaceo mt dal p.c.	SPT alle profondità e $N_{SPT}$	Campioni prelevati alle profondità dal b.f., m.
S1	253	30	15.90	4.5/4.95, $N_{SPT}=9$	C1 – 5.70/6.40
				9.0/10.35, $N_{SPT}=15$	C2 – 7.50/8.10
				13.0/13.45, $N_{SPT}=8$	
S2	264	30	8.70	2.0/2.45, $N_{SPT}=7$	C1 – 3.0/3.60
				7.5/7.95, $N_{SPT}=15$	C2 – 6.0/6.50
S3	258	30	5.80	3.20/3.65, $N_{SPT}=13$	C1 – 2.20/2.70
					C2 – 4.60/5.00

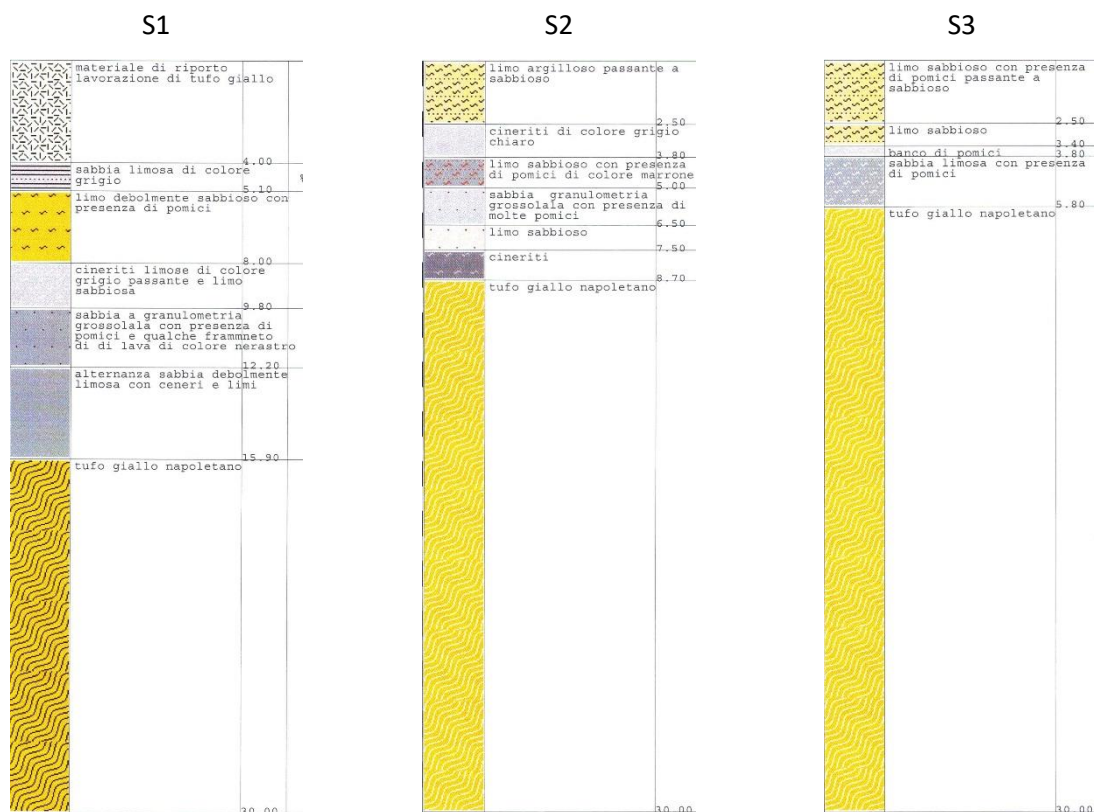


Figura 16 – Stratigrafie dei sondaggi realizzati lungo i cigli della cava



### 5.1.3.-..INDAGINI SISMICHE

La sismica a rifrazione è una metodologia diffusa e consolidata che permette la ricostruzione delle velocità sismiche e delle geometrie del sottosuolo. Per questo motivo è ampiamente utilizzata per

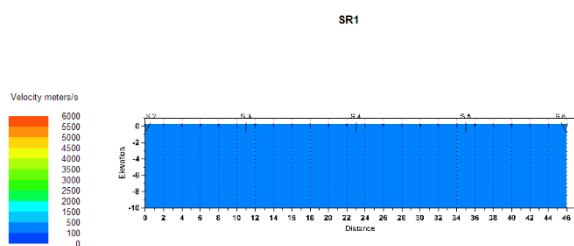


finalità geotecniche (Signanini & Torrese, 2004), ovvero per la ricostruzione dei profili di velocità del sottosuolo e da questi risalire al profilo sismoresistente caratteristico.

I metodi di elaborazione del dato sismico, come il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980), Delay time e Metodo dei Tempi Intercetti consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

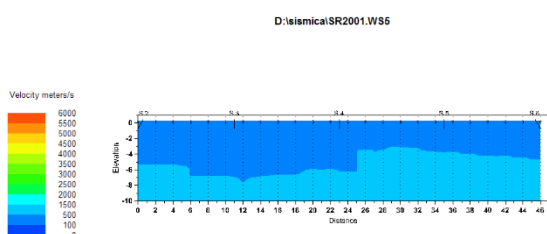
Nel caso in esame sono stati eseguiti tre stendimenti di base = 46 m, a monte dei coronamenti delle pareti tufacee lungo il perimetro occidentale e sud-occidentale della cava. I rilievi consentono di rilevare le profondità delle coperture sciolte (  nei profili sotto riportati,  $V_p < 500$  m/sec) del TGN e il tetto del banco tufaceo (  nei profili sotto riportati,  $V_p > 1500$  m/sec).

#### Profilo 1



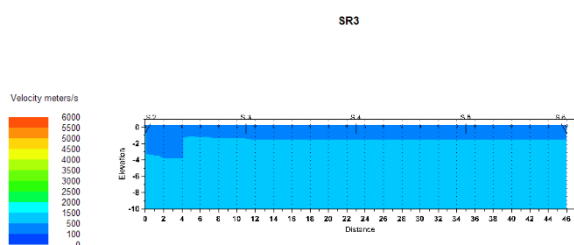
ABC method depth computation

#### Profilo 2



ABC method depth computation

#### Profilo 3



ABC method depth computation

#### 5.1.4.-...PROVE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI INDISTURBATI

I testimoni di terreno indisturbati, prelevati con campionatore Scelby alle profondità riportate nella tabella n.1, sono stati portati in laboratorio ( Soil Test S.r.l.) e sottoposti alle analisi per determinare i valori dei parametri indici fisici e di resistenza meccanica. Tutti i campioni afferiscono alla copertura detritica e piroclastica del TGN. I valori dei principali test eseguiti sono sintetizzati nella tabella che segue.

Campione	Peso unità volume $\gamma_n$ KM/m <sup>3</sup>	Peso specifico dei grani $\gamma_s$ , KN/m <sup>3</sup>	Contenuto di acqua, w, %	Indice vuoti, e	Composizione granulometrica	Coesione drenata, c', KPa	Angolo di attrito interno, $\varphi'$ °
S1C1	13.54	23.82	27.47	1.24	Limo con sabbia debolmente ghiaioso	3.30	26
S1C2	13.74	23.46	26.63	1.16	Limo con sabbia	2.80	26
S2C1	13.62	23.65	38.46	1.40	Limo con sabbia debolmente ghiaioso	2.10	26
S2C2	11.73	22.49	38.56	1.66	ghiaia con sabbia limosa	1.83	30
S3C1	16.41	25.70	31.52	1.06	Limo con sabbia debolmente ghiaioso	2.46	27
S3C2	15.49	25.49	12.59	0.85	Sabbia con limo ghiaiosa	2.20	28

Tabella 2 – valori dei principali parametri indici e di resistenza meccanica delle coperture

## 6.-.ASSETTO GEOLITOLOGICO E MORFOLOGICO LOCALE E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Le indagini appositamente condotte hanno permesso di ricostruire la stratigrafia locale del sito interessato dal progetto del Bosco Umido sul fondo dell'ex cava Comunale.

In particolare, i dati stratigrafici hanno evidenziato che al di sopra del Tufo Giallo Napoletano, che affiora nelle pareti perimetrali della cavea e che rappresenta il prodotto dell'attività esplosiva verificatasi circa 12.000 anni fa, si rileva una successione regolare di cineriti rimaneggiate, legate alla deposizione dei prodotti delle eruzioni recenti dei Campi Flegrei, nella quale si trovano intercalati livelli di pomici subcentimetriche alterate ed arrotondate. Si tratta di depositi di eruzione distali che si depositano con meccanismi da caduta, da nubi eruttive a volte di altezza notevole.

Dai dati bibliografici si ricava inoltre che oltre la profondità direttamente investigata in situ – 30 m. - e per ulteriori 20 mt si rinviene sempre il banco di Tufo Giallo, oltre è presente uno strato di cinerite semilitoide con intercalazioni di livelli scoriacei e di lapillo alternati a livelli di cinerite fine con rare e minute inclusioni. Talora si rinvenivano anche frammenti di lava di dimensioni subcentimetriche (tale orizzonte è comunemente noto quando riscontrato a tetto del tufo con il nome "Cappellaccio"). Al di sotto dei tufi si osserva la presenza di cineriti grigio chiare con pomici grigio chiaro-biancastro assimilabili ai "Tufi biancastri" riconosciuti nella serie del Vallone del Verdolino (da PRG), a cui seguono depositi costituiti da cineriti grigie e brecce laviche intercalati da livelli di paleosuoli, che rappresentano periodi di quiete in cui è possibile la formazione di suoli vegetali più o meno sviluppati. Questa serie, che nell'area dei Camaldoli è denominata Piperno-Breccia Museo, è correlabile ai depositi dell'Ignimbrite Campana (circa 35.000-30.000 anni fa) rappresentati da tufi di colore grigio violaceo, ricchi di scorie nere, più o meno saldati.

Infine si rinviene un banco trachitico sovrastante una serie di cineriti addensate correlabili ai tufi di "Torre di Franco" riconosciuti nella località omonima e costituiti da pomici da caduta, livelli cineritici da flusso e livelli humificati.

L'analisi dei prodotti di Torre di Franco (età superiore a 42.000 anni fa) evidenzia che si tratta di accumuli legati ad almeno sette eventi eruttivi, separati da periodi di quiete (paleosuoli), di vulcani flegrei i cui centri eruttivi non sono identificabili. Tale unità è sede di una falda profonda di tipo confinato.

Il Piperno é correlato al meccanismo di formazione della caldera flegrea e al deposito dell'Ignimbrite Campana, a seguito di una devastante eruzione a carattere esplosivo (nube ardente).

I Tufi biancastri sono essenzialmente legati ad eruzioni freatomagmatiche, di grande energia, caratterizzate da meccanismi esplosivi a seguito del contatto del magma con l'acqua.



Anche il Tufo Giallo è il prodotto di un'eruzione fortemente esplosiva con meccanismi di messa in posto prevalentemente per flusso. Per questa eruzione mancano ancora elementi attendibili per una localizzazione della bocca eruttiva e sulla successione degli eventi e dei meccanismi eruttivi.

Gli ultimi prodotti della serie mostrano una significativa diminuzione dell'energia liberata, tuttavia i meccanismi sono ancora esplosivi. Questo è un elemento dominante del vulcanismo flegreo e di quello osservato nell'area napoletana.

In sintesi nell'area in esame si osservano i prodotti di almeno quattro grandi cicli eruttivi: l'Ignimbrite Campana (Piperno-Breccia Museo) di circa 35.000 anni fa, i Tufi Biancastri e il Tufo Giallo Napoletano riferiti a circa 11.000 anni fa e i prodotti della fase recente dei campi Flegrei, emessi tra 10.000 e 3.800 anni fa.

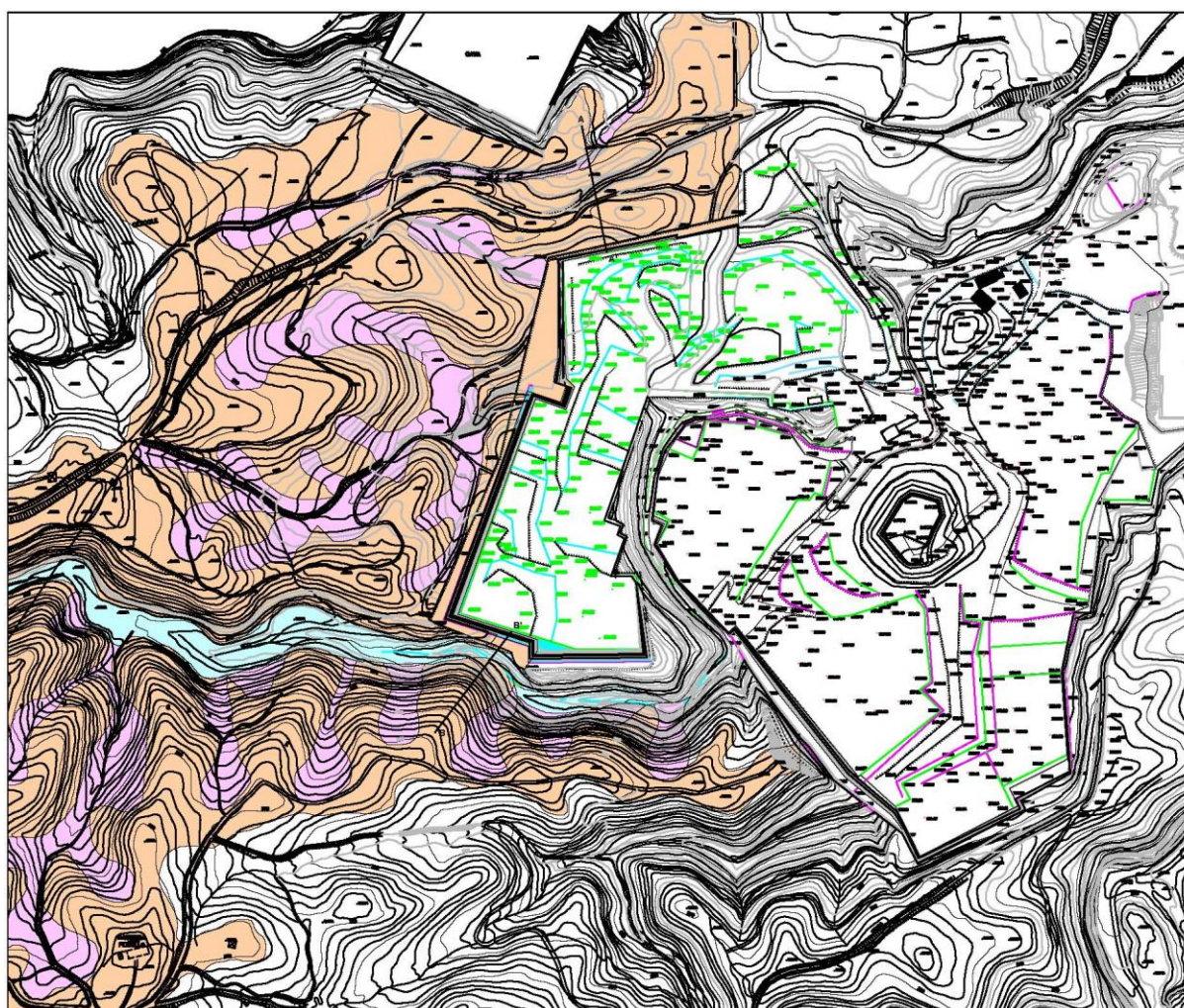


Figura 17 – Stralcio della Carta geologica



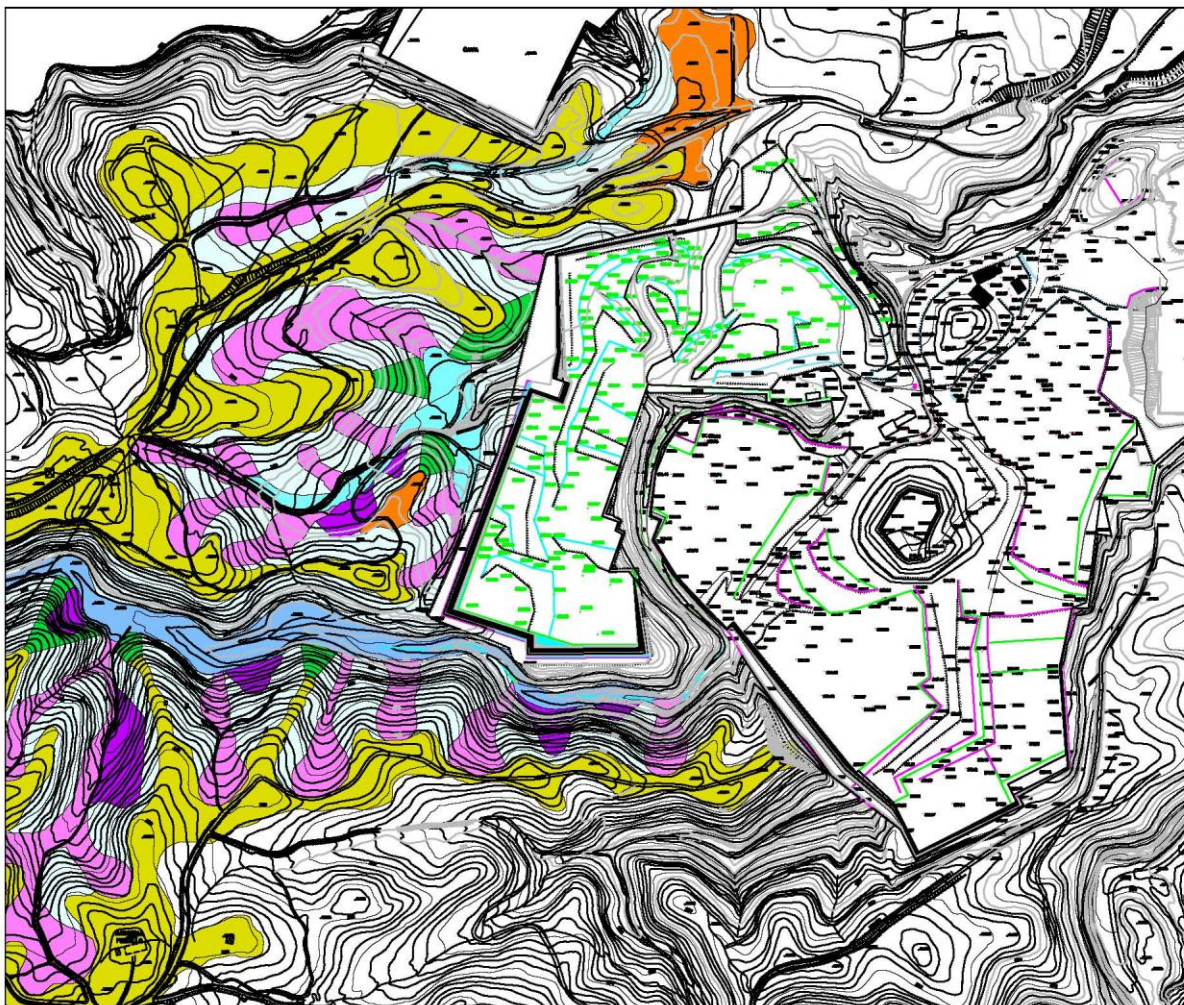


Figura 18 – Stralcio della Carta Geomorfologica





## 7.-..ANALISI IDROLOGICA

L'area oggetto di analisi appartiene al territorio dell'ex AdB Regionale della Campania Centrale e ricade, in particolare, nelle sottozone pluviometriche omogenee C1, ex area A1- *Litoranea* (Figura 19), così come definite nella Relazione Idrologica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dall'ex Autorità DI Bacino della Campania Centrale (P.S.A.I 2015).

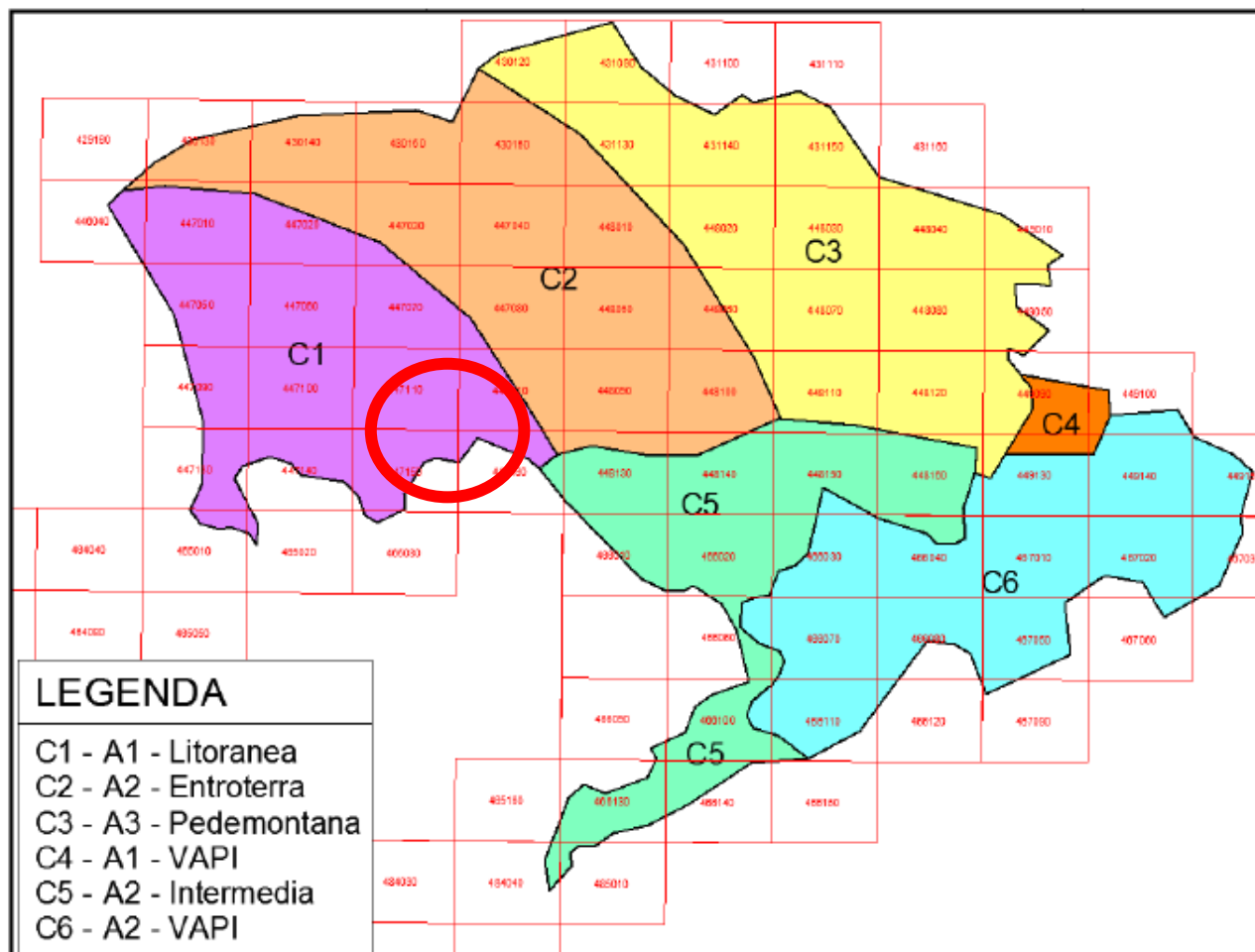


Figura 19 - Sottozone pluviometriche individuate nel territorio dell'AdB della Campania Centrale.

La relazione tra l'intensità di pioggia media e la durata, adottata dalla suddetta Autorità, è espressa nella forma:

$$\mu_{it} = \frac{I_0}{\left(1 + \frac{t}{d_c}\right)^{C-D \cdot z}} \quad (1)$$

in cui:

$\mu_{it}$  [mm/h] è l'intensità di pioggia media relativa ad una durata  $t$  [ore];

$I_0$  [mm/h] è l'intensità di pioggia che si ha per una durata  $t$  tendente a zero;

$d_c$  [ore] è il fattore di scala delle durate;

$C$  e  $D$  sono parametri numerici;

$z$  [m] è la quota media del bacino sul livello del mare.

All'interno della tabella 3 si riportano i valori dei precedenti coefficienti forniti dal P.S.A.I. per le diverse sottozone pluviometriche.

Sottozona	$d_c$	$C$	$D$	$l_0$
C1 (A1-Litoranea)	0.2842	0,7580	-0.000145	68.81
C2 (A2-Entroterra)	0.0956	0,7310	-0.000144	123.96
C3 (A3-Pedemontana)	0.1980	0,7580	-0.000024	86.07
C4 (A1-Vapi)	0.3661	0.7995	0.000036	77.10
C5 (A2-Intermedia)	0.3034	0.7621	0.000097	85.00
C6 (A2-Vapi)	0.3312	0.7031	0.000077	83.80

Tabella 3 - Valori dei parametri delle curve di probabilità pluviometrica per le diverse sottozone omogenee.

Inserendo nella relazione 1 i valori dei parametri forniti dall'Autorità di Bacino (Tabella 3) per la sottozona C1, si ottiene la seguente relazione della curva di possibilità pluviometrica (c.p.p.):

$$\mu_{i_t} = \frac{68.81}{\left(1 + \frac{t}{0.2842}\right)^{0.7580 + 0.000145 \cdot z}} \quad (2)$$

#### 7.1.-..MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

La portata di deflusso sarà determinata con il modello afflussi-deflussi cinematico, o della corrvazione.

In particolare la portata al colmo di piena, è determinabile utilizzando la formula razionale:

$$\mu_Q = \frac{\varphi \cdot \mu_i(t_c) \cdot S}{360} \quad (3)$$

essendo:

-  $\varphi$  il coefficiente d'afflusso del bacino;

-  $\mu_i(t_c) = \frac{\mu_{i_t}}{t_c}$  l'intensità media di pioggia per la durata critica della pioggia (mm/h) che, in base al modello di trasformazione adottato è pari al tempo di corrvazione del bacino  $t_c$ ;

- $\mu_Q$  il valore medio del massimo annuale della portata istantanea al colmo di piena nella sezione di chiusura del bacino assegnato ( $m^3/s$ );
- $S$  la superficie del bacino (ha).

#### 7.2.-...STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione  $t_c$  di un bacino è il tempo necessario perché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo impiegato da una singola particella d'acqua piovuta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura.

La definizione di tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale. Il concetto di tempo di corrivazione permette anche di giustificare perché nei piccoli bacini sono sufficienti piogge brevi per determinare eventi di piena. In letteratura esistono diverse formule per calcolare il tempo di corrivazione. Una formula frequentemente utilizzata in Italia è quella proposta da Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \sqrt{S} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{H_m}} \quad (4)$$

essendo:

- $t_c$  il tempo di corrivazione (ore);
- $L$  la lunghezza dell'asta principale estesa fino allo spartiacque (km);
- $S$  la superficie totale del bacino ( $km^2$ );
- $H_m$  l'altitudine media del bacino (m) misurata rispetto alla sezione di chiusura:

$H_m = z_{med} - z_o$  in cui  $z_{med}$  (m s.l.m.) è la quota media del bacino e  $z_o$  (m s.l.m.) è la quota della sezione di chiusura.

#### 7.3.-...PORTATE IDROLOGICHE

$t_c$	$A$	$\phi$	$i C1$	$Q_m$	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
ore	ha	-	mm/h	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s
0.77	100.00	0.60	27.99	4.66	7.60	9.47	12.17	14.32

Tabella 4 – Portate idrologiche.

## 8.-..DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE OPERE

I calcoli idraulici relativi alle opere progettate si distinguono in calcoli di dimensionamento e in calcoli di verifica.

Il dimensionamento di un'opera idraulica consiste nel determinare le dimensioni da assegnare alla sezione in modo tale che la portata di progetto  $Q_p$  possa transitare con un tirante idrico  $h$  in grado di assicurare un prefissato franco minimo di sicurezza. Il calcolo di dimensionamento presuppone una preliminare definizione della forma e della pendenza, da assegnare alla canalizzazione, nonché la scelta dei materiali con i quali la canalizzazione verrà realizzata. Il problema del dimensionamento, così posto, è in genere risolto ipotizzando, per la portata di progetto  $Q_p$ , condizioni di moto uniforme.

Il problema di verifica consiste invece nel determinare i tiranti idrici  $h$  e le velocità  $V$  che si instaurano, per effetto delle portate di verifica  $Q_{ver}$ , nei canali dei quali sono noti: forma, materiali, dimensioni e pendenze. La verifica idraulica può essere effettuata schematizzando in modo più o meno semplificato il fenomeno idraulico che in realtà, essendo le portate variabili nel tempo, corrisponde sempre una condizione di moto vario.

La schematizzazione più semplice consiste nell'ipotizzare condizioni di moto uniforme e fornisce risultati, in termini di tiranti idrici e di velocità, che possono essere accettabili per molte applicazioni tecniche.

L'esistenza di opere dimensionalmente insufficienti (che con le portate di verifica presentano un funzionamento errato) e/o la presenza di rilevanti fenomeni di rigurgito determinano condizioni di moto che possono essere valutate soltanto adottando schemi computazionali più complessi quali ad esempio quelli usati per il calcolo dei profili di moto permanente o per il calcolo della propagazione in rete (moto vario).

### 8.1.-..CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DI UNA CORRENTE A PELO LIBERO

Le grandezze geometriche che caratterizzano la sezione trasversale di una corrente a pelo libero (figura 20) sono:

- $A$  l'area bagnata, cioè l'area della sezione trasversale della corrente [ $m^2$ ];
- $P$  il perimetro o contorno bagnato, cioè la lunghezza del perimetro della sezione bagnata dalla corrente [ $m$ ];
- $R$  il raggio idraulico, definito come  $R = A/P$  [ $m$ ];
- $h$  il tirante idrico, cioè l'affondamento del punto più depresso della sezione dal pelo libero [ $m$ ];
- $B$  la larghezza in superficie, pari a  $B = dA/dh$  [ $m$ ];
- $h_m$  la profondità media della corrente, definita come  $h_m = A/B$  [ $m$ ].



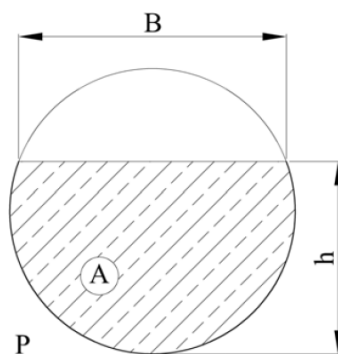


Figura 20 - Grandezze geometriche che caratterizzano la sezione trasversale

Per ogni sezione tutte le grandezze geometriche sopra indicate sono univocamente legate al tirante idrico  $h$  che può essere assunto come grandezza atta a rappresentare geometricamente la sezione liquida trasversale, purché siano note le funzioni che lo legano alle altre grandezze. Queste funzioni dipendono dalla forma della sezione trasversale del canale.

All'interno della tabella 5 sono riportate le espressioni analitiche di questi legami per le forme geometriche utilizzate all'interno del progetto.

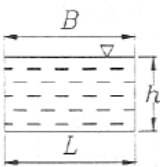
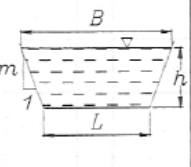
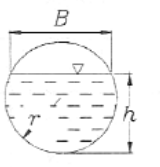
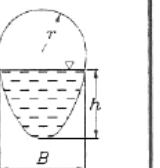
SEZIONE	RETTANGOLARE	TRAPEZIA	CIRCOLARE	OVOIDALE INGLESE
				
Area $A$	$Lh$	$h \left( L + \frac{h}{m} \right)$	(1)	(3)
Contorno bagnato $P$	$L + 2h$	$L + 2h \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}}$	$r \left[ \frac{\pi}{90} \arccos \left( 1 - \frac{h}{r} \right) \right]$	(4)
Larghezza del pelo libero $B$	$L$	$L + 2 \frac{h}{m}$	(2)	(5)
$(1) \quad \frac{1}{2} r^2 \left\{ \left[ \frac{\pi}{90} \arccos \left( 1 - \frac{h}{r} \right) \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{h}{r} \right) \right] \right\}$ $(2) \quad r \left[ 2 \sin \arccos \left( 1 - \frac{h}{r} \right) \right]$ $(3) \quad \text{per } h \leq \frac{r}{4} \quad r^2 \left\{ \frac{\pi}{720} \arccos \left( 1 - \frac{2h}{r} \right) - \left\{ \frac{1}{4} \sin \left[ \arccos \left( 1 - \frac{2h}{r} \right) \right] \right\} \left( 1 - \frac{2h}{r} \right) \right\}$ $\text{per } \frac{r}{4} < h \leq 2r \quad r^2 \left\{ 3,023 - \frac{\pi}{20} \arccos \left( \frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) - 9 \left\{ \cos \left[ \arccos \left( \frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) \right] \right\} \left( \frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) + 12 \left( \frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) \right\}$ $\text{per } 2r < h \leq 3r \quad r^2 \left\{ 4,594 - \frac{\pi}{180} \arccos \left( \frac{h}{r} - 2 \right) + \left( \frac{h}{r} - 2 \right) \sin \arccos \left( \frac{h}{r} - 2 \right) \right\}$ $(4) \quad \text{per } h \leq \frac{r}{4} \quad r \left[ \frac{\pi}{180} \arccos \left( 1 - \frac{2h}{r} \right) \right]$ $\text{per } \frac{r}{4} < h \leq 2r \quad r \left[ 4,788 - \frac{\pi}{30} \arccos \left( \frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) \right]$ $\text{per } 2r < h \leq 3r \quad r \left\{ 4,788 + \frac{\pi}{90} \left[ 90 - \arccos \left( \frac{h}{r} - 2 \right) \right] \right\}$ $(5) \quad \text{per } h \leq \frac{r}{4} \quad r \left[ \sin \arccos \left( 1 - \frac{2h}{r} \right) \right]$ $\text{per } \frac{r}{4} < h \leq 2r \quad r \left[ 6 \cos \arccos \left( \frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) - 4 \right]$ $\text{per } 2r < h \leq 3r \quad r \left[ 2 \sin \arccos \left( \frac{h}{r} - 2 \right) \right]$				

 Tabella 5 - Espressioni analitiche tra il tirante  $h$  e le altre grandezze geometriche per diverse tipologie di sezioni trasversali

La grandezza geometrica che caratterizza il profilo longitudinale della corrente è la pendenza  $i$  del fondo definita dalla relazione (figura 21):

$$i = \frac{dz}{ds} = \operatorname{tg} \beta \quad (5)$$

In generale le pendenze delle fognature sono comprese fra valori dell'ordine di 0,001 e di 0,10; per questo campo di valori l'angolo  $\beta$  è molto più piccolo per cui è possibile assumere  $\sin \beta \cong \operatorname{tg} \beta$ ;  $\cos \beta \cong 1$ .

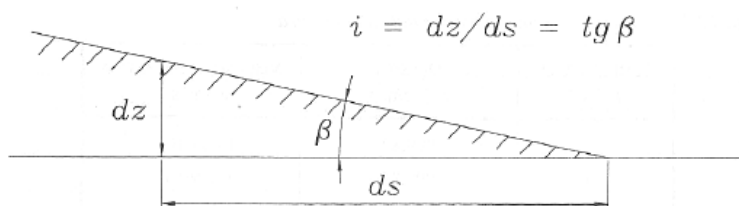


Figura 21 - Grandezze geometriche che caratterizzano il profilo longitudinale

Queste assunzioni consentono:

- di confondere la lunghezza effettiva del canale con la sua proiezione orizzontale;
- di considerare le sezioni trasversali (normali alle linee di corrente e quindi al fondo) verticali. Ciò consente, per le correnti gradualmente variate, di identificare la superficie libera come superficie piezometrica per tutti i punti della corrente.

### 8.1.1.-..MOTO UNIFORME NEI CANALI A PELO LIBERO

Una corrente in condizioni stazionarie (i cui caratteri siano cioè indipendenti dal tempo) si muove in condizioni di moto uniforme se la distribuzione delle velocità puntuali si mantiene uguale in tutte le sue sezioni trasversali; in condizioni di moto uniforme la velocità media della corrente  $V$  assume quindi lo stesso valore in tutte le sue sezioni.

In condizioni di moto uniforme la traccia longitudinale della superficie libera (che rappresenta la linea piezometrica della corrente) risulta parallela alla linea di fondo e, conseguentemente, la cadente  $J$  risulta uguale alla pendenza  $i$  del canale.

La cadente piezometrica  $J$  è legata alla velocità media della corrente e alle caratteristiche geometriche e di scabrezza dell'alveo. Le relazioni che esprimono questo legame prendono il nome di formule di moto uniforme.

Per il dimensionamento delle canalette e dei collettori previsti nel presente progetto è stata utilizzata la formula di Gauckler & Strickler, valida in condizioni di moto uniforme:

$$Q_u = A K_s R^{2/3} i^{1/2} \quad (5)$$

in cui:

- $Q_u$  è la portata in moto uniforme, posta pari a quella idrologica calcolata come indicato precedentemente;
- $A$  è l'area della sezione idrica;
- $K_s$  è un coefficiente di scabrezza, dipendente dal materiale costituente le pareti della sezione di progetto, è stato posto pari a  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per le canalette realizzate ai margini del sentiero, in accordo con i valori riportati nella tabella 2;
- $R$  è il raggio idraulico, rapporto tra il perimetro bagnato e l'area della sezione idrica;
- $i$  è la pendenza del fondo.



## 8.2.-..VERIFICA DELLE DIVERSE IPOTESI DI PROGETTO

### 8.2.1.-..SEZIONE TRAPEZOIDALE – PENDENZA 5%

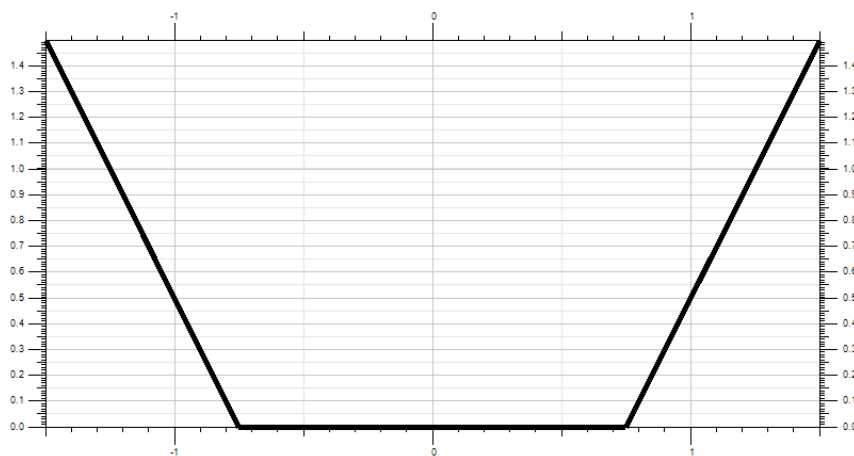


Figura 22 - Schema della sezione

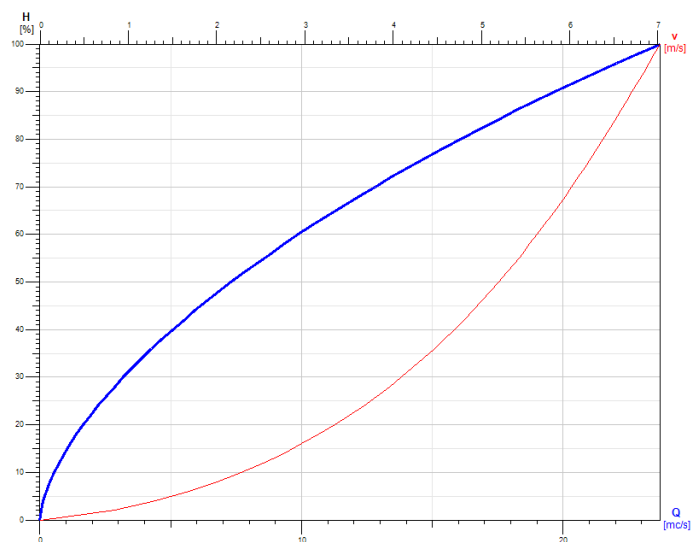


Figura 23– Scala di deflusso

Altezza	Base inf	Base sup	pendenza - s	Periodo di ritorno	Tirante di moto uniforme - $h_u$	Velocità di moto uniforme - $V_u$	Grado di riempimento - $h_u/D$
(m)	(m)	(m)	(%)	(anni)	(m)	(m/s)	(%)
1.50	1.50	3.00	5.0	10	0.77	5.25	51
				20	0.88	5.57	58
				50	1.02	5.95	68
				100	1.12	6.20	75

Tabella 6 – Verifica

### 8.2.2. - SEZIONE SCATOLARE – PENDENZA 5%

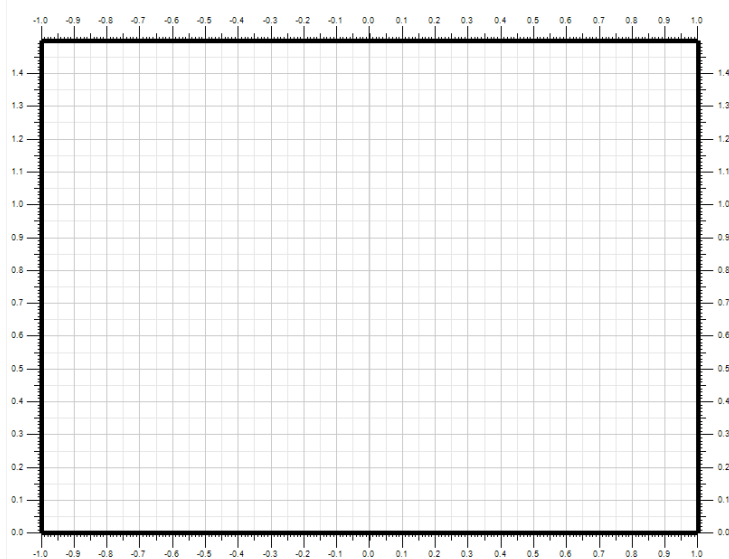


Figura 24– Schema della sezione

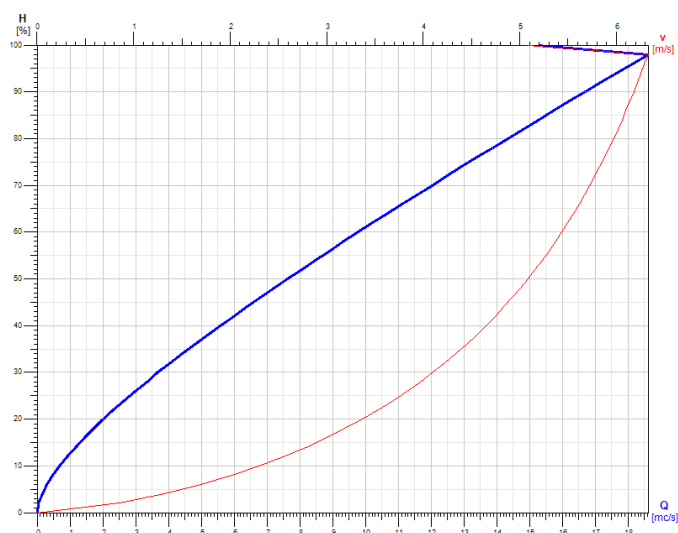


Figura 25– Scala di deflusso

Altezza	Base	pendenza - s	Periodo di ritorno	Tirante di moto uniforme - $h_u$	Velocità di moto uniforme - $V_u$	Grado di riempimento - $h_u/D$
(m)	(m)	(%)	(anni)	(m)	(m/s)	(%)
1.50	2.00	5.0	10	0.75	5.08	50
			20	0.88	5.39	59
			50	1.06	5.74	71
			100	1.20	5.97	80

Tabella 7 – Verifica

### 8.2.3.-..SEZIONE CIRCOLARE – PENDENZA 5%

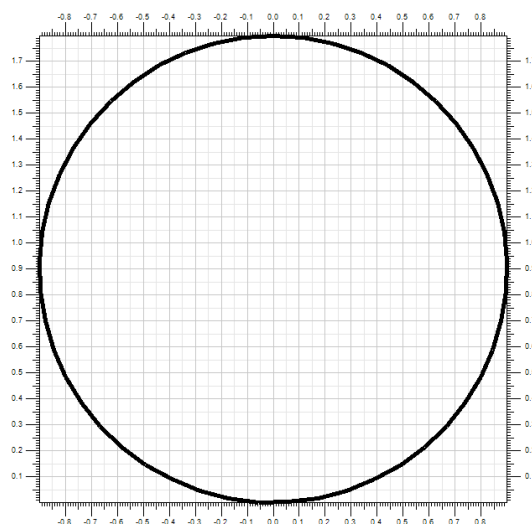


Figura 26 – Schema della sezione

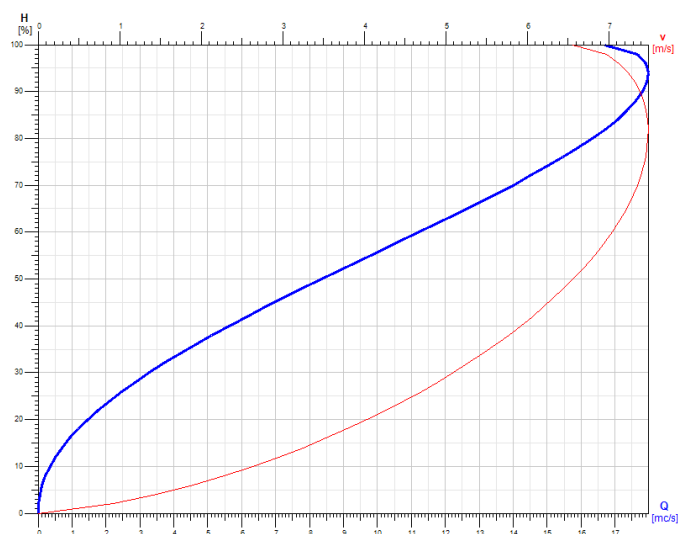


Figura 27 – Scala di deflusso

Diametro	pendenza - s	Periodo di ritorno	Tirante di moto uniforme - $h_u$	Velocità di moto uniforme - $V_u$	Grado di riempimento - $h_u/D$
(m)	(%)	(anni)	(m)	(m/s)	(%)
1.80	5.0	10	0.85	6.41	47
		20	0.97	6.77	54
		50	1.14	7.16	63
		100	1.28	7.38	71

Tabella 8 – Verifica



## 9.-.CONCLUSIONI

In conformità alla variante Generale al PRG, che prevede la sistemazione idraulica ambientale dell'impiuvio naturale, all'interno dell'area d'intervento si prevede di eseguire il colmamento del fondo cava prevedendo per ogni livello dell'abbancamento un sistema di raccolta delle acque meteoriche. La regimazione proposta persegue gli obiettivi generali prefissati dalle norme in quanto raccoglie le acque meteoriche nell'ambito della Cava riconfigurata e le conferisce nel Canale basale esistente e già idraulicamente attivo nell'ambito del bacino di riferimento.

Per la ricomposizione della Cava, si prevede di realizzare per ciascun livello di gradonamento e per ogni ciglionamento canali in terra impermeabilizzati di sezione minima pari a 1.5 m. per la raccolta delle acque che verranno convogliate nel canale perimetrale basale. Ciò realizzerà un'apposita rete interna di raccolta e smaltimento delle acque costituita da un articolato circuito sommitale e basale confluyente in una sezione drenate come sopra verificata. Le singole reti dei canali sommitali e basali, a servizio degli abbancamenti, allacciate ad opportuni pozzetti di confluenza e da questi al collettore per il convogliamento al recapito finale. Le confluenze delle singole aste dei canali sono state opportunamente dimensionate; inoltre in corrispondenza del punto di connessione al canale perimetrale, qui inteso come collettore pubblico basale, è previsto, nel senso del flusso dell'acqua, un pozzetto di confluenza opportunamente ispezionabile. Dato che il conferimento delle acque nel canale perimetrale esistente si configura come conferimento diretto all'asta valliva di valle, si prevede il trattamento delle stesse acque raccolte dal sistema dei canali interni.

L'ipotesi progettuale è stata derivata dall'analisi del riassetto idrogeologico - idraulico previsto ed adattato alla conformazione dei rilevati qui proposti in funzione del regime pluviometrico della collina dei Camaldoli (ambito a maggiore piovosità del territorio cittadino); l'analisi non tiene conto di eventuali apporti di acque nere in quanto eventuali scarichi abusivi vanno preventivamente rilevati e censiti.

All'uopo sono stati individuati, su base cartografica, i bacini di adduzione idrica al canale e le altre grandezze significative per la stima della portata massima di piena con vari periodi di ritorno: sono state studiate le curve di possibilità pluviometrica dell'Autorità di Bacino della Campania Centrale.

Il vigente PSAI non ascrive l'area d'intervento ad ambiti a rischio o a pericolosità idraulica.

Napoli luglio 2018