



COMUNE DI NAPOLI

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO
DELLA FRAZIONE UMIDA DA RD**

NAPOLI EST “Ponticelli”

COMMITTENTE:

A.S.I.A. Napoli S.p.A.

GEOLOGO:

dr. Paolo Beneduce



GEOLOGO:

dr. PAOLO BENE DUCE

via C. Battisti, 9 – 80040 Pollena Trocchia (NA) cell. 339-3564828

e-mail: paolo.beneduce@alice.it

pec: paolo.beneduce@epap.sicurezzapostale.it

NAPOLI, LUGLIO 2017

SOMMARIO

PREMESSA.....	3
1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	3
2. IDROGEOLOGIA DELL'AREA	5
3. STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO	6
4. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	6
<i>POZZOLANE SUPERFICIALI.....</i>	<i>6</i>
<i>POZZOLANE SABBIOSE.....</i>	<i>7</i>
<i>TUFO GRIGIO.....</i>	<i>7</i>
5. ANALISI DELLE PRESSIONI NEL TERRENO	7
6. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	8
7. MODELLAZIONE SISMICA	8
<i>SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE</i>	<i>9</i>
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE ALLA SCELTA DEL SITO	10

Allegati

- a. Localizzazione dell'area (Fig. 1)
- b. Area di progetto (Fig. 1a)
- c. Stralcio tavoletta topografica IGMI (Fig. 2)
- d. Sondaggio geognostico (Fig. 3)
- e. Carta litologica dell'area (Fig. 4)
- f. Sezione litostratigrafica dell'area (Fig. 5)
- g. Schema idrogeologico della zona di Lufrano (Fig. 6)
- h. Profondità della falda acquifera (Fig. 7)
- i. Diagramma granulometrico dei terreni (Fig. 8)
- j. Profilo penetrometrico dei terreni (Fig. 9)
- k. Spettro di risposta elastica in accelerazione (Fig. 10)

PREMESSA

Per conto di A.S.I.A. Napoli S.p.A., è stato eseguito su un'area ad est della città di Napoli (Fig. 1) uno studio geologico-idrogeologico preliminare relativo alla proposta di realizzazione di un impianto di compostaggio per il trattamento della frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani con recupero di Biometano mediante trattamento anaerobico, finalizzato alla produzione di *compost* di qualità. L'area individuata dall'amministrazione Comunale è localizzata all'interno del Depuratore "Napoli EST" (Fig. 1a)

Sono state analizzate le condizioni litologiche ed idrogeologiche del sito al fine di definire il modello geologico e idrogeologico del sottosuolo in previsione della scelta del sito.

Nell'ambito del piano stralcio dell'Autorità di Bacino nord-occidentale della Campania il sito ricade in un'area classificata a rischio idraulico e di frana nullo.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il sito di investigazione rientra nella tavoletta I.G.M. 184 I SE (*Pomigliano d'Arco*), nella zona orientale della città di Napoli (Fig. 2) ad una quota di circa 11.00 m s.l.m. L'area oggetto del presente lavoro fa parte, dal punto di vista geomorfologico, del bacino idrografico del Fosso Cozzone – Fosso di Volla, sviluppato nella depressione strutturale compresa tra i rilievi vulcanici napoletani e l'apparato vulcanico del Somma-Vesuvio (depressione di Lufrano-Volla).

La valle del Fosso Volla è aggradata da una sequenza di prodotti vulcanici associati all'attività eruttiva dell'apparato vesuviano e dei vulcani flegrei, da terreni fluvio-lacustri, oltre che da prodotti epiclastici derivati dal dilavamento dei versanti dei rilievi circostanti. In particolare, i dati provenienti da numerosi *logs* stratigrafici della piana hanno permesso di stabilire che il sottosuolo è costituito, a partire dalla superficie, da un'alternanza di depositi piroclastici, alluvionali e marini, che riempiono più estesamente l'enorme *graben* pliocenico della Piana Campana.

La depressione di Lufrano, interessata da fenomeni di subsidenza, coinciderebbe grossomodo con uno dei margini della caldera del Tufo Grigio Campano.

Detta area è solcata da numerose aste di drenaggio in un bacino esteso per circa 20 kmq, in cui si individua una rete regimentata di canali artificiali, alcuni anche

tombati, che sfociano a mare nella zona portuale di Napoli (Fig. 2). Detta rete convoglia gran parte le acque provenienti dalle pendici vesuviane e da quelle dei rilievi flegrei.

La zona originariamente si presentava con caratteristiche idrauliche assai diverse da quelle attuali: solcata da numerosi rivoli d'acqua a formare una rete idrografica ben gerarchizzata - il collettore principale era rappresentato dal Torrente Sebeto - permetteva il regolare deflusso idrico verso la costa. Una moltitudine di interventi antropici ne hanno in parte cancellato la geometria superficiale, al punto che essa allo stato attuale è praticamente irriconoscibile a causa delle numerose deviazioni e/o interrimenti realizzati.

Le modificazioni della rete drenante hanno reso più difficile lo smaltimento delle acque meteoriche, esponendo quelle zone poste a quote topografiche più basse, a fenomeni di allagamento, divenuti di recente più gravosi anche a seguito del cessato emungimento dai pozzi di Lufrano, da cui ne è conseguita una generale risalita della falda freatica in tutta l'area. Risulta infatti che quest'ultima allo stato attuale ha una piezometrica prossima alla superficie topografica ed in molti casi, nei tratti di subalveo, essa va ad alimentare i canali di scolo che quasi sempre mostrano un deflusso attivo anche in condizioni di scarse precipitazioni. Uno dei canali della rete drenante passa proprio a ridosso del sito in parola (Fig. 2) e considerate le ridotte condizioni di circolazione superficiale si potrebbero verificare esondazioni in occasioni di eventi pluviometrici eccezionali.

Segnatamente alla zona progettuale, le vulcaniti rinvenute in un sondaggio in loco (Figg. 3, 4, e 5) (intervallo di profondità 0.00-11.00 m) sono costituite da cineriti, pomici e lapilli in appoggio a piroclastiti litoidi rappresentate dalla Formazione del Tufo Grigio Campano *Auct.*, di età di circa 37.000 anni, il cui tetto si rinviene a partire da un minimo 11.00 m fino ad un massimo di 21.00 m dal p.c. (Fig. 5). A profondità oltre i 40.00 m si hanno anche lave di origine vesuviana.

Non mancano strati di torba, depositi composti da resti vegetali parzialmente decomposti, a testimonianza delle condizioni di palustrinità della zona durante l'Olocene.

Le condizioni morfologiche dell'area destinata ad ospitare l'impianto di compostaggio, sono caratterizzate da una superficie subpianeggiante contornata da piccole scarpate dell'ordine di qualche metro (Figg. 4 e 5).

2. IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Le litologie presenti nella depressione di Lufrano (alluvioni, piroclastiti, tufi, lave) aventi un differente grado di permeabilità, permettono una circolazione idrica sotterranea per falde sovrapposte, e date le frequenti eteropie di facies tra litotipi, non è sempre possibile effettuare una vera e propria distinzione, in quanto il più delle volte risultano interconnesse attraverso flussi di "*drenanza*" o attraverso soluzioni di continuità dovute a faglie sepolte e/o linee di frattura.

Le aree di ricarica che alimentano la circolazione idrica della falda di Lufrano sono date dagli acquiferi carbonatici dell'Appennino Meridionale che circondano la Piana Campana, e dai rilievi vulcanici del Somma-Vesuvio e dei Flegrei (Fig. 6). La composizione chimica delle acque provenienti da pozzi e sorgenti, classificate come bicarbonato-solfato-calciche e/o alcaline (ricche in sodio e potassio), confermano una tale provenienza.

L'andamento delle linee di deflusso sotterraneo delle acque in questa zona hanno un flusso idrico diretto verso sud-ovest seguendo grossomodo la morfologia del terreno (Fig. 6). L'acquifero principale nella zona di Lufrano, in cui si concentra un elevato numero di pozzi, è dunque dato dal forte spessore di piroclastiti e/o depositi sedimentari a maggior profondità.

Nella zona del Depuratore di Napoli Est, la falda sotterranea ha il pelo libero prossimo alla superficie topografica a causa della progressiva risalita nel tempo (Fig. 7). In particolare, sulla base di sondaggi geognostici, oltre ai dati disponibili in letteratura, risulta che la profondità della falda nell'area dell'impianto di depurazione, varia da un minimo di 0.50 m ad un massimo di 3.00 m dal p.c., a seconda delle condizioni topografiche, con linee di deflusso dirette verso la costa. La zona a nord dell'area del depuratore, laddove è previsto l'impianto di stoccaggio, la falda è localizzata intorno ai 3.00 m dal p.c. (Fig. 5), verosimilmente per il fatto che la superficie topografica risulta modificata rispetto all'originaria fisiografia come estrapolato dai dati di bibliografia.

I dati suggeriscono che dette acque sono confinate all'interno dell'acquifero più superficiale dato dalle piroclastiti cineritiche. Si tratta di litologie sabbioso-limose (facies delle pozzolane) e delle pomici che per via della loro elevata permeabilità primaria (porosità) permettono la risalita dal basso di cospicue quantità di acqua.

3. STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Il sottosuolo della zona prescelta per l'allocazione dell'impianto di compostaggio, è costituito da un'alternanza di piroclastiti rientranti nel fuso granulometrico delle sabbie e sabbie limose. Dalla consultazione dei risultati di alcuni sondaggi geognostici eseguiti in passato nell'area del depuratore, dei quali si allega una stratigrafia-tipo (Fig. 3), si evidenzia una successione costituita da un'alternanza di pozzolane sabbiose (rimaneggiate) nella parte più superficiale, con intercalazioni di livelli più grossolani riconducibili a pomici e/o scorie laviche. Segue poi un altro livello di pozzolane, e poi la sequenza di cineriti rappresentata dal tufo grigio .

Nella tabella 1 e nella sezione litostratigrafica passante per l'area del depuratore (Fig. 4) la successione è stata sintetizzata in 3 strati:

Tab. 1 – Stratigrafia-tipo dell'area

	<i>Profondità</i>	<i>Origine</i>	<i>Granulometria</i>	<i>falda</i>
1	0.00 - 5.00 m	pozzolane superficiali (rimaneggiate)	sabbie limose con lenti sabbiose	- 1.50 m
2	5.00 – 12.00 m	pozzolane sabbiose	sabbie limose con lenti sabbioso-ghiaiose	
3	> 12.00 m	tufo grigio	sabbie fini	

La carta litologica e la sezione litostratigrafica evidenzia i rapporti che intercorrono tra i diversi litotipi (Figg. 4 e 5).

4. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Pozzolane superficiali

Sono presenti per spessori di circa 5.00 m e sono costituite da pozzolane e cineriti rimaneggiate con pomici grigiastre. Dal punto di vista granulometrico i grafici allegati (Fig. 8) mostrano un andamento che ricalca i campi dei limi e delle sabbie. Le caratteristiche geotecniche medie che emergono da tali litotipi danno dei contenuti d'acqua e una porosità intorno al 50%, pesi dell'unità di volume pari a circa 1.8 g/cmc e gradi di saturazione prossimi all'unità. I valori di compressibilità elevati di questi terreni suggeriscono di loro possibili cedimenti. Le resistenze al taglio definiscono valori dell'angolo di attrito intorno a 30° (Tab. 2). Ne scaturisce che queste litologie hanno scadenti caratteristiche geotecniche anche per via del loro rimaneggiamento.

Pozzolane sabbiose

Questi terreni formano un deposito di circa 5-6.00 m e sono costituiti da pozzolane giallognole e da lenti di cineriti e sabbie grossolane. Le curve granulometriche si estendono principalmente nel campo delle sabbie e ghiaie. Circa le caratteristiche fisiche generali la media dei valori è di 0.37 per il contenuto d'acqua; 0.49 per la porosità; 1.79 g/cmc per il peso di volume e 0.95 per il grado di saturazione. Rispetto ai litotipi più superficiali le caratteristiche fisiche generali rimangono sostanzialmente le medesime; ma per quanto riguarda la compressibilità e resistenza al taglio si rilevano valori superiori (Tab. 2).

Tufo grigio

Detto deposito, il cui tetto varia nella zona progettuale da un minimo di 11-12.00 m ad un massimo di 20.00 m, è costituito da piroclastiti litoidi caratterizzate da cineriti con scorie laviche nerastre e pomici grigiastre, queste ultime sono spesso schiacciate per effetto del carico litostatico e della temperatura elevata della coltre piroclastica durante la messa in posto. I valori di resistenza a rottura si aggirano sui 27 kg/cm^q (Tab. 2).

Tab. 2 – Parametri geotecnici dei terreni

	<i>Peso di volume γ (g/cmc)</i>	<i>Peso specifico grani G_s (g/cmc)</i>	<i>Umidità naturale W_n (%)</i>	<i>Porosità η (%)</i>	<i>Grado di saturazione S_r (%)</i>	<i>Angolo di attrito ϕ</i>	<i>Pressione a rottura tufo (kg/cm^q)</i>	<i>Deform. verticale tufo (mm)</i>
Pozzolane superficiali	1.783	2.55	50.4	49.5	93.9	30°		
Pozzolane sabbiose	1.728	2.47	37.3	49	95	30°		
Tufo grigio	1.805						27	2

5. ANALISI DELLE PRESSIONI NEL TERRENO

I terreni impegnati dal carico dell'impianto da realizzare presentano scadenti caratteristiche geotecniche e sono prossimi alla saturazione. Ne consegue che in un terreno saturo, i cui spazi interstiziali sono riempiti completamente d'acqua è attiva una pressione p (*pressione totale*) data dalla somma della *pressione effettiva* p_e , - dovuta al peso dei granuli del terreno - e dalla *pressione interstiziale* p_i - prodotta dall'acqua - secondo la seguente equazione:

$$p=p_e+p_i$$

La *pressione effettiva* p_e agisce esclusivamente sullo scheletro della parte solida del terreno e da essa dipende la resistenza al taglio del terreno stesso; la *pressione interstiziale* p_i dipende dall'azione dell'acqua all'interno dei pori del terreno.

Dalle variazioni di queste pressioni dipende il comportamento meccanico dei terreni e dunque delle condizioni di stabilità.

In condizioni di acqua in quiete, in un terreno saturo, la somma di queste due pressioni è costante ed uguale alla *pressione totale* p , per cui l'aumento dell'una comporta di conseguenza la diminuzione dell'altra e viceversa.

In un terreno caratterizzato da acque in movimento, la variazione della *pressione interstiziale* p_i , genera anche una *pressione di infiltrazione* prodotta dall'attrito che si determina fra l'acqua in movimento e la superficie delle pareti solide del terreno. La corrente dell'acqua in movimento trascina con sé le particelle solide più fini a cui segue un indebolimento della struttura solida del terreno e quindi una riduzione della *pressione effettiva* p_e . La diminuzione della *pressione effettiva* p_e , connessa all'aumento della *pressione interstiziale* p_i , sia che si tratti di un liquido in movimento o in quiete, implica la riduzione delle resistenze del terreno, per cui un peso di una certa entità posto sulla superficie esterna può sprofondare come in un liquido.

L'utilizzo di tubi fessurati di drenaggio nella zona progettuale in posizione suborizzontale (1-2% di pendenza) e raccordati a pozzetti, consentirebbe lo smaltimento delle acque nel terreno, che al contrario, un loro ristagno provocherebbe un rammollimento delle piroclastiti con perdita delle caratteristiche di resistenza.

6. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

La curva granulometrica dei litotipi superficiali (Fig. 8) evidenzia un scarso assortimento delle dimensioni delle particelle, rientrando prevalentemente nel fuso granulometrico delle sabbie e dei limi. Poiché, la falda freatica è posizionata ad una quota molto superficiale questi terreni sono suscettibili di liquefazione prevalentemente a seguito di azioni dinamiche. Il profilo delle resistenze di una prova penetrometrica (Fig. 9) eseguita in loco è indicativo delle scadenti qualità del terreno.

7. MODELLAZIONE SISMICA

In base alla Normativa Sismica Nazionale (DM 16.1.1996), ai criteri generali per classificazione sismica (Ordinanza n. 3274 PCM 20.3.2003) e alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. del 14.01.2008 e succ.) il territorio del Comune di Napoli rientra nella zona 2 (classe sismica: seconda categoria), a cui corrisponde un valore dell'accelerazione al suolo $a_g = 0.25 \text{ g}$. I terreni del substrato in oggetto, sulla

base delle caratteristiche litologiche e dei risultati di prove penetrometriche disponibili (Fig. 9), possono rientrare nella **categoria di suolo D**:

“Categoria di suolo D” - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s (corrispondente ai numeri di colpi nella Standard Penetration Test $N_{SPT} < 15$, e con coesione non drenata $c_{u,30} < 70$ kPa). La risposta sismica locale può essere influenzata anche da condizioni topografiche complesse del sito. Nella fattispecie trattandosi di una topografia subpianeggiante, la categoria topografica è del tipo **T1** (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) ritenuta ininfluyente ai fini dell'amplificazione topografica locale. Essendo il sottosuolo classificato secondo la categoria D (*depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*) il coefficiente di amplificazione stratigrafica **Ss** e di categoria del sottosuolo **Cc** assumono i valori riportati in tabella 3:

Tab. 3 – Categoria del sottosuolo

<i>CATEGORIA SOTTOSUOLO</i>	Ss <i>coefficiente di amplificazione stratigrafica</i>	Cc <i>coefficiente di categoria di sottosuolo</i>
D	$0.90 \leq Ss \leq 1.80$	0.55

Spettro di risposta elastico in accelerazione

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

Tenendo conto della categoria del sottosuolo D, delle condizioni topografiche **T1**, dell'accelerazione massima attesa (**ag**) e del coefficiente di smorzamento pari al 5% per taluni terreni, gli spettri di risposta sono quelli riportati in figura 10.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE ALLA SCELTA DEL SITO

I dati a disposizione nella stesura della presente perizia, sebbene limitati quantitativamente, hanno comunque permesso di formulare alcune ipotesi circa le caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito progettuale. In particolare, per la realizzazione dell'opera di progetto, bisogna tenere conto dei seguenti aspetti:

1. la successione litologica del substrato è caratterizzata da terreni (sabbie limose) nei primi 5-6.00 m aventi un'elevata compressibilità e dunque soggetti a possibili cedimenti all'atto di un sovraccarico significativo;
2. i terreni della successione per la loro alta permeabilità non sono in grado di limitare l'infiltrazione di liquidi di percolazione che potrebbero riversarsi nella sottostante falda;
3. i terreni del substrato con granulometria sabbioso-limosa e con una falda moto superficiale, sono esposti a fenomeni di liquefazione in caso di sollecitazioni dinamiche;
4. le escursioni verticali della falda - peraltro già in forte risalita negli ultimi anni - legata ai regimi stagionali, potrebbero portare all'affioramento della piezometrica nell'area.
5. la rete drenante superficiale potrebbe essere soggetta a fenomeni di esondazione durante fenomeni pluviometrici particolarmente intensi.

Sulla base di quanto esposto, una mirata campagna di indagini di superficie fornirebbe un quadro più completo del sito e dunque all'individuazione di rimedi necessari per la mitigazione dei rischi connessi al tipo di opere da realizzare. In particolare, alcuni fori di sondaggio da predisporre nell'area di progetto e attrezzati con piezometri, darebbero la possibilità da un lato, di definire nel dettaglio la successione litologica e dall'altro, controllare le oscillazioni verticali della falda acquifera, onde evitare interferenze con l'impianto da realizzare.

Napoli, luglio 2017

In fede



dr. geol. Paolo Beneduce



Fig. 1 - Localizzazione dell'area (Depuratore di Napoli Est)

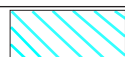
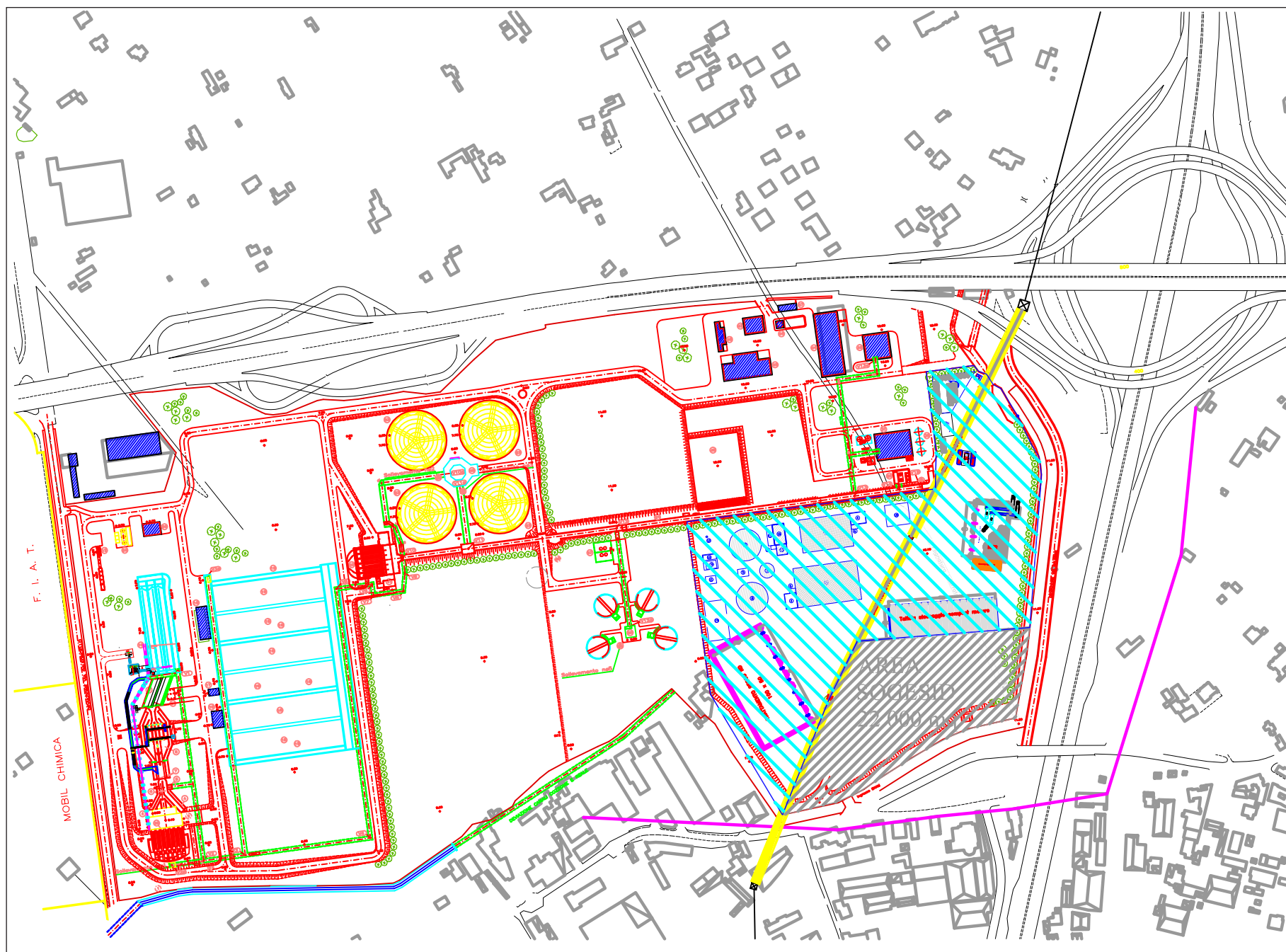


Fig. 1a - Area di progetto (scala 1:5000)

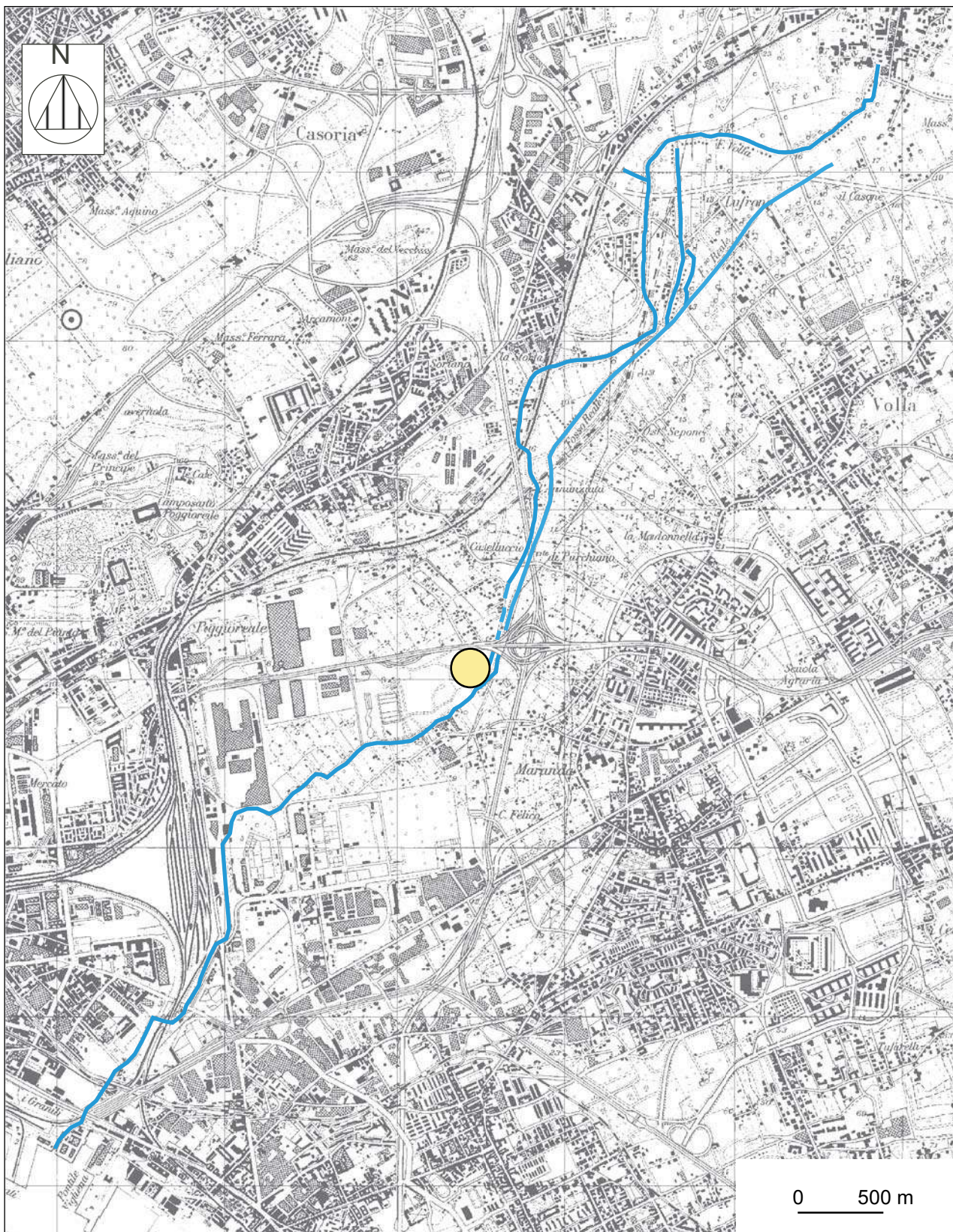
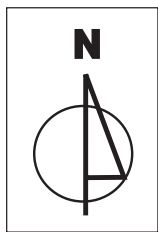


Fig. 2 - Stralcio tavoletta I.G.M.I. con reticolo idrografico
(area delimitata Depuratore di Napoli Est)

SONDAGGIO S8

NATURA	GRANULOMETRIA	COLORE	Quote assolute	Prof. dal p.c.	Piano di camp.
Terreno vegetale.	—	—	(+11.40)	0.00	
Pozzolana sabbiosa con rare inclusioni pumicee.	sabbia debolmente limosa.	grigio	(+10.40)	1.00	
Pozzolana rimaneggiata con frequenti inclusioni pumicee ed intercalazioni sabbiose.	sabbia debolmente ghiaiosa	grigio	(+9.40)	2.00	
Sabbia vulcanica.	sabbia grossa.	grigio scuro	(+6.90)	4.50	
Pozzolana rimaneggiata.	sabbia limosa.	grigio	(+4.10)	7.30	
Torba.	—	nerastro	(+2.80)	8.60	
Pozzolana rimaneggiata.	sabbia limosa.	grigio	(+0.40)	11.00	
Tufo.	—	giallo	(-0.40)	11.80	
Tufo.	—	grigio	(-3.60)	15.00	
			(-18.60)	30.00	

Fig. 3 - Successione litostratigrafica-tipo di un sondaggio geognostico relativo alla zona del depuratore di Napoli Est



INGRESSO DEPURATORE

LEGENDA

- terreni di riporto (sabbie limose)
- pozzolane superficiali (sabbie limose)

A' A
S S
traccia di sezione
sondaggio

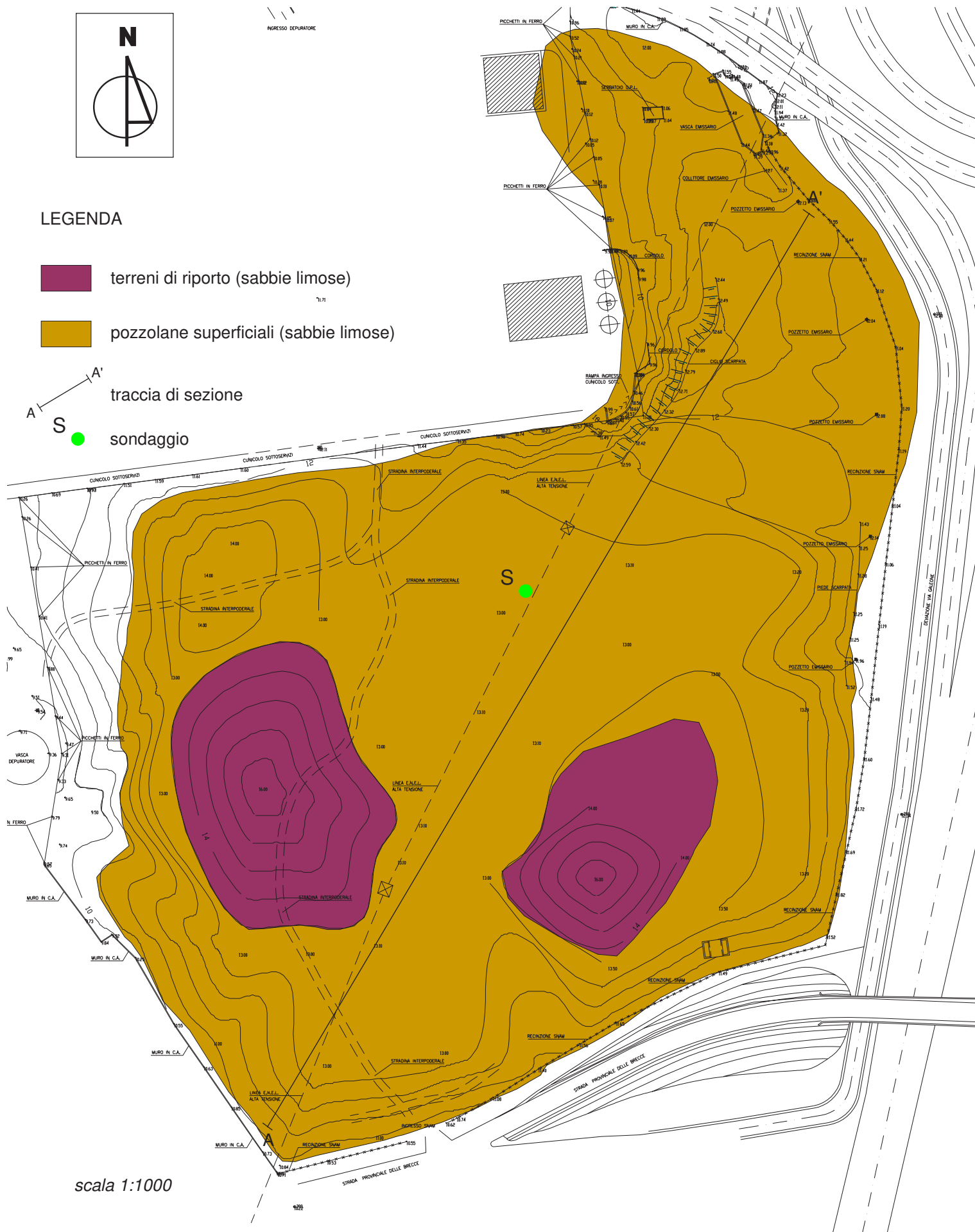


Fig. 4 - Litologie affioranti nell'area di progetto

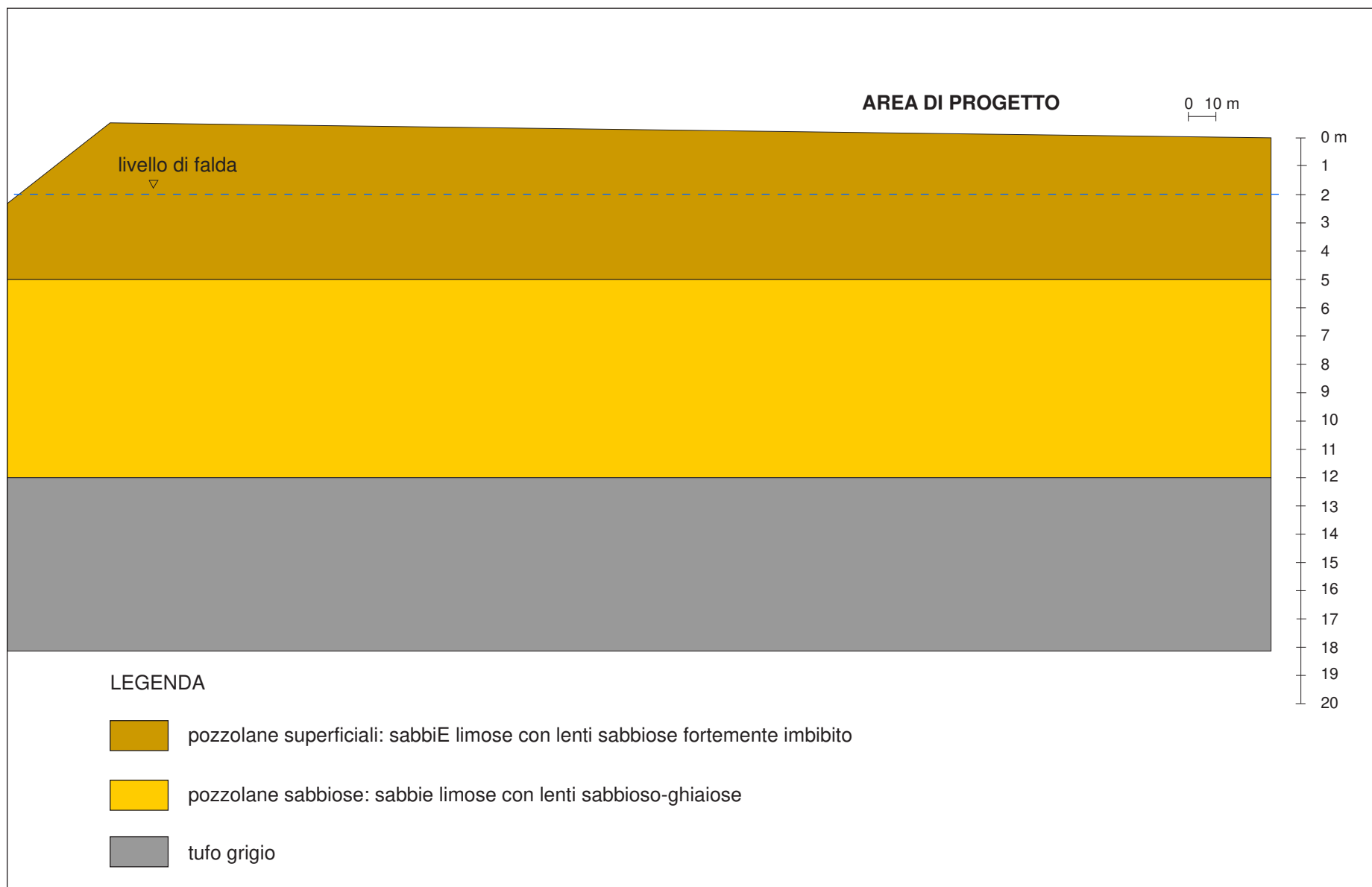


Fig. 5 - Sezione litostratigrafica A-A' lungo l'area nord-orientale del depuratore di Napoli Est

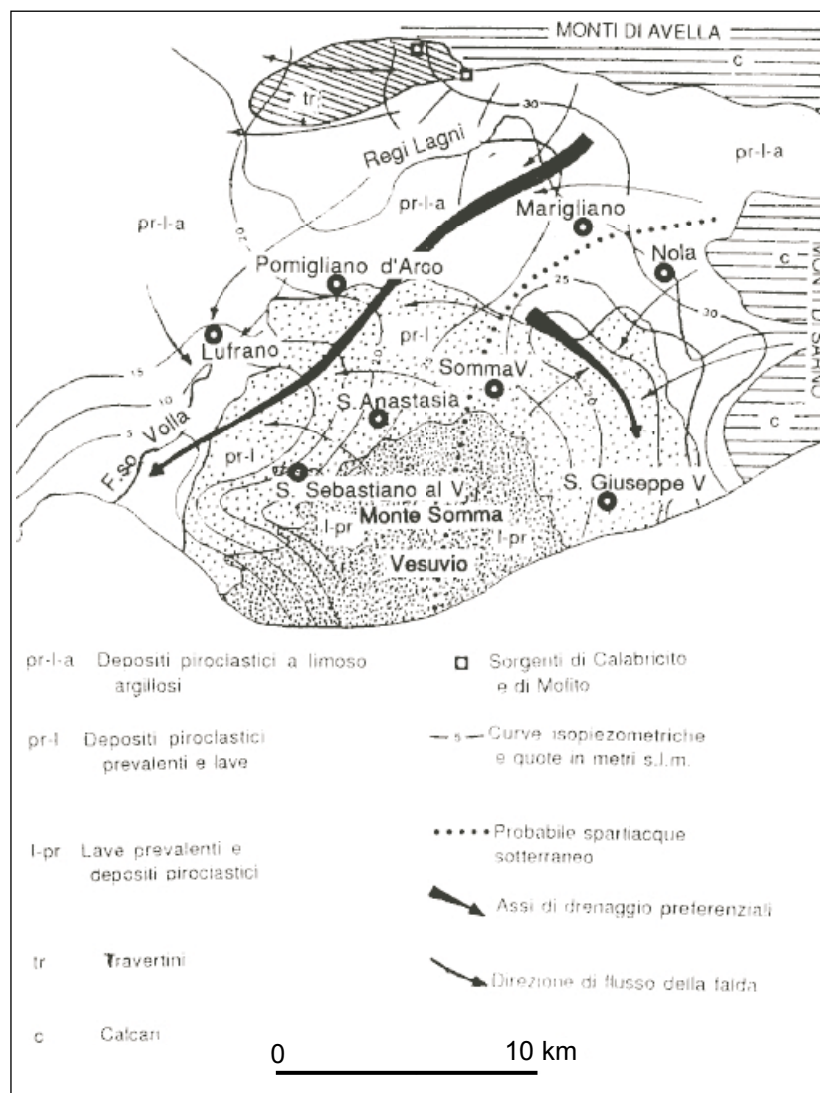


Fig. 6 - Schema idrogeologico della zona di Lufrano
(da Celico et al., 1983 modif.)

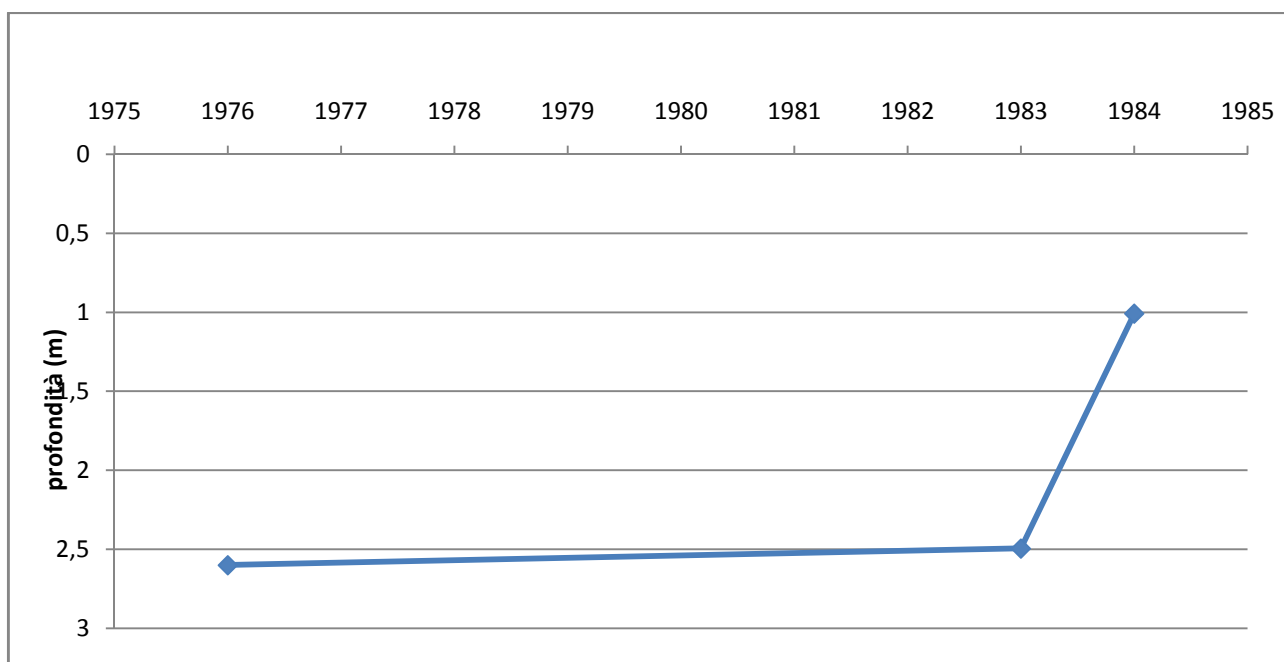


Fig. 7 - Profondità media della falda (periodo '76-'84)

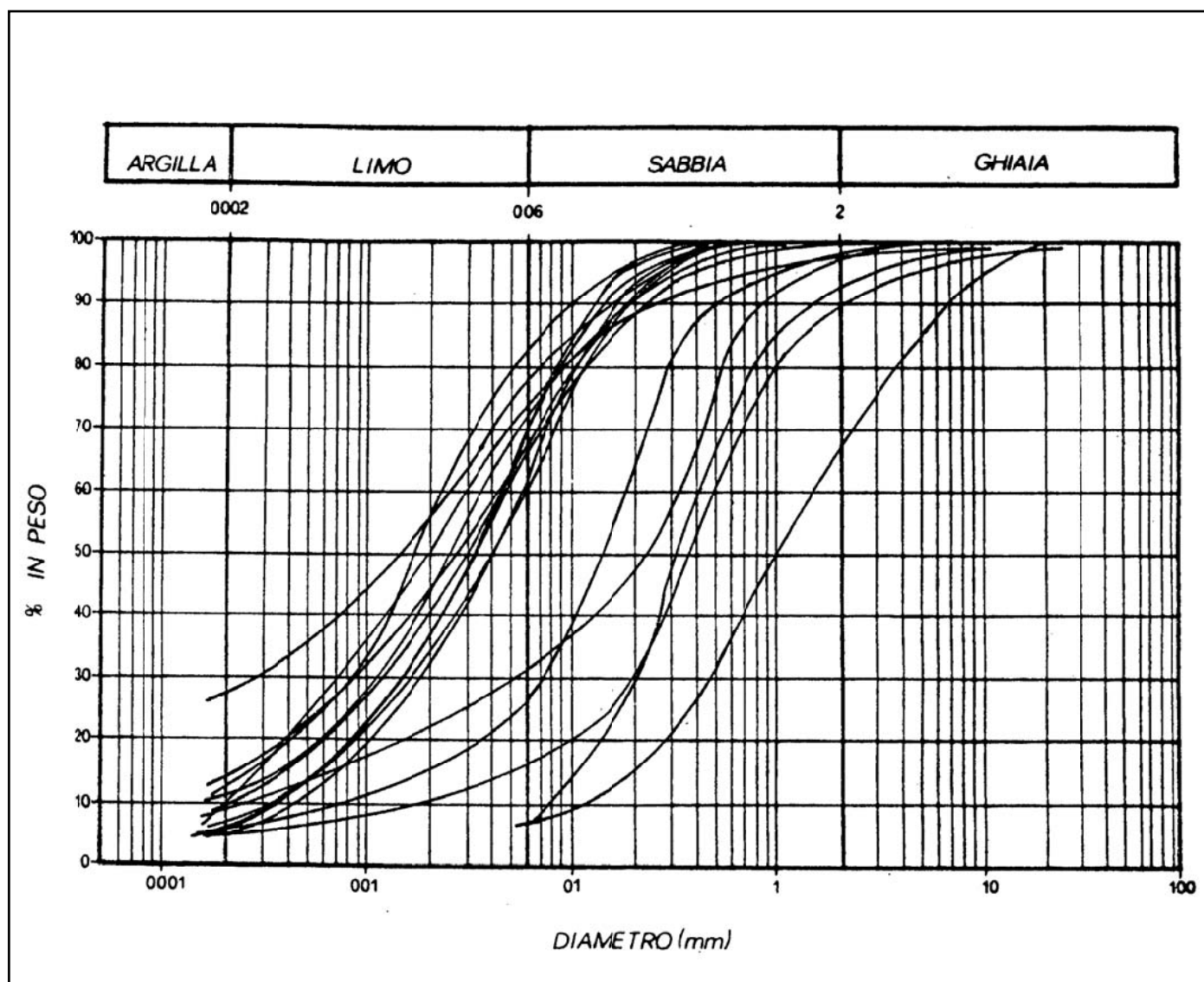


Fig. 8 - Granulometria delle pozzolane rimaneggiate superficiali

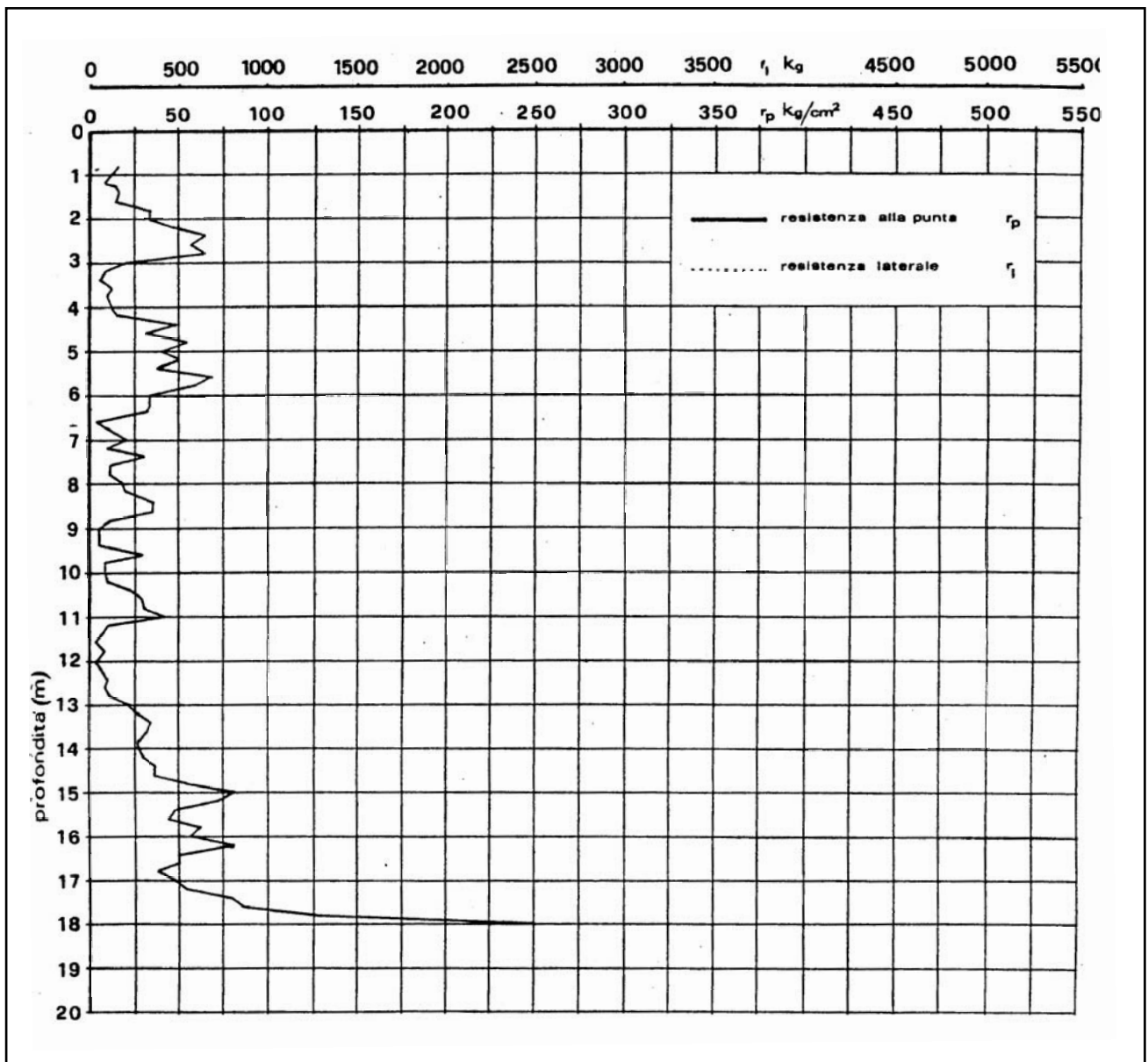


Fig. 9 - Profilo penetrometrico dei terreni

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

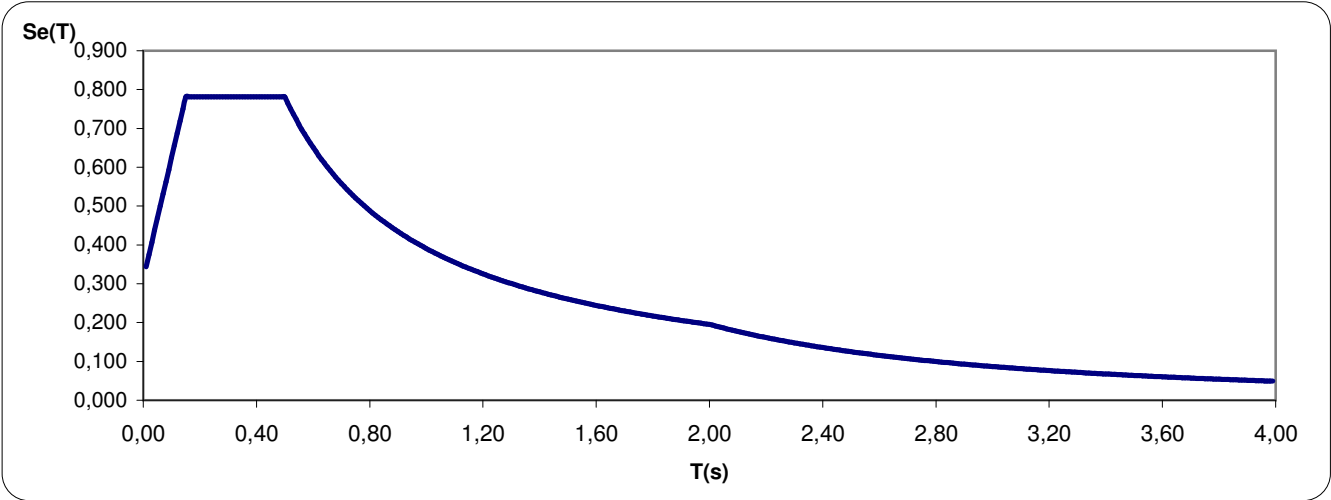
a_g	0,25	Z1	Z2	Z3	Z4	
		0,35	0,25	0,15	0,05	
	Categoria Suolo	S	Tb	Tc	Td	componente orizzontale
	D	1,25	0,15	0,50	2,00	
		S	Tb	Tc	Td	componente verticale
		1,00	0,05	0,15	1,00	

Coefficiente di smorzamento	
5	%

1,000	>=0,55
-------	--------

S - coefficiente relativo alla categoria del
sottosuolo e delle condizioni topografiche
T_b - periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad
accelerazione costante
T_c - periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante
dello spettro
T_d - periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento
costante dello spettro

Spettro di risposta elastico componente orizzontale



Spettro di risposta elastico componente verticale

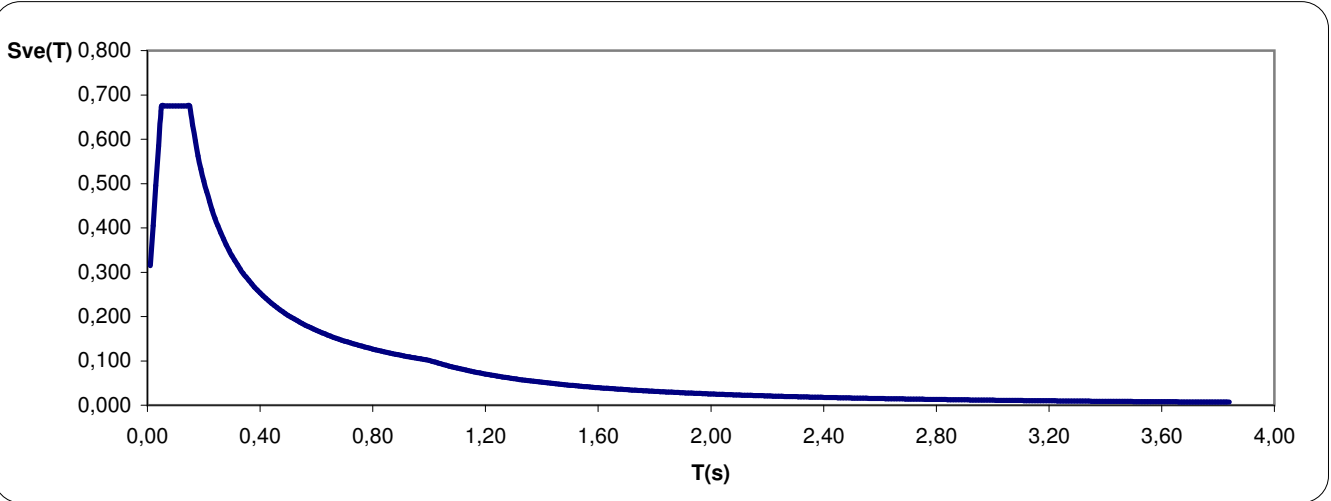


Fig. 10 - Spettro di risposta elastica in accelerazione