

COMUNE DI PISA

PROVINCIA DI PISA



**VARIANTE SUAP ai sensi del art.35 della LR 65/2014 e smi
REALIZZAZIONE DI AMPLIAMENTO AREA DI STOCCAGGIO DI ATTIVITA'
PRODUTTIVA E DI PARCHEGGIO PRIVATO
PERMESSO DI COSTRUIRE
VIA DEL FAGIANO LOC. MONTACCHIELLO – PISA**



**RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO
DEL PROGETTO DEFINITIVO
(ai sensi del D.M.2018)**

NOVEMBRE 2024

PROPRIETA': PIERO GIULIANI SRL

Dott.Geol. MONICA LAQUIDARA
OGT 1227

Via Vecchia Fiorentina, 254
Loc. Montione - Cascina (Pisa)- Cell.

339.3197224

e-mail: monilaq68@gmail.com



INDICE

| | |
|--|---------|
| 1- PREMESSA | pag. 3 |
| 2- QUADRO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE | pag. 4 |
| 2.1 Pericolosità geologica dagli strumenti urbanistici | |
| 2.2 Pericolosità idraulica dagli strumenti urbanistici e del PGRA | |
| 2.3 Pericolosità sismica dagli strumenti urbanistici | |
| 3- INDAGINI GEOGNOSTICHE | pag. 11 |
| 3.1 Indagini geognostiche eseguite in passato | |
| 4- QUADRO IDRAULICO IDROGEOLOGICO E DI PERMEABILITA' | pag. 14 |
| 5- ANALISI GEOLOGICA-TECNICA DEI MANUFATTI DA REALIZZARE | pag. 17 |
| 5.1 Piazzale | |
| 5.2 Parcheggio privato | |
| 5.3 Modello Geotecnico | |
| 5.4 Caratteristiche sismiche del sito | |
| 5.5 Categoria di sottosuolo | |
| 6- CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | pag. 23 |

ALLEGATI

Certificati Prove penetrometriche

Estratto Indagine Sismica

1 – PREMESSA

Il presente studio geologico è redatto, su incarico della committenza Piero Giuliani srl, a supporto del progetto di Variante al vigente Regolamento Urbanistico comunale e PdC per la realizzazione di:

- piazzale di stoccaggio materiale pulito a servizio dell'insediamento produttivo esistente;
- realizzazione di parcheggio privato con relativa viabilità interna.

L'area è posta in Via del Fagiano, zona agricola nelle vicinanze di Montacchiello, Loc.Ospedaletto.

L'area in oggetto si colloca nella parte sud est del territorio comunale, a sud della S.R Pisana-Livornese 206, al margine est della pianura alluvionale e confina con il Fosso Torale, che segna il confine con il Comune di Cascina:



Lo studio si basa su indagini eseguite in sito nell'area dell'impianto esistente.

2 – CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

L'area in oggetto è facente parte del settore meridionale della Pianura Pisana che è parte di un più ampio bacino di sedimentazione generatosi a seguito di uno sprofondamento tettonico (Bacino Pisano-Versiliese) di forma grossolanamente triangolare con vertice settentrionale ubicato presso S.Stefano Magra, la base delimitata dalle Colline Pisane-Terrazzo di Livorno, delimitata ad est dalle faglie di distensione al piede del Monte Pisano e dalle Alpi Apuane e, ad ovest, nel Mare Tirreno, dalle faglie in corrispondenza degli alti morfologici delle secche della Meloria e di Maestra (Della Rocca, Mazzanti e Pranzini, 1987).

Fancelli et Alii, 1986, suddividono il substrato della pianura di Pisa in tre parti distinte:

- substrato profondo comprendente le formazioni litostratigrafiche antiche, al di sotto dei sedimenti del complesso neoautoctono.
- Substrato intermedio, include i sedimenti neoautoctoni, fino a tutto il Pleistocene Inf. la cui deposizione è stata prevalentemente controllata dalla subsidenza di origine tettonica.
- Substrato superiore, costituito da sedimenti di età più recente (post Pleistocene Inf.) la cui deposizione è stata controllata principalmente dalle variazioni eustatiche del livello del mare, dagli apporti fluviali conseguenti alle suddette variazioni e dai cambiamenti climatici.

La porzione di territorio in esame ricade nella parte sud est del territorio comunale all'interno del sistema pianura nella porzione terminale percorsa dal Fosso del Torale che demarca il confine amministrativo con il Comune di Cascina.

Questa area in Loc. Ospedaletto è posta nei pressi della SR Pisana Livornese 206, in sinistra orografica del Fiume Arno in prossimità del Fosso Torale, ed è caratterizzata in affioramento, dalle seguenti formazioni geologiche, depositi continentali quaternari (Olocene):

-depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi;

- depositi alluvionali attuali prevalentemente sabbiosi e limosi;
- depositi alluvionali, palustri e di colmata prevalentemente argillosi;

L'area oggetto dell'intervento è interessata dai **depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi**: si tratta di depositi che possono presentare anche intercalazioni sabbiose, sono stati generati da ripetute esondazioni verificatesi nella pianura di Pisa, depositavano la frazione limosa meno fine prevalentemente nelle aree poste in prossimità del corso fluviale dell'Arno:



Da un punto di vista geomorfologico la zona in esame è relativa al margine meridionale della pianura pisana ed è caratterizzata dall'assenza di elementi geomorfologici naturali; i pochi presenti sono essenzialmente legati al reticolo idrografico o di origine antropica (aree umide soggette a ristagno).

In particolare i principali elementi morfologici relativi ad un congruo intorno della zona in esame sono stati evidenziati nella **"Carta geomorfologica"** estratta dagli elaborati del vigente PSI, sono dovuti a depositi alluvionali

attuali con la frazione fine dominante, il Fosso Torale posto al confine dell'area si presenta privo di arginatura:




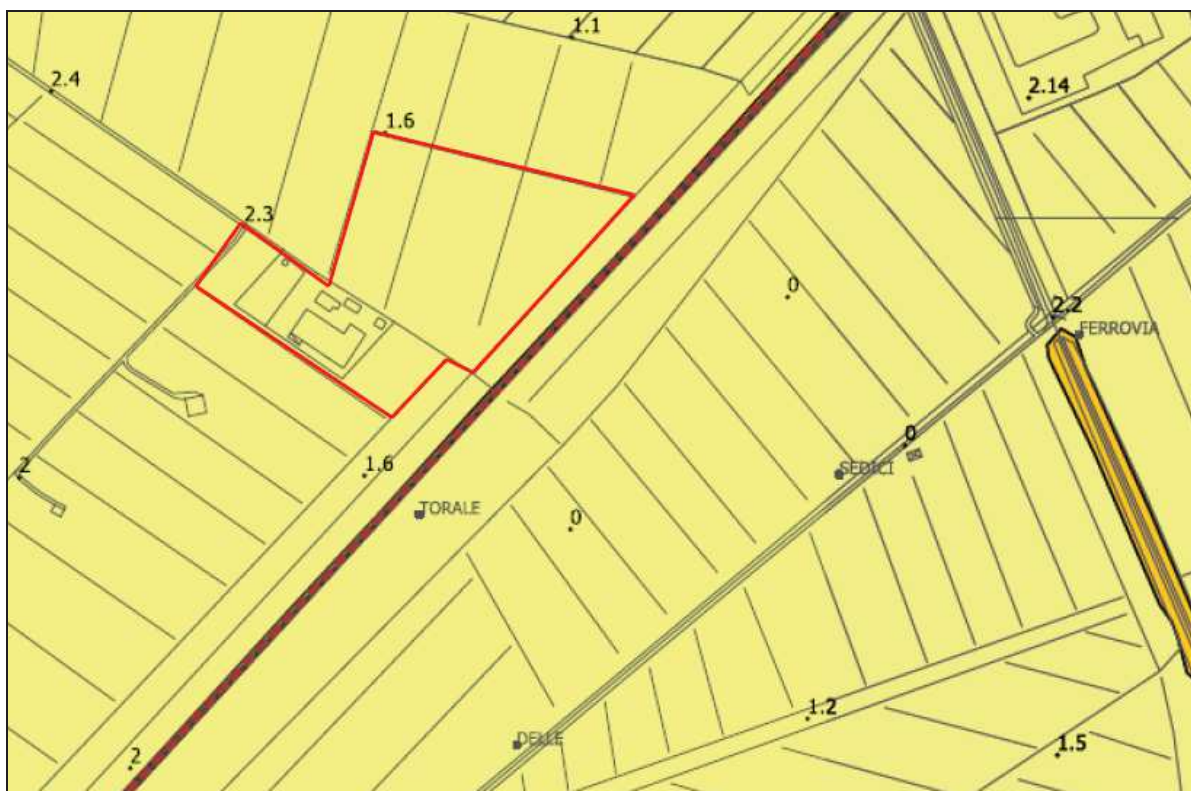
2.1 Pericolosità geologica dagli strumenti urbanistici

L'area oggetto di intervento ai sensi del **DPGR 5/R/2020** è classificata in classe **G1**, il nuovo DPGR comprende oltre agli elementi geologici anche gli elementi geomorfologici e quelli relativi alla dinamica costiera.

La classe G1 pericolosità bassa comprende: aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici.

Pericolosità geologica

-  G1 - Pericolosità geologica bassa: aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici



2.2 Pericolosità idraulica dagli strumenti urbanistici e del PGRA

L'area oggetto di intervento risulta compresa negli strumenti urbanistici del PSI, come evidenziato dall'estratto cartografico della **"Carta della pericolosità idraulica"** redatto ai sensi del DPGR 53/R/2011 all'interno della seguente classe:

-pericolosità idraulica **I4** molto elevata ai sensi del DPGR 53/R/2011: rientrano in questa classe le aree di fondo valle studiate che risultano inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno $Tr \leq 30$ anni;

| Perimetrazioni ai sensi del DPGR 53/R/2011 | |
|---|--|
| | Aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (I4) - $TR \leq 30$ anni |
| | Aree a Pericolosità Idraulica Elevata (I3) - $30 < TR < 200$ anni |



Per quanto riguarda il “Distretto di Appennino Settentrionale” nella cartografia relativa alla perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica a livello di dettaglio l’area in oggetto è classificata a **pericolosità idraulica da alluvioni elevata P3**, inondabile da eventi con tempi di ritorno $Tr \leq 30$ anni; l’estratto della “**Carta della pericolosità idraulica da alluvioni PGRA**”:



Gli interventi nelle aree P3 sono regolamentati dalla LR 41/2018 *"Disposizioni in materia di rischio da alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto Lgs 23 febbraio 2010, n.49(Attuazione delle direttive 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni)"*, l'area in oggetto in particolare è caratterizzata da **pericolosità per alluvioni frequenti**.

L'area è caratterizzata da un **battente di 2,05 m s.l.m.m.** (quota assoluta riferita alla quota del piano di campagna tramite consultazione volo Lidar); il progetto prevede sulla part.77 la realizzazione di un piazzale di stoccaggio di materiale pulito connesso all'attività esistente; la realizzazione del piazzale comporta un aumento di altezza della quota rispetto al piano di campagna attuale quindi un ampliamento di volume, inoltre il progetto prevede anche la realizzazione di un parcheggio in porzione della part.47.

I due interventi ai sensi della LRT 41/2018 sono inquadrati tra quelli consentiti all'Art.13 comma 4, *"Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo, gli interventi di seguito elencati possono essere realizzati alle condizioni*

stabilite.....", lettera b) "parcheggi in superficie a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il livello di rischio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali".

Per le opere di mitigazione del rischio idraulico è previsto l'utilizzo di una porzione della particella catastale 47, realizzando una vasca di compensazione di circa 20.800 mq ed altri interventi di difesa; **per i dettagli si rimanda alla Relazione Idraulica dell'Ing. Cristiano Cappelli.**

2.3 Pericolosità sismica dagli strumenti urbanistici

L'area oggetto di intervento risulta compresa, come evidenziato dall'estratto cartografico **"Carta della pericolosità sismica"**, all'interno della classe **S3** pericolosità sismica locale elevata ai sensi del DPGR 53/R:



La classe **S3**: pericolosità sismica locale elevata, è caratterizzata da:

-zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi;

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;
- terreni suscettibili di liquefazione dinamica.

3 – INDAGINI GEOGNOSTICHE

La definizione delle caratteristiche litologiche dei terreni è stata operata attraverso l'analisi dei risultati dei dati geognostici realizzati in situ, nella particella 32 (area centrale dell'attività produttiva), indagini eseguite per interventi precedenti:



Questi sono contenuti nei dati di base delle pratiche edilizie comunali ed in sintesi sono relative a:

- n.6 CPT – Prove penetrometriche statiche a punta meccanica;

Le indagini su descritte sono site in area particella catastale (part.32) adiacente facente parte del comparto produttivo e sono state realizzate per

l'impianto esistente dalla stessa proprietà del committente della richiesta in oggetto.

L'ubicazione di queste indagini, il loro numero e le profondità raggiunte sono sufficienti a garantire una adeguata ricostruzione stratigrafica e consentono di ricavare una stima dei parametri geotecnici dei terreni attraversati. Nel dettaglio:

_CPT_1856: profondità raggiunta 14,0 m dal pc;

_CPT_1857: profondità raggiunta 10,0 m dal pc

_CPT_1858: profondità raggiunta 11,0 m dal pc

_CPT_1859: profondità raggiunta 11,0 m dal pc

_CPT_1860: profondità raggiunta 6,0 m dal pc

_CPT_1856: profondità raggiunta 6,0 m dal pc

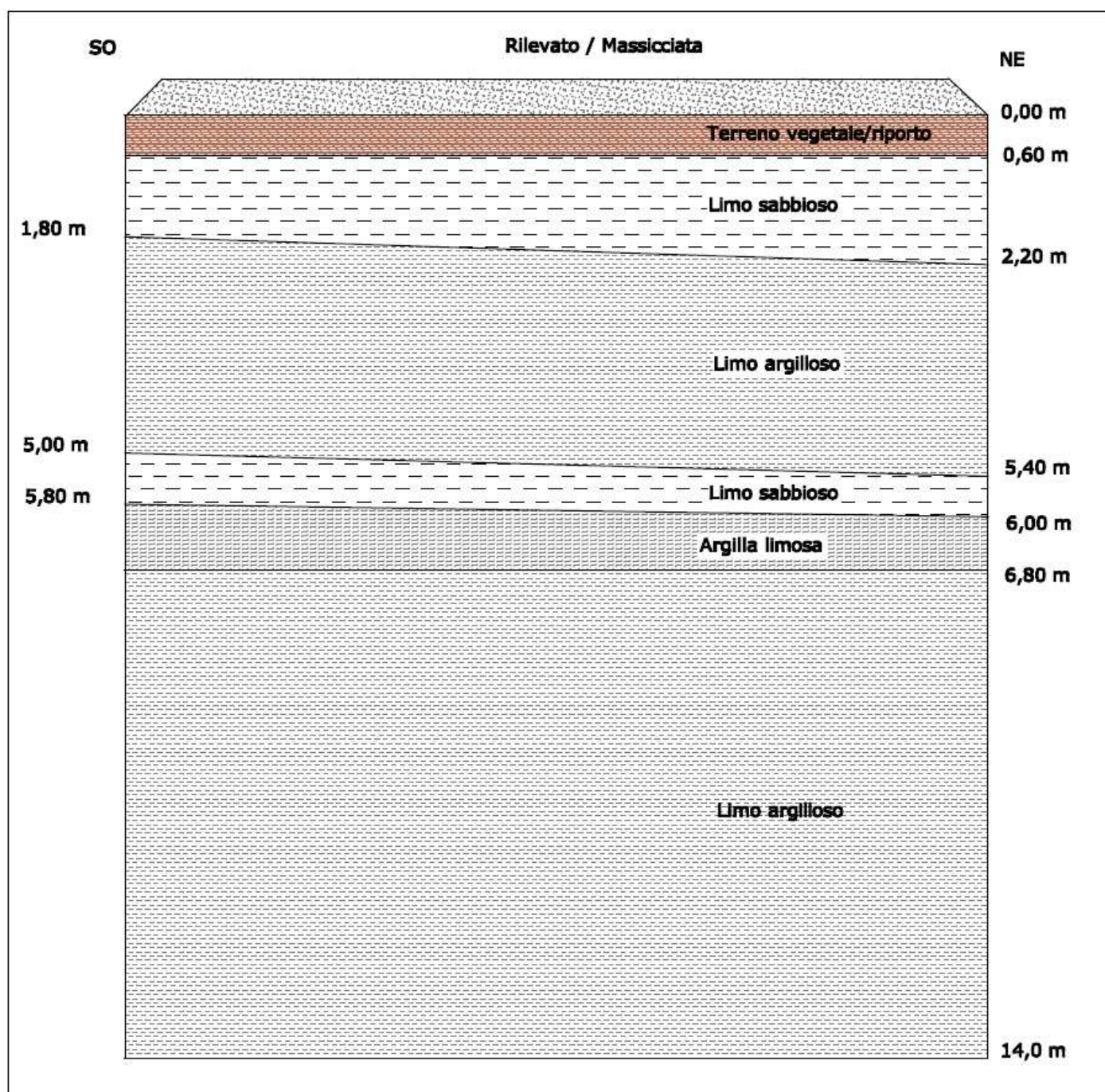
L'andamento litostratigrafico del sottosuolo dell'area in esame, investigato attraverso le CPT fino ad una profondità massima di 14,0 m dal pc, può essere descritto in sintesi come di seguito:

Ricostruzione stratigrafica:

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| da p.c. a -0,60 m | terreno vegetale/ riporto |
| da -0,60 m a -1,80/2,20m | limi sabbiosi |
| da -1,80 m a -5,00/5,40m | limi argillosi |
| da -5,00/5,40 m a -5,80/6,00m | limi sabbiosi |
| da -6,00 a a - 6,80m | argille limose |
| da -6,80m a -14,0m | limi argillosi |

La successione litostratigrafica ricavata dalle prove può essere considerata rappresentativa del sottosuolo presente in corrispondenza dell'area d'intervento.

La ricostruzione schematica dell'andamento litostratigrafico del sottosuolo dell'area in esame è riportata nella **"Sezione litostratigrafica"**:



Il quadro dei parametri geotecnici attribuiti ai terreni individuati, desunti dalle prove CPT, è il seguente:

| Spessore | Unità Stratigrafiche | γ (t/mc) | c_u (kg/cm ²) | Φ | E_d (kg/cm ²) |
|-------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|
| Da 0,00 a -0,60 m | Terreno vegetale/ riporto | - | - | - | - |
| Da 0,60 a -1,8 m | Limi sabbiosi | 1,90 | 0,80 | 29° | 72,00 |
| Da 1,80 a -5,4 m | Limi argillosi | 1,85 | 0,50 | 18° | 36,00 |
| Da 5,4 a -6,0 m | Limi sabbiosi | 1,90 | - | 26° | 90,00 |
| Da 6,0 a -6,80m | Argille limose | 1,85 | 0,30 | 14° | 18,00 |
| Da 6,8 a -14,0m | Limi argillosi | 1,85 | 0,30 | - | 18,00 |

Per i parametri geotecnici, **valori caratteristici**, le NTC indicano come corretta la scelta di valori caratteristici prossimi ai valori medi nel caso in cui, nello stato limite considerato, sia coinvolto un elevato volume di terreno, come nel caso di fondazioni superficiali.

Adottando questo metodo fondazionale e considerando il volume significativo, parte di sottosuolo che influenzerà il manufatto, è quindi possibile adottare valori caratteristici prossimi ai valori medi.

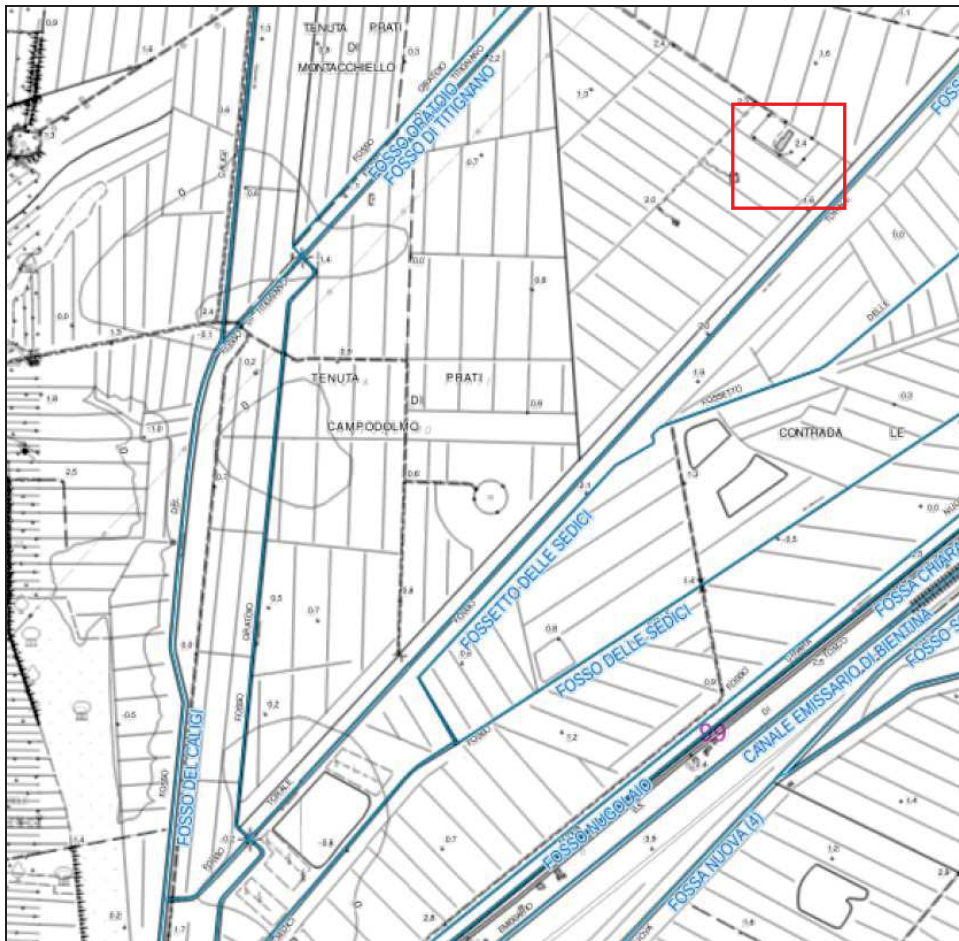
4 – QUADRO IDRAULICO, IDROGEOLOGICO E DI PERMEABILITA'

L'area oggetto di progetto è facente parte della porzione terminale del Bacino Idrografico del Fiume Arno (Valdarno Inferiore); in particolare nel settore meridionale del territorio comunale al confine con il comune di Cascina.

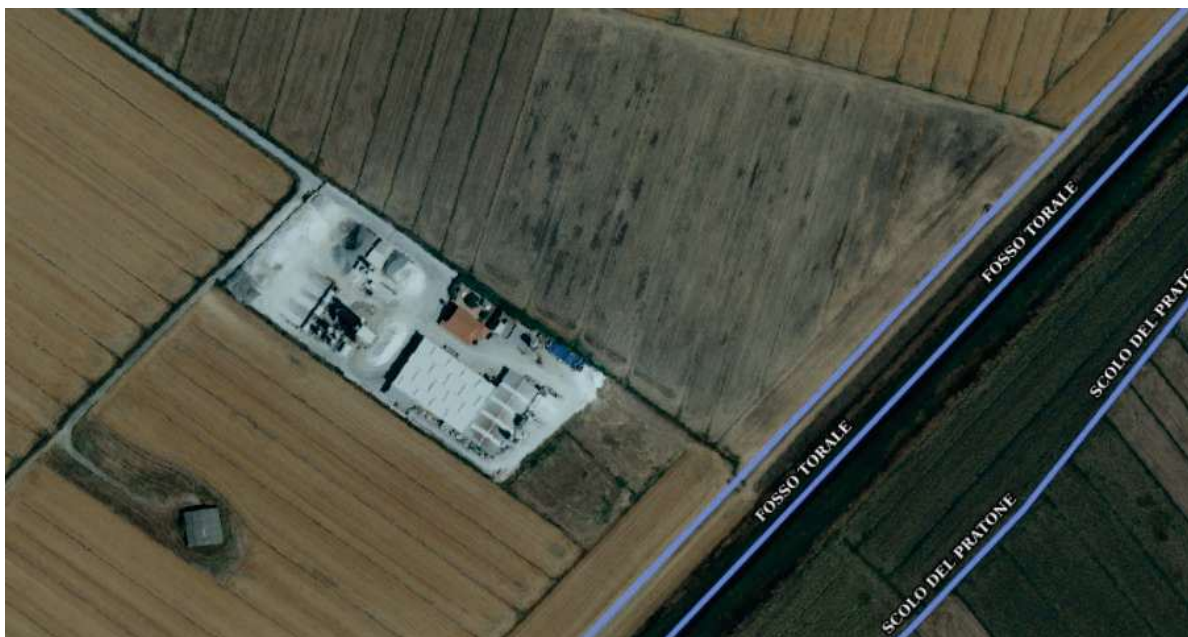
Dal punto di vista idraulico l'area è interessata da due sistemi idraulici, quello dell'Arno comprensivo dello Scolmatore e quello delle Bonifiche.

Da un punto di vista idrografico, la zona in esame è situata alla destra di due canali censiti dal Reticolo Idrografico della Regione Toscana (Reticolo Idrografico aggiornato con DCR 25/2024) uno più vicino al progetto in oggetto il BV9524 e il Fosso Torale (BV9809), il progetto in esame verrà realizzato tenendo conto della fascia di rispetto del più vicino.

Il Canale Scolmatore per la zona meridionale del territorio comunale rappresenta il canale recettore del sistema di bonifiche, in cui recapitano la Fossa Chiara e l'impianto idrovoro del Calabrone (Lamone sud).



Reticolo Idrografico Geoscopio - Regione Toscana



Reticolo Idrografico - Regione Toscana aggiornato DCR 25/2024

Da un punto di vista idrogeologico la zona in esame si colloca nel margine meridionale della piana pisana, risulta essere caratterizzata da vene acquifere nei primi metri che caratterizzano un acquifero freatico o semi-freatico multistrato.

Il sistema di scorrimento sotterraneo è da considerarsi in rapporto di ricarica principalmente dai rilievi collinari ad est e poi per infiltrazione diretta delle acque meteoriche.

La 1 falda isopiezometrica si attesta a circa -3,0 m a -3,50 m slmm come evidenziato dalla carta idrogeologica, PSI.

Dai certificati non risulta registrata la quota della falda però in base alle caratteristiche dei depositi registrati il livello può essere confermato considerando livelli sabbiosi-limosi intercalati a quelli argillosi pressoché impermeabili.

Sulla "**Carta Idrogeologica**", estratta dagli elaborati del PSI, è riportata la distinzione dei vari terreni affioranti nella zona in esame in funzione della loro capacità di contenere acqua (porosità) e di far defluire l'acqua (permeabilità e trasmissività).

La zona in esame è caratterizzata da **permeabilità bassa** per la presenza in affioramento di depositi alluvionali a dominanza limosi e argillosi:



In particolare le caratteristiche del sito individuano uno strato sotto il terreno di riporto spesso 1,20/1,60 m di limo sabbioso ma al di sotto sono presenti depositi prevalentemente argillosi, nel momento in cui questo livello di limo sabbioso diventa saturo l'area va in difficoltà per espellere l'acqua in eccesso da qui la classificazione in permeabilità bassa.

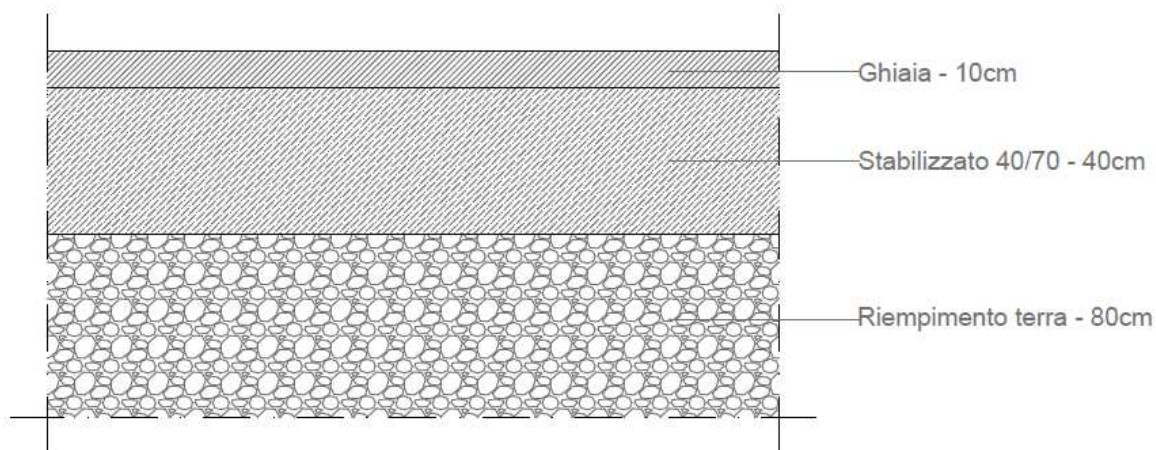
5 – ANALISI GEOLOGICA-TECNICA

5.1 Piazzale

Il piazzale ad uso stoccaggio materiali finiti, viene realizzato alla destra dell'area industriale esistente, il rilevato allo stato attuale è 0,20 m slm sarà portato ad un altezza di 1,50 m.

Di seguito si riporta lo schema costruttivo del rilevato:

- 0,10m:Ghiaia;
- 0,40m:stabilizzato 40/70;
- 0,80m:riempimento terra.

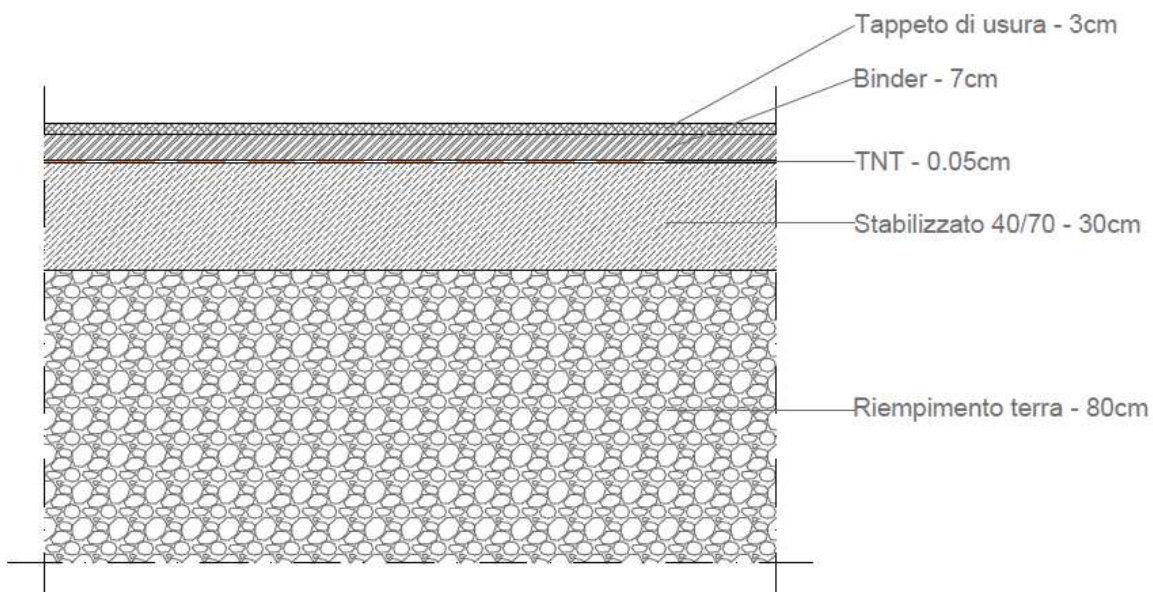


5.2 Parcheggio privato

Il parcheggio privato, viene realizzato davanti all'area industriale esistente, il rilevato allo stato attuale è 0,25 m slm sarà portato ad un'altezza di 1,50 m.

Di seguito si riporta lo schema costruttivo del rilevato:

- 0,03m:Tappeto di usura;
- 0,07m:Binder;
- 0,05cm:TNT;
- 0,30m:Stabilizzato 40/70;
- 0,80m:riempimento terra.



5.3 Modello geotecnico

Utilizzando la stratigrafia e i parametri geognostici ricavati dalle indagini è possibile dedurre il modello geotecnico del suolo di fondazione:

Unità (A) da 0,0 a 1,80 – terreno vegetale/Limo sabbioso;

Unità (B) da 1,80 a 5,40 – Limo argilloso;

Unità (C) da 5,40 a 6,00 – Limo sabbioso;

Unità (D) da 6,00 a 6,8 – Argilla limosa;

Unità (E) da 6,8 a 14,0 – Limo argilloso;

FALDA: stimata a -3,00 m dal pc

Lo schema geotecnico è il seguente:

Piano di campagna orizzontale

Valori Medi (Vm)

Unità A – terreno vegetale/ Limo sabbioso (Spessore 1,20 m)

Peso dell'unità di volume $\gamma = 1,90 \text{ t/mc}$

Resistenza al taglio $c_u = 0,80 \text{ kg/cmq}$; $\Phi = 29^\circ$

Modulo edometrico $E_d = 72,0 \text{ kg/cmq}$

Unità B – Limo argilloso (Spessore 3,60m)

Peso dell'unità di volume $\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$

Resistenza al taglio $c_u = 0,50 \text{ kg/cmq}$; $\Phi = 18^\circ$

Modulo edometrico $E_d = 36 \text{ kg/cmq}$

Unità C – Limo sabbioso (Spessore 0,60m)

Peso dell'unità di volume $\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$

Resistenza al taglio $\Phi = 26^\circ$

Modulo edometrico $E_d = 90,0 \text{ kg/cmq}$

Unità D – Argilla limosa (Spessore 0,80m)

Peso dell'unità di volume $\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$

Resistenza al taglio $c_u = 0,30 \text{ kg/cmq}$; $\Phi = 214^\circ$

Modulo edometrico $E_d = 18 \text{ kg/cmq}$

Unità E – Limo argilloso (Spessore 7,20m)

Peso dell'unità di volume $\gamma = 1.85 \text{ t/mc}$

Resistenza al taglio $c_u = 0,30 \text{ kg/cmq}$

5.4 Caratteristiche sismiche del sito

Il Territorio comunale di Pisa a seguito della pubblicazione della nuova Mappa della Pericolosità Sismica Regionale è passato in **zona sismica 3** attraverso l'approvazione del Del.GRT n. 878 del 08/10/2012, BURT parte Seconda n.43 del 24/10/2012 Supplemento n.136, per la quale è prevista una accelerazione orizzontale massima convenzionale al suolo $0,100g < a_g < 0,125g$.

Ai sensi dell'art.2 del **Regolamento DPGRT 1/R/2022** la zona sismica 3 è suddivisa in fasce di pericolosità caratterizzate da specifici valori di a_g che tengono conto del valore di accelerazione sismica su suolo rigido e pianeggiante, allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV); tenendo conto dei valori di a_g pari a $0,122g$, la fascia di appartenenza è la C, contraddistinta da $a_g \leq 0,125 g$.

Considerando le disposizioni del D.M. 17/01/2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio di "zona".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi STATI LIMITI presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Utilizzando il Software *Geostru-Parametri sismici* sono stati calcolati i parametri sismici riferiti al sito in esame per i due stati limite SLV e SLD.

Riassumendo avremo:

| | |
|---|----------------------------------|
| <i>Comune</i> | Pisa (PI) |
| <i>Zona sismica (Del.G:R:T:878/2012)</i> | 3-fascia "C" |
| <i>a_g (SLV) – DPGRT 58/R/2012</i> | 0,122g |
| <i>Tipo di costruzione</i> | 2 (opera ordinaria) |
| <i>Vita nominale (VN)</i> | ≥ 50 anni |

| | |
|--------------------------------|------------|
| <i>Classe d'uso</i> | II |
| <i>Coefficiente d'uso (Cu)</i> | 1,0 |

| | |
|--|-------------------|
| <i>Periodo di riferimento (VR)</i> | 50 anni |
| <i>Valore medio $V_{s,eq}=V_{s,30}$</i> | 160 m/sec |
| <i>Categoria di sottosuolo</i> | D |
| <i>Categoria topografica</i> | T1 |
| <i>Latitudine sito</i> | 43,646483° |
| <i>Longitudine sito</i> | 10,431637° |

Stato limite SLV (fondazioni)

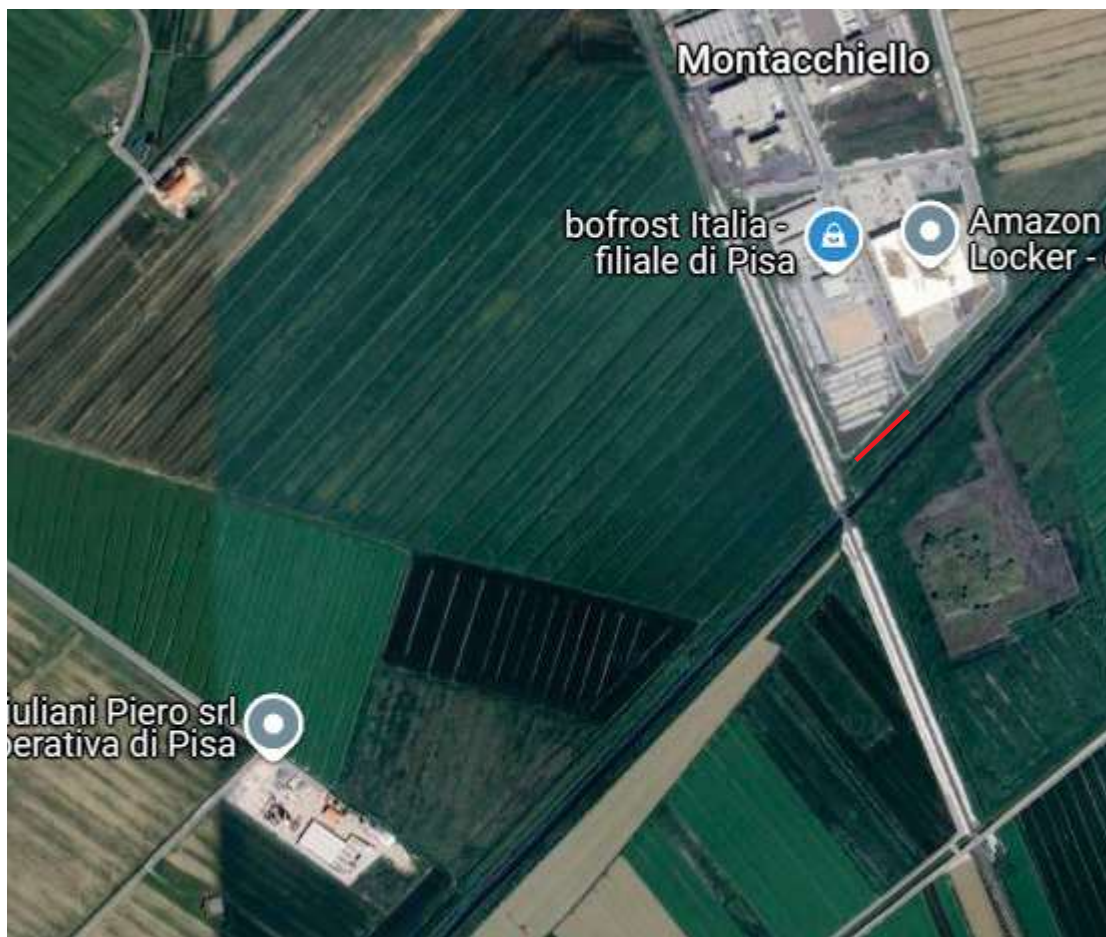
| | |
|--|--------------------------------|
| <i>Coefficiente di amplificazione topografica (S_T)</i> | 1,00 |
| <i>Amplificazione Stratigrafica (S_s)</i> | 1,80 |
| <i>Fattore S</i> | 1,80 |
| <i>Accelerazione massima (a_{max})</i> | 2,146 m/sec² |
| <i>Fattore di amplificazione (F_o)</i> | 2,472 |
| <i>Periodo T_c^*</i> | 0,274 sec |
| <i>Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa (β_s)</i> | 0,240 |
| <i>Coefficiente sismico orizzontale (k_h)</i> | 0,053 |
| <i>Coefficiente sismico verticale (k_v)</i> | 0,026 |

Stato limite SLD (fondazioni)

| | |
|--|--------------------------------|
| <i>Coefficiente di amplificazione topografica (S_T)</i> | 1,00 |
| <i>Amplificazione Stratigrafica (S_s)</i> | 1,80 |
| <i>Fattore S</i> | 1,80 |
| <i>Accelerazione massima (a_{max})</i> | 0,864 m/sec² |
| <i>Fattore di amplificazione (F_o)</i> | 2,520 |
| <i>Periodo T_c^*</i> | 0,247 sec |
| <i>Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa (β_s)</i> | 0,200 |
| <i>Coefficiente sismico orizzontale (k_h)</i> | 0,018 |
| <i>Coefficiente sismico verticale (k_v)</i> | 0,009 |

5.5 Categoria di sottosuolo

Per la determinazione della categoria di suolo di fondazione è stata utilizzata un'indagine sismica eseguita dalla scrivente in prossimità dell'intervento:



Considerando l'indagine sismica analizzata realizzata in area con le stesse caratteristiche geologiche e geomorfologiche, tutti i rifrattori presentano $V_s < 800$ m/s per i 30 m di riferimento, la determinazione della $V_{s,eq} = v_{s30}$ risulta 160 m/s se riferita al pc, determinando la **categoria di suolo "D"**, conforme ad altre indagini consultate nell'area della pianura a sud del Fiume Arno.

6 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente Relazione viene redatta a supporto della richiesta di PdC per la realizzazione degli interventi legati alla Variante Urbanistica riguardante un piazzale per materiali finiti e un parcheggio privato a servizio di attività industriale esistente, l'intervento è sito in Via del Fagiano, Loc. Montacchiello (PISA).

Pericolosità

- Pericolosità geologica: classe **pericolosità bassa: G1;**
- Pericolosità idraulica: **classe molto elevata I4;**
- Pericolosità sismica: classe **pericolosità sismica locale elevata: S3;**

Classe di Pericolosità Idraulica ai sensi del **PGRA, P3** pericolosità idraulica bassa;

Fattibilità

- **F4 condizionata da prescrizioni idrauliche;**

In base a quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere come segue:

- Il sito dal punto di vista geomorfologico è stabile essendo parte della "Pianura Pisana", costituita da depositi alluvionali generati dalle continue alluvioni del fiume Arno ;
- La falda acquifera stimata a -3,00 m dal pc dalla Carta Idrogeologica.
- La stratigrafia del terreno presente ricavata dalle indagini è schematizzata nella tabella sottostante:

| | |
|-------------------|---------------------------|
| Da 0,00 a -0,60 m | Terreno vegetale/ riporto |
| Da 0,60 a -1,8 m | Limi sabbiosi |
| Da 1,80 a -5,4 m | Limi argillosi |
| Da 5,4 a -6,0 m | Limi sabbiosi |
| Da 6,0 a -6,80m | Argille limose |
| Da 6,8 a -14,0m | Limi argillosi |

- Attraverso la prospezione sismica è stata determinata la Categoria di sottosuolo (*Cat.D*), i valori dei Parametri Sismici (a_g , F_0 , T_c^*), determinando la pericolosità sismica mediante un approccio **sito dipendente** e non più **zona dipendente** (DM 17/01/2018).

Sulla base delle considerazioni precedentemente esposte e dei dati progettuali a disposizione, si ritiene che l'intervento in progetto è compatibile con le caratteristiche geologiche e geomorfologiche rilevate.

Pisa, novembre 2024

Dott. Geol. Monica Laquidara

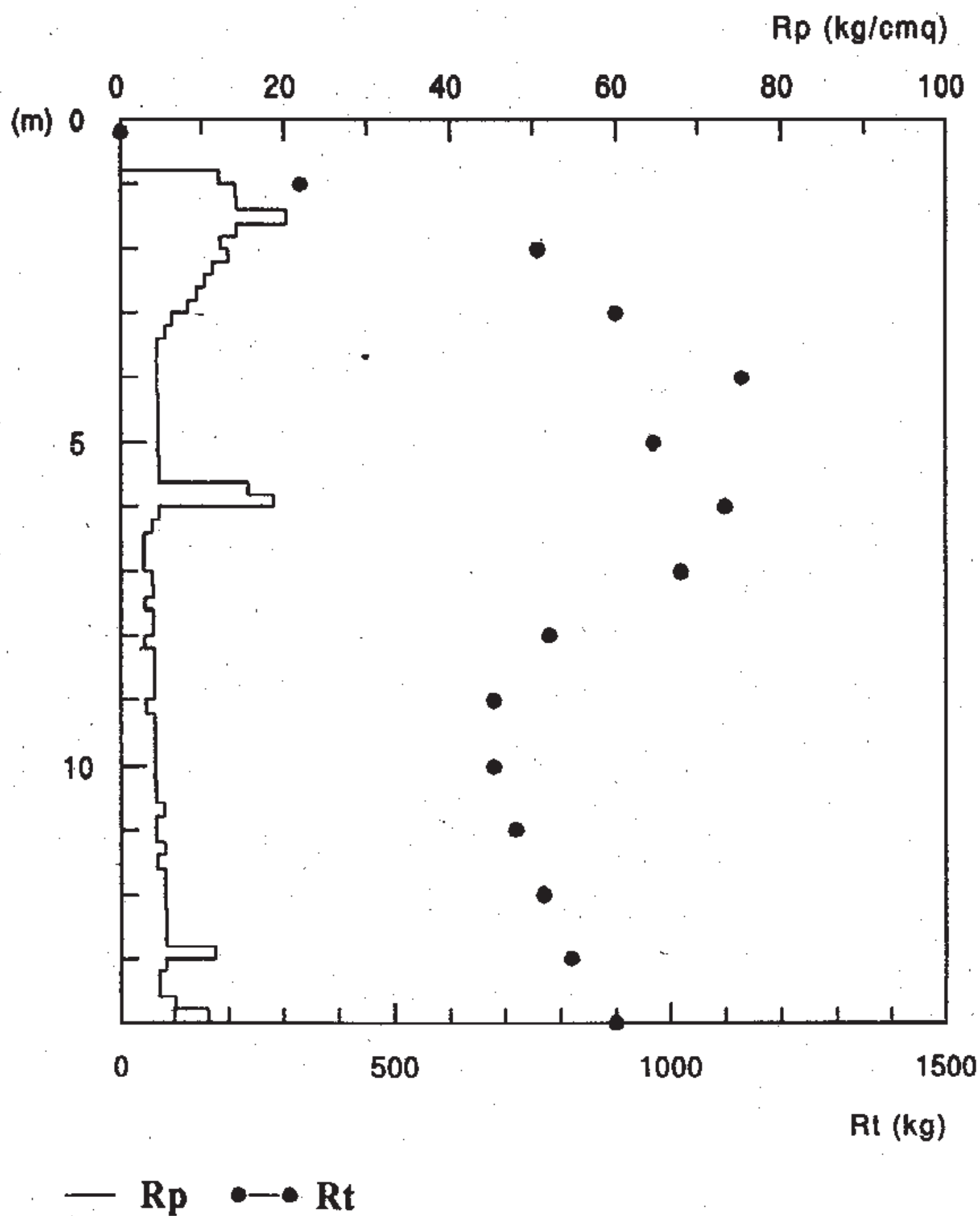


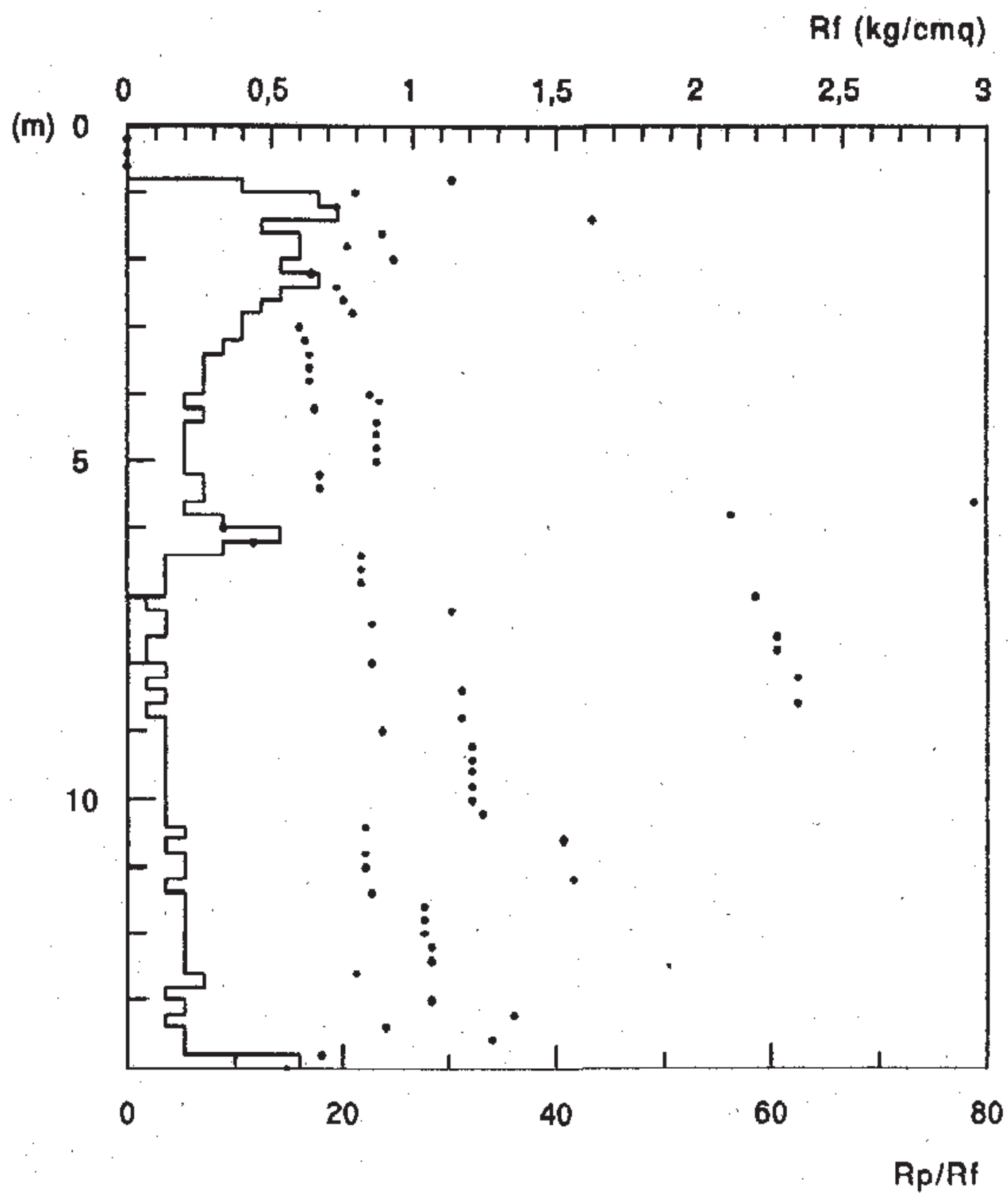
ALLEGATI

**Certificati indagini geognostiche:
Prove Penetrometriche
Estratto Indagine Sismica - Masw**

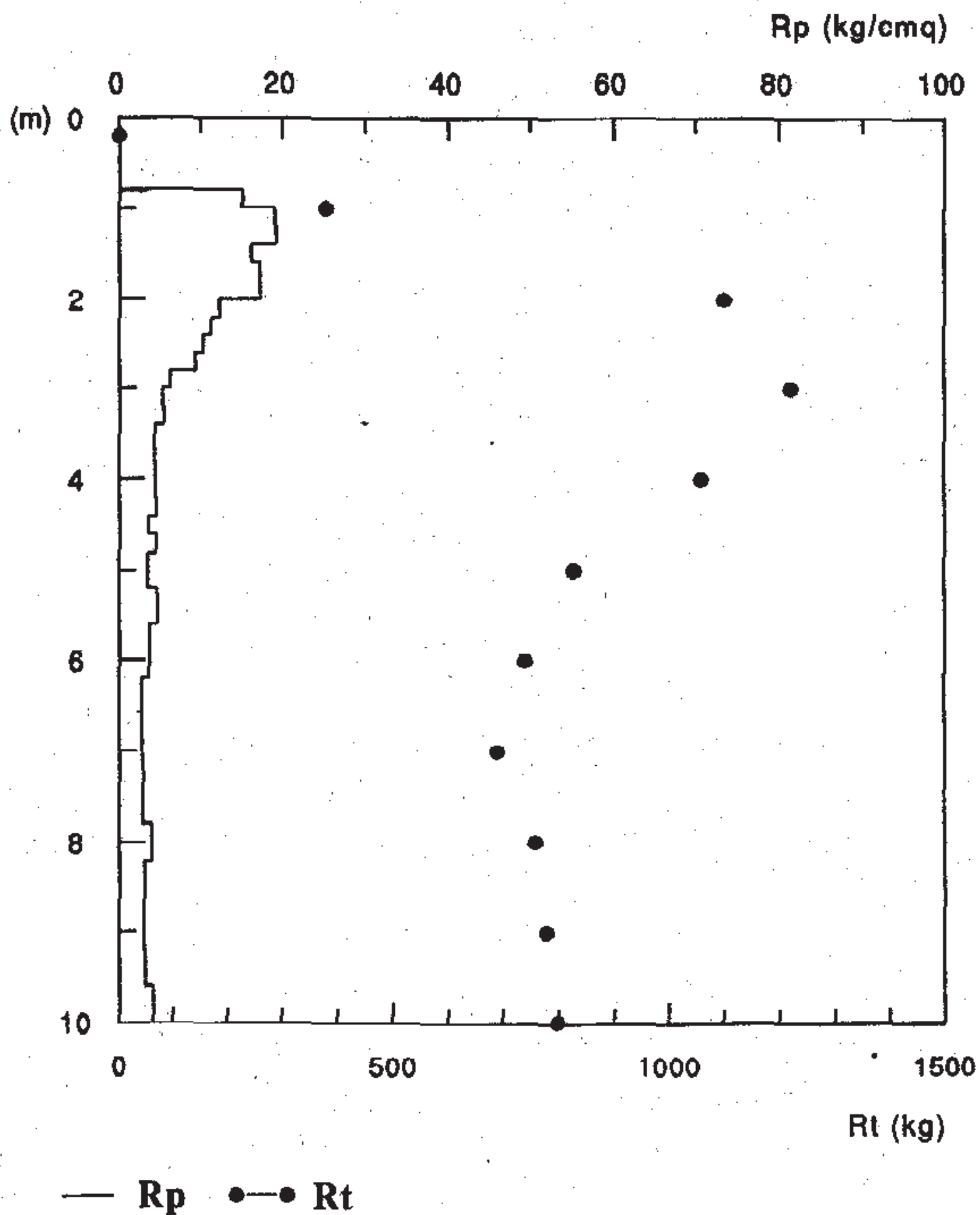
| metri | lett: punta | lat | tot. | Rp-kg/cmq | Rt - kg | Rf-kg/cmq | Rp/Rf |
|-------|-------------|-----|------|-----------|---------|-----------|-------|
| 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0,4 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,6 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,8 | 12 | 18 | | 12,13 | | 0,40 | 30,33 |
| 1,00 | 14 | 24 | 33 | 14,13 | 330 | 0,67 | 21,20 |
| 1,2 | 14 | 25 | | 14,26 | | 0,73 | 19,45 |
| 1,4 | 20 | 27 | | 20,26 | | 0,47 | 43,41 |
| 1,6 | 14 | 23 | | 14,26 | | 0,60 | 23,77 |
| 1,8 | 12 | 21 | | 12,26 | | 0,60 | 20,43 |
| 2,00 | 13 | 21 | 76 | 13,26 | 760 | 0,53 | 24,86 |
| 2,2 | 11 | 21 | | 11,39 | | 0,67 | 17,09 |
| 2,4 | 10 | 18 | | 10,39 | | 0,53 | 19,48 |
| 2,6 | 9 | 16 | | 9,39 | | 0,47 | 20,12 |
| 2,8 | 8 | 14 | | 8,39 | | 0,40 | 20,98 |
| 3,00 | 6 | 12 | 90 | 6,39 | 900 | 0,40 | 15,97 |
| 3,2 | 5 | 10 | | 5,52 | | 0,33 | 16,56 |
| 3,4 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 3,6 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 3,8 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 4,00 | 4 | 7 | 113 | 4,52 | 1130 | 0,20 | 22,60 |
| 4,2 | 4 | 8 | | 4,65 | | 0,27 | 17,44 |
| 4,4 | 4 | 7 | | 4,65 | | 0,20 | 23,25 |
| 4,6 | 4 | 7 | | 4,65 | | 0,20 | 23,25 |
| 4,8 | 4 | 7 | | 4,65 | | 0,20 | 23,25 |
| 5,00 | 4 | 7 | 97 | 4,65 | 970 | 0,20 | 23,25 |
| 5,2 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 5,4 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 5,6 | 15 | 18 | | 15,78 | | 0,20 | 78,90 |
| 5,8 | 18 | 23 | | 18,78 | | 0,33 | 56,34 |
| 6,00 | 4 | 12 | 110 | 4,78 | 1100 | 0,53 | 8,96 |
| 6,2 | 3 | 8 | | 3,91 | | 0,33 | 11,73 |
| 6,4 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,6 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,8 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 7,00 | 3 | 4 | 102 | 3,91 | 1020 | 0,07 | 58,65 |
| 7,2 | 3 | 5 | | 4,04 | | 0,13 | 30,30 |
| 7,4 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 7,6 | 3 | 4 | | 4,04 | | 0,07 | 60,60 |
| 7,8 | 3 | 4 | | 4,04 | | 0,07 | 60,60 |
| 8,00 | 2 | 4 | 78 | 3,04 | 780 | 0,13 | 22,80 |
| 8,2 | 3 | 4 | | 4,17 | | 0,07 | 62,55 |
| 8,4 | 3 | 5 | | 4,17 | | 0,13 | 31,28 |
| 8,6 | 3 | 4 | | 4,17 | | 0,07 | 62,55 |
| 8,8 | 3 | 5 | | 4,17 | | 0,13 | 31,28 |
| 9,00 | 2 | 4 | 68 | 3,17 | 680 | 0,13 | 23,78 |
| 9,2 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |
| 9,4 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |
| 9,6 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |
| 9,8 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |

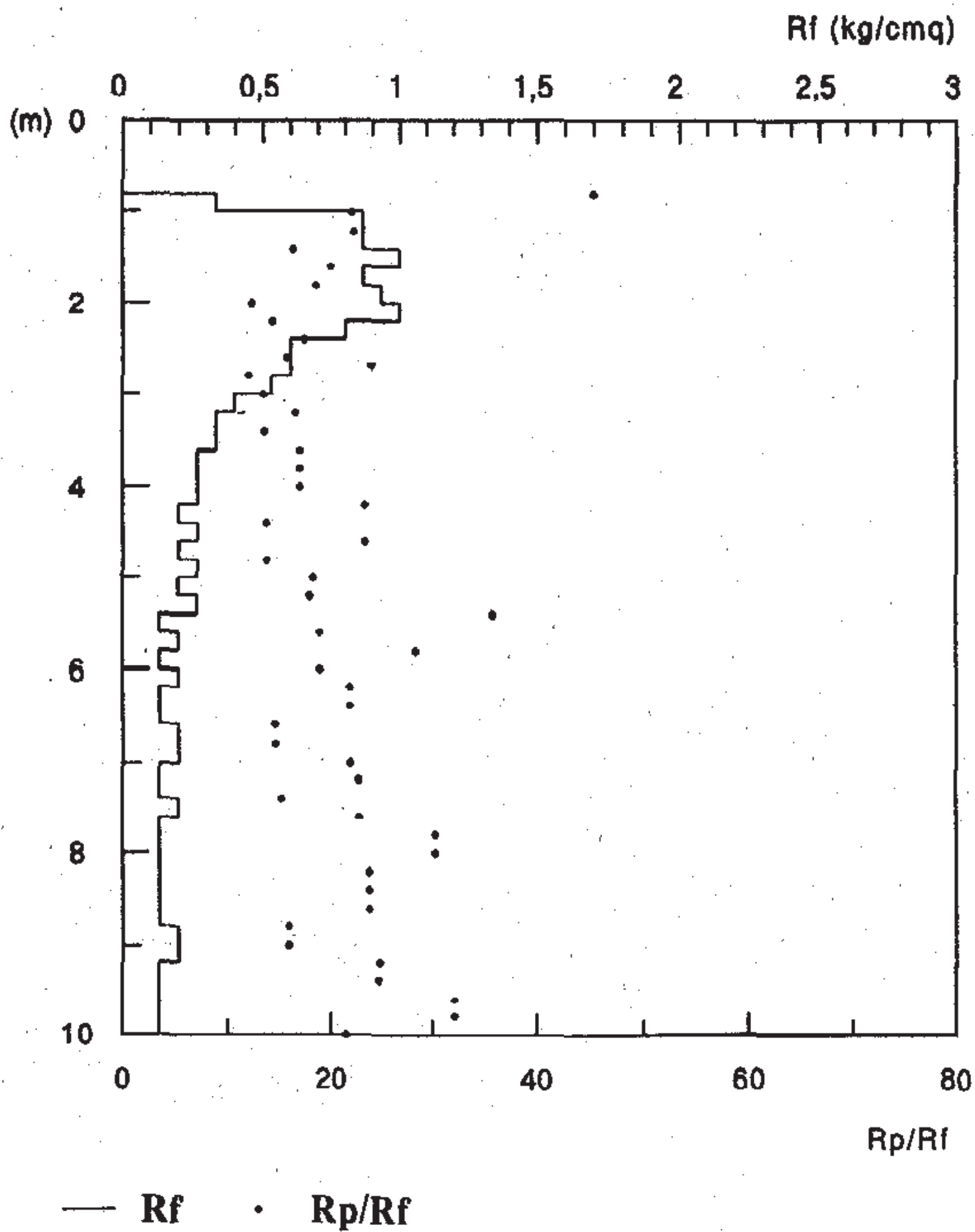
| | | | | | | | |
|------|----|----|----|-------|-----|------|-------|
| 10,0 | 3 | 5 | 68 | 4,30 | 680 | 0,13 | 32,25 |
| 10,2 | 3 | 5 | | 4,43 | | 0,13 | 33,23 |
| 10,4 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 10,6 | 4 | 6 | | 5,43 | | 0,13 | 40,73 |
| 10,8 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 11,0 | 3 | 6 | 72 | 4,43 | 720 | 0,20 | 22,15 |
| 11,2 | 4 | 6 | | 5,56 | | 0,13 | 41,70 |
| 11,4 | 3 | 6 | | 4,56 | | 0,20 | 22,80 |
| 11,6 | 4 | 7 | | 5,56 | | 0,20 | 27,80 |
| 11,8 | 4 | 7 | | 5,56 | | 0,20 | 27,80 |
| 12,0 | 4 | 7 | 77 | 5,56 | 770 | 0,20 | 27,80 |
| 12,2 | 4 | 7 | | 5,69 | | 0,20 | 28,45 |
| 12,4 | 4 | 7 | | 5,69 | | 0,20 | 28,45 |
| 12,6 | 4 | 8 | | 5,69 | | 0,27 | 21,34 |
| 12,8 | 10 | 12 | | 11,69 | | 0,13 | 87,68 |
| 13,0 | 4 | 7 | 82 | 5,69 | 820 | 0,20 | 28,45 |
| 13,2 | 3 | 5 | | 4,82 | | 0,13 | 36,15 |
| 13,4 | 3 | 6 | | 4,82 | | 0,20 | 24,10 |
| 13,6 | 5 | 8 | | 6,82 | | 0,20 | 34,10 |
| 13,8 | 9 | 18 | | 10,82 | | 0,60 | 18,03 |
| 14,0 | 9 | 20 | 90 | 10,82 | 900 | 0,73 | 14,75 |





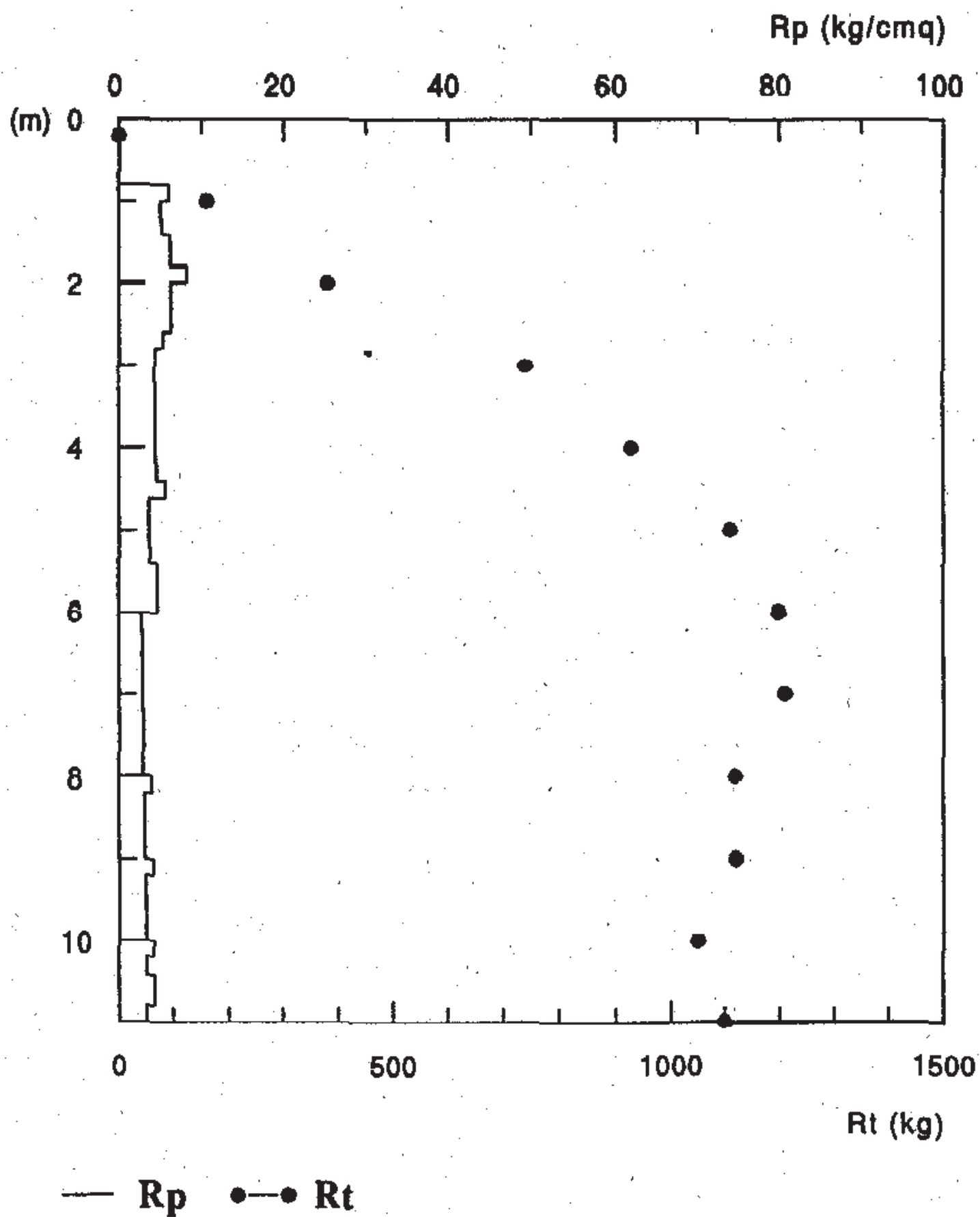
| metri | lett. punta | lat | tot. | Rp-kg/cmq | Rt - kg | Rf-kg/cmq | Rp/Rf |
|-------|-------------|-----|------|-----------|---------|-----------|-------|
| 0,4 | 0 | 0 | | 0,13 | | 0,00 | ERR |
| 0,6 | 0 | 0 | | 0,13 | | 0,00 | ERR |
| 0,8 | 15 | 20 | | 15,13 | | 0,33 | 45,39 |
| 1,00 | 19 | 32 | 23 | 19,13 | 230 | 0,87 | 22,07 |
| 1,2 | 19 | 32 | | 19,26 | | 0,87 | 22,22 |
| 1,4 | 16 | 31 | | 16,26 | | 1,00 | 16,26 |
| 1,6 | 17 | 30 | | 17,26 | | 0,87 | 19,92 |
| 1,8 | 17 | 31 | | 17,26 | | 0,93 | 18,49 |
| 2,00 | 12 | 27 | 11 | 12,26 | 110 | 1,00 | 12,26 |
| 2,2 | 11 | 23 | | 11,39 | | 0,80 | 14,24 |
| 2,4 | 10 | 19 | | 10,39 | | 0,60 | 17,32 |
| 2,6 | 9 | 18 | | 9,39 | | 0,60 | 15,65 |
| 2,8 | 6 | 14 | | 6,39 | | 0,53 | 11,98 |
| 3,00 | 5 | 11 | 36 | 5,39 | 360 | 0,40 | 13,47 |
| 3,2 | 5 | 10 | | 5,52 | | 0,33 | 16,56 |
| 3,4 | 4 | 9 | | 4,52 | | 0,33 | 13,56 |
| 3,6 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 3,8 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 4,00 | 4 | 8 | 38 | 4,52 | 380 | 0,27 | 16,95 |
| 4,2 | 4 | 7 | | 4,65 | | 0,20 | 23,25 |
| 4,4 | 3 | 7 | | 3,65 | | 0,27 | 13,69 |
| 4,6 | 4 | 7 | | 4,65 | | 0,20 | 23,25 |
| 4,8 | 3 | 7 | | 3,65 | | 0,27 | 13,69 |
| 5,00 | 3 | 6 | 97 | 3,65 | 970 | 0,20 | 18,25 |
| 5,2 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 5,4 | 4 | 6 | | 4,78 | | 0,13 | 35,85 |
| 5,6 | 3 | 6 | | 3,78 | | 0,20 | 18,90 |
| 5,8 | 3 | 5 | | 3,78 | | 0,13 | 28,35 |
| 6,00 | 3 | 6 | 121 | 3,78 | 1210 | 0,20 | 18,90 |
| 6,2 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,4 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,6 | 2 | 5 | | 2,91 | | 0,20 | 14,55 |
| 6,8 | 2 | 5 | | 2,91 | | 0,20 | 14,55 |
| 7,00 | 2 | 4 | 165 | 2,91 | 1650 | 0,13 | 21,83 |
| 7,2 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 7,4 | 2 | 5 | | 3,04 | | 0,20 | 15,20 |
| 7,6 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 7,8 | 3 | 5 | | 4,04 | | 0,13 | 30,30 |
| 8,00 | 3 | 5 | 165 | 4,04 | 1650 | 0,13 | 30,30 |
| 8,2 | 2 | 4 | | 3,17 | | 0,13 | 23,78 |
| 8,4 | 2 | 4 | | 3,17 | | 0,13 | 23,78 |
| 8,6 | 2 | 4 | | 3,17 | | 0,13 | 23,78 |
| 8,8 | 2 | 5 | | 3,17 | | 0,20 | 15,85 |
| 9,00 | 2 | 5 | 180 | 3,17 | 1800 | 0,20 | 15,85 |
| 9,2 | 2 | 4 | | 3,30 | | 0,13 | 24,75 |
| 9,4 | 2 | 4 | | 3,30 | | 0,13 | 24,75 |
| 9,6 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |
| 9,8 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |
| 10,0 | 3 | 6 | 198 | 4,30 | 1980 | 0 | 21,50 |

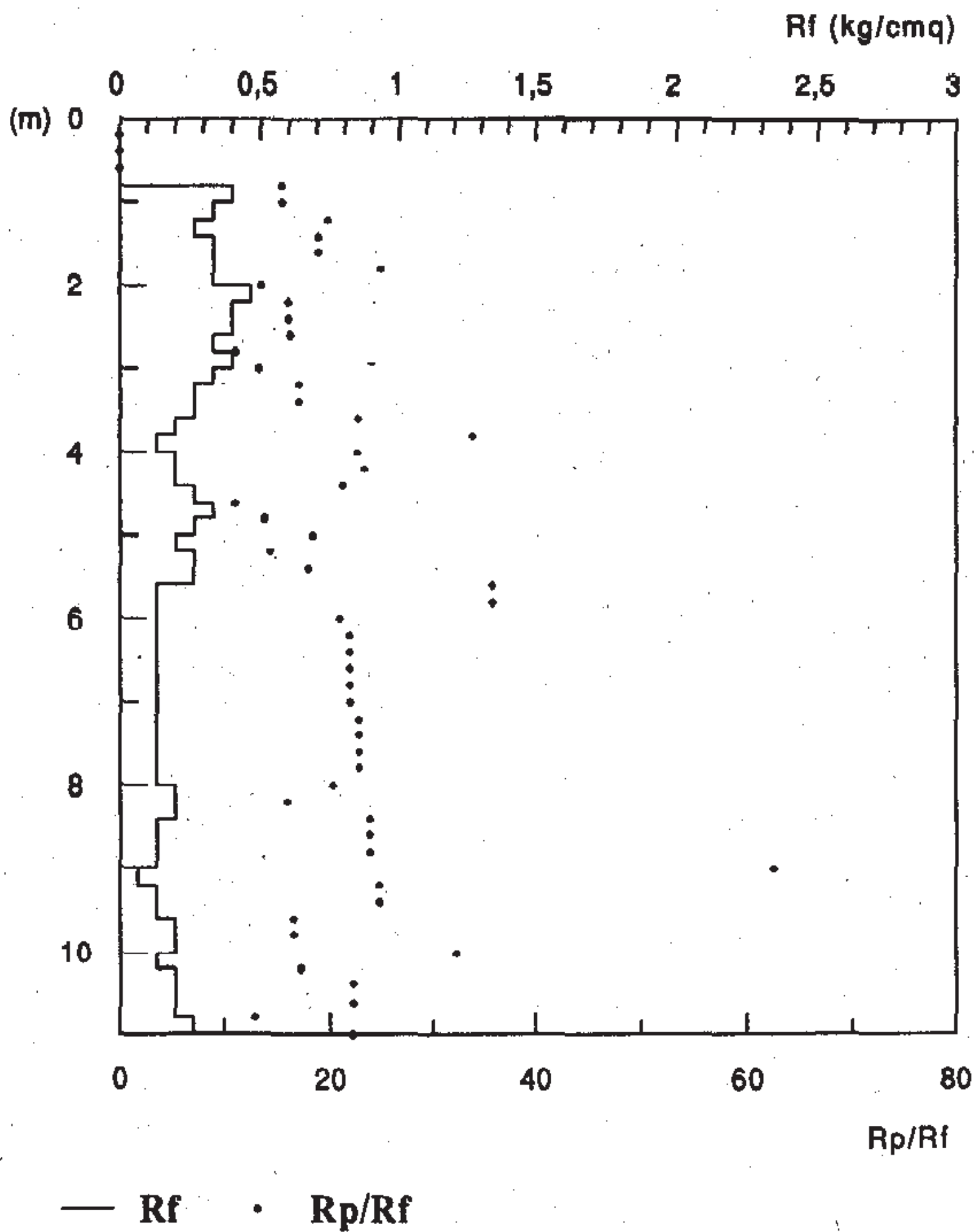




| metri | lett: punta | lat | tot. | Rp-kg/cmq | Rt - kg | Rf-kg/cmq | Rp/Rf |
|-------|-------------|-----|------|-----------|---------|-----------|-------|
| 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0,4 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,6 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,8 | 6 | 12 | | 6,13 | | 0,40 | 15,33 |
| 1,00 | 5 | 10 | 16 | 5,13 | 160 | 0,33 | 15,39 |
| 1,2 | 5 | 9 | | 5,26 | | 0,27 | 19,73 |
| 1,4 | 6 | 11 | | 6,26 | | 0,33 | 18,78 |
| 1,6 | 6 | 11 | | 6,26 | | 0,33 | 18,78 |
| 1,8 | 8 | 13 | | 8,26 | | 0,33 | 24,78 |
| 2,00 | 6 | 13 | 38 | 6,26 | 380 | 0,47 | 13,41 |
| 2,2 | 6 | 12 | | 6,39 | | 0,40 | 15,97 |
| 2,4 | 6 | 12 | | 6,39 | | 0,40 | 15,97 |
| 2,6 | 5 | 10 | | 5,39 | | 0,33 | 16,17 |
| 2,8 | 4 | 10 | | 4,39 | | 0,40 | 10,97 |
| 3,00 | 4 | 9 | 74 | 4,39 | 740 | 0,33 | 13,17 |
| 3,2 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 3,4 | 4 | 8 | | 4,52 | | 0,27 | 16,95 |
| 3,6 | 4 | 7 | | 4,52 | | 0,20 | 22,60 |
| 3,8 | 4 | 6 | | 4,52 | | 0,13 | 33,90 |
| 4,00 | 4 | 7 | 93 | 4,52 | 930 | 0,20 | 22,60 |
| 4,2 | 4 | 7 | | 4,65 | | 0,20 | 23,25 |
| 4,4 | 5 | 9 | | 5,65 | | 0,27 | 21,19 |
| 4,6 | 3 | 8 | | 3,65 | | 0,33 | 10,95 |
| 4,8 | 3 | 7 | | 3,65 | | 0,27 | 13,69 |
| 5,00 | 3 | 6 | 111 | 3,65 | 1110 | 0,20 | 18,25 |
| 5,2 | 3 | 7 | | 3,78 | | 0,27 | 14,18 |
| 5,4 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 5,6 | 4 | 6 | | 4,78 | | 0,13 | 35,85 |
| 5,8 | 4 | 6 | | 4,78 | | 0,13 | 35,85 |
| 6,00 | 2 | 4 | 120 | 2,78 | 1200 | 0,13 | 20,85 |
| 6,2 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,4 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,6 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,8 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 7,00 | 2 | 4 | 121 | 2,91 | 1210 | 0,13 | 21,83 |
| 7,2 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 7,4 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 7,6 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 7,8 | 2 | 4 | | 3,04 | | 0,13 | 22,80 |
| 8,00 | 3 | 6 | 112 | 4,04 | 1120 | 0,20 | 20,20 |
| 8,2 | 2 | 5 | | 3,17 | | 0,20 | 15,85 |
| 8,4 | 2 | 4 | | 3,17 | | 0,13 | 23,78 |
| 8,6 | 2 | 4 | | 3,17 | | 0,13 | 23,78 |
| 8,8 | 2 | 4 | | 3,17 | | 0,13 | 23,78 |
| 9,00 | 3 | 4 | 112 | 4,17 | 1120 | 0,07 | 62,55 |
| 9,2 | 2 | 4 | | 3,30 | | 0,13 | 24,75 |
| 9,4 | 2 | 4 | | 3,30 | | 0,13 | 24,75 |
| 9,6 | 2 | 5 | | 3,30 | | 0,20 | 16,50 |
| 9,8 | 2 | 5 | | 3,30 | | 0,20 | 16,50 |

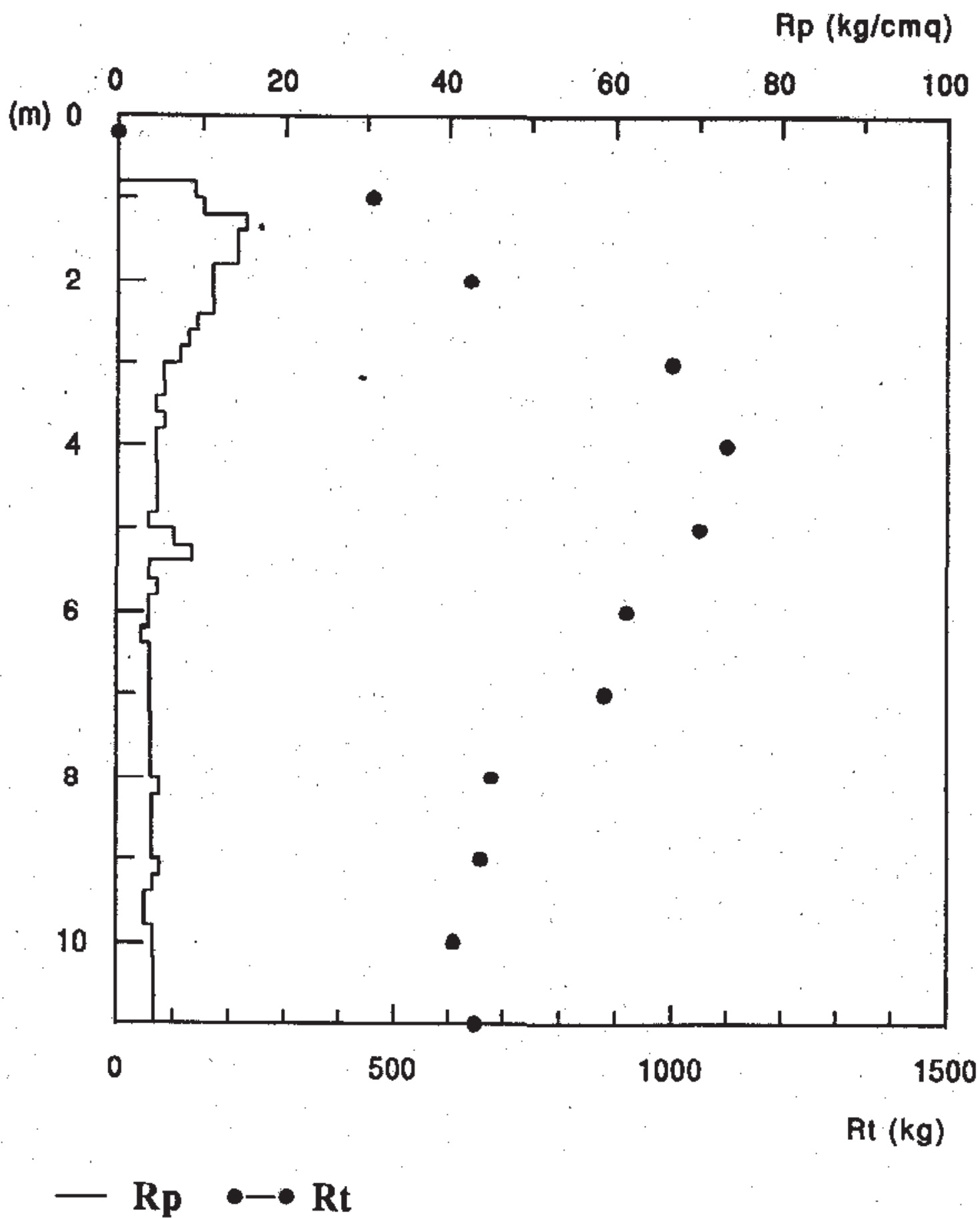
| | | | | | | | |
|------|---|---|-----|------|------|------|-------|
| 10,0 | 3 | 5 | 105 | 4,30 | 1050 | 0,13 | 32,25 |
| 10,2 | 2 | 5 | | 3,43 | | 0,20 | 17,15 |
| 10,4 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 10,6 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 10,8 | 2 | 6 | | 3,43 | | 0,27 | 12,86 |
| 11,0 | 3 | 6 | 110 | 4,43 | 1100 | 0,20 | 22,15 |

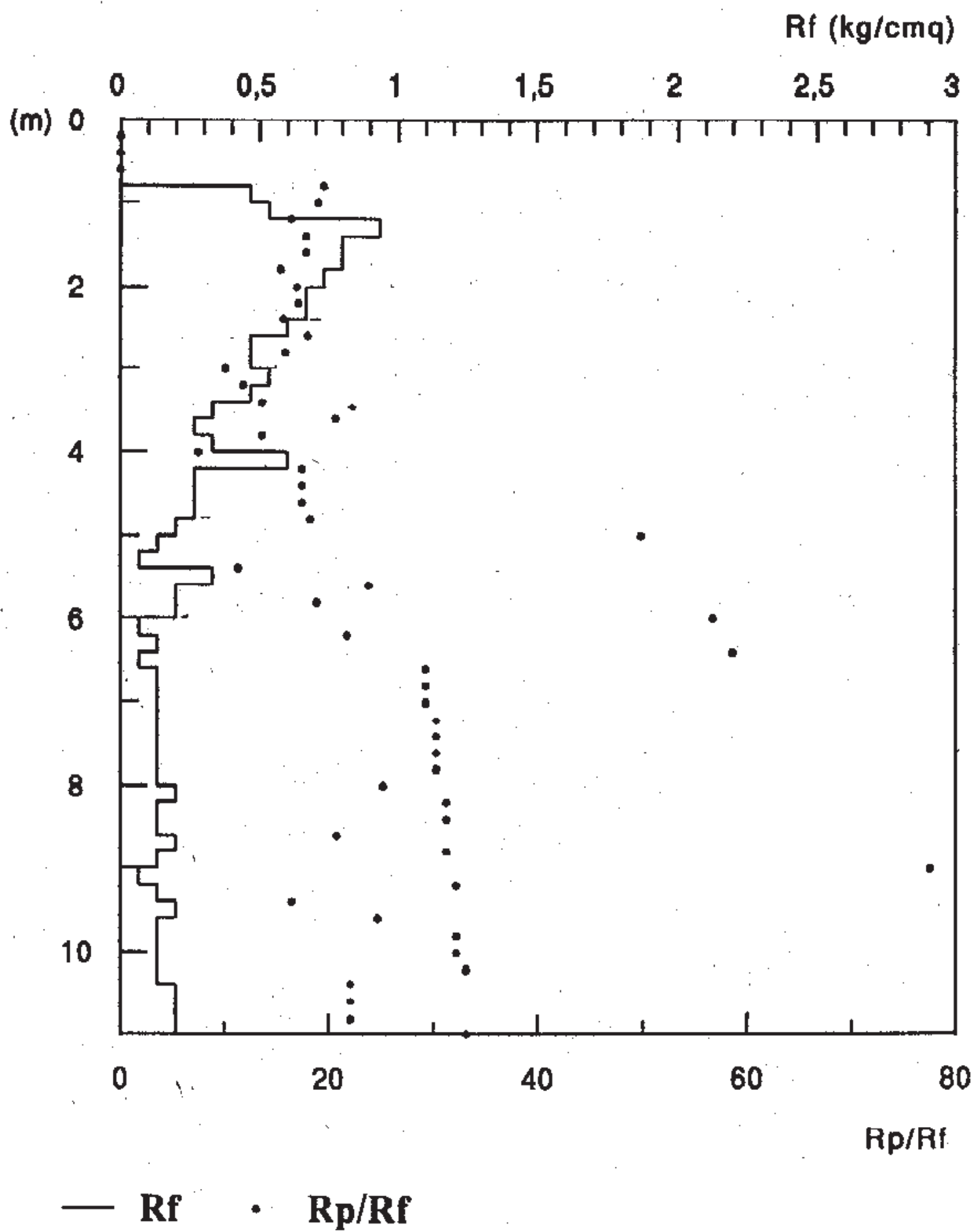




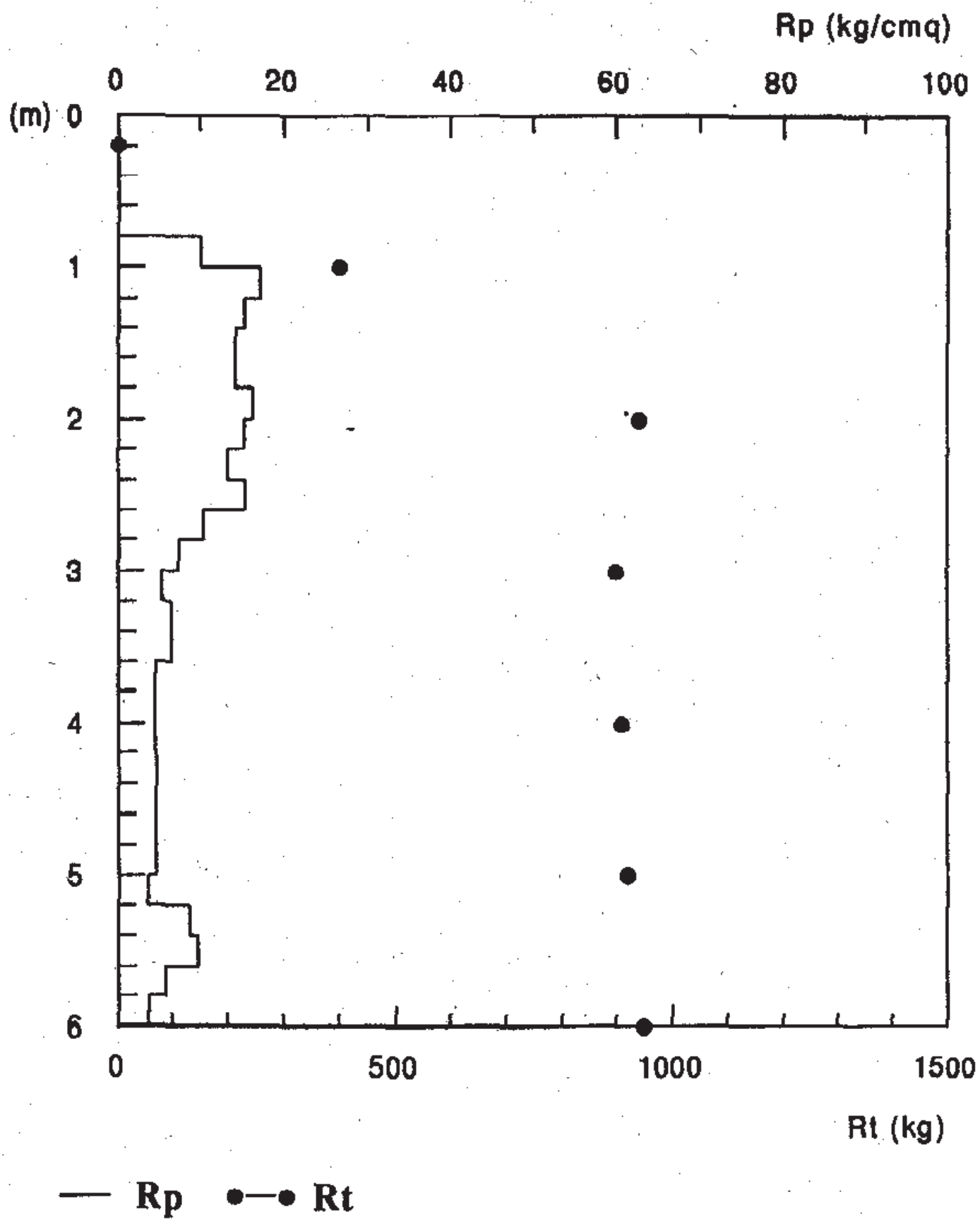
| metri | lett: punta | lat | tot. | Rp-kg/cmq | Rt - kg | Rf-kg/cmq | Rp/Rf |
|-------|-------------|-----|------|-----------|---------|-----------|--------|
| 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0,4 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,6 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,8 | 9 | 16 | | 9,13 | | 0,47 | 19,56 |
| 1,00 | 10 | 18 | 46 | 10,13 | 460 | 0,53 | 18,99 |
| 1,2 | 15 | 29 | | 15,26 | | 0,93 | 16,35 |
| 1,4 | 14 | 26 | | 14,26 | | 0,80 | 17,83 |
| 1,6 | 14 | 26 | | 14,26 | | 0,80 | 17,83 |
| 1,8 | 11 | 22 | | 11,26 | | 0,73 | 15,35 |
| 2,00 | 11 | 21 | 64 | 11,26 | 640 | 0,67 | 16,89 |
| 2,2 | 11 | 21 | | 11,39 | | 0,67 | 17,09 |
| 2,4 | 9 | 18 | | 9,39 | | 0,60 | 15,65 |
| 2,6 | 8 | 15 | | 8,39 | | 0,47 | 17,98 |
| 2,8 | 7 | 14 | | 7,39 | | 0,47 | 15,84 |
| 3,00 | 5 | 13 | 100 | 5,39 | 1000 | 0,53 | 10,11 |
| 3,2 | 5 | 12 | | 5,52 | | 0,47 | 11,83 |
| 3,4 | 4 | 9 | | 4,52 | | 0,33 | 13,56 |
| 3,6 | 5 | 9 | | 5,52 | | 0,27 | 20,70 |
| 3,8 | 4 | 9 | | 4,52 | | 0,33 | 13,56 |
| 4,00 | 4 | 13 | 110 | 4,52 | 1100 | 0,60 | 7,53 |
| 4,2 | 4 | 8 | | 4,65 | | 0,27 | 17,44 |
| 4,4 | 4 | 8 | | 4,65 | | 0,27 | 17,44 |
| 4,6 | 4 | 8 | | 4,65 | | 0,27 | 17,44 |
| 4,8 | 3 | 6 | | 3,65 | | 0,20 | 18,25 |
| 5,00 | 6 | 8 | 105 | 6,65 | 1050 | 0,13 | 49,88 |
| 5,2 | 8 | 9 | | 8,78 | | 0,07 | 131,70 |
| 5,4 | 3 | 8 | | 3,78 | | 0,33 | 11,34 |
| 5,6 | 4 | 7 | | 4,78 | | 0,20 | 23,90 |
| 5,8 | 3 | 6 | | 3,78 | | 0,20 | 18,90 |
| 6,00 | 3 | 4 | 92 | 3,78 | 920 | 0,07 | 56,70 |
| 6,2 | 2 | 4 | | 2,91 | | 0,13 | 21,83 |
| 6,4 | 3 | 4 | | 3,91 | | 0,07 | 58,65 |
| 6,6 | 3 | 5 | | 3,91 | | 0,13 | 29,33 |
| 6,8 | 3 | 5 | | 3,91 | | 0,13 | 29,33 |
| 7,00 | 3 | 5 | 88 | 3,91 | 880 | 0,13 | 29,33 |
| 7,2 | 3 | 5 | | 4,04 | | 0,13 | 30,30 |
| 7,4 | 3 | 5 | | 4,04 | | 0,13 | 30,30 |
| 7,6 | 3 | 5 | | 4,04 | | 0,13 | 30,30 |
| 7,8 | 3 | 5 | | 4,04 | | 0,13 | 30,30 |
| 8,00 | 4 | 7 | 68 | 5,04 | 680 | 0,20 | 25,20 |
| 8,2 | 3 | 5 | | 4,17 | | 0,13 | 31,28 |
| 8,4 | 3 | 5 | 474 | 4,17 | | 0,13 | 31,28 |
| 8,6 | 3 | 6 | | 4,17 | | 0,20 | 20,85 |
| 8,8 | 3 | 5 | | 4,17 | | 0,13 | 31,28 |
| 9,00 | 4 | 5 | 66 | 5,17 | 660 | 0,07 | 77,55 |
| 9,2 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |
| 9,4 | 2 | 5 | | 3,30 | | 0,20 | 16,50 |
| 9,6 | 2 | 4 | | 3,30 | | 0,13 | 24,75 |
| 9,8 | 3 | 5 | | 4,30 | | 0,13 | 32,25 |

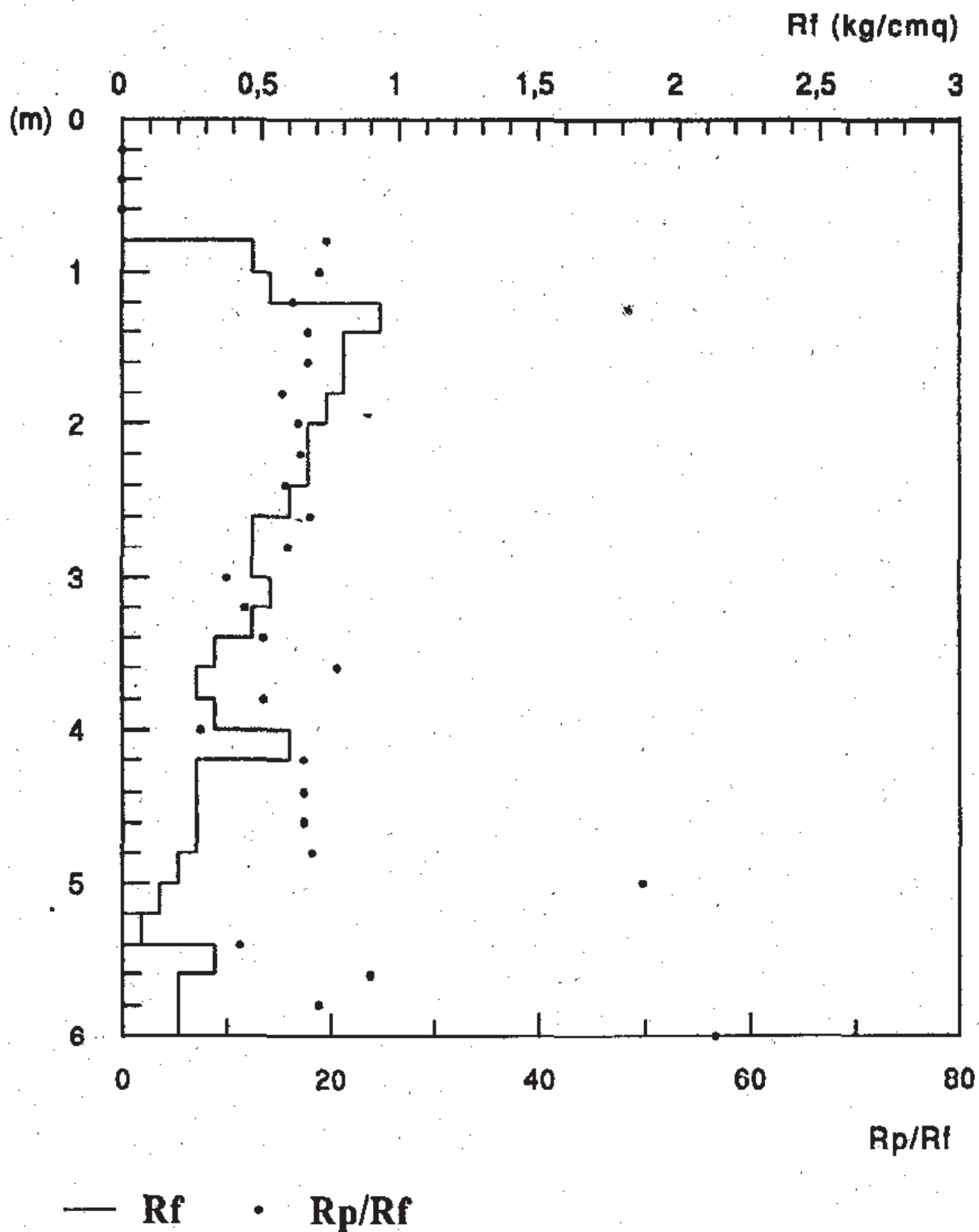
| | | | | | | | |
|------|---|---|----|------|-----|------|-------|
| 10,0 | 3 | 5 | 61 | 4,30 | 610 | 0,13 | 32,25 |
| 10,2 | 3 | 5 | | 4,43 | | 0,13 | 33,23 |
| 10,4 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 10,6 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 10,8 | 3 | 6 | | 4,43 | | 0,20 | 22,15 |
| 11,0 | 3 | 5 | 65 | 4,43 | 650 | 0,13 | 33,23 |



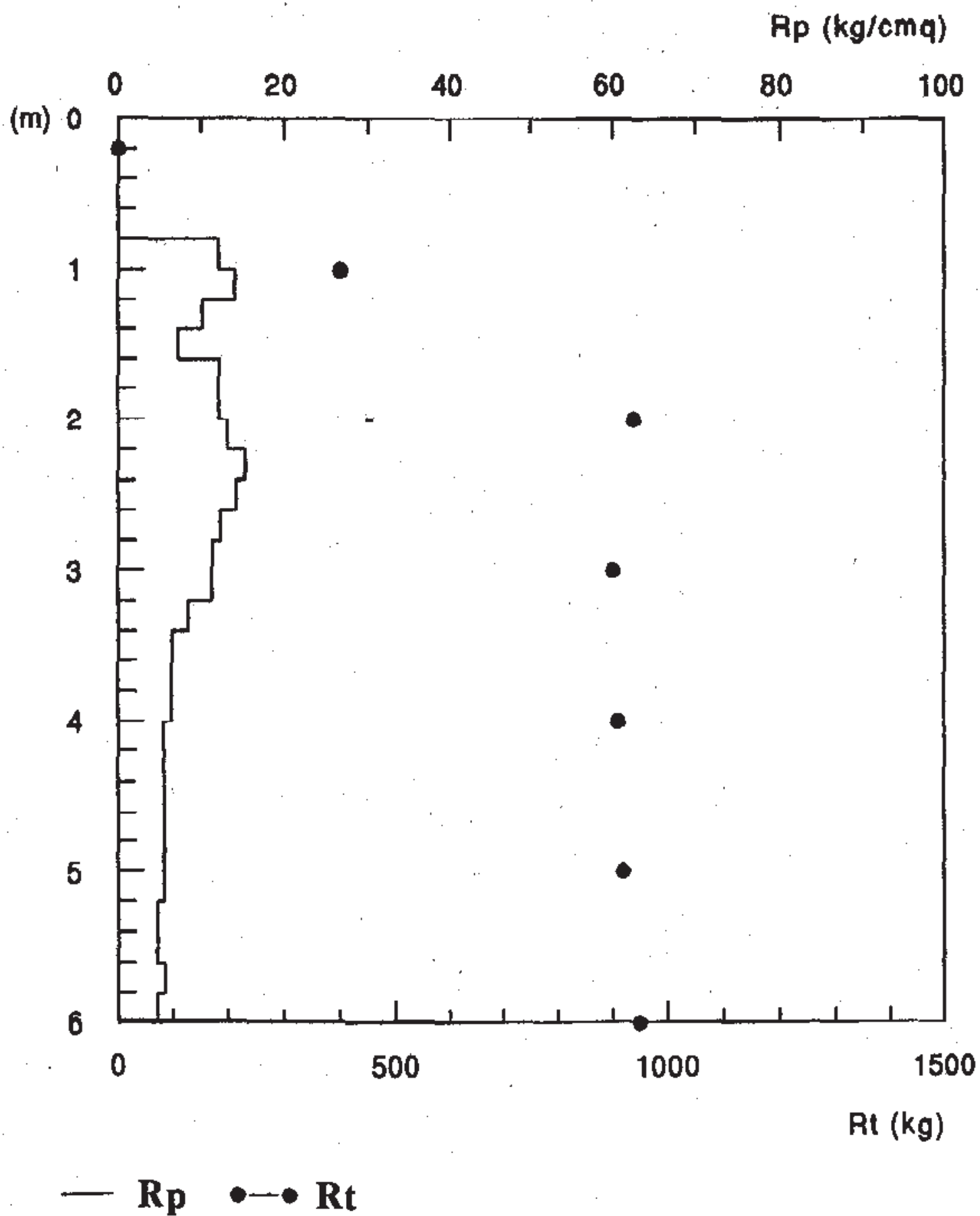


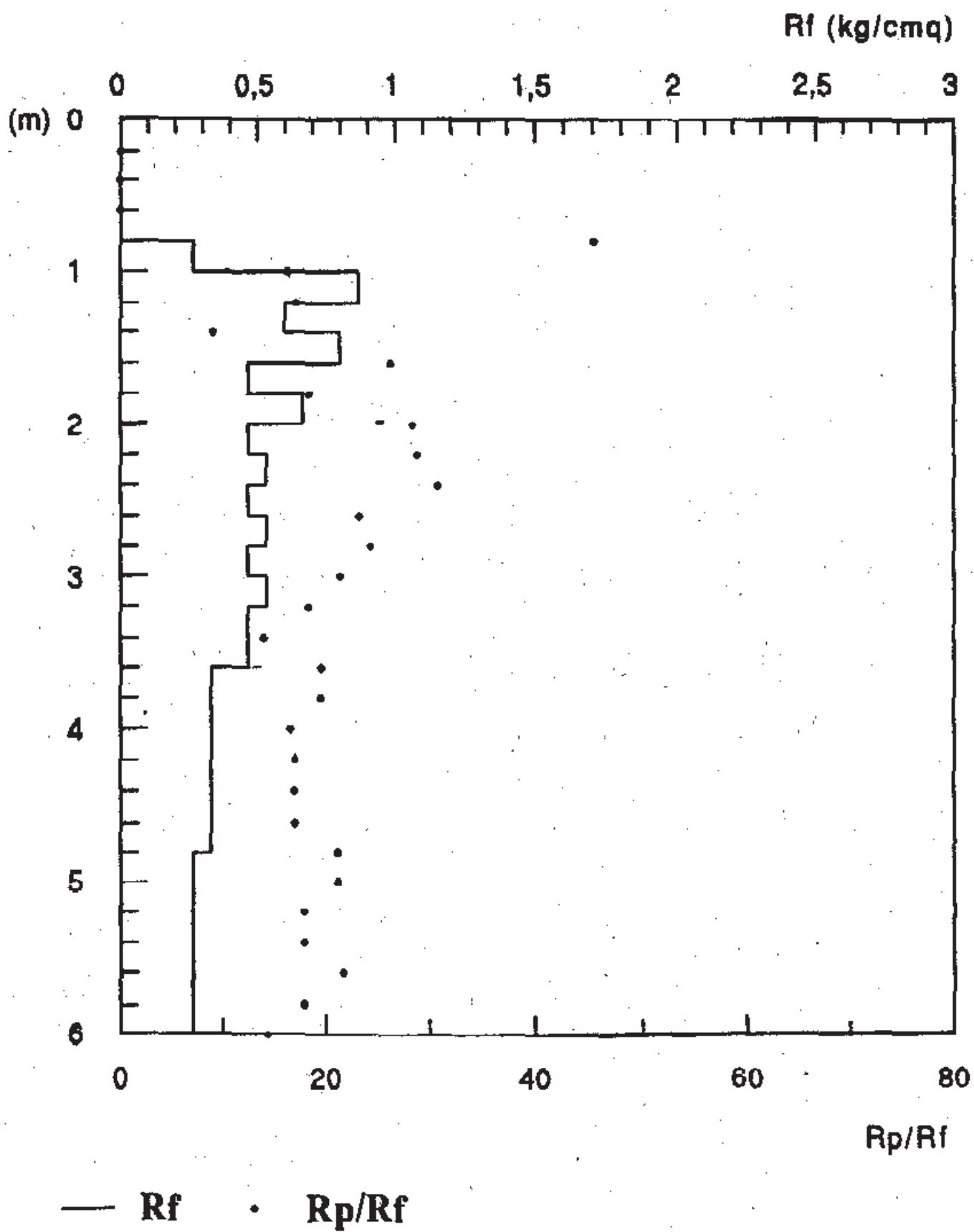
| metri | lett: punta | lat | tot. | Rp-kg/cmq | Rt - kg | Rf-kg/cmq | Rp/Rf |
|-------|-------------|-----|------|-----------|---------|-----------|-------|
| 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0,4 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,6 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,8 | 10 | 15 | | 10,13 | | 0,33 | 30,39 |
| 1,00 | 17 | 32 | 40 | 17,13 | 400 | 1,00 | 17,13 |
| 1,2 | 15 | 31 | | 15,26 | | 1,07 | 14,31 |
| 1,4 | 14 | 25 | | 14,26 | | 0,73 | 19,45 |
| 1,6 | 14 | 24 | | 14,26 | | 0,67 | 21,39 |
| 1,8 | 16 | 31 | | 16,26 | | 1,00 | 16,26 |
| 2,00 | 15 | 30 | 94 | 15,26 | 940 | 1,00 | 15,26 |
| 2,2 | 13 | 28 | | 13,39 | | 1,00 | 13,39 |
| 2,4 | 15 | 30 | | 15,39 | | 1,00 | 15,39 |
| 2,6 | 10 | 20 | | 10,39 | | 0,67 | 15,59 |
| 2,8 | 7 | 18 | | 7,39 | | 0,73 | 10,08 |
| 3,00 | 5 | 14 | 90 | 5,39 | 900 | 0,60 | 8,98 |
| 3,2 | 6 | 13 | | 6,52 | | 0,47 | 13,97 |
| 3,4 | 6 | 13 | | 6,52 | | 0,47 | 13,97 |
| 3,6 | 4 | 10 | | 4,52 | | 0,40 | 11,30 |
| 3,8 | 4 | 9 | | 4,52 | | 0,33 | 13,56 |
| 4,00 | 4 | 8 | 91 | 4,52 | 910 | 0,27 | 16,95 |
| 4,2 | 4 | 9 | | 4,65 | | 0,33 | 13,95 |
| 4,4 | 4 | 9 | | 4,65 | | 0,33 | 13,95 |
| 4,6 | 4 | 9 | | 4,65 | | 0,33 | 13,95 |
| 4,8 | 4 | 8 | | 4,65 | | 0,27 | 17,44 |
| 5,00 | 3 | 8 | 92 | 3,65 | 920 | 0,33 | 10,95 |
| 5,2 | 8 | 17 | | 8,78 | | 0,60 | 14,63 |
| 5,4 | 9 | 16 | | 9,78 | | 0,47 | 20,96 |
| 5,6 | 5 | 9 | | 5,78 | | 0,27 | 21,68 |
| 5,8 | 3 | 6 | | 3,78 | | 0,20 | 18,90 |
| 6,00 | 3 | 7 | 95 | 3,78 | 950 | 0,27 | 14,18 |





| metri | lett: punta | lat | tot. | Rp-kg/cmq | Rt - kg | Rf-kg/cmq | Rp/Rf |
|-------|-------------|-----|------|-----------|---------|-----------|-------|
| 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0,4 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,6 | 0 | 0 | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 |
| 0,8 | 12 | 16 | | 12,13 | | 0,27 | 45,49 |
| 1,00 | 14 | 27 | 35 | 14,13 | 350 | 0,87 | 16,30 |
| 1,2 | 10 | 19 | | 10,26 | | 0,60 | 17,10 |
| 1,4 | 7 | 19 | | 7,26 | | 0,80 | 9,08 |
| 1,6 | 12 | 19 | | 12,26 | | 0,47 | 26,27 |
| 1,8 | 12 | 22 | | 12,26 | | 0,67 | 18,39 |
| 2,00 | 13 | 20 | 80 | 13,26 | 800 | 0,47 | 28,41 |
| 2,2 | 15 | 23 | | 15,39 | | 0,53 | 28,86 |
| 2,4 | 14 | 21 | | 14,39 | | 0,47 | 30,84 |
| 2,6 | 12 | 20 | | 12,39 | | 0,53 | 23,23 |
| 2,8 | 11 | 18 | | 11,39 | | 0,47 | 24,41 |
| 3,00 | 11 | 19 | 124 | 11,39 | 1240 | 0,53 | 21,36 |
| 3,2 | 8 | 15 | | 8,52 | | 0,47 | 18,26 |
| 3,4 | 6 | 13 | | 6,52 | | 0,47 | 13,97 |
| 3,6 | 6 | 11 | | 6,52 | | 0,33 | 19,56 |
| 3,8 | 6 | 11 | | 6,52 | | 0,33 | 19,56 |
| 4,00 | 5 | 10 | 143 | 5,52 | 1430 | 0,33 | 16,56 |
| 4,2 | 5 | 10 | | 5,65 | | 0,33 | 16,95 |
| 4,4 | 5 | 10 | | 5,65 | | 0,33 | 16,95 |
| 4,6 | 5 | 10 | | 5,65 | | 0,33 | 16,95 |
| 4,8 | 5 | 9 | | 5,65 | | 0,27 | 21,19 |
| 5,00 | 5 | 9 | 150 | 5,65 | 1500 | 0,27 | 21,19 |
| 5,2 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 5,4 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 5,6 | 5 | 9 | | 5,78 | | 0,27 | 21,68 |
| 5,8 | 4 | 8 | | 4,78 | | 0,27 | 17,93 |
| 6,00 | 4 | 9 | 145 | 4,78 | 1450 | 0,33 | 14,34 |





PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di n. 1 indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, in loc. Montacchiello, nel comune di Pisa (PI)

Le indagini MASW sono state effettuate per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VS30, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 2018).

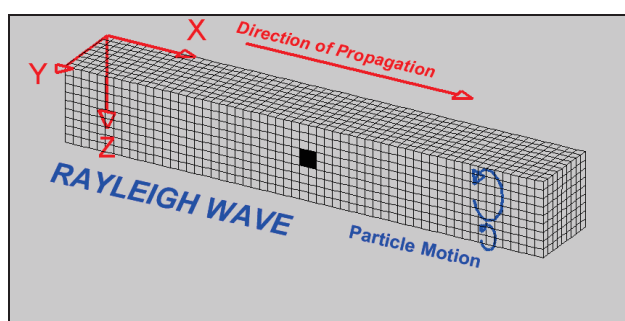
L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

E' stato possibile, per ottimizzare l'interpretazione, riferirsi al locale assetto geolitologico.

GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in Onde di corpo e onde di superficie. Fra queste ultime si hanno le onde di Rayleigh, le onde di Love e le onde di Lamb.

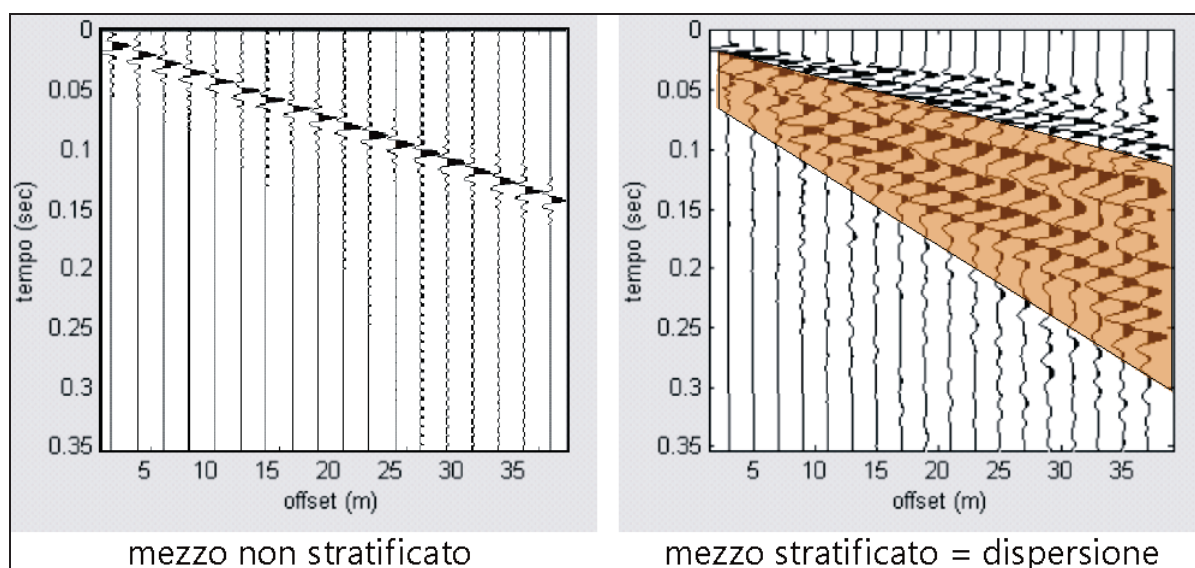
Le onde di Rayleigh, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.



Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$. L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

L'energia convertita in onde di Rayleigh è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di r , e non con r come avviene per le onde di corpo. Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè *dispersione*, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di $\lambda/2$ circa.



Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la V_s è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione.

Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona λ max, e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli “algoritmi genetici”, il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana.

E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una “modellazione diretta” di ausilio a un corretto “picking” della curva di dispersione.

ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO* “ECHO 12-24/2002 *Sismic Unit*”, avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB
- . distorsion: 0,01%
- . sampler:
 - 25 msec (191 punti)
 - 50 msec (383 punti)
 - 100 msec (756 punti)
 - 200 msec (1530 punti)
 - 400 msec (3060 punti)
 - 1000 msec (7560 punti)
- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è “ECHO 12-24” vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 1 cavo sismico a 24 takes out spaziatati a 2 m, con connettori *cannon*, montati su rullo, geofoni “Geospace”

a 4,5 Hz, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per i profili MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche, in particolare:

- n. geofoni: 12
- spaziatura fra i geofoni: 3 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando esclusivamente la mazza di battuta, a distanze di 9.0, 10.0 e 12.0 metri dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione: 1.000 msec.

I profili sono da considerare orizzontali, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine dei centimetri).

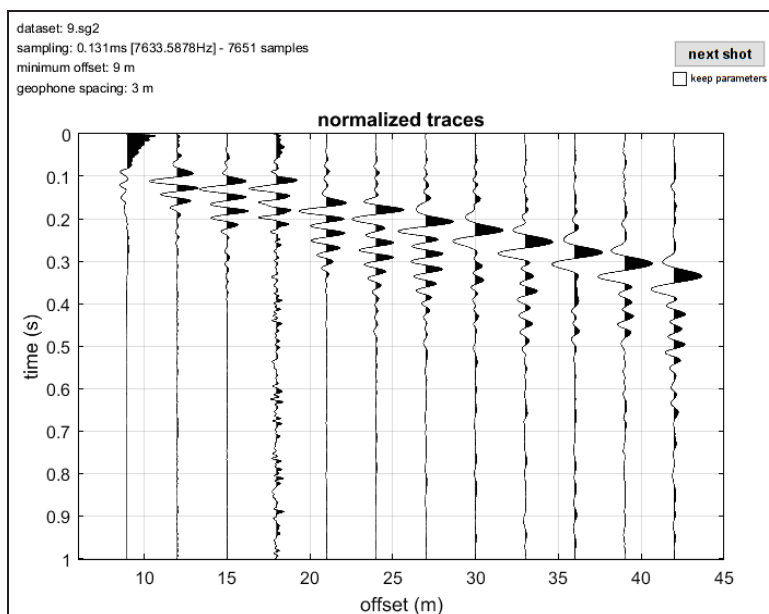
INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per il processo di interpretazione è stato utilizzata la curva di dispersione relativa allo "shot" posto a un offset di 9,0 m dalla linea geofonica.

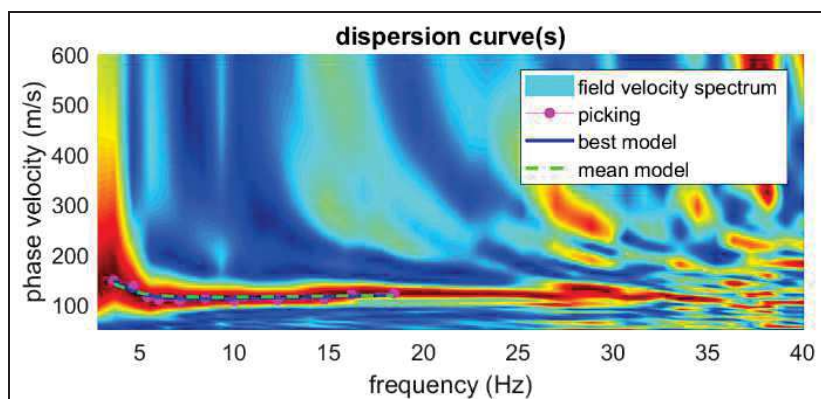
Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

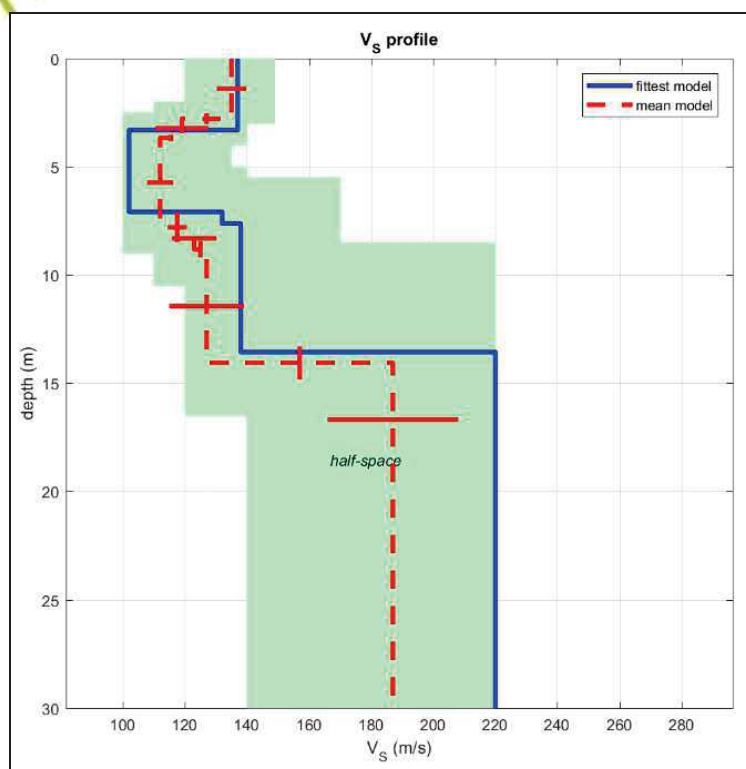
Come già accennato, per dare uno spazio di ricerca significativo al processo di inversione, ci si è basati anche su dati del contesto geolitologico locale.

La rappresentazione del file dei dati acquisiti (“common-shot gather” – segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000 msec) è la seguente:



Quello che segue è lo *spettro di velocità* (velocità di fase in funzione della frequenza), con relativo picking della curva di dispersione delle onde di superficie, cioè la determinazione dei punti che si ritengono appartenere, in questo caso, al *modo fondamentale* di propagazione dell’onda superficiale di Rayleigh:





Sono stati perciò individuati 6 strati a diversa velocità V_{sh}, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

| strato | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V _{Sh} (m/sec) | 135 | 119 | 112 | 123 | 127 | 187 |
| Spessore(m) | 2.8 | 0.9 | 4.1 | 1.0 | 5.2 | |



Si rimanda alla valutazione del progettista circa la definizione della categoria di suolo di fondazione in funzione della tipologia e delle caratteristiche dell'opera prevista.

Allegati:

- Risultato elaborazione masw

Altopascio, maggio 2021

MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l.
Loc. Biagioni, 60 - 55010 SPIANATE (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
C.F. e P. IVA 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00

Mappo Geognostica

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60
55010 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
P.IVA 02019570460
www.mappogeognostica.it

ESECUZIONE DI N. 1 INDAGINE GEOFISICA MASW ESEGUITA IN LOC. MONTACCHIELLO NEL COMUNE DI PISA (PI)

==o== SECTION#1

dataset: 9.sg2

sampling (ms): 0.131

minimum offset (m): 9

geophone spacing (m): 3

Dispersion curve: 9pick.cdp

Number of individuals: 32

Number of generations: 33

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 120 110 100 110 120 140

Adopted search space (maximum Vs): 149 140 135 140 170 220

Adopted search space (minimum Poisson): 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2

Adopted search space (maximum Poisson): 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499

SECTION#2

Rayleigh-wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -3.1679 -2.5511

Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -3.0946 -2.5139

Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -3.1535 -2.5139

Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -2.9858 -2.471

Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -2.9882 -2.471

Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -3.3267 -2.4304

Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -3.1817 -2.4304

Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -3.0802 -2.4276

Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -3.3688 -2.4231

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 137 137 102 132 138 220

Thickness (m): 2.5 0.81 3.8 0.54 5.9

Number of models considered to calculate the average model: 1077

#####

RESULTS winMASW Pro

#####

Dataset: 9.sg2

Analyzed curve/spectrum: 9pick.cdp

MEAN MODEL

Vs (m/s): 135 119 112 123 127 187

Standard deviations (m/s): 5 8 4 7 12 21

Thickness (m): 2.8 0.9 4.1 1.0 5.2

Standard deviations (m): 0.3 0.2 0.7 0.4 0.8

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 361 245 218 296 306 357

Density (gr/cm3): 1.81 1.71 1.69 1.76 1.77 1.81

Vp/Vs ratio: 2.67 2.06 1.95 2.41 2.41 1.91

Poisson: 0.42 0.35 0.32 0.40 0.40 0.31

Shear modulus (MPa): 33 24 21 27 29 63

Fundamental mode

Mean model

| f(Hz) | VR(m/s) |
|-------|---------|
|-------|---------|

| | |
|---------|----------|
| 3.62291 | 141.6303 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 4.68965 | 125.7699 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 5.43636 | 120.2244 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 6.02307 | 117.7566 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 7.14314 | 115.4034 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 8.47656 | 114.5308 |
|---------|----------|

| | |
|---------|---------|
| 10.0233 | 114.603 |
|---------|---------|

| | |
|---------|----------|
| 12.3168 | 115.4654 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 14.7703 | 116.6044 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 16.2104 | 117.2341 |
|---------|----------|

| | |
|---------|----------|
| 18.4506 | 118.0679 |
|---------|----------|

SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 137 137 102 132 138 220

thickness (m): 2.4942 0.80781 3.78 0.54032 5.9375

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 1774 240 174 444 230 363

Density (gr/cm3): 2.19 1.71 1.63 1.86 1.70 1.81

Vp/Vs ratio: 12.95 1.75 1.71 3.36 1.67 1.65

Poisson: 0.50 0.26 0.24 0.45 0.22 0.21

Shear modulus (MPa): 41 32 17 32 32 88

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)
best model

| F(Hz) | VR(m/s) |
|---------|----------|
| 3.62291 | 149.1446 |
| 4.68965 | 125.3346 |
| 5.43636 | 117.9492 |
| 6.02307 | 114.884 |
| 7.14314 | 112.241 |
| 8.47656 | 111.6004 |
| 10.0233 | 112.1739 |
| 12.3168 | 113.8156 |
| 14.7703 | 115.6503 |
| 16.2104 | 116.5944 |
| 18.4506 | 117.7378 |

SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 30 m

winMASW - Surface Waves & Beyond

www.winmasw.com