

COMUNE DI CASTEL VOLTURNO  
Provincia di Caserta



# PIANO URBANISTICO COMUNALE

(Lr 16/2004 - Lr 14/1982 - Dgr 214/2011- Reg 5/2011- Dgr 659/2007)

## STUDI GEOLOGICI

### Relazione Geologica

#### *Allegato L.2.1*

Elaborato

62

L.2.1



Convenzione del 9 dicembre 2015

Pianificazione Urbanistica  
*Prof. Ing. Roberto Gerundo*  
*Dott. Arch. Maria Veronica Izzo PhD*  
*Dott. Ing. Miriam Ceni*

consulenza scientifica  
coordinatore tecnico  
borsista in tecnica e pianificazione urbanistica

Ufficio di Piano  
*Dott. Ing. Chiara Follera*  
*Dott. Arch. Claudio Fiorillo*

responsabile unico del procedimento  
progettista

Assessore all'Urbanistica  
*Dott. Ing. Francesco Traettino*

Sindaco  
*Dott. Dimitri Russo*

Firma

Timbro

marzo 2019

**COMUNE DI CASTEL VOLTURNO**  
***PROVINCIA DI CASERTA***

**PIANO URBANISTICO COMUNALE**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**Geologo GIUSEPPE DORONZO**

Via Terracciano, 198 - 80038 – Pomigliano D'Arco (NA)

Tel./fax 0818848829 – 3296114940

[www.geologodoronzo.it](http://www.geologodoronzo.it) ; e-mail: [gdoronzo@inwind.it](mailto:gdoronzo@inwind.it)

Collaboratori :

Geologo Gennaro D'Agostino

Geologo Giorgio Punzo

Geologo Nunzia Rosaria Gargiulo

**Protocollo: LG – 652/feb-08**

TAV. :

ALL. :

DATA : APRILE 2008

## INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO	6
3. IDROGEOLOGIA	20
4. IL RISCHIO IDROGEOLOGICO	36
5. METODOLOGIA DI INDAGINE GEOGNOSTICA	39
6. INDAGINI SVOLTE	41
7. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	42
8. PRELIEVO CAMPIONI INDISTURBATI	49
9. STANDARD PENETRATION TEST	51
10. DOWN-HOLE	52
11. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI	54
12. ANALISI E PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	56
13. CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI	58
14. ZONAZIONE DEL TERRITORIO IN PROSPETTIVA SISMICA	59
14.1 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE	64
15. CARTA DEL RISCHIO GLOBALE	68
16. CONCLUSIONI	69
17. BIBLIOGRAFIA	72

# Geologo Giuseppe Doronzo

Via Terracciano, 198 – 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Pagina 3 di 72

---

## 1. PREMESSA

Per la realizzazione del Piano Urbanistico Comunale del Comune di Castel Volturno (CE), ai fini dell'esecuzione degli studi e delle indagini previste dalla Leggi vigenti e, altresì, per rispondere alle previsioni urbanistiche e le condizioni geomorfologiche del territorio, ai fini della prevenzione dal rischio sismico DPR 380, art. 89 (ex art. 13 L.64/74) e successive modifiche ed integrazioni, nonché in ottemperanza alla Legge Regionale n. 9/83 – Delibere Giunta Regionale N°5447/02 – N°248/03 N° 816/04 sud detta e successive modifiche ed integrazioni, alla L.R. 16/04 e successive modifiche ed integrazioni, è stata realizzato il seguente studio per la prevenzione dal rischio sismico e per la realizzazione della relativa cartografia prevista a corredo dello stesso strumento urbanistico.

Così come previsto dalle vigenti normative, per lo strumento urbanistico generale in questione, per ciò che riguarda la documentazione di carattere geologico è da prevedere quanto elencato di seguito avendo cura di produrre le carte annoverate con base cartografica in scala 1:5.000:

- o Relazione geologica riportando considerazioni riguardo le indagini dirette ed indirette eseguite ed i risultati delle stesse;
- o Planimetria con ubicazione delle indagini;
- o Indagini geognostiche, geotecniche e geosismiche;
- o Carta geolitologica
- o Carta geomorfologia e della stabilità;
- o Carta idrogeologica;
- o Carta della Zonazione sismica del territorio in prospettiva sismica;
- o Sezioni geologiche

Vi è da puntualizzare che per la campagna di indagini in sito dirette ed indirette, vi è bisogno di realizzare, tra l'altro, un congruo numero di sondaggi geognostici ed indagini geofisiche anche ottemperando a quanto stabilito dal O.P.C.M. N. 3274/2003 e s.i.m.. Vi è, inoltre, da puntualizzare che la base topografica (ivi compresi i limiti comunali e quanto altro segnalato sulla cartografia topografica di base) è stata fornita dalla committenza.

La campagna di indagine geologica, geotecnica, geomorfologia, idrogeologica e sismica, si è sviluppata, per i fini predetti in più fasi secondo il seguente schema:

- a) Ricerca bibliografica: in questa fase, al fine di avere un quadro geologico - geomorfologico e geotecnico conoscitivo generale dell'intero territorio comunale, si sono consultate:

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

- Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 Foglio 171 Gaeta, di Caserta, Carta geologica d'Italia scala 1:100.000 Foglio 181-183 Ischia-Napoli, Carta geologica d'Italia scala 1:100.000 Foglio 172 Caserta;
  - Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 Foglio 184 IV Quadrante (1883);
  - Tavole topografiche in scala 1:25.000 : Tavola n. 14 Mondragone (CE) quadrante 171 – II, Tavola n. 15 Grazzanise (CE) quadrante 172 – III, Tavola n. 22 Lago Patria quadrante 184 – IV (1984);
  - Carta delle spiagge italiane in scala 1:100.000 Foglio 183 Ischia Foglio 183 Napoli, Foglio 185 Salerno (1996);
  - “Studio geologico e geomorfologico del territorio comunale” (1993), “Studio morfologico del territorio comunale compreso tra il corso del fiume Volturno e i Regi Lagni“(1998);
  - Dati stratigrafici di stratigrafie relative all'esecuzione di alcuni sondaggi e pozzi raccolte nel corso dello studio;
- b) Sopralluogo preliminare: attraverso di esso, si sono valutate le condizioni geologiche e morfologiche utili per il posizionamento delle indagini in sito di cui appresso;
- c) Studio di aerofoto con cui si sono valutate le condizioni geomorfologiche, idrologiche e geologiche;
- d) Rilevamento geologico-geomorfologico nella scala 1:5.000;
- e) Rilevamento idrogeologico: finalizzato all'individuazione delle caratteristiche drenanti dei vari complessi geologici rinvenuti su scala territoriale comunale, con rilevamento diretto del livello piezometrico dalla ispezione di circa sessanta tra pozzi, specchi d'acqua, in prima istanza e, poi alla fine della esecuzione, fori di sondaggio e prove penetrometriche effettuate per fini geognostici;
- f) Indagini dirette ed indirette in sito: Attraverso apposito progetto di indagini in sito, che l'Amministrazione Comunale ha affidato, si sono realizzate le seguenti terebrazioni:
- ❖ dieci sondaggi a carotaggio continuo (sino almeno alla profondità di m. 30,00 dal p.c. attuale);
  - ❖ otto prove S.P.T. eseguite, a varie profondità, nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo;
  - ❖ Prelievo di sedici campioni indisturbati sui quali sono state effettuate, le seguenti analisi e prove geotecniche di laboratorio: apertura e descrizione dei campioni, determinazione delle caratteristiche fisiche generali, analisi granulometriche, prova di espansione laterale libera, prova di compressione edometrica;

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

- ❖ dieci carotaggi sismici con tecnica down-hole (sino alla profondità di m. 30,00 dal p.c. attuale);
- ❖ quindici prove penetrometriche pesanti (una sino alla profondità di m. 25,20 dal p.c., una sino alla profondità di m. 19,60 dal p.c. attuale e tutte le altre sino alla profondità di m. 20,20 dal p.c. attuale )

Tutte le prove sono state effettuate, in conformità alle norme A.G.I., in osservanza delle vigenti normative ed i risultati sono stati restituiti graficamente seguendo le raccomandazioni A.G.I.<sup>1</sup>.

Il territorio del Comune di Castel Volturno si estende per una superficie di mq. 72.230.000 ed è situato nella parte centrale dell'AGER CAMPANUS, cuore fertilissimo della CAMPANIA FELIX attraversata dal più grande fiume regionale "Il Volturno" affiancato dal corso del Savone e dai Regi Lagni.

Storicamente fu abitato dagli Opici, dagli Etruschi, dagli Osci e dai Romani che in Volturnum (attuale Castel Volturno) avevano il principale emporium dal quale risalivano verso il porto di Casilinum (attuale Capua). Dopo la caduta dell'impero Romano d'Occidente le invasioni Barbariche ed i Saraceni devastarono l'intero territorio. Negli anni seguenti il suo territorio, fu dominato dai Normanni dagli Svevi e dagli Aragonesi che lo cedettero alla città di Capua. Nel 1812 è diventato Comune autonomo e successivamente seguì le vicende storiche politiche del Regno delle Due Sicilie e dal 1860 quello del Regno d'Italia.

Il territorio si dispone principalmente in senso longitudinale parallelamente alla linea di costa ed alla adiacente strada Domiziana dove insistono ampie zone di pineta nella quasi totalità sottoposte a vincolo di tutela ambientale (Area di Riserva Naturale Foce Volturno Costa di Licola istituita con Legge Regionale n. 33/93 in conformità alla Legge Quadro n. 394/91).

L'Area della Riserva comprende alcune aree di interesse comunitario SIC ed alcune a protezione speciale ZPS e complessivamente sviluppa una superficie di oltre mq. 7.000.000 nella quale sono compresi circa 270 ettari caratterizzati da dune e pinete.

Nel territorio di Castel Volturno sfocia il Volturno che ha sorgenti nel Molise e sviluppa un percorso di oltre 175 km. ed un bacino di oltre 5.500 kmq.

Si ribadisce che la presente relazione geologica è stata redatta essendo in linea con il dettato normativo previsto sia dal D.M. n. 47 del 11/03/88 ( emanato ai sensi dell'art. 1 della legge 02/02/74 n.° 64, nonché del D.M. del 21/01/81 , del D.M. del 03/03/75); della L.R. n. 9/83; e considerando quanto riportato dalla L.R. 16/04 nonché dalla delibera n. 5447 del 7 novembre 2002 della G.R. della Campania (B.U.R.C. n. 56/2002) "Aggiornamento della

---

<sup>1</sup> Associazione Geotecnica Italiana

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

classificazione sismica dei comuni della Regione Campania” che inserisce il Comune di Castel Volturno (CE) nuova classificazione tra quelli S = 6.

Riguardo i vincoli di cui al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nazionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno si ricorda come sia cogente il Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (distinto in rischio frane e rischio alluvione).

Dalla cartografia allegata al Piano ora citato, l'intero territorio comunale, non evidenzia Rischio a franare R1,R2,R3,R4 e pericolosità a franare P1,P2,P3,P4.

Sempre dalla stessa cartografia, per quanto attiene il Rischio idraulico si evidenziano Rischi dei quali si parlerà nei prossimi capitoli.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

L'area di indagine è ubicata nella parte terminale della Piana del Volturno; essa per un piccolo tratto è delimitata a N dal Canale Regia Agnena, ad WSW dalla linea di costa, a S è attraversato dalla parte terminale dei Regi Lagni e da una fitta rete di canali secondari.

Il territorio comunale di Castel Volturno, compreso nelle Tavole topografiche in scala 1:25.000 : n. 14 Mondragone (CE) quadrante 171 – II, n. 15 Grazzanise (CE) quadrante 172 – III, n. 22 Lago Patria quadrante 184 – IV (1984), edita dall'IGM, è ubicato in un'area pianeggiante in piena piana alluvionale della parte terminale del Volturno, ad una **latitudine** compresa fra 40° 53' 56" e 41° 05' 24" direzion e S-N, e **longitudine** compresa fra 14° 00' 26" e 13° 54' 10" in direzione E-O, e quota variabile, da circa 6 a circa - 2 m s.l.m.

L'area, di forma poligonale allungata in senso SSE-NNO, presenta una morfologia, determinata dalla storia tettonica recente e dalla messa in posto (della serie ignimbratica flegrea) di materiale di deposizione alluvionale nonché dall'evoluzione della linea di costa. Si evidenziano sempre pendenze di molto inferiori al 1% ad esclusione delle marginali aree dunali, delle scarpate e/o gli argini degli alvei e degli innumerevoli specchi di acqua presenti (sia essi naturali che di origine antropica). Le pendenze si attestano, in queste piccole aree, su valori del 6 ÷ 8 % .

La morfologia, come detto, è subpianeggiante con quote che non superano i 9 m s.l.m. (verso SSE) e che in taluni casi arrivano a circa - 2 m s.l.m. in alcune zone depresse. E' da considerare che la quasi totalità del territorio comunale è compresa in una fascia altimetrica tra m. 0 e m. 3 s.l.m. ed è da segnalare la presenza un'area leggermente in

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

"rilievo" (3÷9 m s.l.m.), parallela alla linea di costa e larga circa 1 km, corrispondente al cordone dunare. I morfotipi caratterizzanti il territorio (vedi Carta geomorfologica) sono rappresentati essenzialmente da: quelli tipici della morfologia costiera; quelli legati alla dinamica fluviale; quelli di origine antropica.

Per quanto attiene alla morfogenesi della costa in oggetto è acclarato che il settore di Piana attraversata dal F. Volturno, grazie ad una generale tendenza alla subsidenza, ha conosciuto ambienti marini estesi fin sotto le pendici dei monti di Caserta sino a circa 130.000 anni fa (ROMANO et alii, 1964; CINQUE & ROMANO, 2001). Successivamente si realizzarono condizioni favorevoli alla sua crescita come area emersa. I ritmi della subsidenza tettonica si ridussero sin quasi ad azzerarsi e l'area venne investita dai prodotti piroclastici da flusso e da caduta di provenienza flegrea e p.p. vesuviana.

Nel settore della Piana Campana di precipuo interesse gli elementi che maggiormente, ed in tempi più recenti, hanno improntato la morfologia dell'area sono stati: a) l'arrivo della potente coltre ignimbratica del Tufo Grigio Campano e b) l'azione deposizionale esercitata del F. Volturno.

Il F. Volturno penetra nella Piana Campana attraverso la stretta di Triflisco (a nord-est di Capua) e prima che le attività antropiche intervenissero significativamente sul suo corso, il fiume trascinava elevate quantità di materiale solido; si trattava però di elementi dalle dimensioni assai ridotte in quanto quelli più grossolani (sabbie e sabbie grosse) si erano già depositati nella piana di M.te Verna a est di Triflisco (BIGGIERO et alii, 1994).

I sedimenti trascinati dalla corrente idrica e scaricati a mare hanno determinato imponenti fenomeni di *protrazione* della foce. Negli ultimi 150 anni questa ultima ha però subito una progressiva *regressione*, documentata dalla Fig. 1, per fattori legati (BIGGIERO et alii, 1994):

- alla realizzazione di dighe lungo il corso del fiume (che di fatto trattengono pressochè totalmente il trasporto solido)
- al prelievo di inerti dal letto fluviale (attività durate dalla fine degli anni '50 al 1974).

Durante la fase di protrazione della foce si verificavano anche formazioni di barre dunari (Fig. 4) e, talvolta, l'occlusione degli sbocchi a mare delle acque superficiali nelle aree in sinistra e in destra rispetto al dosso del Volturno. Si segnala altresì che gran parte della costa risulta in arretramento ed in particolare quasi tutta la porzione posta a meridione della foce del Volturno, escludendo l'area immediatamente in destra e sinistra della foce dei Regi Lagni ove si evidenzia un avanzamento della linea di costa. Da aggiungere che lì dove sono state realizzate opere di difesa litoranee (siano esse longitudinali che trasversali) il fenomeno è stato contrastato e si evidenzia un avanzamento. Continuando verso meridione e fino ai limiti comunali si segnala un tratto litoraneo ancora in arretramento.

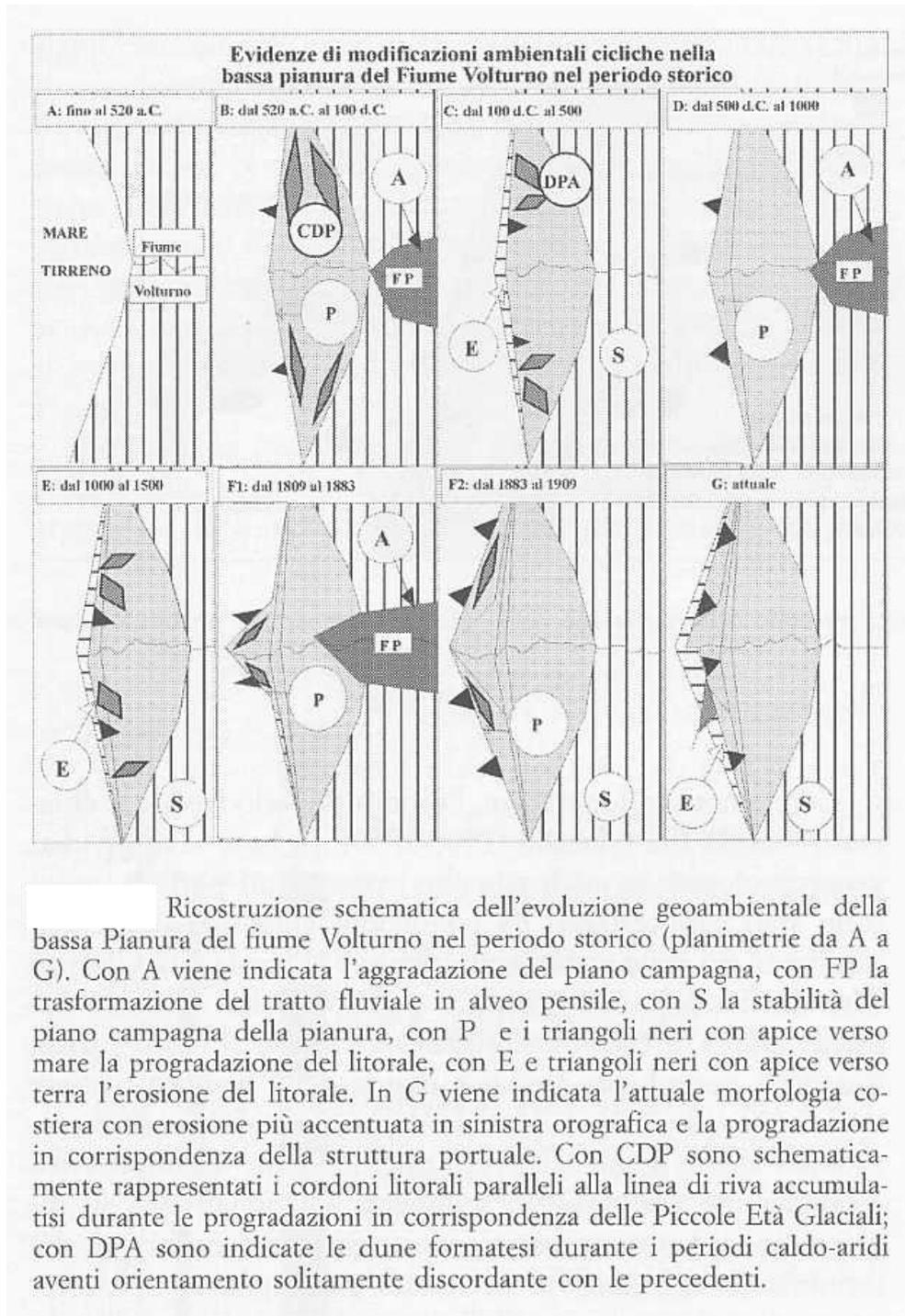


Fig. 1 Modificazioni della linea di costa in corrispondenza del F. Volturno dal 520 a.C. ad oggi (da ORTOLANI & PAGLIUCA, 2000)

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Attualmente negli ambienti costieri ora descritti troviamo i morfotipi caratteristici cioè quelli di duna (con la tipica deposizione sabbiosa) e interdunali lagunari che si conservano in pochi tratti, ovviamente a ridosso della linea di costa ed in larga parte nella porzione Sud Est del territorio. A tal proposito va segnalato (così come riscontrato sia dalla cartografia storica consultata che da evidenze topografiche) come fossero presenti, in tempi relativamente recenti, altri sistemi dunali e retrodunali oramai cancellati dall'inurbamento diffuso in zona.

Riguardo i morfotipi legati alla dinamica fluviale si riconoscono: aree golenali, cuspidi deltizie e meandri abbandonati.

Ovviamente le aree golenali sono presenti nelle immediate vicinanze del Volturno, mentre per i Regi Lagni e Canale Agnena il corso è rettilineo e nel primo caso risulta ampiamente cementificato sulle sponde. Si rilevano, all'interno dell'area golenale (quindi ovviamente nei dintorni del Volturno) vari meandri abbandonati che in alcuni casi presentano specchi d'acqua (lago di meandro anche dell'ordine di un ettaro di superficie) ed in altri fanno oramai parte integrante del paesaggio agricolo predominante. (Fig. 2)



Fig. 2 Meandri abbandonati al confine del territorio comunale con quello di Cannello Arnone

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Per quanto attiene la cuspidè deltizia va considerato quanto già descritto precedentemente nel presente capitolo riguardo a morfogenesi della costa (tendenza alla subsidenza, presenza di ambienti marini estesi successiva, crescita come area emersa, ecc).

Una volta giunte nella Piana Campana, le acque del Volturno procedevano incassate e con tendenza a divagare.

Le esondazioni delle portate di piena dall'alveo provocarono nel tempo il sopralzo dei terreni limitrofi: attualmente il Volturno si presenta pertanto, da Capua fino al mare, con l'alveo incassato nel tratto più alto di un largo ed esteso *conoide* da lui stesso realizzato nel corso dei millenni (Fig. 3).

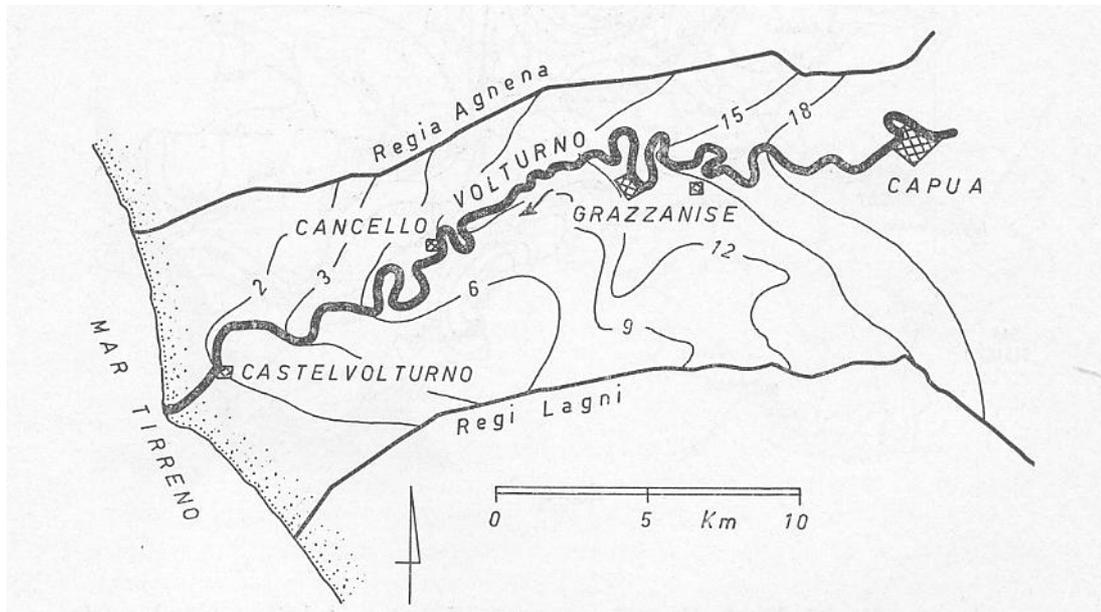


Fig. 3 Curve isopse a ridosso del F. Volturno (da VIPARELLI, 1963)

Si sono evidenziati, per taluni tratti del Fiume Volturno, fenomeni di erosione delle sponde che sono stati segnalati nella carta geomorfologica.

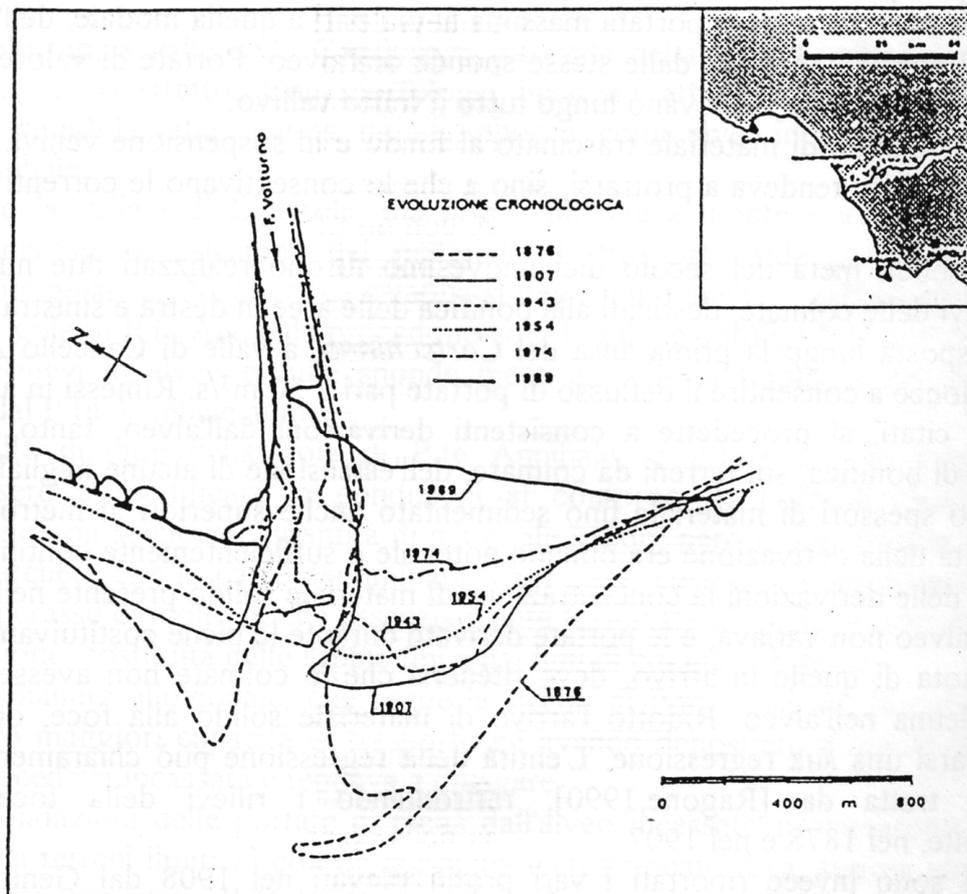


Fig. 4 Evoluzione storica della foce del F. Volturno (in BIGGIERO et alii, 1994)

Come detto si evidenziano inoltre una serie di morfotipi di origine antropica che sono stati realizzati per varie motivazioni.

Per quanto riguarda la bonifica operata nella piana (sistema di canali) è noto come l'area in questione, e più in generale intere porzioni della Piana Campana, da sempre sia stata interessata da vasti impaludamenti: una situazione già presente in età romana (VI e V secolo a.C.) come si può desumere, indirettamente, esaminando il tracciato della Via Appia. Questa strada proveniente da *Minturnae*, dopo aver costeggiato i rilievi più sud-occidentali del M.te Massico (zona di Mondragone), invece di proseguire diritto attraverso la pianura e raggiungere *Casilinum* (l'odierna Capua), risaliva verso nord (continuava cioè a seguire le pendici del Massico) e puntava verso *Casilinum* solo dopo aver raggiunta la parte *alta* della pianura (CAIAZZA et alii, 1997).

La Piana Campana è stata dominio della palude e della malaria fino ad un centinaio e, in qualche area, fino ad una sessantina di anni fa (ROSSI, 1994). Gli interventi più decisivi

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

furono avviati dai Borboni quando, soprattutto per l'impegno del Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade, si individuaron (intorno al 1855) i criteri fondamentali di intervento:

- inalveazione delle acque alte (cioè affluenti dai rilievi) per evitare che esondassero nella piana
- reti di colatori di pianura
- colmata di aree basse (impiegando le *torbide* dei corsi d'acqua)
- sistemazione delle foci a mare per evitare interrimenti e conseguenti esondazioni a monte
- realizzazione di una rete viaria per lo sviluppo economico e sociale della piana.

Queste attività, sia pur condotte tra difficoltà tecniche ed economiche, elevarono in modo sostanziale il livello di abitabilità e produttività della Piana.

Con la costituzione del Regno d'Italia l'attività di bonifica fu presa in gestione dal Ministero dei Lavori Pubblici ma con scarsa efficacia soprattutto nei primi anni. Un nuovo impulso alla bonifica si ebbe con il D.R. del 1923 che rispondeva ad una visione più ampia del problema e finalizzata non solo alla soluzione dei problemi idraulici ma anche alla promozione dello sviluppo socio-economico dell'area. Per tali finalità si puntò:

- a ridurre il rischio di inondazione dei terreni della piana mediante un sistema continuo di arginature del Volturno da Capua al mare;
- al drenaggio delle zone acquitrinose mediante una nuova rete di colatori e, lungo le fasce costiere depresse, al prosciugamento meccanico mediante idrovore.

Ulteriori passi in avanti nella valorizzazione dei terreni che la sistemazione idraulica aveva bonificato si ebbero infine con il programma di *trasformazione irrigua* fortemente sostenuto dal Consorzio Generale del Bacino Inferiore del Volturno costituitosi nel 1952. Nella cartografia allegata si evidenzia il sistema di canalizzazione ora descritto.

Altro massiccio intervento antropico è quello relativo alle opere realizzate come difesa per la mitigazione del rischio idrogeologico costituito essenzialmente da argini in terra in molti casi rivestiti in calcestruzzo, come nel caso del Volturno, o alvei ampiamente cementificati, come nel caso dei Regi Lagni.

Sempre esaminando forme antropiche che insistono sul territorio si segnalano una miriade di stagni, anche di grandi dimensioni (in taluni casi con superficie anche di oltre due ettari), concentrati tra il fiume Volturno ed i Regi Lagni a valle della strada a scorrimento veloce posta a monte del centro di Castel Volturno, di fatto in area urbana, creatisi per affioramento della falda in seguito all'intensa attività di escavazione per la realizzazione, in passato, di una serie di cave a fossa per lo sfruttamento, essenzialmente, di litotipi sabbiosi.

Oltre a questi appena descritti si annoverano stagni di dimensioni notevolmente più ridotte (al massimo 600-700 m<sup>2</sup>) ubicati in modo sparso sul territorio, ma sempre nelle zone più interne, e di supporto alle attività agricole o di agli allevamento zootecnici.

Continuando nell'exkursus riguardo gli interventi antropici, che hanno contribuito e contribuiscono anche alla modifica del Paesaggio, si indicano le opere di difesa litorale diversificati tra pennelli trasversali alla linea di costa (con evidenza di cordoni sabbiosi creatisi post messa in opera degli stessi) ed opere frangiflutti realizzate essenzialmente con scogliere in roccia.

Relativamente all'inquadramento geologico come è noto l'area in oggetto è ubicata all'interno della Piana Campana. Essa è una vasta area pianeggiante, delimitata a Nord dal M.te Massico, a Nord-Est dai M.ti di Caserta, a Est dai M.ti di Sarno, a Sud dai M.ti Lattari e dalla Piana del Sarno e ad Ovest dal Mar Tirreno (Fig. 5).

Essa rappresenta una zona di grande importanza per gli insediamenti urbani, la densità di popolazione, le attività produttive, le infrastrutture e le risorse naturali esistenti. Questa è una zona dove, in epoca storica e durante il Quaternario recente, si sono avuti importanti fenomeni vulcanici che hanno contribuito sensibilmente a definire l'assetto morfologico attuale.

È di notevole interesse, quindi, la conoscenza delle caratteristiche stratigrafico-strutturali di quest'area, al fine di valutare preventivamente gli eventuali rischi geologici e di utilizzare correttamente le risorse geoambientali esistenti. La Piana Campana rappresenta un grande graben, individuatosi probabilmente nel Pliocene superiore, soggetto ad un pronunciato sprofondamento durante il Quaternario.

Le linee tettoniche lungo le quali è avvenuto l'abbassamento sono ben riconoscibili ai bordi della pianura, dove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE, che determinano il graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, appartenenti a due distinte unità tettoniche sovrapposte, affioranti tutto intorno al graben al di sotto di notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari.

In superficie, quindi, sono ben osservabili le strutture marginali del graben. Le strutture recenti principali sono rappresentate da faglie normali orientate NE-SW e NW-SE, che in almeno due fasi del Quaternario hanno determinato rigetti verticali dell'ordine di qualche migliaia di metri.

Le strutture mioceniche, osservabili ai margini della Piana, sono connesse ai fenomeni di sovrascorrimento che hanno interessato la copertura sedimentaria triassico-miocenica e non sono legate alle deformazioni attuali del basamento cristallino.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Queste ultime hanno orientamento W-E e sono costituite da una serie di monoclinali immergenti a Nord e delimitate a Sud da faglie normali, aventi rigetti verticali fino a mille metri e che tendono ad estinguersi, verso il basso, sulle superfici di sovrascorrimento.

Le faglie recenti, cui sono connessi anche i fenomeni vulcanici del graben della Piana Campana, sono evidenti, con gli stessi orientamenti e sempre con notevoli rigetti verticali, in tutto l'Appennino Campano-Lucano.

Le aree vulcaniche marine, antistanti la Piana Campana (Isole Pontine, Ischia), sono da mettere in relazione principalmente con strutture recenti ed antiche parallele alla catena, lungo una fascia in cui, in profondità al di sotto dei depositi del Miocene superiore, Pliocene e Quaternario, si ha il probabile contatto tra la crosta assottigliata del tipo tirrenico e quella deformata ed ispessita sottostante la catena.

Lungo tale fascia, si potrebbe avere la sovrapposizione della crosta del bordo orientale tirrenico sulle unità sedimentarie ricoprenti la crosta deformata del margine continentale africano. Le strutture principali recenti che hanno controllato il vulcanismo di questa fascia, quindi, sarebbero da collegare principalmente all'assetto strutturale profondo determinatosi dal Pliocene al Quaternario.

I fenomeni vulcanici dell'area Flegrea, del Roccamonfina e del Vesuvio sono connessi a strutture recenti che interessano anche la crosta, deformatasi probabilmente per fenomeni compressivi fino al Messiniano, sostenente le unità sedimentarie della catena.

Queste zone vulcaniche sono ubicate in corrispondenza dei graben delimitati da faglie orientate NE-SW e NW-SE, là dove si individuano le zone di massimo sprofondamento.

La struttura profonda della Piana Campana è stata indagata sia con prospezioni geofisiche che con pozzi profondi.

I pozzi (profondi sino ad alcune migliaia di metri) però non hanno mai raggiunto, nella parte centrale del graben, il substrato carbonatico sottostante i potenti depositi alluvionali detritici e vulcanici quaternari.

Le strutture profonde quindi risultano ancora oggi di difficile e controversa interpretazione per gli oggettivi limiti delle indagini finora condotte. (Fig. 6)

I dati pubblicati in letteratura (CELICO, 1983; CIVITA et Alii, 1973; CORNIELLO et Alii, 1990; ORTOLANI & APRILE, 1978; 1985)(dE RISO, 1990) indicano, un sottosuolo così articolato, dall'alto:

- terreni prevalentemente sabbiosi, dunari e di spiaggia e depositi limo-argillosi di interduna, affioranti in una fascia larga circa 1-2 km prospiciente il mare;
- depositi limo-sabbiosi fluvio-palustri associati a depositi torbosi, che affiorano nella maggior parte dell'area in esame e raggiungono i massimi spessori (30 m) in prossimità del corso del Volturno;

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

- tufo grigio campano, spesso sormontato da piroclastiti sciolte, affiorante nel settore a nord del T. Savone; il banco di tufo si approfondisce e si assottiglia via via che ci si approssima al corso del Volturno; infatti lo spessore complessivo varia dai 40÷45 m alle pendici del M.te Massico ai 2÷3 m in prossimità del F. Volturno dove sovente il tufo ha consistenza "terrosa" ed a luoghi è assente per locali fenomeni erosivi.
- terreni sabbioso-limoso-ghiaiosi di ambiente marino, rinvenuti in perforazione alla base del tufo, che talora passano lateralmente o poggiano (in destra Volturno) su terreni granulometricamente affini ma di origine piroclastica; lo spessore è di 50÷60 m;
- terreni a granulometria fine (da limo-sabbiosi a limo-argillosi), anch'essi di probabile ambiente marino, con spessori di qualche centinaio di metri;
- depositi vulcanici antichi (tufi e lave andesitiche e basaltiche attribuibili ad attività preflegrea) con spessori notevoli;
- depositi clastici di età mio-pliocenica (profondità 3÷5 km) affioranti localmente sul versante meridionale del M. Massico;
- terreni carbonatici di piattaforma, affioranti al M.te Massico e mai raggiunti dalle perforazioni profonde eseguite nel settore baricentrico della Piana Campana poichè ribassati da "ripide" gradonate di faglia.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

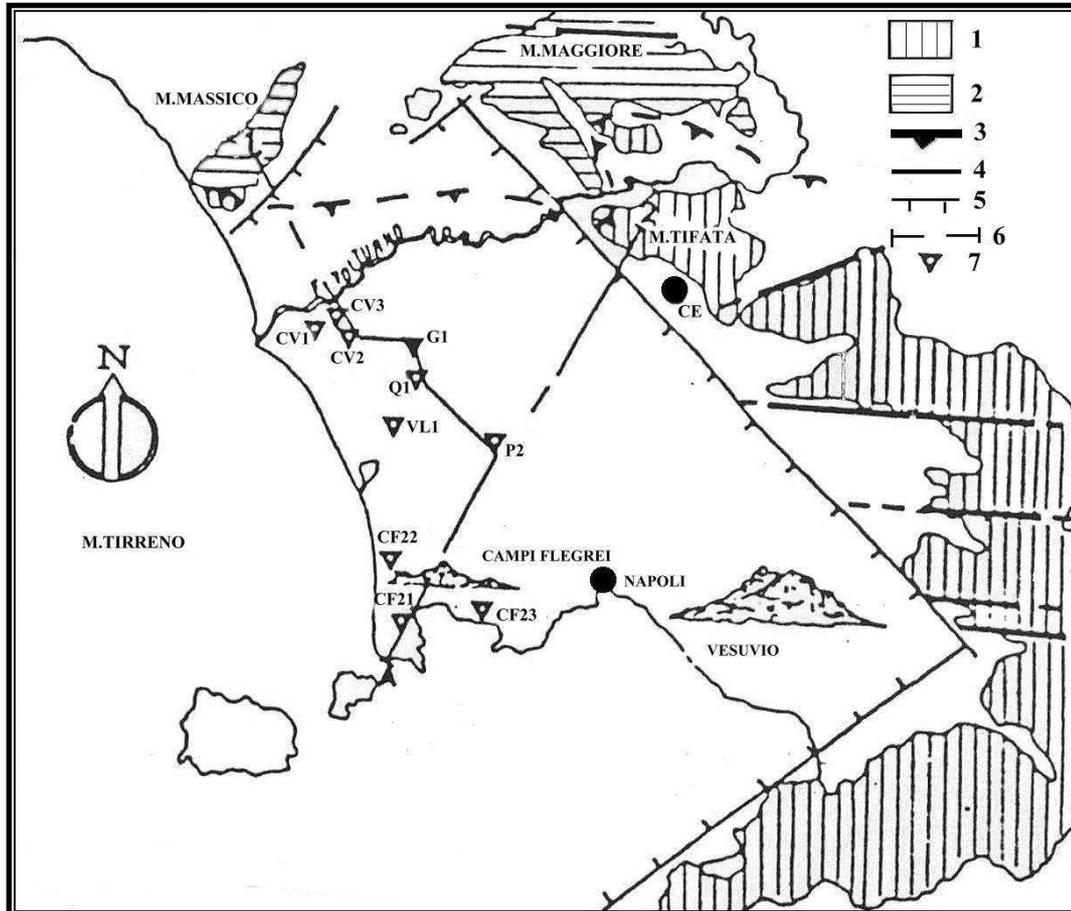


Fig. 5 – Schema tettonico della Piana Campana e delle aree circostanti (da Ortolani & Aprile, 1985)

1) Unità carbonatiche della piattaforma Campano-Lucana; 2) Unità carbonatiche della piattaforma Abruzzese-Campana; 3) Fronte di sovrascorrimento delle unità della piattaforma Campano-Lucana; 4) Strutture mioceniche; 5) Faglie dirette quaternarie; 6) Traccia delle sezioni geologiche interpretative; 7) Sondaggi meccanici.

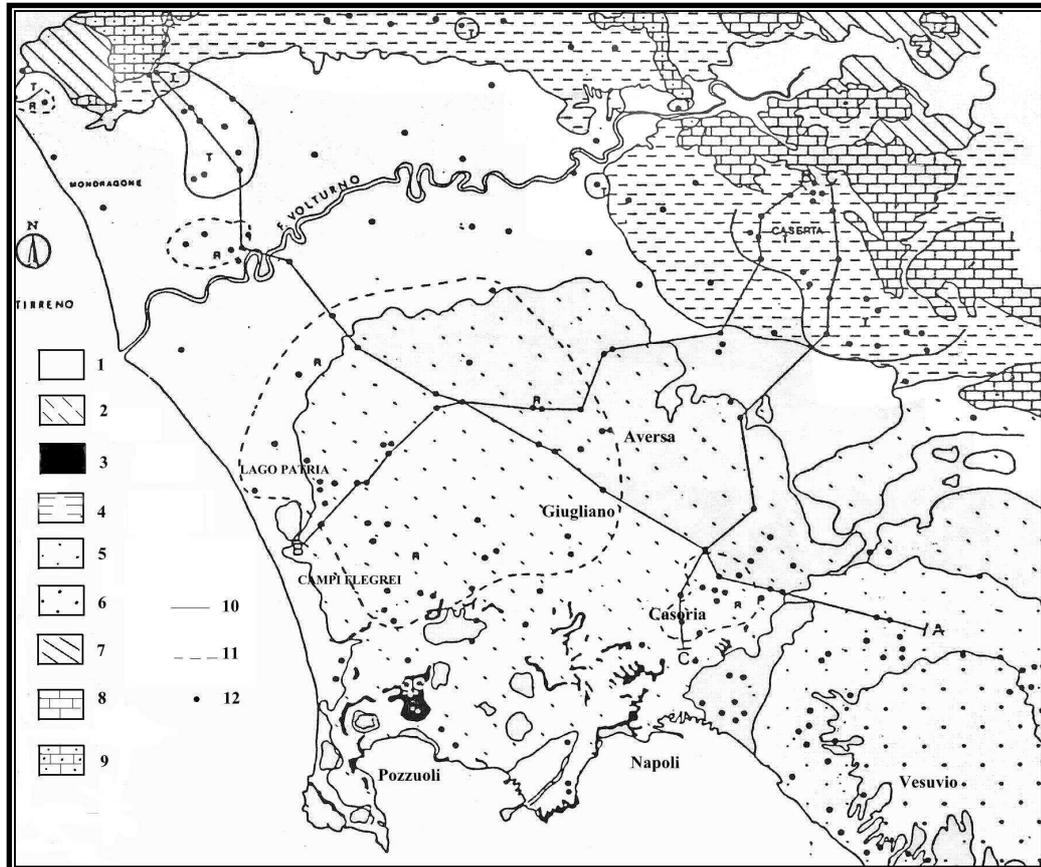


Fig. 6 – Schema geologico della Piana Campana (da Ortolani & Aprile, 1985)

**1)** Alluvioni recenti; **2)** Piroclastiti recenti dei Campi Flegrei; **3)** Tufo giallo; **4)** Tufo grigio; **5)** Piroclastiti del Somma Vesuvio; **6)** Lave e piroclastiti del Somma Vesuvio; **7)** Arenarie, argille e marne mioceniche; **8)** Calcari e dolomie della piattaforma Campano-Lucana; **9)** Calcari e dolomie della piattaforma Abruzzese-Campana; **10)** Travertino presente nel sottosuolo; **11)** Lave a piccola profondità; **12)** Perforazioni; **A-A')** Traccia di sezione

Dall'andamento del tetto del Tufo Grigio Campano, si osserva un aumento della profondità di questo ultimo dalle zone circostanti la Piana Campana verso il corso del fiume Volturno; la massima profondità si raggiunge nella parte terminale del corso (circa -20 m s.l.m.). (Fig. 7)

La morfologia attuale del suolo riproduce a grandi linee l'andamento del Tufo Grigio a NW dell'allineamento Napoli-Caserta; a SE di tale allineamento ad un'immersione generale del tetto del tufo verso il Vesuvio corrisponde un andamento topografico superficiale opposto.

Nella zona del basso corso del fiume Volturno i terreni di copertura hanno spessore variabile da circa 20 m a circa 40 m. In questa zona, tra Cannello Arnone e Villa Literno, a

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

luoghi, non viene rinvenuta la formazione tufacea; questa mancanza è da attribuire all'azione di processi erosivi successivi alla messa in posto dell'ignimbrite (Ortolani & Aprile, 1985).

Osservando la carta delle isopache, si nota chiaramente un andamento dello spessore della formazione ignimbritica decrescente a partire dai monti di Caserta e in un'area compresa tra il Lago di Patria e l'abitato di Giugliano e ad est di questo ultimo. Queste zone sono di massimo spessore e coincidenti, in pratica, con le zone di minore profondità del tetto.

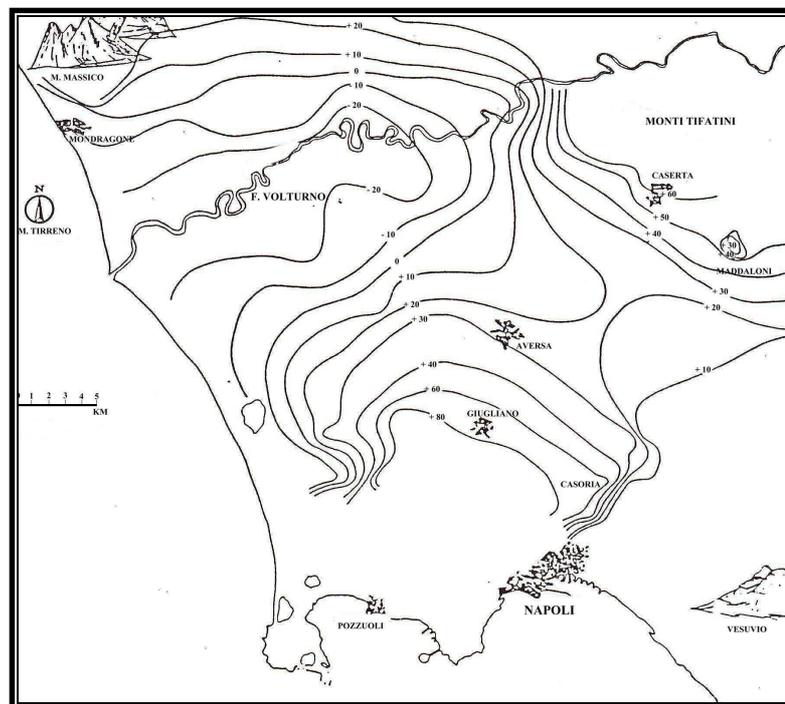


Figura 3 – Carte delle isopache dell'Ignimbrite Campana (da Ortolani & Aprile, 1985)

Nell'area compresa tra il M. Massico ed il corso del fiume Volturno, la base del tufo presenta la massima depressione, variando da quota +8 m s.l.m. nei pressi del Massico a circa -30-40 m s.l.m. nei pressi del Volturno. La massima depressione corrisponde alla zona con maggiori spessori dei terreni di ricoprimento. (Fig. 7).

Il territorio comunale di Castel Volturno è caratterizzato da una distribuzione spaziale, dei litotipi affioranti, abbastanza varia; essenzialmente sono sette le unità presenti.

Nella zona litorale, con un estensione di 2,22 Km<sup>2</sup> circa, pari al 2,97% dell'area, sono presenti le spiagge attuali (**SA\_ATT**) costituite da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore.

Spostandosi dalla zona litorale parallelamente alla costa e per tutto l'allineamento spostandosi verso la parte orientale del territorio comunale si passa a terreni che obbediscono, in maniera rigorosa, ai meccanismi e le modalità deposizionali delle dune litorali. Tale membro (**SA\_DUN**) risulta costituito da sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi. Tali terreni, che racchiudono il 26,45% della superficie comunale, pari a 19,82 Km<sup>2</sup>, e si rinvengono in superficie ad una quota tra i 0 e i 9 m s.l.m..

Procedendo ancora verso est dalla zona litorale parallelamente alla costa e solo in sinistra foce Volturno si individuano delle sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate di retroduna (**SA\_RETRODUN**) che rappresentano il 9,73% della superficie comunale, pari a 7,29Km<sup>2</sup>.

Considerando ora il corso del Volturno la prima evidenza è rappresentata dalle alluvioni in golena del fiume costituite da sabbie grigie sciolte ed argille grigio-azzurgnole poco consistenti (**ALL\_A\_GOL-V**). Tali terreni si rinvengono in una fascia posta a cavallo del fiume per circa 9,11 Km<sup>2</sup> in destra e sinistra orografica per circa costituendo circa il 12,16%del territorio comunale.

Si passa ad un'ulteriore fascia esterna rispetto a questa ora descritta e sempre , grossomodo, allineata all'asse del corso del Volturno costituita da alluvioni recenti del Volturno costituite da argille marroni e grigio-bluaestre, da poco a mediamente consistenti con abbondanti resti vegetali lignei e molluschi, e sabbie grigie poco addensate con inclusi elementi pomicei e scoriacei. Torbe (**ALL\_R\_V**). Costituiscono una gran parte del territorio di Castel Volturno rappresentandone il14,50% per un'estensione di circa 10,87 Km<sup>2</sup>

Spostandosi ulteriormente ad una fascia ancora più esterna rispetto al corso del Volturno ma sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del fiume si segnalano depositi di transizione costituiti da argille grigie da poco a mediamente consistenti e sabbie grigie poco addensate (**AG\_SA\_TR**). Tali depositi di transizione raffigurano il 15,76% per un'estensione di circa 11,81Km<sup>2</sup> del territorio comunale

Il rimanente 18,42% del territorio, pari a 13,80 Km<sup>2</sup>, è caratterizzato da argille sabbiose grigio azzurrognole marroni da poco a mediamente consistenti con resti di molluschi, argille torbose poco consistenti. Torbe. **(AG\_SAAG\_T\_P\_L)**.

Questi ultimi litotipi affiorano nelle aree più depresse del territorio comunale caratterizzate da facies deposizionali di tipo lagunare palustre ossia quelle oggetto di bonifica.

Oltre a quanto descritto va menzionata la presenza di sabbie o sabbie-ghiaiose con subordinata frazione limosa di origine piroclastica.

Esse non sono mai affioranti ma si riconoscono nei sondaggi in profondità e sono il prodotto dell'intensa attività vulcanica flegrea descritta in precedenza nel presente capitolo.

Per l'esatta ubicazione dell'area in oggetto e per maggiori dettagli si rimanda alla cartografia allegata.

In tale contesto litostratigrafico, connesso alla morfologia poc'anzi descritta, non si segnalano nell'area in esame, al momento, fenomeni di instabilità geomorfologica connessi a eventuali movimenti di massa dei terreni e non sono state individuate cavità sotterranee.

Nell'area in esame, dai Piani prodotti delle Autorità di Bacino competente, non si evidenzia Rischio a franare ne pericolosità a franare.

### 3. IDROGEOLOGIA

La stratigrafia del sottosuolo della Piana Campana è nota con sufficiente dettaglio attraverso i dati di perforazioni eseguite in passato per vari scopi (ricerche di idrocarburi e di forze endogene; ricerche d'acqua).

E' sufficientemente conosciuto lo schema litologico e vi sono sufficienti dati relativi alle principali sorgenti e le stazioni pluviometriche e termopluviometriche (Fig. 8)

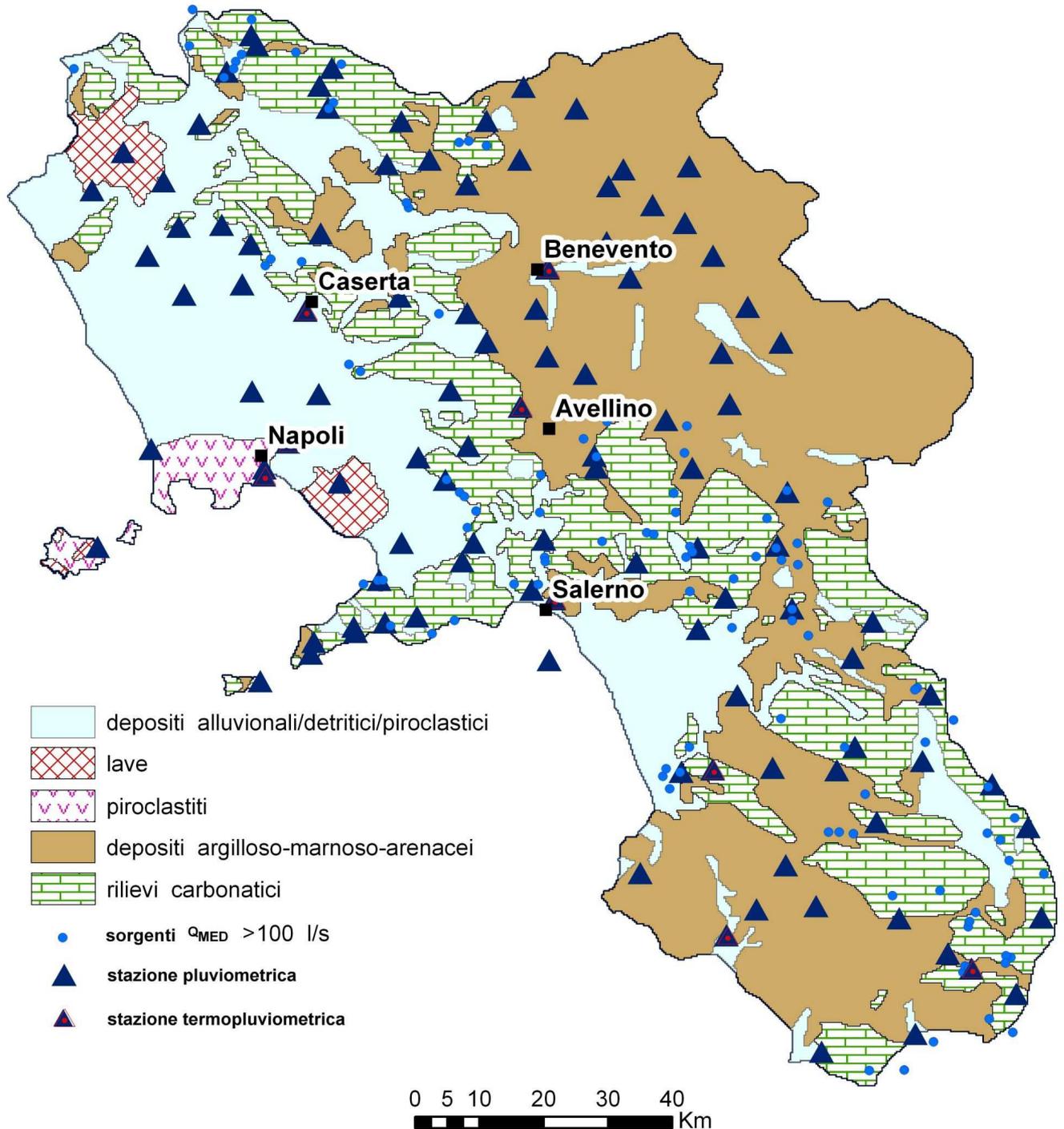


Fig. 8 - Schema litologico della Campania, con le principali sorgenti e stazione pluviometriche e termopluviometriche. (da Ducci & Tranfaglia, 2006)

In particolare è stata accertata, nelle zone prossime ai massicci carbonatici che si snodano con continuità dal “casertano” al “sarnese”, la presenza, al di sotto di uno spessore di materiale piroclastico (prima) e limo-sabbioso-ghiaioso (poi), di un substrato prevalentemente calcareo che tende ad approfondirsi abbastanza rapidamente dai –100/150 m dal p.c. (nelle zone pedemontane o nelle valli interne) ai –300/400 m dal p.c. (nelle zone distanti 2-3 Km dal piede dei rilievi).

Man mano che ci si sposta verso Ovest, esso sprofonda a varie migliaia di metri, tanto vero che non è stato raggiunto dalle perforazioni eseguite in passato per ricerche di idrocarburi nel basso Volturno. (Fig. 9)

Quindi, dal punto di vista idrogeologico la Piana Campana, in cui è inserita la zona esaminata, è un'unità idrogeologica costituita da una spessa coltre di depositi vulcanici, alluvionali e marini, con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche molto diverse tra loro.

Questa configurazione lito-stratigrafica connessa alla presenza delle strutture vulcaniche dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, porta all'instaurarsi di flussi sotterranei complessi con presenza di più falde sovrapposte e molte volte intercomunicanti. (Fig. 10)

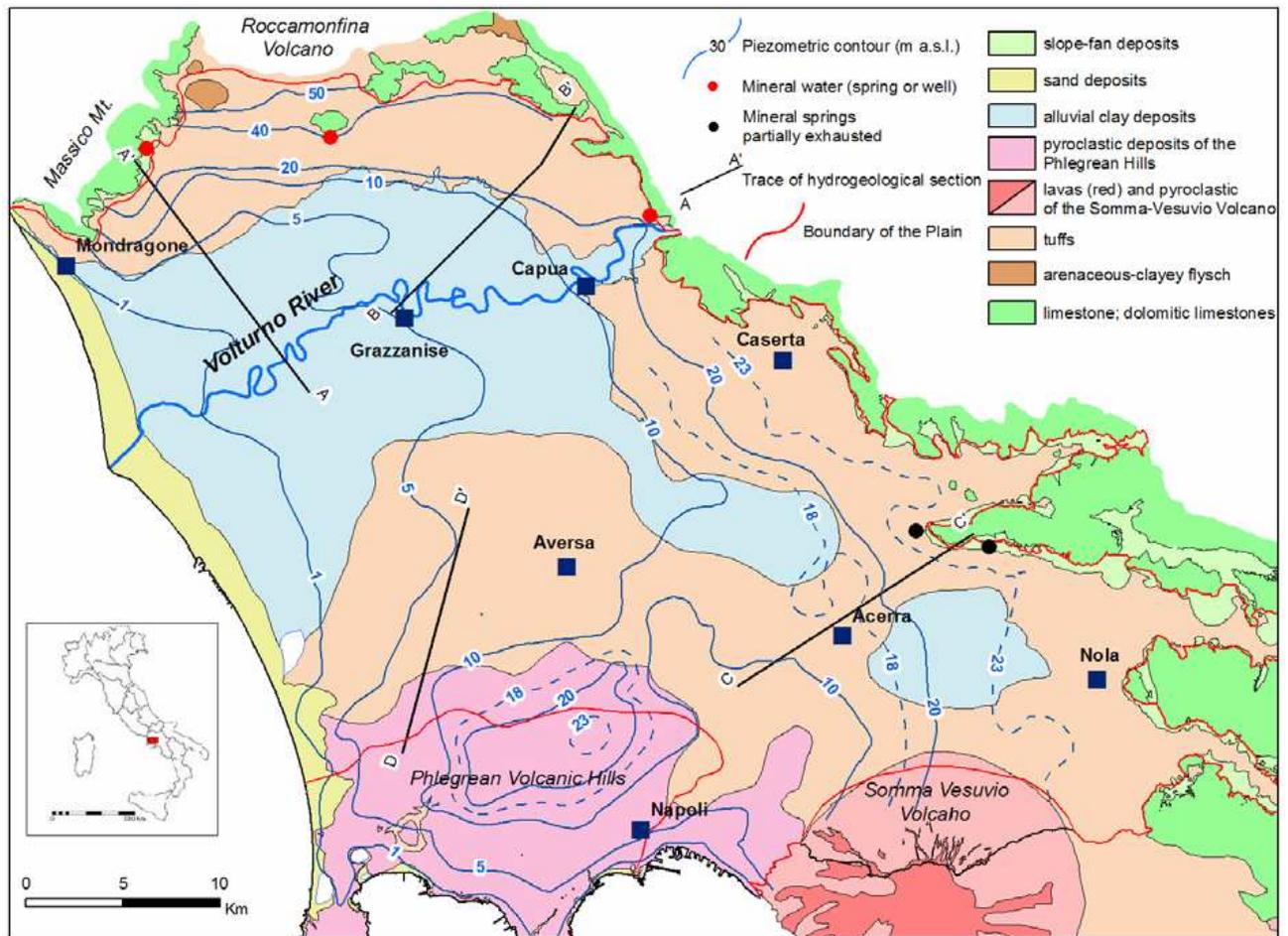


Fig. 9 - Carta idrogeologica della Piana Campana (da Ducci, 2007).

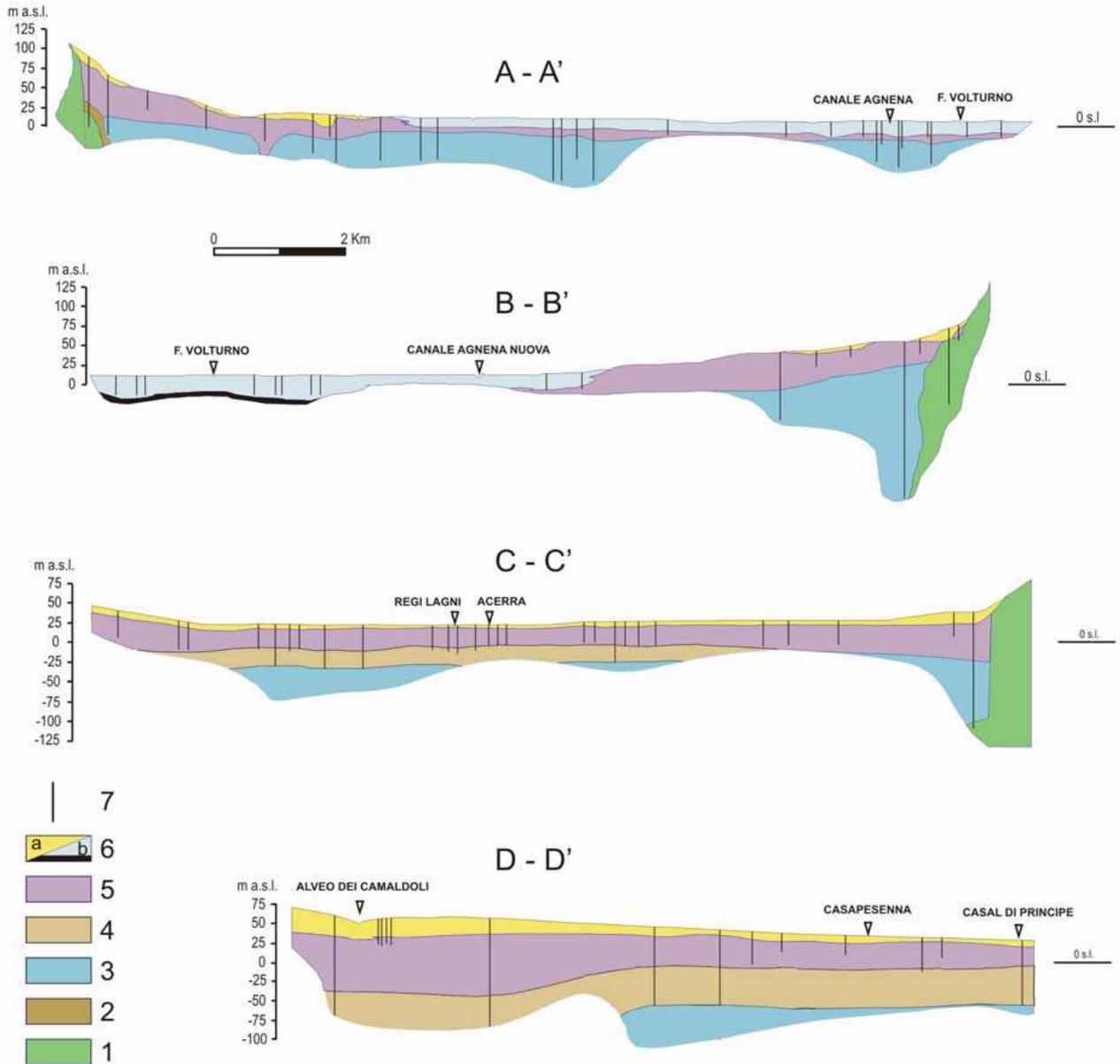


Fig. 10 – Sezioni idrogeologiche della Piana Campana (da Corniello - Ducci, 2007).

1) limestone, 2) arenaceous-clayey flysch, 3) old alluvial deposits, 4) old pyroclastics, 5) tuffs, 6) pyroclastics (a) and alluvial deposits (b), 7) boreholes. Tracce di sezione nella figura precedente

## CLIMATOLOGIA

L'area d'indagine presenta una discreta piovosità, con precipitazioni medie annue, nel periodo 1921-1950, intorno ai 900 mm (ad es. a Capua 887 mm/anno - Servizio Idrografico, 1966). Il regime pluviometrico è caratterizzato da un massimo in novembre, un periodo primaverile a piovosità intermedia ed un minimo estivo in luglio. In considerazione della limitatissima estensione delle aree con precipitazioni solide, queste ultime non sono significative rispetto al regime idrologico.

Il regime termometrico medio, valutato dai dati (1926-1955, Servizio Idrografico, 1966) delle stazioni di misura di Roccamonfina, 815 m, di Teano, 202 m, e di Caserta, 90 m, è regolare, con un periodo di crescita da gennaio a luglio ed una decrescita da agosto a gennaio, con valori medi annui di 15°-18°, più bassi per le aree montuose (10° a Roccamonfina). La variazione con l'altitudine è di 6-7 °C-km. Nell'insieme il clima dell'area d'indagine può essere descritto come marittimo per quanto riguarda il regime pluviometrico e come temperato rispetto al regime termometrico. Si riportano Temperature medie annue, espressi in °C, per le stazioni ritenute più significative (per distanza e continuità nel rilevamento dei dati (periodo di rilevamento dal 1971 al 1999). (Tab. 1)

<b>Stazione termometrica</b>	<b>Quota m s.l.m</b>	<b>Temperatura Media 1971-1999 °C</b>
<b>CAPUA</b>	23	<b>15,9</b>
<b>CASERTA</b>	90	<b>15,3</b>
<b>GRAZZANISE</b>	14	<b>15,9</b>
<b>TEANO</b>	195	<b>15,3</b>
<b>VITULAZIO</b>	65	<b>15,3</b>

Tab. 1 - Temperature medie annue, espressi in °C, per le stazioni ritenute più significative (per distanza e continuità nel rilevamento dei dati (periodo di rilevamento dal 1971 al 1999)

Vi è da dire che alcuni Autori hanno verificato dei cambiamenti in atto confrontando le temperatura media annua in °C relative ai periodi di 1951-1980 e 1981-1999 (Fig. 11) ed anche per quanto riguarda l'infiltrazione efficace (Fig. 12)

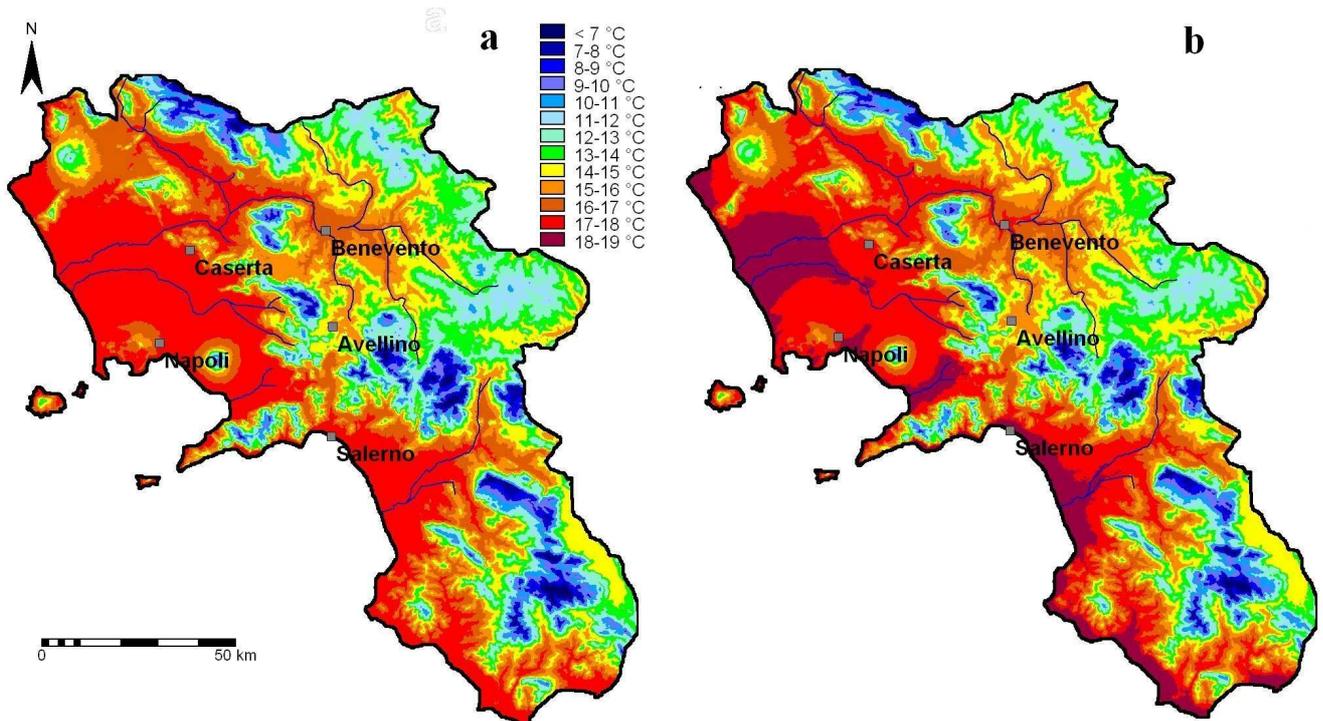


Fig. 11 - Temperatura media annua in °C relativa al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia , 2006)

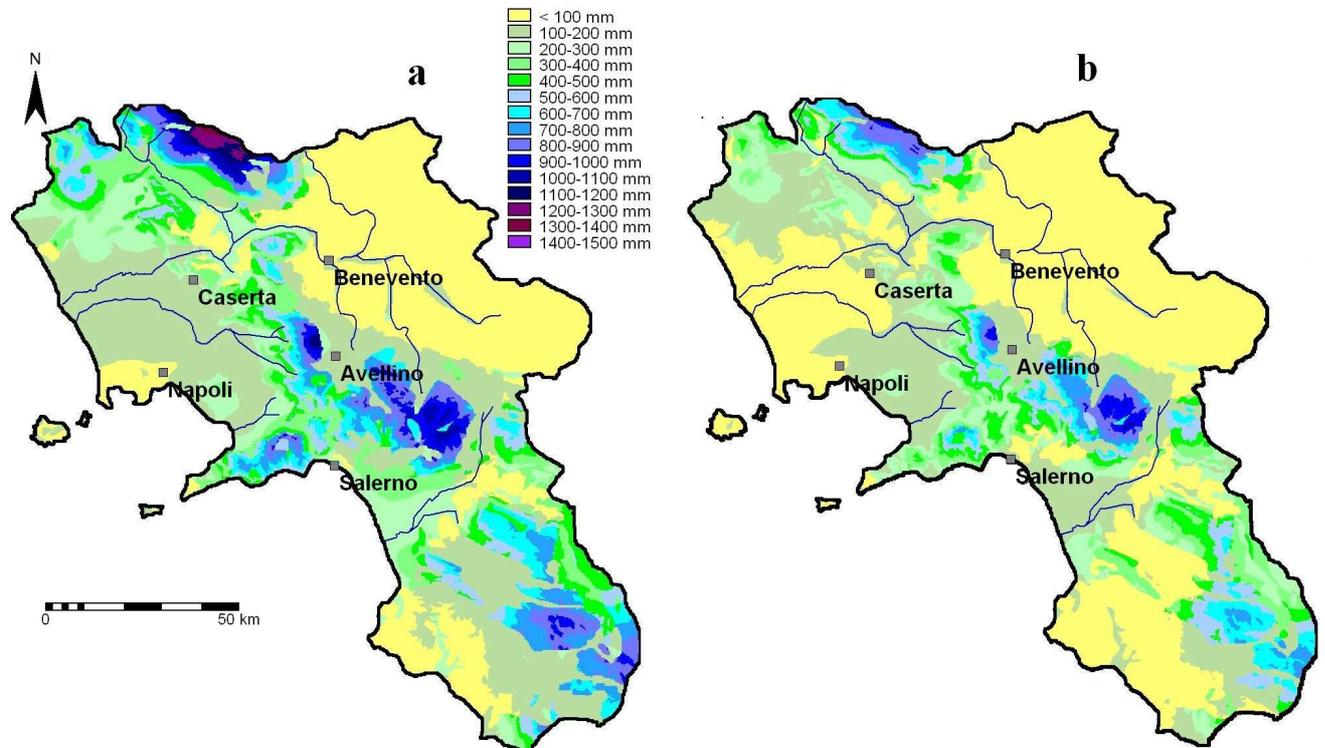


Fig. 12 - Infiltrazione efficace media annua (mm/anno) relativa al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia, 2006)

Le stesse considerazioni si possono fare riguardo la pluviometria (Fig. 13)

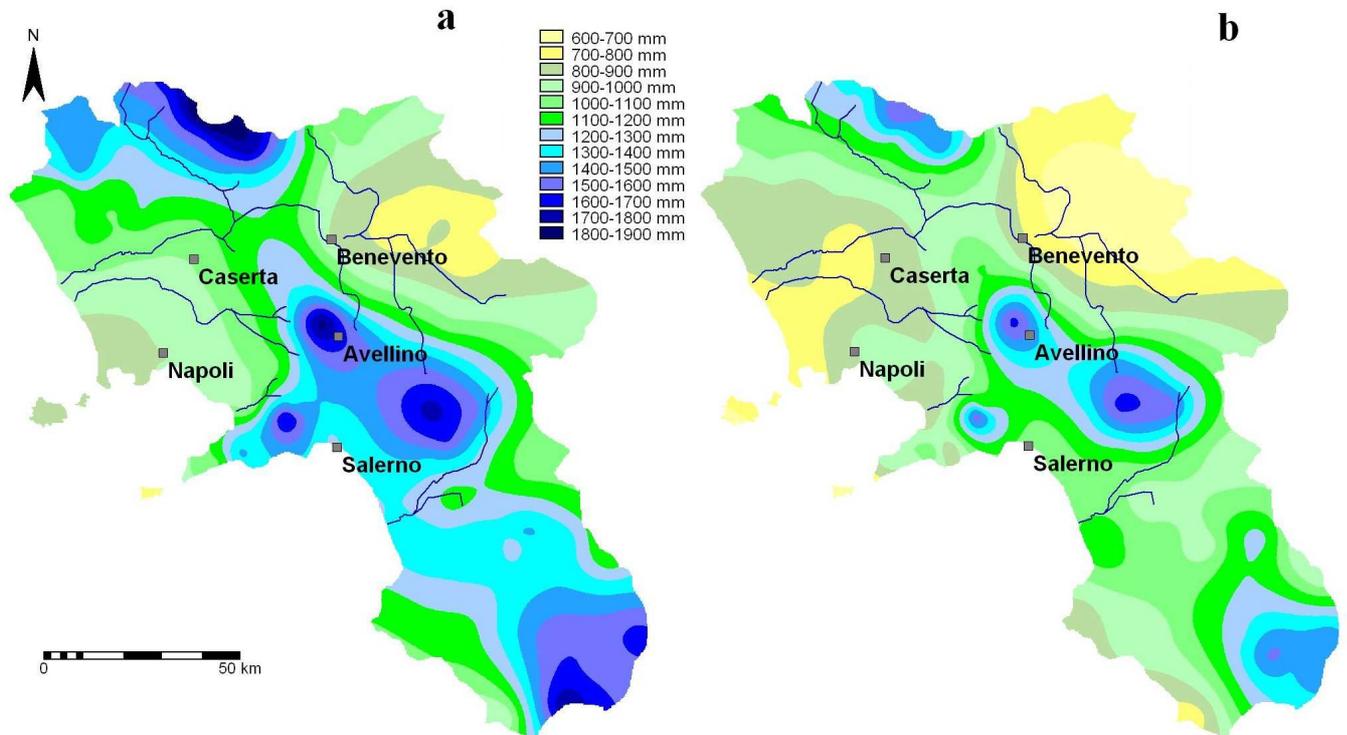


Fig. 13 - Precipitazioni medie annue (mm/anno) relative al periodo 1951-1980 (a) e 1981-1999 (b) (da Ducci & Tranfaglia , 2006)

## Lineamenti idrologici

I corsi d'acqua principali che si riscontrano nell'area d'indagine sono:

- Il F. Volturno che ha una lunghezza di circa 180 km con un bacino esteso per complessivi 5.615 kmq ed è il corso d'acqua più importante dell'Italia Meridionale. Considerando il tratto da Ponte Annibale (18 m s.l.m.) alla foce, il fiume si dipana per circa 50 km, con una pendenza media dello 0,36%. In questo tratto gli spartiacque naturali del bacino del F. Volturno corrono paralleli e delimitano una fascia larga 2 - 4 km entro cui l'alveo è caratterizzato da numerosi meandri, con un tratto quasi rettilineo fra i centri abitati di Grazzanise e Canello Arnone. Attualmente l'alveo del corso d'acqua scorre, da Capua al mare, fra argini costruiti dal Consorzio di Bonifica del F. Volturno.
- Il canale Regia Agnena, raccoglie le acque sorgentizie (prevalenti) e superficiali della dorsale di M. Maggiore fino a Ponte Annibale. Questo canale, lungo circa 30 km con una pendenza media inferiore allo 0,1%, ha un bacino di circa 300 kmq e drena le aree depresse (quote anche di -1 m ÷ -2 m s.l.m.), comprese fra il F. Savone ed il F. Volturno, con l'ausilio

delle idrovore di Mazzasette e Mazzafarro, rispettivamente in sponda destra e sinistra del canale.

La Regia Agnena è stata modificata nel corso dei secoli con il progredire delle tecniche di bonifica idraulica. Nel 1846 era ormai completata la sistemazione dei terreni non depressi della piana prosciugabili per scolo naturale. Sotto la guida di Afan de Rivera, durante il periodo borbonico, l'alveo della Regia Agnena fu ampliato e rettificato, munito di argini e di controfossi al fine di separare le acque "alte" provenienti dai monti circostanti, dalle acque "basse" dovute alle precipitazioni dirette, e fu predisposta una rete di canali in cui convogliare le torbide del F. Volturno allo scopo di bonificare per colmata le aree poste al di sotto del livello del mare. Nel periodo fra le due guerre mondiali, nell'ambito della "bonifica integrale", si decise di procedere con il sistema del prosciugamento meccanico mediante idrovore. Nel dopoguerra, ad opera del Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno, sono continuate le opere idrauliche: si procede al ripristino delle canalizzazioni di acque medie della Regia Agnena e dei canali tributari e viene potenziato l'impianto idrovoro di Mazzafarro; inoltre, le acque provenienti dai monti circostanti la piana vengono sottratte alle aree bonificate tramite il Canale Lanzi, che si estende per 25 km dal Rio Lanzi (affluente della Regia Agnena) al F. Savone per poi intercettare il R. Fiumarella.

Per quanto riguarda il complesso sistema dei Regi Lagni sono già state riportate delle considerazioni in altra parte della presente relazione.

## **IDROMETRIA**

Per fornire considerazioni riguardo le caratteristiche idrologiche che di seguito si riportano si è fatto riferimento alla bibliografia scientifica e tecnica esistente.

Considerando, per ovvi motivi, il solo F. Volturno si deve valutare come il regime dei deflussi del Fiume sia direttamente collegato all'assetto climatico, e classificabile come regime pluviale. Gli innevamenti sono infatti limitati a piccole zone, la cui superficie è percentualmente irrilevante rispetto a quella dell'intero bacino. Anche l'apporto sorgentizio riveste nell'insieme un ruolo secondario perchè le copiose sorgenti perenni sono quasi integralmente captate. L'andamento dei deflussi si presenta quindi parallelo a quello delle precipitazioni con un minimo in agosto ed un massimo in febbraio.

Il F. Volturno riceve, a monte di Ponte Annibale, gli importanti afflussi sorgentizi di Triflisco, Fontana Pila e S. Sofia, con portate di magra complessive di circa 3 mc/s. Presso Ponte Annibale (17,5 m s.l.m.) il fiume presenta una portata "naturale" media, ricavata per il periodo 1924-1942, di circa 100 mc/s, pari a 17,5 l/s.kmq, per un bacino di circa 5550 kmq con piovosità media annua di circa 1200 mm, il coefficiente di deflusso è di 0,46. I valori dei

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

deflussi "naturali" misurati a Cannello Arnone (2,6 m s.l.m), 18 km a monte della foce, per il periodo (1931-1942 e 1950-1970), sono lievemente superiori (103 mc/s di portata media, con un coefficiente di deflusso di 0,50) a seguito della azione drenante del F. Volturno rispetto alla piana omonima. Valori nettamente più bassi (83 mc/s di portata media con coefficiente di deflusso di 0,40) si rilevano per le portate effettivamente defluite nel periodo 1954-1970, a causa delle numerose concessioni ad uso idropotabile, irriguo ed idroelettrico a monte di Cannello Arnone.

Il regime di magra del fiume, importante per valutare la possibilità ed opportunità di effettuare prelievi e/o immissioni rispetto alle acque defluite, può essere valutato dalle elaborazioni relative alle misure di portata relative alla sezione idrometrica di Cannello Arnone. Si rileva che le portate minime di magra si hanno in agosto e settembre, con un valore medio mensile, per il periodo 1931-1987, di 23 m<sup>3</sup>/s (agosto), minimo mensile di 5,6 m<sup>3</sup>/s (settembre). I risultati della regolarizzazione Q(Tr), per le portate defluite nel periodo 1964-1974, danno per tempi di ritorno (Tr) di 20 anni valori di Qg(portata minima giornaliera) di 1,3 mc/s, mentre la Q355 (portata di magra che non può essere utilizzata per 10 giorni all'anno in media), ha un valore di 1,4 mc/s..

Passando ora alla individuazione dei complessi idrogeologici si possono fare le considerazioni che si riportano di seguito.

## **Complesso sabbioso (CSA)**

Affiora in corrispondenza della zona costiera su una fascia che è larga circa tre chilometri e risulta costituita da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore; da sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi; sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate di retroduna.

Dai dati stratigrafici si possono riconoscere intervalli prevalentemente sabbiosi e a luoghi da quelli sabbiosi-limosi. Per quanto riguarda l'estensione areale del complesso si può far riferimento alla cartografia allegata. Si riconosce una potenza di circa m. 16 nella porzione Nord-occidentale del territorio comunale (precisamente a Nord della foce del Volturno). Nella porzione posta a meridione dei Regi Lagni, lo spessore è almeno di m. 30, allontanandosi dalla linea di costa gli spessori vanno calando e a luoghi si segnalano interdigitazioni con terreni di transizione o francamente alluvionali. La *permeabilità* è medio-alta per porosità al crescere delle dimensioni dei granuli ed in presenza di scarso assortimento nelle loro dimensioni.

## **Complesso alluvionale (C\_ALL)**

Con tale sigla sono indicati i depositi alluvionali presenti a *tetto* dell'Igimbrite Campana e legati agli espandimenti fluviali del Volturno, a fasi palustri (zone della bonifica del basso Volturno), nonché ad episodi marini con terreni francamente sabbiosi. La ricostruzione dei rapporti spaziali delle componenti a diversa granulometria non è ne semplice ne immediata, comunque dal punto di vista areale detto complesso rappresenta un parte preponderante nell'ambito del territorio comunale.

La parte del complesso presente a ridosso del F. Volturno comprende un'alternanza irregolare di materiali di varia granulometria (argille, sabbie e talora lenti di ghiaie spesse fino a qualche metro) legati a deposizione fluviale (durante le ultime migliaia di anni, il Volturno, costretto a divagare dalla quasi raggiunta stabilità del livello di base, ha costruito un tracciato tipicamente pensile ed un piccolo delta a cuspid). Gli spessori di questa porzione di complesso sono vari e partendo dal Volturno e procedendo verso sud, questi depositi si osservano in affioramento fino a distanza massima di 1.5 - 2 chilometri dove passano per eteropia ai materiali descritti di seguito. Questa porzione nell'insieme ha una permeabilità piuttosto bassa che tende ad innalzarsi in corrispondenza degli orizzonti più grossolani.

Sempre nello stesso complesso si riconoscono terreni riconducibili ad antichi espandimenti alluvionali dei canali dei Regi Lagni a ridosso dei quali in effetti si localizza. Nei sondaggi che lo hanno attraversato si denota: il complesso appare sempre rappresentato da argille e limi, assai spesso associati a livelli torbosi; gli spessori sono fino ad alcune decine di metri; si evidenziano anche i rapporti eteropici tra questo porzione complesso e le alluvioni del Volturno. Per la granulometria in prevalenza fine dei materiali costituenti, il questa porzione risulta dotata di permeabilità molto ridotta.

C'è da aggiungere che i sondaggi hanno rivelato, a diverse altezze stratigrafiche, livelli di materiale torboso, a luoghi caratterizzati da continuità areale e con potenze di circa m. 2 - 2,5. IL passaggio con i termini precedentemente descritti, a luoghi si segnalano con interdigitazioni.

La struttura del complesso è pertanto articolata: i depositi che lo costituiscono presentano, infatti, variazioni granulometriche in senso areale e lungo le verticali. E' pertanto difficile che siano presenti livelli continui di scarsa permeabilità sufficienti a frazionare il complesso in più strati distinti. In questo complesso le acque sotterranee tendono pertanto a digitarsi in più livelli, corrispondenti alla variazione dei materiali presenti e variamente interconnessi, ma conservando sempre carattere di corpo idrico unitario.

Quindi complessivamente la *permeabilità* è in genere medio-bassa, anche se ovviamente tende a crescere con il prevalere locale di granulometrie più grossolane e poco assortite.

## **Complesso piroclastico (C\_P)**

E' da premettere che il complesso in questione non è mai affiorante ma che si riconosce nei sondaggi in profondità. E' costituito da piroclastiti, di granulometria da media a fine (piccole pomici, ceneri, lapilli etc.), quasi sempre sciolte o debolmente cementate. I diversi materiali sono spesso fra loro frammisti, anche se talora possono individuarsi livelli prevalentemente cineritici o pomicei. Nel caso in specie si tratta granulometricamente di sabbie o sabbie-ghiaiose con subordinata frazione limosa. I sondaggi che hanno attraversato il complesso (anche al di fuori delle aree di pertinenza, indicano infatti una notevole variabilità granulometrica sia in senso areale che lungo le verticali investigate.

Il complesso è estesamente affiorante soprattutto nella Piana Campana dove è presente con spessori assai significativi.

In termini di area vasta gli acquiferi che si evidenziano costituiscono a grande scala una falda unica (sovente pozzi attestati nei differenti acquiferi hanno fatto registrare le stesse quote piezometriche) con una circolazione idrica talora a pelo libero, talora in pressione laddove la porzione a granulometria più fine dei terreni limo-sabbiosi fluvio-palustri oppure dei livelli continui di tufo lapideo non fratturato tamponano superiormente la falda (dE RISO, 1990).

Sempre su area vasta, prove di emungimento effettuate nell'area (dE RISO, 1990) e dati di letteratura (CORNIELLO et Alii, 1990) assegnano valori di trasmissività che variano fra  $1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (pozzi attestati nei depositi prevalentemente sabbiosi) ed  $1 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (pozzi attestati nelle piroclastiti superficiali).

Dalla bibliografia si desume come la salinità totale abbia valori molto elevati (1÷3 g/l) nella zona costiera, con un fenomeno di ingressione di acque marine in falda, ed in prossimità della foce del F. Volturno, dove acque salmastre vengono drenate verso la falda (CORNIELLO et Alii, 1990; dE RISO, 1990).

Vi è da puntualizzare, sempre per gli ambiti di macroarea; che nei settori al piede dei rilievi, dove la piezometrica del corpo idrico si colloca in corrispondenza di forti spessori tufacei poco permeabili, la falda ha carattere nettamente *confinato*; man mano che dai rilievi si procede verso il Volturno, il complesso tufaceo si fa discontinuo, assai meno potente e diagenizzato ed a volte manca del tutto. In questi casi si determina una qualche continuità idraulica tra i materiali piroclastico/alluvionali dell'acquifero ed i sovrastanti terreni alluvionali più recenti. In ragione delle caratteristiche granulometriche di questi ultimi, la falda assume carattere *semiconfinato* o *libero*.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

L'esame globale consente le seguenti osservazioni. A grande scala, le curve piezometriche:

- individuano una netta area di *drenaggio* della falda in corrispondenza della zona centrale della piana; infatti *a)* le direzioni di flusso della falda convergono verso tale zona e *b)* qui si registra una notevole spaziatrice delle curve piezometriche a significare un locale incremento della trasmissività dell'acquifero per aumento della sezione di flusso e/o della permeabilità del mezzo;
- indicano che il *recapito definitivo della falda è rappresentato dal mare*; la falda affiora anche in corrispondenza del lago di Carinola (qui infatti le portate dell'emissario superano quelle affluenti - COMUNE DI FALCIANO DEL M., 1996) ed in diffuse venute d'acqua nella depressione della Regia Agnena;

E' da notare la stretta somiglianza che accomuna, a ridosso del Volturno, curve piezometriche ed isoipse. Una somiglianza che si deve ad una causa comune: l'azione del fiume. Il Volturno ha infatti condizionato la morfologia della zona originando, nel corso dei millenni, il lungo *conoide* sul cui colmo ha impostato il suo corso; da questa posizione, lungo l'alveo, il fiume contribuisce ad alimentare (per assenza impermeabili interposti) la falda sottostante e ne determina l'innalzamento piezometrico in corrispondenza del suo tracciato.

Per uno studio di dettaglio delle caratteristiche idrogeologiche dell'area si è provveduto ad eseguire rilievi freaticimetrici. attraverso un accurato censimento di vari punti di misura pozzi e stagni con relativa campagna di misura ed utilizzando le misurazioni effettuate durante l'esecuzione delle indagini in sito.

Conoscendo per ogni punto di rilievo l'altezza del boccaforo (ove esistente) o l'altezza di inizio misura rispetto al p.c., la quota topografica e la profondità della superficie piezometrica, per differenza, si sono calcolati i livelli freaticimetrici assoluti (s.l.m.). (Tab. 2)

Lo studio è stato condotto attraverso una livellazione geometrica del punto di riferimento e la misura del pelo libero dell'acqua, nonché le profondità raggiunte.

I dati relativi alla stratigrafia dei pozzi sono difficili da reperire, in quanto trattasi di pozzi sfruttati in agricoltura o dagli insediamenti rurali e perforati per iniziative dei committenti e quasi mai descritti o riprodotto graficamente la stratigrafia.

La campagna di censimento dei punti d'acqua è stata svolta nel mese di marzo 2008 al fine di valutare i livelli freaticimetrici nell'area in studio.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

ID	TIPO	Quota topografica del p.c. (m. s.l.m.)	Profondità Falda dal p.c.(m.)	Livello falda (m. s.l.m.)
1	S1	1,40	1,27	0,13
2	S2	2,00	1,35	0,65
3	P2	2,00	1,35	0,65
4	P4	3,35	2,40	0,95
5	P5	3,13	2,25	0,88
6	P6	1,93	1,83	0,10
7	P1	0,75	0,17	0,58
8	S10	4,90	3,73	1,17
9	Pozzo	2,61	2,05	0,56
10	Pozzo	2,39	1,73	0,66
11	Pozzo	2,57	1,97	0,60
12	P3	1,95	1,57	0,38
13	Pozzo	1,40	0,70	0,70
14	S5	1,68	1,35	0,33
15	Pozzo	1,90	1,45	0,45
16	S6	3,10	1,94	1,16
17	Pozzo	2,83	1,63	1,20
18	Pozzo	1,26	0,85	0,41
19	S7	1,70	1,20	0,50
20	P7	2,22	1,60	0,62
21	Pozzo	2,00	1,30	0,70
22	P10	1,72	0,99	0,73
23	Stagno	0,30	-	0,30
24	S8	1,95	1,69	0,26
25	P8	1,40	1,30	0,10
26	S9	1,60	1,08	0,52
27	Pozzo	1,02	0,64	0,38
28	P11	1,70	1,42	0,28
29	S3	2,10	2,03	0,07
30	Pozzo	4,50	4,20	0,30
31	P12	0,84	0,46	0,38
32	P13	5,43	5,31	0,12
33	P14	2,84	2,66	0,18
34	Pozzo	3,05	2,87	0,18
35	Pozzo	2,12	1,91	0,21
36	S4	3,10	2,92	0,18
37	P15	3,50	3,12	0,38
38	Stagno	1,12	-	1,12

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

ID	TIPO	Quota topografica del p.c. (m. s.l.m.)	Profondità falda dal p.c.(m.)	Livello falda (m. s.l.m.)
39	Stagno	<b>0,70</b>	-	<b>0,70</b>
40	Stagno	<b>0,25</b>	-	<b>0,25</b>
41	Stagno	<b>0,31</b>	-	<b>0,31</b>
42	Stagno	<b>0,25</b>	-	<b>0,25</b>
43	Stagno	<b>0,32</b>	-	<b>0,32</b>
44	Stagno	<b>0,24</b>	-	<b>0,24</b>
45	Stagno	<b>0,24</b>	-	<b>0,24</b>
46	Stagno	<b>0,34</b>	-	<b>0,34</b>
47	Stagno	<b>0,22</b>	-	<b>0,22</b>
48	Stagno	<b>0,20</b>	-	<b>0,20</b>
49	Stagno	<b>0,25</b>	-	<b>0,25</b>
50	Stagno	<b>0,21</b>	-	<b>0,21</b>
51	Stagno	<b>0,38</b>	-	<b>0,38</b>
52	Stagno	<b>0,30</b>	-	<b>0,30</b>
53	Stagno	<b>0,23</b>	-	<b>0,23</b>
54	Stagno	<b>0,32</b>	-	<b>0,32</b>
55	Stagno	<b>0,28</b>	-	<b>0,28</b>
56	Stagno	<b>0,22</b>	-	<b>0,22</b>
57	Stagno	<b>0,40</b>	-	<b>0,40</b>
58	Stagno	<b>0,25</b>	-	<b>0,25</b>

Tab. 2 - Punti di misura della falda censiti per l'intero territorio comunale

Le letture dei livelli piezometrici hanno consentito di ricostruire l'andamento delle linee isofreatiche del periodo idrologico in cui è stata effettuata la misura. Lo studio dell'andamento delle isofreatiche, correlato alle caratteristiche stratigrafico-strutturali e litologiche, ha permesso, poi, di definire le modalità della circolazione idrica sotterranea e le direzioni di flusso così come riportato nella cartografia idrogeologica.

Va altresì ricordato in accordo con i dati di macroarea il recapito finale della falda principale è rappresentato dal mare lungo il perimetro costiero.

## 4. IL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Il territorio comunale, per propria conformazione morfologica presenta caratteristiche di deflusso superficiale nettamente determinate dalla particolare sua posizione nei confronti del Fiume Volturno. Di tale situazione si trova riscontro nella cartografia allegata al Piano Stralcio stilato dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno. (Fig. 14)

La cartografia redatta per effetto del combinato disposto dalle leggi 183/89, 493/93, dal D.L. 180/98 convertito con legge 226/99 ed indirizzata nel senso del contenuto della legge 365/2000, presenta una situazione nella quale un vasto lembo del territorio comunale, che nelle Norme di attuazione del Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA) del Bacino Volturno in fasce fluviali sono state così definite:

- ❖ **(Fascia A) Alveo di piena standard**
- ❖ **(Fascia B) Fascia di esondazione**, suddivisa in tre **sottofasce (B1, B2 e B3)** tutte presenti nel territorio in oggetto

Per le aree ricadenti all'interno della zone così perimetrare dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, valgono i contenuti delle Norme di Attuazione allegate allo stesso Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA) del Bacino Volturno, a cui si rimanda, e si consideri quanto, più specificamente contenuto negli artt. 4 e 29 con rimando al contenuto specifico per il resto.

L'articolo 4 definisce ed individua delle fasce fluviali e precisamente al comma 1 il PSDA definisce, in funzione delle aree inondabili con diverso periodo di ritorno, le fasce fluviali, rispetto alle quali si sono impostate le attività di programmazione contenute nel PSDA. Al comma 2 le fasce fluviali sono state così definite:

· **Alveo di piena ordinaria.** Si definisce alveo di piena ordinaria la parte della regione fluviale interessata dal deflusso idrico in condizioni di piena ordinaria, corrispondente al periodo di ritorno  $T = 2-5$  anni. Nel caso di corsi d'acqua di pianura, l'alveo di piena ordinaria coincide con la savenella, cioè con la fascia fluviale compresa tra le sponde dell'alveo incassato. Nel caso di alvei alluvionati, l'alveo di piena ordinaria coincide con il greto attivo, interessato (effettivamente nella fase attuale oppure storicamente) dai canali effimeri in cui defluisce la piena ordinaria.

· **Alveo di piena standard (Fascia A).** La Fascia A viene definita come l'alveo di piena che assicura il libero deflusso della piena standard, di norma assunta a base del dimensionamento delle opere di difesa. Nel presente Piano si è assunta come piena standard quella corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 100 anni. Il "limite di progetto tra la Fascia A e la successiva Fascia B" coincide con le opere idrauliche longitudinali programmate per la difesa del territorio. Allorché dette opere entreranno in funzione, i confini della Fascia A si intenderanno definitivamente coincidenti con il tracciato dell'opera idraulica realizzata e la delibera del Comitato Istituzionale di presa d'atto del collaudo dell'opera varrà come adozione di variante del Piano Stralcio per il tratto in questione.

· **Fascia di esondazione (Fascia B).** La Fascia B comprende le aree inondabili dalla piena standard, eventualmente contenenti al loro interno sottofasce inondabili con periodo di ritorno  $T < 100$  anni. In particolare sono state considerate tre sottofasce:

\* **la sottofascia B1** è quella compresa tra l'alveo di piena e la linea più esterna tra la congiungente l'altezza idrica  $h=30$  cm delle piene con periodo di ritorno  $T=30$  anni e altezza idrica  $h=90$  cm delle piene con periodo di ritorno  $T=100$  anni;

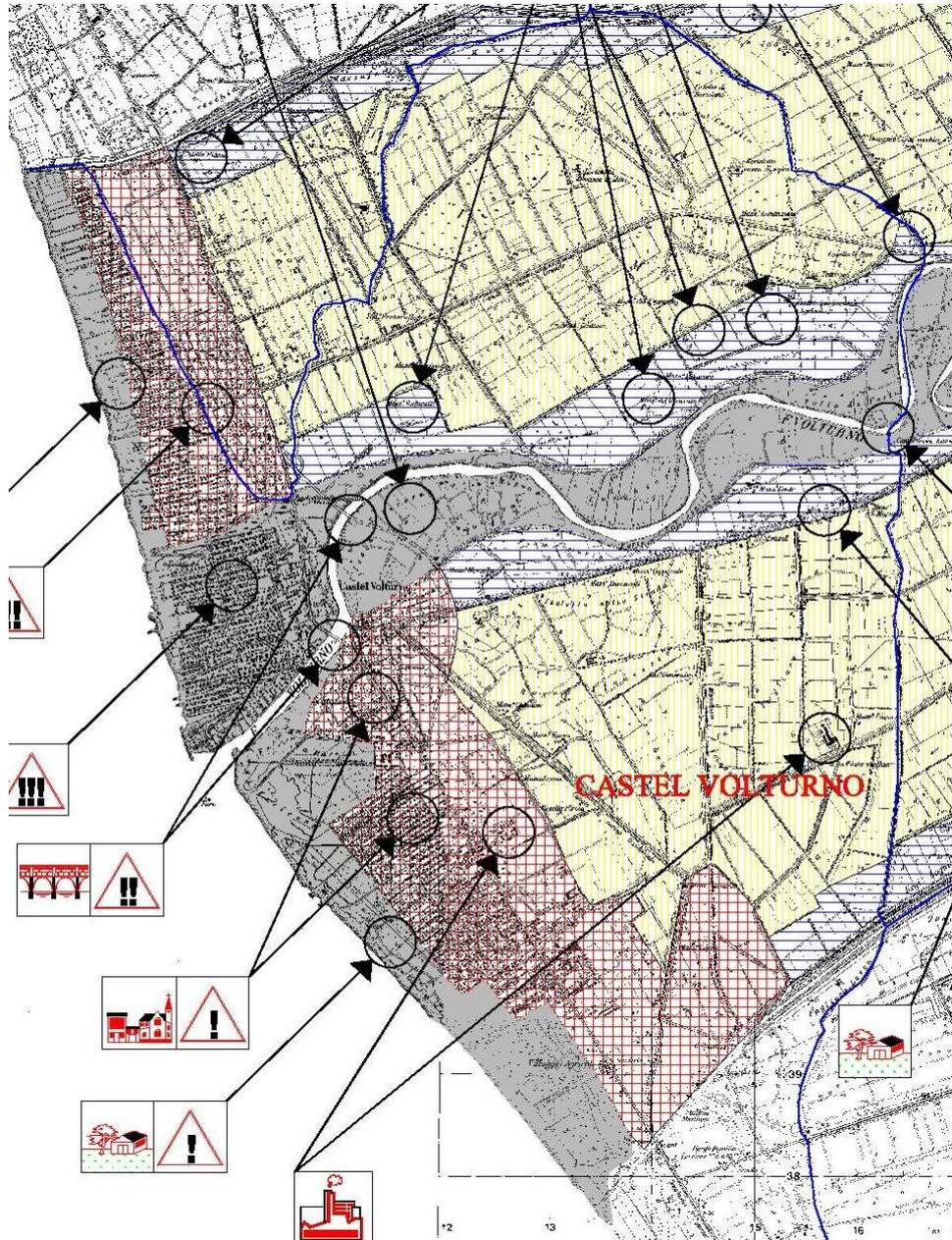
\* **la sottofascia B2** è quella compresa fra il limite della Fascia B1 e quello dell'altezza idrica  $h=30$  cm delle piene con periodo di ritorno  $T=100$  anni;

\* **la sottofascia B3** è quella compresa fra il limite della Fascia B2 e quello delle piene con periodo di ritorno  $T=100$  anni.

· **Fascia di inondazione per piena d'intensità eccezionale (Fascia C).**

E' quella interessata dalla piena relativa a  $T = 300$  anni o dalla piena storica nettamente superiore alla piena di progetto.

Nel successivo comma 3 si ricorda come con apposita campitura, nelle Tavole Grafiche allegate al PSDA, sono individuate le fasce A, B1, B2, B3 e C. Di seguito si riporta uno stralcio della tavola grafica ove è inserito il territorio comunale in oggetto.



**ZONIZZAZIONE**



Fig.14 Stralcio PSDA del Bacino Volturno

Si ricorda come sempre le Norme di Attuazione allegate allo stesso Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA) del Bacino Volturno all'articolo 29 prevedano indirizzi alla pianificazione urbanistica in rapporto all'analisi degli squilibri esistenti. Si indica (comma 1) come i piani regolatori generali dei Comuni di cui all'elenco nell'Allegato B (ove è inserito il Comune di Castel Volturno) al PSDA in oggetto devono essere adeguati al PSDA, secondo quanto previsto all'art.17 comma 6 della legge 183/89. Si dettaglio poi (comma 2) come nella fascia A, i Comuni in condizioni di squilibrio gravissimo (presenza di centri e nuclei urbani) devono prioritariamente valutare il posizionamento delle aree di squilibrio gravissimo all'interno della fascia A, inteso come:

a) aree ricadenti totalmente in fascia A distinguendo:

- 1) aree limitrofe alla sponda
- 2) aree interne alla fascia A
- 3) aree limitrofe alla Fascia B

b) aree parzialmente ricadenti in fascia A con indicazione della percentuale di superficie rispetto alla superficie totale del centro o nucleo urbano.

In ciascuno dei due casi si dovrà valutare la superficie occupata in rapporto a quella della fascia A di pertinenza del comune medesimo. In base alla conoscenza di tali elementi il PSDA della competente A.d.B. precisa che i Piani Regolatori Comunali dovranno prevedere una serie di interventi differenziati a secondo delle problematiche riscontrate. Non si riportano per brevità gli interventi richiesti ma si ritiene richiamato integralmente il PSDA della competente A.d.B..

## 5. METODOLOGIA DI INDAGINE GEOGNOSTICA

Sulla base del rilevamento geologico di superficie, esteso all'intero territorio comunale, preliminarmente effettuato e di tutti i dati conseguiti dallo scrivente ed attraverso le fonti citate in premessa, si sono tratti gli elementi di giudizio propedeutici per confrontare la realtà geologico-tecnica del territorio Comunale a quella così delineata. La dispersione delle indagini sul territorio è rappresentata su apposita planimetria con l'ubicazione delle indagini

Su di essa i vari tipi di prospezione sono individuati con una diversa simbologia e sono dislocati in pianta sui punti ritenuti più significativi in rapporto con:

- **la complicazione geologica del territorio indagato;**
- **gli intendimenti proposti in termini insediativi.**

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Si è dovuto pertanto tener conto, da un lato, dello sviluppo urbano, senza trascurare le aree sia pur lontane fisicamente da esse ma dal comportamento delle quali dipende, specie in prospettiva sismica, la risposta delle precedenti.

Negli ambiti di indagine indicati dal contenuto delle Leggi vigenti, si sono individuate le linee di seguito descritte che hanno consentito di valutare i parametri fisici, fisico-meccanici, idrologici e sismici idonei ad esprimere il parere di fattibilità previsto dalla norma predetta nonché a definire il modello geologico.

L'indagine prevista ha compreso le seguenti fasi:

1. **SONDAGGI GEOGNOSTICI**
2. **PROVE PENETROMETRICHE**
3. **PROSPEZIONI SISMICHE**
4. **ANALISI E PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO**

Le indagini di cui alla **fase 1** si sono rese necessarie per delineare e/o confermare gli esiti del rilevamento geologico espresso in termini stratigrafici ed idrologici. La tecnica di perforazione utilizzata è stata quella del carotaggio continuo per la possibilità che essa offre di disporre di campionamento integro, utilizzabile in situ per determinare, per via breve, le caratteristiche granulometriche ed altri parametri rilevabili con semplici apparecchiature di campagna. Inoltre, con la stessa tecnica è stato possibile prelevare campioni indisturbati di terreno che sono serviti per la corretta esecuzione di analisi e prove geotecniche di laboratorio altrimenti fallaci. Le profondità (almeno m. 30 dal piano di campagna attuale) sono state più che sufficienti a dare risposta in termini stratigrafici alle problematiche geotecniche e sismiche connesse con la risposta statica e dinamica attesa dal substrato.

Le indagini della **fase 2**, hanno integrato le precedenti, poiché, attraverso di esse, è stato possibile, intanto, tramite opportune correlazioni, pervenire a determinazioni stratigrafiche (in termini granulometrici) certamente paragonabili a quelle ottenute attraverso i sondaggi. Inoltre, con la metodologia adottata che ha impiegato un penetrometro dinamico pesante, le cui prestazioni sono state affidabili per il gran numero di esperienze che in campo nazionale ed internazionale è stato possibile conseguire, si sono determinate le varie caratteristiche a rottura e la deformabilità dei mezzi attraversati, pervenendo ad un quadro attendibile dell'evoluzione in verticale dei più salienti connotati geotecnici posseduti dal substrato, nei volumi d'interesse.

D'altra parte, nel corso dei sondaggi, a varie profondità, sono state eseguite altre prove penetrometriche del tipo S.P.T. (Standard Penetration Test). Anch'esse, alla fine

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

hanno dato utilissime informazioni sulla meccanica dei vari strati costituenti il sottosuolo ed, inoltre, hanno fornito utili apporti nella ricostruzione di un modello dinamico dello stesso.

Le indagini di cui alla **fase 3** hanno avuto carattere di fondamentale importanza per la valutazione del rischio sismico associabile alle varie zone del territorio comunale. Opportunamente impiegate, potranno suggerire soluzioni in termini progettuali circa l'impiego di parametri quali l'accelerazione al suolo attesa in corrispondenza di un sisma. Ciascuno dei fori di sondaggio è stato attrezzato a "down hole" per permettere il rilievo per profondità prefissate della misura della velocità delle onde sismiche di taglio (o Onde "S" o Onde "Seconde"). I ranges energetici e la polarizzazione delle sollecitazioni tipici delle perturbazioni provocate dalle onde di taglio rappresentano la più verosimile caratteristica risposta dei terreni in regime dinamico. Pertanto a queste velocità si è fatto riferimento nella valutazione e nella discriminazione in zone omogenee da un punto di vista del rischio sismico.

Le indagini di cui alla **fase 4** hanno dato ulteriori informazioni sulle caratteristiche fisiche dei terreni, consentendo una valutazione delle stesse in un ambito di tensioni predeterminato e diverso da quello in situ o da quello nel quale esse vengono determinate nel corso di prove penetrometriche o sismiche.

Per uno studio di dettaglio delle caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale si è poi provveduto ad eseguire rilievi freaticometrici. Per questo motivo sono stati censiti n. 58 punti attestati nel corpo degli acquiferi di zona.

## 6. INDAGINI SVOLTE

Per l'espletamento dell'affidamento del servizio di esecuzione delle indagini geognostiche citate in premessa si è proceduto, in osservanza alle vigenti normative, all'esecuzione di campagna d'indagini, realizzate nelle aree indicate, in:

- dieci sondaggi a carotaggio continuo (sino almeno alla profondità di m. 30,00 dal p.c. attuale);
- otto prove S.P.T. eseguite, a varie profondità, nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo;
- Prelievo di sedici campioni indisturbati sui quali sono state effettuate, le seguenti analisi e prove: apertura e descrizione dei campioni, determinazione delle caratteristiche fisiche generali, analisi granulometriche, prova di espansione laterale libera, prova di compressione edometrica;
- dieci carotaggi sismici con tecnica down-hole (sino alla profondità di m. 30,00 dal p.c. attuale);

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

- quindici prove penetrometriche pesanti (una sino alla profondità di m. 25,20 dal p.c., una sino alla profondità di m. 19,60 dal p.c. attuale e tutte le altre sino alla profondità di m. 20,20 dal p.c. attuale )

Tutte le prove sono state effettuate, in conformità alle norme A.G.I., con le modalità ed in osservanza delle vigenti normative. I risultati sono stati restituiti graficamente con le modalità prescritte e seguendo le raccomandazioni A.G.I.<sup>2</sup>.

I risultati dell'intera campagna riportati in allegato, parte integrante e non divisibile della presente relazione, sono di seguito elencati :

- \* colonne stratigrafiche (**ALL. 1 / Tavv. 1,3,4,6,8,10,12,14,15,17**)
- \* risultati SPT (**ALL. 1/ Tavv. 2,5,7,9,11,13,16**)
- \* risultati e grafici down-hole (**ALL. 2/ Tavole da 1 a 10**)
- \* risultati e grafici prove penetrometriche dinamiche pesanti (**ALL. 3 / Tavole da 1 a 15**)
- \* risultati analisi e prove di laboratorio (**ALL. 4**)
- \* planimetria con l'ubicazione delle indagini svolte (**ALL. 5 / N. 4 tavole**)
- \* report fotografico (**ALL. 6**)

## 7. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

I sondaggi sono stati eseguiti utilizzando la tecnica del carotaggio continuo servendosi sia di una sonda di costruzione Trivelsonda da 880 kg/m di coppia massima montata su cingolato sia di una sonda di costruzione CMV sempre con l'impiego di un carotiere da 101 mm. di diametro. Si è avuta cura di rivestire il foro, con apposita tubazione del diametro di 127 mm. per tutti i sondaggi e per tutta la lunghezza. Si indicano più nel dettaglio le attrezzature utilizzate:

- Aste di manovra cave dal diametro  $\Phi$  (mm) 76
- Aste di manovra lunghezza (m) 1.5
- Carotiere da  $\Phi$  (mm) 101
- Carotiere lunghezza (m) 1.5
- Corona con denti in Widia da  $\Phi$  (mm) 101
- tubo di rivestimento dal diametro  $\Phi$  (mm) 127

Sono state altresì eseguite, durante l'esecuzione dei sondaggi, otto prove penetrometriche dinamiche tipo S.P.T. (Standard Penetration Test) a varie profondità. Le carote relative ai sondaggi, eseguiti tra il 21/03/08 ed il 04/04/08, sono state raccolte nelle

---

<sup>2</sup> Associazione Geotecnica Italiana

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

apposite cassette catalogatrici e consegnate ai tecnici comunali trasportandole in un apposito sito indicato dagli stessi. Nello specifico, in data 08/04/08 sono state consegnate n. 59 cassette catalogatrici contenenti le carote provenienti dai sondaggi effettuati nonché i campioni evidenziati dalle prove S.P.T. che sono stati allocati (su indicazione del Dirigente dell'Ufficio Urbanistica e Programmazione Territoriale) presso il deposito dell'Ente sito in Via Mazzini. Di seguito si elencano: i sondaggi eseguiti con relativa profondità raggiunta, le prove S.P.T. eseguite, i campioni indisturbati prelevati, le cassette utilizzate; si rimanda per i dettagli alle colonne stratigrafiche allegate.

SONDAGGIO N.	PROFONDITA' DAL P.C. ML.	UBICAZIONE FORI Coordinate Gauss Boaga	S.P.T. ESEGUITE N.	CAMPIONI INDISTURBATI PRELEVATI	CASSETTE UTILIZZATE
S1	30,00	X: 2429106,4129 Y: 4546118,4882	1	S1A - S1B	6
S2	30,00	X: 2432716,9022 Y: 4546315,1694	-	S2A - S2B	6
S3	30,00	X: 2432518,5238 Y: 4539316,8593	1	S3A	6
S4	30,00	X: 2436695,4240 Y: 4533501,1038	1	S4A - S4B	6
S5	30,00	X: 2431420,5964 Y: 4543607,1030	1	S5A	6
S6	30,00	X: 2435324,2530 Y: 4544096,8912	1	S6A	6
S7	30,00	X: 2433628,7691 Y: 4542556,3898	1	S7A	5
S8	30,00	X: 2432923,1594 Y: 4541251,1449	-	S8A - S8B	5
S9	30,00	X: 2435152,2472 Y: 4540684,0737	1	S9A - S9B	6
S10	31,50	X: 2434970,0460 Y: 4546819,0325	1	S10A - S10B	7
TOTALE	301,50		8		59

Tab. 4 Indagini eseguite

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Per quanto riguarda le quote e le profondità si fa riferimento al piano campagna attuale così come si evince dalla cartografia fornita dalla committenza.

SONDAGGIO N.	PROFONDITA' DAL P.C. ML.	QUOTA INIZIO SONDAGGIO m.s.l.m.m.	QUOTA FINE SONDAGGIO m.s.l.m.m.	UBICAZIONE FORI Coordinate Gauss Boaga
S1	30,00	1,40	- 28,60	X: 2429106,4129 Y: 4546118,4882
S2	30,00	2,00	- 28,00	X: 2432716,9022 Y: 4546315,1694
S3	30,00	2,10	- 27,90	X: 2432518,5238 Y: 4539316,8593
S4	30,00	3,10	- 26,90	X: 2436695,4240 Y: 4533501,1038
S5	30,00	1,68	- 28,32	X: 2431420,5964 Y: 4543607,1030
S6	30,00	3,10	- 26,90	X: 2435324,2530 Y: 4544096,8912
S7	30,00	1,70	- 28,30	X: 2433628,7691 Y: 4542556,3898
S8	30,00	1,95	- 28,05	X: 2432923,1594 Y: 4541251,1449
S9	30,00	1,60	- 28,40	X: 2435152,2472 Y: 4540684,0737
S10	31,00	4,90	- 26,10	X: 2434970,0460 Y: 4546819,0325
TOTALE	301,00			

Tab. 5 Profondità sondaggi a c.c.

Si fornisce, inoltre, la distinta delle cassette catalogatrici consegnate con le modalità già descritte. (Tab.6)

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )	SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>
	<b>2</b>	<b>5 - 10</b>		<b>2</b>	<b>5 - 10</b>
	<b>3</b>	<b>10 - 15</b>		<b>3</b>	<b>10 - 15</b>
	<b>4</b>	<b>15 - 20</b>		<b>4</b>	<b>15 - 20</b>
	<b>5</b>	<b>20 - 25</b>		<b>5</b>	<b>20 - 25</b>
	<b>6</b>	<b>25 - 30</b>		<b>6</b>	<b>25 - 30</b>

SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )	SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )
<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>
	<b>2</b>	<b>5 - 12</b>		<b>2</b>	<b>5 - 10</b>
	<b>3</b>	<b>12 - 18</b>		<b>3</b>	<b>10 - 15</b>
	<b>4</b>	<b>18 - 23</b>		<b>4</b>	<b>15 - 20</b>
	<b>5</b>	<b>23 - 28</b>		<b>5</b>	<b>20 - 25</b>
	<b>6</b>	<b>28 - 30</b>		<b>6</b>	<b>25 - 30</b>

SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )	SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>
	<b>2</b>	<b>5 - 10</b>		<b>2</b>	<b>5 - 10</b>
	<b>3</b>	<b>10 - 15</b>		<b>3</b>	<b>10 - 15</b>
	<b>4</b>	<b>15 - 20</b>		<b>4</b>	<b>15 - 20</b>
	<b>5</b>	<b>20 - 25</b>		<b>5</b>	<b>20 - 25</b>
	<b>6</b>	<b>25 - 30</b>		<b>6</b>	<b>25 - 30</b>

SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )	SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )
<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0 - 6</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>
	<b>2</b>	<b>6 - 12</b>		<b>2</b>	<b>5 - 13</b>
	<b>3</b>	<b>12 - 19</b>		<b>3</b>	<b>13 - 20,5</b>
	<b>4</b>	<b>19 - 25</b>		<b>4</b>	<b>20,5 - 27</b>
	<b>5</b>	<b>25 - 30</b>		<b>5</b>	<b>27 - 30</b>

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )	SONDAGGIO	N° Cassette	Intervallo profondità (da mt. A m. )
<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>0 - 5</b>
	<b>2</b>	<b>5 - 10</b>		<b>2</b>	<b>5 - 10</b>
	<b>3</b>	<b>10 - 15</b>		<b>3</b>	<b>10 - 15</b>
	<b>4</b>	<b>15 - 20</b>		<b>4</b>	<b>15 - 20</b>
	<b>5</b>	<b>20 - 25</b>		<b>5</b>	<b>20 - 25</b>
	<b>6</b>	<b>25 - 30</b>		<b>6</b>	<b>25 - 30</b>
				<b>7</b>	<b>30 - 31,5</b>

Tab. 6 Distinta Cassette catalogatrici

Considerando tutti i dati dei sondaggi realizzati nel territorio comunale di Castel Volturno, come detto evinti da più fonti, in linea generale si evidenziano orizzonti variabili con correlazioni, di non facile comprensione, delle varie serie stratigrafiche possibili che permettono di indicare con buona approssimazione l'andamento in senso orizzontale e verticale di tali orizzonti.

Rimandando per i dettagli alle stratigrafie allegate possiamo dire che i sondaggi risultano correlabili sia tra loro sia con le altre indagini in sito. Dal piano campagna rilevabile al momento della realizzazione dei sondaggi, è stata rinvenuta un'alternanza di litotipi che avendo avuto fasi di deposizione, trasporto e risedimentazione susseguite nel corso dei tempi (vedi inquadramento geologico) risultano avere una certa variabilità deposizionale sia in senso verticale che orizzontale. Da ciò ne consegue una variabilità per quanto attiene la potenza dei litotipi rinvenuti.

Quanto ora accennato visto, come già detto, che il sottosuolo del territorio comunale di Castel Volturno è stato condizionato dalla vicende geologiche che, essenzialmente si riconducono alla morfogenesi della costa in oggetto e dallo sviluppo del Fiume Volturno. (Fig. 15)



(Fig. 15) Recupero dai sondaggi

L'area in oggetto, insieme ad altri grandi porzioni della Piana Campana, ha conosciuto ambienti marini estesi e poi condizioni favorevoli alla sua crescita come area emersa. A tale quadro di sintesi bisogna aggiungere come l'area vasta venne investita dai prodotti piroclastici da flusso e da caduta di provenienza flegrea e p.p. vesuviana. Vi è da aggiungere la profonda azione deposizionale esercitata del Fiume Volturno. Ne consegue che i terreni che si rinvencono sono, ovviamente, frutto di tali "vicende" geologiche con conseguente presenza di variazioni sia verticali che orizzontali in special modo nelle aree di transizione. Per cui nei sondaggi a carotaggio continuo realizzati si evidenziano porzioni di territorio ove si riscontrano esclusivamente sabbie per tutta la profondità del sondaggio (m.30) che si presentano sciolte ed equigranulari per i primi 15 m. circa e poi più disomogenee ma sempre con presenza di gusci (S4). (Fig. 16)



(Fig. 16) Recupero dai sondaggi

Situazione molto simile per il sondaggio S5, ove se si esclude un primo livello potente circa m. 2,5, francamente argilloso, si rinviene un potente strato costituito da sabbia sciolta per oltre m. 22. La serie continua con terreni argillosi e limosi (con presenza di resti vegetali lignei e frammenti di gasteropodi) per chiudersi con terreni sabbiosi prodotti da domini evidentemente vulcanici.

La presenza di questi ultimi terreni piroclastici descritti si riscontra in vari sondaggi S6, S7, S8 ed S10) quasi sempre alla fine dei carotaggi (26-27 m. dal p.c. attuale) e la loro presenza è in linea con il modello geologico descritto precedentemente in altra parte della presente relazione.

In taluni casi, emblematico quello del sondaggio S9, si evidenziano esclusivamente terreni argillosi per tutta la lunghezza della terebrazione ove a luoghi si nota la presenza di resti vegetali lignei e frammenti di lamellibranchi.

Concludendo, in accordo con il modello geologico descritto precedentemente in altra parte della presente relazione, i sondaggi realizzati hanno delineato come nella zona litorale,

vi siano terreni costituiti da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore.

Spostandosi dalla zona litorale parallelamente alla costa e per tutto l'allineamento spostandosi verso la parte orientale del territorio comunale si manifestano sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi.

Procedendo ancora verso est dalla zona litorale parallelamente alla costa e solo in sinistra foce Volturno si accertano delle sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate .

Riguardo il corso del Volturno (per una fascia posta a cavallo del fiume) si riscontrano delle sabbie grigie sciolte ed argille grigio-azzurrognole poco consistenti; per poi passare ad un'ulteriore fascia esterna rispetto a questa ora descritta e sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del Volturno costituita da argille marroni e grigio-bluastre, da poco a mediamente consistenti con abbondanti resti vegetali lignei e molluschi, e sabbie grigie poco addensate con inclusi elementi pomicei e scoriacei nonchè torbe .

Spostandosi ulteriormente ad un fascia ancora più esterna rispetto al corso del Volturno ma sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del fiume si segnalano argille grigie da poco a mediamente consistenti e sabbie grigie poco addensate .

Le aree più depresse del territorio comunale, ossia quelle oggetto di bonifica, sono caratterizzate da argille sabbiose grigio azzurrognole marroni da poco a mediamente consistenti con resti di molluschi, argille torbose poco consistenti e torbe.

Durante l'esecuzione dei sondaggi è stata riscontrata la presenza di falda acquifera; la profondità di rinvenimento è riportata nel capitolo relativo alla idrogeologia. Per le correlazioni descritte nel presente capitolo si rimanda alle colonne stratigrafiche allegate. Per quanto riguarda le quote e le profondità si fa riferimento al piano campagna rinvenuto al momento dello svolgimento delle indagini così come si è evinto dalla cartografia fornita dalla committenza.

## 8. PRELIEVO CAMPIONI INDISTURBATI

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggi continuo sono stati prelevati, tutti a pressione, sedici campioni indisturbati consegnati al laboratorio (autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Concessione n. 54540 del 16/02/2006 C.M. n. 349/STC del 16/12/1999) Edilsigma s.r.l. con sede in Via Capua III Traversa Cappuccini 8 S.M. Capua Vetere (CE).

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Il prelievo dei campioni è stato realizzato adoperando un campionatore cilindrico (“fustella”) montato alle aste di manovra e poi fatto penetrare nel terreno alle profondità prestabilite con la sola pressione esercitata dalla macchina perforatrice.

In questo modo il campionatore si riempie di materiale che, appena estratto, è stato paraffinato alle due estremità onde evitare che, al contatto con l'aria, perda la sua umidità naturale.

Tra i diversi tipi esistenti in commercio, è stato utilizzato il campionatore “a pareti sottili” che tra tutti è quello che arreca minore disturbo al terreno.

I campioni prelevati, in modo conforme alle Raccomandazioni dell'AGI, in accordo con le procedure a noi impartite, sono stati prelevati con apposito campionatore e singolarmente sigillati con paraffina. Sono stati annotati su ogni fustella:

- Il numero del sondaggio
- Il numero del campione
- La quota iniziale e finale di prelievo
- La lunghezza del campione
- La testa e coda del campione

Di seguito si riporta l'elenco dei campioni consegnati al laboratorio Edilsigma s.r.l. (Tab. 7)

SONDAGGIO N.	CAMPIONE N.	PROFONDITA' PRELIEVO CAMPIONI DAL P.C. ML.	QUOTA INIZIALE PRELIEVO CAMPIONI m.s.l.m.m.	QUOTA FINALE PRELIEVO CAMPIONI m.s.l.m.m.
S1	S1A	2,00	-0,60	-1,10
	S1B	17,00	-15,60	-16,00
S2	S2A	2,70	-0,70	-1,10
	S2B	5,30	-3,30	-3,80
S3	S3A	6,80	-4,70	-5,10
S4	S4A	2,00	1,10	0,60
	S4B	9,00	-5,90	-6,30
S5	S5A	11,00	-9,32	-9,82
S6	S6A	5,00	-1,90	-2,40
S7	S7A	5,00	-3,30	-3,80
S8	S8A	2,90	-0,95	-1,35
	S8B	6,80	-4,85	-5,25
S9	S9A	2,30	-0,70	-1,00
	S9B	17,00	-15,40	-15,90
S10	S10A	3,00	1,90	1,60
	S10B	5,00	-0,10	-0,50

Tab. 7 Profondità di prelievo dei campioni

## 9. STANDARD PENETRATION TEST

Nel corso dei sondaggi sono stati eseguiti otto prove S.P.T., a quote differenziate, utilizzando un'attrezzatura conforme alle norme ASTM D 1586-AASHTOT 206, costituita da un campionatore Raymond a punta aperta, un maglio da 63,5 kg e da aste in acciaio del peso di 7 kg/ml. Le prove sono state eseguite alle profondità che si possono evincere dalla sottostante tabella 8. Di seguito ed in allegato sono i valori desunti dalle prove S.P.T. I campioni evidenziati dalle prove S.P.T. sono stati allocati nelle cassette catalogatrici poi consegnate all'Ente con le modalità richiamate più volte.

Sondaggio N.	S.P.T Da m. A m.	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>T</sub>
1	5,00 - 5,45	5	18	15	<b>33</b>
3	5,00 - 5,45	3	1	*	<b>1*</b>
4	5,00 - 5,45	15	10	18	<b>28</b>
5	2,50 - 2,95	2	1	1	<b>2</b>
6	3,00 - 3,45	1	2	4	<b>6</b>
7	3,00 - 3,45	2	4	6	<b>10</b>
9	5,00 - 5,45	3	6	7	<b>13</b>
10	9,00 - 9,45	2	3	5	<b>8</b>

Tab. 8 Valori S.P.T.

In generale si denota come i valore di N<sub>t</sub> siano sempre abbastanza bassi con valori di norma inferiori a 10. Fanno eccezione le prove realizzate nel sondaggio S1 ed S4 realizzati a ridosso del litorale domizio.

\* Per quanto riguarda la prova realizzata tra m. 5,00 e m. 5,45 di profondità, dal piano campagna attuale, nel sondaggio denominato S3 è da segnalare che l'attrezzatura utilizzata dopo i primi 15 centimetri (attraversati con N<sub>1</sub> = 3) si approfondiva di ulteriori 30 cm. (quindi dai m. 5,15 e m. 5,45 di profondità, dal piano campagna attuale) con un solo colpo di maglio battente.

## 10. DOWN-HOLE

Si è proceduto alla esecuzione di dieci indagini sismiche in foro tipo *down-hole*, realizzate tra il 02/04/08 ed il 07/04/08.

L'indagine sismica in foro, tipo *down-hole*, è stata eseguita in tutti i fori di sondaggio a carotaggio continuo realizzati, precedentemente condizionati con tubi in PVC, opportunamente giuntati avendo cura di riempire il fondo e l'intercapedine laterale tra tubo e foro con malta cementizia e provvedendo a mettere in opera idonea protezione e chiusura.

Il metodo Down-Hole, col quale sono state eseguite le misure in tutti i sondaggi realizzati, prevede la generazione di onde elastiche in superficie, nelle vicinanze del foro, e la misura dei relativi tempi di arrivo a diverse profondità nello stesso.

Per una buona determinazione delle onde elastiche il foro di sondaggio è stato rivestito con tubi in PVC cementati al terreno circostante, così da eliminare qualsiasi vuoto e trasmettere al meglio il segnale.

Il diametro interno delle tubazioni di rivestimento utilizzate è stato di 80 mm, sufficientemente piccolo da permettere una buona esecuzione della prova.

Nella prospezione sismica si producono delle onde elastiche con una massa battente o con una carica esplosiva e si registrano, dopo che hanno percorso un certo tragitto nel sottosuolo, le onde che riemergono con un sismografo collegato a dei rilevatori del moto del suolo (geofoni).

Il metodo della sismica a rifrazione utilizza quelle onde che, quando incontrano una discontinuità, subiscono il fenomeno della rifrazione. In particolare si registra il tempo che impiega il treno d'onda per arrivare al geofono.

- Utilizzando un geofono tridimensionale da pozzo si ricavano i tempi di arrivo delle onde sismiche longitudinali e trasversali.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

L'apparecchiatura utilizzata è data dai moduli sismici chiamati "Geode™" della Geometrics collegati tramite una PMCIA ad un computer portatile. Il Geode è controllato dal computer ad esso collegato con un software chiamato Geode Operative Software (GOS). Ad un singolo **geode**, per una indagine, possono essere collegati fino a 24 "geofoni", ossia rilevatori delle vibrazioni indotte nel sottosuolo. Per lo scopo dell'indagine è stato collegato un geofono tridimensionale da pozzo. Il geode è controllato da un software chiamato Single Geode Operative Software (SGOS).



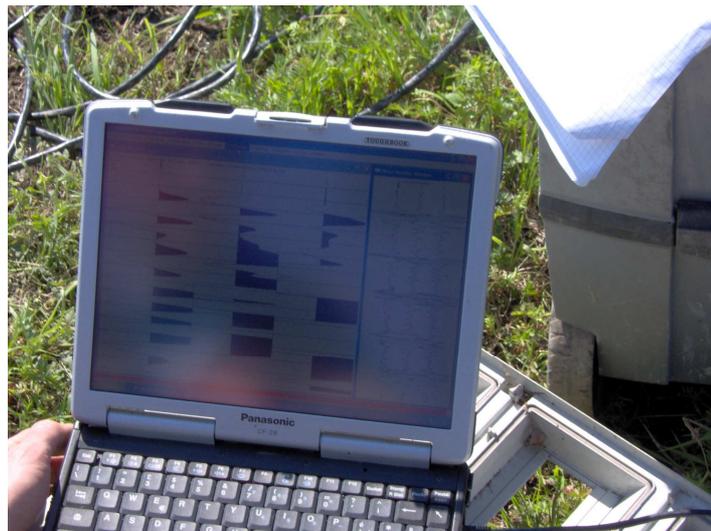
L'apparecchiatura è dotata di incremento automatico del segnale con algoritmo di sommatoria e consente la visione in simultanea dei dati sullo schermo del computer.

Si può, inoltre, manipolare il segnale con appositi di filtri, verificare il livello di rumori generati da sorgenti estranee (vento, rumori naturali, mezzi meccanici, ecc.) e scegliere l'amplificazione più idonea del segnale.

L'energizzazione è fornita da una mazza a cui è legato un trigger che dà il tempo iniziale dell'eccitazione.

La misura delle vibrazioni indotte è eseguita con un geofono da pozzo che è costituito da tre geofoni: uno verticale che misura le vibrazioni longitudinali e due orizzontali che misurano le due componenti orizzontali della onda di taglio S.

Il geofono da pozzo modello BHGC1 della "geostuff" è dotato di un sistema di ancoraggio che si aziona da una centralina e di un sistema che lo orienta sempre al nord.



Si forniscono in allegato: letture di campagna per le onde di compressione e di taglio; dati elaborati per le onde di compressione e di taglio; grafici tempi-profondità e velocità intervallari; individuazione dei principali moduli dinamici in corrispondenza delle profondità di lettura. I risultati di campagna, e la loro interpretazione, sono riportati in allegato.

Per quanto riguarda le quote e le profondità si fa riferimento al piano campagna attuale così come si evince dalla cartografia fornita dalla committenza.

## 11. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI

Sono state eseguite, tra il giorno 21/03/2008 e il 26/03/2008, quindici prove penetrometriche dinamiche pesanti utilizzando un penetrometro statico dinamico TG63 EMLC della PAGANI.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

PENETROMETRIA N.	PROFONDITA' DAL P.C. ML.	QUOTA INIZIO PENETROMETRIA m.s.l.m.m.	QUOTA FINE PENETROMETRIA m.s.l.m.m.	UBICAZIONE Coordinate Gauss Boaga
P1	20,20	0,75	- 19,45	X: 2431889,7377 Y: 4547514,7639
P2	25,20	2,00	- 23,20	X: 2432732,7914 Y: 4546332,4425
P3	20,20	1,95	- 18,25	X: 2430774,6879 Y: 4545986,5626
P4	20,20	3,35	- 16,85	X: 2434128,3900 Y: 4547049,0404
P5	20,20	3,13	- 17,07	X: 2433738,0630 Y: 4544839,0954
P6	20,20	1,93	- 18,27	X: 2429246,1185 Y: 4545145,5115
P7	20,20	2,22	- 17,98	X: 2434416,2468 Y: 4542752,0492
P8	20,20	1,40	- 18,80	X: 2431461,9106 Y: 4540867,7627
P9	20,20	1,95	- 18,25	X: 2432927,3902 Y: 4541236,1282
P10	20,20	1,72	- 18,48	X: 2436133,8432 Y: 4541693,7433
P11	20,20	1,70	- 18,50	X: 2434110,6208 Y: 4539634,2528
P12	19,60	0,84	- 18,76	X: 2435170,3546 Y: 4538044,7694
P13	20,20	5,43	- 14,77	X: 2434710,9445 Y: 4536660,3140
P14	20,20	2,84	- 17,36	X: 2436006,8100 Y: 4535383,4536
P15	20,20	3,50	- 16,70	X: 2437863,1011 Y: 2437863,1011
TOTALE	308			

Tab. 9 Ubicazione e profondità Penetrometrie

La prova consiste nell'infissione di un'asta (di lunghezza di cm. 100) con all'estremità una punta conica (angolo apertura punta  $\alpha = 90^\circ$  e area base punta  $A = \text{cm}^2 20,43$ ) tramite i

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

colpi di un maglio battente a caduta libera (del peso di kg. 63,5 che cade da un'altezza di cm. 75) contando i colpi necessari all'infissione di cm. 20 di asta.

Tutti i dati, in tabella e grafici, sono riportati in allegato. Per quanto riguarda le quote e le profondità si fa riferimento al piano campagna attuale, così come evinto dalla cartografia fornita dalla committenza.

Scopo delle prove è stato quello di fornire dati utili alla caratterizzazione dei terreni di copertura, con la possibilità di fornire valori con i quali poi correlare di  $D_r$ ,  $\phi$ ,  $E_{ed}$ , ecc; di correlare tra loro i terreni esistenti.

La lettura dei dati desunti dalle prove penetrometriche conferma in generale quanto si è evidenziato dai rilevamenti eseguiti in connessione ai terreni rinvenuti.

Vi è da evidenziare come le prove realizzate non abbiano mai raggiunto il rigetto dell'attrezzatura .

## 12. ANALISI E PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggi continuo sono stati prelevati sedici campioni sui quali sono state eseguite poi analisi e prove geotecniche di laboratorio dalla Edilsigma s.r.l. con sede in Via Capua III Traversa Cappuccini 8 S.M. Capua Vetere (CE) (laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Concessione n. 54540 del 16/02/2006 C.M. n. 349/STC del 16/12/1999). Le determinazioni, conformi alle Raccomandazioni dell'AGI ed in accordo con le procedure ASTM, CNR e UNI specifiche, hanno compreso le seguenti analisi e prove: apertura e descrizione dei campioni, determinazione delle caratteristiche fisiche generali, analisi granulometriche, prova di espansione laterale libera, prova di compressione edometrica.

Sui campioni indisturbati sono state effettuate analisi di laboratorio consistenti in prove preliminari di identificazione e, quando possibile, di misura della resistenza (Pocket Penetrometer)

### CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI

Per la determinazione delle caratteristiche fisiche naturali del terreno si è proceduto in laboratorio come segue:

### PESO DI VOLUME

Dal campione estratto, mediante piccole fustelle a bordo tagliente e di volume noto, vengono ricavati provini indisturbati da pesare con una precisione di 0.01 g. Conoscendo sia il peso

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

che il volume del materiale si calcola il suo peso di volume. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi

## PESO DI VOLUME SECCO E CONTENUTO D'ACQUA

I campioni di cui al punto precedente sono riposti in una stufa ad essiccare ad una temperatura di 105-110° per la durata di 12 ore. Conoscendo il volume, il peso ed il peso secco dei provini, viene ricavato il peso di volume del secco ed il contenuto d'acqua. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi

## PESO SPECIFICO DEI GRANI

Per la determinazione del peso specifico dei grani è inserito all'interno di un picnometro una quantità nota (circa 30-50 g) di materiale secco, riempito per metà di acqua distillata e riposto sotto vuoto per il tempo necessario ad espellere tutti i gas. Dopodiché si procede a riempire il picnometro esattamente fino al segno riportato sul collo e a pesare il tutto con una precisione di 0.01 g. Viene poi ripetuta la pesata del picnometro pieno solo di acqua distillata fino alla tacca

riportata sul collo e, per differenza, si ricava il volume spostato dalle particelle solide. Da questi dati è possibile ricavare il peso specifico delle particelle solide dopodiché, per correlazione, vengono calcolati l'indice dei vuoti, la porosità ed il grado di saturazione del campione. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi.

## ANALISI GRANULOMETRICA

L'obiettivo dell'analisi granulometrica di un terreno è quello di raggruppare, in diverse classi di grandezza, le particelle che lo costituiscono e di determinare successivamente le percentuali in peso di ciascuna classe, riferite al peso secco iniziale del campione. La distribuzione granulometrica delle particelle che costituiscono un campione risulta indispensabile per avere indicazioni circa il comportamento meccanico del terreno, la sua permeabilità, il decorso dei sedimenti nel tempo, ecc.

La procedura per effettuare un'analisi granulometrica per vagliatura è quella di scegliere, per quartature successive, una quantità sufficiente di materiale rappresentativo del campione, essiccare questo materiale in stufa e pesarlo.

Quest'ultimo si ripone quindi sulla pila di setacci muniti di fondo e coperchio e riposti con apertura via via decrescente; essi vengono fatti vibrare in modo da separare i granuli in frazioni di dimensioni pressoché uguali, ciascuna trattenuta al corrispondente setaccio. Successivamente si pesa il trattenuto ad ogni setaccio e si ricava la percentuale di passante al setaccio stesso. Con questa tecnica è possibile determinare la distribuzione delle dimensioni delle particelle fino al diametro di 0.075 mm. La distribuzione dei granuli di dimensioni inferiori a questo valore (cioè le particelle di limo ed argilla) viene effettuata per via indiretta, basandosi sui tempi di sedimentazione delle particelle in acqua distillata. In

questo modo si arrivano ad identificare elementi di dimensioni minime dell'ordine di 1 micron. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi.

## 13. CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI

Allo scopo di avere elementi utili per la descrizione della stratigrafia dei litotipi formanti il substrato del territorio comunale, sono stati esaminati i sondaggi eseguiti durante la campagna di indagini oltre quelli disponibili in letteratura tecnica e di cui si sono citate le fonti.

Le varie terebrazioni, approfondite in funzione dei litotipi attraversati, hanno permesso di particolareggiare il dato geologico inerente le formazioni affioranti e costituenti le profondità significative, di conoscere eventuali circolazioni idriche oltre che analizzare i risultati delle prove di laboratorio effettuate su campioni indisturbati, onde poter caratterizzare anche geotecnicamente tali terreni. In allegato sono riportate le sezioni geologiche a cui si rimanda per il dettaglio.

Si rinvia ad indagini puntuali da realizzarsi in successive fasi progettuali (per singoli interventi o Piani di dettaglio comunali) per valutazioni circostanziate, in quanto questa fase prevede una determinazione completamente diversa da quella richiesta dai necessari dettagli puntuali.

Conformemente a quanto emerso dal complesso programma di raccolta dati, indagine e campionamento effettuato sul territorio, il substrato rivela un comportamento geotecnico segnato da parametri a rottura e di deformabilità che spaziano da quelli caratteristici dei mezzi puramente coerenti a quelli incoerenti.

Considerando il modello geologico del sottosuolo, già più volte evidenziato, e ricordando che è stata rinvenuta un'alternanza di litotipi che avendo avuto fasi di deposizione, trasporto e risedimentazione susseguitisi nel corso dei tempi (vedi inquadramento geologico) risultano avere una certa variabilità deposizionale sia in senso verticale che orizzontale si possono fare le seguenti considerazioni per ciò che riguarda le principali caratteristiche geotecniche risultate considerando sia le indagini in sito (sondaggi e prove penetrometriche) sia quelle in laboratorio ed utilizzando le correlazioni possibili desunte dalla bibliografia scientifica.

Per i terreni marcatamente sabbiosi si rilevano valori dell'angolo di attrito interno  $\phi$  praticamente sempre superiore ai 30° con punte anche di 35°. I valori di  $\gamma$  almeno di 1,5 kg/cm<sup>3</sup> e sino a 1,7 kg/cm<sup>3</sup>. I valori desunti di  $N_{spt}$  sono di norma superiori a 15 con valori di Resistenza dinamica alla punta molte volte superiori ai 100 kg/cm<sup>2</sup>.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Quando si considerano terreni francamente coesivi si rilevano valori di  $\gamma$  tra 1,8 kg/cm<sup>3</sup> e sino a 1,9 kg/cm<sup>3</sup>. I valori desunti di N<sub>spt</sub> sono sempre inferiori a 10 e per larghi tratti uguali a qualche unità; si evidenziano valori di resistenza dinamica alla punta molto basse valutabili tra 10 kg/cm<sup>2</sup> e 35 kg/cm<sup>2</sup> e valori di Cu = 15 kPa. Vi è da aggiungere che in molti casi per questi tipi di terreni le caratteristiche fisico meccaniche si presentano ancora più scadenti ove valori desunti di N<sub>spt</sub> sono sempre inferiori a 4 e per larghi tratti uguali a qualche unità; i valori di resistenza dinamica alla punta sono ancora più bassi valutabili tra 7 kg/cm<sup>2</sup> e 20 kg/cm<sup>2</sup> e valori di Cu che scendono sino a circa 6 kPa.

E' intuibile come tra queste due situazioni rappresentate così diversificate vi siano una serie di contesti intermedi impossibili da rappresentare, anche in virtù del carattere generale che riveste il presente studio. Oltre a quanto succintamente riportato si potrà, comunque, far riferimento alla serie di dati che si possono evincere dalle prove di laboratorio allegate.

Tanto detto è ovviamente da rinviare ad indagini puntuali esperite nelle varie scale progettuali ogni valutazione più circostanziata, valendo in questa fase una determinazione discendente dalla scala di legge (1:5.000) completamente diversa da quella richiesta dal necessario dettaglio puntuale, anche riferendosi a specifici Piani previsti dalle vigenti normative. Per le correlazioni descritte nel presente capitolo nonché per i dati in dettaglio si rimanda agli allegati. Per quanto riguarda le quote e le profondità si fa riferimento al piano campagna attuale così come si evince dalla cartografia fornita dalla committenza.

## 14. ZONAZIONE DEL TERRITORIO IN PROSPETTIVA SISMICA

Seguendo i criteri riportati nell'OPCM 3274, il novero complessivo delle indagini effettuate, in situ ed in laboratorio, è stato utilizzato per estrarne i valori stratigrafici, geotecnici e geosismici, per ciascuna verticale investigata e parametrizzata.

Essi sono stati associati a valori desunti dall'iterazione dei risultati inerenti il parametro finale "Vs<sub>30</sub>".

Inoltre è stato utilizzato anche il parametro "N<sub>spt n</sub>" dove con n viene intesa la profondità raggiunta dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti effettuate DPHS. Tali indagini sono state spinte tra i 19,60 metri e i 25,20 metri di profondità dal p.c. Tale valore pur non raggiungendo i 30 metri dal p.c. si è dimostrato accettabile in quanto i valori di categoria di suolo scaturiti rientrano perfettamente nell'ambito dei limiti geolitologici individuati e si relazionano perfettamente con i valori di categoria di suolo scaturiti dalle indagini DH effettuate negli stessi ambiti geologici. Solo in alcuni casi, riportati con l'asterisco

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

nelle tabelle successive e in quelle in legenda della cartografia tematica allegata, è stata valutata l'opportunità di cambiare la categoria di suolo di appartenenza in quanto ci si trova in presenza di verticali poste in prossimità di cambi litologici e con valori coerentemente prossimi al passaggio tra classi di appartenenza diverse.

Per chiarezza e completezza qui di seguito, per linea sismica competente, si riportano tutti i valori dei parametri ottenuti, direttamente dalle indagini effettuate (DH), ovvero ottenuti per correlazione fra alcuni di essi (DPHS):

## DOWN-HOLE DH1

<b>Sondaggio S1</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	4	2,1	14,6	9,3	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	480,4	887,4	1642,8	1319,1	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,43	1,58	1,83	1,73	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	120,7	110,8	269,3	236,8	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,47	0,49	0,49	0,48	
Rigidità media	0,17	0,18	0,49	0,41	
Vs30	206,5				<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH2

<b>Sondaggio S2</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>V strato</b>	<b>VI strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	1,5	2,9	4	11,4	2,6	7,6	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	453,01	670,07	726,06	1326,08	1828,04	1449,09	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,42	1,5	1,52	1,73	1,89	1,77	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	133,08	124,05	106,03	362,01	348,04	320,09	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,45	0,48	0,49	0,46	0,48	0,47	
Rigidità media	0,19	0,19	0,16	0,63	0,66	0,57	
Vs30	222,66						<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH3

<b>Sondaggio S3</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>V strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	3,2	3,4	10,4	10,1	2,9	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	392	884,07	1664,05	1520,04	1825,04	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,4	1,58	1,84	1,79	1,89	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	157,08	137,04	313,01	600,09	628,05	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,4	0,49	0,48	0,41	0,43	
Rigidità media	0,22	0,22	0,58	1,08	1,19	
Vs30	300,95					<b>m/s</b>

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

## DOWN-HOLE DH4

<b>Sondaggio S4</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	3	1,9	7,3	17,8	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	465,03	719,03	1285,01	1645,09	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,43	1,52	1,72	1,83	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	156,07	196,06	232,07	409,08	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,44	0,46	0,48	0,47	
Rigidità media	0,22	0,3	0,4	0,75	
Vs30	289,72				<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH5

<b>Sondaggio S5</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	4	5,5	7,4	13,1	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	620	1539,01	1985,01	1509	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,48	1,8	1,94	1,79	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	138,08	135,05	232,04	371,09	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,47	0,5	0,49	0,47	
Rigidità media	0,21	0,24	0,45	0,67	
Vs30	219,55				<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH6

<b>Sondaggio S6</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>V strato</b>	<b>VI strato</b>	<b>VII strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	3,1	3,4	2	6,4	6,2	5,9	3	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	553,6	974,2	1204,1	1060,2	1678,1	994,1	1840,3	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,46	1,61	1,69	1,64	1,84	1,62	1,89	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	140,4	151	118	116,7	159,4	191,2	194,4	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,47	0,49	0,5	0,49	0,5	0,48	0,49	
Rigidità media	0,21	0,24	0,2	0,19	0,29	0,31	0,37	
Vs30	148,94							<b>m/s</b>

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

## DOWN-HOLE DH7

<b>Sondaggio S7</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	5,1	8	16,9	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	627,7	750	1107,6	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,49	1,53	1,66	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	122,9	143,4	289,4	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,48	0,48	0,46	
Rigidità media	0,18	0,22	0,48	
Vs30	192,47			<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH8

<b>Sondaggio S8</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>V strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	3,2	4,3	6,2	12	4,3	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	468	163,08	182,07	178,02	190,06	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,43	1,61	1,79	1,75	1,87	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	181,7	311,3	288	205,2	285,2	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,41	0,44	0,48	0,49	0,49	
Rigidità media	0,26	0,5	0,52	0,36	0,53	
Vs30	237,01					<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH9

<b>Sondaggio S9</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>V strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	3,9	2,6	8	11,7	3,8	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	739,8	1042,7	681,7	993,2	863,8	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,53	1,64	1,51	1,62	1,57	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	136,4	103,7	103,2	112,9	165,5	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,48	0,5	0,49	0,49	0,48	
Rigidità media	0,21	0,17	0,16	0,18	0,26	
Vs30	116,4					<b>m/s</b>

## DOWN-HOLE DH10

<b>Sondaggio S10</b>	<b>I strato</b>	<b>II strato</b>	<b>III strato</b>	<b>IV strato</b>	<b>V strato</b>	<b>unità di misura</b>
Spessore	3,2	4,9	9,4	1,2	11,3	<b>m</b>
Velocità media onde P (Vp)	432,7	931,7	1247,3	2180,5	1413	<b>m/s</b>
Densità media ( $\gamma$ )	1,42	1,6	1,7	1,99	1,76	<b>gr./cm<sup>3</sup></b>
Velocità media onde S (Vs)	140,6	154	141,1	162,4	298,1	<b>m/s</b>
Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )	0,44	0,49	0,49	0,5	0,48	
Rigidità media	0,2	0,25	0,24	0,32	0,52	
Vs30	180,18					<b>m/s</b>

Confrontando i dati scaturiti dalle indagini sismiche in foro (DH) e quelli delle prove penetrometriche pesanti (DPSH), con i dati stratigrafici quali risultano dai relativi sondaggi a carotaggio continuo, è stato possibile effettuare una caratterizzazione geosismica degli strati litologici significativi costituenti il sottosuolo di Castel Volturno. Questo ha permesso di quindi avere una distribuzione diffusa del dato caratterizzante il territorio comunale dal punto di vista sismico.

La tabella che segue mostra il dato Vs30 calcolato per tutti i carotaggi effettuati sul territorio comunale:

DH	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Vs30 (m/sec)	206	223	301	290	220	149	192	237	116	180
Categoria di suolo	C	C	C	C	C	D	D*	C	D	D

Tab. 10 Valori di Vs30 e categoria di suolo relativi alle verticali sismiche effettuate

DPSH	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
NSPTn (m/sec)	3	6	5	6	7	12	7	18	20	4	18	17	27	24	30
Categoria di suolo	D	D	D	D	D	C*	D	C	C	D	C	C	C	C	C

Tab. 11 Valori di Vs30 e categorie di suolo relativi alle verticali penetrometriche effettuate

Con l'asterisco sono segnalati quei casi in cui i valori desunti erano al limite tra due categorie di suolo. Si è operata la scelta della categoria, sempre a favore della sicurezza,

facendo delle considerazioni geolitostratigrafiche, di ordine geomorfologico e prendendo in esame valori desunti tra prove contigue. L'elaborazione dei dati sopra menzionata, ha permesso quindi di effettuare una zonazione del territorio comunale dal punto di vista della risposta sismica, utilizzando il valore della Vs30. Il "range" dei valori calcolati mette in evidenza che, in funzione della pressappoco estesa eterogeneità litostratigrafica caratterizzante il sottosuolo di Castel Volturno, parte del territorio comunale risulta caratterizzato da un valore della Vs30 compreso tra 116 e 192\* e di N<sub>spt,n</sub> compreso tra 3 e 7 colpi, ricadenti quindi nella categoria di suolo **D**. Parte del territorio, invece risulta caratterizzato da un valore di Vs30 compreso tra 206 e 237 e di N<sub>spt,n</sub> compreso tra 12\* e 30 colpi, ricadenti quindi nella categoria di suolo **C**. Discorso diverso vale invece per la zone caratterizzate dalla presenza di terreni di colmata dei meandri abbandonati compresi per lo più nella fascia alluvionale recente del Fiume Volturno. Per questi infatti, in considerazione delle peculiari caratteristiche geolitologiche attribuisce in via preliminare e cautelativa una **Categoria di suolo cautelativa di tipo S2**. Per quest'ultima zona si necessita di opportuni approfondimenti per definire le azioni sismiche di progetto così come specificato nell'OPCM 3274/2003.

In base ai valori relativi alla Vs30 è possibile estrapolare una zonazione del territorio comunale dei fattori di incremento da applicare nelle varie microzone all'accelerazione sismica relativa allo spettro elastico di ancoraggio riferito a suoli di fondazione della categoria A.

Nel caso specifico del territorio comunale di Castel Volturno, per quanto concerne la parte caratterizzata da Categoria di Suolo **C** il fattore di incremento da applicare all'accelerazione sismica di ancoraggio è **S = 1.25** mentre per la categoria di suolo D il fattore di incremento **S** vale 1.35. (**OPCM 3274/2003, Del. G.R. Campania 1701 del 28-10-2006**).

## **14.1 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE**

Con il termine di liquefazione si intende riferirsi alla perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche o dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella delle masse viscoso.

Ciò avviene solitamente nei depositi di sabbie sciolte finì quando sotto l'azione di carichi applicati o do forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad uguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

I terreni suscettibili alla liquefazioni sono quelli la cui resistenza alla deformazione è mobilizzata per attrito tra le particelle, quindi i terreni incoerenti.

Quindi i fenomeni di liquefazione sono da riferire ai terreni granulari in condizioni sature sottoposti a sforzi di taglio tali da azzerare la resistenza di attrito tra le particelle.

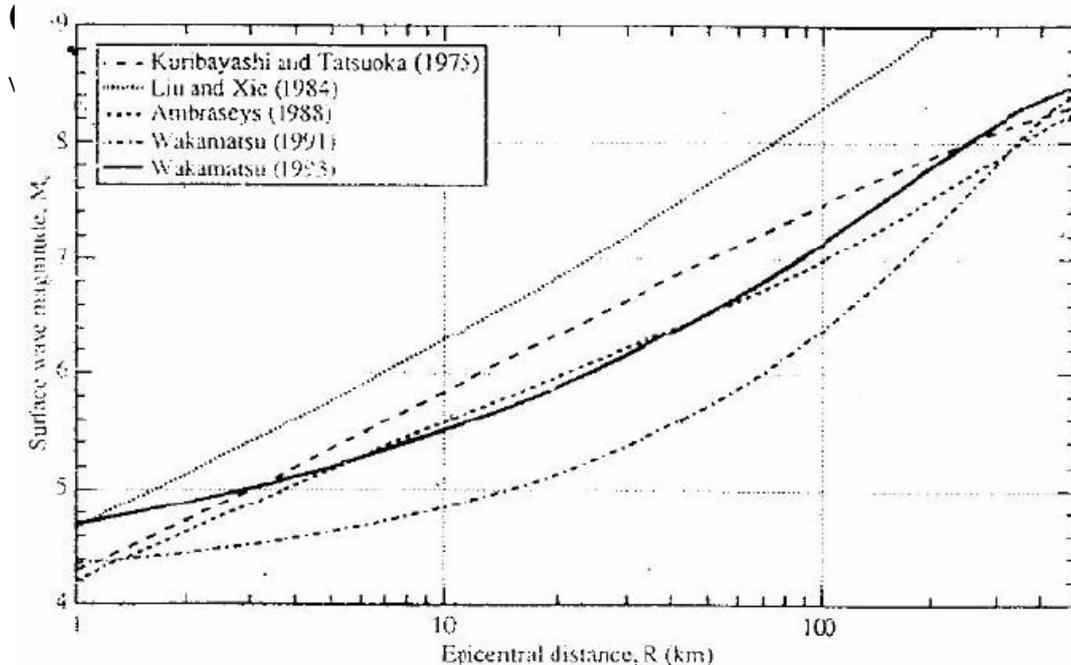
In merito a quest'ultima è da sottolineare come l'OPCM 3274/2003 prescrive di effettuare analisi di suscettibilità dove la soggiacenza della falda è inferiore ai 15 metri di profondità. Nel territorio comunale in oggetto tale condizione è sempre verificata come chiaramente evidenziato nella cartografia idrogeologica allegata.

Quindi in aderenza con quanto espresso dall'OPCM 3274/2003 tutto il territorio deve essere soggetto a considerazioni circa il potenziale di liquefazione dei terreni.

In particolare per la determinazione di tale parametro, è stata effettuata preliminarmente un'analisi della sismicità dell'area dalla quale emerge come il territorio comunale di Castelvoturno non è interessato direttamente da direttrici neotettoniche sismogenetiche, quindi la sismicità del territorio comunale è di tipo indotta e non diretta, ossia attribuibile principalmente ai massimi terremoti attesi in area appenninica sismi di elevata intensità e in secondo luogo a quelli di origine flegrea ischitana, che comunque presentano caratteristiche di magnitudo nettamente inferiori di quelli appenninici essendo attribuibili ad origini vulcaniche non tettoniche.

Uno dei metodi di primo livello utilizzati per la determinazione della liquefacibilità dei terreni utilizza relazioni empiriche tra magnitudo oppure intensità macrosismica e distanza epicentrale dal terremoto di progetto.

Kuribayashi e Tatsuoka (1975) e Wakamatsu (1991) hanno proposto relazioni empiriche tra la massima distanza epicentrale ove si è osservata liquefazione e l'intensità macrosismica. Da tali studi è emerso che la liquefazione si è verificata sistematicamente in depositi molto recenti e quando il moto sismico ha avuto un'intensità superiore all'VIII grado della scala Mercalli Modificata. Prendendo a riferimento il terremoto del 1456 il più grande che abbia interessato l'appennino meridionale in tempi storici, e quello dell'irpinia 1980, l'area di studio risulta esterna all'isosista dell'ottavo grado quindi in prima analisi è possibile attribuire all'area in oggetto una bassa probabilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione.



Tab. 12 Relazione empirica tra magnitudo delle onde superficiali e massima distanza epicentrale entro la quale si sono verificati fenomeni di liquefazione

Cio nonostante, in aderenza con quanto chiaramente espresso dal succitato OPCM 3274/2003 è stata effettuata una analisi della liquefacibilità dei terreni che considera i risultati dei rilievi geologici geomorfologico di superficie in scala di dettaglio comunale (tabella successiva) integrati con i risultati delle analisi di laboratorio effettuate

Tipo di deposito	Presenza di materiale a grana grossa	Susceptibilità di liquefazione (in base all'età del deposito)			
		<500 anni	Olocene	Pleistocene	Pre-pleistocene
Depositi continentali					
Alvei fluviali	Variabile localmente	Molto alta	Alta	Bassa	Molto bassa
Pianure alluvionali	Variabile localmente	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Conoidi e piane alluvionali	Diffusa	Moderata	Bassa	Bassa	Molto bassa
Piane e terrazzi marini	Diffusa	-	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Delta e conoidi fluviali	Diffusa	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Spiagge lacustri	Variabile	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Colluvioni	Variabile	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Detrito di falda	Diffusa	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Dune	Diffusa	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Loess	Variabile	Alta	Alta	Alta	Molto bassa
Detrito glaciale	Variabile	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa

Tabella 1.6 - Susceptibilità alla liquefazione dei depositi sedimentari durante terremoti di forte intensità (riadattata da Youd and Perkins, 1978)

su campioni indisturbati prelevati, in particolare in funzione della distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 17a nel caso di materiale con un coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 17b per coefficienti di uniformità  $U_c > 3.5$ .

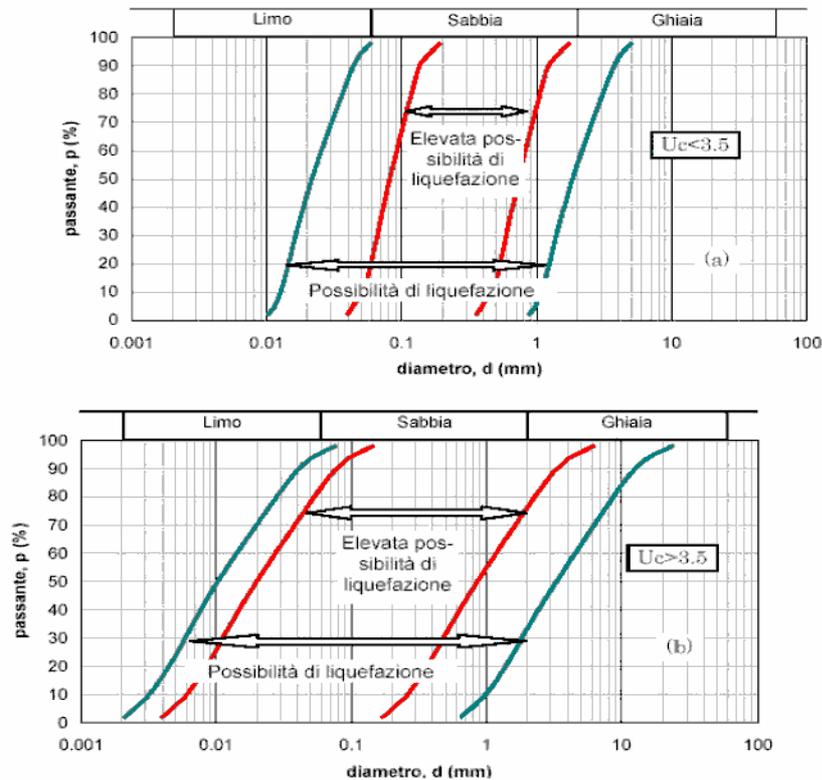


Fig. 17a e 17b

Da tale analisi scaturisce che dal punto di vista dei terreni affioranti e di quelli attraversati lungo le verticali investigate nei primi metri (in quelli profondi il carico litostatico impedisce fenomeni di liquefazione) è possibile effettuare le seguenti valutazioni sulla suscettibilità alla liquefazione:

- |   |                  |
|---|------------------|
| ▪ depositi sabbiosi di duna e retroduna                     | moderata         |
| ▪ depositi di spiaggia e di colmata dei meandri abbandonati | alta             |
| ▪ depositi della golena attuale                             | moderata - bassa |
| ▪ depositi alluvionali                                      | moderata - bassa |
| ▪ depositi lacustri paludosi                                | moderata - bassa |

tale suscettibilità alla liquefazione deve essere intesa come indicativa in e legata a considerazioni a scala comunale dei litotipi investigati. Pertanto alla pianificazione urbanistica attuativa di maggior dettaglio e nella fase progettuale di singole strutture si rimanda per adeguati approfondimenti.

## 15. CARTA DEL RISCHIO GLOBALE

A partire dalla microzonazione, che come visto è espressa attraverso la quantizzazione del parametro Vs30 che fornisce un particolare tipo di risposta sottosuolo in condizioni dinamiche, nella valutazione del rischio sismico, appare opportuno introdurre valutazioni che tengano conto di fattori diversi da quelli impiegati per la microzonazione.

Più in particolare tali fattori implementati sui precedenti, offrono la possibilità di descrivere (anche se solo qualitativamente) il comportamento del territorio in regime sismico riferito al complesso delle condizioni che presidiano alla risposta dinamica attesa per i siti indagati.

Per addivenire a tale risposta, metodologicamente le conclusioni cui si è pervenuti in microzonazione sismica, vengono sovrapposte ad altre conclusioni cui è possibile pervenire attraverso un'analisi di stabilità, per quanto espressa nei termini generali, ma descrittivi del territorio in tutte le sue realtà contratte per fatti naturali o antropici.

Si è allora presa in considerazione in questa fase anche la Carta geomorfologica e della Stabilità cui qui immediatamente si rimanda.

In essa nel territorio comunale sono state individuate aree che, per ragioni diverse, possono essere considerate "a rischio", soprattutto in regime dinamico.

Nella Carta, pertanto, sono state perimetrare le zone "potenzialmente instabili" per le seguenti ragioni:

- Aree interessate ad alluvioni del Fiume Volturno
- Aree perimetrate a rischio dal PSDA della competente A.d.B.
- Aree con particolari condizioni geomorfologiche

Va ricordato come alcuni membri delle alluvioni, rinvenute in facies specifiche, hanno caratteristiche meccaniche che riducono la risposta nei termini dinamici.

Infatti, nelle porzioni stratigrafiche più compressibili sarebbero possibili cedimenti secondari per consolidazione in regime dinamico.

Oltre a ciò, la grande imbibizione dei terreni, indurrebbe cambiamenti improvvisi nello stato tensionale di terreni nel senso dell'aumento delle pressioni neutre, difficilmente dissipabili in un mezzo poco drenante per proprie caratteristiche meccaniche.

In tali casi si potrebbero verificare perdite di resistenza al taglio, pagate in termini di rotture locali.

Per poter esprimere in termini di rischio sismico le considerazioni appena svolte, si è pensato, come detto di sovrapporre alla microzonazione sismica, la cartografia introdotta attraverso la valutazione della stabilità, presentata nell'apposita carta.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Nella valutazione complessiva tutto il territorio comunale è stato suddiviso per aree omogenee rispetto al rischio in prospettiva sismica.

Per fare ciò, si sono assegnati dei pesi a ciascuno dei fenomeni descritti, nel modo che segue:

**Presenza di Vs30 caratterizzante categoria di suolo C: punti 1;**

**Presenza di Vs30 caratterizzante categoria di suolo D: punti 2;**

**Presenza di Vs30 caratterizzante categoria di suolo S2: punti 3;**

**Presenza Zona di piena standard (Fascia A) Norme attuazione PSDA A.d.B. = punti 1;**

**Presenza Zona di esondazione (Fascia B1 e B2) Norme attuazione PSDA AdB = punti 2**

**Presenza Zona di esondazione (Fascia B3) Norme attuazione PSDA A.d.B. = punti 3;**

Nei vari settori territoriali, sovrapponendo i tematismi proposti dalla carta della stabilità e quella delle microzonazione sismica, si sono individuate 6 aree omogenee, rispondenti alla gerarchia di rischio ottenuta sommando i punteggi contrattati nelle varie situazioni per la presenza di uno o di più elementi di rischio fra quelli elencati.

Si sono ottenute pertanto le seguenti zone:

**“A”:** Rischio Potenziale trascurabile o nullo: punteggio = 1;

**“B”:** Rischio Potenziale Basso: punteggio = 2;

**“C”:** Rischio Potenziale Medio - Basso: punteggio = 3;

**“D”:** Rischio Potenziale Medio: punteggio = 4;

**“E”:** Rischio Potenziale Medio - Elevato: punteggio = 5;

**“F”:** Rischio Potenziale Elevato: punteggio = 6

Le evidenze grafiche della zonazione effettuata sono presentate nell'allegato n. 13/ Tavole da 1 a 4 Carta del rischio Globale dove, oltre a quanto qui descritto, si segnala una zona a rischio inquinamento delle falde.

## 16. CONCLUSIONI

Il territorio di Castel Volturno si è rivelato, alla presente analisi come geologicamente, morfologicamente e sismicamente complesso e meritevole di grande attenzione ai fini delle impostazioni programmatiche come quelle associate ad un Piano Urbanistico Comunale. Tale notevole interesse anche perchè la conoscenza delle caratteristiche stratigrafico-strutturali di questa area va anche finalizzata, al fine di valutare preventivamente gli eventuali rischi geologici, alla salvaguardia ed utilizzo corretto delle risorse geoambientali esistenti e alla salvaguardia e riqualificazione del Paesaggio.

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

Considerata la vastità della giurisdizione comunale, vi sono ampie fasce di territorio che si prestano ad uno sviluppo urbanistico compatibile, così come si evince dalla zonazione urbanistica proposta nella specifica cartografia tematica.

Tuttavia, tale compatibilità va misurata, prima delle singole realizzazioni, oltre che sulla base di parametri urbanistici che tengano conto di fatti storici ed antropici, anche sulla base di una attenta, sia per la puntuale e sistematica indagine geologica dalla quale sola, per ovvie ragioni di scala, potrà emergere la giustezza delle singole scelte progettuali, in ragione di quanto presentato nelle cartografie che, attraverso il presente lavoro, corredano la documentazione del P.U.C. di Castel Volturno.

La stessa cartografia dovrà supportare anche l'analisi preventiva delle singole richieste di concessione edilizia, sicché delle singole fattibilità si possa tener conto fin dalla fase progettuale iniziale.

D'altra parte, le indicazioni qui rassegnate, sono perfettamente in linea con il dettato normativo previsto nel D.M. n. 47 del 11/03/88, nella stessa L.R. n. 9/83 e nella L.R. 16/04 s.m.e i..

Nella piena ammissibilità, quindi, della zonazione urbanisticamente proposta attraverso gli atti progettuali e la cartografia che accompagnano il P.U.C. di Castel Volturno, nasce l'esigenza di stabilire in regolamento edilizio comportamenti di prassi, concretizzabili attraverso nel rispetto della normativa nazionale e degli obblighi di quella regionale : inserire nell'elenco dei documenti che accompagnano le singole richieste di concessione edilizia, la stesura di un'apposita relazione geologica di fattibilità dell'opera progettata, espressa in relazione agli esiti cartografici sortiti dal presente studio ed in relazione alle indagini ritenute opportune per trasferire dalla scala cartografica (1: 5.000) alla scala progettuale, ogni opportuna e definitiva valutazione.

Tanto si doveva in evasione dell'incarico affidato.

Rimandando agli allegati per informazioni specifiche si elencano gli elaborati forniti che fanno parte integrante ed indivisibile della presente relazione:

1. Colonne stratigrafiche e risultati SPT (**ALL. 1 / Tavole da 1 a 18**)
2. Risultati e grafici down-hole (**ALL. 2/ Tavole da 1 a 10**)
3. Risultati e grafici prove penetrometriche dinamiche pesanti (**ALL. 3 / Tavole da 1 a 15**)
4. Risultati analisi e prove di laboratorio (**ALL. 4**)
5. Planimetria con l'ubicazione delle indagini svolte (fuori scala) (**ALL. 5**)
6. Report fotografico (**ALL. 6**)
7. Relazione illustrativa indagini (**ALL. 7**)
8. Planimetria con l'ubicazione delle indagini scala 1 : 5.000 (**ALL. 8/ Tavole A,B,C,D**)

Via Terracciano, 198 - 80038 Pomigliano D'Arco (NA)

9. Carta Geolitologica scala 1 : 5.000 e sezioni geologiche **(ALL. 9/ Tavole A,B,C,D)**;
10. Carta Geomorfolologica e della stabilità scala 1 : 5.000 **(ALL. 10/ Tavole A,B,C,D)**
11. Carta Idrogeologica scala 1 : 5.000 **(ALL. 11/ Tavole A,B,C,D)**;
12. Carta della Zonazione del Territorio in prospettiva sismica scala 1 : 5.000 **(ALL. 12/ Tavole A,B,C,D)**
13. Carta del Rischio Globale scala 1 : 5.000 **(ALL. 13/ Tavole A,B,C,D)**

Pomigliano D'Arco, aprile 2008

Geologo Giuseppe Doronzo

## 17. BIBLIOGRAFIA

- BASILE G., ARIENZO M., CELANO G., PALMIERI G. (1991) – *La qualità delle acque sotterranee nel comprensorio del basso Volturno*. Inquinamento, 4.
- BASILE G., PALMIERI F., PALMIERI G., VIOLANTE P. (1990) – *Il fiume Volturno: qualità delle acque*. Inquinamento, 6.
- BELLUCCI F. (1994) – *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana* – Boll. Soc. Geol. It., 113.
- BIGGIERO V., FIORENTINO M., PIANESE D. (1994) – *Analisi dell'evoluzione d'alveo del tronco vallivo del fiume Volturno*. Atti del Meeting Annuale UU.OO. MURST 40% "Processi Fluviali: osservazioni analisi e controllo", Padova, 10/1992.
- BUDETTA P., CELICO P., CORNIELLO A., DE RISO R., DUCCI D., NICOTERA P. (1994) – *Carta idrogeologica della Campania 1/200.000 e relativa memoria illustrativa*. Atti IV Geoenvironment International Congress: Soil and Groundwater Protection, 2, Geda, Torino.
- CELICO P. (1983) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)* – Quaderni CASMEZ n. 4/2, Napoli.
- CELICO P., ESPOSITO L. GUADAGNO F.M. (1997) - *Sulla qualità delle acque sotterranee nell'acquifero del settore orientale della Piana Campana*. Geologia Tecnica ed Ambientale, 4/97.
- CIASCA R. (1928) – *Storia delle bonifiche del Regno di Napoli*. La Terza Ed., Bari.
- CORNIELLO A., DE RISO R., DUCCI D. (1990) – *Idrogeologia ed idrogeochimica della Piana Campana*. Mem. Soc. Geol. It., 45.
- CORNIELLO A., DI GENNARO A., DUCCI D. (2008) – *ICartografie tematiche relative alle risorse del suolo ed acque sotterranee nelle piane del medio corso del fiume Volturno*. Agri sviluppo Azienda speciale CC. I. AA. di Caserta Università degli Studi di Napoli Federico II Dipartimento di Ingegneria Geotecnica.
- CORNIELLO A., DUCCI D (2007): *Groundwater Chemistry and Contamination in the Volturno River Plain, (southern Italy)*. In RIBEIRO L., CHAMBEL A., CONDESSO DE MELO M. T. (Eds.) Proceedings of the XXXV IAH Congress "Groundwater and Ecosystems". Paper 178, 10 pp., ISBN 978-989-95297-3-1.
- DUCCI D., ONORATI G. (2005) – *L'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche sotterranee in Campania* - Geologi 1-4 2005 Bollettino dell'Ordine dei Geologi della Campania Napoli.
- DUCCI D., ONORATI G. (1993) – *Analisi di una lunga serie di dati piezometrici in Piana Campana*. Atti 2° Convegno Nazionale di Geoidrologia - Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale – Protezione delle acque sotterranee, 49, Pitagora, Bologna.
- NICOTERA P. & TONNETTI G. (1972) – *Su una ricerca idrica per l'agglomerato di Giugliano-Qualiano*. Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata della Facoltà di Ingegneria di Napoli, 12.
- NICOTERA P. (1959) – *Ricerche idrogeologiche nel distretto di bonifica di Licola –Varcaturo (Napoli)*. Geotecnica, 1/1959.
- ORTOLANI F., APRILE F., (1985) – *Principali caratteristiche stratigrafiche e strutturali dei depositi superficiali della Piana Campana*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. CIV Fasc. 2
- RUGGIERO P. (1933) – *Condizioni idriche del sottosuolo delle zone malariche del basso Volturno e del Sele*. Associazione Idrotecnica Italiana, XII.
- VIPARELLI M. (1967) – *Le acque sotterranee*. Atti dell'VIII Convegno di Geotecnica, Cagliari.
- VIPARELLI M. (1978) – *Le acque sotterranee ad oriente di Napoli*. Quaderno n.111 della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia. Giannini. Napoli.
- VIPARELLI M. (1963) - *Sistemazione dell'asta terminale del Volturno da Capua al mare*. Università di Napoli, Facoltà di Ingegneria - Istituti Idraulici, Pubbl. n. 204.