

INDICE

ELENCO ALLEGATI	02
1. PREMESSA	03
2. INDAGINI ESEGUITE	03
2.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	04
2.2 Standard penetration test (S.P.T.)	05
2.5 Prelievo campioni indisturbati	06
2.6 Prove geotecniche di laboratorio	07
2.6 1 Caratteristiche fisiche generali	07
2.6 2 Analisi granulometrica	08
2.6 3 Limiti di Atterberg	09
2.7 Tomografie di resistività	10
2.7 1 Metodologia di indagine	10
2.7 2 Strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione	13
2.8 Sondaggi sismici	14
2.8.1 Metodologia di indagine	14
2.8.2 Strumentazione utilizzata	15
3 DATI GEOLOGICI, MORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI	15
4 CARATTERISTICHE DEL SOTTOSUOLO	17
4.1 Stratigrafia e proprietà fisico meccaniche dei suoi litotipi	17
4.2 Resistività dei terreni	19
4.2.1 Elaborazione e ricostruzione dei dati	19
4.2.2 Ricostruzione Tridimensionale	22
4.3 Sismicità dei terreni	24
4.3.1 Acquisizione di Campagna ed elaborazione dei dati	24
4.3.2 Stima del parametro Vs 30 e determinazione della categoria di suolo	25
CONCLUSIONI	25

ALLEGATI:

❖ Cartografie

1. Carta Geologica¹
2. Carta Idrogeologica¹
3. Carta della Microzonazione sismica¹
4. Carta Rischio Frane e Potenziali
5. Carta delle Fasce Fluviali

❖ Indagini geognostiche:

Stratigrafie dei sondaggi geognostici con relativa ubicazione

❖ Allegato Geofisico

Tomografie di resistività e Down-Hole

❖ Analisi di laboratorio

¹ Le cartografie utilizzate sono quelle redatte ed allegate al PUC del Comune di Salerno

1 PREMESSA

Per la redazione dei Piani urbanistici attuativi (PEEP), è stata redatta dallo scrivente uno studio geologico-tecnico nell'area di trasformazione "AT_ERP5" sita in località San Leonardo-Fiume Fuorni secondo quanto previsto della normativa regionale Legge 9.

Scopo della relazione sarà, quindi, quello di:

- rilevare le condizioni geologiche e geomorfologiche generali dell'area;
- descrivere la metodologia delle indagini eseguite;
- ricostruire la struttura stratigrafica del sottosuolo nell'ambito dei primi sessanta metri;
- caratterizzarne dal punto di vista sismico i litotipi interagenti con il sistema fondale;
- inquadrare le proprietà meccaniche dei litotipi investigati;
- ottenere dati sulle caratteristiche delle falde freatiche;
- eseguire le indagini geognostiche come richiesto dal D.M. 11.03.88 e dal D.M. 11.03.88
- accertare la compatibilità dell'intervento con il D.M. del 01.01.2008;
- verificare la fattibilità dell'intervento con le norme di attuazione del Piano Stralcio dell'Autorità di bacino dx Sele Pubblicato sul BURC n°13 del 24.03.2003

2 - INDAGINI ESEGUITE

Allo scopo di ricostruire la struttura del sottosuolo dell'intera area destinata all'intervento, di inquadrare le proprietà fisico-meccaniche dei litotipi fondali e di ottenere dati sulle caratteristiche delle falde sotterranee, è stata fatta eseguire dalla "I.G.E.M s.r.l." di San Prisco (Caserta) una apposita campagna geognostica, in sito e di laboratorio. Specificatamente sono state eseguite le seguenti indagini:

- ✓ 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- ✓ 19 prove S.P.T. realizzate nel corso dei sondaggi geognostici;

- ✓ 03 prelievi di campioni di terreno in forma indisturbata sui quali sono state realizzate analisi geotecniche di laboratorio per l'individuazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche;
- ✓ 4 stendimenti di tomografia elettrica
- ✓ 2 sondaggi sismici di down-hole.

Tutte queste indagini rappresentate in maniera grafica e tabellare vengono presentate in appositi elaborati che, allegati alla presente, ne costituiscono parte integrante.

2.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO

Sono stati eseguiti dalla I.GE.M. srl, 10 sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità variabili da 20.00 a 33.00 metri dal piano campagna. In particolare i sondaggi S3 e S7 sono stati spinti fino ad una profondità di 33.00m e sono stati opportunamente condizionati per la prova Down-Hole. Tutti gli altri sondaggi sono stati spinti fino ad una profondità di 20,00.

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti allo scopo di ricostruire il profilo stratigrafico del sito indagato mediante l'esame del materiale estratto, di effettuare prove penetrometriche dinamiche S.P.T., di eseguire il prelievo di campioni indisturbati per la determinazione, in laboratorio, delle proprietà fisiche e meccaniche del terreno e di consentire, dopo appositi condizionamenti, misure sismiche.

Per quanto riguarda il carotaggio continuo, con esso si intende un particolare e complesso metodo di indagine diretta che permette la ricostruzione stratigrafica dettagliata e puntuale dei litotipi presenti nel sottosuolo. In pratica, mediante un sistema oleodinamico, si imprime all'attrezzo di perforazione, costituito da una serie di aste alla cui estremità inferiore è montato un carotiere a diametro maggiore ed una punta tagliente (corona), sia pressione che rotazione così da "tagliare" il terreno nel modo più indisturbato possibile.

Ad ogni variazione di strato ed ogni qualvolta si ritiene opportuno, smontando la batteria di aste, è possibile prelevare un nucleo di materiale (carote) penetrato nel carotiere durante l'approfondimento del perforo.

Ogni carota viene riposta in apposite cassette catalogatrici con l'indicazione della profondità di prelievo. Com'è facilmente intuibile, tale tecnica di avanzamento è molto più lenta di analoghi sistemi di perforazione ma permette un'analisi dettagliata e precisa della stratigrafia del sottosuolo. Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda idraulica cingolata con una capacità di coppia di 980 Kg, mentre l'attrezzatura di perforazione aveva le seguenti caratteristiche ed i seguenti diametri:

❖ Aste di manovra cave dal diametro ϕ (mm)	76
❖ Aste di manovra lunghezza (m)	3.0 /6.0
❖ Carotiere da ϕ (mm)	101
❖ Carotiere doppio da ϕ (mm)	101
❖ Carotiere lunghezza (m)	3.0
❖ Corona con denti in Widia da ϕ (mm)	101
❖ Tubi di rivestimento ϕ (mm)	127/140

Durante le trivellazioni sono stati prelevati 32 campioni indisturbati per essere sottoposti ad analisi di laboratorio.

2.2 STANDARD PENETRATION TEST (S.P.T.)

Le prove penetrometriche dinamiche S.P.T. sono state praticate nei fori dei sondaggi per verificare le caratteristiche meccaniche dei terreni in attraversamento. Secondo le attuali normative geotecniche, le prove sono state effettuate utilizzando una attrezzatura avente le seguenti caratteristiche:

- Carotiere Raymond avente diametro esterno 51 mm., diametro interno 35 mm. e lunghezza (esclusa la scarpa terminale) di 457 mm.
- Dispositivo di battitura avente maglio di acciaio del peso di 63,5 Kg. e con dispositivo di rilascio tale da consentire al maglio stesso una caduta libera di 760 mm..
- Asta di perforazione del diametro 60 mm. spessore 6 mm.

Dal numero di colpi (N) necessario all'infissione di un tratto di 30 cm. del carotiere Raymond vengono desunti alcuni parametri di resistenza e deformabilità dei terreni. Di seguito (Tabella 1) si riportano le profondità alle quali sono state realizzate le prove SPT ed il numero di colpi misurati mentre le elaborazioni di tali dati sono riportati nel paragrafo 4.1.

Tabella 1:

S1	S.P.T. 1	m. 4.00 – 4.45	N (2-3-3)
S1	S.P.T. 2	m. 12.00 – 12.45	N (2-3-4)
S2	S.P.T. 1	m. 6.00 – 6.45	N (3-4-5)
S2	S.P.T. 2	m. 13.00 – 13.45	N (4-8-9)
S3	S.P.T. 1	m. 4.50 – 4.95	N (4-7-8)
S3	S.P.T. 2	m. 11.50 – 11.95	N (28- Rif.)
S4	S.P.T. 1	m. 5.00 – 5.45	N (2-3-3)
S4	S.P.T. 2	m. 18.00 – 18.45	N (3-5-6)
S5	S.P.T. 1	m. 6.00 – 6.45	N (2-4-4)
S6	S.P.T. 1	m. 8.00 – 8.45	N (5-8-10)
S6	S.P.T. 2	m. 17.00 – 17.45	N (35- Rif.)
S7	S.P.T. 1	m. 2.00 – 2.45	N (4-6-6)
S7	S.P.T. 2	m. 9.00 – 9.45	N (3-4-6)
S8	S.P.T. 1	m. 4.00 – 4.45	N (3-5-7)
S8	S.P.T. 2	m. 8.00 – 8.45	N (5-9-11)
S9	S.P.T. 1	m. 3.50 – 3.95	N (2-3-5)
S9	S.P.T. 2	m. 8.00 – 8.45	N (4-7-8)
S10	S.P.T. 1	m. 6.00 – 6.45	N (3-5-6)
S10	S.P.T. 2	m. 15.00 – 15.45	N (4-8-10)

2.5 PRELIEVO CAMPIONI INDISTURBATI

Il prelievo dei campioni è stato realizzato adoperando un campionatore cilindrico "fustella" che viene montata alle aste di manovra e poi fatto penetrare nel terreno alle profondità prestabilite con la sola pressione esercitata dalla macchina perforatrice. In questo modo essa si riempie di materiale che, appena estratto, deve essere 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. Le profondità e le sigle dei campioni prelevati sono riportati nella successiva tabella 2:

Tabella 2:

Sigla campione	Profondità
S3 C1	ml 4,00 /4,50
S5 C1	ml 10,00/10,50
S8 C1	ml 9,00/9,50

2.6 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Nel corso delle terebrazioni, sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno in forma indisturbata, mediante infissione a pressione di campionatore a pareti sottili. Tutti i campioni sono stati opportunamente siglati e paraffinati. Durante l'esecuzione di ogni sondaggio sono stati prelevati diversi campioni indisturbati. Le profondità e le sigle ad essi correlati sono riportate nella tabella 2.

Sui campioni prelevati, sono state eseguite le seguenti prove:

- N. 03 Caratteristiche Fisiche Generali
- N. 03 Prove granulometriche
- N. 03 Prove Limiti di Atterberg

I risultati ottenuti sono riportati su n. 09 schede di laboratorio il cui fascicolo, allegato alla presente, ne costituisce parte integrante.

2.6. 1 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 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 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 stimato il peso di volume del secco ed il contenuto d'acqua. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTPROIS con precisione di 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.

2.6. 2 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 cedimenti 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

Relazione geologico tecnica

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.

2.6. 3 Limiti di Attemberg

Il comportamento dei materiali argillosi è in stretta relazione con la quantità di acqua assorbita dalle singole particelle. In funzione della quantità di acqua contenuta al loro interno i terreni argillosi possono trovarsi in uno dei quattro stati seguenti: stato liquido, plastico, semisolido e solido. I contenuti d'acqua che determinano il limite tra uno stato e quello successivo, sono appunto: i Limiti di Attemberg. Il limite liquido è il contenuto d'acqua per cui l'argilla passa dallo stato liquido a quello plastico, il limite plastico è quel contenuto d'acqua per cui il terreno argilloso passa dallo stato plastico a quello semisolido, mentre il limite di ritiro è il contenuto d'acqua per cui l'argilla passa dallo stato semisolido a quello solido. Dalla determinazione dei limiti si ricavano utili indicazioni sulla composizione mineralogica dell'argilla, sullo stato di attività dei terreni argillosi, ed altro ancora.

limite liquido. Il limite liquido è il contenuto d'acqua per cui l'argilla passa dallo stato liquido a quello plastico. Per la sua determinazione si procede come segue: si seleziona una parte rappresentativa di campione, si passa al setaccio 0.425 mm e si mescola aggiungendo acqua fino ad ottenere un impasto uniforme. Tramite una spatola si depone una parte del materiale nella coppella di Casagrande e, per mezzo di un apposito attrezzo solcatore, si esegue un solco nel materiale e, facendo battere la coppella su un pezzo di bachelite, si contano i colpi necessari per far richiudere il solco praticato per una lunghezza di 13 mm. Si prende nota del numero di

colpi e del contenuto d'acqua e si ripete la prova per cinque diversi contenuti d'acqua. Riportando su un grafico il numero di colpi in funzione del contenuto d'acqua, si traccia la retta di regressione ed il Limite Liquido sarà proprio il contenuto d'acqua corrispondente a 25 colpi alla coppella di Casagrande.

limite plastico. Il limite plastico è il contenuto d'acqua per cui l'argilla passa dallo stato plastico a quello semisolido. Per la sua determinazione si procede a plasmare tra le mani una pallina di argilla; quando il suo contenuto d'acqua è tale da permetterlo, si appoggia su un vetro molato e con le mani si riduce in cilindri dello spessore di 3 mm. Si ripete questa operazione fino a quando sul cilindro di argilla compaiono delle fratture e fessure; a questo punto si determina il suo contenuto d'acqua che rappresenta appunto il limite plastico.

limite di ritiro. Il limite di ritiro è il contenuto d'acqua per cui l'argilla passa dallo stato semisolido a quello solido. Per la sua determinazione si usano delle capsule in monel, una lega al nichel molto resistente, di volume noto; esse vengono riempite di argilla con un contenuto d'acqua prossimo al limite liquido, procedendo, con una operazione appropriata, all'eliminazione di tutte le bolle d'aria in essa contenute. Le capsule con l'argilla vengono lasciate ad essiccare all'aria per 6-8 ore per poi essere riposte nel forno per 12 ore, quindi si estrae il campione e si determina il suo volume. Da queste determinazioni si ricava il limite di ritiro che è definito dal contenuto d'acqua che il campione ha nell'istante in cui raggiunge il suo minimo volume.

2.7 PROFILI GEOELETTRICI

2.7.1 Metodologia di indagine

Le prospezioni geoelettriche si basano, in generale, sugli effetti prodotti da una corrente elettrica, di origine naturale o artificiale, circolante nel sottosuolo e rilevabili attraverso misure di differenza di potenziale. Il metodo di esplorazione adottato per lo studio di cui si discute è il metodo della resistività in corrente continua. Tale metodologia consiste nella determinazione sperimentale di un set di valori di resistività apparente che, in accordo con una formulazione matematica deducibile direttamente dalle leggi dell'elettromagnetismo per campi stazionari, descrivono una qualsiasi struttura complessa formata da materiali fisicamente diversi in contatto elettrico tra loro.

La resistività elettrica (l'inverso della conducibilità), esprime la maggiore o minore predisposizione di un materiale a farsi attraversare dalla corrente e dipende da molti fattori; quelli più importanti sono rappresentati dalla presenza di acque ionizzate e/o dalla presenza di particelle minerali metalliche eventualmente presenti nella struttura dei pori della roccia. Entrambi i fattori, infatti, possono dar luogo a traiettorie interne particolarmente conduttive, in contrasto con situazioni resistive caratterizzate da strutture compatte e/o da pori anidri. In particolare, la tecnica di tomografia elettrica lungo profili, utilizzata nella zona oggetto di studio, consente di ottenere gli andamenti della resistività elettrica nel sottosuolo in termini bidimensionali (2D). Gli elettrodi, opportunamente posizionati sul terreno, vengono utilizzati sia come elettrodi di corrente che di potenziale secondo una sequenza opportunamente costruita ed automatizzata (fig. 1). Attraverso i primi elettrodi, indicati con a e b in figura 1, si immette nel terreno una corrente continua e si misura la differenza di potenziale ΔV che si determina ai capi di altri due elettrodi, indicati con m e n nella stessa figura, posti simmetricamente al centro dell'allineamento tra a e b (schema di acquisizione definito *Wenner* o *Wenner-Schlumberger*) o affiancati ad essi (schema di acquisizione definito *Dipolo-Dipolo Assiale*). Misurati i valori di I e di ΔV , è possibile stimare i valori della resistività apparente (ρ_a) del sottosuolo, ottenendo una pseudosezione di resistività apparente che, attraverso opportuni algoritmi di calcolo, può essere invertita per fornire una sezione bidimensionale caratterizzata dalle variazioni di resistività reali presenti lungo il profilo eseguito.

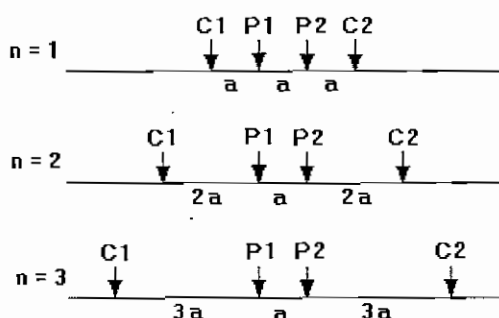


Figura 1: Esempio di un'acquisizione di tomografia elettrica in configurazione Wenner- Schlumberger

Il valore di resistività nella configurazione Wenner-Schlumberger (array utilizzato per acquisire i dati nella zona oggetto di indagine), è stimato dalla seguente formula:

$$\rho = \pi n (n+1) a R$$

in cui:

R è la misura della Resistenza

a è la distanza tra gli elettrodi di potenziale (indicati come P1 e P2 nella figura 1)

n è il rapporto tra la distanza tra gli elettrodi C1-P1 e P1-P2

Questa tipologia di acquisizione consente di raggiungere una profondità di investigazione che, rispetto all'acquisizione classica di tipo Wenner, è maggiore del 15%.

Per quanto riguarda l'inversione dei dati, è stato utilizzato l'algoritmo scritto da Loke and Barker nel 1996 (Res2Dinv). Questo algoritmo è dei più noti ed utilizzato in letteratura ed è un metodo iterativo basato sulla deconvoluzione ai minimi quadrati. Con questo algoritmo è necessario definire innanzitutto un modello iniziale che è ottenuto discretizzando il sottosuolo in un numero di blocchi rettangolari le cui dimensioni sono legate ai parametri geometrici scelti in fase di acquisizione: Ad ognuno di questi blocchi è assegnato, automaticamente dal programma o a discrezione dell'operatore, un valore di resistività reale stimato considerando i valori misurati di resistività (riportati nella *pseudosezione misurata* di fig. 2a) o inserendo, se note, delle informazioni a priori relative alla zona di indagine. Definito tale modello, con l'algoritmo suddetto, è possibile valutare la risposta che si otterrebbe se il sottosuolo investigato fosse rappresentato proprio dal modello iniziale ricostruito (*pseudosezione di resistività apparente calcolata* in fig. 2b). La pseudosezione calcolata la si confronta con quella sperimentale e attraverso la stima dello scarto quadratico medio (RMS), che valuta la differenza in termini quantitativi tra le due pseudosezioni, è possibile valutare la validità della risoluzione ottenuta; se tale errore è alto, il processo di iterazione continua modificando il modello di resistività iniziale del sottosuolo ricostruito. Quanto il sistema converge e quindi quanto la pseudosezione calcolata ben si correla con quella sperimentale, significa che il modello di sottosuolo ricostruito è prossimo a quello reale (fig. 2c). Il dettaglio con il quale è possibile discriminare le variazioni di resistività del sottosuolo e quindi si possono discriminare le diverse strutture e/o litologie

18

presenti nel sottosuolo, dipendono dalla distanza minima tra gli elettrodi di misura e dalla lunghezza dello stendimento.

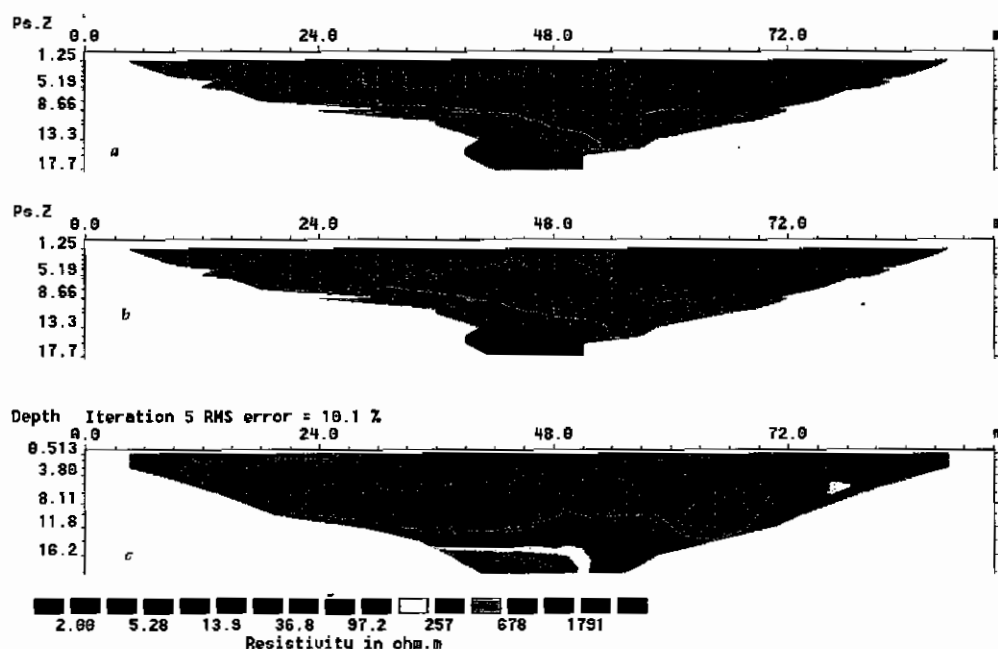


Figura 2: Visualizzazione dei dati elaborata dal Res2Dinvi. 2a) pseudosezione sperimentale 2b) pseudosezione calcolata 2c) modello di resistività.

2.7.2 Strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione

E' stato utilizzato il georesistivimetro della M.A.E. con il quale è possibile eseguire, contemporaneamente, misure di resistività apparente (ρ_a) e di caricabilità (**I.P.**) del terreno con energizzazione tramite elettrodi infissi direttamente nel terreno. Si possono eseguire sondaggi Elettrici Verticali (S.E.V.), tomografie 2D e 3D in configurazione multielettrodo con acquisizione contemporanea secondo multipli di 8. E' possibile realizzare diverse sequenze di acquisizioni in quanto il software dello strumento è in grado di leggere dei file di testo opportunamente composti. Compatibilmente con le difficoltà logistiche presenti nell'area e in relazione al target da raggiungere, i diversi profili realizzati sono stati acquisiti come sintetizzato nella seguente tabella 3:

Tabella 3:

Profilo	Passo di campionatura[m]	N° di elettrodi	Lunghezza [m]
1	4	48	188
2	5	48	235
3	4	48	188
4	4	48	188
Lunghezza Tot [m]			799

I dati sono stati acquisiti con dispositivo Wenner-Schlumberger in quanto con questo dispositivo è possibile raggiungere maggiori profondità di investigazioni rispetto alle ad altre configurazioni elettrodiche, come definito in precedenza. L'ubicazione dei profili è riportata in allegato.

2.8 - SONDAGGI SISMICI

2.8.1 Metodologia di indagine

Nella zona oggetto di indagine sono state 2 prove di sismica in foro che hanno consentito di determinare le caratteristiche sismostratigrafiche della zona in esame

L'indagine è stata eseguita secondo la tecnica del "down-hole" in sondaggi geognostici opportunamente condizionati. Tale metodologia è utilizzata per misurare le velocità delle onde elastiche di compressione e di taglio, che si propagano nel terreno in seguito ad una energizzazione superficiale realizzata, di norma, mediante una massa battente. A differenza della metodologia classica della sismica a rifrazione è possibile individuare anche degli strati lenti; non bisogna assumere, per questa metodologia di prospezione, che la velocità aumenti con la profondità. Difatti, nella prova down-hole si misurano i tempi di arrivo delle onde elastiche man mano che le stesse penetrano negli strati più profondi: possono essere facilmente identificate ed interpretate anche inversioni di velocità. La stima di queste velocità è eseguita attraverso la misure dei tempi di propagazione delle onde elastiche longitudinali (P) e trasversali polarizzate (SH) ed è stata condotta in un perforo di diametro 100 mm rivestito con tubazione in pvc da 80 mm di diametro opportunamente condizionato. E' stato possibile acquisire i dati fino ad una profondità pari a 30m che corrisponde alla fine di entrambi i perfori.

2.8.2 Strumentazione utilizzata

E' stato impiegato un Sismografo digitale multicanale A3000S prodotto dall'MAE Molisana Apparecchiature Elettroniche S.R.L di 16 canali di registrazione simultanea a 16 bit che presenta le seguenti caratteristiche: 2048 campioni per canale, Campionamento 250, 1000, 2000, 5000, su 8 canali 10.000 c/s, Guadagno 90 dB , PC interno 233MHz con HD di capacità di 256 MB con C.F. ed uscita USB. Il formato dati SEG Y e SEG 2, il Pre-processing è effettuato in tempo reale per la riduzione del noise culturale ed ambientale; è possibile una stima del contenuto spettrale del segnale con la possibilità di utilizzare filtri passa-basso, passa-alto, passa-banda e notch filter. La sorgente energizzante è costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente su di una piastra metallica infissa nel terreno. La piastra viene colpita tre volte in direzioni tra loro ortogonali al fine di generare sia onde di tipo trasversale (S) che di tipo longitudinale (P). Per la rilevazione dei tempi di arrivo è stata utilizzata una sonda costituita da cinque geofoni di cui 4 disposti nel piano orizzontale con uno sfasamento reciproco di 45 gradi ed il quinto disposto normalmente agli altri.

3 DATI GEOLOGICI, MORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI.

Il Graben del golfo di Salerno costituisce un basso strutturale ad andamento antiappenninico, delimitato da faglie bordiere, che si individua nel Miocene Superiore come una modesta depressione quindi la tettonica esercitante un controllo sugli eventi erosionali e deposizionali ha contribuito successivamente a conferire l'attuale assetto al Graben.

A tali fasi tettoniche si deve lo smembramento del complesso calcareo dolomitico dei M.ti Picentini che creando zone più deboli ha consentito l'instaurarsi dei principali corsi d'acqua.

In particolare il fiume Irno, si snoda con andamento all'incirca nord-sud e segue il tracciato di una importante linea di frattura che si sviluppa verso nord dislocando la successione dolomitica triassica, e ponendola a contatto, a sud, con i depositi pliocenici.

Il fiume Picentino, invece, si sviluppa con andamento nord-est sud-ovest, e dopo aver solcato, nella parte alta del suo corso, la formazione conglomeratica pliocenica sfocia nel Tirreno attraversando le alluvioni attuali e recenti.

Riferendoci alla zona urbanizzata, la città di Salerno si sviluppa prevalentemente su depositi alluvionali. Ad ovest ed a nord di essa si rinvencono le successioni dolomitiche di piattaforma, mentre ad est sono presenti blandi rilievi costituiti geologicamente da una formazione plio-pleistocenica nota come "conglomerati di Salerno".

In questa zona gli agenti esogeni hanno modellato le formazioni conglomeratiche suddette generando un serie di lievi ondulazioni, solcate da modesti corsi d'acqua tipiche forme rinvenibili in questi depositi sono, inoltre, le spianate di erosione legate ad antiche fasi di modellamento ed i versanti di faglia che le sospendono.

Nel settore occidentale i depositi alluvionali recenti, presenti verso valle, fanno passaggio a materiali grossolani a spigoli poco arrotondati che costituiscono le conoidi di raccordo con i rilievi carbonatici.

I sedimenti alluvionali notevolmente eterometrici, con elementi però arrotondati ed appiattiti, mostrano una tipica disposizione lentiforme, discontinua, dovuta all'alternarsi delle caratteristiche della corrente che li ha depositati ed ai diversi regimi di questa nell'ambito dell'alveo.

Essi sono costituiti da litotipi a diversa granulometria e conseguentemente a permeabilità primaria elevata per i terreni a grana medio-grossa e scarsa o nulla nei litotipi limo-argillosi. Alla base dei depositi alluvionali si rinviene generalmente la formazione delle "argille grigio azzurre", ascrivibili al Tortonian, il cui ambiente deposizionale è da ritenere di tipo costiero e di mare poco profondo.

Il fiume Picentino, dopo aver solcato rilievi a diversa litologia (carbonatiche, conglomeratiche, argillose, ecc) ed inciso strette e profonde vallate, amplia il proprio corso sfociando in una più ampia pianura alluvionale costiera. Nel tratto di interesse, il fiume defluisce in un alveo monocorsuale ampio mediamente 90m e profondo qualche metro e planimetricamente si presenta con un andamento tipico dei corsi d'acqua che si collocano tra la categoria dei transizionali (wandering) e meandriformi veri e propri, mantenendo comunque un basso grado di sinuosità. Ne consegue una sua generale mobilità e tendenza al cambiamento di tracciato ben dimostrata dalla presenza di canali abbandonati e da canali di taglio.

19

Per quanto concerne l'aspetto idrogeologico, è possibile riconoscere nella zona in esame un complesso detritico-alluvionale, costituito da ghiaia e sabbie limose, caratterizzato da grado di permeabilità assai variabile in relazione alla frazione granulometrica predominante. In zona si rinviene un acquifero a falda libera; la falda si rinviene in tutti i sondaggi ad una quota pari a 10.5m rispetto al p.c.. Solo nel sondaggio S2 tale livello è a quota 8.5m rispetto al p.c..

4 CARATTERISTICHE DEL SOTTOSUOLO

4.1 STRATIGRAFIA E PROPRIETÀ FISICO MECCANICHE DEI SUOI LITOTIPI

I risultati delle indagini geognostiche, in sito e in laboratorio, hanno consentito di definire le litologie, i loro rapporti stratigrafici, i parametri geotecnici, elettici e sismici dei terreni presenti nella zona oggetto di indagine.

Dai sondaggi eseguiti e riportati in allegato, è stata definita una stratigrafia tipo che ha consentito di discriminare, al di sotto di uno spessore di terreno vegetale di spessore massimo rinvenuto di 1,20m, le seguenti litologie:

1. Alternanza di limo argilloso bruno e sabbia limoso marrone-giallastra con minute pomici. Questo livello è stato rinvenuto in tutti i sondaggi realizzati con spessore variabile tra 3 a 18 m ed è caratterizzato da valori di S.P.T. pari a 7 per i livelli più superficiali e da valori medi pari a 14 per i livelli più profondi. Pertanto i terreni più superficiali presentano una consistenza plastica, una resistenza alla compressione semplice pari a 1Kg/cmq, un indice di consistenza pari a 0.5 e una coesione non drenata pari a 0.5 bar mentre quelli più profondi i terreni presentano un grado di consistenza definito duro, una resistenza alla compressione semplice pari a 2 Kg/cmq, un indice di consistenza pari a 0.75 e una coesione non drenata pari a 1 bar. Le caratteristiche fisiche di questa litologia sono definite da prove di laboratorio eseguite su tre campioni indisturbati:

campione più superficiale S3-C1 4,00m dal p.c.:

peso di volume dei grani: 2.597 g/cmc

peso di volume naturale: 1.454 g/cmc

peso volume del secco: 0.977 g/cmc

indice dei vuoti: 1.658

porosità: 0.62

contenuto d'acqua: 48.8 %

grado di saturazione: 76.4 %

limite di liquidità: 54.30 %

limite di plasticità: 44.00 %

Indice di Plasticità: 10.25

campione S8-C1 prelevato ad una profondità pari a 9,00m dal p.c.:

peso di volume dei grani: 2.68 g/cmc

peso di volume naturale: 1.82 g/cmc

peso volume del secco: 1.25 g/cmc

indice dei vuoti: 1.14

porosità: 0.533

contenuto d'acqua: 45.6 %

grado di saturazione: 107.24 %

limite di liquidità: 50.79 %

limite di plasticità: 37.83 %

Indice di plasticità: 12.96

campione S5-C1 prelevato ad una profondità pari a 10,00m dal p.c.:

peso di volume dei grani: 2.71 g/cmc

peso di volume naturale: 2.03 g/cmc

peso volume del secco: 1.64 g/cmc

Indice dei vuoti: 0.65

porosità: 0.39

contenuto d'acqua: 23.5 %

grado di saturazione: 98.16 %

limite di liquidità: 39.37 %

limite di plasticità: 24.18 %

Indice di plasticità: 15.19

2. Sabbia limosa e limo sabbioso con ghiaia da angolare ad arrotondata. Lo spessore di tale litologia è variabile da 2.00 a 9,00 m. I valori di S.P.T. misurati in questa tipologia di terreno sono risultati fortemente variabili e a volte la prova è andata a rifiuto come ci si attende data la presenza di ghiaia. Per la caratterizzazione è stato considerato in via precauzionale il minimo valore individuato pari a 17 a cui è correlabile un terreno la cui consistenza è compatta, presenta una densità relativa compresa tra 35-65 % e un angolo di attrito compreso tra 35° - 40°.

3. Alternanza di sabbia fine giallastra e sabbia grossolana marrone-grigiastra con ghiaia calcarea. Queste litologie, non rinvenute in tutti i sondaggi, presentano spessori variabili tra 4.50 a 8.50 m e, nei sondaggi S7 e S8, le sabbie risultano

essere anche ben stratificate. Data la profondità alle quali si rinvenivano tali litologie, esse sono state caratterizzate esclusivamente dal punto di vista sismico come sinteticamente riportato in tabella 4.

4. Argilla grigio-azzurra da mediamente a moto consistente, con accumuli di gesso. Si osservano intercalazioni di livelli sabbiosi con blocchi calcareo-marnosi. E' stata rinvenuta a partire da una profondità minima pari a 24.50 m rispetto all'attuale piano campagna e fino a fondo foro. Data la profondità, questa litologia è stata caratterizzata esclusivamente dal punto di vista sismico come sinteticamente riportato in tabella 4.

4.3 RESISTIVITÀ DEI TERRENI

4.3.1 Elaborazione ed interpretazione dei dati

I dati di resistività acquisiti, dopo un opportuno filtraggio per eliminare il noise presente su alcuni dati misurati, sono stati elaborati mediante il software di inversione Res2dinv scritto da Loke and Barker descritto precedentemente. Le elaborazioni ottenute, sono riportate nelle figure 3-4-5-6. In tutte le ricostruzioni elaborate è possibile evidenziare che le pseudosezioni di resistività apparente misurate ben si correlano con quelle calcolate con un errore di RMS piuttosto basso (inferiore al 20%). Questo significa che i modelli di resistività reali ricostruiti ben si correlano con i dati di resistività misurati. Di seguito sono riportati i diversi modelli che descrivono gli andamenti delle resistività reali del sottosuolo riportando, per ognuno di essi, l'interpretazione in funzione delle diverse caratteristiche elettriche dei terreni attraversati. La possibilità di tarare le tomografie con i sondaggi geognostici realizzati, ha consentito di ricostruire anche il modello elettrostratigrafico del sottosuolo in esame.

Per rendere più chiara la lettura e più immediato il confronto tra i diversi modelli tomografici di sottosuolo ricostruiti, si è preferito utilizzare la stessa scala colorimetrica per tutti i modelli ottenuti e sul modello è stata ubicata la posizione del sondaggio geognostico che intercetta il profilo tomografico. Le pseudosezioni di resistività misurate e calcolate nonché il modello elettrostratigrafico dei terreni, sono riportati in allegato. Le stratigrafie sono riportate dettagliatamente, nell'allegato *Indagini geognostiche*.

Nell'allegato tomografico, sono riportati specificamente le interpretazioni effettuate per ogni tomografia realizzata. In particolare è stato possibile discriminare e correlare i seguenti elettrostrati:

1. L'elettrostrato caratterizzato da valori di resistività compresi tra 20 e 30 Ohm m è stato correlato con l'alternanza di piroclastiti, limoso-argillose di colore marrone e sabbioso-limose di colore grigio antracite
2. L'elettrostrato caratterizzato da valori di resistività maggiori di 40 Ohm m con i terreni rappresentati dalle ghiaie e ciottoli calcarei in matrice sabbiosa. Le zone ancora più resistive presenti all'interno di tale elettrostrato individuano aree in cui risulta maggiore la componente ghiaiosa e/o ciottolosa.
3. l'elettrostrato presente ad una profondità di circa 26 m, caratterizzato da valori di resistività inferiori a 7 Ohm m, con le argille grigio azzurre. La morfologia del top di questi terreni risulta essere piuttosto articolata (v.dasi gli allegati relativi ai modelli ricostruiti lungo i profilo 2 e 4).

Infine, si sottolinea che nel modello ricostruito lungo il profilo tomografico 3 (fig. 5) gli elettrostrati presentano gli stessi valori di resistività (e quindi le stesse litologie) di cui sopra ma la morfologia del contatto di tali elettrostrati risulta essere fortemente diversa. Infatti, nella parte centrale della sezione ricostruita, è presente una discontinuità laterale piuttosto significativa. Considerando il forte gradiente orizzontale di resistività che caratterizza la zona di contatto, la discontinuità individuata è correlabile sicuramente ad una discontinuità di tipo litologico. Come si evince dal confronto tra le stratigrafie S5 e S6 (riportate nell'allegato specifico), non è presente, specificamente in quest'area, una stratificazione piano parallela in quanto nella stratigrafia ricostruita lungo la verticale del S5 è presente un livello di *Argilla limosa* di circa 2 m che non si evidenzia nel sondaggio S6; inoltre alla base di questo strato è presente un limo argilloso e non sabbioso come nell' S6. Infine, considerando la pendenza di tale discontinuità e la continuità morfologica della zona di contatto, si potrebbe pensare che l'origine di tale contatto possa essere di tipo tettonico.

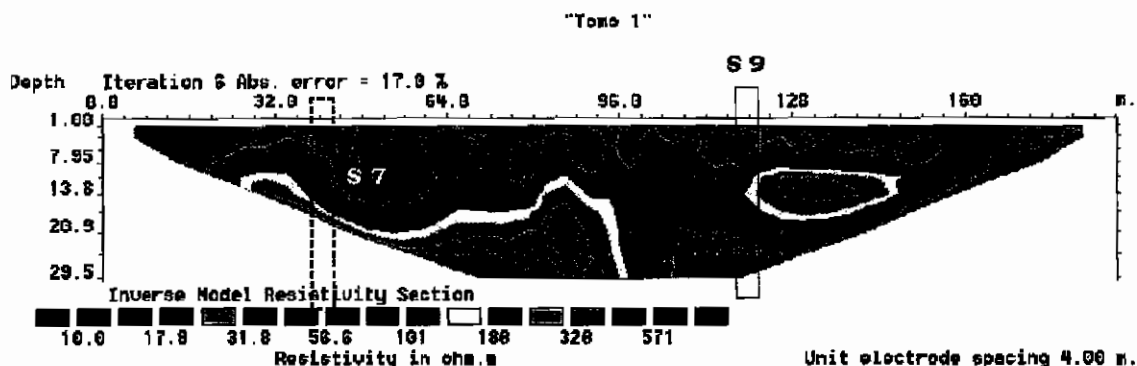


Figura 3: Tomografia elettrica realizzata lungo il profilo Tomo1: modello di resistività reali e ubicazione dei sondaggi geognostici. Il tratteggio indica che il sondaggio non interseca il profilo ma è una proiezione.

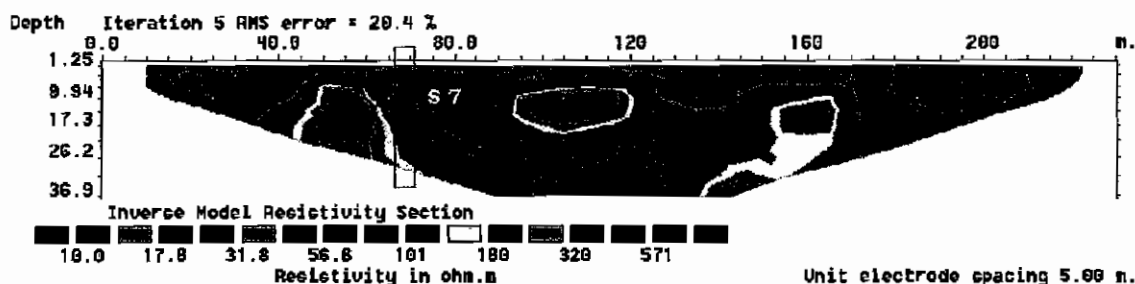


Figura 4: Tomografia elettrica realizzata lungo il profilo Tomo2: modello di resistività reali. Le ricostruzioni della pseudosezione sperimentale e di quella calcolata sono riportate in allegato.

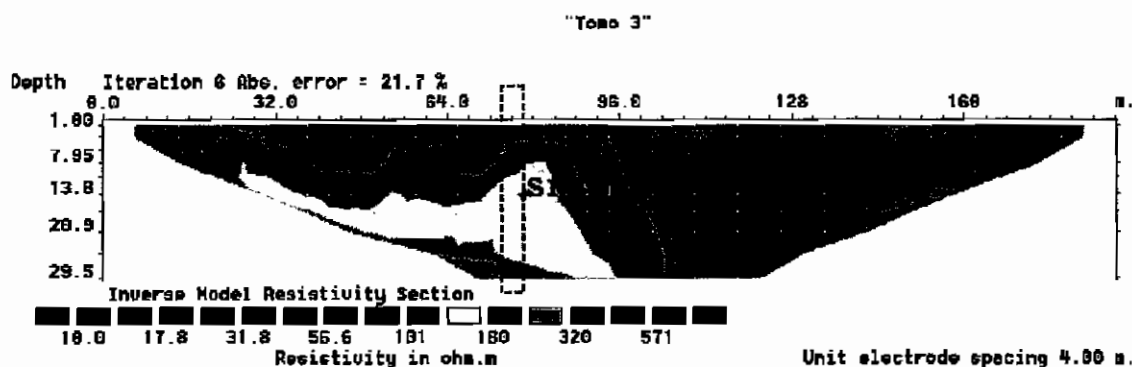


Figura 5: Tomografia elettrica realizzata lungo il profilo Tomo3: modello di resistività reali. Le ricostruzioni della pseudosezione sperimentale e di quella calcolata sono riportate in allegato. Il tratteggio dei sondaggi indica che si tratta di sondaggi proiettati sul profilo.

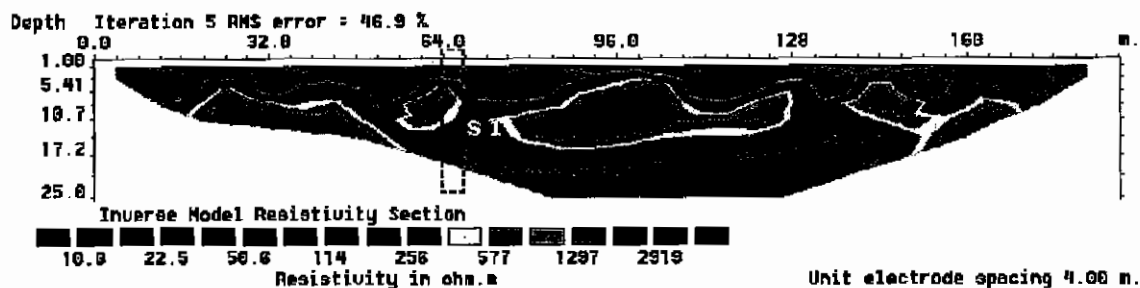


Figura 6: Tomografia elettrica realizzata lungo il profilo Tomo4: modello di resistività reali. Le ricostruzioni della pseudosezione sperimentale e di quella calcolata sono riportate in allegato. Il tratteggio dei sondaggi indica che si tratta di sondaggi proiettati sul profilo.

4.3.2 Ricostruzioni Tridimensionali

La ricostruzione tridimensionale dei dati è riportata in figura 8: a lato di ogni livello ricostruito, è riportata la quota relativa di profondità rispetto all'attuale piano campagna. La griglia utilizzata per la tale ricostruzione è riportata in figura 7. E' opportuno precisare che, data la distanza tra i vari profili, l'andamento di resistività ricostruito è da considerarsi di tipo qualitativo e non quantitativo. E' comunque possibile evidenziare una certa omogeneità delle litologie presenti fatta eccezione per una discontinuità laterale presente tra la progressiva 20 e 30 e con spessore di circa 4 m di cui si è discusso nel paragrafo 4.3.1, oltre che nell'allegato specifico.

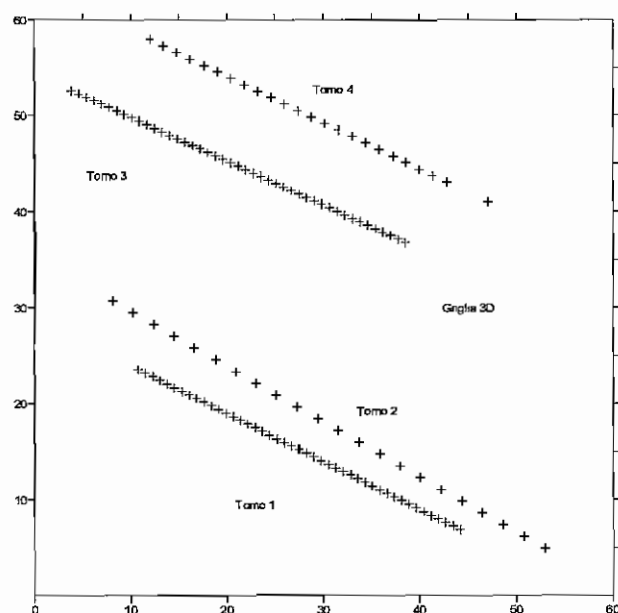


Figura 7: Griglia utilizzata per la ricostruzione tridimensionale dei dati.

PS

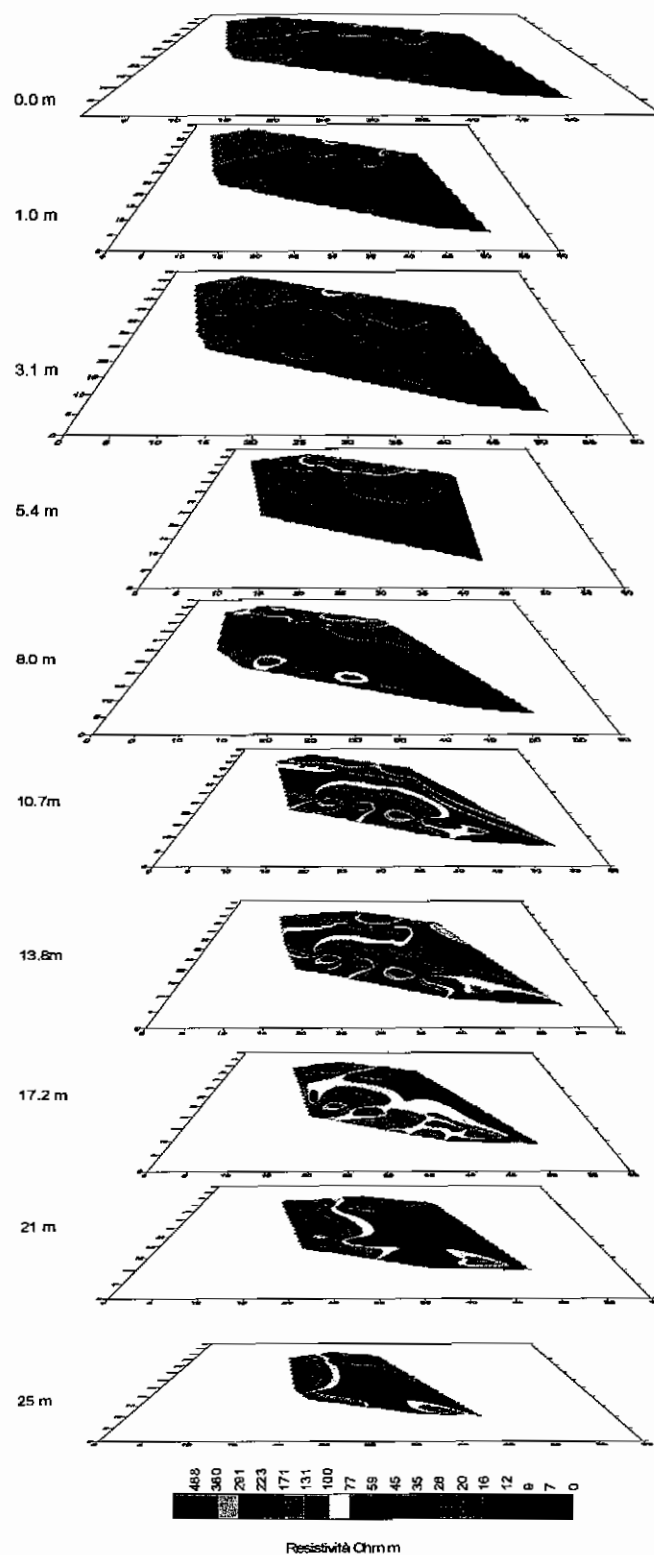


Figura 8: Ricostruzione tridimensionale dei dati elaborati sui diversi profili acquisiti.

4.4 PARAMETRI SISMICI

4.4.1 Acquisizione Di Campagna ed elaborazione dei dati.

La misura dei tempi di propagazione delle onde elastiche longitudinali (P) e trasversali polarizzate (SH) è stata condotta in perfori di diametro 100 mm rivestiti con tubi di pvc da 80 mm di diametro e cementati alle pareti del foro con miscela di fanghi bentonitici. Nel perforo è stata calata una sonda a cinque componenti determinando i tempi di propagazione secondo le tre componenti di registrazione. I dati interpretati ed elaborati, sono stati dettagliatamente riportati nell'allegato sismico. Di seguito (Tabella 4) si riportano, schematicamente, le caratteristiche sismostratigrafiche dei diversi sismostrati individuati e i parametri elastici di ciascuno di esso. Per la stima del peso specifico sono stati utilizzati dati di laboratorio:

Tabella 4: Sintesi delle caratteristiche fisiche e dei parametri dinamici dei sismostrati individuati nelle diverse prove DH eseguite.

S3								
n° str	spessore	γ (g/cc)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ν	E (Kg/cq)	K (Kg/cq)	G (Kg/cq)
1	6.00	1.53	585	219	0.42	2127	4359	750
2	14.00	1.76	991	497	0.33	11769	11698	4417
3	10.00	1.91	1845	776	0.39	32616	50521	11712

S7								
n° str	spessore	γ (g/cc)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ν	E (Kg/cq)	K (Kg/cq)	G (Kg/cq)
1	10.00	1.63	719	224	0.45	2425	7486	838
2	4.00	1.71	1304	423	0.44	8997	25574	3121
3	6.00	1.78	1774	662	0.42	22563	46561	7949
4	10.00	1.88	1936	851	0.38	38341	53361	13689

4.4.2 Stima del Vs 30 e determinazione della categoria di suolo.

I parametri sismici ed elastici relativi ai diversi sismostrati individuati elaborando i dati acquisiti nelle diverse prove analizzate, sono riportati sinteticamente nella precedente Tabella 4.

Per ottenere la velocità media di propagazione delle onde di taglio e definire il parametro Vs 30 nelle due prove realizzate, si procede con il calcolo della seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = spessore dello strato i-esimo

V_i = velocità dell'onda di taglio i-esima

N = numero degli strati

Considerando i valori di dettaglio e riportati schematicamente in tabella, la precedente equazione si risolve:

Prova DHS3 - $V_{S30} \sim 440$ m/s

Prova DHS7 - $V_{S30} \sim 400$ m/s ,

Tali valori sono così inseriti nei ranges stabiliti dall'ordinanza n. 3274, come categoria di suolo di **tipo B**. Trattasi di "Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate, o di argille di molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 360 e 800 m/s ($N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa)".

CONCLUSIONI

Le indagini geognostiche sono state redatte come richiesto dal D.M. 11.03.88 e dal D.M. del 01.01.2008, sono consistite complessivamente in n° 10 sondaggi geognostici, 19 prove S.P.T. realizzate nel corso dei sondaggi geognostici, prove geotecniche di laboratorio eseguite su N. 3 campioni indisturbati; 4 stendimenti di tomografia elettrica e 2 sondaggi sismici di down-hole.

Sulla scorta del rilevamento geologico, geomorfologico, dei sondaggi geognostici, delle analisi di laboratorio e delle prove geofisiche realizzate nell'area oggetto di intervento, si è determinato quanto segue:

- ✓ l'area interessata, si sviluppa prevalentemente su di una ampia zona pianeggiante appartenente ad un tratto di fondovalle del Fiume Picentino.
- ✓ Non sono stati rilevati, specificatamente all'area oggetto dell'intervento, fenomeni significativi di ruscellamento superficiale né di movimenti gravitativi in atto;
- ✓ Le litologie presenti nel sottosuolo, a partire dall'attuale piano campagna, sono rappresentate da:
 1. un primo livello costituito da terreno vegetale con spessori inferiori a 1.20 m;

2. Seguono materiali definiti come sabbia limosa e limo sabbioso con ghiaia da angolare ad arrotondata con spessori estremamente variabili compresi tra 2.00 ÷ 9,00 ml;
 3. Alternanza di sabbia fine giallastra e sabbia grossolana marrone-grigiastra con ghiaia calcarea. Queste litologie, non rinvenute in tutti i sondaggi, presentano spessori variabili tra 4.50 a 8.50
 4. Infine ad una profondità maggiore di 25 m, si rinvencono le argille grigio azzurre.
- ✓ Le caratteristiche fisico-meccaniche di tali litotipi ed i loro rapporti stratigrafici, sono dettagliatamente descritte nel paragrafo 4.1; mentre per una visione completa si rimanda agli specifici allegati.
 - ✓ Lo studio dei parametri sismici delle litologie presenti e la stima del Vs30, ha consentito di ascrivere i terreni presenti nella zona oggetto di intervento, alla categoria di terreno tipo B;
 - ✓ E' verificata la compatibilità tra la previsione urbanistica degli interventi a farsi e la caratterizzazione geomorfologica del territorio interessata.
 - ✓ Secondo quanto riportato sulle cartografie redatte dall'Autorità di Bacino destra Sele (pubblicato sul BURC n° 13 del 24.04.03 e riportate in allegato), l'area di intervento è campita come:

Rischio frane e potenziale: P0

Rischio idraulico: non presente

Fasce Fluviali: A e B sottofasce B1-B2 e B3.

Comunque, rilevato che tale intervento ha rilevanza pubblica nelle more delle opere di mitigazione del rischio, si ritiene che esso possa essere realizzato. Tanto perché l'Amministrazione Comunale di Salerno ha iniziato le procedure per mettere in sicurezza il fiume Fuorni che comporteranno certamente un declassamento delle Fasce Fluviali.

Salerno, ottobre 2008

Dr. Geol. Lambiase Rosario