



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.

DOTTORATO DI RICERCA IN:

Difesa e Conservazione del suolo, Vulnerabilità ambientale e Protezione idrogeologica

SSD AGR 14 - PEDOLOGIA

*Applicazione di metodologie geofisiche integrate
per l'analisi della variabilità spaziale dei suoli*

Coordinatore:

Prof. Antonio Pala

Tutori:

Prof.ssa Silvana Fais

Dott. Andrea Vacca

Candidato:

Dott. Gianluca Cuzzo

XX CICLO - 2004/2007

| | |
|---|----|
| INDICE | 1 |
| INTRODUZIONE | 3 |
| OBIETTIVI | 6 |
| CAPITOLO 1 – Inquadramento geologico-strutturale dell'area di ricerca | 7 |
| 1.1 <u>Scelta dell'areale di ricerca e inquadramento geografico</u> | 7 |
| 1.1.1 Geologia..... | 10 |
| Tettonica..... | 17 |
| Geomorfologia e Clima..... | 20 |
| Geopedologia..... | 22 |
| CAPITOLO 2 – Prospezioni geofisiche per la caratterizzazione dei suoli | 29 |
| 2.1 <u>Metodologie geofisiche impiegate e scelta delle apparecchiature tecnico-scientifiche</u> | 29 |
| 2.1.1 Elettromagnetismo Indotto (E.M.I.)..... | 31 |
| Principio di funzionamento dell'elettromagnetismo indotto (E.M.I.)..... | 34 |
| Strumentazione tecnica impiegata..... | 36 |
| L' EM38DD (Geonics Ltd)..... | 36 |
| L' ALLEGRO (Juniper Systems)..... | 46 |
| Il GPS (Global Positioning System)..... | 47 |
| Il GEM300 (Geophysical Survey System)..... | 54 |
| 2.1.2 Metodo E.M – (V.L.F) Very Low Frequency | 58 |
| Principio di funzionamento della metodologia (V.L.F.)..... | 58 |
| Strumentazione tecnica impiegata..... | 59 |
| L' EM16 (Geonics Ltd)..... | 59 |
| 2.1.3 Metodo Magnetometrico (M)..... | 64 |
| Principio di funzionamento della metodologia Magnetometrica..... | 65 |
| Strumentazione tecnica impiegata..... | 65 |
| L' Omni IV (Scintrex Ltd)..... | 65 |
| CAPITOLO 3 – Analisi integrata dei dati geopedologico-geofisici | 68 |
| 3.1 <u>Area campione 1, località "Micceddu", Monastir (Ca)</u> | 68 |
| 3.1.1 <u>Prospezione elettromagnetica V.L.F. (Very Low Frequency)</u> | 68 |
| Acquisizione e trattamento dei dati..... | 68 |
| Analisi dei dati..... | 74 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.1.2 | Prospezione elettromagnetica E.M.I. (ElettroMagnetismo Indotto)..... | 92 |
| | Acquisizione e trattamento dei dati | 92 |
| | Analisi dei dati | 94 |
| 3.1.3 | Studio dei suoli | 100 |
| 3.2 | <u>Area campione 2, località "Su Pardu", Monastir (Ca)</u> | 135 |
| 3.2.1 | Prospezione elettromagnetica V.L.F. (Very Low Frequency)..... | 135 |
| | Acquisizione e trattamento dei dati..... | 135 |
| | Analisi dei dati..... | 139 |
| 3.2.2 | Prospezione elettromagnetica E.M.I. (ElettroMagnetismo Indotto) | 156 |
| | Acquisizione e trattamento dei dati..... | 156 |
| | Analisi dei dati..... | 159 |
| 3.2.3 | Prospezione magnetometrica..... | 163 |
| | Acquisizione e trattamento dei dati..... | 163 |
| | Analisi dei dati..... | 166 |
| 3.2.4 | Studio dei suoli..... | 170 |
| 3.3 | <u>Analisi spettrale con metodo FFT (Fast Fourier Trasform) delle frequenze (V.L.F.) delle serie di valori osservati della componente in fase e della componente in quadratura</u> | 187 |
| | Fondamenti teorici della trasformata di Fourier..... | 187 |
| | Trattamento dei dati..... | 190 |
| | Analisi dei dati..... | 190 |

CAPITOLO 4 – Discussioni dei risultati

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.1 | <u>Area campione 1, località "Micceddu", Monastir (Ca)</u> | 242 |
| 4.2 | <u>Area campione 2, località "Su Pardu", Monastir (Ca)</u> | 245 |
| 4.3 | <u>Valutazione delle potenzialità strumentali e miglioramento delle tecniche di acquisizione dati</u> | 249 |

| | |
|--------------------------|------------|
| CONCLUSIONI | 252 |
|--------------------------|------------|

| | |
|---------------------------|------------|
| BIBLIOGRAFIA | 256 |
|---------------------------|------------|

| | |
|-----------------------------|------------|
| RINGRAZIAMENTI | 260 |
|-----------------------------|------------|

INTRODUZIONE

Il territorio, inteso in senso geografico, morfologico e come insieme di risorse, è la fonte di ogni ricchezza. Il lavoro umano crea valore aggiunto, sfrutta opportunità, mette a sistema, ma la base di ogni attività sociale è il territorio con le sue peculiarità, i punti di forza e le criticità. La conoscenza delle dinamiche e dei caratteri fisici che ne regolano l'evoluzione, comprese le sue parti a mare, le sue espressioni superficiali e sotterranee, è azione fondamentale per la sicurezza territoriale e per la salvaguardia ambientale, nonché per la pianificazione, programmazione e utilizzazione, attraverso un uso sostenibile, della risorsa stessa. La difesa dell'ambiente, si attua a partire da una corretta gestione del suolo, la quale deve avvenire attraverso una pianificazione che tenga conto in primo luogo della sua vocazionalità, non solo per le attività agricole ma anche per quelle extragricole. I maggiori aspetti della degradazione ambientale sono riconducibili al suolo (erosione, compattamento, formazione di croste superficiali, perdita di struttura, perdita di sostanza organica, salinizzazione, acidificazione etc.) e sono in gran parte imputabili alle attività antropiche inclusa l'agricoltura che, ove attuata con sistemi non razionali, ha causato un'eccessiva erosione e fenomeni di degradazione del suolo (Giordano, 1999). Si impone, quindi, la necessità di porre un controllo e prevenire tale degradazione con un uso sostenibile delle risorse naturali, salvaguardando suoli, acque, piante, animali e minerali nel pieno rispetto dell'ambiente e delle possibilità ecologiche del pianeta. Nonostante l'accresciuta sensibilità verso i problemi di protezione ambientale, maggiore attenzione deve essere ancora rivolta all'impatto delle attività antropiche sul suolo. Nell'ottica di una agricoltura sostenibile, alcune pratiche agricole meriterebbero di essere evitate perché contribuiscono alla degradazione del suolo, come le colture intensive o le monocolture (Giordano, ap. cit.). In particolare, la preparazione del terreno in zone collinari mediante livellamenti e scassi causa catastrofiche perdite di suolo e di nutrienti, il cui danno, in termini economici ed ambientali, non viene ancora quantificato (Aru, 1991). Proprio a causa della gestione non sempre corretta del territorio, l'erosione rimane il principale aspetto della degradazione del suolo e supera notevolmente il tasso di sostenibilità (erosione tollerabile). Tuttavia, gli studi per la valutazione della stima del danno economico causato in seguito alla perdita di suolo sono ancor oggi insufficienti. Un altro aspetto della degradazione del suolo, che viene fortemente sottovalutato, è

rappresentato dal compattamento causato dalle macchine agricole sempre più potenti e pesanti su terreni ormai impoveriti di sostanza organica e quindi altamente vulnerabili (Aru, 1991). Il compattamento non è solo causato dal "traffico" delle macchine agricole ma anche dalla formazione dello strato compatto al limite inferiore della lavorazione del terreno: la così detta "suola d'aratura". La presenza nei suoli della suola d'aratura è dovuta fondamentalmente alla lavorazione dei terreni in monocoltura; questa pratica sconvolge le proprietà idrologiche del suolo, ed è responsabile delle frequenti sommersioni nelle pianure alluvionali, in occasione di violente piogge concentrate in poco tempo (Giordano, 1999). L'impoverimento di sostanza organica ha portato anche ad un forte aumento della formazione di croste superficiali le quali, oltre che interagire negativamente con la crescita delle piante (ostacolo all'emergenza del seme), riducono drasticamente l'infiltrazione dell'acqua con aumento del ruscellamento superficiale e quindi dei processi erosivi (Giordano, 1999). I suoli sono risorse rinnovabili, ma data la lentezza dei loro processi di formazione, essi possono essere considerati come risorse non rinnovabili, cioè che non possono essere rigenerati o che possono esserlo solo in tempi geologici. Le risorse naturali di una data regione ne costituiscono il capitale di base. Pertanto, il loro uso sconsiderato arreca, inevitabilmente, all'essere umano danni di natura economica e compromette seriamente la sopravvivenza e lo sviluppo delle generazioni presenti e future. La conservazione del suolo si attua quindi a partire da una sua corretta gestione ed è, di conseguenza, fondamentale la conoscenza di tale risorsa, attraverso anche dati su base pedologica di dettaglio. La produzione di cartografia pedologica di dettaglio, ottenuta con il tradizionale rilevamento del suolo, mediante lo scavo di profili e l'esecuzione di numerose trivellate, risulta però essere economicamente non sostenibile. Le misure dirette, che dovrebbero essere numerosissime, e l'impossibilità di operare un campionamento fitto porterebbero alla distruzione dell'oggetto di studio. La variabilità spaziale dei suoli a scala aziendale, fondamentale per l'analisi, lo sviluppo e l'utilizzo di strategie di gestione, come l'agricoltura di precisione, può essere studiata attraverso l'impiego di metodologie geofisiche. In tale settore, si è determinata quindi una crescente attenzione verso l'elettromagnetismo indotto (E.M.I.), capace di produrre informazioni di elevata qualità sulle proprietà rilevanti del suolo e sulla loro distribuzione spaziale, attraverso rappresentazioni cartografiche di dettaglio facilmente riproducibili (Cuzzo et al., 2007). Tra le metodologie geofisiche per l'analisi della variabilità spaziale dei suoli, l'elettromagnetismo indotto (E.M.I.), in condizioni geologiche-geopedologiche

idonee, ha il pregio di risultare risolutivo e di fornire, in seguito ad una accurata progettazione dei rilievi e ad una rigorosa analisi dei dati, una grande quantità di informazioni, in tempi relativamente brevi. Inoltre, tali metodologie hanno il pregio di non essere invasive non determinando, quindi, alcun disturbo né alla struttura né ai caratteri dinamici del suolo stesso e consentendo, nel contempo, misure speditive ed a basso costo per la mappatura di variazioni pedologiche (Godwin e Miller, 2003; McBratney et al., 2003; Sommer et al., 2003). In quest'ottica appunto, il presente lavoro di ricerca, che si è in parte svolto nell'ambito delle attività di ricerca di un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) dal titolo "Metodologie innovative per lo studio della variabilità spaziale dei suoli", ha lo scopo di valutare l'efficacia della metodologia di prospezione geofisica E.M.I. (ElettroMagnetismo Indotto) nel rilevamento dei suoli e nella redazione di una cartografia pedologica ad elevata precisione nonché di confrontare e valutare diversi strumenti che utilizzano tale metodica, ciascuno con caratteristiche tali da renderlo più o meno idoneo dipendentemente dalle esigenze della ricerca.

OBIETTIVI

La consapevolezza della variazione spazio-temporale dei suoli si ebbe fin dall'inizio del secolo scorso, ma è solo verso la fine degli anni 60 e l'inizio degli anni 70 che gli scienziati cominciano a studiarla in modo sistematico. La mancanza di prevedibilità di tale caratteristica ha indotto molti ricercatori ad una crescente attenzione verso l'applicazione dei metodi geofisici al tradizionale rilevamento del suolo.

Tra questi, l'elettromagnetismo indotto E.M.I., che ha il pregio di non essere invasivo, può trovare applicazione nel rilevamento del suolo in quanto non determina alcun disturbo né alla struttura né ai caratteri dinamici del suolo stesso e consente, nel contempo, misure speditive per la mappatura di variazioni pedologiche.

- L'obiettivo principale di questo lavoro di ricerca è avvalersi delle diverse metodologie elettromagnetiche a disposizione per valutare la variabilità spaziale della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) nei suoli, in modo tale da caratterizzare le unità pedologiche a scala di campo, riuscendo ad ottenere una cartografia di estremo dettaglio.
- Un altro importante obiettivo è confrontare e valutare diversi strumenti che utilizzano tale metodica, ciascuno con caratteristiche tali da renderlo più o meno idoneo dipendentemente dalle esigenze della ricerca.

La scelta della strategia più efficace di campionamento per la stima degli attributi di un suolo risulta difficile nei sistemi naturali, dove esistono complesse interazioni fra più processi agenti a scale spaziali e temporali differenti.

- A tal proposito, un altro importante obiettivo è stato quello di mettere a punto un sistema di trasporto, sul quale installare la strumentazione geofisica, che potesse indurre maggiore precisione nella fase di acquisizione dei dati e che riducesse sostanzialmente il tempo di prospezione.

Nell'ambito della presente ricerca, la serie di dati digitali di natura elettromagnetica ottenuti con le prospezioni geofisiche Very Low Frequency (V.L.F.), è stata analizzata con l'applicazione della tecnica Fast Fourier Transform (F.F.T.).

- L'analisi in frequenza dei segnali elettromagnetici V.L.F. ha l'obiettivo di migliorare la caratterizzazione e l'individuazione delle diverse unità geopedologiche, la cui natura e composizione influenza il contenuto spettrale dei segnali in studio.

CAPITOLO 1 – Inquadramento geologico-strutturale dell'area di ricerca

1.1 Scelta dell'areale di ricerca e inquadramento geografico

Il presente lavoro di ricerca è stato condotto studiando 2 aree campione site nel Comune di Monastir (Ca). Il territorio del Comune di Monastir, situato nella parte meridionale del Campidano di Cagliari, si sviluppa per 31,760 Km². Il 70 % del territorio comunale ha una morfologia mediamente pianeggiante, il restante 30 % è caratterizzato dai rilievi andesitici terziari facenti parte del complesso vulcanico oligo-miocenico. L'area di ricerca, evidenziata in rosso nella figura 1, è facilmente raggiungibile percorrendo per circa 20 km la strada SS 131, principale arteria stradale Sarda, partendo da Cagliari.

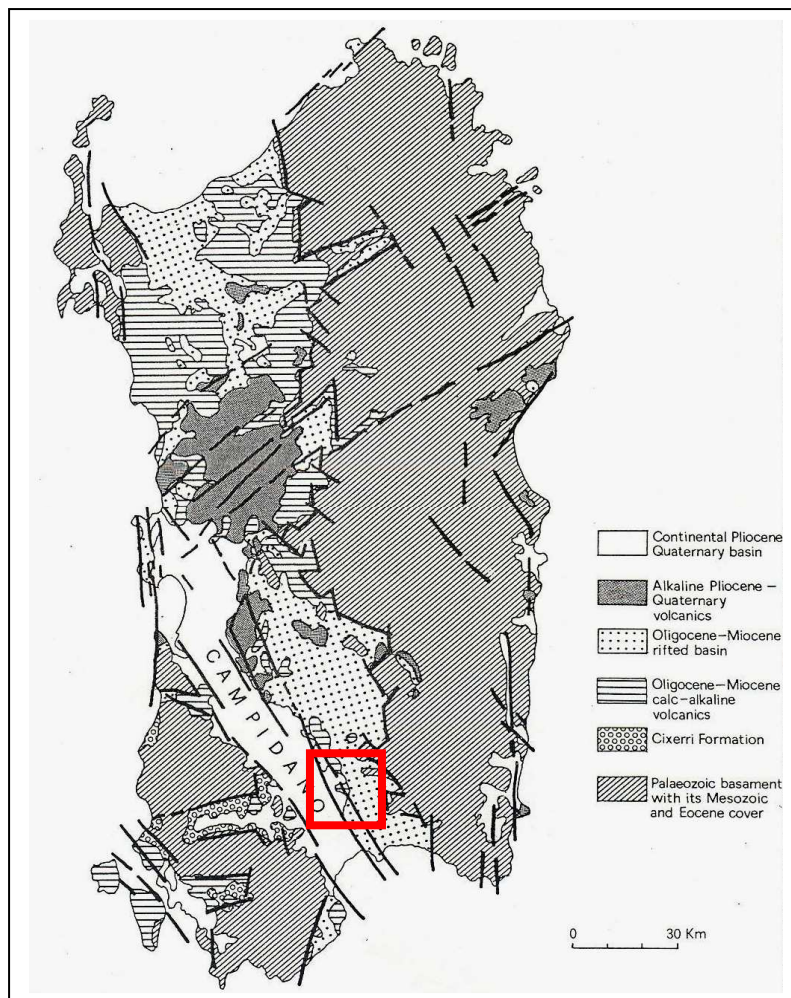


Figura 1 – Carta del rift Oligo-miocenico della Sardegna (da Cherchi e Montandert, 1982) e localizzazione delle aree in studio.

La scelta del territorio comunale di Monastir è stata dettata dalla disponibilità di un elevato numero di informazioni geo-pedologiche. La notevole vicinanza dal capoluogo, ha facilitato le operazioni logistico-scientifiche.

La scelta dell'ubicazione delle 2 aree campione è dovuta, invece, alle diverse caratteristiche geo-pedologiche, indispensabili per una linea di studio basata su analisi comparative.

La prima area campione è situata in un settore del territorio comunale avente una morfologia terrazzata, dove alluvioni del Pleistocene inferiore e medio coprono la formazione del Cixerri. Le caratteristiche dei materiali *in situ* fanno pensare ad un'origine dovuta allo smantellamento del complesso paleozoico del Sarrabus-Gerrei.

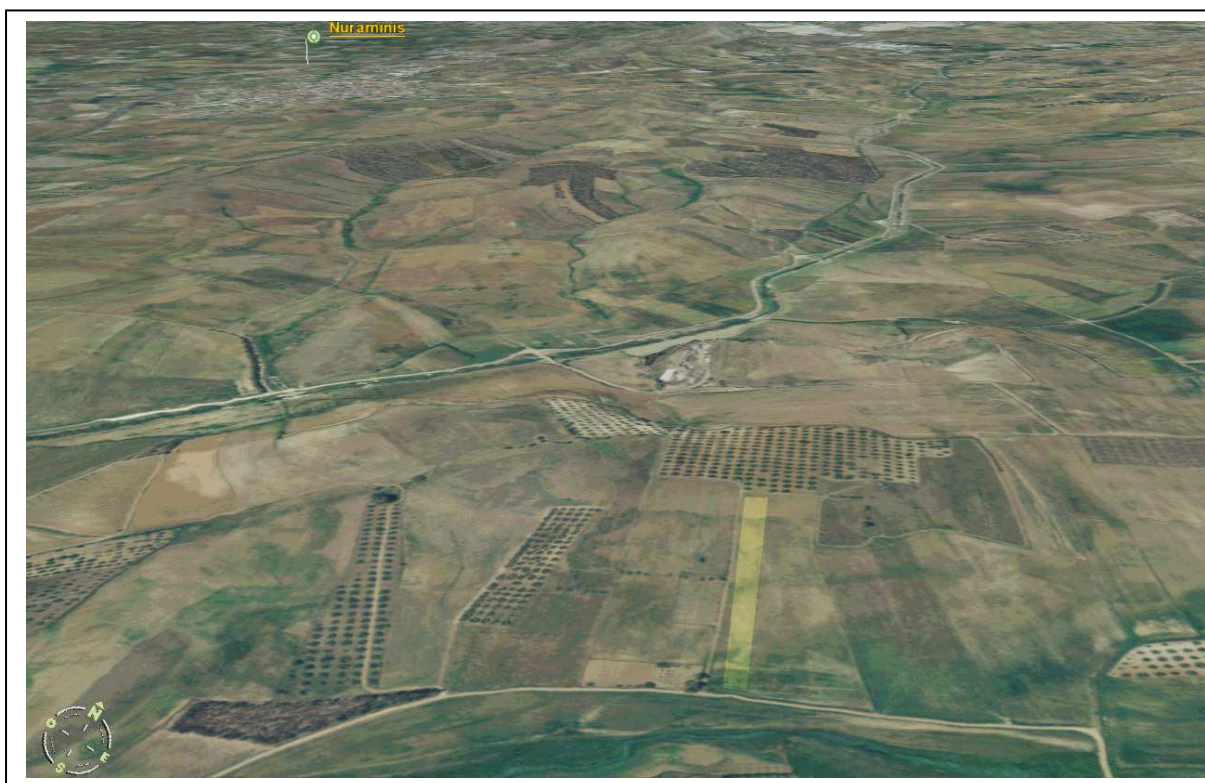


Figura 2 – Immagine dell'area di ricerca 1, Comune di Monastir (Ca). Da notare, evidenziata in giallo, la porzione di terreno indagata.

La seconda area campione è situata in un settore del territorio comunale dove affiora parte del complesso vulcanico oligo-miocenico. La morfologia è prettamente collinare, con forti pendenze e numerose irregolarità.



Figura 3 – Immagine dell'area di ricerca 2, Comune di Monastir (Ca). Da notare, evidenziata in giallo, la porzione di terreno indagata

La diversa origine delle litologie presenti, i differenti suoli sviluppatasi, le distinte strutture geologiche presenti, rendono queste due aree tra loro dissimili. Tali disuguaglianze, possono emergere analizzando i caratteri geofisici che le contraddistinguono, come per esempio, la capacità di un mezzo ad essere più o meno facilmente attraversato dalla corrente elettrica, oppure la capacità di influenzare localmente, in modo più o meno intenso, il campo magnetico terrestre.

A tal proposito, è stato ritenuto proficuo rilevare con metodologie elettro-magnetiche tali aree, in modo da poter riuscire a stabilire i rapporti che regolano le differenze geologiche e i parametri geofisici studiati.

1.1.1 Geologia

Il margine continentale occidentale sardo, originatosi durante l'apertura del Mediterraneo occidentale nell'Oligocene, è un bacino di retroarco relazionato alla subduzione verso NE della rimanente crosta oceanica mesozoica (Finetti e Morelli, 1973). Questo bacino di retroarco, probabilmente si sviluppa sovrapposto ad un ramo dell'orogenesi pirenaica; perciò la presenza di pieghe, faglie inverse e unità tettono-sedimentarie nel SE della Sardegna in affioramenti mesozoici e paleogenici, può essere interpretata in questo senso (Barca e Costamagna, 2000). Le strutture tettoniche di questo margine, connesse a quelle del rift sardo, anch'esse riferite all'Oligo-Miocene (Cherchi e Montandert, 1982), hanno prodotto un sistema transtensionale-estensionale propagatosi all'interno di una corsia di migrazione preferenziale in direzione Est, della micro-placca sardo-corsa (Lecca et al., 1997). Questo margine è strutturato nel basamento Paleozoico e riattivato nelle strutture erciniche. Conseguentemente, le rocce che costituiscono il margine sono prevalentemente scisti metamorfici ercinici e granitoidi, entrambi localmente ricoperti da sequenze carbonatiche e terrigene del Mesozoico-Terziario e da sequenze vulcaniche calco-alcaline effuse durante il rifting oligo-miocenico.

Le fasi del rift hanno indotto la messa in posto di complessi vulcanici andesitici a scala regionale, sia in una posizione periferica rispettivamente all'horst del Sulcis-Arburese, sia ubicati alla scala del blocco del Sulcis, fra i graben trasversali. In particolare, l'area sulcitana e l'area di S. Antioco - S. Pietro sono state incise da un sistema di faglie estensionali che hanno attraversato la crosta e generato numerosi vent, sia nell'Oligo-Miocene che nel Miocene medio ed inferiore.

Per questo motivo, un numero di complessi effusivi ed esplosivi affiorano nelle isole di S. Antioco e S. Pietro e lungo il graben trasversale del Sulcis occidentale. Tra questo graben, il complesso vulcanico (Assorgia et al., 1992) attraversa e ricopre: le arenarie di Monte Margiani, breve ma significativa successione terrigena costituita da arenarie e subordinati conglomerati di ambiente continentale, riferite al Paleocene superiore-Eocene inferiore (Barca e Costamagna, 2000); la sequenza lignitifera caratterizzata da alternanze ben stratificate di calcari marnosi, marne, marne arenacee, arenarie e strati di lignite, riferita al Cuisiano superiore-Lutenziano inferiore (Fadda et al., 1994) e la Formazione del Cixerri, costituita da depositi terrigeni, da

conglomerati sino ad argilloso-siltosi di colore spesso rossastro, riferita al Lutenziano-Oligocene inferiore (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969).

Nelle figure 4 e 5, sono riportate, la carta geologica dell'area oggetto di studio (Orrù e Vacca, 2004) e la rispettiva legenda.

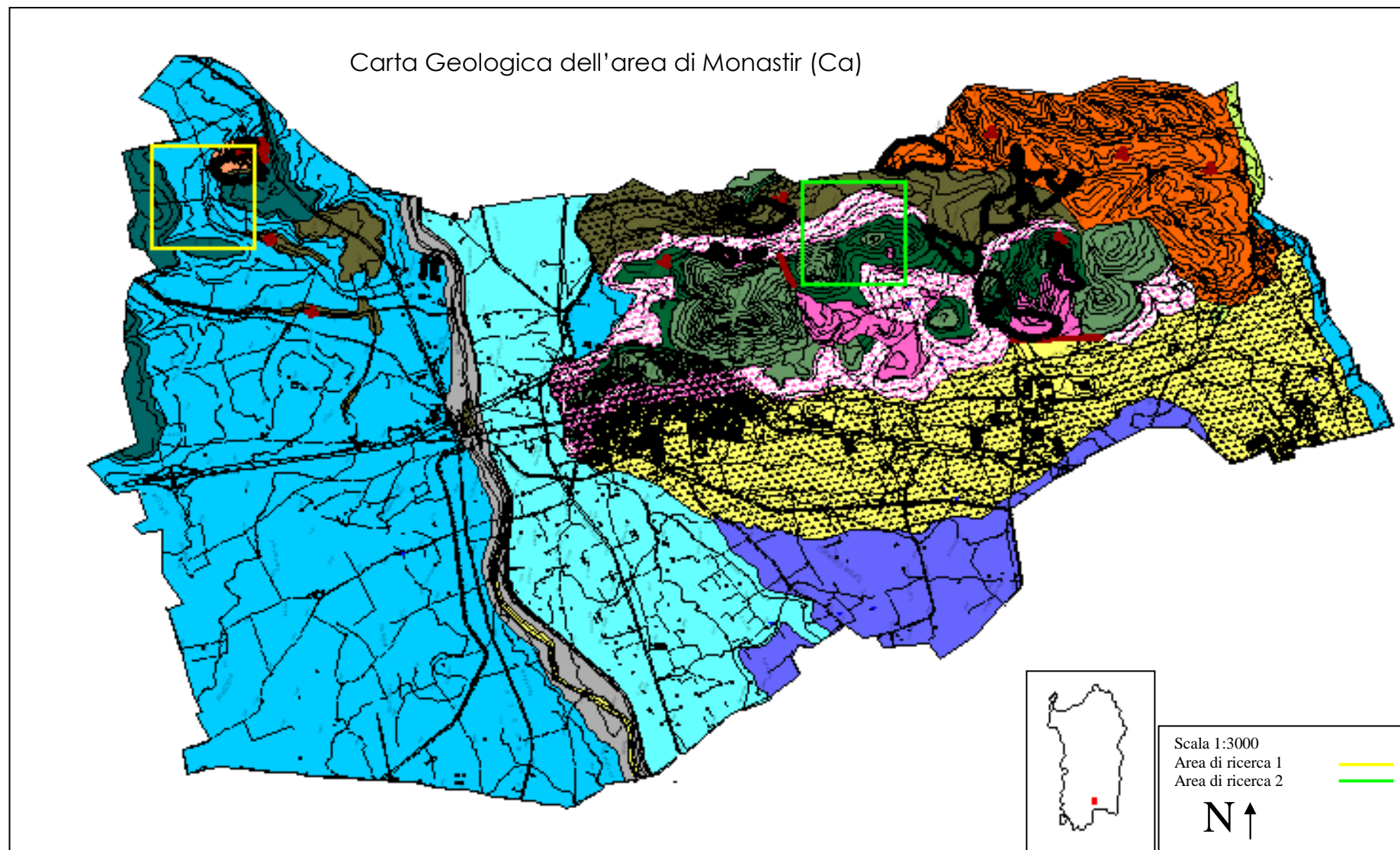


Figura 4 – Carta geologica dell'area di Monastir (Ca), (da Orrù e Vacca, 2004)



Figura 5 – Legenda della carta Geologica dell'area di Monastir (Ca), (da Orrù e Vacca, 2004)

La formazione del Cixerri

La "formazione del Cixerri", datata in modo dubbio Eocene medio-Oligocene è stata studiata da Pecorini e Pomesano Cherchi (1969). La sedimentazione terziaria continentale che essa rappresenta, era stata in passato denominata "Arenarie sterili del Cixerri" dal Tarocco (1924) e successivamente "Arenarie del Cixerri" dal Maxia, (1959). Essa affiora estesamente, oltre che nel "Graben di Giba" e nella "Fossa del Cixerri", anche sul litorale della Sardegna meridionale (Pula, S. Margherita) e sul bordo orientale della "Fossa del Campidano" (Monastir) (Barca e Costamagna, 2000). Questa Formazione è stata descritta come un deposito di tipo fluvio-lacustre, subordinatamente lagunare, eolico e pedogenetico (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969). Essa è costituita da arenarie quarzoso-feldspatiche grigio violacee, bruno verdastre oppure rosso violacee, intercalate da lenti e banchi conglomeratici, spesso in potenti banchi a ciottoli di rocce Paleozoiche (particolarmente scisti neri, quarzo, graniti, porfidi) o di calcari mesozoici con intercalazioni siltose e argillose rosso-violacee.

La formazione rappresenterebbe un sistema deposizionale alluvionale, progredante verso Est, con significato di molassa post-pirenaica (Cherchi, 1979; Barca e Costamagna, 1997). Infatti, il ritrovamento di ciottoli calcarei di successioni cretacee ad affinità iberica, contenenti un'associazione micropaleontologica mai rinvenuta in posto sull'isola (Cherchi, 1979) indicherebbe la provenienza di questi ciottoli dallo smantellamento di segmenti iberici della Catena pirenaica, e costituirebbe prova indiretta dell'adiacenza, durante il Paleocene, della Sardegna alla penisola iberica. La formazione presenta generalmente una giacitura in banchi sub-orizzontali o debolmente dislocati che raggiungono potenze di oltre due metri. Nonostante la scarsità e talora l'assenza di fossili utili per un inquadramento cronologico preciso, appare piuttosto chiara la sua datazione contemporanea o precedente all'Oligocene, in quanto immediatamente sottostante alle vulcaniti Oligo-Mioceniche. Maxia (1959) datava tale formazione come Eocene-Oligocene per il ritrovamento di un Gasteropode, mentre Pecorini e Pomesano Cherchi (1969) la datarono Eocene medio-Oligocene in quanto disposta al tetto del cosiddetto "Lignitifero del Sulcis", di età riferibile all'Eocene. In base alle alghe caracee rinvenute nei rari strati carbonatici affioranti alla base, l'età della parte inferiore della formazione viene attribuita al Cuisiano-Luteziano basale (Agus e Pecorini, 1977), mentre l'età della sua parte alta sarebbe precedente alle vulcaniti calco-alcaline

datate all'Oligocene inferiore. Pala et al. (1976), ritrovando nel Lignitifero calcari a Carofite con abbondanza di esemplari *Tectochora Thaleri* Thaleri, hanno attribuito un'età Eocenica medio-superiore, in seguito confermata da Pittau, (1979). Le facies deposizionali distinte nella formazione del Cixerri sono estremamente variabili e difficilmente correlabili in senso laterale e verticale, a causa sia della limitatezza degli spessori delle sezioni stratigrafiche esposte, che dalla quasi assoluta mancanza di resti fossili; i collegamenti assumono pertanto sempre carattere estremamente generale. Nell'area di ricerca 1, durante la realizzazione dei profili per lo studio dei substrati pedogenetici e dei suoli in essi formati, si è potuta constatare la presenza della formazione del Cixerri al di sotto dei depositi alluvionali terrazzati tardo quaternari lungo il Rio Mixeddu (a -3 m dal piano di campagna), mentre sulle sommità collinari la stessa appariva più superficiale (da -1.8 m a -2.2 m) (Orrù, 2003), ciò in seguito all'erosione, che facilmente si attua su queste superfici. Il ricoprimento, ad opera di alluvioni antiche e recenti terrazzate, i cui spessori variano a seconda delle zone, dipende quindi dalla posizione fisiografica occupata.

Il vulcanismo Oligo-Miocenico

Le vulcaniti che affiorano lungo una linea tettonica a direzione campidanese N-NO/S-SE nei pressi dell'abitato di Monastir (Ca) sono attribuite all'Oligo-Miocene (Cherchi et al., 1978). Successivamente, Savelli et al. (1979) eseguendo datazioni assolute col metodo K/Ar definirono meglio l'evoluzione del vulcanismo calcocalcino oligo-miocenico della Sardegna. Le datazioni mostrarono che l'attività vulcanica cominciò dapprima nel sud della Sardegna (circa 29-27 M.a.) estendendosi poi (circa 25-21 M.a.), con lave andesitiche, ad altre parti dell'isola. L'origine oligo-miocenico è strettamente legata ad un'area a convergenza di placche, che nel distacco del massiccio sardo-corso dalla Provenza hanno interessato questo settore. La morfologia vulcanica mostra lave andesitiche, relativi tufi e brecce in facies di dicchi, cupole di ristagno e rare colate, che giacciono in tutta l'area in esame, fraposte ai depositi continentali, rappresentati alla base dalla "Formazione del Cixerri" ed al tetto dalla "Formazione di Ussana". Vari Autori ritengono che le vulcaniti abbiano colmato una depressione posta al centro dell'attuale Campidano, per cui il loro spessore andrebbe assottigliandosi verso i bordi, sia verso ovest che verso est. Le vulcaniti "oligo-mioceniche" si sovrappongono quindi alla "Formazione del Cixerri", evento rilevabile, oltre che nel

Monte Agutzu, anche nelle colline della zona Francischettu ed Is Serras, a sud del comune di Ussana.

Nella cava di Monte Oladiri, intensamente sfruttata per l'estrazione di materiale lapideo, è presente una sezione che mette in luce la struttura interna del monte stesso. Iniezioni di colore verdastro, con direzioni parallele alle direzioni campidanesi, salgono lungo fratture che attraversano la cupola andesitica fermandosi all'interno dei depositi piroclastici sovrastanti. Sulla sommità appaiono stratificazioni con giacitura orizzontale solo sulla parte sinistra, mentre non se ne notano sul lato destro dove invece sono presenti delle colate. Da queste osservazioni si deduce che le piroclastiti al tetto sono legate ad un momento esplosivo precedente l'iniezione delle apofisi.

Il Quaternario Continentale

Sul Quaternario continentale si esplicano tutte le attività fondamentali per la vita dell'uomo. E' indispensabile quindi una corretta gestione della risorsa suolo che si compie a partire da uno studio approfondito di tali depositi. I corpi alluvionali presenti nell'area di ricerca si presentano sotto forma di depositi terrazzati pleistocenici e olocenici, alluvioni attuali, depositi colluviali, depositi di glacis e depositi di versante. Tali formazioni quaternarie sono disposte in una serie di superfici terrazzate che degradano dolcemente da est ad ovest verso il centro del Campidano, formando una piana di modesta altitudine.

Nell'area di ricerca 1, particolarmente sulle sommità collinari delle alluvioni tardo pleistoceniche, sono presenti accumuli di carbonato di calcio talora cementato che formano quasi una coltre protettiva. La presenza di depositi alluvionali terrazzati testimonia che all'interno del quaternario si sono alternate fasi di accumulo e di erosione associate a diverse fasi climatiche (glaciali ed interglaciali). Sempre nella parte alta dell'area di ricerca 1, in località Micceddu, questi depositi alluvionali sono costituiti da ciottoli di rocce paleozoiche, poligenici con prevalenza di quarziti, eterometrici sia arrotondati che appiattiti, profondamente alterati ad eccezione delle quarziti. La matrice è sabbioso-limoso e localmente sono presenti lenti argillose generalmente arrossate. La presenza di suoli arrossati e con ciottoli molto alterati e la quota più alta, rispetto agli altri depositi, fanno pensare che si tratti del terrazzo più antico (Pleistocene inferiore?). A quote topografiche più basse, le alluvioni terrazzate sono costituite da clasti di rocce paleozoiche sia arrotondati che appiattiti e talora

da clasti andesitici. La tessitura è argilloso-sabbiosa, con intercalazioni argillose in cui sono evidenti abbondanti facce di pressione e di scivolamento. In questi depositi è molto frequente ritrovare delle bande screziate legate all'alternanza di fenomeni di ossido riduzione dovuti all'oscillazione della falda acquifera superficiale. Inoltre, la presenza di ciottoli di diversa natura, il minor grado di cementazione dei crostoni carbonatici, la minore potenza e il minor contenuto di argilla nell'orizzonte argilloso rispetto ai depositi alluvionali posti a quote maggiori, li fanno riferire ad un periodo più recente (Pleistocene medio).

Nell'area di ricerca 2, in località Su Pardu, i depositi colluviali che si sviluppano sul complesso vulcanico, a differenza dei depositi alluvionali terrazzati, presentano un maggior contenuto in scheletro e l'assenza di carbonati. Il contenuto di argilla è piuttosto variabile a seconda della posizione fisiografica occupata, ma è in ogni caso elevato. Su tali depositi è spesso impossibile sviluppare un'agricoltura di tipo intensivo a causa del loro limitato spessore, trovandosi l'andesite a debole profondità. Nelle zone in cui tali depositi occupano posizioni fisiografiche più stabili, si sviluppano suoli con notevoli spessori e, quindi, di elevato pregio agronomico.

Tettonica

L'origine del "Rift Sardo", si manifesta a partire da movimenti tettonici distensivi che cominciarono a delinearsi in un periodo di tempo che va dall'Oligocene sino alla base del Miocene (Cherchi e Montadert, 1982). Il ramo più esterno del complesso sistema di Rift del Mediterraneo Occidentale è rappresentato appunto dal Rift Sardo ("Fossa Tettonica Sarda" del Vardabasso) che viene comunemente ricollegato, ai complessi eventi geodinamici oligo-miocenici relativi all'apertura del Mediterraneo occidentale e al distacco e migrazione della microplacca Sardo-Corsa (Assorgia et al., 1994). Il movimento rotazionale del massiccio sardo-corso trova testimonianza nelle differenti direttrici tettoniche compressive, Luteziane (140°) e Burdigaliane (40°). Il Rift oligo-miocenico compreso tra il golfo dell'Asinara e quello di Cagliari, attraversa tutta la Sardegna per 220 Km lungo la direzione N/S, ed è segmentato da diverse depressioni trasversali minori. Una si estende in direzione E/O verso il blocco Sulcis-Arburese e un'altra in direzione NE/SO verso il centro e il NE Sardegna (Finetti et al., 2002). Altri rami del Rift sono stati localizzati nel margine continentale occidentale sardo e nei golfi dell'Asinara e di Cagliari. L'evoluzione delle principali zone di faglia, produsse un vulcanismo calcalkalino polifasico e un sistema regionale di bacini

transtensionali-estensionali, che fu colmato successivamente da sequenze marine continentali ed epicontinentali del Miocene e del Pliocene inferiore, con importanti contributi vulcanoclastici (De Cillia et al., 1992; Lecca et al., 1997; Fais et al., 2000). Perciò, i numerosi sub-bacini di rift sono caratterizzati dalla presenza di elementi strutturali e stratigrafici ordinati in sequenza, che appartenendo alle diverse fasi, non sempre sono facilmente distinguibili (Finetti et al., 2002). Le faglie del rift delimitano blocchi crostali (di ampiezza compresa nell'ordine dei 100 Km) che, con i loro movimenti relativi, hanno controllato i bacini estensionali ed i loro vulcanismi associati (Finetti, et al., 2005). All'interno del secondo ordine di blocchi, un sistema di faglie minori (con spaziatura dell'ordine di 10 Km), li suddivide in horst e graben, dando vita ad un terzo ordine di blocchi, che sono dislocati e/o ruotati secondo collocazioni crostali (Finetti et al., 2005). Questo terzo ordine di strutture coinvolge il basamento paleozoico (Barbagia, Gallura, ect.), il basamento con le coperture mesozoiche ed eoceniche (le aree dei Tacchi), i blocchi interessati dal vulcanismo andesitico dell'Oligo-Miocene e dal vulcanismo ignimbrifico (Anglona, Arburese, ecc.) e le sequenze marnoso-arenacee mioceniche all'interno del rift (Finetti et al., 2005). Importanti studi geologico-geofisici sono stati realizzati (Fais et al., 1996, 2001, 2002) per ottenere informazioni sui lineamenti strutturali profondi e nelle sequenze di colmamento di alcuni bacini del rift sardo. In alcuni settori chiave, come nel golfo dell'Asinara e di Cagliari, nel bacino di Tula-Chilivani e Ottana, nel margine continentale Sud-Occidentale e nei bacini di rift del Campidano e della Trexenta, si sono acquisiti importanti elementi conoscitivi mediante prospezioni geofisiche con tecniche di sismica a riflessione e areomagnetismo (Fais et al., 2002).

Il Golfo di Cagliari rappresenta la parte sud del rift sardo, che consiste in un bacino limitato da un sistema di faglie orientate in direzione NO. La struttura tettonica è costituita da un blocco tiltato ed abbassato, una zona principale di faglia in direzione NE e una, antitetica, in direzione SO con una serie di faglie minori sempre parallele ed antitetiche (Fais et al., 2002).

L'area di studio è situata nel territorio comunale di Monastir, compreso nel settore sud-orientale della grande fossa tettonica del Campidano di Cagliari. La "Fossa Campidanese", impostatasi durante il Pliocene medio-superiore sopra i sedimenti marini che colmarono la "Fossa Tettonica Sarda", ha come elemento tettonico strutturale un sistema di faglie distensive, a direzione NNO/SSE, che separano, tettonicamente e morfologicamente, la pianura dalle colline dell'allineamento vulcanico di Monastir-Serrenti. In regione Su Pardu, nell'area di ricerca 2, a sud di

Monastir, una di queste faglie, coperta da materiale colluviale, mette a contatto le andesiti oligo-mioceniche con la "Formazione del Cixerri". Un'altra depressione d'origine tettonica è la valle del Cixerri, che assume un andamento perpendicolare alla fossa del Campidano, dalla quale è separata, come un bacino a se stante, dalla "soglia" di Siliqua. Questa soglia è rappresentata da un allineamento di vulcaniti andesitiche, che trovano affinità con le vulcaniti dell'allineamento Serrenti-Monastir, situate sul lato opposto della fossa. La tettonica terziaria ed i movimenti neotettonici pare che abbiano avuto un'influenza determinante nell'intera area. Tali influenze tettoniche hanno profondamente condizionato gli aspetti litologici e morfologici delle varie formazioni interessate dallo studio.

Nella figura 6 è riportato lo schema tettonico-strutturale della Sardegna meridionale (Fais et al., 2002). L'area di studio è evidenziata con un riquadro rosso.

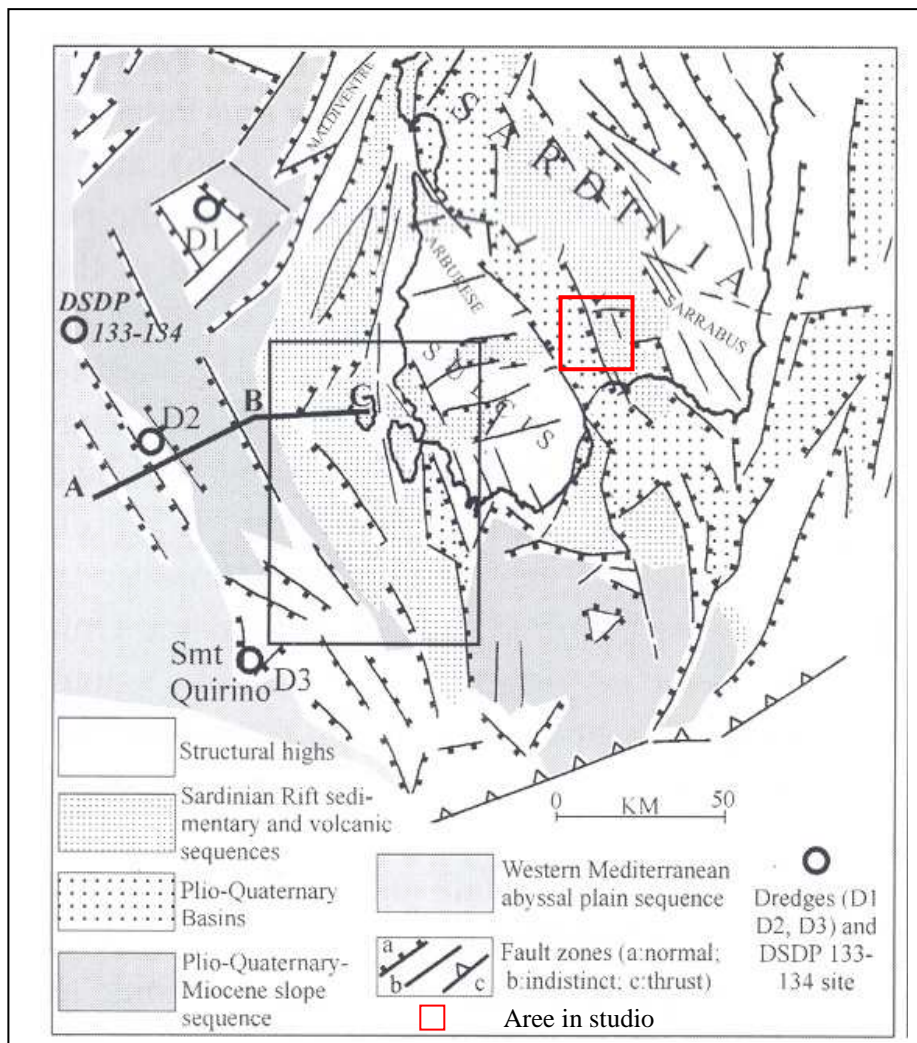


Figura 6 – Schema tettonico-strutturale della Sardegna Meridionale (da Fais, Klingelè e Lecca, 2002) e localizzazione delle aree in studio.

Geomorfologia e Clima

Lo studio delle carte topografiche e delle foto aeree, in scala 1:10.000, 1:23.000, e 1:40.000, ha portato alla caratterizzazione di due distinte morfologie:

- Una mediamente pianeggiante, che occupa circa il 70% del territorio comunale, che si estende ad ovest e a nord dell'allineamento delle vulcaniti oligo-mioceniche.
- Una collinare, che comprende appunto i rilievi vulcanici terziari e le colline della "Formazione di Ussana", situate ad est dei primi.

Le due diverse morfologie sono raccordate dal glacis e dai depositi colluviali andesitici, che rendono graduale il passaggio dall'una all'altra.

Nell'area di ricerca 1 (figura 7), la morfologia ricorrente è quella terrazzata. Le alluvioni del Pleistocene inferiore e medio si sviluppano nelle zone pianeggianti, o comunque debolmente ondulate, che risultano essere incise da corsi d'acqua a carattere stagionale, con direzione nord-sud. Le caratteristiche dei materiali *in situ* e le leggere pendenze (alcuni gradi verso S/O), fanno pensare ad un'origine dovuta allo smantellamento del complesso paleozoico del Sarrabus-Gerrei. L'intensa evoluzione morfologica è imputabile a fattori esogeni come i movimenti eustatici avvenuti nel Quaternario.



Figura 7 – Area di ricerca 1, località "Miceddu", Comune di Monastir (Ca).

Nell'area di ricerca 2 (figura 8), i rilievi più alti sono quelli che raggiungono una quota di circa 200 m (M.te Oladiri 235 m, M.te Zara 224 m, M.te Cabras 224 m) e fanno parte del complesso terziario oligo-miocenico, costituito da un insieme di dicchi aventi un allineamento NO-SE. Essi presentano forti pendenze e numerose irregolarità morfologiche. La vegetazione è scarsa e limitata alla sola macchia mediterranea. L'idrografia superficiale è quasi assente, se si escludono i corsi d'acqua a carattere torrentizio aventi deflussi estivi pressoché nulli, e con rare piene durante il periodo autunno-invernale. Sui versanti sono presenti numerose cave, alcune per l'estrazione dell'argilla, altre per l'estrazione di pietre ornamentali e da costruzione.



Figura 8 – Area di ricerca 2, località "Su Pardu", Comune di Monastir (Ca).

Il clima dell'area è di tipo mediterraneo con estati calde, talora torride con precipitazioni scarse o nulle, inverni miti e poco piovosi. Le temperature oscillano dai 22 ai 30 °C di media notturna e diurna in estate, mentre in inverno si arriva anche a temperature di 4/6 °C. I venti prevalenti sono il maestrale (direzione NO), lo scirocco (SE) ed il libeccio (SO).

Geopedologia

Lo studio dei suoli nell'area di ricerca ha assunto come base scientifica la carta dei suoli del territorio comunale di Monastir (Orrù, 2004). I suoli sono stati classificati in accordo con le Keys to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006). L'elemento fondamentale su cui si basa la classificazione americana è la presenza di orizzonti diagnostici. Essi sono l'espressione dell'azione e combinazione dei fattori pedogenetici. L'applicazione di tale classificazione comporta che le proprietà pedologiche, su cui essa si basa, debbano essere osservabili e misurabili. La Soil Taxonomy prevede sei livelli gerarchici: ordini, sottordini, grandi gruppi, sottogruppi, famiglie e serie.

Nell'area di ricerca 1, sita in località "Miceddu" nel Comune di Monastir (Ca), i suoli che si sono impostati sulla Formazione del Cixerri e sulle alluvioni terrazzate pleistoceniche appartengono all'ordine degli Alfisuoli.

Alfisuoli

La caratteristica principale degli Alfisuoli è la presenza di un orizzonte Bt argillico, che denota un elevato sviluppo genetico. L'accumulo di argille silicatiche trasportate dall'acqua di percolazione, fanno dell'orizzonte argillico, un orizzonte illuviale, nel caso specifico degli Alfisuoli, diagnostico.

Essi si sviluppano essenzialmente attraverso i processi pedogenetici della lisciviazione, che comporta una rimozione e successiva deposizione dell'argilla in profondità, e della brunificazione, processo nel quale si mette in atto la liberazione del ferro che, per le deboli proprietà flocculanti, favorisce la deposizione dell'argilla. L'orizzonte argillico è contraddistinto da pellicole di argilla aventi caratteri ottici orientati. La traslocazione di questa è prevalentemente di tipo meccanico, ma non sono da escludere movimenti in soluzione di silice ed alluminio con successiva sintesi di argilla nell'orizzonte Bt. L'acqua, percolando nel suolo, trasporta l'argilla che viene depositata in orizzonti più profondi, dove l'energia cinetica diminuisce. L'argilla si accumula nei pori e nelle superfici di discontinuità presenti tra le facce degli aggregati strutturali. La quantità di argilla illuviale è tanto maggiore quanto più vecchio è il suolo. Il processo di movimento dell'argilla è limitato o impedito dalla eventuale presenza di carbonato di calcio, in quanto tende a tenere molto vicino il doppio strato delle argille e non consente la loro dispersione. Pertanto, affinché il

processo avvenga è necessario che l'eventuale carbonato di calcio presente sia prima dilavato ed allontanato dall'ambiente. Se i carbonati non sono presenti, la genesi di questi suoli parte direttamente dall'eluviazione dell'orizzonte A. L'orizzonte argillico, nei primi 7,5 cm, deve contenere almeno il 20% in più di argilla rispetto all'orizzonte sovrastante. Inoltre la saturazione in basi di tale orizzonte deve essere maggiore o uguale al 35%. Il profilo degli Alfisuoli è strutturato su una successione di orizzonti di tipo A-Bt-C, spesso con presenza di più orizzonti Bt argillici in profondità. Gli Alfisuoli sono presenti in molte zone climatiche, ma sono assai diffusi nei climi umidi e sub-umidi delle regioni temperate. Si ritrovano su superfici che non hanno subito erosione o altri processi di pedoturbazione da molte migliaia di anni. Nelle zone tropicali, gli Alfisuoli, si ritrovano sulle superfici più giovani per via dell'aggressività del clima.

Nell'area di ricerca 2, sita in località "Su Pardu" nel Comune di Monastir (Ca), i suoli presenti appartengono all'ordine degli: Entisuoli, Inceptisuoli, Mollisuoli, e Vertisuoli (Orrù, 2004).

Entisuoli

Gli Entisuoli sono, per definizione, dei suoli scarsamente evoluti la cui principale caratteristica è l'assenza di orizzonti o elementi diagnostici sufficientemente sviluppati. Fa eccezione la presenza di un epipedon ochrico o antropico. La mancanza di elementi diagnostici è dovuta ad una serie di limitazioni che agiscono al momento della pedogenesi. Alle nostre latitudini, le condizioni che favoriscono la formazione degli Entisuoli sono prevalentemente dovute a diversi fattori, tra i quali: una litologia resistente all'alterazione, un clima eccessivamente arido e caldo, una continua erosione dei versanti più ripidi, un frequente apporto di materiali alluvionali nelle aree prossime ai corsi d'acqua e la resistenza all'alterazione di alcuni materiali iniziali. Tuttavia, anche il tempo di pedogenesi troppo breve, o rimaneggiamenti antropici dei suoli per altri scopi, possono favorire la formazione degli Entisuoli. A latitudini caratterizzate da climi secchi, caldi o freddi, la scarsa attività biologica e le reazioni chimiche ridotte per l'esigua quantità d'acqua circolante nel suolo, sono fattori limitanti per i processi pedogenetici. In altri termini, sugli Entisuoli, nessun processo di formazione del suolo è così decisivo da produrre caratteristiche

riconoscibili come diagnostiche. Da questo grande numero di possibilità genetiche, unitamente ai diversi substrati litologici presenti, deriva la relativa eterogeneità degli Entisuoli nel loro complesso.

Ampiamente rappresentati nel territorio in esame, sono suoli sottoposti a rischi di erosione idrica ed eolica, movimenti di massa, spesso caratterizzati da uno scarso spessore e da frequenti affioramenti di roccia, tanto che le caratteristiche fisico-chimiche rispecchiano generalmente quelle del substrato litologico di origine. Possono anche trovarsi sulle alluvioni recenti, dove sono sottoposti a rischio di inondazioni e su depositi colluviali; in questi ultimi casi, per il maggiore spessore, la migliore fertilità e la facilità di lavorazione, sono da tempo sottoposti all'esercizio agricolo.

Il profilo degli Entisuoli è strutturato su una successione di orizzonti di tipo A-C o A-R, con possibilità di presenza di più orizzonti A o C.

Inceptisuoli

E' un ordine di suoli caratterizzato da un limitato grado di maturità, in cui sono presenti alcuni elementi diagnostici che rappresentano una fase iniziale dell'evoluzione pedogenetica; il loro nome deriva infatti dal latino "*inceptum*", participio passato del verbo "*incipere*", che significa cominciare. Per tale motivo si collocano idealmente tra gli Entisuoli e gli Ordini di suoli più evoluti (Alfisuoli, Ultisuoli, Mollisuoli e Spodosuoli).

Le condizioni ambientali non completamente appropriate ad uno sviluppo pedogenetico avanzato, come nei paesaggi relativamente attivi, quali i versanti montani, dove si esplicano i processi erosivi, oppure nelle valli fluviali dove vengono depositati materiali relativamente inalterati, favoriscono la formazione degli Inceptisuoli. Tuttavia, esistono casi in cui gli Inceptisuoli sono in equilibrio con l'ambiente, è il caso di suoli che si sono sviluppati notevolmente con raggiungimento del climax ambientale. Su di essi agiscono molteplici processi pedogenetici, ma nessuno prevale sugli altri tanto da caratterizzare il suolo. Il concetto centrale di questo ordine si basa sull'esistenza di un'alterazione fisico-chimica, che ha provocato una rimozione di basi, ferro e alluminio, ed una neoformazione di minerali argillosi ancora scarsamente trasportati all'interno del profilo.

Pertanto, vengono riconosciuti principalmente per la presenza di un orizzonte B cambico, generalmente poco profondo e strutturato in vario modo, dove

l'alterazione chimico-fisica del substrato non permette più il riconoscimento del materiale originario, e dove non sono più presenti le caratteristiche degli orizzonti organici superficiali. L'argilla in esso presente deriva esclusivamente dall'alterazione *in situ* della roccia madre, senza lisciviazione o deposizione di materiali negli orizzonti profondi.

Il profilo degli Inceptisuoli è quindi strutturato su una successione di orizzonti di tipo A-Bw-C, dove Bw indica l'orizzonte cambico.

Al posto dell'orizzonte cambico è possibile ritrovare un orizzonte calcico. Talvolta il processo di accumulo del carbonato di calcio può essere talmente intenso da originare un orizzonte petrocalcico. In tal caso ci si allontana dal concetto centrale degli Inceptisuoli, che afferma che i processi pedogenetici esistono, ma nessuno prevale sugli altri.

Mollisuoli

Questi suoli hanno come carattere diagnostico portante l'epipedon mollico. Tale orizzonte superficiale ha un colore scuro, determinato da un elevato contenuto di sostanza organica (almeno 1 g per 100 g di suolo). Si definisce mollico quell'epipedon ricco di sostanza organica, con carattere di sofficità anche allo stato secco, che ha una saturazione in basi maggiore o uguale al 50%. Inoltre, tale epipedon, deve avere uno spessore minimo che varia in funzione della tessitura del suolo. Tuttavia, questi caratteri non sono sufficienti per considerare un suolo appartenente a tale ordine infatti, è necessario che in tutto il profilo si riscontri una saturazione in basi maggiore o uguale al 50%. Il processo di formazione principale dei Mollisuoli è la melanizzazione, che è responsabile dell'incurimento del suolo per accumulo di sostanza organica. Gli altri fattori che influenzano i colori del suolo, sono la presenza di ossidi e idrossidi di ferro. La decomposizione parziale della materia organica, se non avviene troppo velocemente, porta alla formazione di composti organo-minerali abbastanza stabili, che normalmente permangono all'interno del suolo. L'attività biologica operata dalla fauna del suolo è di primaria importanza per questo sistema. Essa opera un'attività di rimescolamento che contribuisce ad aumentare la possibilità di permanenza e di accumulo nel suolo di materia organica. E' altresì importante che nel suolo si esplichino, congiuntamente all'attività biologica vegetale, un'attività biologica animale. All'interno dei Mollisuoli

ci può essere un movimento di humus, che può avvenire anche associato all'argilla. La presenza di un orizzonte argillico è compatibile con tale ordine di suoli, ma esso deve avere una saturazione in basi maggiore o uguale al 50%.

L'attività antropica può avere un'influenza negativa nei confronti di tali suoli. Talora arature profonde, dove operate, aumentano gli spazi vuoti, con la conseguenza di una maggiore possibilità di mobilitazione dell'humus. Questo si traduce in una diminuzione dello spessore degli orizzonti superficiali più fertili, a favore di quelli più profondi. La vegetazione naturale dei Mollisuoli è quella erbacea; però, poiché sono suoli molto fertili, vengono destinati all'agricoltura.

Vertisuoli

I Vertisuoli sono suoli scuri con un elevato contenuto di argilla montmorillonitica responsabile tramite il reticolo espandibile, delle profonde fessurazioni che si manifestano nei periodi asciutti e che si chiudono in quelli umidi. Uno dei caratteri tipici dei Vertisuoli (caratteri vertici) è appunto la presenza di fessurazioni che talora possono raggiungere i 50 cm di profondità. L'espansione delle argille montmorillonitiche, in particolare, è dovuta all'organizzazione chimico-fisica delle stesse e ai cationi dilatanti di sostituzione, che hanno la possibilità di ingresso tra i vari pacchetti, determinando così variazioni considerevoli di volume. Altri caratteri tipici dei Vertisuoli sono: facce di scivolamento, gilgai e aggregati angolari. Un Vertisuolo si definisce come tale per la presenza, sino a 50 cm o più, di argilla a reticolo espandibile e con una percentuale non inferiore al 30%. Inoltre è importante che le facce di scivolamento s'intersechino più o meno intensamente. In generale, il contenuto di carbonio organico è relativamente basso e la capacità di scambio è per lo più elevata. Si tratta di suoli con buona fertilità, adatti alle colture agrarie erbacee e cerealicole in particolare. Altri caratteri diagnostici secondari sono: bassa conducibilità idraulica allo stato umido, elevata densità apparente allo stato secco e sensibili innalzamenti e abbassamenti del suolo conseguenti all'alternanza di cicli di inumidimento ed essiccamento.

Nelle figure 9 e 10, sono riportate, la carta geologica dell'area oggetto di studio (Orrù e Vacca, 2004) e la rispettiva legenda.

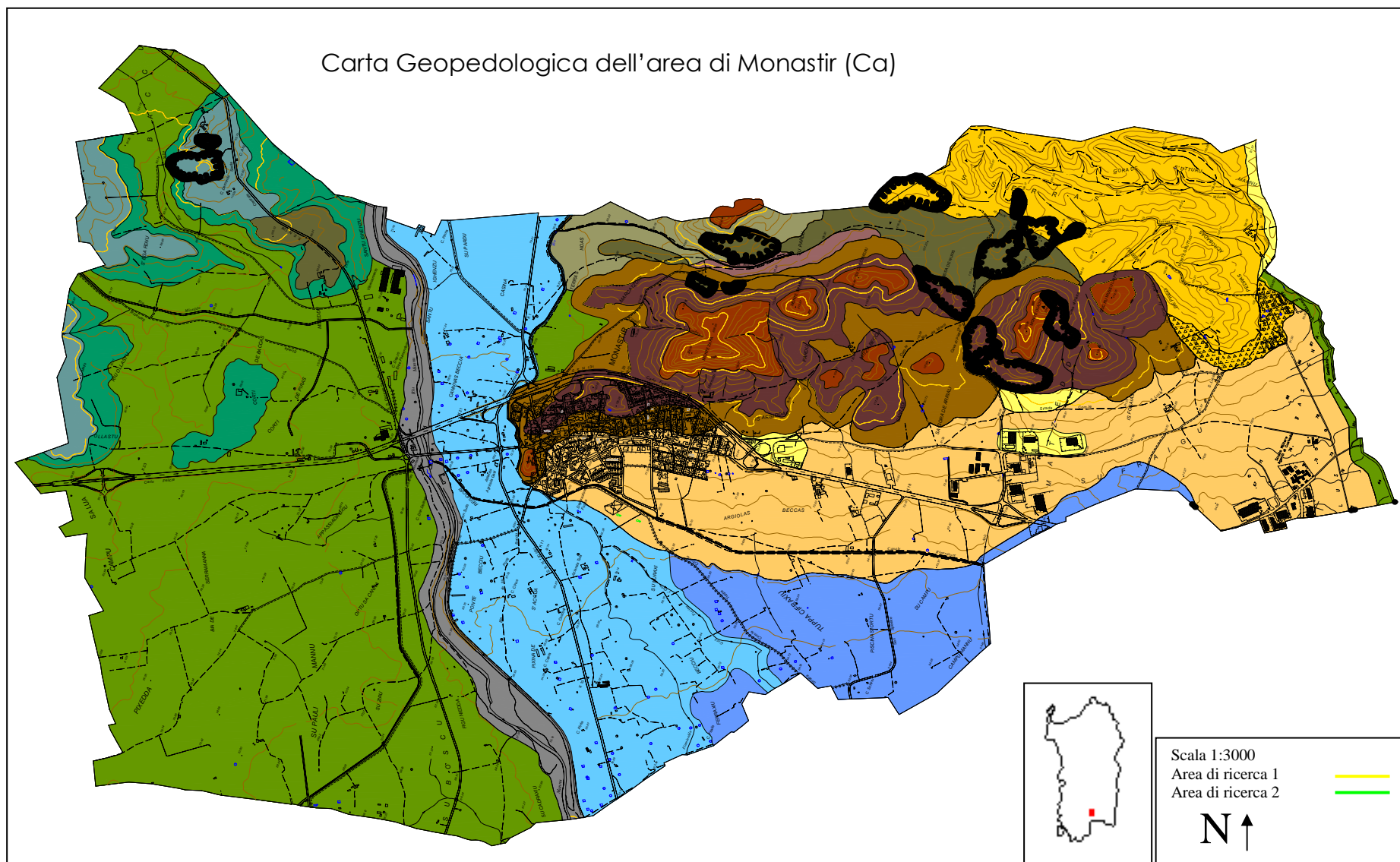


Figura 9 – Carta geopedologica dell'area di Monastir (Ca), (da Orrù e Vacca, 2004)

| UNITA' DI PAESAGGIO | | SUOLI | | | LAND CAPABILITY | |
|---|--|--|---|---------------------|---|--------|
| Substrato Geologica | Morfologia e aspetti fisiografici | Descrizione dei suoli | Classificazione (Soil Taxonomy, 1999) | Unità cartografiche | Principali limitazioni | Classi |
| A-Suoli su argille, arenarie e conglomerati "CONNESSIONE DEL CICLO" (Eccezione media e relativi depositi colluviali) | A1- Aree con forme ondulate, declassate con pendici non elevate. Escivole litica diffusa, debole. | Stella profilo A-Bk-Bkm-C, p. profodi, da moderati a argillosi (a seconda della tessitura) (di prob. diff.), poco permeabili, a calchi, sabbini. | CONNESSIONE DI: Paleosol: Paleosol | A1 | Eccesso di salinità, presenza di noduli di carbonato, poco permeabili, eccesso di sale litico, moderato pericolo di erosione. | IV |
| | A2- Aree con forme da pianeggiante a ondulate. Escivole litica, debole. | Stella profilo A-Bk-C, profodi, da franco sabbio argilloso (a seconda della tessitura) a franco sabbioso (a seconda della tessitura), poco permeabili, a calchi, sabbini. | CONNESSIONE DI: Molle: Haploregis | A2 | Eccesso di salinità, eccesso di salinità, eccesso di salinità. | III |
| B-Suoli sulle arenarie (Chiggenas) e relativi depositi colluviali. | B1- Aree con forme da ampie acclività, p. moderati a p. elevati di esposizione diffusa ed abnorme. Escivole litica diffusa, moderata. Postulare litologica, alluvionale. | Rocce arenarie, stella profilo A-R, poco profodi, franco sabbiosi, permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Rock on top: Rock on top | B1 | Sul ripido dopo molto rifollo, forte pericolo di erosione. | VIII |
| | B2- Aree con forme ondulate a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. Postulare litologica, alluvionale. | Stella profilo AC, poco profodi, franco sabbio argilloso, poco permeabili, a calchi, sabbini. | CONNESSIONE DI: Tipo: Molle | B2 | Sul ripido pedogestito, rifollo, moderato pericolo di erosione. | VII |
| | B3- Aree con forme ondulate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, debole. Postulare litologica, alluvionale. | Stella profilo AC e A-Bk-Bk-C, da poco profodi a moderati a profodi, franco sabbio argilloso, poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Verde: Calcic lept: Tipo: Molle | B3 | Bassa permeabilità, moderato pericolo di erosione. | III |
| | B4- Aree con forme da piane a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. Postulare litologica, alluvionale. | Stella profilo A-Bk-Bk-C, profodi, argillosi, poco permeabili, a calchi, sabbini. | CONNESSIONE DI: Tipo: Haploregis | B4 | Bassa permeabilità. | II |
| C-Suoli su arenarie, arenarie e conglomerati "CONNESSIONE DI CICLO" (Chiggenas sup. Acquedotto) e relativi depositi colluviali. | C1- Aree con forme da ondulate a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, debole. | Stella profilo A-Bk-C e A-C, da poco profodi a moderati a profodi, franco sabbio argilloso, poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Tipo: Haploregis | C1 | Bassa permeabilità, eccesso di salinità, eccesso di salinità. | IV |
| | C2- Aree con forme da ondulate a pianeggianti, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Stella profilo A-Bk-C, profodi, argillosi, poco permeabili, a calchi, sabbini. | CONNESSIONE DI: Tipo: Haploregis | C2 | Bassa permeabilità, eccesso di salinità. | IV |
| D-Suoli su arenarie e conglomerati (Chiggenas) e relativi depositi colluviali. | D1- Aree con forme da saggio a medio a pianeggiante, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Stella profilo A-Bk-C, poco profodi, argillosi, poco permeabili, a calchi, sabbini. | CONNESSIONE DI: Verde: Haploregis | D1 | Bassa permeabilità, moderato pericolo di erosione. | II |
| | D2- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Stella profilo A-Bk-C e A-Bk-Bk-C, da poco profodi a moderati a profodi, franco sabbio argilloso, poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Verde: Calcic lept: Tipo: Molle | D2 | Bassa permeabilità. | II |
| E-Suoli su depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene inf.) | E1- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Stella profilo A-Bk-Bk-C e A-Bk-Bk-C, p. moderati a p. elevati di esposizione diffusa ed abnorme (a seconda della tessitura) (di prob. diff.), poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Paleosol: Paleosol: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol | E1 | Eccesso di salinità, presenza di noduli di carbonato, eccesso di salinità. | IV |
| | E2- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. Postulare litologica, alluvionale. | Stella profilo A-Bk-Bk-C e A-Bk-Bk-C, p. moderati a p. elevati di esposizione diffusa ed abnorme (a seconda della tessitura) (di prob. diff.), poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol | E2 | Eccesso di salinità, presenza di noduli di carbonato, eccesso di salinità. | III |
| F-Suoli su depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene medio) | F1- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. Postulare litologica, alluvionale. | Stella profilo A-Bk-Bk-C e A-Bk-Bk-C, p. moderati a p. elevati di esposizione diffusa ed abnorme (a seconda della tessitura) (di prob. diff.), poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol | F1 | Eccesso di salinità, presenza di noduli di carbonato, eccesso di salinità. | III |
| | F2- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. Postulare litologica, alluvionale. | Stella profilo A-Bk-Bk-C e A-Bk-Bk-C, p. moderati a p. elevati di esposizione diffusa ed abnorme (a seconda della tessitura) (di prob. diff.), poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol: Calcic Paleosol | F2 | Eccesso di salinità, presenza di noduli di carbonato, eccesso di salinità. | III |
| G-Suoli su depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene medio-sup.) | G1- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Stella profilo A-Bk-C e A-Bk-Bk-C, p. moderati a p. elevati di esposizione diffusa ed abnorme (a seconda della tessitura) (di prob. diff.), poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Tipo: Paleosol: Calcic Paleosol | G1 | Bassa permeabilità, presenza di noduli di carbonato. | II |
| H-Suoli su depositi alluvionali terrazzati (Eccezione) | H1- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Stella profilo A-Bk-C e A-C, profodi, franco sabbio argilloso, poco permeabili, a calchi, sabbini. | ASSOCIAZIONE DI: Fine: Haploregis | H1 | Perturbata elevata, moderato pericolo di erosione. | II |
| I-Suoli su depositi alluvionali recenti e attuali. | I1- Aree con forme da pianeggiante a collinate, da saggio a medio. Escivole litica diffusa, moderata. | Aree di "boscato". | | I1 | Bassa permeabilità, presenza di noduli di carbonato. | VIII |

Figura 10 – Legenda della carta geopedologica dell'area di Monastir (Ca), (da Orrù e Vacca, 2004)

CAPITOLO 2 – Prospezioni geofisiche integrate per la caratterizzazione dei suoli

2.1 Metodologie geofisiche impiegate e scelta delle apparecchiature tecnico-scientifiche

L'acquisto di apparecchiature tecnico-scientifiche, da parte di Enti ed Università, è un problema che viene affrontato sempre con la massima attenzione, visto la scarsità di fondi a disposizione. Le apparecchiature tecniche vengono acquistate solo dopo numerosi e scrupolosi studi specifici, che ne determinano la convenienza e ne giustificano l'utilizzo. Grazie ad un Progetto di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN), denominato "Metodologie innovative per lo studio della variabilità spaziale dei suoli" è stato possibile acquistare parte delle apparecchiature scientifiche utilizzate nel corso di questo Dottorato di Ricerca. Le esigenze dello studio, finalizzato, come precedentemente espresso, ad una caratterizzazione dei suoli in termini della variabilità spaziale delle loro caratteristiche, hanno indirizzato l'acquisto dello strumento EM38DD della Geonics Limited. Il suo principio elettromagnetico permette di impiegare lo strumento a circa 10-15 cm dalla superficie investigata, col notevole vantaggio di ottenere delle prospezioni veloci su grandi aree di studio. Una delle proprietà che hanno maggiormente determinato la scelta strumentale è il grande numero di parametri, caratterizzanti il suolo, che influenzano la Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) rilevata dall'EM38DD e misurata in mS/m. Essi sono la porosità, il contenuto idrico, la mineralogia, la qualità e la quantità delle argille, nonché la forza ionica, la composizione, la temperatura, la profondità e la fase della soluzione del suolo (McNeill, 1980). La C.E.a. è un parametro aggregato, che è dato dalla sommatoria di tutti questi contributi. Un'altra proprietà fondamentale per la scelta è stata la profondità d'indagine ottimale, che nella modalità di utilizzo orizzontale e verticale è rispettivamente di 0,75 m e 1,50 m. Essendo una ricerca sui suoli, ottenere dei dati da questa profondità è fondamentale. Altri strumenti che avevano una profondità d'indagine maggiore, come l'EM31 della Geonics Limited sono stati scartati. La possibilità di interfacciare un D.G.P.S. all'EM38DD è stato un'ulteriore fattore di scelta.

Scelta della strumentazione Differenziale D.G.P.S.

La scelta del D.G.P.S. da acquistare ha impiegato molto tempo per lo studio della compatibilità fra il dispositivo differenziale di posizionamento satellitare, L'EM38DD e il computer da campo "Allegro" della Juniper System, compreso nel Kit dello strumento, che doveva gestire i dati che gli pervenivano da entrambi gli apparati (figura 11). La difficoltà era riuscire a trovare un dispositivo D.G.P.S. che "conversasse" con il computer da campo con stringhe di formato NMEA-0183 (stringhe di messaggi standard per la ricezione dei dati dei G.P.S. -National Marine Electronic Association) consentendo la creazione di un solo file contenente i valori di C.E.a. in entrambe le modalità operative e i loro rispettivi riferimenti nello spazio. Dal momento che avevamo a disposizione un budget limitato, la scelta si è indirizzata sull'Ag114 della Trimble.

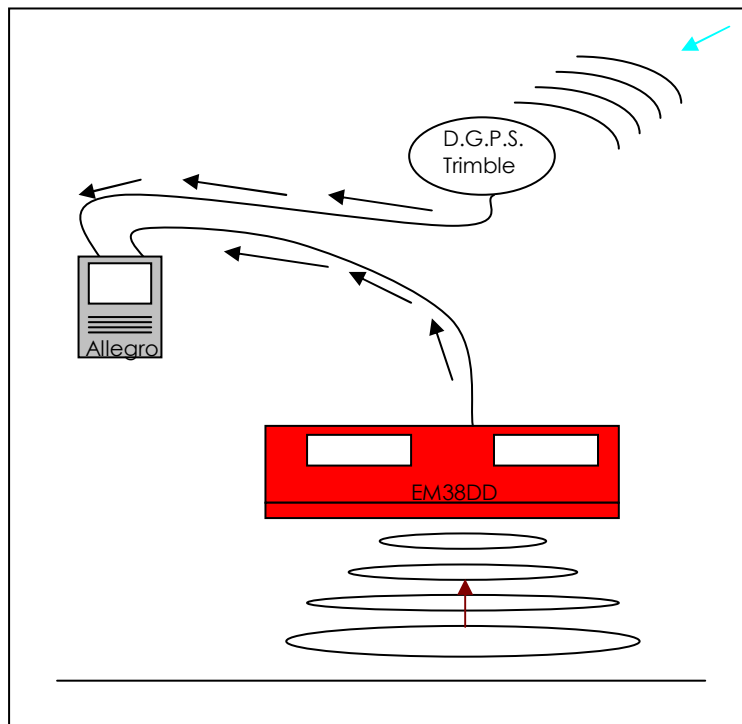


Figura 11 – Schema strumentale di acquisizione del dato.

In questo lavoro di ricerca, oltre all'EM38DD e al GEM300 che si basano sulla metodologia E.M.I., sono state impiegate apparecchiature tecnico-scientifiche come L'EM16 della Geonics Limited, che si basano sempre sulla metodologia E.M.I. ma che

sfruttano le onde elettromagnetiche a bassa frequenza, Very Low Frequency (V.L.F.) e apparecchiature come l'Omni IV della Scintrex Limited, che si basano sulla metodologia magnetometrica.

2.1.1 Elettromagnetismo Indotto (E.M.I.)

Fondamenti teorici

La più completa e perfetta teoria sullo studio dei fenomeni elettromagnetici che sia mai stata scritta si deve al fisico inglese C. J. Maxwell (1831-1879). Egli, attorno al 1870, riuscì a sintetizzare tutte le conoscenze dei fenomeni elettromagnetici fino ad allora conosciuti in un'unica teoria che, attraverso poche formule matematiche, descrive e governa tutte le proprietà relative ai campi elettromagnetici. La scoperta straordinaria è che la legge della circuitazione del campo magnetico, ben stabilita nel caso dei fenomeni stazionari, doveva essere modificata nel caso dei fenomeni variabili nel tempo, con l'aggiunta di un termine al secondo membro.

La legge della circuitazione del campo magnetico viene descritta dalla formula:

$$\mathbf{C}(\vec{H}) = in'$$

Dove $\mathbf{C}(\vec{H})$ è la circuitazione del campo magnetico \vec{H} lungo una linea s , mentre n' , è il numero di spire percorse dalla corrente i che sono concatenate con la linea s e h è una costante che dipende dal sistema di unità usato.

Maxwell aggiunse al secondo membro della seguente formula un termine che fu chiamato, *corrente di spostamento*:

$$\mathbf{C}(\vec{H}) = in' + \frac{\Delta\Phi(\vec{D})}{\Delta t} \quad (1)$$

La motivazione del nome, assegnato da Maxwell stesso, al termine matematico che definiva la corrente di spostamento, è dovuta alle proprietà simili a quelle del primo termine (in') che rappresenta la corrente di conduzione (concatenata con la linea s) dovuta al moto dei portatori di carica.

La formula (1) esprime la legge di Maxwell :

"Ogni qualvolta in una certa regione di spazio vi è un campo elettrico che varia al passare del tempo, in questa stessa regione nasce un campo magnetico, anch'esso variabile nel tempo, la cui circuitazione lungo una linea chiusa qualsiasi è uguale alla corrente di spostamento concatenata con la linea stessa".

La corrente di spostamento, costituiva l'atto finale e conclusivo dell'esplorazione sperimentale e teorica dei fenomeni elettromagnetici macroscopici. Il suo studio procedette, quindi, riassumendo, nel numero minimo possibile di leggi indipendenti tutte le conoscenze del campo elettromagnetico, che vengono di seguito elencate.

$$\Phi_{sc}(\mathbf{D}) = \sum_i Q_i \quad \text{Teorema di Gauss}$$

$$\Phi_{sc}(\mathbf{B}) = 0 \quad \text{Legge del flusso del vettore induzione magnetica}$$

$$C(\vec{E}) = - \frac{\Delta \Phi(\vec{D})}{\Delta t} \quad \text{Legge di Faraday-Neumann}$$

$$C(\vec{H}) = i_n' + \frac{\Delta \Phi(\vec{D})}{\Delta t} \quad \begin{array}{l} \text{Legge della circuitazione del campo magnetico} \\ \text{nel caso di campi elettrici e magnetici variabili nel tempo} \\ \text{(Maxwell)} \end{array}$$

Nel caso, quindi, di fenomeni variabili nel tempo, le quattro leggi precedentemente riportate legano fra loro il campo elettrico e quello magnetico, in modo tale che essi non possono più essere studiati separatamente ma come un unico ente, il campo elettromagnetico.

La produzione di onde elettromagnetiche

La più importante conseguenza dell'insieme delle precedenti quattro leggi è il fenomeno della produzione e propagazione di onde elettromagnetiche nello spazio. Se, a partire da un certo istante, si produce in un punto A dello spazio un campo elettrico \vec{E} che varia nel tempo abbastanza rapidamente si ottiene, come risultato, che nei punti immediatamente vicini ad A sorge un campo elettromagnetico,

anch'esso variabile nel tempo, il quale genera a sua volta, nei punti vicini, un campo elettromagnetico variabile nel tempo e così, ripetendo il ragionamento in modo da passare da un punto a quello vicino lungo una determinata direzione, si giunge alla conclusione che il campo elettromagnetico si propaga nello spazio. La velocità con cui un'onda elettromagnetica si propaga nello spazio è data, secondo Maxwell dalla seguente formula:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

dove $c = 3 \times 10^{10}$ m/s è la velocità della luce nel vuoto ed ϵ_r è la costante dielettrica relativa. Un'onda elettromagnetica può essere prodotta a mezzo di un circuito oscillante percorso da corrente alternata, la cui intensità varia con legge sinusoidale. La frequenza propria del circuito è data dalla seguente formula:

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

La corrente che percorre tale circuito è una corrente oscillante che viene smorzata a causa dell' *effetto Joule*, che continuamente dissipa in calore una parte dell'energia elettromagnetica del circuito, e per l'emissione di onde elettromagnetiche, che trasportano continuamente energia attraverso lo spazio. Per eliminare tale smorzamento ed ottenere una corrente sinusoidale, il circuito oscillante viene inserito in uno più complesso, in cui un triodo sottrae energia dalla batteria anodica e la trasferisce al circuito oscillante, in modo da compensare esattamente la perdita di energia.

La propagazione di onde elettromagnetiche nella atmosfera

Secondo la teoria di Maxwell, le onde elettromagnetiche si propagano in tutte le direzioni, come sfere concentriche di raggio continuamente crescente, che hanno per centro la sorgente che le emette.

Hertz dimostrò invece che la superficie di un conduttore ha la proprietà di riflettere le onde elettromagnetiche. Infatti, il potere riflettente degli *strati di Heaviside* (da cui

prendono il nome), che compongono la ionosfera, permette alle onde elettromagnetiche (di opportuna frequenza) emesse da una sorgente che si trovi in un qualsiasi punto della superficie terrestre, di giungere in un altro punto della terra. Il potere riflettente della ionosfera è determinato dal numero di elettroni per unità di volume in essa presenti e dalla lunghezza d'onda λ dell'onda incidente.

Principio di funzionamento dell'Elettromagnetismo Indotto (E.M.I.)

Alcune metodologie geofisiche impiegate in questo lavoro di ricerca applicata sono fondate sui principi dell'elettromagnetismo indotto (E.M.I.). Esse studiano la risposta del terreno ad una sollecitazione di natura elettromagnetica e si basano sullo studio della propagazione nel sottosuolo di un campo magnetico primario (c.m.p.), che viene generato da una corrente alternata che circola attraverso una bobina trasmittente o un'antenna metallica (Telford et al., 1976).

Una volta emessi, i c.m.p. viaggiano sia al di sopra che al di sotto della superficie terrestre. La componente del c.m.p. che penetra nel sottosuolo, il cui flusso varia al passare del tempo, può, nel suo percorso, incontrare dei corpi elettroconduttivi sepolti. In questo caso, si generano, attraverso la messa in moto dei portatori di carica presenti in ogni punto del corpo elettroconduttore, dei moti elettrici a carattere vorticoso indotti. Dette correnti elettriche prendono il nome di Correnti di Foucault o di correnti parassite (Eddy Currents). Esse sono proporzionali alla Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) del conduttore, misurata in mS/m. Le Eddy Currents o correnti di Foucault, circolando nel sottosuolo, producono a loro volta un campo elettromagnetico secondario (c.m.s.), che è direttamente proporzionale alle correnti indotte che lo hanno generato. Di conseguenza, il c.m.s. e le sue componenti geometriche sono funzione delle caratteristiche di conducibilità delle strutture geologiche investigate. In superficie il c.m.s. si combina con quello primario che, viaggiando direttamente sopra il suolo, arriva alla bobina ricevente, generando un campo magnetico risultante che viene definito polarizzato ellitticamente. Detto campo magnetico risultante è rilevato tramite correnti alternate che ne inducono il flusso in una bobina ricevente (figura 12). Le differenze tra campi elettromagnetici emessi e ricevuti rivelano la presenza di corpi conduttori nel sottosuolo e permettono di ottenere informazioni sulla loro geometria e sulle loro proprietà elettriche. In particolare, il c.m.s. è caratterizzato da una frequenza uguale al campo primario

mentre direzione, ampiezza e fase sono differenti. Le componenti geometriche del campo magnetico secondario sono chiamate *componente in fase* e *componente in quadratura* (figura 12).

- La componente in fase è proporzionale all'intensità del c.m.s. ed è funzione della presenza di corpi metallici o materiali o rocce dove vengono a crearsi alte concentrazioni di ioni metallici.
- La componente in quadratura è proporzionale allo sfasamento tra l'onda elettromagnetica emessa e quella ricevuta, ed è anche un indice di conducibilità del volume di suolo indagato. Essa è proporzionale allo schiacciamento dell'elisse di polarizzazione e quindi al rapporto tra semiasse maggiore e semiasse minore.

Tali metodi geofisici forniscono informazioni su: posizione, inclinazione e profondità di corpi conduttori sepolti.

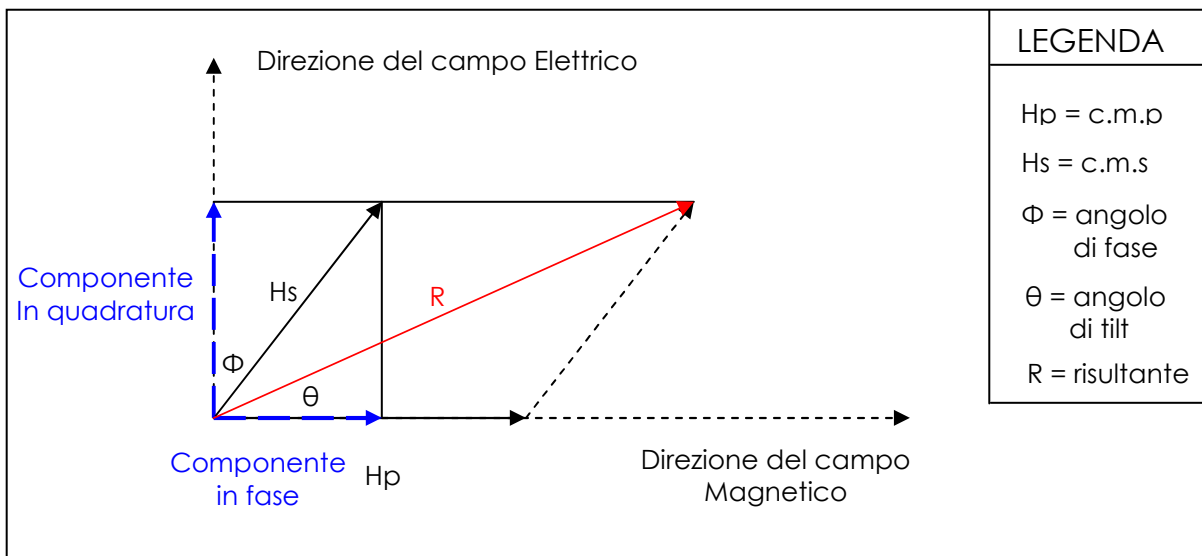


Figura 12 – Grafico delle componenti del Campo Magnetico Secondario.

Profondità di penetrazione del Campo elettromagnetico primario; Profondità di investigazione effettiva; Profondità di indagine.

- *La profondità di penetrazione del campo elettromagnetico primario* è la profondità alla quale il campo può essere ancora avvertito. Esso dipende dalla frequenza e dalla conducibilità del mezzo nel quale è propagato. In particolare, durante la propagazione, la sua ampiezza decresce esponenzialmente con la profondità. La profondità di penetrazione (**d**) può essere definita come la profondità alla quale l'ampiezza del c.m.p. (A_d) viene diminuita di un fattore e^{-1} rispetto all'ampiezza originaria A_0 che lo caratterizza in superficie.

$$\text{Pertanto } A_d = A_0 * e^{-1}$$

$$\text{Quindi } d = 503.8 * (\sigma * f)^{-1/2}$$

Dove **d** è espresso in metri, σ è la conducibilità del terreno in mS/m, ed f la frequenza in del campo in Hz

- *La profondità di investigazione effettiva (**z_e**)* è quella relativa al corpo conduttore che riesce a produrre un c.m.s. ancora rilevabile in superficie. Detta profondità **z_e** vale $\approx 100 * (\sigma * f)^{-1/2}$.
- *La profondità di indagine (**Z**)* è la profondità alla quale si verifica il così detto "Skin effect" o Effetto Pelle che viene determinato da un elevato valore di conducibilità delle formazioni superficiali. La sua formula è $Z = (2/\mu\sigma\omega)^{-1/2}$.

Strumentazione tecnica impiegata

- **L' EM38DD (Geonics Limited)**

Il principio di funzionamento dell'EM38DD sfrutta quelle che sono le teorie di base dell'E.M.I. Le correnti alternate, che circolando all'interno della bobina trasmittente posta all'interno dello strumento, generano il c.m.p. Detto c.m.p. viaggia sia in superficie, dove in modo diretto arriva alla bobina ricevente, che nel sottosuolo, dove incontrando differenze di caratteristiche elettriche nei volumi di suolo indagati o corpi perturbanti si modifica, e come risposta del terreno si producono delle Eddy

Currents che sono proporzionali alla C.E.a. del terreno misurata in mS/m. Per eliminare l'effetto che il c.m.p. (in superficie) ha direttamente sulla bobina ricevente, la Geonics Limited e la Geophysical Survey System (solo per gli strumenti EM38DD e GEM300) hanno posizionato una terza bobina tra la bobina emittente e la bobina ricevente. La bobina che funge da schermo permette al ricevitore di captare il solo c.m.s., evitando così la polarizzazione ellittica. Le Eddy Currents circolando nel sottosuolo, producono a loro volta un c.m.s., che è direttamente proporzionale alle correnti indotte che lo hanno generato. Di conseguenza, il c.m.s. e le sue componenti geometriche sono funzione delle caratteristiche di conducibilità delle strutture geologiche indagate (figura 13). Il c.m.s. è rilevato dallo strumento attraverso correnti alternate che ne inducono il flusso nella bobina ricevente. Dopodiché lo strumento elabora il dato che appare sul display Lcd.

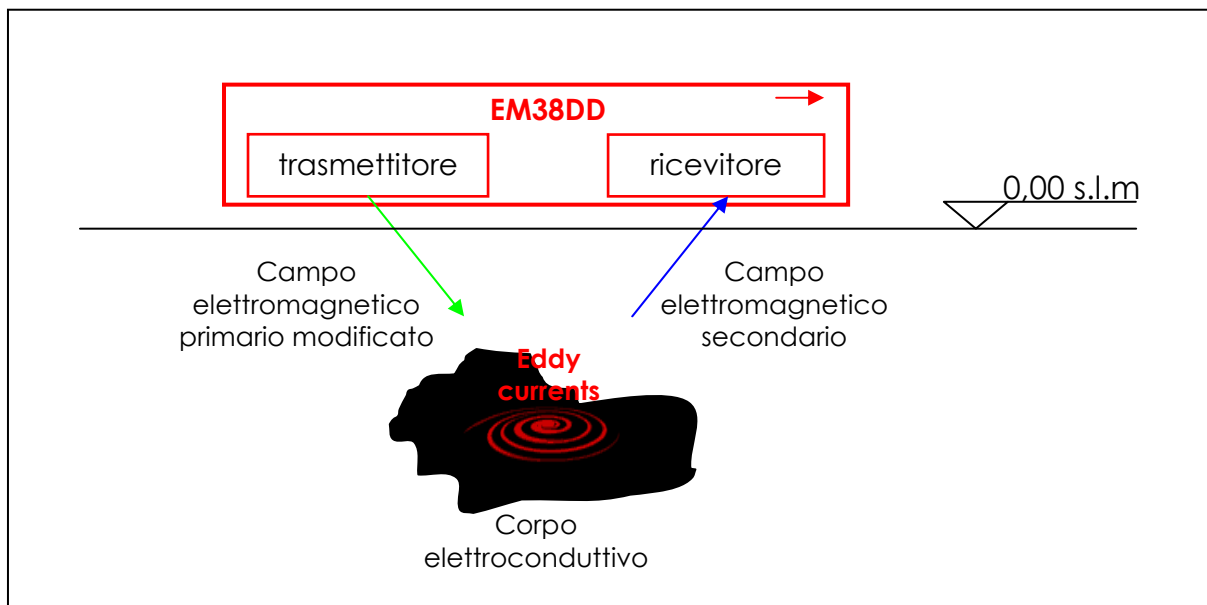


Figura 13 – Schema del principio di funzionamento dell'EM38DD.

Lo strumento è stato acquistato dal DiSter (Dipartimento di Scienze della Terra) nell'ambito del PRIN2003 "*Metodologie geofisiche per l'analisi della variabilità spaziale dei suoli*" (responsabile scientifico Dott. Andrea Vacca). Il parametro rilevato è la Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) misurata in mS/m. La particolare proprietà costruttiva, che pone due unità operative strumentali distinte

chiamate EM38 (figura 14) assemblate una a 90° sull'altra (figura 15), permette la possibilità di acquisire il dato con due modalità operative distinte ma contemporanee, che sono dovute alla diversa disposizione nello spazio delle bobine emittenti e riceventi nelle rispettive unità operative strumentali. La distanza interspaziale di 1 m tra le due bobine alloggiata all'interno di ogni EM38, la frequenza operativa strumentale che nella disposizione orizzontale e verticale dei dipoli è rispettivamente 17,0 e 14,6 kHz e le caratteristiche geofisiche delle aree di studio, permettono di poter effettuare rilievi elettromagnetici riferibili a profondità di indagine differenti.

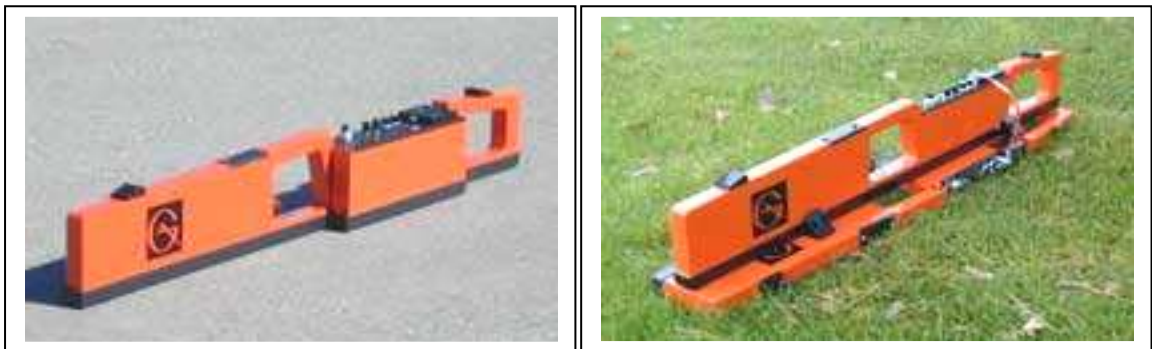


Figure 14 e 15 - EM38 e EM38DD (Geonics Limited).

La Geonics Limited indica, per le due modalità operative strumentali, la corrispondente profondità di penetrazione del segnale elettromagnetico per "suoli omogenei" (contenuto d'acqua e sali distribuiti) (figura 16). La profondità massima d'indagine per la modalità di utilizzo dello strumento in orizzontale è 1,50 m, mentre per la verticale è 0,75 m (Geonics Limited).

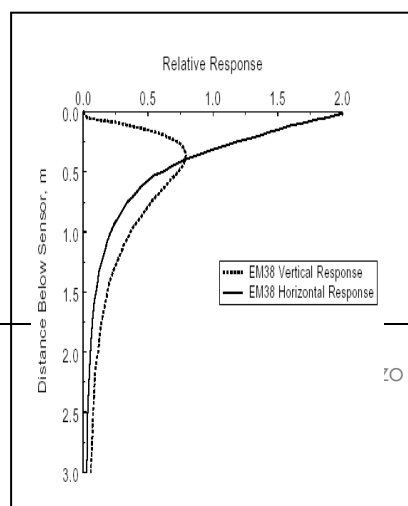


Figura 16 - Profondità di penetrazione del segnale elettromagnetico (Geonics Limited)

Un'altra proprietà importantissima che caratterizza l'EM38DD è di poter essere interfacciato con un Digital Global Positioning System, (D.G.P.S.) consentendo il vantaggio di avere dei valori di C.E.a. riferibili a posizioni inequivocabili nello spazio con un errore submetrico. Inoltre, la gestione dei parametri strumentali e dei dati acquisiti è affidata ad un robusto computer da campo chiamato "Allegro" prodotto e distribuito dalla Juniper System. E' evidente che le numerose particolarità e qualità strumentali possedute dall'EM38DD hanno fortemente indirizzato l'acquisto dello strumento nell'ambito del PRIN summenzionato.



Figura 17 – L'EM38DD configurato e allestito per una prospezione geofisica.

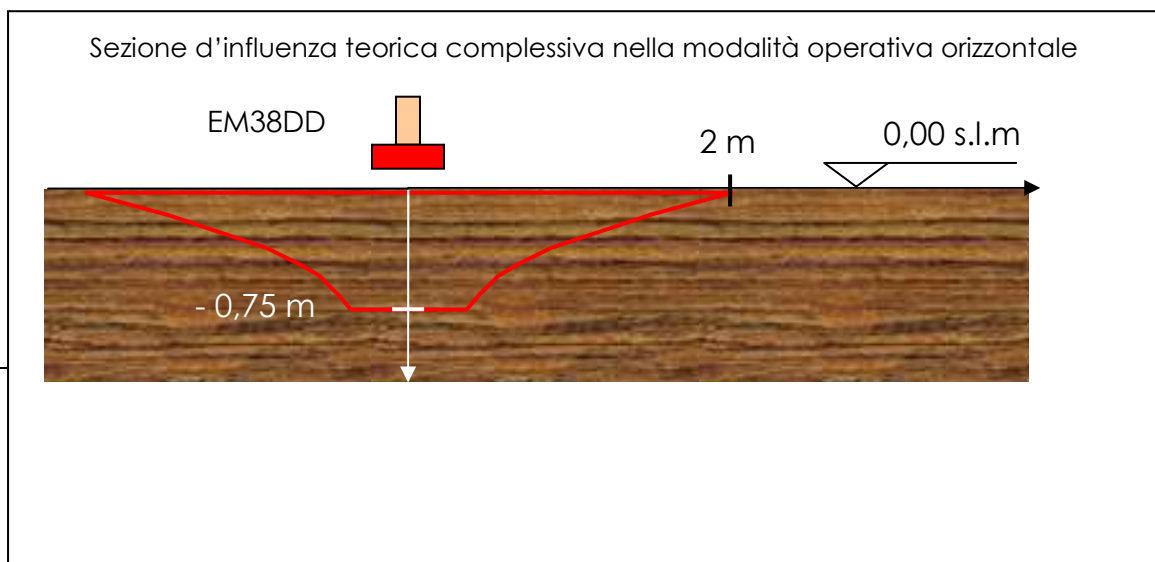
In Tabella 1 vengono elencate alcune caratteristiche tecniche dell'EM38DD.

| | |
|----------------------------|---|
| Measured Quantities | 1: Apparent conductivity in millisiemens per metre (mS/m) 2: In-phase ratio of the secondary to primary magnetic field (ppt) |
| Primary Field | Self-contained dipole transmitter |
| Sensor | Self-contained dipole receiver |
| Intercoil | 1 meter |
| Operating | 14.6 kHz – 9,8 kHz |
| Power | 9V battery |
| Measuring | Conductivity: 100, 1000 mS/m in-phase: +/- 29ppt |
| Noise Levels | Conductivity: 0.5 mS/m in-phase: 0.02ppt |
| Battery Life | 30 hours continuous |

Tabella 1 – Alcune caratteristiche tecniche dell'EM38DD.

Sezione e volume di influenza teorico complessivo

Nelle prospezioni elettromagnetiche, la scelta della strumentazione da impiegare che meglio si addice all'area di studio, come indicato precedentemente, viene presa tenendo fortemente in considerazione la profondità di indagine. La Geonics indica per suoli omogenei (contenuto d'acqua e sali distribuiti) una profondità massima di indagine teorica di 0,75 e 1,50 m e una risposta laterale di 2 e 0,75 m rispettivamente, per la modalità di utilizzo orizzontale e verticale, (figura 16). Basandosi su questi dati è possibile costruire la sezione d'influenza teorica complessiva (figura 18) e successivamente il volume di influenza teorico complessivo per ambedue le modalità operative (figura 19).



Sezione d'influenza teorica complessiva nella modalità operativa verticale

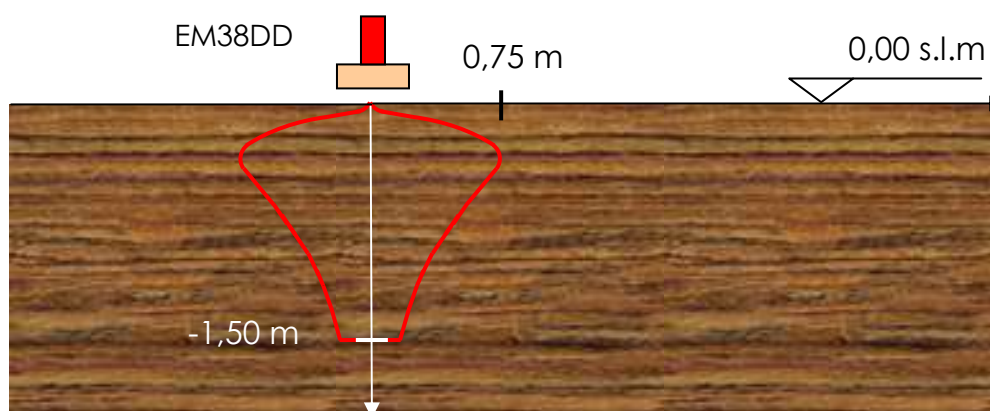
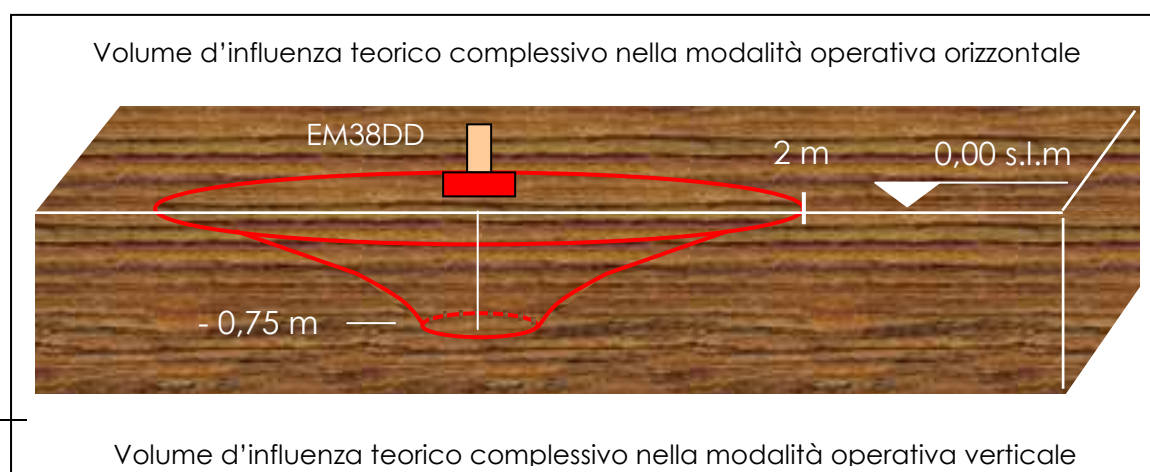


Figura 18 - Sezione d'influenza teorica complessiva nelle due modalità operative strumentali.



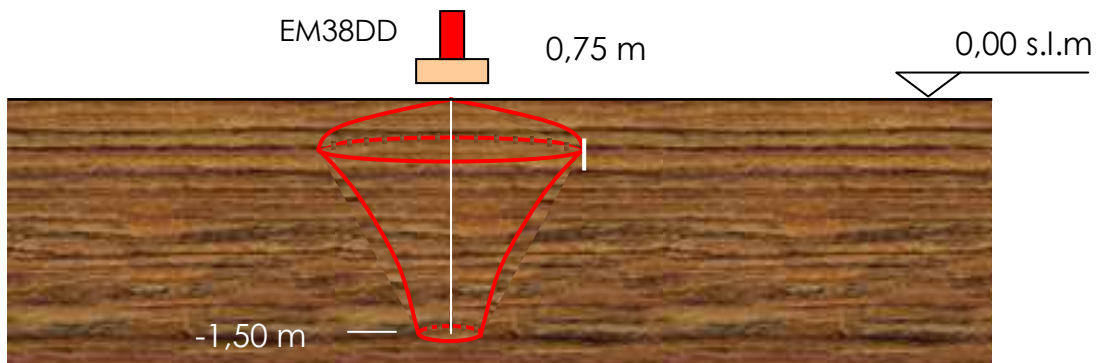


Figura 19 - Volume d'influenza teorico complessivo nelle due modalità operative strumentali.

Lo studio della geometria dei due volumi d'influenza teorica complessiva è stato fondamentale per poter indirizzare le modalità di acquisizione del dato. La necessità di dover rilevare le aree di studio nel modo più completo e omogeneo possibile ha contribuito nella scelta di distanziare i profili geofisici di 2 m.

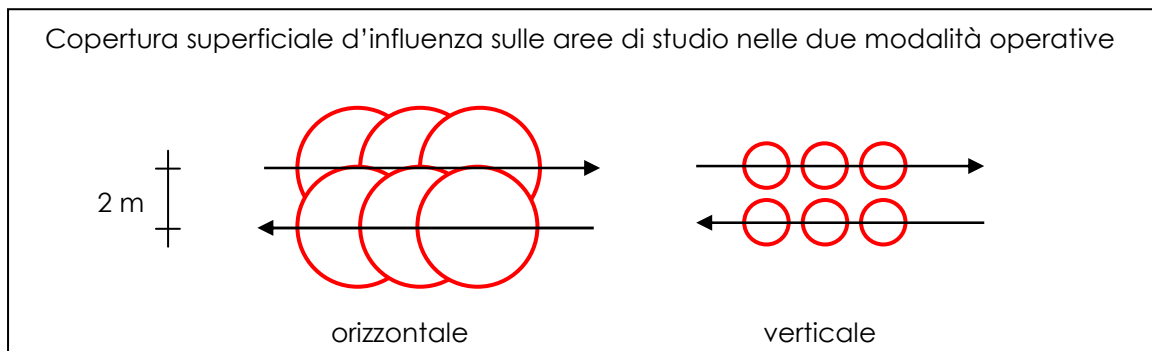


Figura 20 – Copertura superficiale d'influenza sulle aree di studio.
Volume significativo d'influenza (K)

Il volume significativo d'influenza (K) è il volume di suolo che durante la prospezione geofisica maggiormente influisce sulla determinazione del valore della C.E.a. In questo lavoro di ricerca è stata eseguita una stima del "peso" che hanno i diversi strati di suolo sul valore del dato rilevato. E' stata presa in considerazione la sezione d'influenza teorica complessiva nella modalità operativa orizzontale, ed è stata suddivisa in strati con spessore di 0,10 m, dopodiché è stato calcolato il volume di ciascuna sezione di strato, infine si sono conteggiati i valori in percentuale.

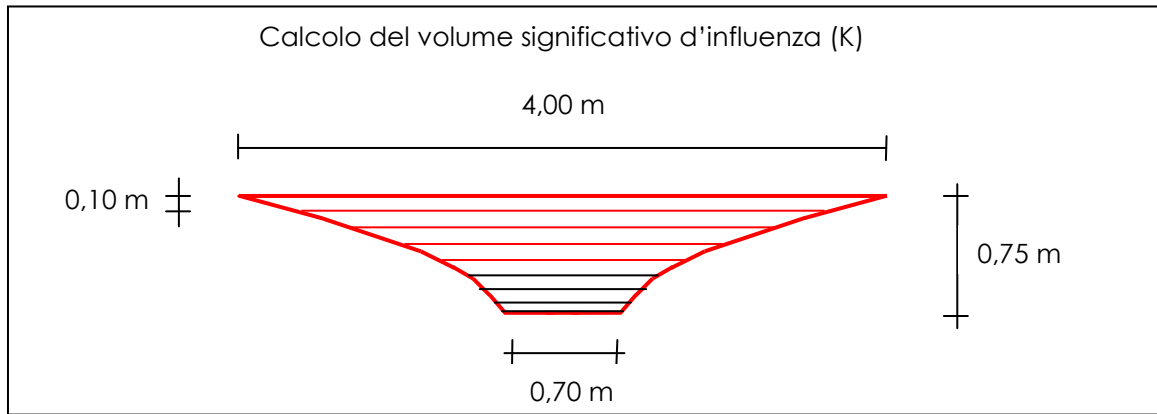


Figura 21 – Suddivisione del volume significativo d'influenza (K) in strati di 0,10 m.

Tabella 2 – Spessori e volumi significativi d'influenza.

| | Spessore (m) | Volume (K) (%) | |
|--|--------------|----------------|---|
| Nella precedente tabella considerati e i rispettivi volume significativo rilevato dallo strumento in un contributi di tutto il volume complessivo. Ma si può influiscono sul dato rilevato per 82,38 %, identificando così un volume significativo d'influenza (K), da 0 a 0,40 m, evidenziato con linee rosse in figura 21. | 0,00-0,10 | 26,08 | sono riportati gli spessori volumi in percentuale sul d'influenza (K) totale. Il dato punto è la sommatoria dei d'influenza teorico vedere che i primi 0,40 m |
| | 0,10-0,20 | 22,26 | |
| | 0,20-0,30 | 17,02 | |
| | 0,30-0,40 | 12,26 | |
| | 0,40-0,50 | 8,50 | |
| | 0,50-0,60 | 6,25 | |
| | 0,60-0,75 | 7,60 | |

Campi di applicazione

In generale, i campi di applicazione nei quali è possibile utilizzare lo strumento EM38DD sono numerosi. Tra i principali settori della ricerca applicata in cui l'EM38DD può essere impiegato con successo, possiamo ricordare:

- Il settore della geoarcheologica, con il fine dell'individuazione di strutture ipogee e la progettazione razionale delle campagne di scavo;
- Il settore dell'ingegneria civile e industriale, con il fine dell'individuazione di sottoservizi e elementi in sottofondazione;
- Il settore dell'ingegneria ambientale, con il fine dell'individuazione e delimitazione di aree di discarica sepolte; individuazione dei plume di dispersione nel terreno; collaudo di omogeneità delle argille in discarica in costruzione; individuazione di vuoti, macerie e/o materiali di riporto.

Nel presente lavoro di ricerca, l'EM38DD è stato impiegato sperimentalmente in campo geopedologico. E' fondamentale, infatti, per l'analisi, lo sviluppo e l'utilizzo di strategie di gestione come l'agricoltura di precisione, avere informazioni di elevata qualità sulle proprietà rilevanti del suolo e sulla loro distribuzione spaziale. Dette proprietà possono, attraverso rappresentazioni cartografiche di dettaglio, essere facilmente riprodotte. Nello stesso ambito è stato utilizzato, antecedentemente ai campionamenti pedologici tradizionali, al fine di avere una prima definizione di unità pedologiche, così da poter effettuare una campagna di profili mirata, e per la predizione del dato in un punto non raggiungibile per difficoltà di tipo logistico in fase di test.

Sviluppo dei sistemi e delle tecniche di trasporto strumentale

La leggerezza e la maneggevolezza dell'EM38DD consentono, ad un solo operatore, di poter effettuare una prospezione elettromagnetica senza l'ausilio di altra manodopera, con conseguente abbattimento dei costi d'opera. Generalmente, quando le dimensioni, la morfologia, il tipo e le condizioni del suolo dell'area d'indagine lo permettono, lo strumento (circa 12 kg) viene trasportato a mano dall'operatore mediante uno zaino dove viene sistemata sia l'antenna del D.G.P.S. che la batteria di alimentazione (figura 22). Nel presente lavoro di ricerca è stato progettato e realizzato un sistema di trasporto strumentale che, laddove la tipologia

di suolo lo consente, permette riduzioni sostanziali del tempo di prospezione, consentendo un notevole incremento del ritmo di acquisizione (figura 23).



Figure 22 e 23 – Strumentazione geofisica condotta a mano e con l'ausilio del sistema di trasporto, rispettivamente.

Il sistema di trasporto strumentale è stato costruito interamente in legno, al fine di evitare interferenze con i campi elettromagnetici prodotti e rilevati dall'EM38DD. Esso è composto da 8 travetti di legno con sezione 0,04 x 0,04 m connessi fra loro con un sistema di leveraggio che oltre ad avere funzione strutturale, consente di poter essere ripiegato su se stesso una volta terminata la campagna di acquisizione dei dati. Anche le ruote utilizzate sono interamente in materiale amagnetico. La funzionalità del sistema, ha permesso:

- di poter rilevare un'area maggiore nell'unità di tempo;
- che la distanza suolo-strumento e la velocità di spostamento dell'equipaggiamento rimanessero costanti per tutta la prospezione;
- che il sensore D.G.P.S., essendo vincolato e centrato al sistema di trasporto dell'EM38DD, permettesse una maggior precisione nel posizionare nello spazio i dati rilevati.

Questi vantaggi hanno consentito, durante l'acquisizione del dato, che il volume d'influenza teorico complessivo rilevato si avvicinasse molto alle condizioni geometriche standard riportate dalla casa costruttrice nel grafico in figura 16.

- **L'ALLEGRO (Juniper System)**

L'"Allegro", costruito dalla Juniper System (figura 24), incluso nel kit della strumentazione dell'EM38DD è un robusto computer da campo ideato e fabbricato per situazioni ambientali estreme. Esso è compatto, resistente all'acqua e può operare a temperature che vanno da - 30 a 54 °C. Inoltre è ergonomico, leggero, così da essere facilmente utilizzato per lunghi periodi. Il computer, grazie alle sue caratteristiche, permette la gestione di una grande quantità di dati, fornendo in tempo reale i grafici dei parametri rilevati dall'EM38DD. Inoltre, grazie alla sua compatibilità con il linguaggio NMEA-0183 (stringhe di messaggi standard per la ricezione dei dati dei G.P.S.- National Marine Electronic Association), permette la gestione contemporanea dei dati dell'EM38DD e di quelli di un G.P.S. Differenziale, consentendo la creazione di un solo file contenente i valori di Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) in entrambe le modalità operative, dipolo orizzontale e dipolo verticale, e i loro rispettivi riferimenti nello spazio.

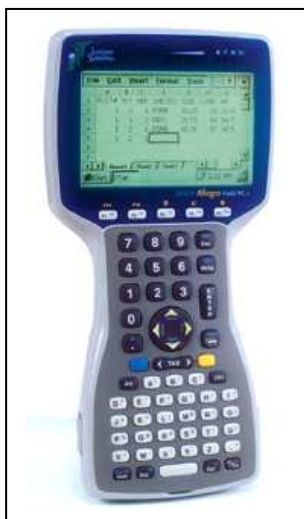


Figura 24 – L'Allegro della Juniper System.

Nella tabella 3 vengono riportate alcune delle principali caratteristiche tecniche dell' "Allegro".

| | |
|--------------------------|--|
| Processore | AMD SC 400, 486 AMD Processor, 100 MHz |
| Sistema operativo | MS-DOS 6.22 |
| Programmi | DOS Utilities: DOS File Manager, Text Editor Terminal Program |
| Caratteristiche fisiche: | |
| Misure | 256mm x 133 mm x 79 mm x 38 mm |
| Peso | 807 gr. |
| T° di utilizzo | Da -30 a 54 °c |
| Impermeabilità | Passes MIL-810E-512.3 and IP67 leak |

| | |
|--------------------------|--|
| | (immersion) |
| Impermeabilità da caduta | Passes MIL-810E-512.4 shock (drop) test |
| Porte | N° 2 da 9 pin D RS – 232 ports |
| | 5V power at 250 mA for external device |
| Display | LCD Backlight with adjustable brightness |
| | CGA graphics |
| | Active viewing area: 3.3" x 2,5" |
| Memory | 16 Mb low power RAM |

Tabella 3 – Alcune caratteristiche tecniche dell'"Allegro", Juniper System.

- **Il G.P.S. (Global Positioning System)**

Struttura del sistema

Il sistema G.P.S. è articolato su 24 satelliti più altri 3 di riserva, per un totale di 27 elementi distribuiti su sei piani orbitali inclinati sull'equatore di 55°, ad un'altezza di 20.183 Km e strettamente controllati dalle stazioni a terra. La frequenza dell'emissione radio è di 1575,42 MHz, e la potenza irradiata da ogni satellite è di circa 500 w. Le informazioni sulle orbite dei satelliti sono dette effemeridi e sono costantemente aggiornate nei G.P.S. ogni volta che si accende lo strumento. Queste informazioni mantenute nel terminale vengono chiamate Almanacco. Ogni satellite ha a bordo due orologi atomici al cesio e due al rubidio per avere un grado di ridondanza adeguato. Esso invia una stringa di segnali digitali, ad intervalli determinati, che comprende, oltre alla posizione, anche l'orario di invio. Tutti i satelliti sono sincronizzati tra loro, per cui il ricevitore calcola semplicemente il tempo che impiega il segnale ad arrivare dal satellite. Replicando questo calcolo per altri satelliti, il ricevitore è in grado di calcolare la sua posizione.

G.P.S. come sistema di posizionamento

Il sistema permette di ottenere dati di posizione in termini di longitudine, latitudine ed altitudine. Per ottenere questi dati devono essere visibili almeno quattro satelliti. L'algoritmo utilizzato per il calcolo è rappresentato dal seguente sistema:

$$(X1-Ux)^2+(Y1-Uy)^2+(Z1-Uz)^2=(t1 \cdot c)^2$$

$$(X2-Ux)^2+(Y2-Uy)^2+(Z2-Uz)^2=(t2 \cdot c)^2$$

$$(X3-Ux)^2+(Y3-Uy)^2+(Z3-Uz)^2=(t3 \cdot c)^2$$

$$(X4-Ux)^2+(Y4-Uy)^2+(Z4-Uz)^2=(t4 \cdot c)^2$$

Dove c è la velocità di propagazione della luce, X, Y, Z sono le coordinate del satellite, Ux, Uy, Uz sono le coordinate del ricevitore G.P.S.

Risolvendo questo sistema si può ricavare:

- la posizione, avendo il dato di tempo
- il dato di tempo avendo l'esatta posizione

Limiti

I fattori che limitano la precisione delle informazioni trasmesse dal sistema sono molti tra cui:

- L'incertezza degli orologi atomici del G.P.S.
- L'incertezza dell'orbita dei satelliti
- Approssimazioni del modello della ionosfera
- Ritardi dei cavi
- Disposizione dei satelliti (DOP)

Inoltre, la visibilità deve essere ampia nel cielo, perciò risulta difficile fare il punto (fix) in mezzo ai grattacieli o in fondo ad un canyon (anche una densa copertura di foglie può a volte dare problemi). E' necessario che il ricevitore abbia a disposizione almeno tre satelliti visibili per avere un fix su due dimensioni (latitudine e longitudine), mentre servono almeno quattro satelliti per avere anche l'indicazione relativa all'altitudine. I satelliti visibili devono avere, infine, una "buona geometria" (DOP) ovvero essere disposti all'incirca in quadrato, non troppo bassi sull'orizzonte né troppo prossimi alla verticale. Questo sistema di rilevamento ha come limite intrinseco il valore dell'altitudine riportato dallo strumento che è raramente affidabile. Generalmente, il valore di altitudine che si ottiene in un fix qualsiasi di quattro satelliti, anche di buona geometria, è molto lontano da quello reale. Per avere un valore attendibile sono necessari praticamente tutti i satelliti visibili, ed in questa situazione

sono comunque possibili errori dell'ordine di svariate decine di metri. Il governo degli Stati Uniti, proprietario del sistema di satelliti usato dai sistemi G.P.S., non chiede alcun canone per lo sfruttamento della risorsa, ma ha mantenuto nel sistema G.P.S. (fino al 1 maggio del 2000) un "errore indotto" chiamato SA (Selective Availability). Questo errore riduceva la precisione del sistema a circa 100 m di approssimazione in maniera casuale (nominalmente, in pratica molto spesso anche 150/200 m), rendendo molto difficili le letture precise della posizione. Soprattutto la ricerca di una posizione (marker) era difficoltosa in quanto all'errore presente all'epoca del rilevamento si aggiungeva l'errore nel momento della ricerca effettuata in un secondo tempo. Questa condizione ha favorito negli anni scorsi lo sviluppo del sistema Differential G.P.S. (D.G.P.S.) per aumentarne la precisione. Ad oggi con questo sistema che si basa su radiofari terrestri che inviano dei fattori di correzione si raggiungono precisioni ancora superiori, facendo scendere il margine di incertezza sotto il metro. Il sistema D.G.P.S. non è disponibile ovunque, poiché per garantire precisione richiede di trovarsi entro un raggio di circa 200 km dalle poche stazioni che irradiano il segnale correttivo.

Il rilievo differenziale in post elaborazione

Per ottenere precisioni migliori di 10-15 m (auspicabili con i G.P.S.) bisogna lavorare contemporaneamente con due strumenti. Il rilievo può essere fatto con due tecniche: Post Elaborazione e Real Time. Nel primo caso si terrà fisso uno strumento chiamato "Base" e si utilizzerà l'altro chiamato "Rover" per andare a misurare quei punti oggetto del rilievo. La precisione delle coordinate dipenderà dalla tipologia di strumentazione utilizzata; sarà centimetrica nel caso di G.P.S. topografici, sarà metrica nel caso di G.P.S. per uso GIS.

Il rilievo differenziale in tempo reale

Nel caso in cui il G.P.S. Base e quello Rover siano collegati tra loro tramite Radio modem o GSM, l'elaborazione differenziale verrà effettuata immediatamente. In questo caso il Ricevitore Rover visualizzerà la propria posizione in coordinate corrette e i punti misurati saranno già corretti. Anche in questo caso la bontà delle misurazioni dipenderà dalla tipologia della strumentazione.

Il sistema D.G.P.S. adottato in questo lavoro di ricerca

Il sistema adottato in questo lavoro di ricerca per la correzione della posizione G.P.S. in tempo reale è stato realizzato da "OmniSTAR". Con questo sistema gratuito si possono ottenere le coordinate corrette direttamente in campagna con la precisione di 1 m.

Il sistema WAAS/EGNOS

Da alcuni anni è operativa la versione europea del sistema WAAS (Wide Area Argumentation Service) Si tratta del sistema EGNOS (European Geographic Navigation Overlay System), che garantisce agli strumenti compatibili una precisione attorno ai due metri. Il sistema garantisce l'affidabilità del dato G.P.S. ricevuto dai satelliti e consente un calcolo della quota estremamente più preciso, che in futuro verrà utilizzato anche per la navigazione aeronautica. La copertura di EGNOS nel mondo è riportata in figura 25. A questi satelliti si aggiungerà tra breve un terzo satellite (Artemis) che al momento viene ricevuto ma non agganciato.

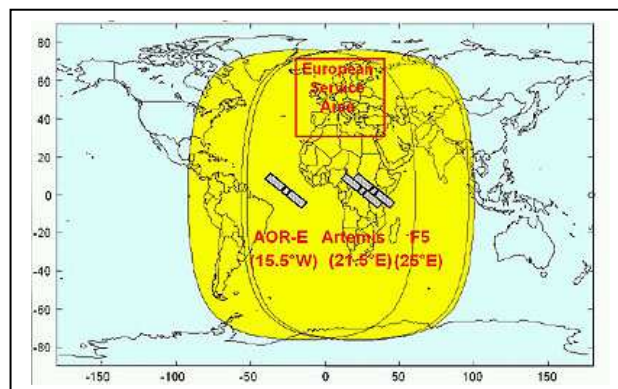


Figura 25 – EGNOS geostationary-satellite broadcast areas (Area di Copertura dei Satelliti geostazionari EGNOS), Immagine di proprietà ESA - European Space Agency

Struttura del sistema

Si tratta di un sistema basato su tre elementi:

- una rete di satelliti geostazionari (ovvero con posizioni fisse sulla superficie della terra, al contrario dei satelliti G.P.S. che invece, sono orbitanti). Nel Nordamerica la copertura è fornita da Inmarsat III POR (Pacific Ocean Region) e AOR-W (Atlantic Ocean Region-West). L'Europa viene invece servita

da altri due Inmarsat (AOR-E e IOR) e dal satellite dell'Agenzia spaziale europea Artemis. L'Agenzia Europea ha anche previsto di incorporare nel messaggio EGNOS il segnale di correzione predisposto dagli otto satelliti russi GLONASS. Anche il Giappone ha una sua rete di satelliti che si chiama MSAS.

- una rete di stazioni terrestri di elaborazione dei ritardi del segnale emesso dai satelliti G.P.S. a causa della ionizzazione della troposfera. Nell'immagine riportata in figura 26 è rappresentata la copertura europea con la dislocazione delle stazioni di rilevamento dell'errore del sistema G.P.S.

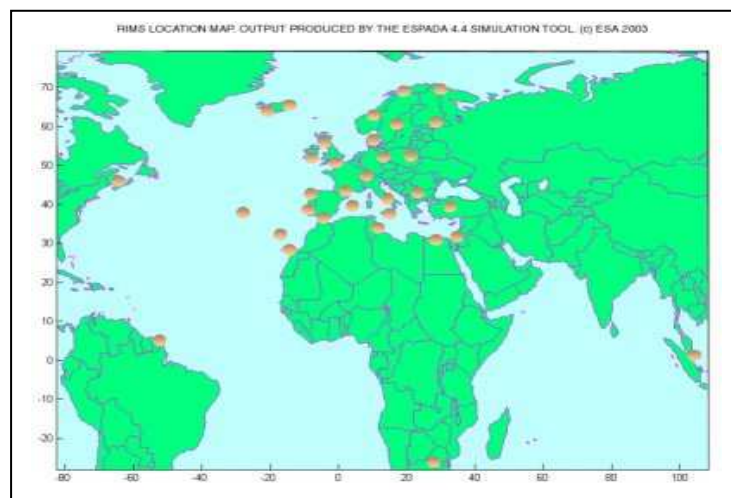


Figura 26 - Location of EGNOS Ranging and Integrity Monitoring Stations (Dislocazione delle Stazioni di Monitoraggio delle Distanze e Integrità) Immagine di proprietà ESA - European Space Agency.

- le stazioni centrali di elaborazione dei dati. Nell'immagine riportata in figura 27 le stazioni in Europa.

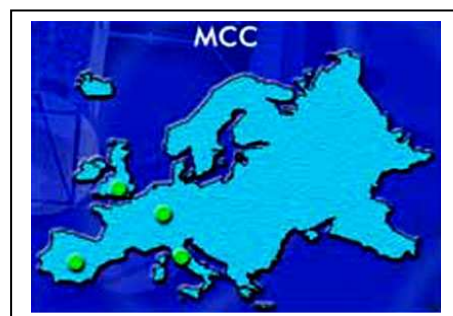


Figura 27 - Navigation Land Earth Stations, Immagine di proprietà ESA - European Space Agency.

Il sistema di elaborazione dell'errore G.P.S. funziona rilevando, nelle stazioni a terra, l'errore dei dati trasmessi dai satelliti G.P.S., imputabile, in massima parte, alla ionizzazione degli strati più bassi dell'atmosfera. Per correggere il dato viene confrontata la propria posizione, calcolata tramite i dati ricevuti dai satelliti G.P.S., con i dati generati dal sistema, che sono invece elaborati basandosi esclusivamente sui dati delle orbite dei satelliti e sulla posizione certificata della stazione. I terminali G.P.S. basano il calcolo della loro posizione sul ritardo con cui ricevono il segnale dai satelliti. Se è nota esattamente la posizione della stazione a terra, e la posizione dove si trova il satellite in un dato momento, allora possiamo definire facilmente l'errore dato dalla propagazione del segnale nell'atmosfera utilizzando i dati dell'orbita del satellite. E' altrettanto facile creare una "rete" di punti attorno alla stazione, e ricavare il margine di errore relativo a ciascuno di questi punti, allargando in questo modo la zona di intervento in cui è valido il calcolo dell'errore del sistema G.P.S. Le stazioni di elaborazione dell'errore dei dati G.P.S. sono posizionate su tutto il territorio europeo, e ognuna rileva un modello di errore valido per la rispettiva zona di pertinenza. I dati rilevati vengono inviati ad una stazione centrale di elaborazione. In questa maniera viene generato un "reticolo" di fattori di correzione molto fitto. Si tratta in pratica di un gran numero di punti di posizione certa, per ciascuno dei quali viene elaborato il dato di correzione relativo al segnale ricevuto da ciascun satellite G.P.S. Questi dati sono aggiornati in tempo reale, in quanto le condizioni di propagazione del segnale G.P.S. attraverso l'atmosfera sono mutevoli in conseguenza delle condizioni dell'atmosfera stessa. Questi fattori di correzione vengono inviati ai satelliti WAAS/EGNOS per poter essere finalmente ritrasmessi a terra utilizzando la frequenza G.P.S. (esattamente la L1) e ricevuti dagli utenti abilitati. Il terminale che li riceve seleziona i dati validi per i punti del "reticolo" a lui più vicini e li applica ai satelliti che sta ricevendo in quel momento ed utilizzando per il calcolo della sua posizione. L'area di copertura del sistema è estesa, oltre all'Europa, anche a tutto il Nord Africa, includendo il nord del Marocco, la Tunisia, l'Algeria e la Libia.



Figura 28 - Areas covered by the WAAS, EGNOS and MSAS systems
Le aree di copertura dei rispettivi sistemi, allo stato attuale.
Immagine di proprietà ESA - European Space Agency.

- **D.G.P.S. Ag 114 (Trimble)**

Il D.G.P.S. Ag 114 è un ricevitore-antenna combinato ad alte prestazioni di ricezione G.P.S. e D.G.P.S. Esso riceve i dati corretti attraverso la tecnologia The Choise™, che permette le correzioni differenziali in tempo reale di OmniSTAR, sistema gratuito utilizzato in questa ricerca e di Racal-LandStar (figura 29, Manuali Trimble). L'accuratezza del ricevitore per i dati corretti con la modalità differenziale è meno di 1 m RMS + 10 ppm volte la distanza tra la stazione di riferimento e il ricevitore mobile, date le condizioni seguenti:

- Numero di satelliti usati >5
- Maschera PDOP <4
- Segnale al Rapporto rumore >6
- Maschera di elevazione Satellite >7,5
- Ambiente con Multipath basso
- Radiotrasmissione delle correzioni RTCM-compatibili

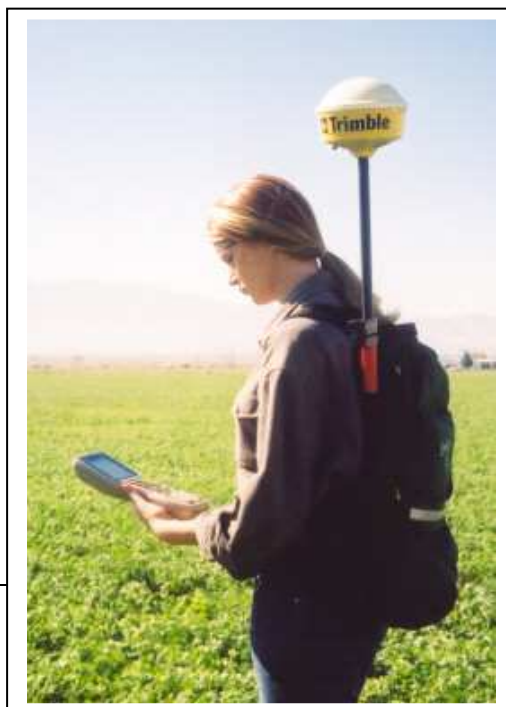


Figura 29 – L'Ag114 della Trimble e l'Allegro della Juniper System.

Nella tabella 4 vengono riportate alcune caratteristiche tecniche dell'Ag114

| |
|---|
| 12 GPS (C/A-code) canali tracking, filtrazione di fase portante |
| Accuratezza differenziale secondaria (RMS): assume come inimo5 satelliti e PDOP meno di 4 |
| Combina G.P.S./D.G.P.S. ricevitore ed antenna |
| Attacco magnetico di antenna |
| Cavo dati /corrente |
| Programma software AgRemote che simula l'interfaccia LCD |
| 2 porte seriali RS-232 |
| NMEA in uscita : GGA, GLL, GRS, GSA, GSV, MSS, RMC, VTG, ZDA, XTE |
| Predefiniti NMEA : GGA, GSA, VTG, RMC |
| Messaggi di proprietà Trimble NMEA : PTNLDG, PTNLEV, PTNLGGK, PTNLID, PTNLMS |
| RTCM SC – 104 uscita |
| TSIP entrata ed uscita |
| 1 porta J1939 (CAN 2.0B) compatibile |
| WAAS correzione differenziale compatibile |

Tabella 4 – Parametri tecnici dell'Ag114 della Trimble.

- **GEM300 (Geophysical Survey System)**

Il GEM300 ha lo stesso principio di funzionamento basato sull'elettromagnetismo indotto degli altri strumenti utilizzati in questo lavoro di ricerca. Lo strumento, attraverso un'acquisizione continua, consente di poter emettere e ricevere dei campi elettromagnetici in multifrequenza. Questa caratteristica strumentale permette di poter opportunamente prediligere una o più frequenze appropriate, in modo tale da ottenere informazioni provenienti da profondità di indagine differenti. La tecnica di indagine consente quindi l'acquisizione dei dati relativi ad anomalie del campo magnetico locale indotto, lungo sezioni continue poste a diverse profondità dal piano di indagine. Tramite la *pulse-width modulation technique*, un impulso elettromagnetico in multifrequenza viene trasmesso all'interno del terreno attraverso una bobina trasmittente. La registrazione delle variazioni indotte dalle anomalie sepolte avviene tramite la bobina ricevente, opportunamente disaccoppiata dalla

prima, attraverso un convertitore A/D a 16 bit. Con questo dispositivo, la profondità d'indagine varia in funzione delle frequenze utilizzate e del tipo di materiale indagato, potendo raggiungere oltre 6 m di profondità, con le frequenze più basse. Il GEM300 offre la possibilità di scegliere le frequenze di lavoro in un range compreso tra 300 e 20.000 Hz a cui corrispondono diverse capacità penetrative delle onde elettromagnetiche emesse dallo strumento. I dati di campagna sono registrati all'interno del GEM300 e successivamente scaricati su PC per la loro elaborazione. Attraverso software specifici, vengono restituite mappe di conducibilità o mappe dello sfasamento del campo elettromagnetico registrato rispetto a quello prodotto, alle varie profondità di indagine. Lo strumento non ha la possibilità di poter essere interfacciato con un D.G.P.S. e questa mancanza di connessione rende il GEM300 carente da un punto di vista tecnico-scientifico.

Nella figura 30 viene rappresentato il GEM300 durante la fase di acquisizione nell'area di ricerca 2, a Monastir in località Su Pardu.



Figura 30 – Acquisizione del dato con lo strumento GEM300 (Geophysical Survey System).

Nella tabella 5 sono rappresentate alcune caratteristiche tecniche dello strumento.

| | |
|------------------------------|--|
| Measurement Values | I & Q values in either mS/m or ppm |
| Coil Spacing | 1.3 m |
| Operating Frequencies | 330 to 20,000 Hz |
| Power | Rechargeable NiMH batteries |
| Display | 62.5 x 43.5 mm LCD |
| Memory | 112,000 measurements (In-phase and Quadrature) |
| Measurement Range | Conductivity: 0.1 - 1000 mS/m |
| Dimensions | Length: 190 cm (74 in.) |
| Maximum width | 20 cm (7.9 in.) |
| Maximum height | 15 cm (5.9 in.) |
| Weight | 6.4 kg (14 lbs.) |

Tabella 5 – Caratteristiche tecniche GEM300 (Geophysical Survey System)

Campi di applicazione

In generale, i campi di applicazione nei quali è possibile utilizzare lo strumento GEM300 sono numerosi. Tra i principali settori della ricerca applicata in cui il GEM300 può essere impiegato con successo, possiamo ricordare:

- Il settore della geoarcheologica, con il fine dell'individuazione di strutture ipogee e la progettazione razionale delle campagne di scavo;
- Il settore dell'ingegneria civile e industriale, con il fine dell'individuazione di sottoservizi e elementi in sottofondazione;
- Il settore dell'ingegneria ambientale, con il fine dell'individuazione e delimitazione di aree di discarica sepolte; individuazione dei plume di

dispersione nel terreno; collaudo di omogeneità delle argille in discarica in costruzione; individuazione di vuoti, macerie e/o materiali di riporto.

Nel presente lavoro di ricerca, il GEM300 è stato impiegato sperimentalmente in campo geopedologico. E' fondamentale, infatti, per l'analisi, lo sviluppo e l'utilizzo di strategie di gestione come l'agricoltura di precisione, avere informazioni di elevata qualità sulle proprietà rilevanti del suolo e sulla loro distribuzione spaziale. Dette proprietà possono, attraverso rappresentazioni cartografiche di dettaglio, essere facilmente riprodotte. Nello stesso ambito, è stato utilizzato, antecedentemente ai campionamenti pedologici tradizionali, al fine di avere una prima definizione di unità pedologiche, così da poter effettuare una campagna di profili mirata, e per la predizione del dato in un punto non raggiungibile per difficoltà di tipo logistico in fase di test.

2.1.2 Metodo E.M. - (V.L.F.) Very Low Frequency

Principio di funzionamento della metodologia (V.L.F.)

I metodi elettromagnetici V.L.F. utilizzano stazioni emittenti militari che operano ad elevate potenze (500-1000 kW) e basse frequenze (10-25 kHz). Dette stazioni, posizionate in punti strategici intorno al pianeta, venivano impiegate per trasmissioni con sottomarini in quanto possono essere captate a decine di metri sotto la superficie del mare. Le stazioni emettono continuamente segnali non modulati, oppure onde, con sovrapposti dei codici morse. Tali segnali possono essere usati per indagini elettromagnetiche, anche a grande distanza dalle stazioni trasmettenti. A grande distanza dalla sorgente il campo elettromagnetico può essere considerato

planare ed orizzontale. La componente elettrica E si trova nel piano verticale e la componente magnetica H si trova ad angolo retto rispetto alla direzione di propagazione (figura 31).

Le prospezioni V.L.F., essendo delle prospezioni E.M.I., hanno lo stesso principio di funzionamento descritto nei precedenti paragrafi. Tuttavia, sussistono alcune differenze rispetto ai metodi E.M.I. precedentemente descritti.

Il metodo V.L.F. :

- Utilizza strumenti che non generano un campo elettromagnetico primario, ma che sfruttano, come già detto, i segnali provenienti da stazioni militari;
- Utilizza campi elettromagnetici emessi a migliaia di km di distanza e di conseguenza può essere impiegato per rilevare aree di studio con profondità di indagine molto elevata;
- Opera in un range di frequenza più basso (10-25 kHz) rispetto a quello utilizzato per le prospezioni E.M.I.

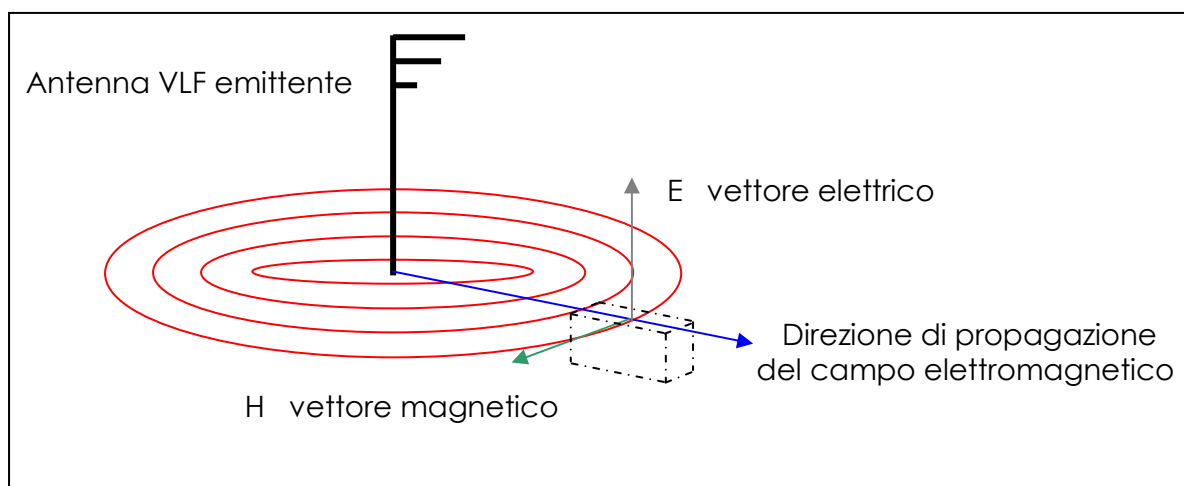


Figura 31 – Principio del metodo V.L.F.

Strumentazione tecnica impiegata

- **L' EM16 (Geonics Limited)**

Il rilievo dei campi elettromagnetici, nelle prospezione V.L.F., può essere effettuato con lo strumento EM16 prodotto dalla Geonics Limited con sede in Toronto (Canada) (figura 32). Tale strumento fa parte delle dotazioni del Di.Gi.TA, (Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali dell'Università di Cagliari).

Esso è composto da :

- Consolle elettronica
- Clisimetro
- Manopola controllo della quadratura
- Bobina di segnale
- Bobina di riferimento
- Cinghia di trasporto

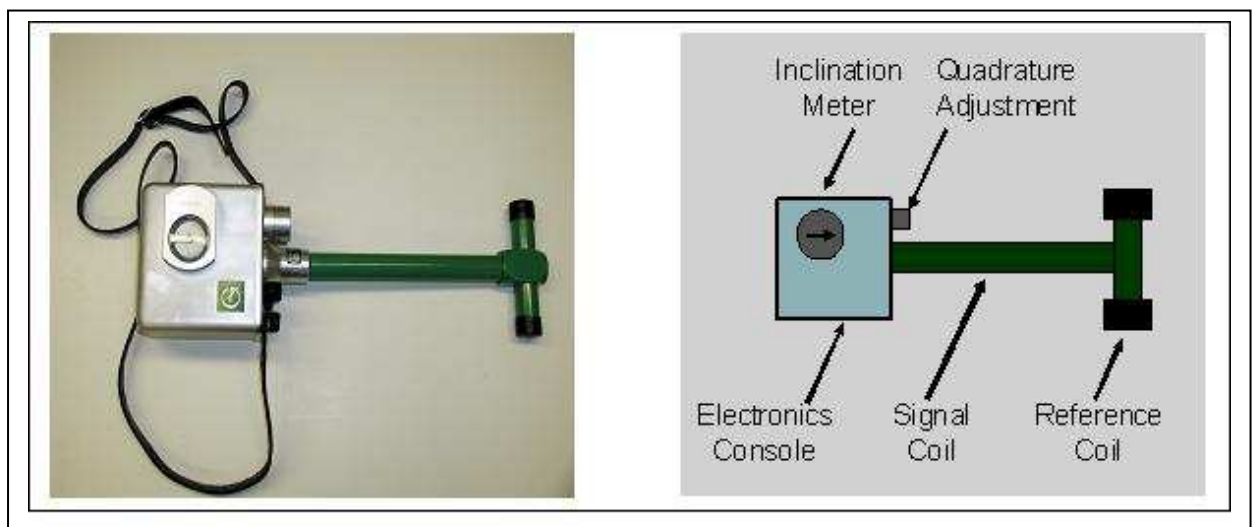


Figura 32 – EM16 della Geonics Limited (Toronto, Canada).

I parametri rilevati dallo strumento sono la componente in fase e la componente in quadratura. La componente in fase è proporzionale all'intensità del c.m.s. ed è funzione della presenza di corpi metallici o materiali o rocce dove vengono a crearsi alte concentrazioni di ioni metallici. La componente in quadratura è proporzionale allo sfasamento tra l'onda elettromagnetica emessa e quella ricevuta, ed è anche un indice di conducibilità del volume di suolo indagato. Essa è proporzionale allo schiacciamento dell'elisse di polarizzazione e quindi al rapporto tra semiasse maggiore e semiasse minore. La combinazione tra il campo magnetico primario orizzontale e il campo magnetico secondario, avendo stessa frequenza ma diversa direzione, ampiezza e fase, produce un campo magnetico orizzontale che differisce dalle sue componenti per fase e ampiezza. Un campo secondario, verticale e in fase con il campo primario, produce un campo risultante con la stessa fase ma con un angolo di "tilt". Un campo secondario, verticale e in quadratura con il campo primario, risulta polarizzato ellitticamente (Paterson e Ronka, 1971; Phillips e Richards, 1975) (figura 33).

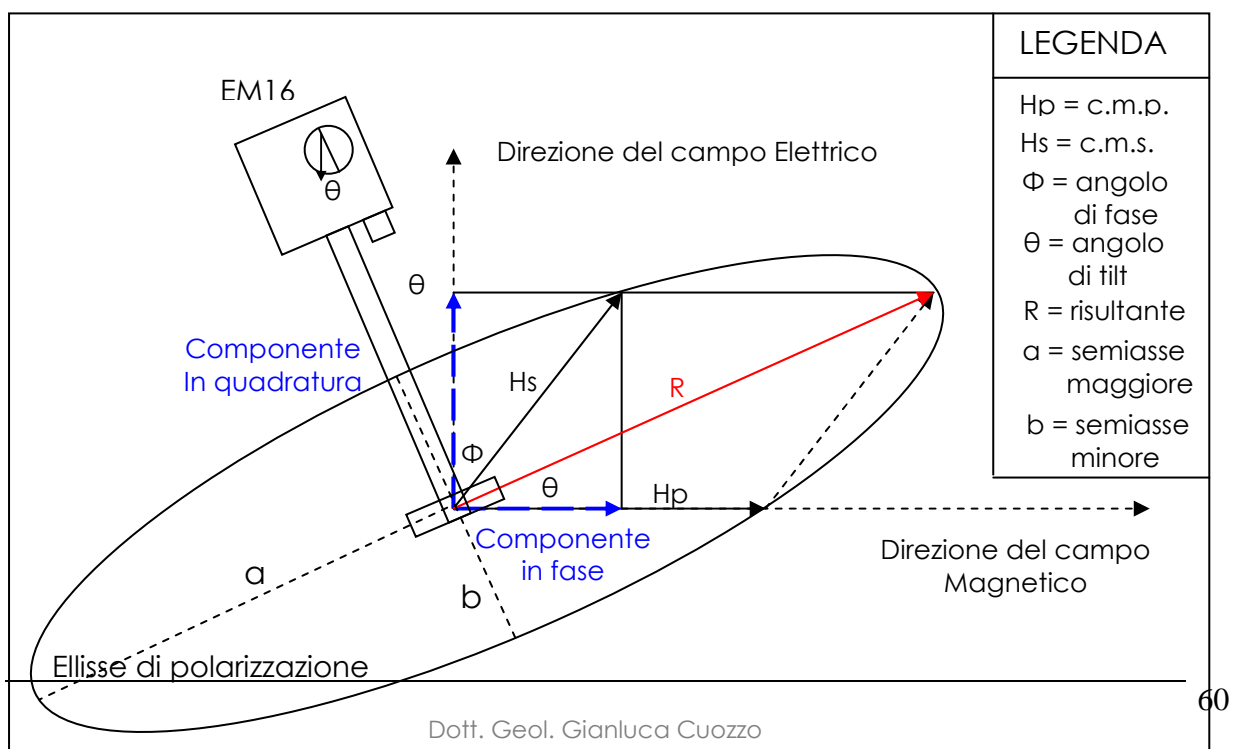


Figura 33 – Ellisse di polarizzazione.

Lo strumento impiega una bobina da ricerca composta da centinaia di spire di cavo di rame avvolte in una struttura circolare o rettangolare. Tale bobina è connessa ad un amplificatore di segnale e a dei trasduttori auricolari o speakers. L'ampiezza delle tensioni alternate indotte nella bobina da un campo elettromagnetico è proporzionale alla componente del campo perpendicolare al piano della bobina. Conseguentemente, l'intensità del suono negli altoparlanti è al massimo quando il piano su cui poggia la bobina è ad angolo retto con la direzione di propagazione del campo. In funzione della sensibilità dell'orecchio umano, che percepisce meglio i suoni bassi rispetto a quelli alti, si sintonizza la bobina, e quindi lo strumento, fino ad una posizione nulla, dove si percepisce il suono minimo. In questa posizione il piano della bobina è nella stessa direzione della propagazione del campo elettromagnetico primario (figura 34). Ruotando lo strumento di 90° in senso orario, la direzione di propagazione del campo elettromagnetico primario diventa ortogonale al piano su cui poggia la bobina. Successivamente, si posiziona l'EM16 ponendo la bobina di riferimento lungo il campo magnetico H_p e si effettua un movimento oscillatorio con lo strumento fino a quando si incontra il minimo sonoro e, contemporaneamente, si legge nel clisimetro il valore della componente in fase (figura 35). Poi, senza cambiare posizione, si agisce su un sintonizzatore fino a trovare un altro minimo sonoro al quale corrisponde il valore della componente in quadratura (Geonics Limited., 1980).



Figura 34 e 35 – Acquisizione dei dati mediante EM16 Geonics Limited.

Campi di applicazione

In generale, lo strumento EM16 ha numerosi campi di applicazione. Tra i principali settori della ricerca applicata in cui l'EM16 può essere impiegato con successo, possiamo ricordare:

- Il settore dell'ingegneria civile e industriale, con il fine dell'individuazione di sottoservizi e elementi in sottofondazione;
- Il settore dell'ingegneria ambientale, con il fine dell'individuazione e delimitazione di aree di discarica sepolte; individuazione dei plume di dispersione nel terreno; collaudo di omogeneità delle argille in discarica in costruzione; individuazione di vuoti, macerie e/o materiali di riporto.
- Il settore delle prospezioni minerarie.
- Il settore idrogeologico.

Nel presente lavoro di ricerca, l'EM16 è stato impiegato sperimentalmente in campo geopedologico. E' fondamentale, infatti, per l'analisi, lo sviluppo e l'utilizzo di strategie di gestione come l'agricoltura di precisione, avere informazioni di elevata qualità sulle proprietà rilevanti del suolo e sulla loro distribuzione spaziale. Dette proprietà possono, attraverso rappresentazioni cartografiche di dettaglio, essere facilmente riprodotte. Nello stesso ambito, è stato utilizzato, antecedentemente ai campionamenti pedologici tradizionali, al fine di avere una prima definizione di unità pedologiche, così da poter effettuare una campagna di profili mirata, e per la predizione del dato in un punto non raggiungibile per difficoltà di tipo logistico in fase di test.

2.1.3 Metodo Magnetometrico (M)

Lo scopo di una prospezione magnetica è la misura del Campo Magnetico Terrestre (C.M.T.). Essa consiste nell'individuazione delle variazioni spaziali anomale del campo magnetico terrestre, provocate dalla presenza di corpi o strutture geologiche sepolte. L'applicazione della metodologia avviene mediante la distribuzione di una serie di stazioni di misura, la cui minima distanza è condizionata dal tipo di indagine e dalla profondità dell'obiettivo da investigare. Il tutto viene riferito ad una stazione base chiamata, appunto, *di riferimento*. Dopo aver misurato i valori di campo magnetico su una griglia di stazioni che coprono l'area di indagine, i valori misurati vengono corretti, elaborati e riportati sotto forma di una mappa di campo magnetico totale. Dall'osservazione di questa mappa si individuano le aree di anomalia e si estraggono dei profili magnetici utili, per un'interpretazione quantitativa

dell'anomalia stessa. Il nucleo ferromagnetico terrestre è la causa e la sede dell'origine del (C.M.T.), il grande campo magnetico quasi statico che si è generato grazie alle caratteristiche dipolari del nostro pianeta. Le linee di forza di detto campo si dipartono dal polo Sud magnetico e convergono al polo Nord magnetico (figura 36)

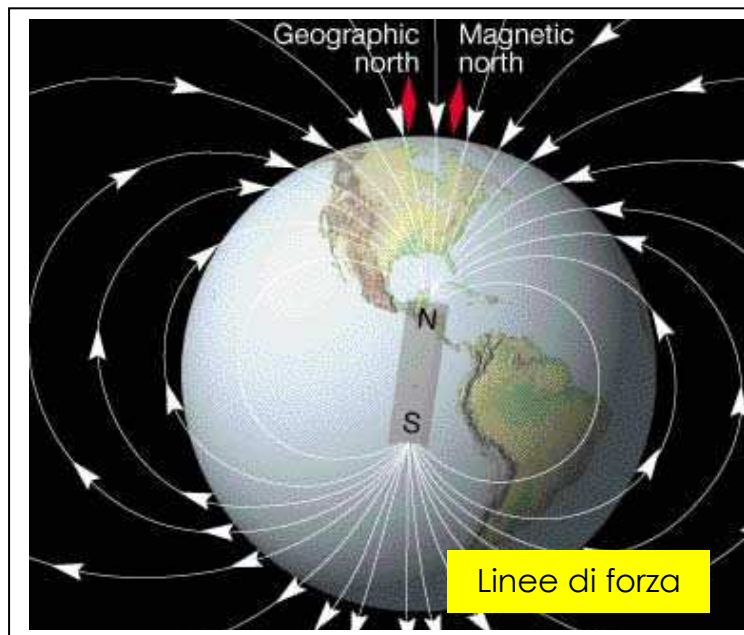


Figura 36 – Linee di forza del campo magnetico terrestre.

Principio di funzionamento della metodologia Magnetometrica

Il principio di funzionamento della metodologia Magnetometrica si basa sulla misura della frequenza di risonanza protonica di un liquido fortemente idrogenato (decano, alcool etilico, cherosene, etano, etc.) in presenza di un campo magnetico. Il campo magnetico generato produce una orientazione dei protoni nel fluido. Nel momento in cui il campo viene annullato, il movimento di *spin* fa orientare i protoni secondo il campo magnetico totale. La loro precessione nucleare genera un segnale, la cui frequenza misurata è strettamente legata all'intensità totale F del campo magnetico terrestre (misurata in nT o Gamma), che è uno degli elementi fondamentali utilizzati nella prospezione magnetica. L'analisi delle anomalie locali riscontrate, proiettate in mappe e grafici consente, attraverso le differenti proprietà come la Suscettività Magnetica (χ), caratteristica intrinseca di ogni litotipo indagato, l'individuazione e l'interpretazione geometrica di strutture geologiche sepolte.

Strumentazione tecnica utilizzata

- **OMNI IV (Scintrex Limited)**

Le misure di campo magnetico, sono state eseguite mediante lo strumento magnetometrico a precessione nucleare Omni IV (Scintrex Limited), in dotazione al Di.Gi.TA., (Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali dell'Università di Cagliari). Detto magnetometro a protoni è composto da un'unità centrale, da un accumulatore e da un sensore posizionato su un'asta di alluminio (figura 37). Il sensore dello strumento è costituito da una piccola bobina lineare (lunghezza e diametro dell'ordine di 10 cm) che circonda un'ampolla cilindrica (volume $\approx 100 \text{ cm}^3$) contenente il liquido ricco in ioni positivi H^+ . I protoni, possedendo un momento magnetico dipolare e una grande mobilità, sono particolarmente sensibili all'azione dei campi magnetici.

La bobina, disposta con il suo asse orizzontale all'incirca nella direzione est-ovest (il campo geomagnetico è quindi diretto ortogonalmente all'asse della bobina), è connessa ad una batteria di accumulatori, che generano e fanno fluire in essa una corrente elettrica, che percorrendo le sue spire determina un campo magnetico (*campo di polarizzazione*) molto più intenso (qualche centinaio di volte) del campo magnetico terrestre. Per cui, il campo risultante è praticamente posizionato lungo l'asse della bobina e ad esso tendono ad allinearsi i cosiddetti *protoni polarizzati* con i loro momenti magnetici.

Trascorso qualche secondo, viene interrotto il flusso della corrente elettrica nella bobina. La tendenza dei protoni polarizzati è quella di ritornare nella posizione in equilibrio, dovuta al solo C.M.T. Contemporaneamente, un apposito attuatore elettronico commuta la bobina dal generatore elettrico a un amplificatore elettrico che è connesso ad un frequenzimetro elettronico. I protoni, influenzati ora dal solo campo geomagnetico, tendono ad allinearsi ad esso, descrivendo un moto di precessione lungo la sua direzione. Tra la frequenza f_p di tale moto (*frequenza di precessione dei protoni*) e l'intensità totale F del campo geomagnetico (misurata in nT) o Gamma (γ) intercorre la relazione:

$$F = (2\pi/\gamma_p) f_p = 23,4874 f_p$$

dove γ_p è il rapporto giromagnetico del protone. Per i valori di F tipici dell'area italiana (attualmente dell'ordine di 46.000 nT), f_p è poco meno di 2.000 Hz. Il frequenzimetro elettronico misura la frequenza di precessione con grandissima accuratezza e, sulla base della relazione precedentemente illustrata, converte il valore in nT. L'errore assoluto è complessivo ed è determinato essenzialmente dall'errore con cui è noto il rapporto giromagnetico dei protoni che è dell'ordine di non più di 0,1 nT. Una misurazione completa dura complessivamente \approx 3-4 secondi. Il dato digitale costituente la misura può essere inviato a un elaboratore elettronico per successive operazioni (calcolo di medie di più misure successive oppure per assegnati intervalli di tempo, memorizzazione in una banca dati, etc.).

I pregi peculiari dello strumento OMNI IV sono :

- la grande semplicità sia costruttiva sia di misurazione;
- la grande rapidità di misurazione;
- la grande accuratezza delle misure (anche fino a 0,01 nT, cioè 10 pT);
- il fatto che non richiede livellamento (non altro che un grossolano orientamento del sensore nella direzione est-ovest) e quindi l'assenza dei relativi errori.

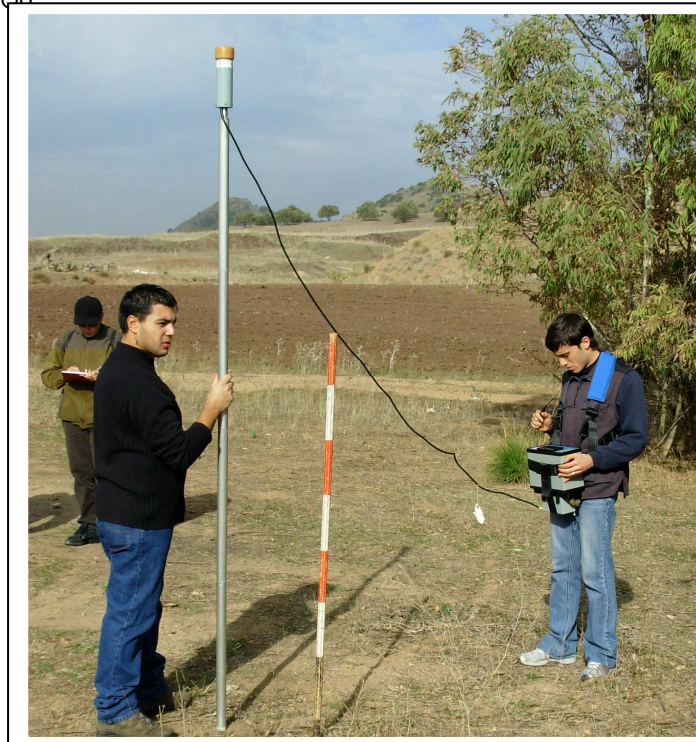


Figura 37 – Acquisizione del dato con lo strumento Omni IV della Scintrex LTd.

Nella tabella seguente sono rappresentate alcune caratteristiche tecniche strumentali.

| Physical Dimensions | Wt(kg): | w x h x d(mm) |
|-----------------------------------|---|-----------------|
| Instrument console only..... | 3.8: | 122 x 246 x 210 |
| Battery cartridge..... | 1.8: | 138 x 95 x 75 |
| Battery belt..... | 1.8: | 540 x 100 x 40 |
| Sensors | | |
| Magnetometer remote sensor..... | 1.2: | 56 dia x 220 |
| Magnetometer gradient sensor..... | 2.1: | 56 dia x 790 |
| Environment | | |
| Electronics | | |
| Operating temperature range... | -40 C to +55 C | |
| Relative humidity..... | 0 to 100% (weather-proof) | |
| Magnetometer Sensors | | |
| Temperature range..... | -45 C to +55 C | |
| Relative humidity..... | 0 to 100% (weather-proof) | |
| Standard Memory Capacity | | |
| Field unit..... | 1300 sets of readings | |
| Tie-line points..... | 100 sets of readings | |
| Base station..... | 5500 sets of readings | |
| Extended Memory Capacity | | |
| Field unit..... | 7400 sets of readings | |
| Tie-line points..... | 100 sets of readings | |
| Base station..... | 20,000 sets of readings 18+ | |
| Electronics | | |
| RS-232C serial I/O..... | 300 to 9600 Baud(programmable); 8 data bits, 2 stop bits; no parity | |
| Electronics console..... | Enclosure contains electronics and battery pack (if not contained in separate belt). Front panel includes liquid crystal display (LCD), and keypad. | |
| Power Supply..... | Internal battery pack or external battery belt; or 12V car battery (base station). | |

Table 1-1 Technical Summary

Tabella 6 – Caratteristiche tecniche Omni VI (Scintrex LTd).

CAPITOLO 3 –Analisi integrata dei dati geopedologico-geofisici

3.1 Area campione 1, località "Miceddu", Comune di Monastir (Ca)

La realizzazione dell'analisi integrata dei dati geopedologico-geofisici, attraverso una sincronia di azioni metodologiche e di strategie mirate, ha permesso l'interpretazione esatta del fenomeno geologico oggetto dello studio.

3.1.1 Prospezione elettromagnetica V.L.F. (Very Low Frequency)

Acquisizione e trattamento dei dati

Acquisizione dei dati (strumento EM16, GEONICS Ltd)

Una conoscenza geologica approfondita dell'area in esame, ha permesso di progettare razionalmente la prospezione e.m. V.L.F. (figura 38).

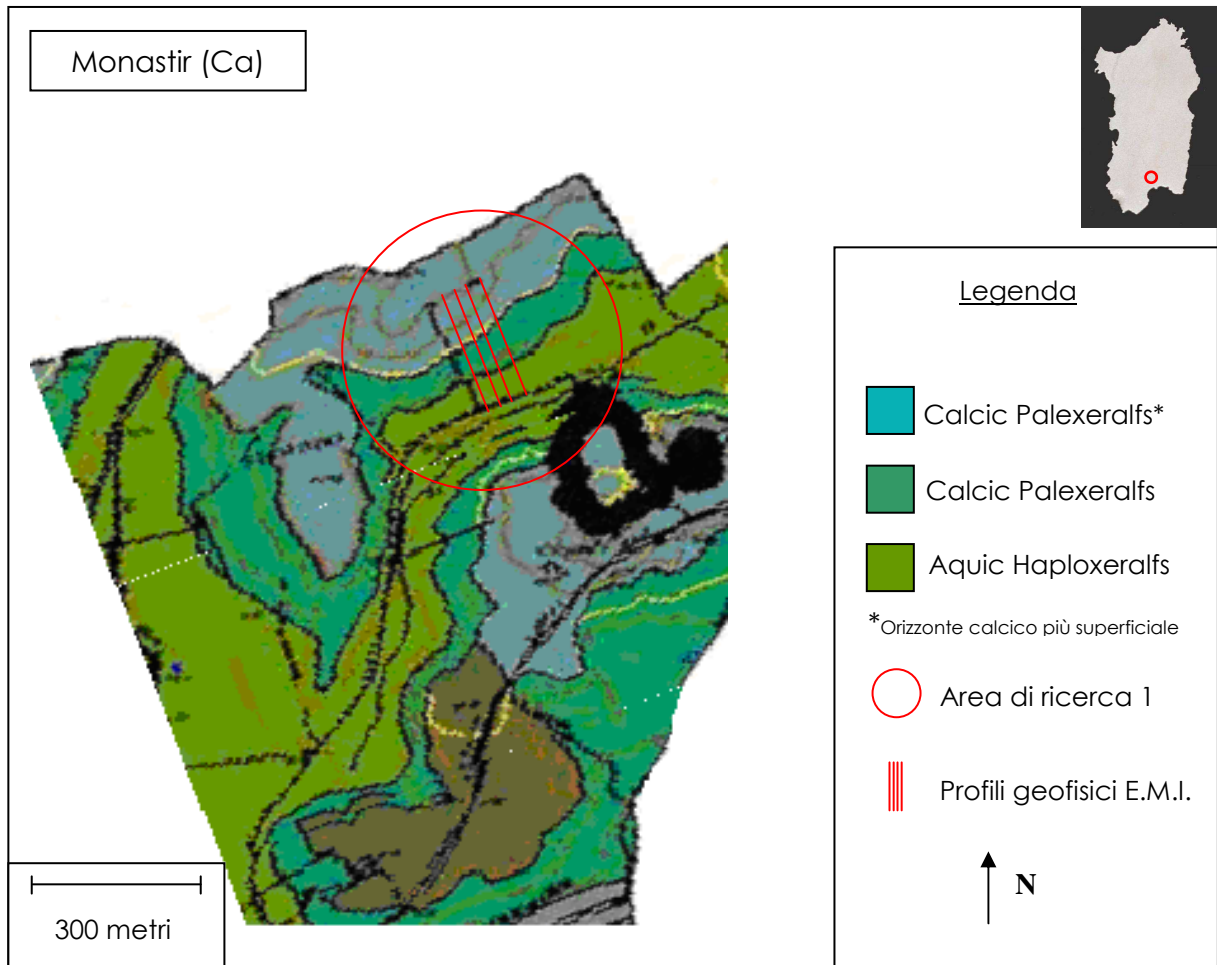


Figura 38 – Carta Pedologica dell'area di Monastir (Ca), da Orrù e Vacca (2004). Localizzazione dei profili geofisici V.L.F., area di ricerca 1.

Nella figura 38 è rappresentato un settore della carta pedologica elaborata da Orrù e Vacca, 2004, con la localizzazione di profili elettromagnetici.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante il dispositivo EM-16 della GEONICS Ltd di Toronto, utilizzando quale trasmettitore, la stazione emittente GQD (19.6 kHz – Anthorn, Cumbria UK) il cui azimuth coincide con i principali lineamenti geologici che caratterizzano l'area d'indagine. Sono stati realizzati quattro profili paralleli equispaziati tra loro di 4 m, disposti normalmente rispetto ai contatti tra le unità pedologiche rilevate con i metodi tradizionali (Orrù e Vacca, 2004). Pertanto, i profili e.m. sono stati orientati NO-SE come mostrato nella figura 38. L'intervallo spaziale di campionatura del segnale elettromagnetico (2 m), è stato scelto in base agli obiettivi dell'indagine e a considerazioni di carattere geopedologico. In ogni punto stazione è stata effettuata la lettura della componente in fase (Re%) e della componente in

quadratura (Im%) del c.m.s. in percentuale del c.m.p. assunto come unitario. Come è noto, tali valori sono intrinsecamente connessi con le proprietà elettriche dei terreni oggetto d'indagine.

Trattamento dei dati V.L.F.

In un profilo elettromagnetico V.L.F., la presenza di una discontinuità di caratteristiche fisico-elettriche (conducibilità/resistività), è indicata da un punto di flesso che, quindi, rappresenta un punto significativo. Nel sottosuolo, sono presenti numerose variazioni laterali di conducibilità elettrica derivanti dalla sovrapposizione di cause sia geologiche sia di altra natura, peraltro non tutte riferibili ad una stessa profondità. Pertanto, i profili V.L.F. presentano numerosi punti di flesso che risultano di difficile interpretazione. Quindi, è necessario intervenire con opportune tecniche di filtraggio dei dati che consentano di discriminare le parti più significative del profilo e.m. e permettano di riconoscere ed isolare gli elementi che mascherano l'anomalia oggetto di indagine.

A tale scopo ai valori osservati delle componenti in fase e in quadratura, sono state applicate opportune tecniche di filtraggio (Fraser, 1969; Karous e Hjelt, 1983; Ogilvy e Lee, 1991) che hanno consentito di facilitare l'interpretazione dei dati.

Il filtro Fraser

Il filtro *Fraser* (1967) consente di evidenziare i punti di flesso trasformandoli in punti di massimo o minimo in funzione del verso di applicazione dell'operatore filtro. Inoltre, può operare anche da filtro passa-basso, riducendo ed appiattendolo le alte frequenze contenute nel segnale, che ne costituiscono il disturbo. In base alla forma e all'ampiezza dei punti di massimo o di minimo, il filtraggio di Fraser fornisce indicazioni sia sulla profondità che sull'inclinazione dei corpi indagati. Il filtro Fraser è rappresentato, in generale, dalla seguente espressione: **(m3+m4)-(m1+m2)**, che viene applicata più volte (media mobile) finché si hanno dati a disposizione.

Successivamente, ai valori delle componenti osservate (fase e quadratura), è stato applicato il filtro di *Karous-Hjelt* utilizzando un programma predisposto dal laboratorio di Geofisica del Di.Gi.TA. (Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie Ambientali dell'Università di Cagliari).

Il filtro di Karous-Hjelt

Il filtro lineare di *Karous-Hjelt* (1983) permette di trasformare mediante operazioni di convoluzione ed inversione del dato i valori delle componenti magnetiche (in fase e in quadratura) in una curva discreta di valori di distribuzione di corrente elettrica, secondo un profilo bidimensionale.

Questa tecnica di filtraggio consente di riferire ad una data profondità i dati ottenuti, in modo tale da ottenere le cosiddette "pseudosezioni" che rappresentano l'andamento della densità di corrente nel sottosuolo. Se si considera infatti, il principio fisico su cui si fonda il metodo V.L.F., si ha che ad una data anomalia è associata una corrente elettrica che circola nel sottosuolo, la cui densità è massima in corrispondenza delle zone maggiormente conduttive e minima in quelle meno conduttive. Se si realizza una sezione riportando in essa i valori della densità di corrente, si ottiene una rappresentazione molto simile ad un vera e propria sezione del sottosuolo investigato. In questa rappresentazione si possono apprezzare la posizione, la dimensione e la forma di corpi e/o formazioni geologiche conduttive quali, ad esempio, zone di circolazione idrica (faglie e/o fratture), filoni, corpi minerali contenenti minerali ad elevata conducibilità.

La tecnica per ottenere i valori della densità di corrente consiste nell'effettuare una media pesata di un certo numero di valori misurati lungo un profilo, ottenendo in questo modo un valore filtrato che viene riferito ad un punto mediano posto ad una profondità pari alla distanza Δx tra due punti contigui del profilo (intervallo di campionamento). Il valore filtrato è tanto più preciso quanto maggiore è il numero di coefficienti impiegati.

Un filtro che fornisce risultati apprezzabili è il seguente:

$$M_f = -0.205 M_1 + 0.323 M_2 - 1.446 M_3 + 1.446 M_4 - 0.323 M_5 + 0.205 M_6$$

dove M_f è il valore filtrato, M_1, M_2, \dots, M_6 i valori della componente in fase (o in quadratura) misurati in corrispondenza dei punti P_1, P_2, \dots, P_6 del profilo e posti a distanza Δx l'uno dall'altro.

La prima fase dell'analisi integrata dei dati geopedologico-geofisici, è ottenuta attraverso lo studio e la correlazione di mappe, grafici e dati sui campioni di suolo, ricavati dai profili pedologici effettuati nel 2004, evidenziati in rosso in figura 39.

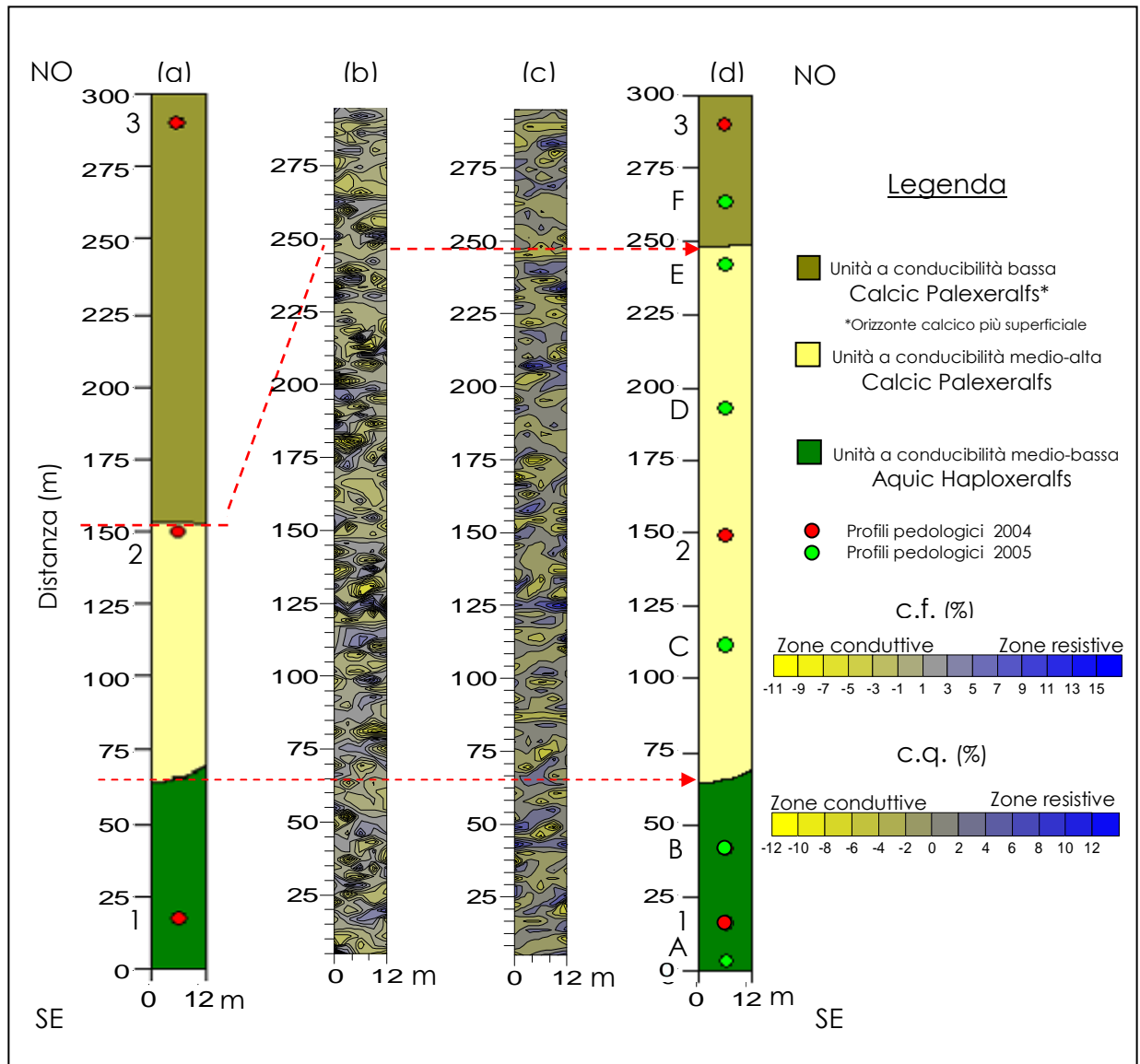


Figura 39 – Area di ricerca 1: a) carta pedologica da Orrù e Vacca (2004); b) mappa della distribuzione della densità di corrente a -2m dal p.c. (componente in fase - c.f.); c) mappa della distribuzione della densità di corrente a -2m dal p.c. (componente in quadratura - c.q.); d) carta pedologica ottenuta dall'integrazione dei dati pedologici e geofisici di diverso tipo (V.L.F., EM38DD, GEM300).

Per confrontare i dati elettromagnetici con i dati delle indagini geo-pedologiche sono state, inoltre, realizzate le mappe della distribuzione della densità di corrente delle componenti in fase e in quadratura alla profondità di -2 m dal p.c.

Dall'analisi di tali mappe si possono, infatti, ricavare importanti elementi conoscitivi sulle caratteristiche elettriche dei suoli, tenendo conto che la componente in quadratura risulta fortemente influenzata dalle condizioni più superficiali.

Dall'analisi della mappa dei valori osservati della componente in fase si possono identificare 3 zone a differente conducibilità. Una zona, localizzata nel settore meridionale dell'area sino a 65 m dall'origine del profilo, è caratterizzata da valori della componente in fase correlabili con la presenza di terreni a conducibilità medio-bassa. Una zona centrale, caratterizzata da valori della componente in fase correlabili con la presenza di terreni a conducibilità medio-alta. Una zona localizzata nel settore settentrionale dell'area, in cui i valori della componente in fase sono da correlare alla presenza di terreni a bassa conducibilità. Tale configurazione delle anomalie della componente in fase, trova riscontro in quella relativa alla componente in quadratura (figura 39 c).

L'analisi integrata dei dati elettromagnetici e geo-pedologici ha permesso di individuare e ridefinire i contatti tra le unità geo-pedologiche. Infatti, il passaggio da terreni a conducibilità medio-bassa a terreni a conducibilità medio-alta che si individua a 65 m dall'origine del profilo trova conferma nella carta ottenuta con il rilievo tradizionale del suolo (figura 39 d).

Il limite tra l'unità pedologica centrale e quella localizzata nel settore settentrionale, posto nella carta di Orrù e Vacca (2004) a circa 150 m, non ha invece trovato alcun riscontro nelle mappe della distribuzione della densità di corrente.

Inoltre, dall'analisi dei dati elettromagnetici si è evidenziato un cambiamento delle caratteristiche elettriche dei terreni a 250 m dall'origine del profilo. Pertanto, sulla base dei risultati derivanti dalla prospezione elettromagnetica realizzate nell'area di studio è stata progettata una nuova indagine geo-pedologica che ha confermato pienamente i dati della prospezione e.m. Sulla scorta di tali importanti risultati è stata, pertanto, redatta la nuova carta geo-pedologica (figura 39 d).

Analisi dei dati

Nelle figure 40, 41, 42 e 43 vengono riportati, nelle loro posizioni relative corrette, i profili dei valori osservati e filtrati alla Fraser della componente in fase (a) e le corrispondenti pseudosezioni di densità di corrente (b). Con i colori giallo e blu, vengono messe in evidenza rispettivamente le zone conduttive e resistive.

Nella figura 44, sono riportate le 4 pseudosezioni di densità di corrente, relative ai profili oggetto di analisi, al fine di facilitarne l'analisi comparata.

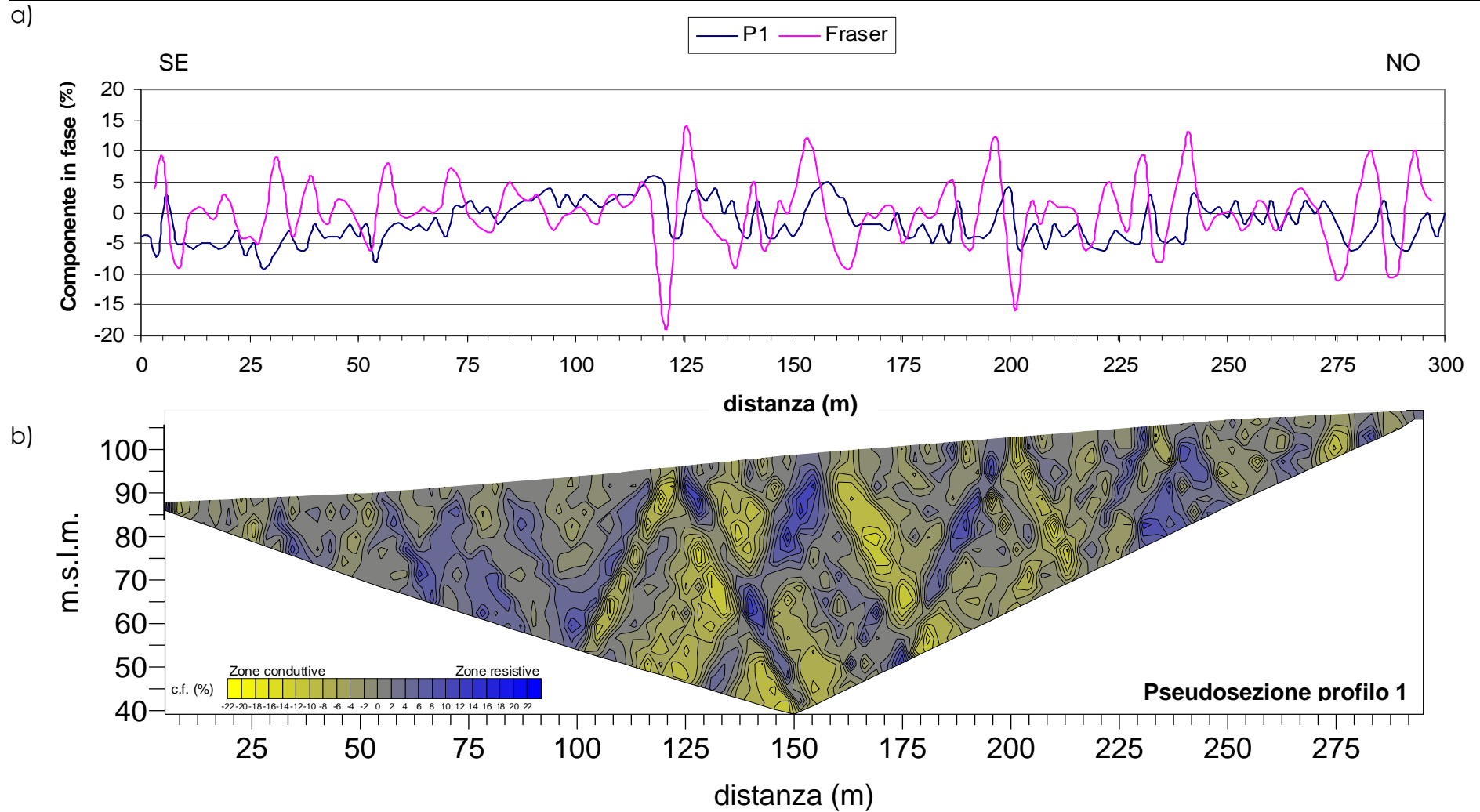


Figura 40 – a) Profilo P1 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

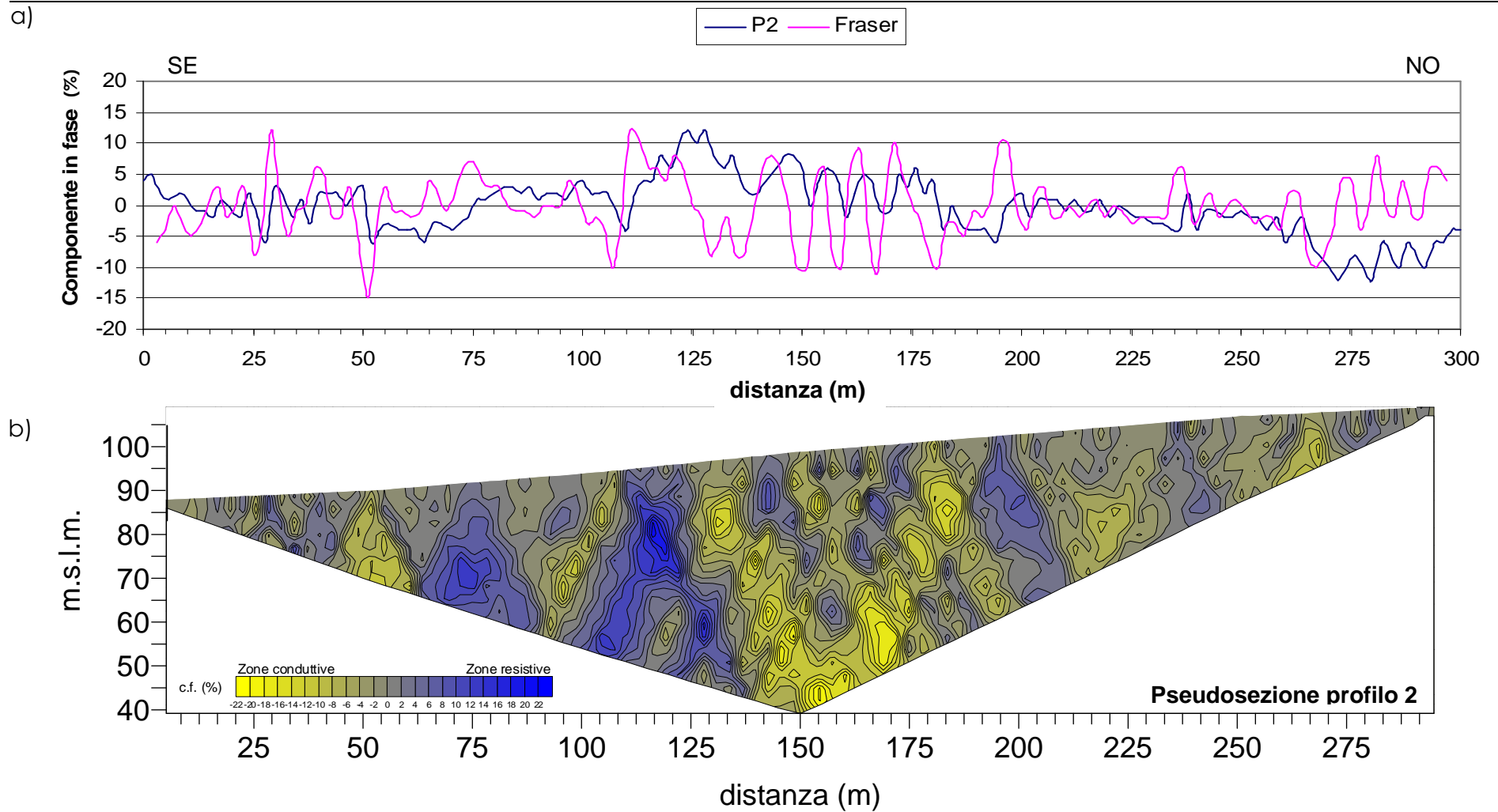


Figura 41 – a) Profilo P2 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

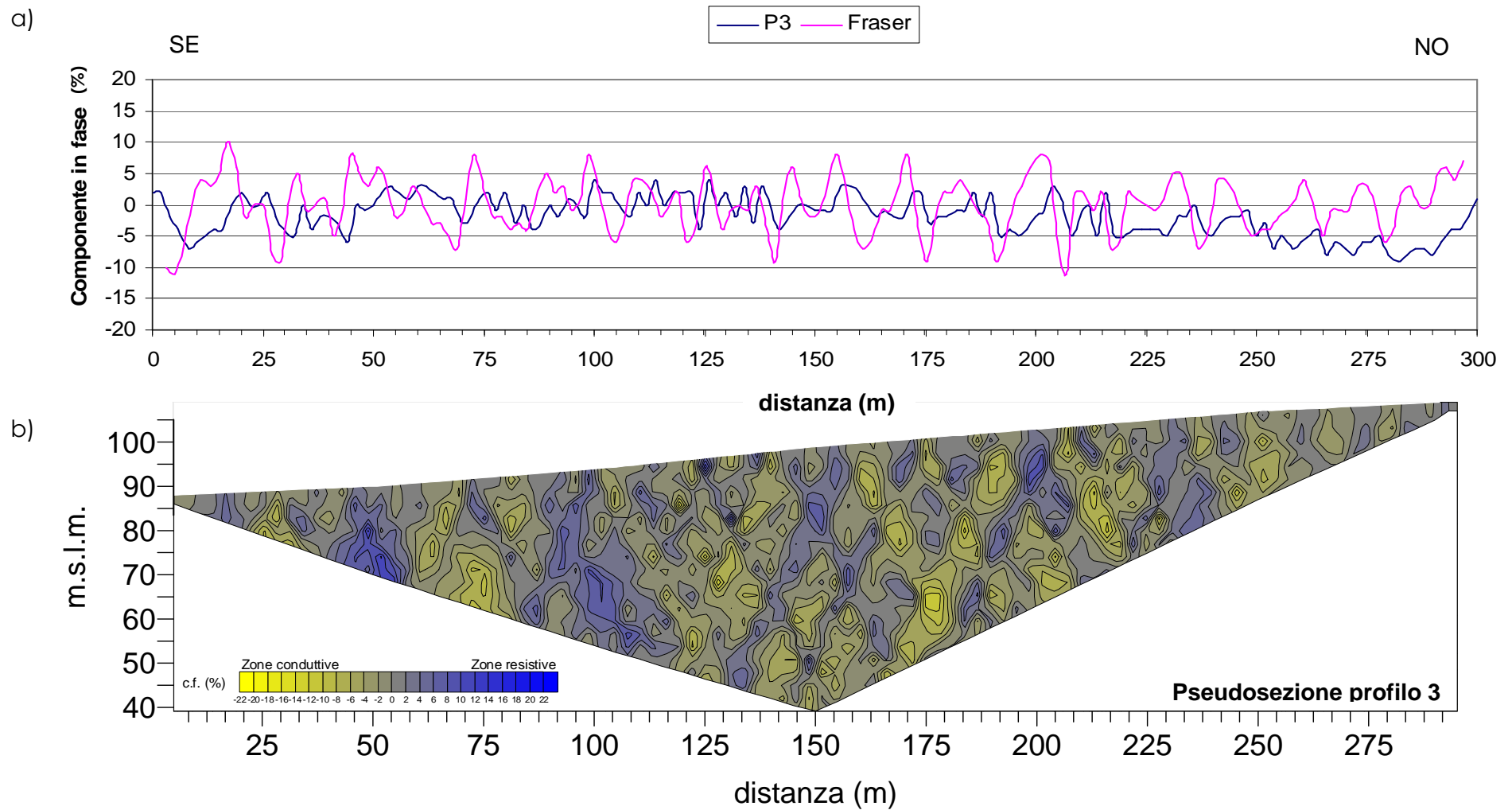


Figura 42 – a) Profilo P3 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

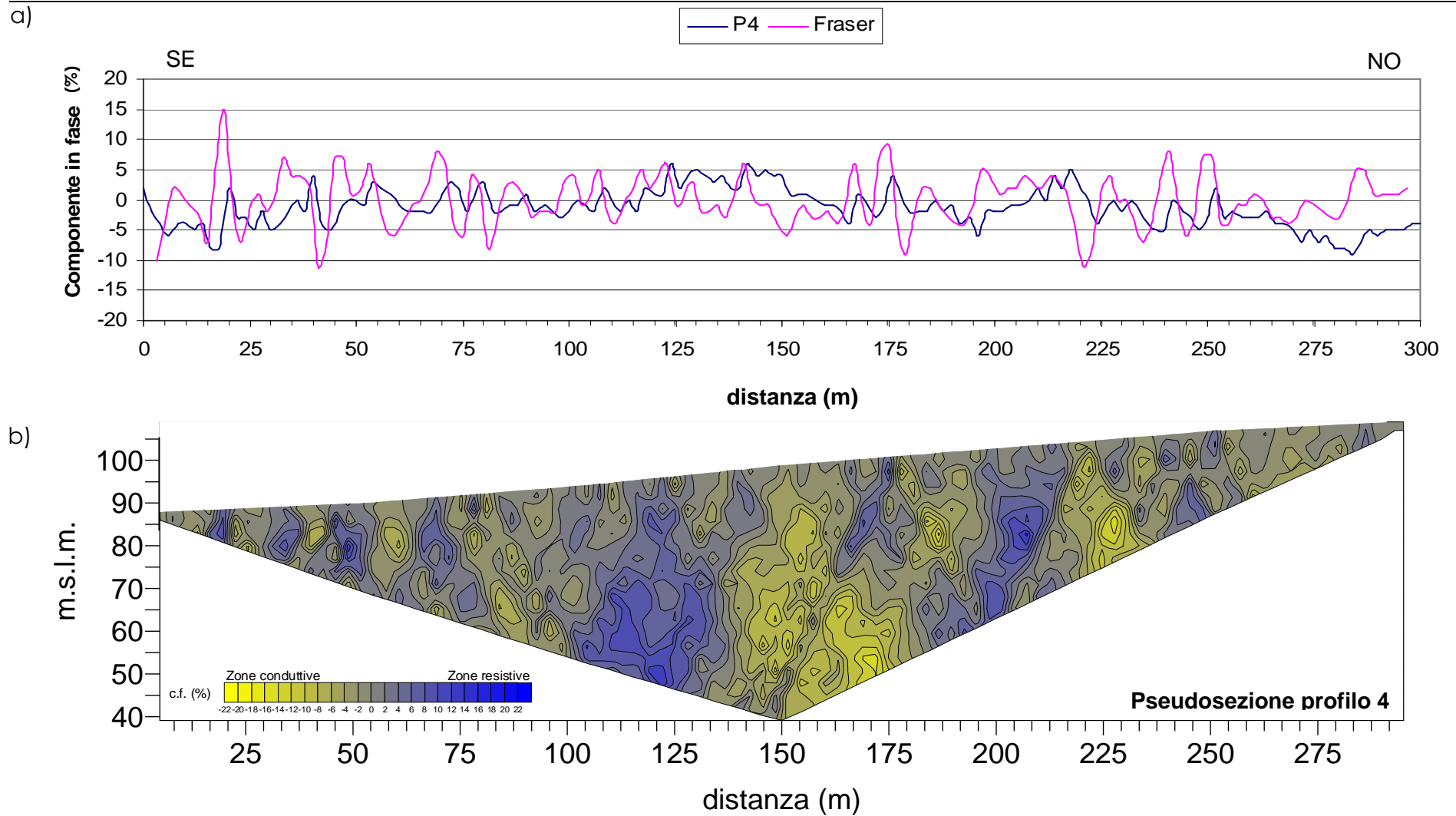


Figura 43 – a) Profilo P4 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

Come si evince dalla figura 40 (a) la curva dei valori osservati della componente in fase relativa al profilo P1, presenta numerosi flessi correlabili con variazioni laterali della conducibilità dei terreni.

- La curva dei valori filtrati alla "Fraser" presenta sino a 120 m dall'origine del profilo P1, valori prevalentemente positivi che sono correlabili con litologie scarsamente conduttive presenti nell'area in studio. Nella porzione centrale del profilo da 120 a 245 m, mostra valori negativi, correlabili con zone maggiormente conduttive che corrispondono a terreni costituiti dalle arenarie, intercalate da silt ed argilla, ascrivibili alla "Formazione del Cixerri" (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969).

Nel settore nord-occidentale del profilo, da 245 a 300 m, sono evidenti alcune variazioni laterali di conducibilità elettrica.

- La corrispondente pseudosezione di densità di corrente mette in evidenza, tra 5 a 120 m, una zona caratterizzata da una bassa conducibilità, che si sviluppa sino ad una profondità di circa -40 m, correlabile con la presenza di terreni scarsamente conduttivi. Nella parte centrale della pseudosezione, da 120 a 240 m circa, si evidenzia una zona conduttiva con un elevato gradiente. Tale zona è correlabile con i terreni affioranti nel settore centrale del versante indagato. Essi sono costituiti da arenarie microconglomeratiche talora intercalate da silt ed argilla appartenenti alla "Formazione del Cixerri". Nella porzione finale della pseudosezione, da 240 a 295 m, è presente una zona resistiva, caratterizzata da una diminuzione del gradiente fra le isoanomale. Nel complesso, il settore nord-occidentale della pseudosezione investigata, è correlabile con la presenza di litologie poco conduttive.

- Il grafico dei valori della c.f. filtrati alla "Fraser", relativa al profilo P2 (figura 41 a), mostra sino a 95 m una prevalenza di valori positivi correlabili con terreni scarsamente conduttivi. Il settore centrale del profilo da 95 a 200 m circa è caratterizzato prevalentemente da valori negativi. Da 200 a 255 m la curva presenta un certo appiattimento dovuto all'assenza di rilevanti variazioni laterali delle caratteristiche di conducibilità dei terreni. Il settore più settentrionale presenta una prevalenza di valori positivi.

- Nel settore meridionale della corrispondente pseudosezione (figura 41 b), è presente, da 5 a 110 m, una zona scarsamente conduttiva. Nel settore centrale della pseudosezione, da 110 a 190 m, è presente una zona ad elevata conducibilità, per quanto, al suo interno, siano presenti condizioni di variabilità delle caratteristiche elettriche. Anche in questo caso, il settore più settentrionale della pseudosezione,

risulta essere caratterizzato da valori di c.f. positivi con un basso gradiente, caratteristiche correlabili con litologie scarsamente conduttive.

- Il grafico dei valori della c.f. filtrati alla "Fraser", relativo al profilo P3 (figura 42 a) mette in evidenza sino a 70 m, una prevalenza di valori di positivi che, come si è precedentemente detto, si correlano con il carattere poco conduttivo dei terreni investigati, nonostante questa porzione mostri una certa variabilità delle caratteristiche elettriche. Il settore centrale del grafico esaminato, da 70 a 250 m, è caratterizzato da valori negativi che si correlano con litotipi ad alta conducibilità. Il settore nord-occidentale, da 250 a 300 m, è caratterizzato da valori positivi correlabili con litologie scarsamente conduttive.

- La pseudosezione del profilo 3 (figura 42 b) mostra nel settore SE, da 5 a 70 m, una zona caratterizzata da alti valori della c.f., dove è presente una anomalia positiva ad una profondità di -15/20 m. Nella parte centrale, da 70 a 220 m, si manifesta una predominanza di valori negativi che sono correlabili con la presenza di litologie a carattere conduttivo. Nel settore NO, da 220 a 295 m, viene messo in evidenza il ripetersi dell'abbassamento del gradiente e la tendenza positiva dei valori di c.f.

- Il grafico relativo al profilo 4 (figura 43 a) mostra, nel settore SE (tratto da 0 a 70 m dall'origine del profilo), una prevalenza di valori positivi di c.f. filtrata alla "Fraser", correlabili con caratteristiche di scarsa conducibilità dei litotipi. Sono presenti a 5, 15, 20-25 e 40 m delle anomalie negative, correlate a significativi aumenti di conducibilità elettrica, probabilmente attribuibili alle proprietà *aquiche* (*sensu* Soil Survey Staff, 2006) dei suoli. Il tratto da 70 a 260 m è caratterizzato dalla presenza di valori negativi della c.f. filtrata alla "Fraser", correlabili con litologie aventi una marcata conducibilità elettrica. Nel settore NO del profilo, (da 260 a 300 m), viene confermata la presenza di valori positivi della c.f. filtrati alla "Fraser", correlabili con litotipi scarsamente conduttivi.

- La pseudosezione di densità di corrente relativa a questo profilo e rappresentata in figura 43 b mostra nel settore SE (da 5 a 75 m dall'origine del profilo), valori prevalentemente positivi della c.f., caratterizzati da una diminuzione del gradiente della densità di corrente. La porzione centrale, da 75 a 250 m, mostra una marcata presenza di valori negativi della c.f. Nello stesso settore si evidenziano due anomalie positive di notevole estensione, situate rispettivamente a 120 e 210 m dall'origine del profilo ed alla profondità rispettivamente da 10 a 60 m e da 10 a 40 m dal p.c. Il settore NO, compreso tra i 250 ed i 295 m dall'origine del profilo, mostra una sensibile

riduzione del gradiente di densità di corrente, correlabile con il carattere poco conduttivo delle litologie presenti.

In generale, l'esame comparato di tutti i dati prodotti (valori filtrati Fraser e Karous-Hjelt) della c.f. mostrano, nella loro parte centrale, zone più conduttive, caratterizzate da valori negativi, evidenziate in colore giallo. Dal confronto dei dati geofisici con quelli geologici, emerge la corrispondenza tra zone maggiormente conduttive che caratterizzano il settore centrale del versante indagato e la presenza di arenarie, talora microconglomeratiche, intercalate da silt ed argilla, ascrivibili alla "Formazione del Cixerri" (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969). Le parti iniziali (settore SE) e finali (settore NO) delle pseudosezioni dell'area di ricerca 1 sono tutte caratterizzate da valori positivi della c.f., correlabili a zone resistive, e da bassi gradienti della densità di corrente. Le predette caratteristiche sono correlabili con la presenza di litologie meno conduttive di quelle presenti nel settore centrale del versante, ascrivibili ai depositi alluvionali terrazzati del Pleistocene medio e inferiore.

Nelle figure 45, 46, 47 e 48 sono rappresentati i risultati delle operazioni di filtraggio precedentemente descritte, applicate ai valori della componente in quadratura. Nei grafici sono riportati i valori osservati della c.q., evidenziati con il colore nero, gli stessi valori filtrati con l'operatore filtro *Fraser*, evidenziati con il colore rosso (a), e le pseudosezioni di densità di corrente (b) ottenute mediante l'applicazione del filtro di "Karous-Hjelt".

Nella figura 49, sono riportate le 4 pseudosezioni di densità di corrente.

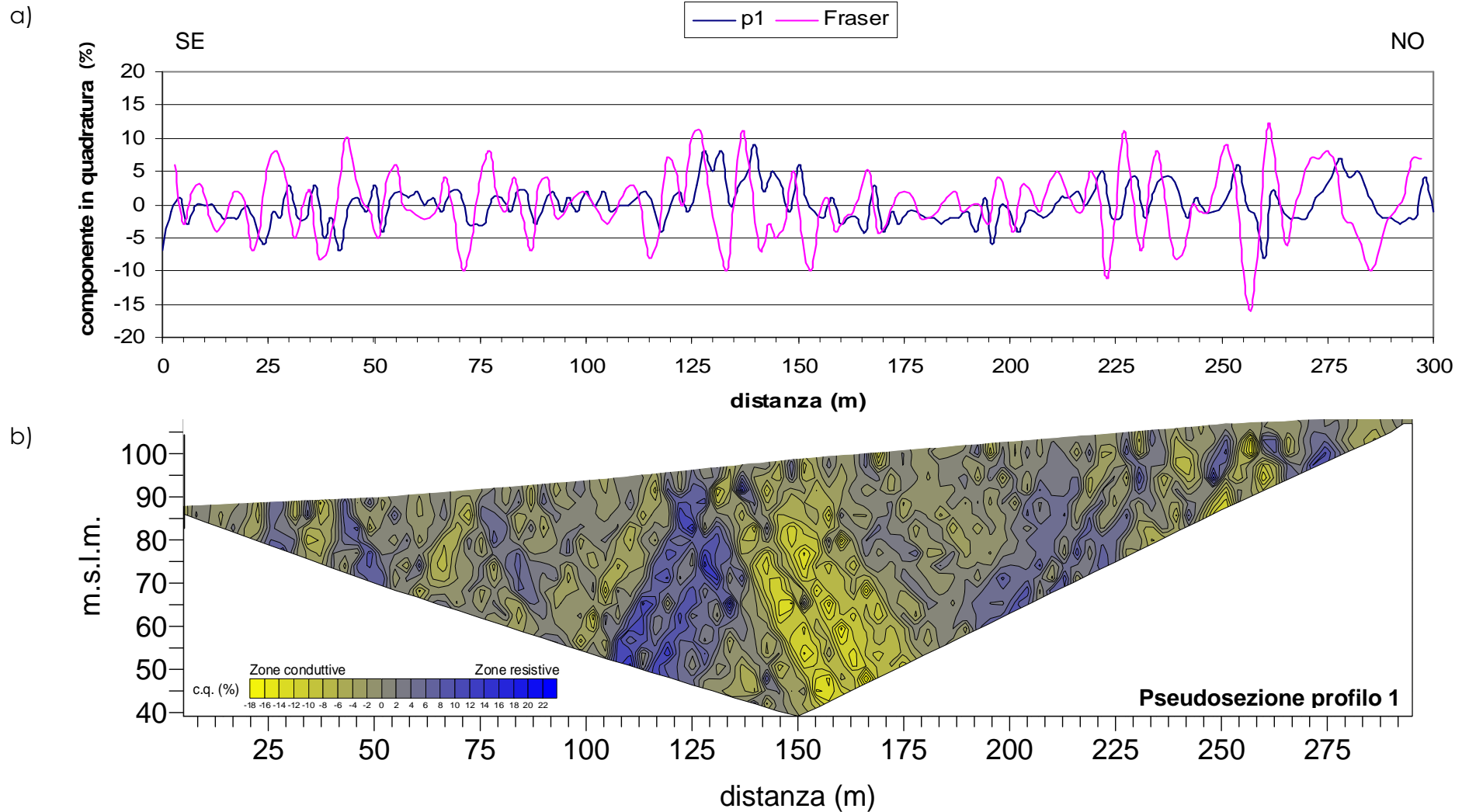


Figura 45 – a) Profilo P1 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

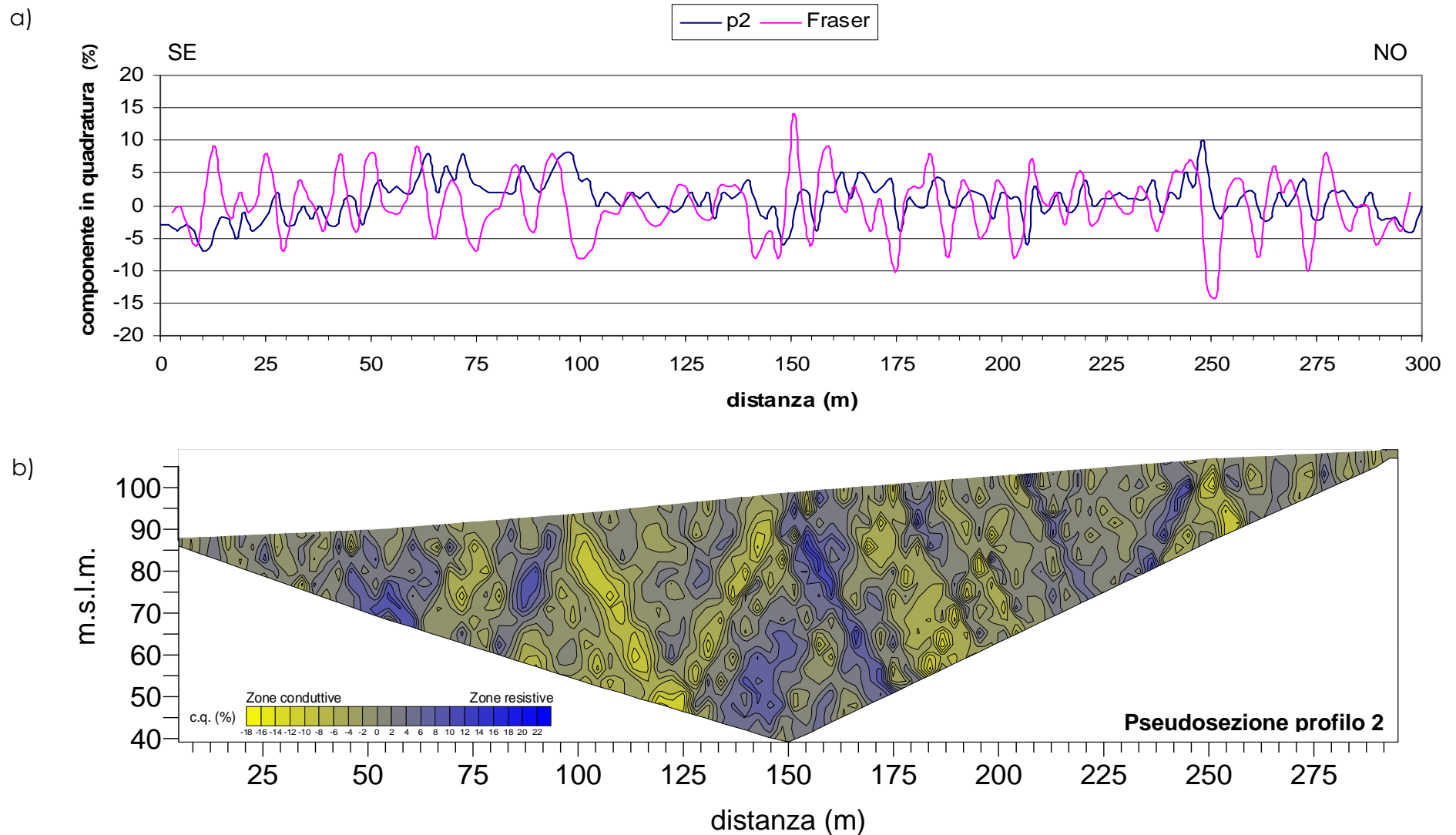


Figura 46 – a) Profilo P2 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

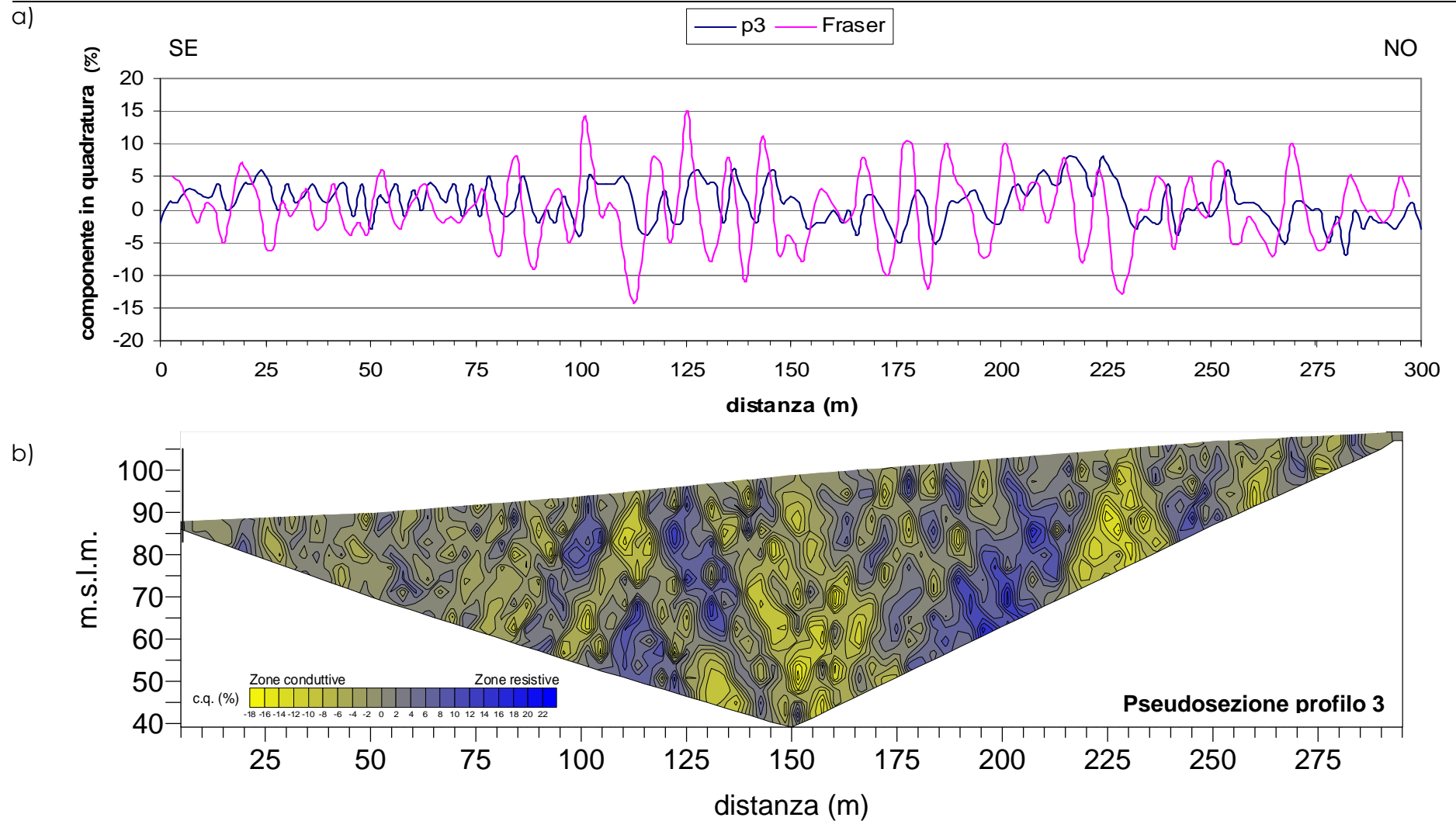


Figura 47 – a) Profilo P3 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

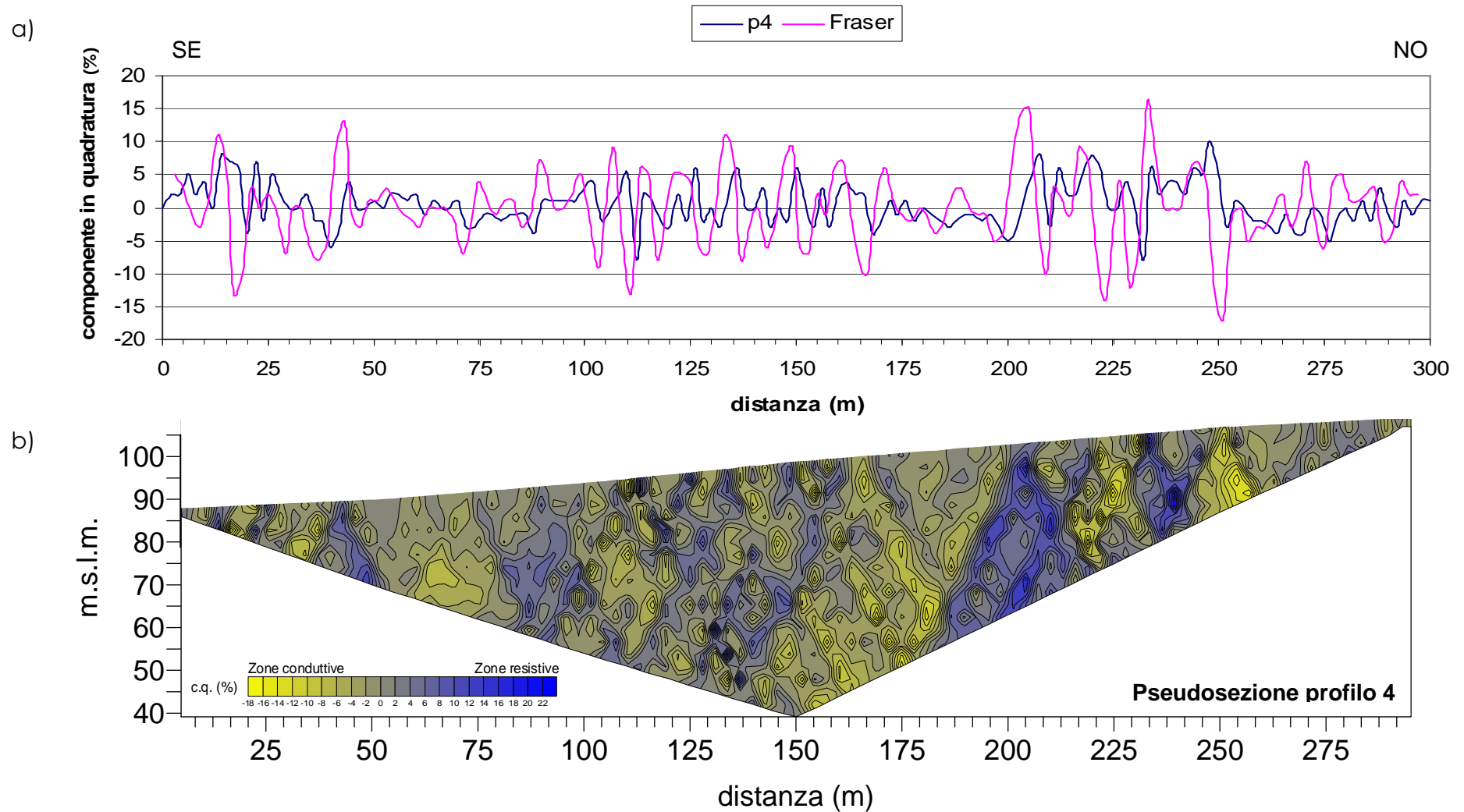


Figura 48 – a) Profilo P4 – Area di ricerca 1 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

- Il grafico dei valori filtrati alla "Fraser" relativo al profilo P1 (figura 45 a) presenta, nel settore SE (tratto da 0 a 65 m), valori prevalentemente positivi, correlabili con suoli caratterizzati, in generale, da una bassa conducibilità elettrica. La porzione centrale del grafico analizzato, da 65 a 260 m, mostra valori prevalentemente negativi della c.q., filtrati alla "Fraser", correlabili con un aumento della conducibilità elettrica causata dai suoli sovrastanti le arenarie, della "Formazione del Cixerri". Nel settore NO da 260 a 300 m dall'origine del profilo, si rileva una prevalenza di valori positivi della c.q. filtrati alla "Fraser", che indicano la presenza di suoli poco conduttivi.
- Nella relativa pseudosezione (figura 45 b), si evidenzia una zona, da 5 a 65 m circa dall'origine del profilo, scarsamente conduttiva, caratterizzata da valori positivi della c.q. e con un basso gradiente fra le isoanomale. Da notare, all'interno della stessa unità, la presenza di una porzione compresa tra 30 e 40 m dove si registrano valori di c.q. negativi e un aumento del gradiente della densità di corrente, correlabile a zone, di estensione limitata, più conduttive. Le caratteristiche elettriche di questo settore possono essere correlate con la presenza di litologie scarsamente conduttive, fino a profondità di circa -40 m. Nella parte centrale, da 120 a 265 m circa, si evidenzia una zona conduttiva, caratterizzata da valori negativi della c.q. Il gradiente fra le isoanomale aumenta considerevolmente. Queste caratteristiche elettriche confermano quanto già precedentemente rilevato mediante l'analisi dei dati relativi alla componente in fase e sono da mettere in relazione con la presenza della Formazione del Cixerri. Da osservare ancora la presenza di un'ampia anomalia positiva compresa tra i 110 e 130 m dall'origine del profilo e ad una profondità di -40/50 m. Tale eterogeneità delle caratteristiche elettriche rispecchia una grande variabilità spaziale nella composizione delle litologie investigate. Nel settore NO della pseudosezione, da 265 a 295 m, è presente una zona caratterizzata da una diminuzione del gradiente di densità di corrente correlabile con la presenza di litologie poco conduttive.
- Il grafico dei valori filtrati alla "Fraser" relativo al profilo P2 (figura 46 a) presenta, nel settore SE (tratto da 0 a 65 m), una prevalenza di valori positivi di c.q., correlabili a unità di suolo scarsamente conduttive. La porzione centrale del grafico analizzato, da 65 a 250 m circa, è contraddistinto da una preminenza di valori negativi, che si correlano con il carattere conduttivo di questa unità pedologica. Infine, da 250 a 300 m, il grafico mostra un'alternanza di valori di c.q. filtrata alla "Fraser", che identificano

zone correlabili con litotipi aventi una grande variabilità spaziale nei confronti del parametro conducibilità elettrica.

- La corrispondente pseudosezione di densità di corrente (figura 46 b) presenta, nella porzione iniziale, da 5 a 65 m circa, un abbassamento del gradiente di densità di corrente elettrica, riconducibile ad una zona caratterizzata da bassa conducibilità. Nella stessa unità è presente, un'anomalia positiva, situata a 55 m, ad una profondità di circa -15 e -20 m. Nel settore centrale (tratto da 65 a 260 m), è presente una zona a carattere prevalentemente conduttivo, evidenziata in giallo. Si osservano inoltre 2 anomalie positive: una, più superficiale, è riscontrata a 80 m ad una profondità di -15 m, l'altra, molto estesa, a 150 m circa, che raggiunge la profondità massima indagata (60 m). Anche il settore da 260 a 295 m, risulta essere poco conduttivo e con un basso gradiente di densità di corrente elettrica.

- Il grafico dei valori filtrati alla "Fraser" relativo al profilo P3 (figura 47 a) mostra, nel settore iniziale (tratto da 0 a 75 m), una prevalenza di valori positivi, correlabili con il carattere poco conduttivo dei suoli presenti. In questo primo tratto analizzato sono presenti zone conduttive a 5 e a 25/30 m. Il tratto centrale del grafico analizzato, (da 75 a 235 m), è caratterizzato da valori negativi di c.q. filtrata alla "Fraser", correlabili con le caratteristiche di conducibilità dei suoli indagati. Il settore NO, (tratto da 235 a 300 m), è caratterizzato da valori positivi di c.q. filtrata alla "Fraser", correlabili con unità di suolo scarsamente conduttive.

- La pseudosezione del profilo 3 (figura 47 b) mostra, nel settore SE, (tratto da 5 a 75 m), una zona caratterizzata principalmente da valori positivi della c.q. Nella stessa unità è presente un'anomalia negativa a 30 m ad una profondità di -5/10 m. Nel settore centrale della sezione, (tratto da 75 a 230 m), si manifesta una predominanza di valori negativi, correlabili alla presenza di litologie a carattere conduttivo. Da notare la presenza di alcune importanti anomalie positive che raggiungono i massimi valori di c.q. registrati. Dette anomalie sono presenti nel settore da 100 a 130 m e nel tratto da 180 a 215 m, raggiungendo, in entrambi i tratti, profondità variabili da -15 a -40 m.

Nella parte finale della sezione, da 230 a 295 m, vengono evidenziati il ripetersi dell'abbassamento del gradiente di densità di corrente elettrica e la presenza di valori di c.q. aventi tendenza positiva, correlabili con unità di suolo a carattere poco conduttivo.

- Il grafico dei valori filtrati alla "Fraser" relativo al profilo P4 (figura 48 a) mostra, nel settore SE (tratto da 0 a 50 m), una prevalenza di valori positivi di c.q., che ne determinano il carattere poco conduttivo. Sono presenti a 15, 30 e 35 m delle anomalie negative correlabili con significativi aumenti di conducibilità elettrica, probabilmente attribuibili alle proprietà *aquiche* (*sensu* Soil Survey Staff, 2006) dei suoli. Il settore del grafico da 70 a 260 m è caratterizzato dalla presenza di valori negativi di c.q. filtrata alla "Fraser", correlabili ad unità pedologiche aventi una marcata conducibilità elettrica. Nel settore NO, (tratto da 260 a 300 m), viene confermata la presenza di valori positivi di c.q. filtrati alla "Fraser", che sono correlati alla presenza di suoli scarsamente conduttivi.

La tecnica di filtraggio alla "Fraser", applicata ai valori osservati di c.q., consente di ottenere informazioni più propriamente di carattere geopedologico, vista la maggior influenza delle condizioni superficiali dei terreni indagati sulla c.q.

- La pseudosezione di densità di corrente relativa a questo profilo e rappresentata in figura 49 b mostra nel settore SE (da 5 a 80 m dall'origine del profilo), dei valori positivi della c.q., caratterizzati anche in questa sezione da un abbassamento del gradiente di densità di corrente elettrica. Da notare, all'interno della stessa unità, la presenza di una porzione compresa tra 20 e 40 m, dove si registra un aumento della conducibilità con un aumento del gradiente della densità di corrente elettrica riconducibile a microzone più conduttive. La parte centrale, che va da circa 80 a 260 m, mostra una marcata presenza di valori negativi di c.q.

All'interno di questa unità si evidenziano 2 anomalie positive, situate rispettivamente a 200 e 240 m, ad una profondità che va da 0 a -40 m e da 0 a -25 m, che testimoniano, anche per le pseudosezioni di densità di corrente della c.q., la grande variabilità spaziale delle unità di suolo indagate. La porzione finale, da 260 a 295 m, mostra un sensibile abbassamento del gradiente di densità di corrente elettrica, correlabile a litologie poco conduttive.

Tutti i grafici e le pseudosezioni di densità di corrente elettrica della c.q. mostrano, nel loro settore centrale, zone più conduttive, caratterizzate da valori negativi, evidenziate in colore giallo. Dal confronto tra le pseudosezioni della c.f. e la carta geologica di recente realizzazione, emerge la corrispondenza tra le zone maggiormente conduttive che caratterizzano il settore centrale del versante investigato, e la formazione del Cixerri (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969).

Dall'analisi di tutti i dati, si osserva, in generale, che i settori SE e NO delle pseudosezioni dell'area di ricerca 1 sono caratterizzati da valori positivi della c.q. e da una diminuzione del gradiente della densità di corrente, ad eccezione della porzione da 5 a 20 m, dove si osservano, quasi sempre, aumenti di conducibilità elettrica dei suoli indagati. Le caratteristiche elettriche delle litologie analizzate, messe in evidenza con il metodo V.L.F., vengono confermate dai risultati ottenuti con l'applicazione delle altre tecniche geofisiche di tipo elettromagnetico (EM 38DD, GEM300 - descritte nel Capitolo 2).

La tecnica di filtraggio "Karous-Hjelt", applicata ai valori osservati di c.q., consente di ottenere informazioni correlabili principalmente con le caratteristiche geopedologiche dell'area investigata. Infatti, tali caratteristiche risultano essere quelle che maggiormente influenzano la componente in argomento.

3.1.2 Prospezione elettromagnetica E.M.I. (ElettroMagnetismo Indotto)

Acquisizione e trattamento dei dati

Acquisizione dei dati (strumento EM38DD, GEONICS Ltd)

L'acquisizione dei dati ricavati dallo strumento EM38DD è stata effettuata lungo gli stessi allineamenti utilizzati per il rilievo dei dati V.L.F., incrementando il numero di profili da 4 a 7, in modo tale da infittire le informazioni con 3 nuovi profili intermedi, considerando il carattere di maggior dettaglio di tale tipo di prospezione.

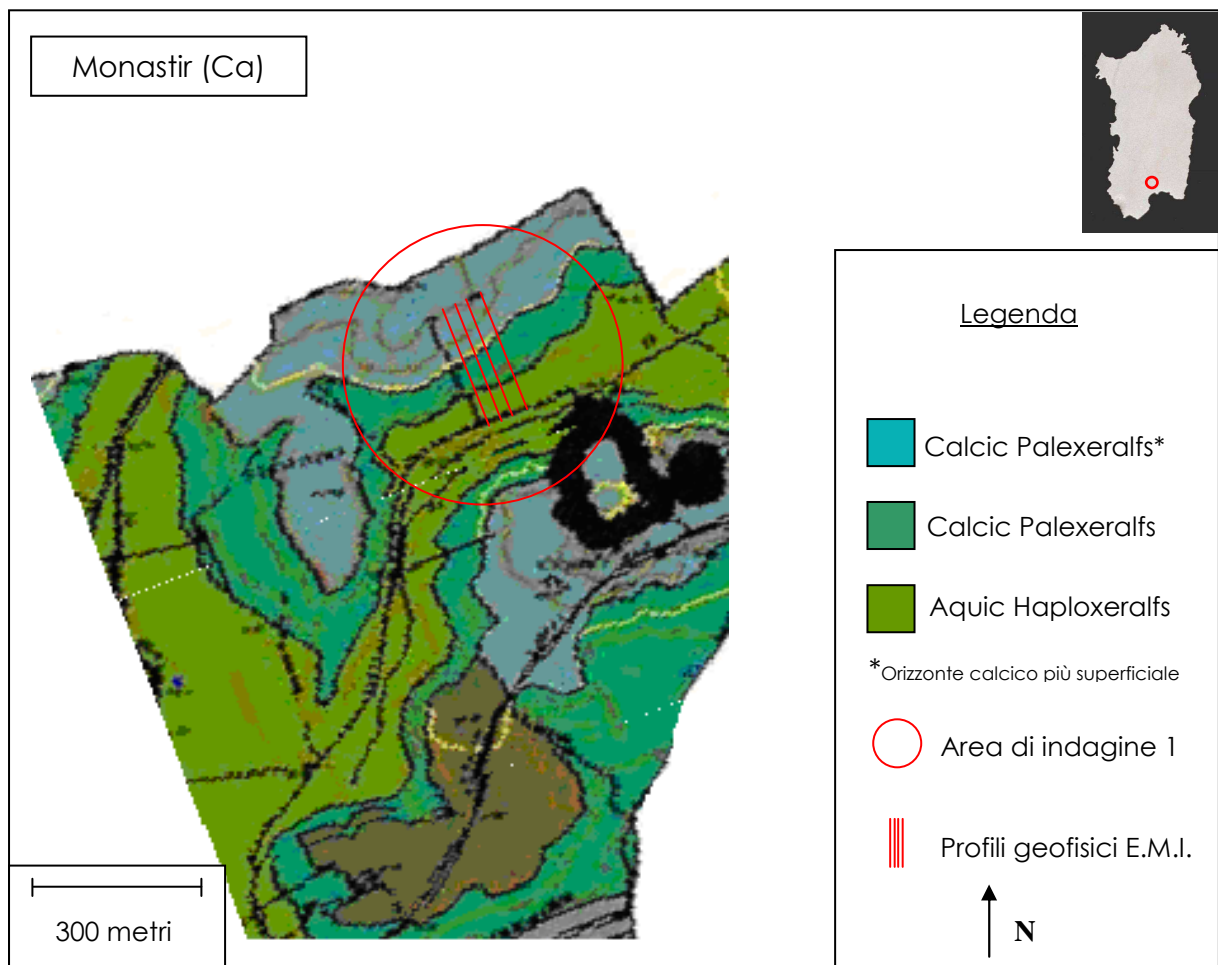


Figura 50 – Carta Pedologica dell'area di Monastir (Ca), da Orrù e Vacca (2004). Localizzazione dei profili geofisici E.M.I., area di ricerca 1.

Lo studio della geometria dei due volumi d'influenza teorica complessiva è stato fondamentale per poter indirizzare le modalità di acquisizione del dato per la

prospezione E.M.I., vedi sottoparagrafo 1.2.1.2. La necessità di dover rilevare le aree di studio nel modo più completo e omogeneo possibile ha contribuito nella scelta di incrementare il numero dei profili geofisici da 4, utilizzati nella prospezione V.L.F., a 7, riconducendo i profili stessi ad un' interdistanza voluta di 2 m.

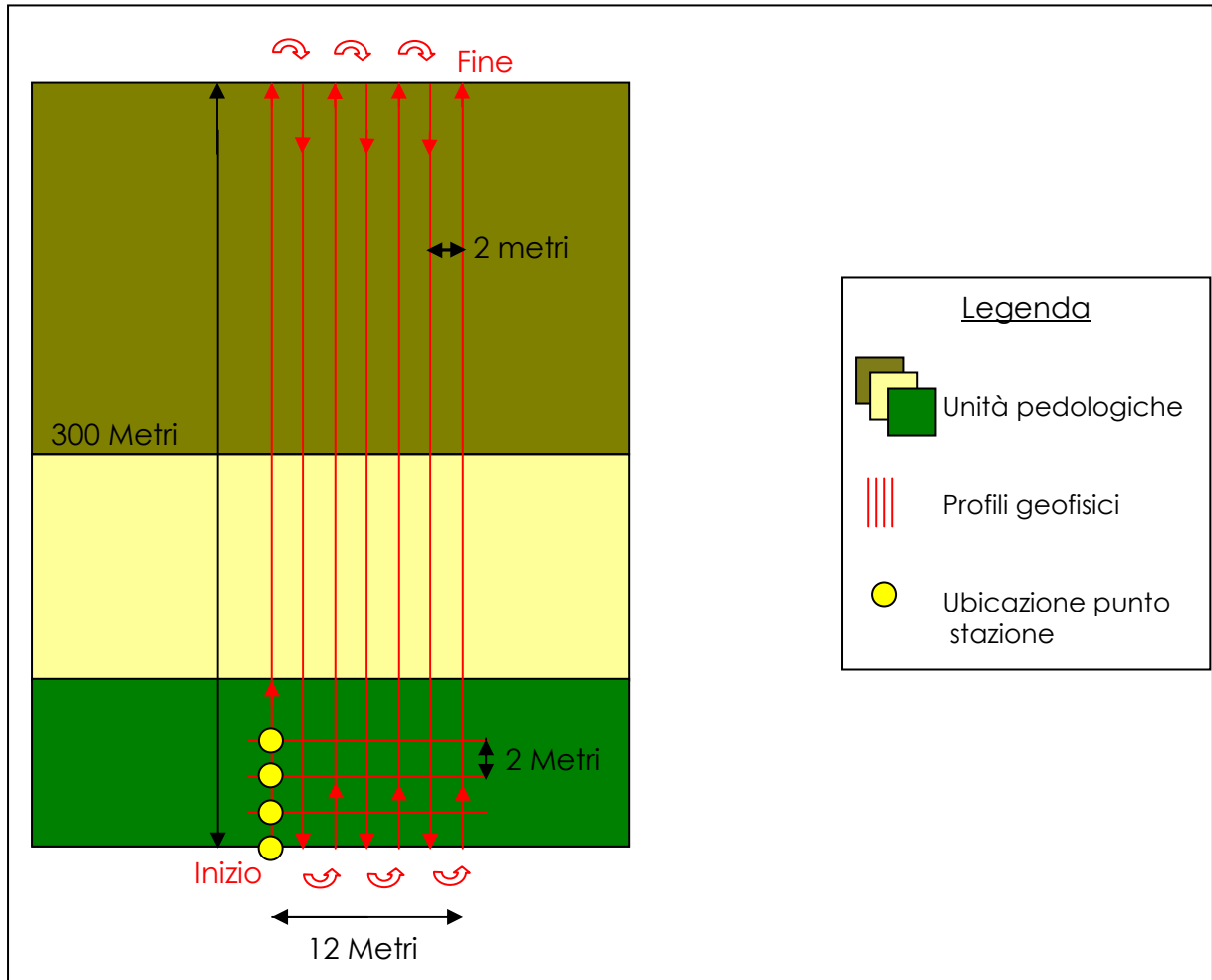


Figura 51 – Schema di acquisizione del dato

Lo schema di acquisizione dei dati, anche in questo caso, prevede l'ubicazione dei profili geofisici perpendicolari alle unità pedologiche cartografate nella carta di riferimento, riportata in figura 50.

Questa scelta ha permesso di confrontare i dati geo-pedologici già in possesso con i dati geofisici ricavati dalla prospezione E.M.I., che riflettendo le caratteristiche chimico-fisiche dell'oggetto di studio hanno potuto mettere in evidenza, oltre alle diverse tipologie di suoli presenti, i nuovi limiti di tali unità. L'acquisizione è avvenuta

su 7 profili lunghi 300 m interdistanziati di 2 m, con lo strumento impostato per poter rilevare in continuo 5 dati ogni secondo.

Parametri della prospezione

Il parametro ricavato dalla prospezione E.M.I. è la Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a), che è un parametro aggregato funzione della porosità, del contenuto idrico, della mineralogia, della qualità e della quantità delle argille, nonché della forza ionica, della composizione, della temperatura, della profondità e della fase della soluzione del suolo (McNeill, 1980). Questa qualità specifica che caratterizza la C.E.a., consente di interpretare al meglio le condizioni geo-pedologiche dell'area in esame.

Trattamento dei dati E.M.I.

Il trattamento dei dati geofisici E.M.I. è stato condotto applicando ai dati il filtro *Fraser* (rif. Par. 3.1.1) al fine di facilitarne l'analisi qualitativa ed ottimizzare il rapporto segnale/disturbo.

Analisi dei dati: mappe di C.E.a. realizzate con i dati rilevati dallo strumento EM38DD (Geonics LTd)

Nella colonna (a) della figura 52, è rappresentata una porzione di carta pedologica (Orrù e Vacca, 2004) dove i pallini rossi evidenziano i tre profili pedologici eseguiti. Successivamente, sono state messe a confronto le 2 mappe di C.E.a. ottenute attraverso la prospezione geofisica effettuata con lo strumento EM38DD della Geonics LTd.

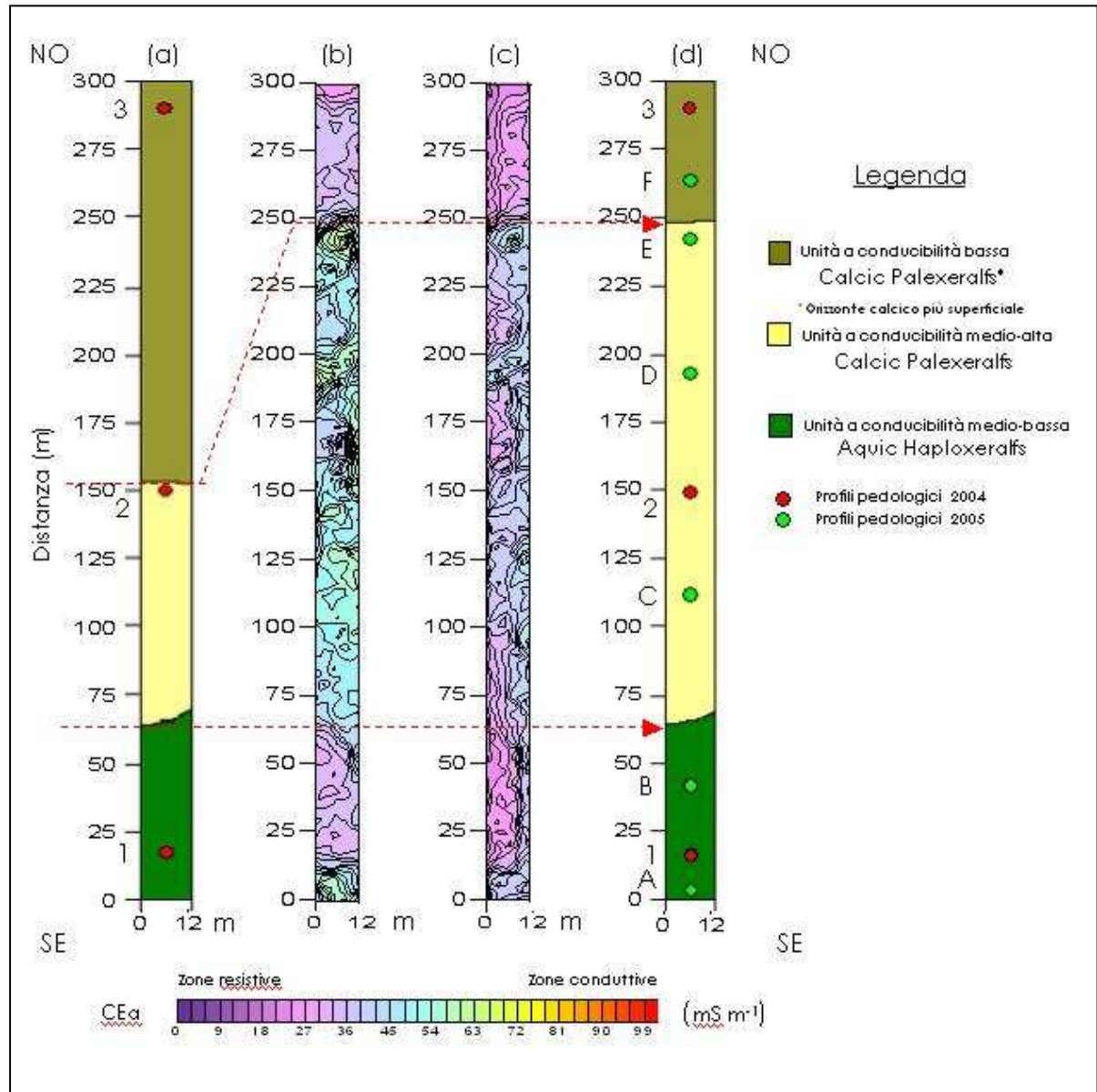


Figura 52 – Area di ricerca1: a) carta pedologica da Orrù e Vacca (2004); b) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 14,6 kHz; c) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 17,0 kHz; d) carta pedologica ottenuta dall'integrazione dei dati pedologici e geofisici di diverso tipo (V.L.F., EM38DD, GEM300).

A conferma di quanto analizzato in precedenza per lo strumento EM16, il limite tra le unità pedologiche, risultante dalla carta pedologica di Orrù e Vacca, (2004) posto a circa 65 m, è risultato compatibile anche con le anomalie geofisiche riscontrate a quella quota durante la prospezione con lo strumento EM38DD. Anche in questo caso, il limite posto a circa 150 m non ha trovato nessun riscontro nelle mappe di

C.E.a. Dallo studio delle mappe realizzate con entrambi gli strumenti (EM16 e EM38DD) è stato confermato che il limite tra l'unità pedologica centrale e l'unità pedologica posta più in alto è posizionato attorno ai 250 m.

Mappe di C.E.a. realizzate con i dati rilevati dallo strumento GEM300 (Geophysical Survey System)

Anche in questo caso, nella colonna (a) della figura 53 è rappresentata una porzione di carta pedologica (Orrù e Vacca, 2004).

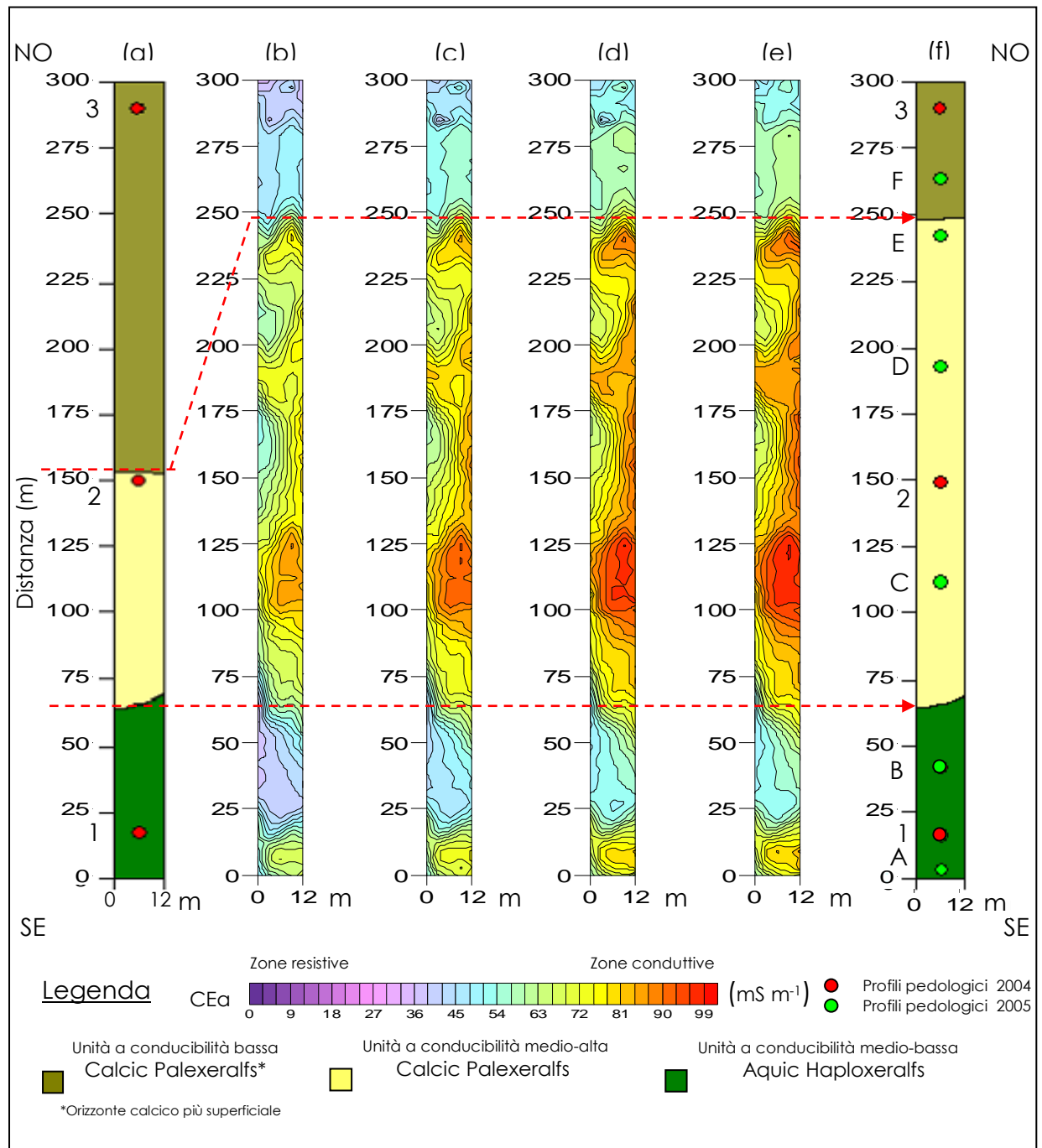


Figura 53 – Area di ricerca 1: a) carta pedologica da Orrù e Vacca (2004); b) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 8,5 kHz; c) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente

(C.E.a.) ad una frequenza di 11,3 kHz; d) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 15,0 kHz; e) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 18,2 kHz f) carta pedologica ottenuta dall'integrazione dei dati pedologici e geofisici di diverso tipo (V.L.F., EM38DD, GEM300).

Con i pallini rossi sono evidenziati i tre profili pedologici eseguiti. Successivamente, sono state messe a confronto le 4 mappe di (C.E.a.), una per ogni frequenza utilizzata, ottenute attraverso la prospezione geofisica effettuata con lo strumento GEM300 della Geophysical Survey System. A ulteriore conferma di quanto precedentemente analizzato per gli strumenti EM16 e EM38DD, il limite tra le unità pedologiche, risultante dalla carta di riferimento, posto a circa 65 m, è risultato compatibile anche con le anomalie geofisiche riscontrate a quella quota durante la prospezione con lo strumento GEM300. Anche in questo caso, il limite posto a circa 150 m, non ha trovato nessun riscontro nelle mappe di C.E.a. Dallo studio delle mappe realizzate con tutti gli strumenti utilizzati (EM16, EM38DD e GEM300) è stato confermato che il limite tra l'unità pedologica centrale e l'unità pedologica posta più in alto è posizionato attorno ai 250 m. Grazie agli studi effettuati con gli strumenti EM38DD e GEM300 si è riusciti a confermare il riposizionamento del limite pedologico di 100 m.

Nella figura 54 sono rappresentate, nel complesso, tutte le mappe riferite all'area di ricerca 1, ottenute attraverso l'utilizzo degli strumenti EM16 (Geonics LTd), EM38DD (Geonics LTd) e GEM300 (Geophysical Survey System).

3.1.3 Studio dei suoli

L'area di ricerca 1 era stata interessata da un rilievo pedologico tradizionale, realizzato per la produzione di una carta in scala 1:10000 del Territorio Comunale di Monastir, effettuato da Vacca e Orrù (2004). Erano stati realizzati 3 profili pedologici, nominati 1, 2, 3, ed evidenziati in rosso in figura 53, (uno per ogni unità di suolo presente). In funzione dei risultati ottenuti dalle prospezioni elettromagnetiche, effettuate nella prima fase di studio, è stato ritenuto opportuno eseguire altri 6 profili pedologici. L'intenzione era verificare se le evidenze messe in luce dalle mappe geofisiche, avessero dei riscontri nel reale contesto geo-pedologico in esame. Nella figura 55 è rappresentata, oltre alla sezione geologica, una porzione della carta pedologica di riferimento, con l'ubicazione dei nuovi profili (effettuati nell'anno 2005), nominati con le lettere A, B, C, D, E, ed F, posizionati rispettivamente a 5, 40, 110, 190, 235 e 265 m. Successivamente, viene riportata l'analisi foto-descrittiva dei profili pedologici effettuati nell'anno 2005 e per completezza di informazione, l'analisi foto-descrittiva dei profili pedologici effettuati da Orrù e Vacca nell'anno 2004.

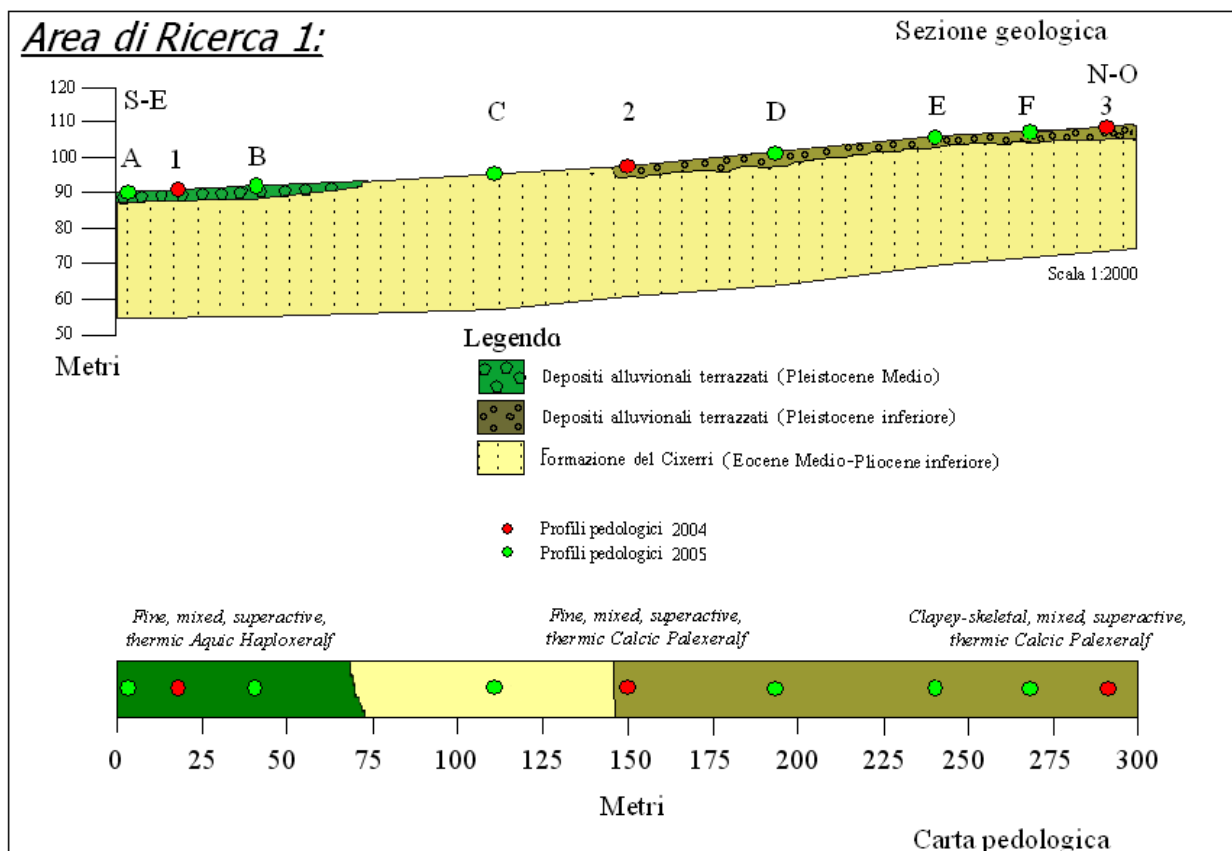


Figura 55 – Sezione geologica e porzione di carta pedologica dell'area di ricerca 1, da Orrù e Vacca (2004).

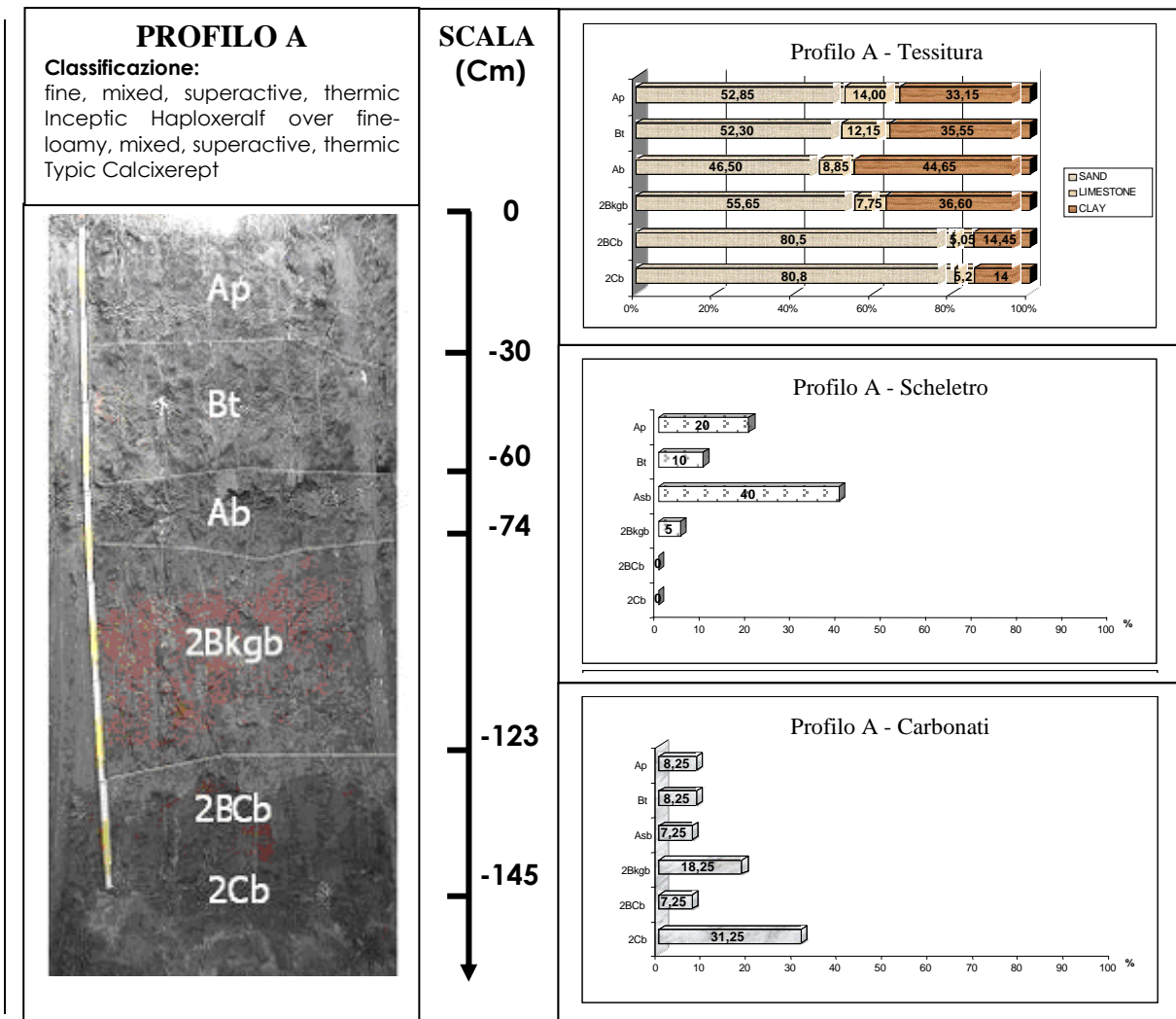


Tabella 7 - Rappresentazione foto-descrittiva del profilo A

Profilo A (Ap-Bt-Ab-2Bkgb-2BCb-2Cb)

Ap: 0-30 cm - limite abrupto lineare; asciutto; colore da asciutto 10YR 4/3; tessitura sabbioso-argilloso-franco; scheletro 20% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, forte; consistenza: da secco duro; pori abbondanti, piccoli; radici abbondanti, andamento obliquo; drenaggio normale; attività biologica media.

Bt: 30-60 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR 4/4; tessitura sabbioso-argilloso-franco; scheletro 10% arrotondato e spigoloso, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, grossolana, forte; consistenza: da umido molto resistente; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici scarse; rivestimenti: argille, abbondanti, sugli aggregati e nei pori; drenaggio normale; attività biologica assente.

Ab: 60-74 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR 3,5/3; tessitura sabbioso-franco; scheletro 40% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, fine e media, moderato; consistenza: da umido resistente; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici scarse; drenaggio normale; attività biologica assente.

2Bkgb: 74-123 cm - limite chiaro ondulato; umido; colore da umido 10YR 5/4; tessitura sabbioso-franco; scheletro 5% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, debole; consistenza: da umido molto friabile; concrezioni: 5%, 1-3 mm, carbonatiche, dure, irregolari, contorno netto; pori abbondanti, molto piccoli e piccoli; effervescenza notevole; screziature: 30% molto evidenti contorno netto e 20% molto evidenti contorno netto; drenaggio lento; attività biologica assente.

2BCb: 123-140/150 cm - limite abrupto ondulato; umido; colore da umido 10YR 4/4; tessitura sabbioso-franco; scheletro assente; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, debole; consistenza: da umido molto friabile; pori abbondanti, molto piccoli; drenaggio lento; attività biologica assente.

2Cb: >150 cm - umido; colore umido 2.5Y 6/2; tessitura sabbioso-franco; scheletro assente; aggregazione: massiva; cementazione: carbonati, debolmente cementato, discontinuo; radici assenti; drenaggio molto lento; attività biologica assente.

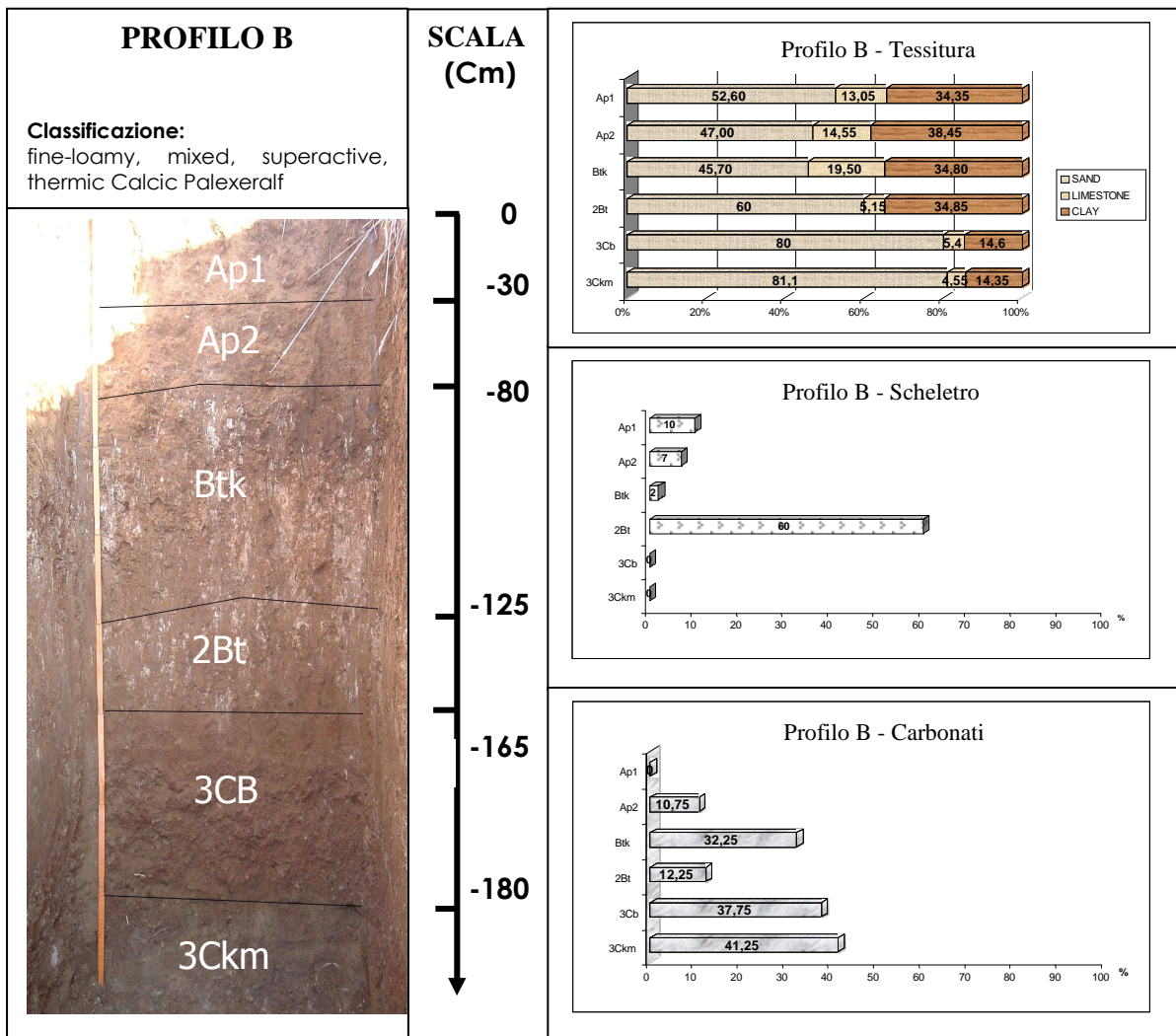


Tabella 8 - Rappresentazione foto-descrittiva del profilo B

Profilo B (Ap1-Ap2-Btk-2Bt-3CB-3Ckm)

Ap1: 0-30 cm - limite abrupto lineare; asciutto; colore da asciutto 10YR 5/4; tessitura sabbioso-argilloso-franco; scheletro 10% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, forte; consistenza: da secco poco duro; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici comuni, andamento obliquo, piccole; drenaggio normale; attività biologica assente.

Ap2: 30-80 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR 4/3; tessitura sabbioso-argilloso; scheletro 70% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare e angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; pori comuni, molto piccoli; radici scarse, oblique, piccole; concrezioni: 3% di carbonati, 0,5-2 cm, dure e irregolari; drenaggio normale; attività biologica assente.

Btk: 80-125 cm - limite chiaro lineare; umido; colore da umido 10YR 4,5/6; tessitura argilloso-franco; scheletro 2% arrotondato e spigoloso, minuto, alterato; rivestimenti: argille, comuni, sottili, discontinui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica angolare, fine, debole; consistenza: da umido resistente; concrezioni: 7% di carbonati, 0,5-1 cm, soffici e dure; pori comuni, molto piccoli; radici scarse, oblique, piccole; drenaggio lento; effervescenza violenta; attività biologica assente.

2Bt: 125-160/170 cm - limite abrupto ondulato; umido; colore da umido 7,5YR 4/6; tessitura sabbioso-argilloso-franco; scheletro 60% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; rivestimenti: argille, abbondanti, moderatamente spessi, continui, sugli aggregati, nei pori e nei ponti tra i granuli di sabbia; aggregazione: poliedrica angolare, fine, debole; consistenza: da umido friabile; effervescenza debole; pori: pochi, molto piccoli; radici assenti; drenaggio normale; attività biologica assente.

3CB: 160/170-180 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 2,5Y 5,5/4; tessitura sabbioso-franco; scheletro assente; aggregazione: poliedrica angolare, media e debole; consistenza: da umido molto friabile; pori abbondanti, molto piccoli e piccoli; drenaggio normale; effervescenza notevole; radici assenti; attività biologica assente.

3Ckm: >180 cm - umido; colore umido 2,5Y 6/4; tessitura sabbioso-franco; scheletro assente; cementazione: carbonati, fortemente cementato, continuo; drenaggio impedito; effervescenza violenta; attività biologica assente.

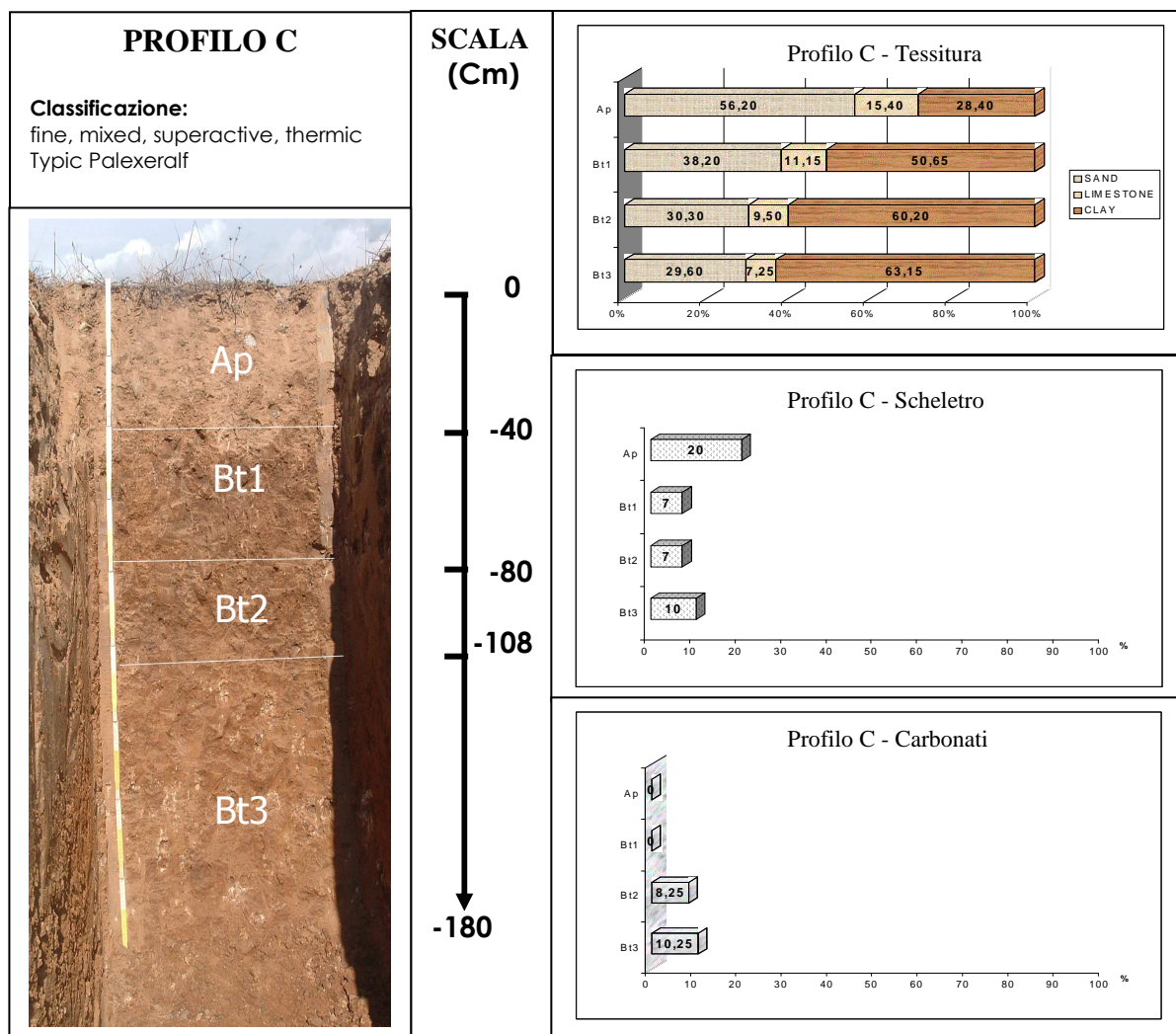


Tabella 9 - Rappresentazione foto-descrittiva del profilo C

Profilo C (Ap-Bt1-Bt2-Bt3)

Ap: 0-40 cm - limite abrupto lineare; asciutto; colore da asciutto 10YR 6/4; tessitura sabbioso-argilloso-franco; scheletro 20% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, debole; consistenza: da secco molto duro; pori abbondanti, piccoli e medi; radici comuni, andamento tutte le direzioni, piccole; drenaggio normale; attività biologica assente.

Bt1: 40-80 cm - limite chiaro lineare; umido; colore da umido 7,5YR 4/4; tessitura argillosa; scheletro 7% arrotondato e spigoloso, minuto, alterato; rivestimenti di argille, abbondanti, moderatamente spessi, continui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: prismatic, media e grossolana, forte; consistenza: da umido estremamente resistente; drenaggio lento; pori pochi, molto piccoli; radici assenti; attività biologica assente.

Bt2: 80-108 cm - limite graduale lineare; umido; colore da umido 7,5YR 4/4; tessitura argillosa; scheletro 7% arrotondato e spigoloso, minuto, alterato; rivestimenti di argille,

abbondanti, sottili, discontinui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; pori comuni, molto piccoli; drenaggio lento; radici assenti; attività biologica assente.

Bt3: 108-180 cm - umido; colore da umido 7,5YR 4/8; tessitura argillosa; scheletro 10% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; rivestimenti di argille, abbondanti, sottili, discontinui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; pori comuni, molto piccoli; effervescenza debole; drenaggio lento; radici assenti; attività biologica assente.

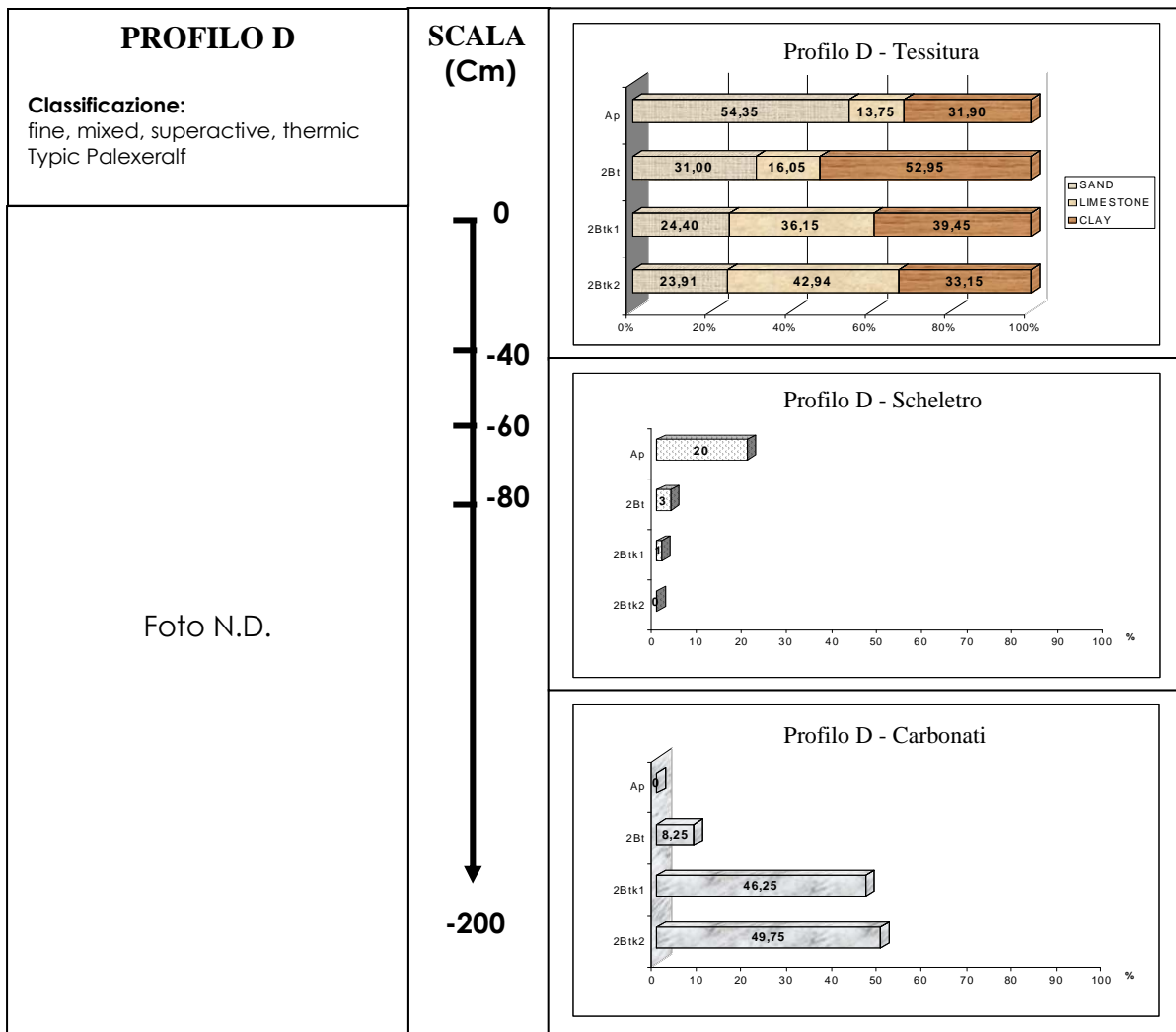


Tabella 10 – Rappresentazione descrittiva del profilo D

Profilo D (Ap-2Bt-2Btk1-2Btk2)

Ap: 0-40 cm - limite abrupto irregolare; asciutto; colore da asciutto 7,5YR 6/6; tessitura sabbioso-argilloso-franco; scheletro 20% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare ed angolare, media, forte; consistenza: da secco duro; pori abbondanti, piccoli e medi; radici comuni, andamento oblique e verticali, medie; drenaggio normale; attività biologica assente.

2Bt: 40-60 cm - limite abrupto ondulato; umido; colore da umido 5YR 4/4; tessitura argillosa; scheletro 3% arrotondato e spigoloso, medio e minuto, alterato; rivestimenti di argille, abbondanti, sottili, continui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, forte; consistenza: da umido resistente; drenaggio normale; pori comuni, piccoli; radici scarse, oblique e verticali, piccole; attività biologica assente.

2Btk1: 60-80 cm - limite graduale lineare; umido; colore da umido 5YR 5/6; tessitura argilloso-franco; scheletro 1% arrotondato e spigoloso, minuto, alterato; rivestimenti di argille, comuni, sottili, continui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; concrezioni: carbonati, soffici e dure, irregolari ed angolari, contorno netto; pori comuni, piccoli; effervescenza violenta; drenaggio lento; radici assenti; attività biologica assente.

2Btk2: 80-200 cm - umido; colore da umido 5YR 5/8; tessitura argilloso-franco; scheletro assente; rivestimenti di argille, abbondanti, sottili, continui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica subangolare, media e grossolana, forte; consistenza: da umido resistente; concrezioni: carbonati, soffici e dure, angolari, contorno diffuso; pori comuni, piccoli; effervescenza violenta; drenaggio lento; radici assenti; attività biologica assente.

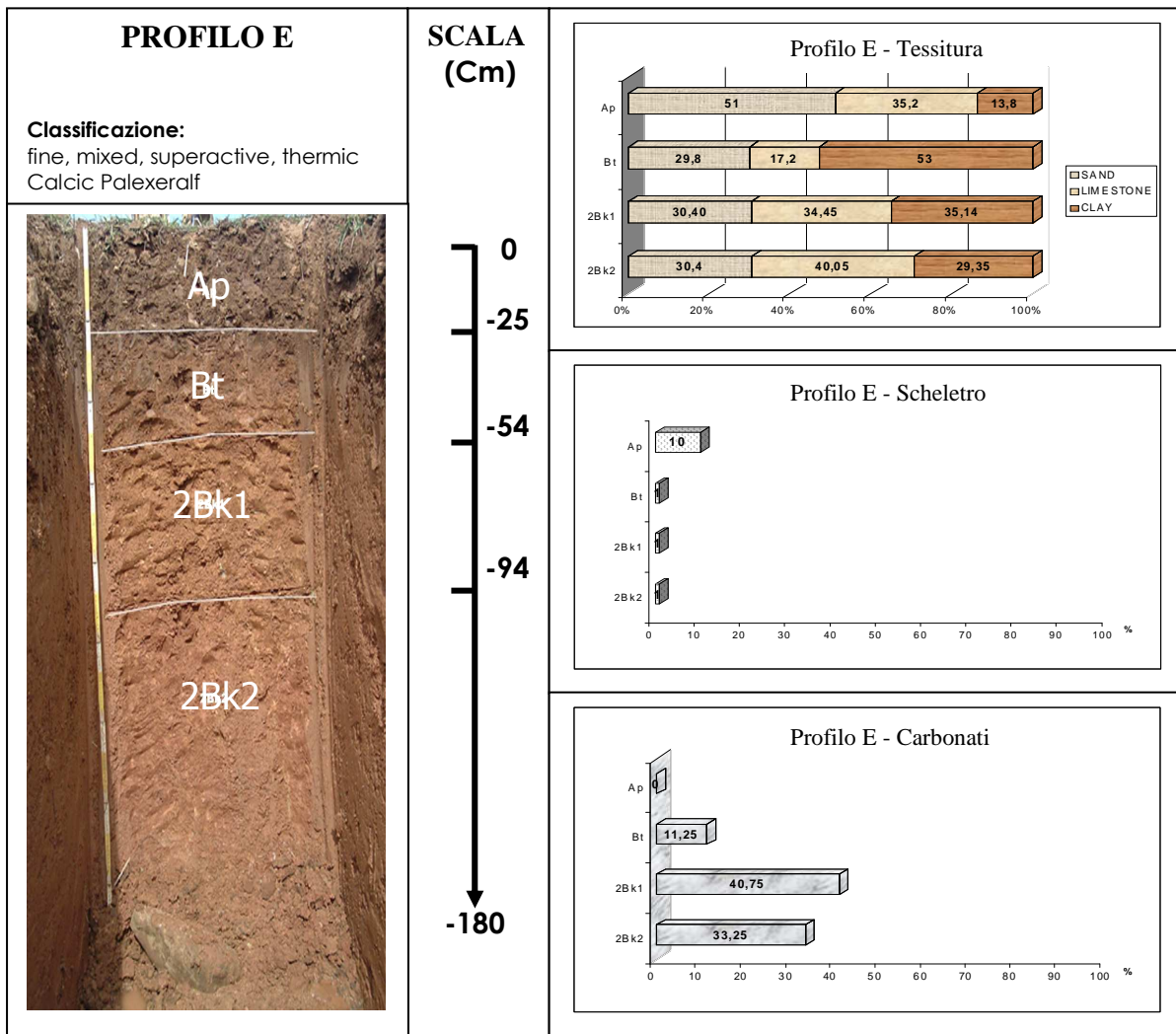


Tabella 11 – Rappresentazione foto-descrittiva del profilo E

Profilo E (Ap-Bt-2Bk1-2Bk2)

Ap: 0-25 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR 3/3; tessitura sabbioso-argilloso; scheletro 10% arrotondato, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: comuni; pori abbondanti, piccoli e medi; radici comuni, andamento verticale, piccole; drenaggio normale; attività biologica scarsa.

Bt: 25-54 cm - limite chiaro lineare; umido; colore da umido 7,5YR 4/4; tessitura argillosa; scheletro 1% arrotondato, minuto, alterato; rivestimenti di argille, abbondanti, sottili, continui, sugli aggregati e nei pori; aggregazione: poliedrica angolare, grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: comuni; drenaggio normale; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici scarse, verticali, piccole; attività biologica scarsa.

2Bk1: 54-94 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7,5YR 4/6; tessitura argilloso-franco; scheletro 1% arrotondato, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido friabile; concrezioni: 3%, carbonati, dure, irregolari, contorno netto; pori comuni, piccoli; effervescenza violenta; drenaggio normale; radici scarse, verticali, piccole; attività biologica scarsa.

2Bk2: 94-180 cm - umido; colore da umido 5YR 4/6; tessitura argilloso-franco; scheletro 1% arrotondato, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare ed angolare, media e grossolana, debole; consistenza: da umido friabile; concrezioni: 5%, carbonati, dure, irregolari, contorno netto; pori pochi, molto piccoli; effervescenza notevole; drenaggio lento; radici scarse, verticali, piccole; attività biologica scarsa.

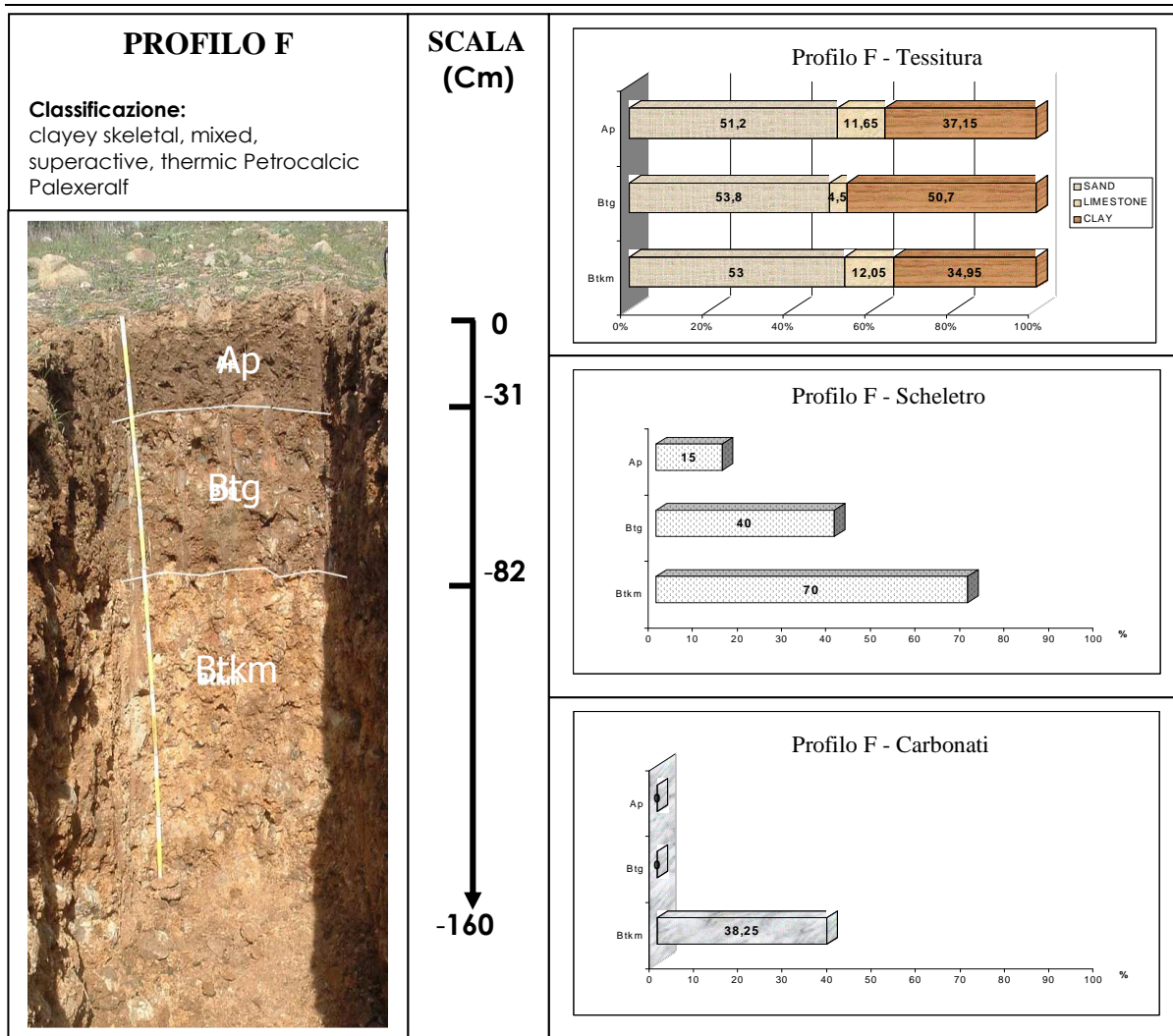


Tabella 12 – Rappresentazione foto-descrittiva del profilo F

Profilo F (Ap-Btg-Btkm)

Ap: 0-31 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR 4/3,5; tessitura sabbioso-argillosa; scheletro 15% arrotondato, minuto, medio e grossolano, alterato e molto alterato; aggregazione: poliedrica subangolare ed angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: scarse; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici comuni, andamento verticale, piccole; drenaggio normale; attività biologica scarsa.

Btg: 31-82 cm - limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7,5YR 4/6; tessitura sabbioso-argillosa; scheletro 40% arrotondato, minuto, medio e grossolano, alterato; rivestimenti di argille, abbondanti, spessi, continui, sugli aggregati, nei pori e nei ponti tra i granuli di sabbia, colore 10YR 4,5/2; aggregazione: poliedrica subangolare ed angolare, media, moderata; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: abbondanti; drenaggio normale; pori pochi, molto piccoli; screziature: 20% molto evidenti e contorno

chiaro colore 7,5R3/8, 15% molto evidenti contorno netto e colore 2,5Y5/2; radici assenti; drenaggio lento e molto lento; attività biologica scarsa.

Btkm: 82-180 cm - umido; colore da umido 10YR 5/6; tessitura sabbioso-argillosa; scheletro 70% arrotondato, minuto, medio e grossolano, alterato; rivestimenti di argille, abbondanti, moderatamente spessi, sugli aggregati, nei pori e nei ponti tra i granuli di sabbia, colore 7,5YR 5/2; aggregazione: massiva; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: abbondanti; cementazione di carbonati, debolmente cementato, continuo; drenaggio lento e molto lento; effervescenza violenta; pori pochi, molto piccoli; screziature: 20% molto evidenti e contorno netto colore 7,5R3/8; radici assenti; attività biologica scarsa.

Di seguito viene riportata l'analisi foto-descrittiva dei profili pedologici effettuati da Orrù e Vacca nell'anno 2004.

Profilo 1



Ap1 - Ap2 - Bt - 2Btg - 2Cgk - 3C

Ap1: 0-20 cm

limite abrupto lineare; umido - colore da secco 7,5YR 4/4, da umido 7,5YR 4/3; tessitura argillo-sabbiosa; scheletro 15% piatto ed arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare, fine e media, moderato; consistenza: da secco duro, da umido friabile, da bagnato non adesivo e non plastico; pori comuni, piccoli e medi; radici comuni, piccole, andamento obliquo e verticali; drenaggio rapido; attività biologica assente.

Ap2: 20-40 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 7,5YR 4/4, da umido 7,5YR 4/3; tessitura argillo-sabbiosa; scheletro 15% piatto ed arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, fine, media e grossolana, moderato; consistenza: da secco duro, da umido resistente, da bagnato non adesivo e non plastico; pori comuni, piccoli e medi; radici comuni, piccole, andamento obliquo e verticale; drenaggio rapido;

Bt: 40-70 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 7,5YR 5/3 da umido 7,5YR 4/3; tessitura argillosa; scheletro 5% piatto ed arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, fine, media e grossolana; consistenza: da secco duro, da umido molto resistente, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori pochi molto piccoli; radici assenti; drenaggio lento; rivestimenti comuni di argille, sottili, continui, localizzati sugli aggregati e tra i pori; concrezioni: 3%, 2-5mm, di Fe-Mn, irregolari e sferiche, dure e contorno netto; attività biologica assente.

2Btg: 70-100 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 7,5YR 5/6 da umido 7.5YR 4/6; tessitura argillosa; scheletro 40% piatto ed arrotondato, fine, alterato; aggregazione: massiva; consistenza: da secco duro, da umido resistente, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori pochi molto piccoli; radici assenti; drenaggio molto lento; rivestimenti comuni di argille, sottili, continui, localizzati sugli aggregati e tra i pori; concrezioni: 3%, 2-5mm, di Fe-Mn, irregolari e sferiche, dure e contorno netto; screziature: 20% evidenti, colore 10YR6/2, contorno chiaro; attività biologica assente.

2Cgk: 100-130 cm

limite chiaro lineare; umido; colore da secco 7,5YR 6/8 da umido 7.5YR 5/8; tessitura franco-sabbioso-argillosa; scheletro 30% piatto ed arrotondato, fine, alterato; aggregazione: massiva; consistenza: da secco duro, da umido resistente, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori pochi molto piccoli; radici assenti; drenaggio molto lento; concrezioni: 2%, 2-5mm, di Fe-Mn-Ca, irregolari e sferiche, dure e contorno netto; screziature: 15% evidenti, colore 10YR6/2, contorno chiaro; attività biologica assente.

3C: >130 cm

limite abrupto lineare; umido; colore umido 2.5Y 6,5/2; tessitura franco-sabbioso-argillosa; scheletro assente; aggregazione: massiva; pori pochi molto piccoli; radici assenti; drenaggio molto lento; attività biologica assente.

Classificazione

fine, mixed, superactive, thermic Aquic Haploxeralf

Analisi chimico-fisiche

| Oriz. | Spessore cm | Sabbia | Limo g kg ⁻¹ | Argilla | pH | | CaCO ₃ g kg ⁻¹ | C org. | CSC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ac | TSB % |
|-----------|----------------|--------|----------------------------|---------|--------------------|-------|---|--------|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|----------|
| | | | | | (H ₂ O) | (KCl) | | | | | | | | | |
| P1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-20 | 498 | 108 | 394 | 8,1 | 7,3 | 35 | 9 | 40,0 | 26,4 | 6,1 | 0,7 | 1,7 | 5,1 | 87 |
| Ap2 | 20-40 | 517 | 117 | 366 | 7,9 | 7,2 | 35 | 9 | 38,7 | 23,6 | 6,8 | 0,4 | 2,8 | 5,1 | 87 |
| Bt | 40-70 | 582 | 140 | 442 | 7,8 | 6,7 | 35 | 6 | 40,6 | 21,3 | 9,2 | 0,3 | 4,6 | 5,2 | 87 |
| 2Btg | 70-100 | 397 | 63 | 540 | 8,1 | 7,3 | 35 | 3 | 49,1 | 24,8 | 12,3 | 0,4 | 6,5 | 5,4 | 89 |
| 2Cg | 100-130 | 570 | 49 | 381 | 8,7 | 7,8 | 45 | 0 | 35,6 | 13,0 | 10,7 | 0,4 | 6,3 | 5,2 | 85 |

Profilo 2



Ap – 2Bt – 2Btk

Ap: 0-40 cm

limite abrupto lineare; umido - colore da secco 7,5YR 4/6, da umido 7,5YR 4/6; tessitura franco-sabbioso-argillosa; scheletro 10% spigoloso, arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare ed angolare, media e grossolana, moderato; consistenza: da secco poco duro, da umido friabile, da bagnato non adesivo e non plastico; pori comuni, piccoli e medi; radici

scarse, piccole, andamento obliquo ed orizzontale; drenaggio normale; attività biologica assente.

2Bt: 40-115 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 7,5YR 5/6 da umido 7.5YR 4/4; tessitura argillosa; scheletro assente; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderato; consistenza: da secco duro, da umido molto resistente, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori pochi, piccoli; radici scarse, andamento obliquo e verticale; drenaggio lento; rivestimenti abbondanti di argille, sottili, continui, localizzati sugli aggregati e tra i pori; attività biologica assente.

2Btk: 115-160 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 7,5YR 5/6 da umido 7.5YR 5/4; tessitura argillosa; scheletro assente; aggregazione: massiva; consistenza: da secco duro, da umido friabile, da bagnato poco adesivo e non plastico; pori pochi e piccoli; radici assenti; drenaggio lento; rivestimenti abbondanti di argille, sottili, continui, localizzati sugli aggregati e tra i pori; concrezioni: 20%, 2mm, di carbonati, irregolari e sferiche, dure e contorno netto; debolmente cementato; attività biologica assente.

Classificazione

fine, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralf

Analisi chimico-fisiche

| Oriz. | Spessore cm | Sabbia g kg ⁻¹ | Limo g kg ⁻¹ | Argilla g kg ⁻¹ | pH | | CaCO ₃ g kg ⁻¹ | C org. g kg ⁻¹ | CSC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ac | TSB % |
|-----------|----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------|---|------------------------------|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|----------|
| | | | | | (H ₂ O) | (KCl) | | | | | | | | | |
| P2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap | 0-40 | 534 | 122 | 344 | 6,8 | 5,9 | 0 | 8 | 34,9 | 19,7 | 6,7 | 0,4 | 2,7 | 5,4 | 84 |
| 2Bt | 40-115 | 407 | 106 | 487 | 7,6 | 6,1 | 0 | 5 | 49,4 | 26,0 | 12,2 | 0,3 | 4,2 | 6,7 | 86 |
| 2Btk | 115-160 | 362 | 234 | 404 | 8,9 | 7,6 | 327 | 3 | 67,9 | 45,5 | 10,3 | 0,3 | 5,5 | 6,3 | 91 |

Profilo 3



Ap – Bt – Btk

Ap: 0-20 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 10YR 4/3, da umido 10YR 3/4; tessitura argillosa; scheletro 10% piatto ed arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare, fine, media e grossolana, moderata; consistenza: da secco poco duro, da umido friabile, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori abbondanti, piccoli e medi; radici comuni, piccole, andamento obliquo e verticale; drenaggio normale; attività biologica assente.

Bt: 20-50 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da secco 10YR 4/6 da umido 10YR 4/6; tessitura argillosa; scheletro 25% arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, molto grossolana, forte; consistenza: da secco duro, da umido resistente, da bagnato non adesivo e poco plastico; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici scarse, piccole, andamento obliquo; drenaggio normale; rivestimenti comuni di argille, sottili, localizzate sugli aggregati e sui pori; attività biologica assente.

Btk: 50-110 cm

umido; colore da secco 7.5 YR 7/6 da umido 7.5YR 6/6; tessitura argillosa; scheletro 35% arrotondato, medio e grossolano, alterato; aggregazione massiva; consistenza: da secco molto duro, da umido resistente, da bagnato non adesivo e non plastico; pori pochi molto piccoli; radici assenti; drenaggio lento; rivestimenti comuni di argille, moderatamente spessi, localizzate sugli aggregati e sui pori; concrezioni 25%, carbonati, sferiche, dure, contorno netto; screziature 4%, poco evidenti; cementazione di carbonati, debolmente cementato; effervescenza notevole.

Classificazione

clayey-skeletal, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralf

Analisi chimico-fisiche

| Oriz. | Spessore cm | Sabbia | Limo | Argilla | pH | | CaCO ₃ | C org. | CSC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ac | TSB |
|-----------|----------------|--------|------|---------|--------------------|-------|-------------------|--------|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|-----|
| | | | | | (H ₂ O) | (KCl) | | | | | | | | | |
| P3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap | 0-31 | 333 | 126 | 541 | 7,9 | 6,7 | 0 | 13 | 61,5 | 42,0 | 9,2 | 0,8 | 2,7 | 6,7 | 89 |
| Bt | 31-82 | 190 | 78 | 732 | 7,3 | 6,3 | 0 | 7 | 80,0 | 51,0 | 18,3 | 0,5 | 3,1 | 7,1 | 91 |
| Btk | 82-180 | 425 | 109 | 466 | 8,5 | 7,8 | 345 | 4 | 74,1 | 46,2 | 17,5 | 0,4 | 3,5 | 6,5 | 91 |

Di seguito vengono mostrate le tabelle di campagna di tutti gli orizzonti presenti nei profili pedologici analizzati nell'anno 2005.

| PROFILO A | | TESI DI DOTTORATO – Dott. Gianluca Cuozzo | |
|---------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| PROGETTO | PRIN 2003 | | |
| COMUNE | Monastir | FORMAZIONE GEOLOGICA ALLUVIONE PLEISTOCENICA | |
| | | SUBSTRATO ALLUVIONE PLEISTOCENICA | |
| PROVINCIA | Cagliari | PEDOGENETICO | |
| LOCALITA' | Micceddu | MORFOLOGIA | POSIZIONE FISIOGRAFICA Basso versante |
| RIF.CARTOGR. | C.T.R 1:10000; 557020 | | TOPOGRAFIA DEL T. CIRCOSTANTE Pianura |
| COORD.GEOGR. | Latitudine n.d | | MICROTOPOGRAFIA Assente |
| | Longitudine n.d | | ORIGINE Alluvionale |
| DATA | 7 / 10 / 05 | USO DEL SUOLO Seminativo a riposo | |
| RILEVATORI | A. Vacca – G. Cuozzo | RISCHIO SOMMERSIONE Alto | |
| QUOTA (m.s.l.m) | | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE Asciutto | |
| ESPOSIZIONE | 160 | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO Umido, asciutto < 30cm | |
| PENDENZA | 1 % | VEGETAZIONE Erbacea | |
| DRENAGGIO | Lento | ROCCIOSITA' Assente | EROSIONE |
| OSSERVAZIONI: Ex C | | AGENTE Assente | |
| | | PIETROSITA' | |
| | | QUANTITA' 30 % | TIPO |
| | | DIMENSIONI 5 – 10 cm | FREQUENZA |

| ORIZZONTE | Ap | CAMPIONE n°1 | |
|------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| SPESSORE | 0 - 30 cm | SCHELETRO | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME | 20 % |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO | arrotondato spigol. |
| UMIDITA' | Asciutto | DIMENSIONI | 0,2 - 20 cm |
| COLORE ASCIUTTO | 10 YR 4/3 | NATURA | Metamorf,quarzo |
| COLORE UMIDO | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| TESSITURA | AS | STRUTTURA | |
| DRENAGGIO | Normale | TIPO | Poliedrica subangolare |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Media e Grossolana |
| EFFERVESC. HCl | Assente | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte |
| MATERIALI ORG. | Assenti | CONSISTENZA | |
| ATTIVITA' BIO. | Media | BAGNATO | |
| OSSERVAZIONI | | UMIDO | |
| | | SECCO | Poco Duro |
| | | PORI | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| | | DIMENSIONI | Piccoli - Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | ANDAMENTO | Obliquo |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |

| ORIZZONTE | Bt | CAMPIONE n°2 | |
|-------------------------|------------|---------------------------|-----------------------|
| SPESSORE | 30 - 60 cm | SCHELETRO | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME | 10 % |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO | arrotond-spigoloso |
| UMIDITA' | Asciutto | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm |
| COLORE ASCIUTTO | 10 YR 4/4 | NATURA | Metamorf,quarzo |
| COLORE UMIDO | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| TESSITURA | A | STRUTTURA | |
| DRENAGGIO | Normale | TIPO | Poliedrica angolare |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | grossolana |
| EFFERVESC. HCl | Assente | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte |
| MATERIALI ORG. | Assenti | CONSISTENZA | |
| ATTIVITA' BIOL . | Assenti | BAGNATO | |
| OSSERVAZIONI | | UMIDO | Molto Resistente |
| | | SECCO | |
| | | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | DIMENSIONI | Molto piccoli-piccoli |
| | | RADICI | |
| | | QUANTITA' | Scarse |
| | | DIMENSIONI | |
| | | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Scarse |
| | | DIMENSIONI | |

| ORIZZONTE | Ab | CAMPIONE n°3 | |
|------------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|
| SPESSORE | 60 - 74 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 40 % |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | arrotond-spigoloso |
| | | DIMENSIONI | 0,2 - 20 cm |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorf.quarzo |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare e subangolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Fine-Media e grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderata |
| COLORE UMIDO | 10 YR 3,5/3 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto piccoli e piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Violenta | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assenti | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | DIMENSIONI | |

| ORIZZONTE | 2Bkgb | CAMPIONE n°4 | |
|------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|
| SPESSORE | 74 - 123 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 5 % |
| LIMITE | Chiaro | TIPO | arrotond. spigol. |
| | | DIMENSIONI | 0.2 - 25 cm |
| ANDAMENTO | Ondulato | NATURA | Metamor.quarzo |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media-Grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Debole |
| COLORE UMIDO | 7.5 YR 5/4 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Molto Friabile |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Lento | PORI | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto piccoli e piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Notevole | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assente | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | DIMENSIONI | - |

| ORIZZONTE | 2BCb | CAMPIONE n°5 | |
|------------------------|------------------|---------------------------|------------------------|
| SPESSORE | 123/140 - 150 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | Assente |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | |
| | | DIMENSIONI | |
| ANDAMENTO | Ondulato | NATURA | |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica Subangolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media-Grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Debole |
| COLORE UMIDO | 2,5 YR 4/4 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | FSA | UMIDO | Molto friabile |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | lento | PORI | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assenti | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |

| ORIZZONTE | 2Cb | CAMPIONE n°6 | |
|------------------------|-----------|---------------------------|---------|
| SPESSORE | 150 cm → | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | Assente |
| LIMITE | | TIPO | |
| | | DIMENSIONI | |
| ANDAMENTO | | NATURA | |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Massiva |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | |
| COLORE UMIDO | 2,5 Y 6/2 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | FSA | UMIDO | |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Notevole | PORI | |
| | | QUANTITA' | Pochi |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assenti | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |

| PROFILO B | | TESI DI DOTTORATO – Dott. Gianluca Cuozzo | |
|---------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| PROGETTO | PRIN 2003 | | |
| COMUNE | Monastir | FORMAZIONE GEOLOGICA ALLUVIONE PLEISTOCENICA | |
| | | SUBSTRATO ALLUVIONE PLEISTOCENICA | |
| PROVINCIA | Cagliari | PEDOGENETICO | |
| LOCALITA' | Micceddu | MORFOLOGIA | POSIZIONE FISIOGRAFICA Basso versante |
| RIF.CARTOGR. | C.T.R 1:10000; 557020 | | TOPOGRAFIA DEL T. CIRCOSTANTE Pianura |
| COORD.GEOGR. | Latitudine n.d | | MICROTOPOGRAFIA Assente |
| | Longitudine n.d | | ORIGINE Alluvionale |
| DATA | 7 / 10 / 05 | USO DEL SUOLO Seminativo a riposo | |
| RILEVATORI | A. Vacca – G. Cuozzo | RISCHIO SOMMERSIONE Moderato | |
| QUOTA (m.s.l.m) | 93 | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE Asciutto | |
| ESPOSIZIONE | 160 | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO Umido, asciutto < 30cm | |
| PENDENZA | 5 % | VEGETAZIONE Erbacea | |
| DRENAGGIO | Buono | ROCCIOSITA' Assente | EROSIONE |
| OSSERVAZIONI: Ex D | | PIETROSITA' | AGENTE Acqua |
| | | QUANTITA' 20 % | TIPO Diffusa, Mod. |
| | | DIMENSIONI 2 – 10 cm | FREQUENZA |

| ORIZZONTE | Ap1 | CAMPIONE n°7 | | |
|------------------------|------------|------------------------------------|----------------------|--|
| SPESSORE | 0 - 30 cm | SCHELETRO | | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME 10 % | RIVESTIMENTI | |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO arrotondato spigol. | | |
| UMIDITA' | Asciutto | DIMENSIONI 0,2 - 20 cm | | |
| COLORE ASCIUTTO | 10 YR 5/4 | NATURA Metamorfiti | | |
| COLORE UMIDO | | GRADO DI ALTERAZIONE Alterato | QUANTITA' Assenti | |
| TESSITURA | AS | STRUTTURA | | |
| DRENAGGIO | Normale | TIPO Poliedrica subangolare | CONCREZIONI | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI Media e Grossolana | | |
| EFFERVESC. HCI | Assente | GRADO DI AGGREGAZIONE Forte | | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | CONSISTENZA | | |
| ATTIVITA BIO. | Assente | BAGNATO | SCREZIATURE | |
| OSSERVAZIONI | | UMIDO | | |
| | | SECCO Poco Duro | | |
| | | PORI | | |
| | | QUANTITA' Comuni | CEMENTAZIONE | |
| | | DIMENSIONI Piccoli – Molto piccoli | | |
| | | RADICI | | |
| | | QUANTITA' Comuni | | |
| | | DIMENSIONI Piccole | COMPATTAZIONE | |
| | | ANDAMENTO Obliquo | | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | | |
| | | QUANTITA' Assenti | | |
| | | DIMENSIONI | AGENTE Assente | |
| | | F. DI PRESSIONE | | |
| | | QUANTITA' Assenti | GRADO | |
| | | DIMENSIONI | AGENTE Assente | |
| | | | GRADO | |

| ORIZZONTE | Ap2 | CAMPIONE n°8 | |
|------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|
| SPESSORE | 30 - 60 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 7 % |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | arrotond-spigoloso |
| | | DIMENSIONI | 0,2 - 20 cm |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfite |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare e subangolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media - Grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato |
| COLORE UMIDO | 10 YR 4/3 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | AS | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli - Medi |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Molto Debole | QUANTITA' | Scarse |
| | | DIMENSIONI | Piccole |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Obliquo |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | RIVESTIMENTI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | |
| | | SPESSORE | |
| | | CONTINUITA' | |
| | | LOCALIZZAZIONE | |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | 3 % |
| | | DIMENSIONI | 0,5-2 cm |
| | | TIPO | Carbonati |
| | | FORMA | Irregolari |
| | | CONSISTENZA | dure |
| | | CONTORNO | |
| | | COLORE | |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |

| ORIZZONTE | Btk | CAMPIONE n°9 | |
|------------------------|-------------|---------------------------|---------------------|
| SPESSORE | 60 - 125 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 2 % |
| LIMITE | Chiaro | TIPO | arrotond-spigoloso |
| | | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfite |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media - grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderata |
| COLORE UMIDO | 10 YR 4,5/6 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Lento | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Violenta | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assenti | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | RIVESTIMENTI | |
| | | QUANTITA' | Abbonda. |
| | | TIPO | Argille |
| | | SPESSORE | Sottili |
| | | CONTINUITA' | Continui |
| | | LOCALIZZAZIONE | Aggregati e Pori |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | 7 % |
| | | DIMENSIONI | 0,5 - 2 cm |
| | | TIPO | carbonati |
| | | FORMA | |
| | | CONSISTENZA | Dure |
| | | CONTORNO | |
| | | COLORE | |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |

| ORIZZONTE | 2Bt | CAMPIONE n°10 | |
|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|
| SPESSORE | 125 - 160/170 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 60 % |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | arrotond._spigol. |
| | | DIMENSIONI | 0.2 - 25 cm |
| ANDAMENTO | Ondulato | NATURA | Metamorfite |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare |
| COLORE ASCIUTTO | 7.5 YR 4/6 | DIMENSIONI | Fine |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Debole |
| COLORE UMIDO | | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Friabile |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Pochi |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Debole | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assente | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | DIMENSIONI | - |

| ORIZZONTE | 3CB | CAMPIONE n°11 | |
|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|
| SPESSORE | 160/170 - 180 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | |
| | | DIMENSIONI | |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | media |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | debole |
| COLORE UMIDO | 2,5 Y 5,5/4 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | FSA | UMIDO | Molto friabile |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | lento | PORI | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Notevole | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assenti | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |

| ORIZZONTE | 3Ckm | CAMPIONE n°12 | |
|------------------------|--------------|---------------------------|----------------------|
| SPESSORE | Oltre 180 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | Assente |
| LIMITE | - | TIPO | |
| | | DIMENSIONI | |
| ANDAMENTO | - | NATURA | |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | |
| COLORE ASCIUTTO | - | DIMENSIONI | |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | |
| COLORE UMIDO | 2.5 Y 6/4 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | - |
| TESSITURA | - | UMIDO | - |
| | | SECCO | - |
| DRENAGGIO | Impedito | PORI | |
| | | QUANTITA' | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCI | Violenta | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | F. DI PRESSIONE | |
| OSSERVAZIONI | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | RIVESTIMENTI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | |
| | | SPESSORE | |
| | | CONTINUITA' | |
| | | LOCALIZZAZIONE | |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | |
| | | FORMA | |
| | | CONSISTENZA | |
| | | CONTORNO | |
| | | COLORE | |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Carbonati |
| | | GRADO | Fortemente cementato |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |

| PROFILO C | | TESI DI DOTTORATO – Dott. Gianluca Cuozzo | |
|--------------------|--------------------------|---|--|
| PROGETTO | PRIN 2003 | | |
| COMUNE | Monastir | FORMAZIONE GEOLOGICA | FORMAZIONE DEL CIXERRI |
| PROVINCIA | Cagliari | SUBSTRATO PEDOGENETICO | ALLUVIONE PLEISTOCENICA SU FORMAZIONE DEL CIXERRI |
| LOCALITA' | Micceddu | MORFOLOGIA | POSIZIONE FISIOGRAFICA Versante medio |
| RIF.CARTOGR. | C.T.R 1:10000; 557020 | | TOPOGRAFIA DEL T. CIRCOSTANTE Ondulata |
| COORD.GEOGR. | Latitudine n.d | | MICROTOPOGRAFIA Assente |
| | Longitudine n.d | | ORIGINE Alluvionale |
| DATA | 07/10/05 | USO DEL SUOLO | Seminativo a riposo |
| RILEVATORI | A. Vacca – G. Cuozzo | RISCHIO SOMMERSIONE | Assente |
| QUOTA (m.s.l.m) | | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE | Asciutto |
| ESPOSIZIONE | 160° | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO | Umido |
| PENDENZA | 9 % | VEGETAZIONE : | Erbacea |
| DRENAGGIO | Buono | ROCCIOSITA' Assente | EROSIONE |
| OSSERVAZIONI: Ex E | | PIETROSITA' | AGENTE Acqua |
| | | QUANTITA' 20% | TIPO Diffusa Moder. |
| | | DIMENSIONI 2mm – 30 cm | FREQUENZA |

| ORIZZONTE Ap | | CAMPIONE n°13 | |
|-----------------|-----------|---|-------------------|
| SPESSORE | 0 - 40 cm | SCHELETRO | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME 20 % | QUANTITA' Assenti |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO Arrotondato-Spigoloso | TIPO |
| UMIDITA' | Asciutto | DIMENSIONI 0.2 - 20 cm | SPESSORE |
| COLORE ASCIUTTO | | NATURA Metamorfiti-Quarzo | CONTINUITA' |
| COLORE UMIDO | 10 YR 6/4 | GRADO DI ALTERAZIONE Molto Alterato | LOCALIZZAZIONE |
| TESSITURA | FSA | STRUTTURA | |
| DRENAGGIO | Normale | TIPO Poliedrica subangolare | CONCREZIONI |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI Media_Grossolana | QUANTITA' Assenti |
| EFFERVESC. HCl | Assente | GRADO DI AGGREGAZIONE Debole | DIMENSIONI |
| MATERIALI ORG. | Assenti | CONSISTENZA | |
| ATTIVITA BIO. | Assente | BAGNATO | TIPO |
| OSSERVAZIONI | | UMIDO | FORMA |
| | | SECCO Molto duro | CONSISTENZA |
| | | PORI | |
| | | QUANTITA' Abbondanti | CONTORNO |
| | | DIMENSIONI Piccoli - Medi | COLORE |
| | | RADICI | |
| | | QUANTITA' Comuni | SCREZIATURE |
| | | DIMENSIONI Piccole | QUANTITA' Assenti |
| | | ANDAMENTO Verticale Obliquo Orizzontale | DIMENSIONI |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| | | QUANTITA' Assenti | CONTRASTO |
| | | DIMENSIONI | COLORE |
| | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' Assenti | CONTORNO |
| | | DIMENSIONI | CEMENTAZIONE |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE Assente | AGENTE Assente |
| | | GRADO | GRADO |

| ORIZZONTE | Bt1 | CAMPIONE n°14 | |
|------------------------|------------|---------------------------|-------------------------|
| SPESSORE | 40 – 80 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 7 % |
| LIMITE | Chiaro | TIPO | Arrotond-Spig |
| | | DIMENSIONI | Minute |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfiti-Quarzo |
| | | GRADO DI ALTERAZ. | Alterato |
| UMIDITA' | Asciutto | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Prismatica |
| COLORE ASCIUTTO | 7,5 YR 4/4 | DIMENSIONI | Media-Grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte |
| COLORE UMIDO | | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Estremamente Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Pochi |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto Piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | Assenti |

| ORIZZONTE | Bt2 | CAMPIONE n°15 | |
|------------------------|-------------|---------------------------|---------------------|
| SPESSORE | 80 - 108 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 7 % |
| LIMITE | Chiaro | TIPO | Arrotond-Spig |
| | | DIMENSIONI | Minute |
| ANDAMENTO | Graduale | NATURA | Metamorfiti-Quarzo |
| | | GRADO DI ALTERAZ | Alterato |
| UMIDITA' | Asciutto | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare |
| COLORE ASCIUTTO | 7,5 YR 4/6 | DIMENSIONI | Media-Grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderata |
| COLORE UMIDO | | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto Piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | - |

| ORIZZONTE | | CAMPIONE n°16 | |
|-----------------|-------------------|-----------------------|---------------------|
| SPESSORE | Bt3 108-180 cm | SCHELETRO | |
| LIMITE | | VOLUME | 10 % |
| ANDAMENTO | | TIPO | Arrotond-Spig |
| UMIDITA' | | DIMENSIONI | Minute-Medie |
| COLORE ASCIUTTO | 7,5 YR 4/6 | NATURA | Metamorfiti-Quarzo |
| COLORE UMIDO | | GRADO DI ALTERAZ | Molto Alterato |
| TESSITURA | A | STRUTTURA | |
| DRENAGGIO | Lento | TIPO | Poliedrica angolare |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Media-Grossolana |
| EFFERVESC. HCl | Assente | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderata |
| MATERIALI ORG. | Assenti | CONSISTENZA | |
| ATTIVITA BIOL. | Assente | BAGNATO | |
| OSSERVAZIONI | | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| | | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | DIMENSIONI | Molto Piccoli |
| | | RADICI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | - |

| ORIZZONTE | | CAMPIONE n°17 | |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| PROFILO | D 0 - 40 cm | TESTE DOTTORATO - Dott. G. Cuozzo | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME | 20 % |
| PROGETTO | PRIN 2003 | TIPO | Arrotondato-Spigoloso |
| ANDAMENTO | Irregolare | DIMENSIONI | 0.2 - 20 cm |
| COMUNE | Monastir | FORMAZIONE GEOLOGICA Metamorfiti | |
| UMIDITA' | Asciutto | GRADO DI ALTERAZIONE Alterato | |
| COLORE ASCIUTTO | aglieri | SUBSTRATO ALLUVIONE PLEISTOCENICA | |
| COLORE UMIDO | Micceddu YR 6/6 | PEDOGENETICO | |
| TESSITURA | C.T.R.F.S.A 0000; 557020 | TIPO | Poliedrica angolare |
| DRENAGGIO | Latitudine nomenalend | DIMENSIONI | Media |
| COORD.GEOGR. | Longitudine n.d | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte |
| FESSURAZIONI | Longitudine n.d | CONSISTENZA DEL T. | |
| DATA | 07/10/05 | BAGNATOLOGIA | CIRCOSTANTE |
| EFFERVESC. HCl | Assente | UMIDO | |
| RILEVATORI | A. Vacca - G. Cuozzo | SECCO | MICROTOPOGRAFIA |
| MATERIALI ORG. | Assenti | PORI | |
| QUOTA (m.s.l.m) | 100 | QUANTITA' | Abbondanti |
| ATTIVITA BIO. | Assente | ORIGINE | |
| ESPOSIZIONE | 160° | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO | |
| OSSERVAZIONI | | VEGETAZIONE erbacea | |
| PENDENZA | - | QUANTITA' | Assenti |
| DRENAGGIO | Buono | ROCCIOSITA' Assente | |
| OSSERVAZIONI | | EROSIONE | |
| Ex F | | DIMENSIONI | |
| | | AGENTE | |
| | | GRADO Assente | |
| | | TIPO | |
| | | FREQUENZA | |

| ORIZZONTE | 2Bt | CAMPIONE n°18 | |
|------------------------|------------|---------------------------|------------------------|
| SPESSORE | 40 - 60 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 3 % |
| LIMITE | Chiaro | TIPO | Arrotond-Spig |
| | | DIMENSIONI | Medie-Minute |
| ANDAMENTO | Ondulato | NATURA | Metamorfiti |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Asciutto | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica subangolare |
| COLORE ASCIUTTO | 5 YR 4/4 | DIMENSIONI | Media-Grossolana |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte |
| COLORE UMIDO | | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Assenti-Scarse |
| | | DIMENSIONI | Piccole |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Verticale_Obliquo |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | - |
| | | RIVESTIMENTI | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| | | TIPO | Argille |
| | | SPESSORE | Sottili |
| | | CONTINUITA' | Continui |
| | | LOCALIZZAZIONE | Aggregati e Pori |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | |
| | | FORMA | |
| | | CONSISTENZA | |
| | | CONTORNO | |
| | | COLORE | |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |

| ORIZZONTE | 2Btk1 | CAMPIONE n°19 | |
|------------------------|------------|---------------------------|------------------------|
| SPESSORE | 60 - 80 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 1 % |
| LIMITE | Graduale | TIPO | Arrotond-Spig |
| | | DIMENSIONI | Minute |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfiti |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica subangolare |
| | | DIMENSIONI | Medie-Grossolane |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato |
| COLORE | 5 YR 5/6 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Lento | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC.HCL | Violenta | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG | Assenti | ANDAMENTO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | RIVESTIMENTI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | TIPO | Argille |
| | | SPESSORE | Sottili |
| | | CONTINUITA' | Continui |
| | | LOCALIZZAZIONE | Aggregati e Pori |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | 3 % |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | Carbonati |
| | | FORMA | Irregolare e sferiche |
| | | CONSISTENZA | Dure e soffici |
| | | CONTORNO | Netto |
| | | COLORE | - |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assenti |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | 2Btk2 | CAMPIONE n°20 | |
|------------------------|-----------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| SPESSORE | 80-200 cm | SCHELETRO | | RIVESTIMENTI |
| LIMITE | | VOLUME | Assente | QUANTITA' |
| ANDAMENTO | | TIPO | | Abbondanti |
| UMIDITA' | | DIMENSIONI | | TIPO |
| | | NATURA | | Argille |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | | SPESSORE |
| | | | | Sottili |
| | | | | CONTINUITA' |
| | | | | Continui |
| | | | | LOCALIZZAZIONE |
| | | | | Aggregati e Pori |
| | | STRUTTURA | | CONCREZIONI |
| | | TIPO | Poliedrica subangolare | QUANTITA' |
| | | DIMENSIONI | Medie-Grossolane | 5 % |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte | DIMENSIONI |
| COLORE | 5 YR 5/8 | CONSISTENZA | | TIPO |
| | | BAGNATO | | Carbonati |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente | FORMA |
| | | SECCO | | Angolare |
| DRENAGGIO | Lento | PORI | | CONSISTENZA |
| | | QUANTITA' | Pochi | Dure e soffici |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli | CONTORNO |
| | | RADICI | | Diffusi |
| EFFERVESC.HCL | Violenta | QUANTITA' | Assenti | COLORE |
| | | DIMENSIONI | | - |
| MATERIALI ORG | Assenti | ANDAMENTO | | SCREZIATURE |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | | QUANTITA' |
| ATTIVITA BIOL . | Assente | QUANTITA' | Assenti | Assenti |
| | | DIMENSIONI | | DIMENSIONI |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | | CONTRASTO |
| | | QUANTITA' | Assenti | COLORE |
| | | DIMENSIONI | | CONTORNO |
| | | CEMENTAZIONE | | COMPATTAZIONE |
| | | AGENTE | Assenti | AGENTE |
| | | GRADO | | Assente |
| | | COMPATTAZIONE | | GRADO |
| | | AGENTE | Assente | |
| | | GRADO | | |

| PROFILO | | E (235 m) | TESI DI DOTTORATO – Dott. Gianluca Cuozzo | |
|---------------------------|-----------------------|---|--|---|
| PROGETTO | PRIN 2003 | | | |
| COMUNE | Monastir | FORMAZIONE GEOLOGICA | | FORMAZIONE DEL CIXERRI |
| PROVINCIA | Cagliari | SUBSTRATO PEDOGENETICO | | ALLUVIONE PLEISTOCENICA SU FORMAZIONE DEL CIXERRI |
| LOCALITA' | Micceddu | MORFOLOGIA | POSIZIONE FISIOGRAFICA | Versante medio alto |
| RIF.CARTOGR. | C.T.R 1:10000; 557020 | | TOPOGRAFIA DEL T. CIRCOSTANTE | Ondulata |
| COORD.GEOGR. | Latitudine n.d | | MICROTOPOGRAFIA | Assente |
| | Longitudine n.d | | ORIGINE | Alluvionale |
| DATA | 19/03/05 | USO DEL SUOLO | | Seminativo a riposo |
| RILEVATORI | A. Vacca – G. Cuozzo | RISCHIO SOMMERSIONE | | Assente |
| QUOTA (m.s.l.m) | 103 | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE | | Asciutto |
| ESPOSIZIONE | 160° | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO | | Umido |
| PENDENZA | 7 % | VEGETAZIONE | | Spontanea |
| DRENAGGIO | Buono | ROCCIOSITA' | Assente | EROSIONE |
| OSSERVAZIONI: Ex B | | PIETROSITA' | | AGENTE |
| | | QUANTITA' | 20% | Assente |
| | | DIMENSIONI | 1 – 30 cm | TIPO |
| | | | | FREQUENZA |

| ORIZZONTE | | Ap | | CAMPIONE n°21 | |
|------------------------|-----------|---------------------------|---------------------|----------------------|---------|
| SPESSORE | 0 - 25 cm | SCHELETRO | | RIVESTIMENTI | |
| | | VOLUME | 10 % | QUANTITA' | Assenti |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | Arrotondato | TIPO | |
| | | DIMENSIONI | 0.2 - 5 cm | SPESSORE | |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfiti | CONTINUITA' | |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | | | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare | CONCREZIONI | |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Grossolana / Media | QUANTITA' | Assenti |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato | DIMENSIONI | |
| COLORE UMIDO | 10 YR 3/3 | CONSISTENZA | | TIPO | |
| | | BAGNATO | | FORMA | |
| TESSITURA | FSA | UMIDO | Resistente | CONSISTENZA | |
| | | SECCO | | CONTORNO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | | COLORE | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti | SCREZIATURE | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli - Medi | QUANTITA' | Assenti |
| | | RADICI | | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Comuni | CONTRASTO | |
| | | DIMENSIONI | Piccole | COLORE | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Verticale | CONTORNO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | | CEMENTAZIONE | |
| ATTIVITA' BIO. | Scarsa | QUANTITA' | Assenti | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bt | | CAMPIONE n°22 | |
|------------------------|------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| SPESSORE | 25 - 54 cm | SCHELETRO | | RIVESTIMENTI | |
| | | VOLUME | 1 % | QUANTITA' | Abbondanti |
| LIMITE | Chiaro | TIPO | Arrotondato | TIPO | Argille |
| | | DIMENSIONI | Minute | SPESSORE | Sottili |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfiti | CONTINUITA' | Continui |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | Aggregati e Pori |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | | | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare | CONCREZIONI | |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Grossolana | QUANTITA' | Assenti |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderata | DIMENSIONI | |
| COLORE UMIDO | 7.5 YR 4/4 | CONSISTENZA | | TIPO | |
| | | BAGNATO | | FORMA | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Resistente | CONSISTENZA | |
| | | SECCO | | CONTORNO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | | COLORE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | SCREZIATURE | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli-Molto piccoli | QUANTITA' | Assenti |
| | | RADICI | | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Scarse | CONTRASTO | |
| | | DIMENSIONI | Piccole | COLORE | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Verticale | CONTORNO | |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | | CEMENTAZIONE | |
| ATTIVITA' BIOL. | Scarsa | QUANTITA' | Assenti | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | - | GRADO | |

| ORIZZONTE 2Bk2 | | CAMPIONE n°24 | |
|------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|
| SPESSORE | 94-180 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 1 % |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | Arrotondato |
| | | DIMENSIONI | Medie |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfiti |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido-Bagnat | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare e subangolare |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Medie-Grossolane |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | |
| COLORE UMIDO | 5 YR 4/6 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Friabile |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Pochi |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto Piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC.HCL | Notevole | QUANTITA' | Scarse |
| | | DIMENSIONI | Piccole |
| MATERIALI ORG | Assenti | ANDAMENTO | Verticale |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Scarsa | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | 5 % |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | Carbonati |
| | | FORMA | Irregolare |
| | | CONSISTENZA | Dure |
| | | CONTORNO | Netto |
| | | COLORE | - |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assenti |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assenti |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | |
| | | GRADO | |
| 2Bk1 | | CAMPIONE n°23 | |
| SPESSORE | 54 - 94 cm | SCHELETRO | |
| | | VOLUME | 1 % |
| LIMITE | Abrupto | TIPO | Arrotondato |
| | | DIMENSIONI | Medie |
| ANDAMENTO | Lineare | NATURA | Metamorfiti |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| | | TIPO | Poliedrica |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Medie-Grossolane |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato |
| COLORE UMIDO | 7.5 YR 4/6 | CONSISTENZA | |
| | | BAGNATO | |
| TESSITURA | A | UMIDO | Friabile |
| | | SECCO | |
| DRENAGGIO | Normale | PORI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Piccoli |
| | | RADICI | |
| EFFERVESC.HCL | Violenta | QUANTITA' | Scarse |
| | | DIMENSIONI | Piccole |
| MATERIALI ORG | Assenti | ANDAMENTO | Verticale |
| | | F. DI SCIVOLAMENTO | |
| ATTIVITA BIOL . | Scarsa | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| OSSERVAZIONI | | F. DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | 3 % |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | Carbonati |
| | | FORMA | Irregolare e sferiche |
| | | CONSISTENZA | Dure |
| | | CONTORNO | Netto |
| | | COLORE | - |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | |
| | | COLORE | |
| | | CONTORNO | |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assenti |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | |
| | | GRADO | |

| PROFILO F (265 m) | | TESI DI DOTTORATO – Dott. Gianluca Cuozzo | |
|----------------------------|-----------------------|--|--|
| PROGETTO | PRIN 2003 | | |
| COMUNE | Monastir | FORMAZIONE GEOLOGICA | ALLUVIONE PLEISTOCENICA |
| PROVINCIA | Cagliari | SUBSTRATO PEDOGENETICO | ALLUVIONE PLEISTOCENICA |
| LOCALITA' | Micceddu | MORFOLOGIA | POSIZIONE FISIOGRAFICA Sommità collinare |
| RIF.CARTOGR. | C.T.R 1:10000; 557020 | | TOPOGRAFIA DEL T. CIRCOSTANTE Ondulata |
| COORD.GEOGR. | Latitudine n.d | | MICROTOPOGRAFIA Assente |
| | Longitudine n.d | | ORIGINE Alluvionale |
| RILIEVO | 19/03/05 | USO DEL SUOLO | Seminativo a riposo |
| RILEVATORI | A. Vacca – G. Cuozzo | RISCHIO SOMMERSSIONE | Assente |
| QUOTA (m s.l.m.) | 105 | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE | Asciutto |
| ESPOSIZIONE | 160° | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO | Umido |
| PENDENZA | 3° | VEGETAZIONE | Spontanea |
| DRENAGGIO | Buono | ROCCIOSITA' | Assente |
| OSSERVAZIONI : Ex A | | PIETROSITA' | EROSIONE AGENTE Assente TIPO FREQUENZA |
| | | QUANTITA' 25 % | |
| | | DIMENSIONI 1 cm – 30 cm | |

| ORIZZONTE | Ap | CAMPIONE n°26 | |
|------------------------|-------------|---|---|
| SPESORE | 0 - 31 cm | SCELETRO | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME 15 % | RIVESTIMENTI QUANTITA' Assenti TIPO SPESSORE CONTINUITA' LOCALIZZAZIONE |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO Arrotondato | |
| | | DIMENSIONI 0,2 - 25 cm | |
| | | NATURA Metamorfiti | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE Alterato-molto Alterato | CONCREZIONI QUANTITA' Assenti DIMENSIONI TIPO FORMA CONSISTENZA CONTORNO COLORE |
| COLORE ASCIUTTO | | STRUTTURA TIPO Poliedrica subangolare | |
| COLORE UMIDO | 10 YR 4/3,5 | DIMENSIONI Media - Grossolana | |
| TESSITURA | | GRADO DI AGGREGAZIONE Moderato | |
| DRENAGGIO | Ben Drenato | CONSISTENZA BAGNATO UMIDO Resistente SECCO | SCREZIATURE QUANTITA' Assenti DIMENSIONI CONTRASTO COLORE CONTORNO |
| FESSURAZIONI | Assenti | PORI QUANTITA' Comuni DIMENSIONI Molto Piccoli - Piccoli | |
| EFFERVESC. HCI | Debole | RADICI QUANTITA' Comuni DIMENSIONI Piccole | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO Verticale | |
| ATTIVITA BIOL. | Scarsa | FACCE DI SCIVOLAMENTO | CEMENTAZIONE AGENTE Assente GRADO |
| OSSERVAZIONI | | FACCE DI PRESSIONE QUANTITA' Scarse DIMENSIONI | COMPATTAZIONE AGENTE Assente GRADO |

| ORIZZONTE | | CAMPIONE n°27 | |
|------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|
| SPESSORE | Btg 31 - 82 cm | SCHELETRO | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME | 40 % |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO | Arrotondato |
| | | DIMENSIONI | 0,2 - 25 cm |
| | | NATURA | Metamorfiti |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato- molto Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| COLORE ASCIUTTO | | TIPO | Poliedrica angolare |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 4/6 | DIMENSIONI | Media |
| TESSITURA | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderata |
| DRENAGGIO | Ben Drenato | CONSISTENZA | |
| FESSURAZIONI | Assenti | BAGNATO | |
| EFFERVESC. HCI | Debole | UMIDO | Resistente |
| MATERIALI ORG. | Assente | SECCO | |
| ATTIVITA BIOL . | Scarsa | PORI | |
| OSSERVAZIONI | | QUANTITA' | Pochi |
| | | DIMENSIONI | Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| | | QUANTITA' | Comuni |
| | | DIMENSIONI | Piccole |
| | | ANDAMENTO | Verticale |
| | | FACCE DI SCIVOLAMENTO | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | FACCE DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| | | DIMENSIONI | - |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | |
| | | FORMA | |
| | | CONSISTENZA | |
| | | CONTORNO | |
| | | COLORE | |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' % | 20-15 |
| | | DIMENSIONI | |
| | | CONTRASTO | Molto evide |
| | | COLORE | 7,5R3/8- |
| | | CONTORNO | 2,5y5/2 Netto-Chiar |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |
| ORIZZONTE | | CAMPIONE n°28 | |
| SPESSORE | Btkm 82 - 180 cm | SCHELETRO | |
| LIMITE | - | VOLUME | 70 % |
| ANDAMENTO | - | TIPO | Arrotondato |
| | | DIMENSIONI | 0,2 - 25 cm |
| | | NATURA | Metamorfiti |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato |
| UMIDITA' | Umido | STRUTTURA | |
| COLORE ASCIUTTO | | TIPO | Massiva. |
| COLORE UMIDO | 10 YR 5/6 | DIMENSIONI | |
| TESSITURA | | GRADO DI AGGREGAZIONE | |
| DRENAGGIO | Ben Drenato | CONSISTENZA | |
| FESSURAZIONI | Assenti | BAGNATO | |
| EFFERVESC. HCI | Violenta | UMIDO | Resistente |
| MATERIALI ORG. | Assente | SECCO | |
| ATTIVITA BIOL . | Assenti | PORI | |
| OSSERVAZIONI | | QUANTITA' | Pochi |
| | | DIMENSIONI | Molto piccoli |
| | | RADICI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | ANDAMENTO | |
| | | FACCE DI SCIVOLAMENTO | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | FACCE DI PRESSIONE | |
| | | QUANTITA' | Abbondanti |
| | | DIMENSIONI | - |
| | | CONCREZIONI | |
| | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | |
| | | TIPO | |
| | | FORMA | |
| | | CONSISTENZA | |
| | | CONTORNO | |
| | | COLORE | |
| | | SCREZIATURE | |
| | | QUANTITA' % | 20 % |
| | | DIMENSIONI | - |
| | | CONTRASTO | Molto evidenti |
| | | COLORE | 7,5R3/8 |
| | | CONTORNO | Netto |
| | | CEMENTAZIONE | |
| | | AGENTE | Carbonati |
| | | GRADO | Debolmente cementato |
| | | COMPATTAZIONE | |
| | | AGENTE | Assente |
| | | GRADO | |

3.2 Area campione 2, località "Su Pardu", Comune di Monastir (Ca)

3.2.1 Prospezione elettromagnetica V.L.F. (Very Low Frequency)

Acquisizione e trattamento dei dati

Acquisizione dei dati (strumento EM16, GEONICS Ltd)

Una conoscenza geologica approfondita dell'area in esame, ha permesso di progettare razionalmente la prospezione e.m. V.L.F. (figura 56).

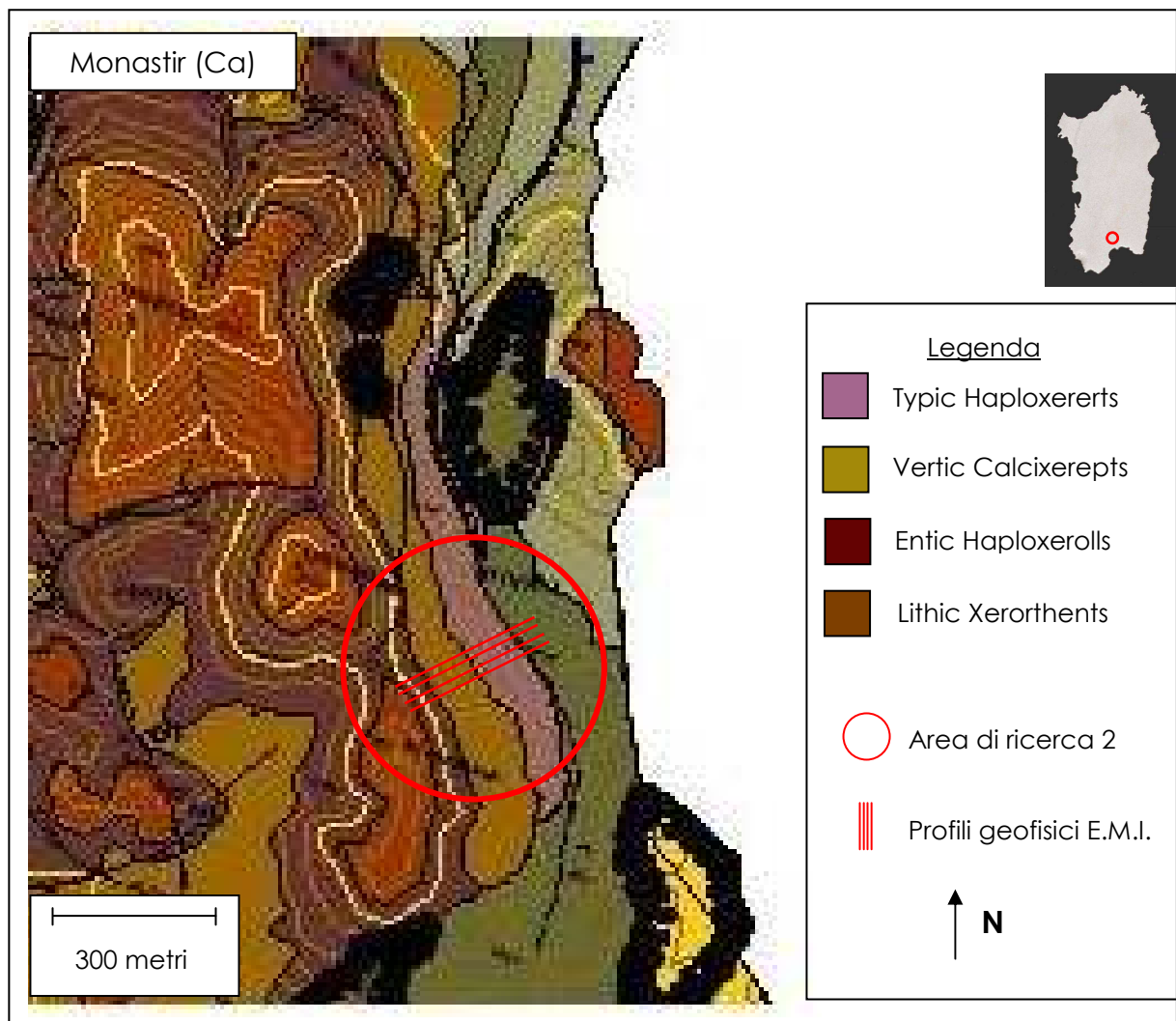


Figura 56 – Carta Pedologica dell'area di Monastir (Ca), da Orrù e Vacca (2004). Localizzazione dei profili geofisici, area di ricerca 2.

Nella figura 56 è rappresentato un settore della carta pedologica elaborata da Orrù e Vacca, 2004, con la localizzazione di profili elettromagnetici.

Anche nell'area di ricerca 2, l'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante il

dispositivo EM-16 della GEONICS Ltd di Toronto. Sono stati realizzati quattro profili paralleli equispaziati tra loro di 4 m, disposti normalmente rispetto ai contatti tra le unità pedologiche rilevate con i metodi tradizionali (Orrù e Vacca, 2004). Pertanto, i profili e.m. sono stati orientati NE-SO come mostrato nella figura 56. L'intervallo spaziale di campionatura del segnale elettromagnetico è, anche per l'area di ricerca 2, di 2 m. Anche in questo caso studio, in ogni punto stazione è stata effettuata la lettura della componente in fase ($Re\%$) e della componente in quadratura ($Im\%$) del c.m.s. in percentuale del c.m.p. assunto come unitario.

Trattamento dei dati V.L.F.

Il trattamento dei dati elettromagnetici V.L.F. dell'area di ricerca 2 è identico a quello dell'area di ricerca 1 (rif. Par 3.1.1.).

Come per l'area di ricerca 1, la prima fase dell'analisi integrata dei dati geopedologico-geofisici, è ottenuta attraverso lo studio e la correlazione di mappe, grafici e dati sui campioni di suolo ricavati dai profili pedologici effettuati nel 2004.

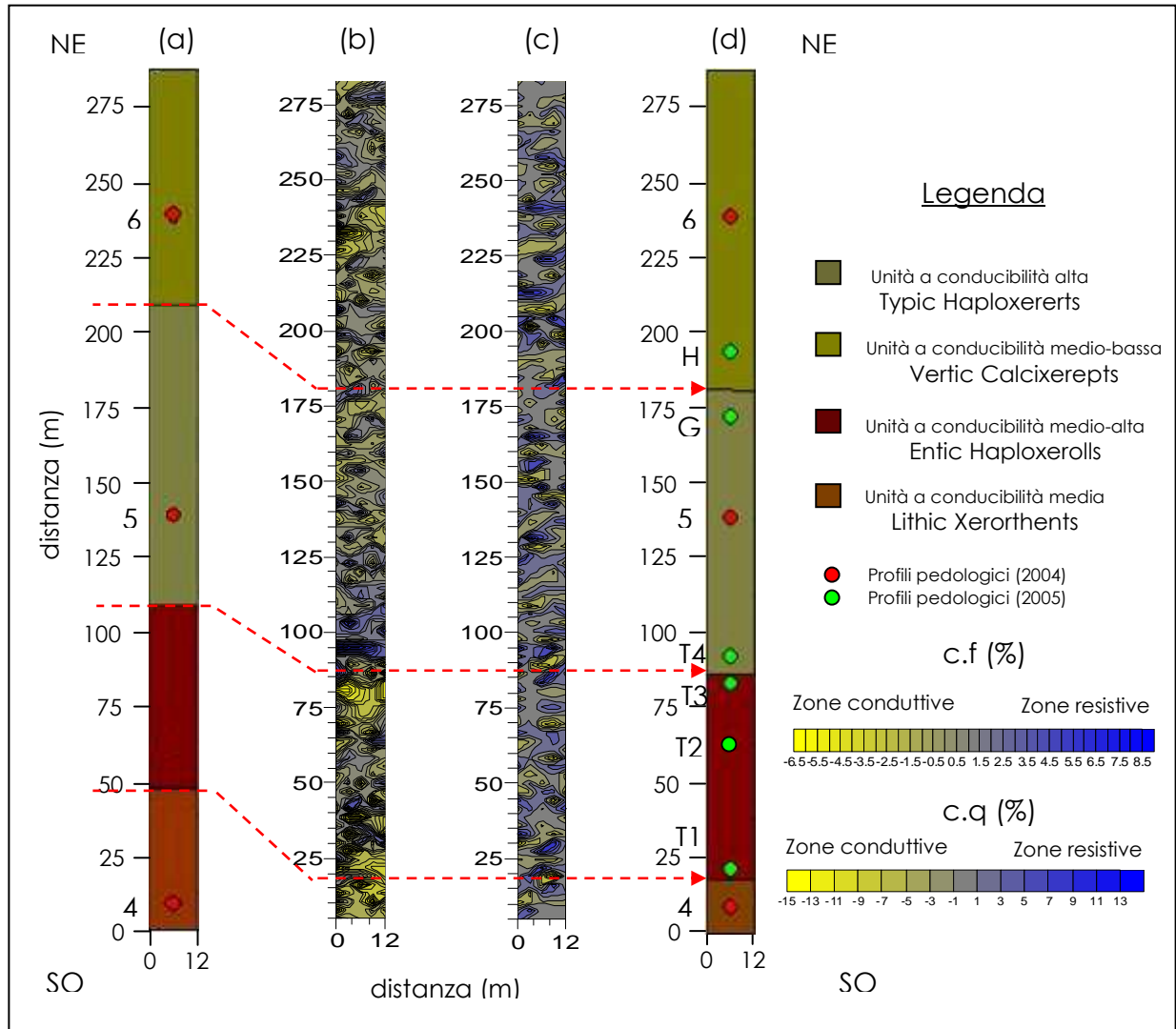


Figura 57 – Area di ricerca 2: a) carta pedologica da Orrù e Vacca (2004); b) mappa della distribuzione della densità di corrente a -2m dal p.c. (componente in fase - c.f.); c) mappa della distribuzione della densità di corrente a -2m dal p.c. (componente in quadratura - c.q.); d) carta pedologica ottenuta dall'integrazione dei dati pedologici e geofisici di diverso tipo (V.L.F., EM38DD, GEM300).

Per confrontare i dati elettromagnetici con i dati delle indagini geopedologiche sono state, anche per l'area di ricerca 2, realizzate le mappe della distribuzione della densità di corrente delle componenti in fase e in quadratura alla profondità di -2 m dal p.c.

Dall'analisi della mappa dei valori osservati della componente in fase si possono identificare 4 zone con differenti caratteristiche elettriche. La più meridionale, si sviluppa da 0 a 25 m ed è caratterizzata da bassi valori della c.f. Procedendo in direzione NE, si passa ad una zona sufficientemente omogenea, da 25 a 88 m, caratterizzata da valori della c.f., correlabili con la presenza di litologie a conducibilità medio-alta. Nella terza zona, da 88 a 175 m, predominano valori della c.f. correlabili con la presenza di terreni scarsamente conducibili. La quarta zona, la più settentrionale, da 175 a 288 m, è caratterizzata da valori della c.f. correlabili con terreni ad elevata conducibilità. La configurazione delle anomalie elettriche della c.f., trova riscontro sebbene in maniera meno accentuata, in quella relativa alla componente in quadratura, mostrata in figura 57 (c).

L'analisi integrata dei dati elettromagnetici e geopedologici ha permesso, anche per l'area di ricerca 2, di individuare e ridefinire i contatti tra le unità geopedologiche. Dallo studio è emerso che il limite dell'unità pedologica posizionata nella parte medio-alta del versante e l'unità ubicata nella parte alta del versante, posto a 48 m, fosse in realtà riferibile a 20 m. Dall'analisi accurata delle due mappe di c.f. e c.q. e della mappa di riferimento (figura 57 a), è emerso che il limite posto inizialmente a circa 110 m potesse essere riferibile alle anomalie risultanti dalla mappa di c.f. a 88 m circa. Dette anomalie sono correlate ad informazioni provenienti da una profondità di indagine tale da mettere in luce il contatto per faglia tra le 2 litologie presenti. Mentre l'analisi della mappa di c.q., influenzata da informazioni provenienti da zone più superficiali, ha messo in evidenza il limite geopedologico tra le 2 unità di suolo.

Il limite tra l'unità pedologica centrale e la contigua unità pedologica posta nella parte bassa del versante, risulta dallo studio delle mappe, più precisamente posizionato attorno ai 180 m.

Pertanto, sulla base dei risultati derivanti dalla prospezione elettromagnetica realizzate nell'area di studio è stata progettata una nuova indagine geopedologica che ha confermato pienamente i dati della prospezione e.m. A tale proposito, nell'anno 2005 (seconda fase dell'analisi integrata dei dati geopedologico-geofisici), si è pensato di effettuare ulteriori 2 profili pedologici e 4 trivellate di controllo, accuratamente descritti nel Par. 3.2.4, nominati rispettivamente G, H e T1, T2, T3, T4 ed evidenziati in verde nella figura 56. Sulla scorta di tali importanti risultati è stata, pertanto redatta la nuova carta geopedologica (figura 57 d).

Analisi dei dati

Nelle figure 58, 59, 60 e 61 vengono riportati, nelle loro posizioni relative corrette, i profili dei valori osservati e filtrati alla "Fraser" della componente in fase (a) e le corrispondenti pseudosezioni di densità di corrente (b). Con i colori giallo e blu, vengono messe in evidenza rispettivamente le zone conduttive e resistive.

Nella figura 62, sono riportate le 4 pseudosezioni di densità di corrente, relative ai profili oggetto di analisi, al fine di facilitarne l'analisi comparata.

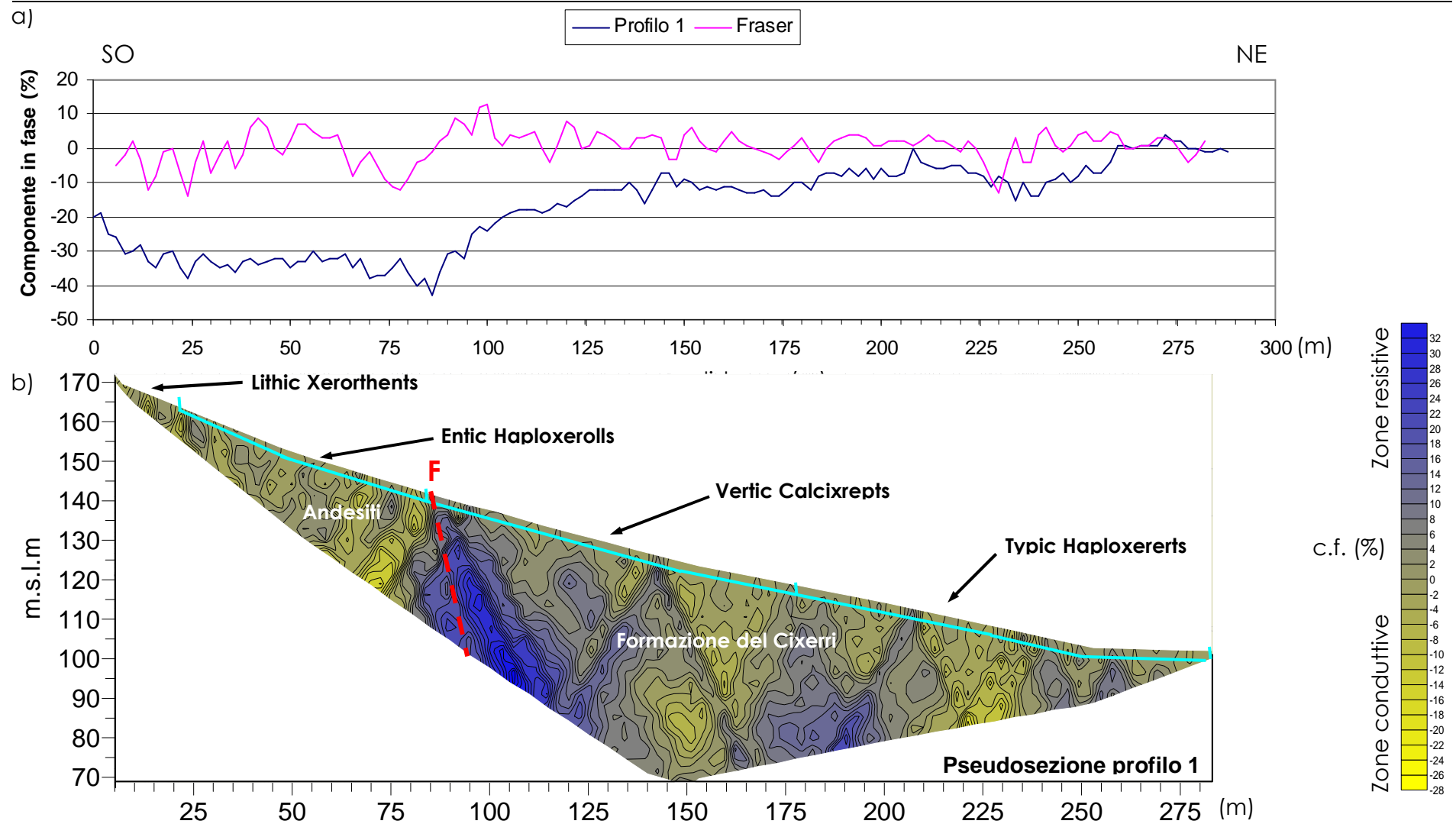


Figura 58 – a) Profilo P1 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

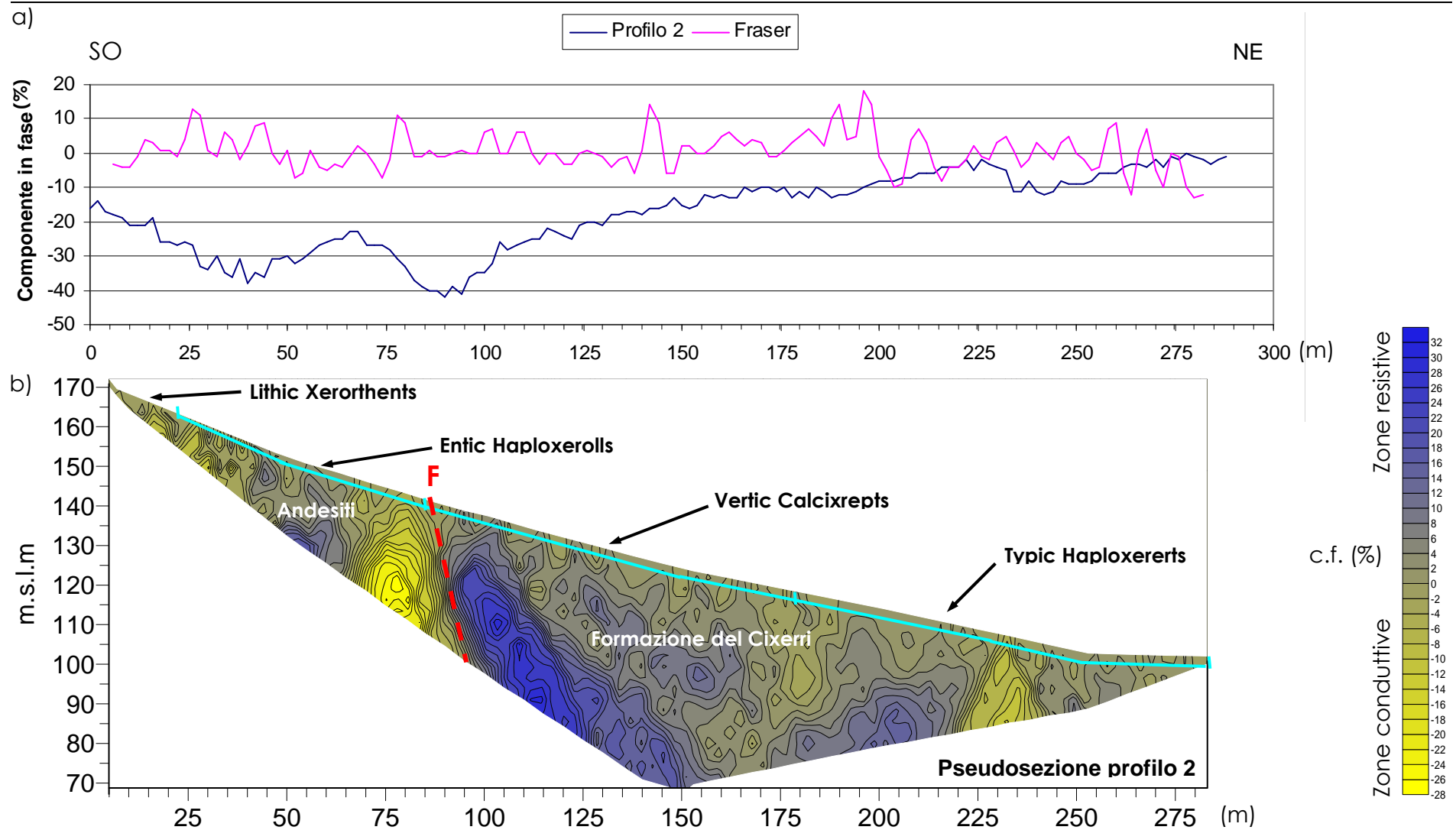


Figura 59 – a) Profilo P2 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

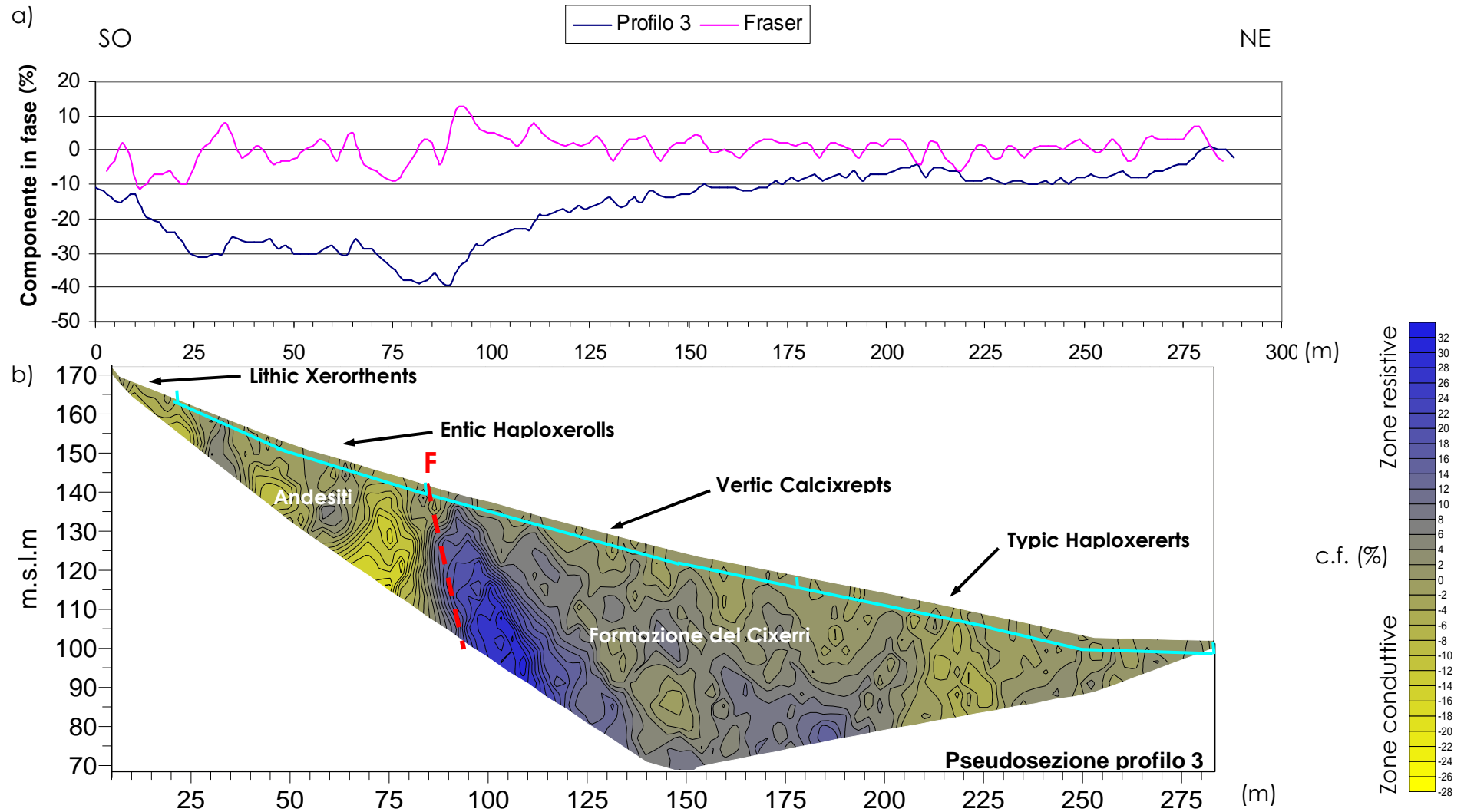


Figura 60 – a) Profilo P3 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

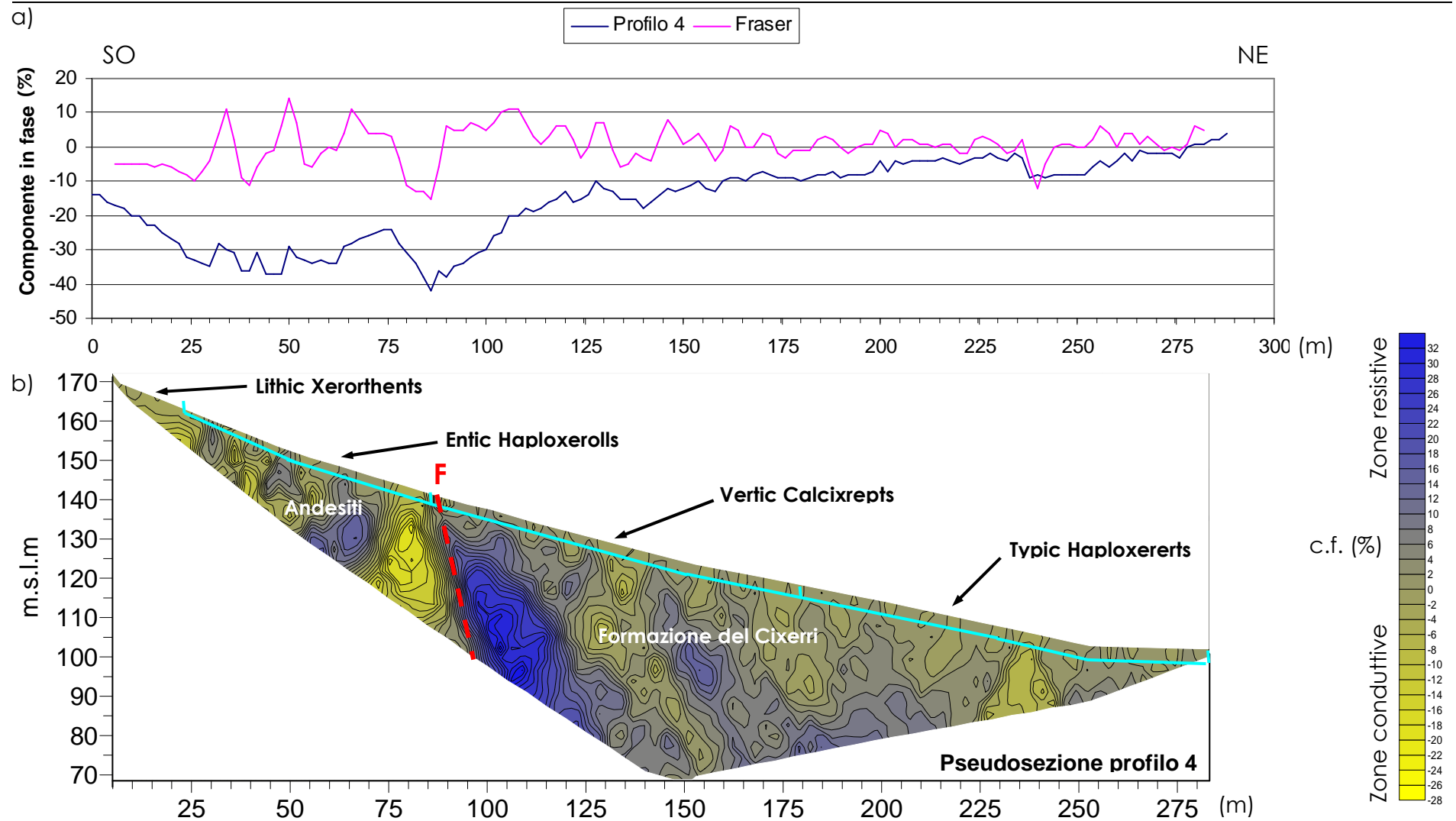


Figura 61 – a) Profilo P4 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.f. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

Il grafico dei valori della c.f. filtrati alla "Fraser", relativa al profilo P1 (figura 58 a) mostra, nel settore SO, (tratto da 0 a 20/25 m dell'origine del profilo) valori prevalentemente negativi della c.f., che diminuiscono da -20 a -38 %. Detti valori, sono riconducibili alle buone caratteristiche elettriche delle andesiti oligomioceniche e dai suoli che su di esse si sono generati. Nel secondo settore, da 25 a 88 m circa, si osservano una minor variabilità di valori della c.f., che rimangono più o meno costanti fino a valori di -42%. Anche questo trend di valori è correlabile con la presenza delle andesiti oligomioceniche. Nel tratto da 88 a 230 m, si osserva un aumento dei valori fino a 0 % (215 m circa). Questa inversione di tendenza, è da attribuire alle caratteristiche elettriche della "Formazione del Cixerri", che posta a contatto per faglia con le andesiti oligomioceniche (ad 88 m circa) mostra una minor conducibilità elettrica. Infine, nel settore NE (tratto da 230 a 288 m) i valori di c.f., sono inizialmente negativi con tendenza ad un aumento (da -12 a 0), ascrivibile a terreni con un'alta conducibilità.

- Nella pseudosezione di densità di corrente relativa a questo profilo (figura 58 b) si evidenzia una zona da 5 a 20/25 m circa, caratterizzata da valori medi di c.f. e con un alto gradiente fra le isoanomalie. Le caratteristiche di questa unità sono correlabili alla presenza di terreni mediamente conduttivi. Nel tratto della pseudosezione, da 20/25 a 88 m circa, si evidenzia una zona conduttiva, caratterizzata da valori negativi di c.f., dovuti alla conducibilità medio-alta delle andesiti. Il gradiente fra le isoanomalie aumenta considerevolmente verso il contatto per faglia (88 m) fra le andesiti oligomioceniche e la "Formazione del Cixerri", composta da arenarie microconglomeratiche. Il tratto da 88 a 283 m, è caratterizzato da una grande anomalia con alti valori di c.f. (88 m). Questa grande differenza di conducibilità, in questo punto della pseudosezione indagata, è dovuta alle due litologie poste a contatto per faglia. All'interno di questa unità, si evidenzia un tratto dove sono presenti una serie di anomalie negative superficiali. Dette anomalie sono probabilmente riconducibili alle buone caratteristiche elettriche dei colluvi andesitici, il cui spessore aumenta spostandosi verso valle. In questo tratto, i valori della c.f. aumentano con la profondità. Questa caratteristica è dovuta alla presenza della formazione del Cixerri che non affiora, in quanto ricoperta dai colluvi andesitici. In quest'ultimo tratto della pseudosezione indagata si evidenziano delle anomalie probabilmente riconducibili ad un sistema di faglie di neotettonica.

- Il grafico dei valori della c.f. filtrati alla "Fraser", relativa al profilo P2 (figura 59 a) mostra, nel settore SO, (tratto da 0 a 20/25 m dell'origine del profilo), valori negativi di

c.f., correlabili con litologie mediamente conduttive. Il settore del grafico, da 20/25 a 88/90 m circa, è contraddistinto da valori negativi di c.f., che si correlano con il carattere conduttivo di questa unità litologica (andesiti). Da 88/90 m a 225 m, il grafico mostra un aumento repentino dei valori di c.f. (88/90 m), che identifica la zona di faglia. I valori di c.f. aumentano da -42 (88/90 m) a -3 (225 m) identificando le caratteristiche elettriche ascrivibili alla formazione del Cixerri. Nell'ultimo tratto, da 225 a 283 m, i valori di c.f. tendono dapprima a diminuire da -3 (225 m) a -12 (242 m) e poi aumentano fino a -2 (283 m). Questa tendenza può essere messa in relazione alla presenza di zone correlabili con litotipi aventi una grande variabilità di caratteristiche elettriche.

- La pseudosezione di densità di corrente relativa a questo profilo (figura 59 b) mostra, nel settore SO, (tratto da 5 a 88 m circa), valori negativi di c.f. ascrivibili alle caratteristiche elettriche delle andesiti presenti in questo tratto indagato. E' presente un aumento progressivo del gradiente di densità di corrente elettrica fino al contatto per faglia (88 m) dove si osserva una grande anomalia negativa. Nella stessa unità si osserva un'anomalia positiva, situata a 55 m ad una profondità compresa tra 0 a -20 m. Nella porzione da 88 a 283 m, è presente una zona a carattere prevalentemente resistiva, con una grande anomalia positiva che mette in evidenza la già citata faglia (88 m). Anche nella pseudosezione 2, si mettono in evidenza, nella stessa unità (da 88 a 283 m), le caratteristiche più conduttive della parte più superficiale della zona indagata, corrispondente al colluvio di origine vulcanica che ricopre la sottostante formazione del Cixerri.

- Il grafico dei valori della c.f. filtrati alla "Fraser", relativa al profilo P3 (figura 60 a) mostra, nel settore SO, (tratto da 0 a 25 m dell'origine del profilo), valori negativi di c.f. che diminuiscono progressivamente da -11 (0 m) a -31 (25 m). Questa tendenza si correla con il carattere mediamente conduttivo dei terreni indagati. Il tratto del grafico, da 25 a 88 m, è caratterizzato da valori negativi di c.f. che raggiungono valori prossimi a -40 (contatto per faglia), che mettono in evidenza la correlazione con litotipi ad alta conducibilità (andesiti). La porzione centrale del grafico, da 88 a 180 m, è caratterizzata da valori di c.f., che da -38 aumentano a -7 (180 m) mettendo in luce la correlazione con litologie scarsamente conduttive (formazione del Cixerri). Nell'ultimo tratto del grafico, da 180 a 283 m, si osservano valori negativi di c.f., che assumono un andamento costante fino a raggiungere lo zero a 280 m. Questo andamento dei valori, è ascrivibile alle buone caratteristiche elettriche dei terreni indagati.

La pseudosezione di densità di corrente relativa a questo profilo (figura 60 b) mostra, nel settore SO, (tratto da 5 a 25 m circa), una zona caratterizzata da valori negativi della c.f. con un progressivo aumento del gradiente delle isoanomale. Nel tratto da 25 a 88 m, si manifesta una predominanza di valori negativi correlabili con la presenza di litologie a carattere conduttivo. Si osserva un aumento del gradiente delle isoconduttive a 88 m, con la presenza della grande anomalia negativa (in giallo), che mette in evidenza la zona di faglia. Nel settore da 88 a 283 m, è presente una zona con caratteristiche elettriche scarse, con una grande anomalia positiva (in blu) che mette in evidenza il contatto per faglia (88 m) fra le 2 litologie presenti, le andesiti oligomioceniche e la formazione del Cixerri. Anche nella pseudosezione 3, si osservano le stesse caratteristiche (più conduttive) della parte più superficiale della zona indagata, corrispondente al colluvio di origine vulcanica che ricopre la sottostante formazione del Cixerri.

- Il grafico del profilo 4 (figura 61 a) mostra, nel tratto da 0 a 30 m, una prevalenza di valori negativi di c.f., correlabili al carattere mediamente conduttivo dei litotipi presenti. Il tratto da 30 a 88 m, è caratterizzato dalla presenza di valori negativi di c.f. che raggiungono -42. Detti valori sono correlabili con litologie aventi una marcata conducibilità elettrica. Nel tratto del grafico, da 88 a 180 m, viene confermata la tendenza all'aumento dei valori di c.f., correlabili con la presenza di litotipi scarsamente conduttivi. Nell'ultimo tratto del grafico, da 180 a 283 m, si confermano i valori negativi di c.f., che assumono un andamento più o meno costante, fino a raggiungere il valore 6 (288 m). Questo andamento dei valori, è ascrivibile alle buone caratteristiche elettriche dei terreni indagati.
- La quarta sezione di densità di corrente elettrica rappresentata in figura 60 b mostra nella porzione iniziale, da 5 a 25 m, valori negativi della c.f., caratterizzati da un abbassamento del gradiente di densità di corrente elettrica. La porzione, da 25 a 88 m, mostra una marcata presenza di valori negativi di c.f. in corrispondenza del contatto per faglia. Nella stessa porzione, si evidenzia un' anomalia positiva, situata a 65 m, ad una profondità che va da 0 a -25 m. La porzione da 88 a 283 m, mostra un sensibile abbassamento del gradiente di densità di corrente elettrica, correlabile con il carattere poco conduttivo delle litologie presenti (formazione del Cixerri). Si osserva, anche in questa pseudosezione, le diverse caratteristiche elettriche (più conduttive) della parte più superficiale, dovute alla presenza del colluvio che ricopre la formazione del Cixerri.

In generale, l'esame comparato di tutti i dati prodotti (valori filtrati Fraser e Karous-Hjelt) della c.f. mostrano, da 0 a 20/25 m, anomalie negative di c.f., ascrivibili a litologie mediamente conduttive. Il tratto da 20/25 a 88 m, è sempre contraddistinto da valori negativi di c.f., che caratterizzano zone più conduttive, correlabili con le andesiti del complesso vulcanico calcoalcalino oligomiocenico. In tutte le pseudosezioni, si osserva un aumento del gradiente delle isoconduttive a 88 m, con la presenza della grande anomalia negativa (in giallo), che mette in evidenza la zona di contatto per faglia con la formazione del Cixerri. Il tratto da 88 a 283 m, è sempre caratterizzato da valori di c.f. positivi, correlabili alla presenza della formazione del Cixerri. Si osserva sempre in ogni pseudosezione di densità di corrente elettrica, la grande anomalia (in blu) dovuta alla già citata faglia.

Nelle figure 63, 64, 65 e 66 sono rappresentati i risultati delle operazioni di filtraggio precedentemente descritte, applicate ai valori della componente in quadratura. Nei grafici sono riportati i valori osservati della c.q., evidenziati con il colore nero, gli stessi valori filtrati con l'operatore filtro *Fraser*, evidenziati con il colore rosso (a), e le pseudosezioni di densità di corrente (b) ottenute mediante l'applicazione del filtro di "Karous-Hjelt".

Nella figura 67, sono riportate le 4 pseudosezioni di densità di corrente.

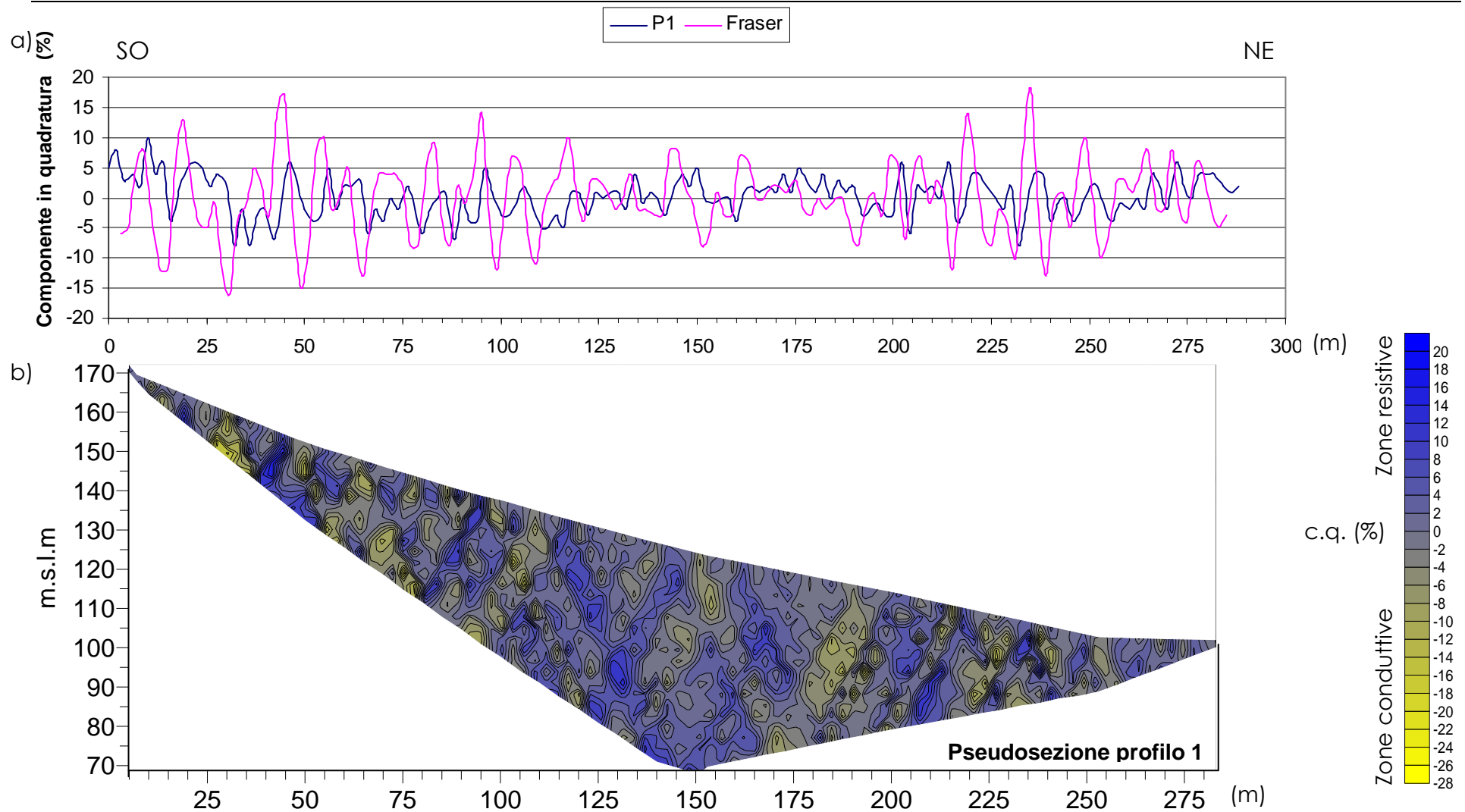


Figura 63 – a) Profilo P1 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

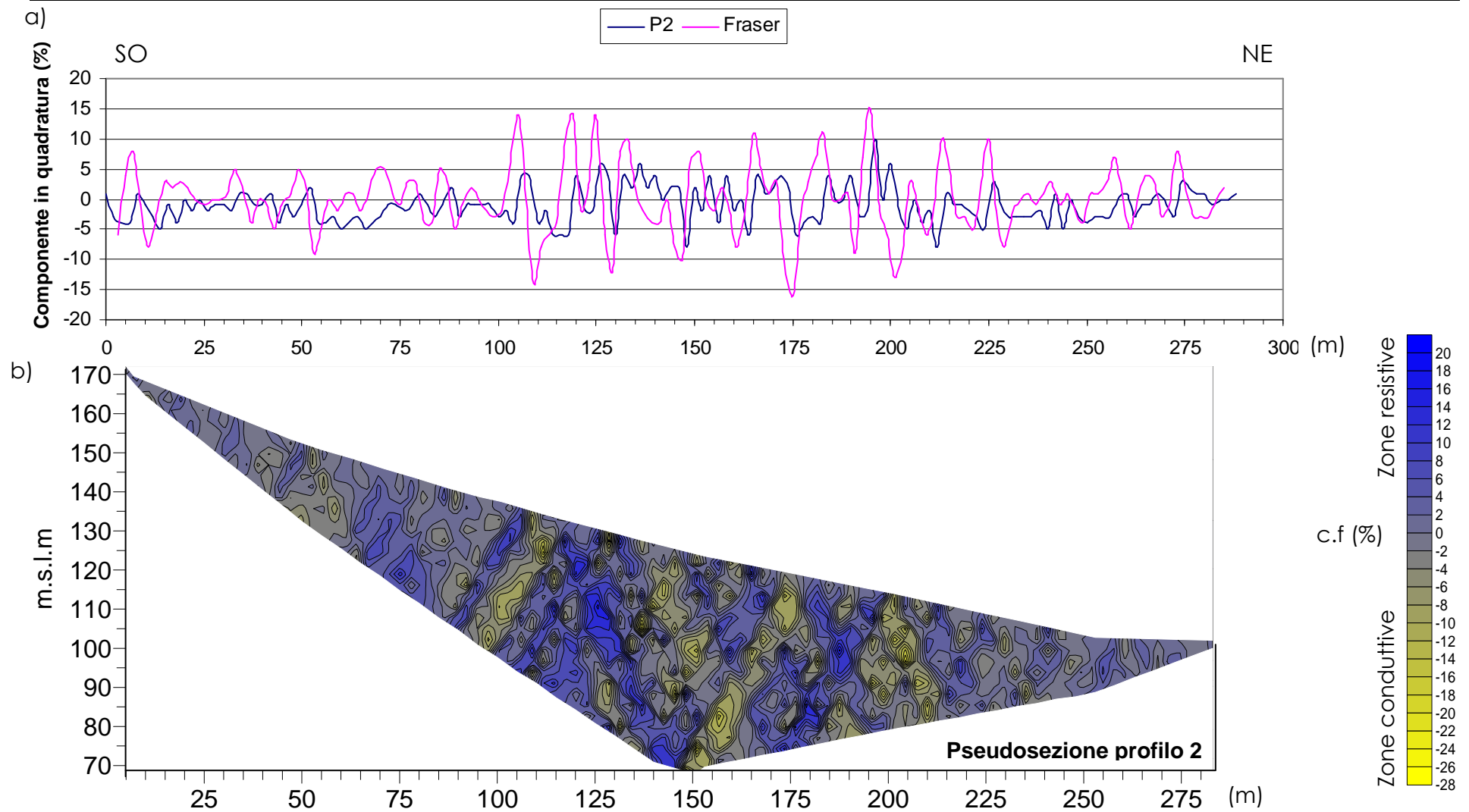


Figura 64 – a) Profilo P2 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

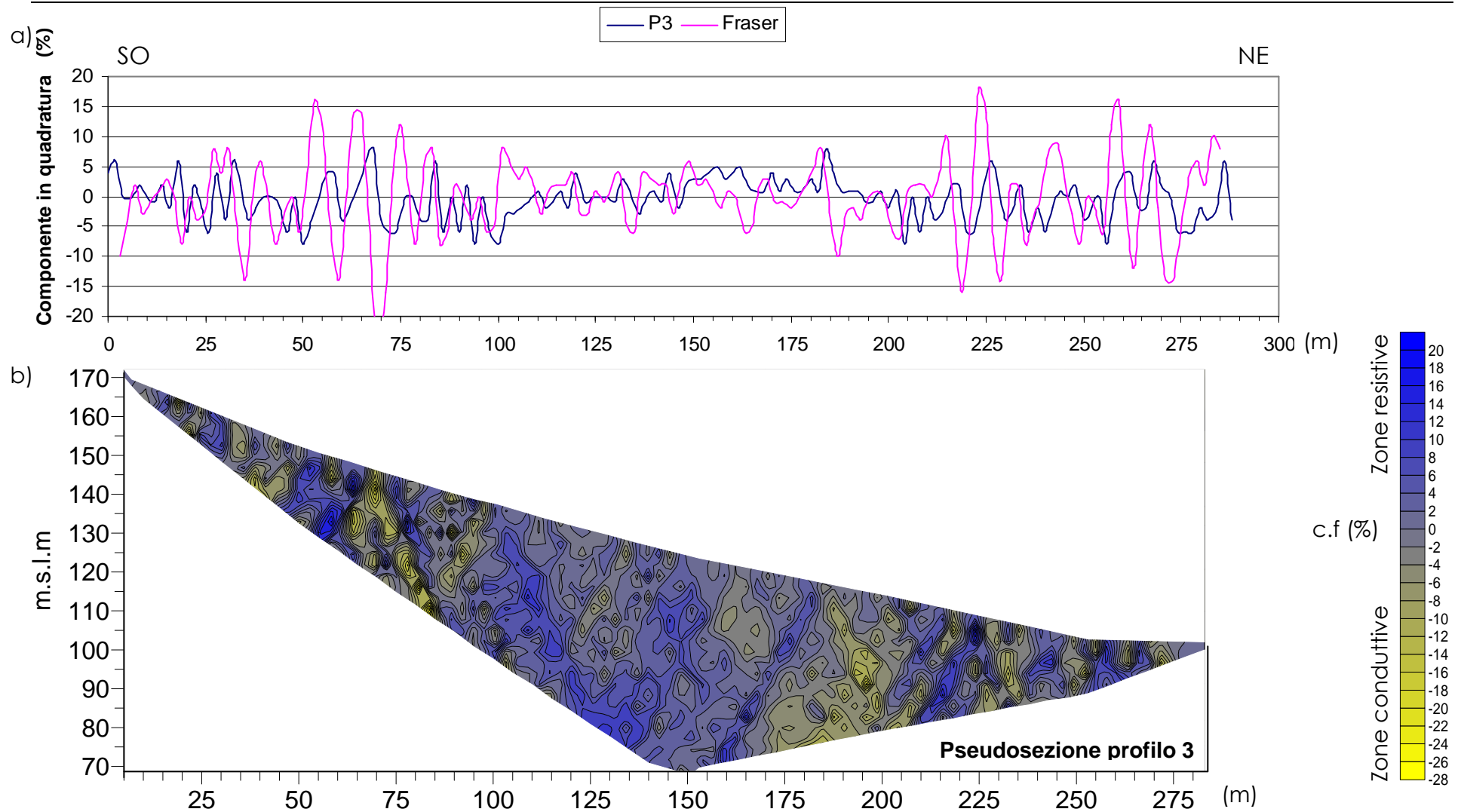


Figura 65 – a) Profilo P3 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

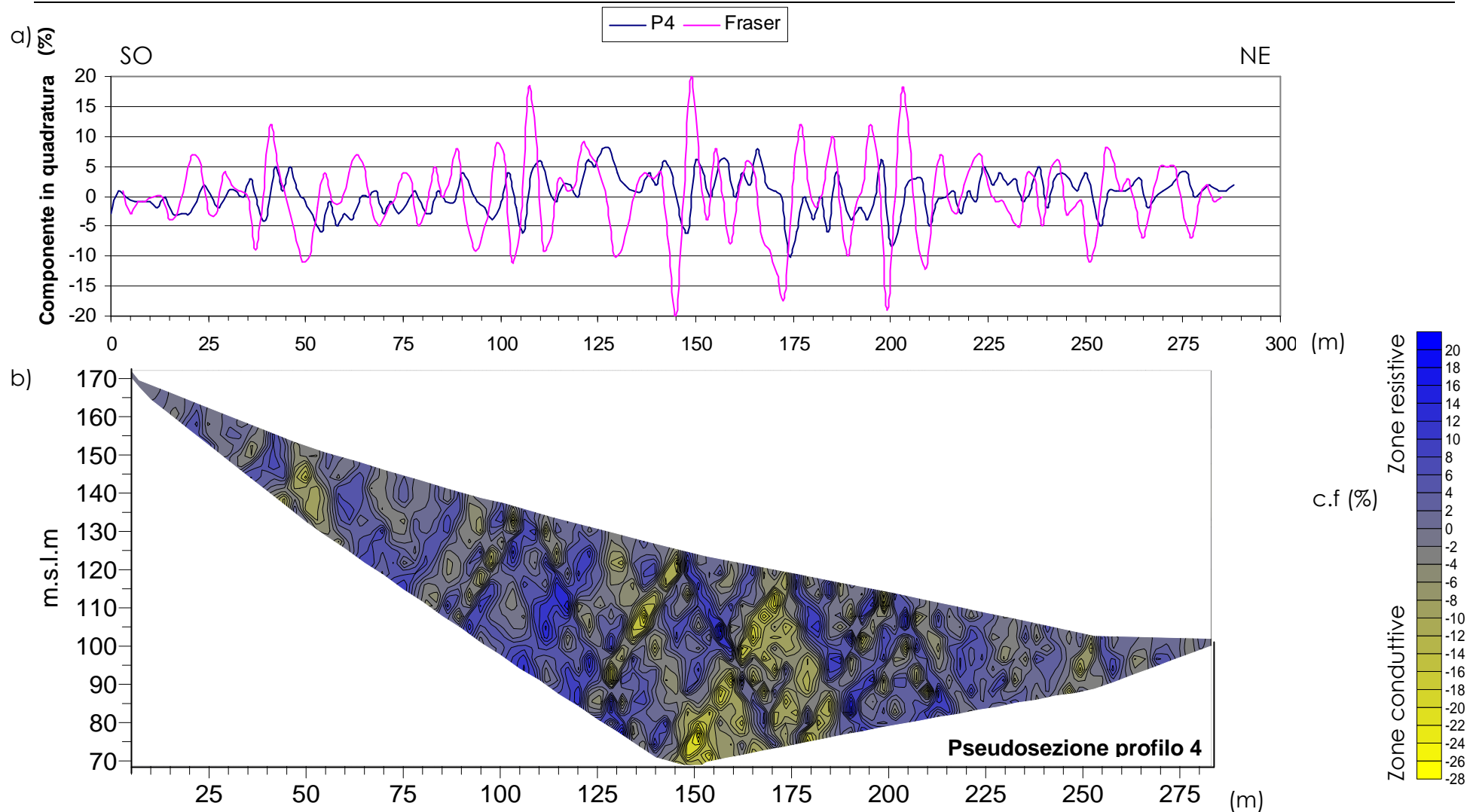


Figura 66 – a) Profilo 66 – Area di ricerca 2 - Grafico dei valori osservati della c.q. e dei valori filtrati mediante filtro "Fraser";
b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica.

I grafici dei valori della c.q. filtrati alla "Fraser" (a) e le rispettive pseudosezioni di densità di corrente elettrica (b), riportate nelle figure 63, 64, 65 e 66, non hanno mostrato la stessa significatività rilevata nei dati relativi alle prospezioni V.L.F. precedentemente descritte (componente in fase e quadratura dell'area di ricerca 1 e componente in fase dell'area di ricerca 2).

Le caratteristiche intrinseche del dato analizzato (componente in quadratura), correlabili con la parte più superficiale dell'area investigata (colluvio vulcanico), non hanno consentito di ottenere gli stessi eccellenti risultati, in quanto, l'alta conducibilità dei suoli impostatisi sul colluvio, ha probabilmente provocato l'effetto pelle, meglio conosciuto come *Skin Effect*.

Lo *Skin Effect* è la tendenza di una corrente elettrica alternata a distribuirsi dentro un conduttore (in questo caso le unità di suolo) in modo non uniforme. La sua densità elettrica è maggiore sulla superficie ed inferiore all'interno. Questo comporta un aumento della resistenza elettrica, che si oppone alla penetrazione del campo elettromagnetico primario.

3.2.2 Prospezione elettromagnetica E.M.I. (ElettroMagnetismo Indotto)

Acquisizione e trattamento

Acquisizione dei dati (strumento EM38DD, GEONICS Ltd)

L'acquisizione dei dati ricavati dallo strumento EM38DD è stata effettuata esattamente sugli stessi allineamenti utilizzati per il rilievo dei dati V.L.F., incrementando il numero di profili da 4 a 7, in modo tale da infittire le informazioni con 3 nuovi profili intermedi.

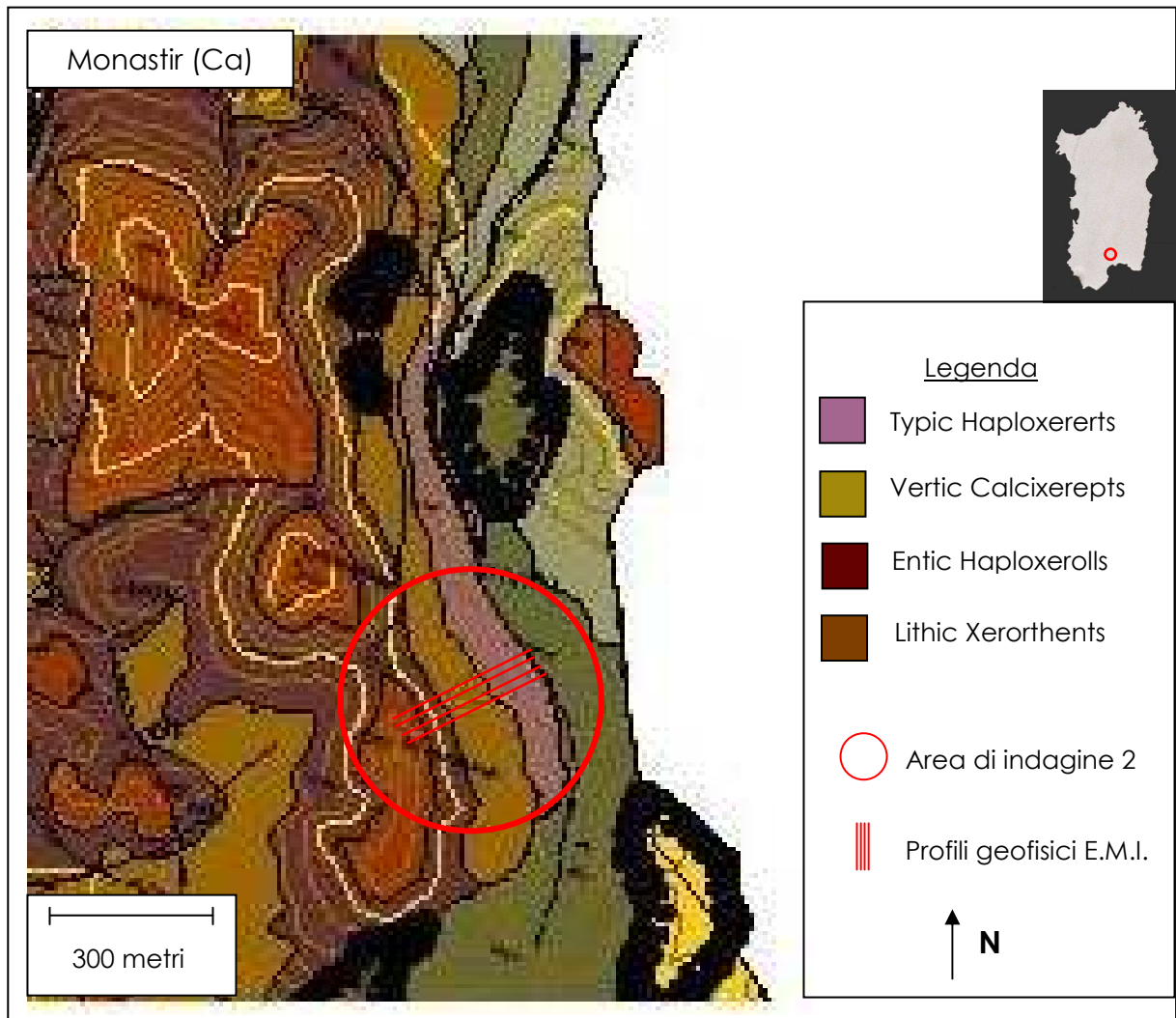


Figura 68 – Carta Pedologica dell'area di Monastir (Ca), da Orrù e Vacca (2004). Localizzazione dei profili elettromagnetici E.M.I. Area di ricerca 2.

Lo studio della geometria dei due volumi d'influenza teorica complessiva è stato fondamentale per poter indirizzare le modalità di acquisizione del dato per la prospezione E.M.I., Rif. Sottoparagrafo 2.1.2. La necessità di dover rilevare le aree di studio nel modo più completo e omogeneo possibile ha contribuito nella scelta di aumentare i profili geofisici da 4, utilizzati nella prospezione V.L.F., a 7, riconducendo i profili stessi ad un' interdistanza voluta di 2 m.

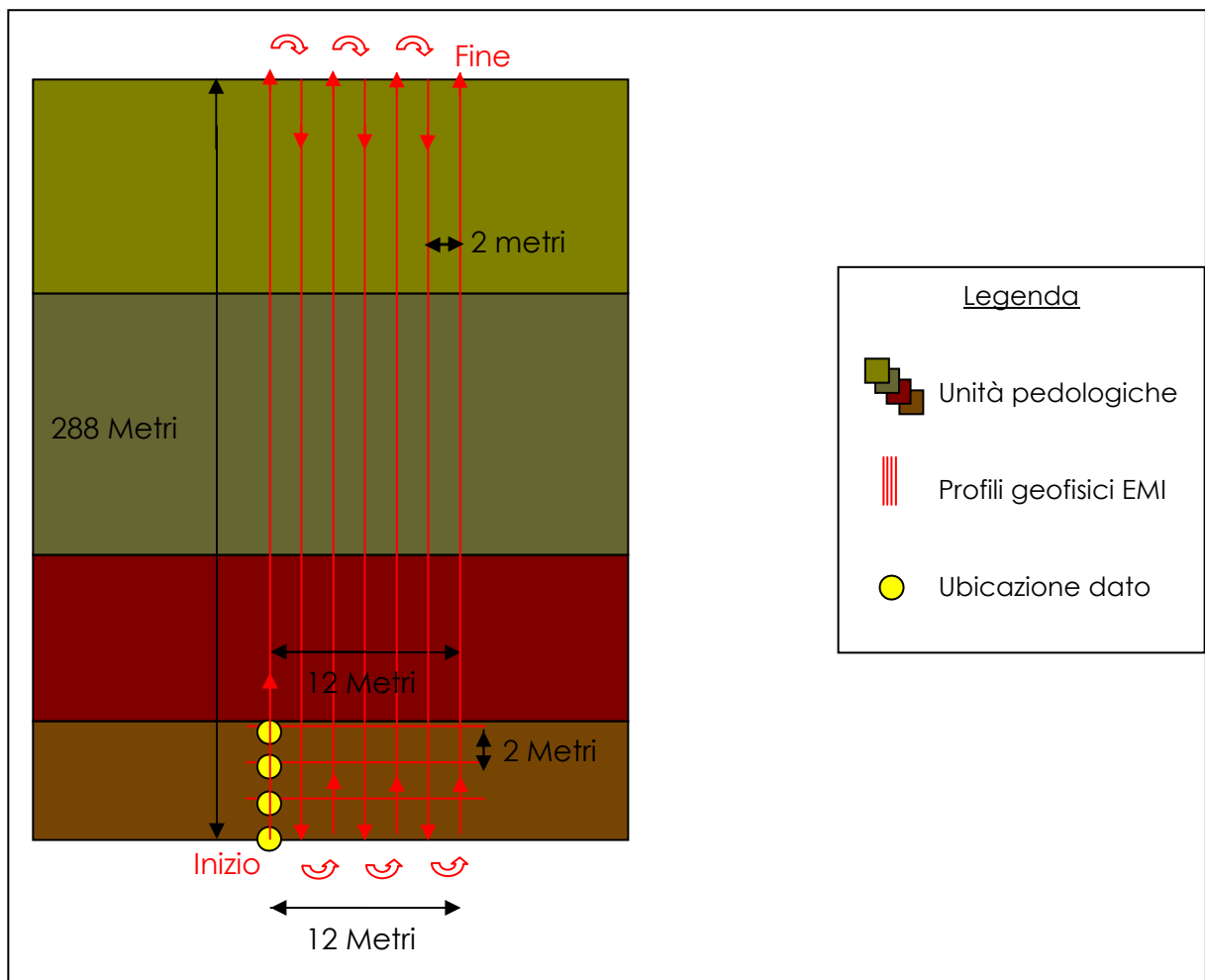


Figura 69 – Schema di acquisizione del dato

Lo schema di acquisizione dei dati, anche in questo caso, prevede l'ubicazione dei profili geofisici perpendicolari alle unità pedologiche incontrate nella carta messa a punto da Orrù e Vacca (2004), figura 68. Questa scelta, ha permesso di confrontare i dati geo-pedologici già in possesso con i dati geofisici ricavati dalla prospezione E.M.I., che riflettendo le caratteristiche chimico-fisiche dell'oggetto di studio hanno

potuto mettere in evidenza, oltre alle diverse tipologie di suoli presenti, i nuovi limiti di tali unità. L'acquisizione è avvenuta su 7 profili lunghi 300 m interdistanziati di 2 m, con lo strumento impostato per poter conseguire in continuo 5 dati ogni secondo.

Parametri della prospezione

Il parametro ricavato dalla prospezione E.M.I. è la Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) che è un parametro aggregato funzione della porosità, del contenuto idrico, della mineralogia, della qualità e della quantità delle argille, nonché della forza ionica, della composizione, della temperatura, della profondità e della fase della soluzione del suolo (McNeill, 1980). Questa qualità specifica che caratterizza la C.E.a., consente di interpretare al meglio le condizioni geo-pedologiche dell'area di ricerca in esame.

Trattamento dei dati E.M.I.

Il trattamento dei dati geofisici E.M.I. è stato condotto applicando ai dati il filtro *Fraser*. La restituzione dei dati è stata invece condotta in modo analogo ai dati V.L.F. (rif. Par. 2.6.2).

Analisi dei dati: mappe di C.E.a. realizzate con i dati rilevati dallo strumento EM38DD (Geonics LTd)

Nella colonna (a) della figura 70 è rappresentata una porzione di carta pedologica (Orrù e Vacca, 2004), in rosso, sono evidenziati i quattro profili pedologici eseguiti. Successivamente, sono state messe a confronto le 2 mappe di C.E.a. ottenute attraverso la prospezione geofisica effettuata con lo strumento EM38DD della Geonics LTd.

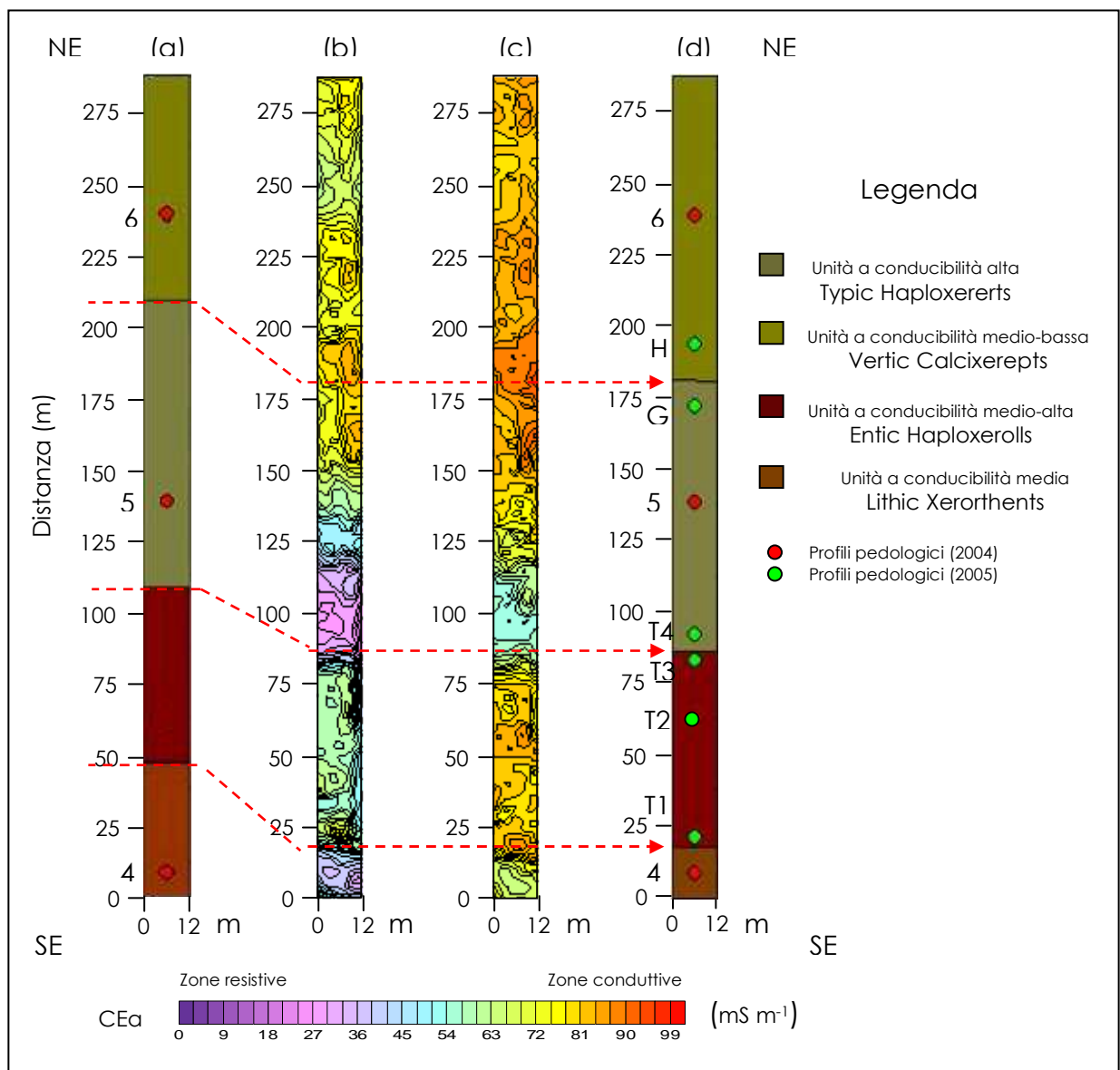


Figura 70 – Area di ricerca 2: a) carta pedologica da Orrù e Vacca (2004); b) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 14,6 kHz; c) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente

(C.E.a.) ad una frequenza di 17,0 kHz; d) carta pedologica ottenuta dall'integrazione dei dati pedologici e geofisici di diverso tipo (V.L.F., EM38DD, GEM300).

A conferma di quanto analizzato in precedenza per lo strumento EM16, i limiti tra le unità pedologiche, risultanti dalla carta di riferimento (figura 70 a), posti a circa 48 e 210 m, non sono risultati compatibili con le anomalie geofisiche riscontrate a quelle quote durante la prospezione con lo strumento EM38DD. Dallo studio delle mappe realizzate con entrambi gli strumenti (EM16 e EM38DD), è confermato il limite tra l'unità pedologica posta nella parte alta del versante e l'unità pedologica contigua, posizionato attorno a 20 m. Mentre il limite dell'unità pedologica posizionata nella parte medio-bassa del versante e l'unità riferita alla parte bassa del versante, posto inizialmente a 210 m, è in realtà riferibile a 180 m. A differenza della prospezione effettuata con l'EM16, il limite individuato a circa 110 m da Vacca e Orrù, non ha trovato nessun riscontro nelle mappe di C.E.a. realizzate con l'EM38DD. Lo studio delle 2 trivellate di controllo (86 e 90 m), eseguite dove le evidenti anomalie geofisiche facevano supporre la presenza del limite pedologico, ha confermato tale posizionamento. Probabilmente, detto limite, essendo stato rilevato da uno strumento che ha una profondità di indagine di 1,5 m, è funzione delle differenti unità di suolo, piuttosto che dal contatto più profondo, dovuto alle 2 litologie poste a contatto per faglia. Nella l'ultima colonna a destra, è stata riportata la nuova carta pedologica con i nuovi limiti. Grazie agli studi effettuati con lo strumento EM38DD si è riusciti a confermare il riposizionamento di un limite pedologico di 100 m, migliorando notevolmente la precisione grafica della carta pedologica di riferimento.

Mappe di C.E.a. realizzate con i dati rilevati dallo strumento GEM300 (Geophysical Survey System)

Anche in questo caso, nella prima colonna è rappresentata una porzione di carta pedologica (Orrù e Vacca, 2004), in rosso, sono evidenziati i quattro profili pedologici eseguiti. Successivamente, sono state messe a confronto le 4 mappe di (C.E.a.), una per ogni frequenza utilizzata, ottenute attraverso la prospezione geofisica effettuata con lo strumento GEM300 della Geophysical Survey System.

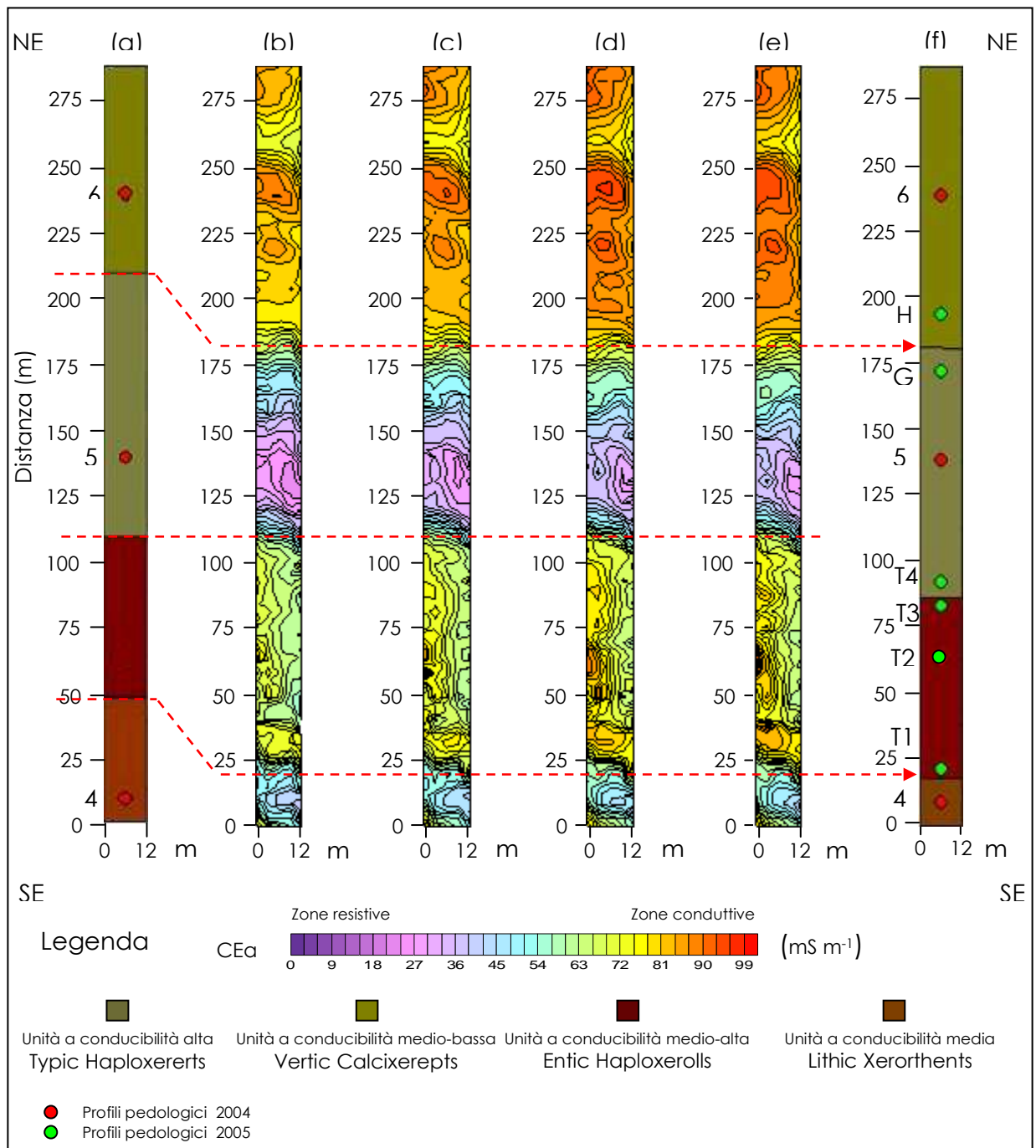


Figura 71 – Area di ricerca 2: a) carta pedologica da Orrù e Vacca (2004); b) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 8,5 kHz; c) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 11,3 kHz; d) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 15,0 kHz; e) mappa dei valori osservati della Conducibilità Elettrica apparente (C.E.a.) ad una frequenza di 18,2 kHz f) carta pedologica ottenuta dall'integrazione dei dati pedologici e geofisici di diverso tipo (V.L.F., EM38DD, GEM300).

A conferma di quanto analizzato in precedenza per gli strumenti EM16 e EM38DD, i limiti tra le unità pedologiche, risultanti dalla carta di riferimento (figura 71 a), posti a circa 48 e 210 m, non sono risultati compatibili con le anomalie geofisiche riscontrate a quelle quote durante la prospezione con lo strumento GEM300. Anche in questo caso, il limite posto a circa 110 m da Orrù e Vacca, ha trovato riscontro nelle mappe di C.E.a. realizzate con il GEM300. Probabilmente, detto limite, essendo stato rilevato da uno strumento che ha una profondità di indagine che arriva a 6 m, è funzione del contatto più profondo di 2 litologie, dato dalla presenza della faglia e non dalle differenti unità di suolo più superficiali. Dallo studio delle mappe realizzate con tutti gli strumenti utilizzati (EM16, EM38DD e GEM300), è stato confermato che il limite tra l'unità pedologica posta nella parte bassa del versante e l'unità pedologica contigua, fosse posizionato attorno ai 180 m. Mentre per quanto riguarda il limite dell'unità pedologica posizionata nella parte medio-alta del versante e l'unità riferita alla parte alta del versante, posto a 48 m, fosse in realtà riferibile a 20 m. Nella colonna (d) in figura 71, è stata riportata la nuova carta pedologica con i nuovi limiti. Grazie agli studi effettuati con lo strumento GEM300 si è riusciti a confermare il riposizionamento di due limiti pedologici di circa 30 m.

3.2.3 Prospezione Magnetometrica (M)

Acquisizione e trattamento dei dati

Acquisizione dei dati (strumento Omni VI)

L'acquisizione dei dati ricavati dallo strumento Omni VI è stata effettuata attraverso un profilo magnetometrico che coincide esattamente con l'allineamento del profilo 2 utilizzato per il rilievi dei dati V.L.F., figura 72.

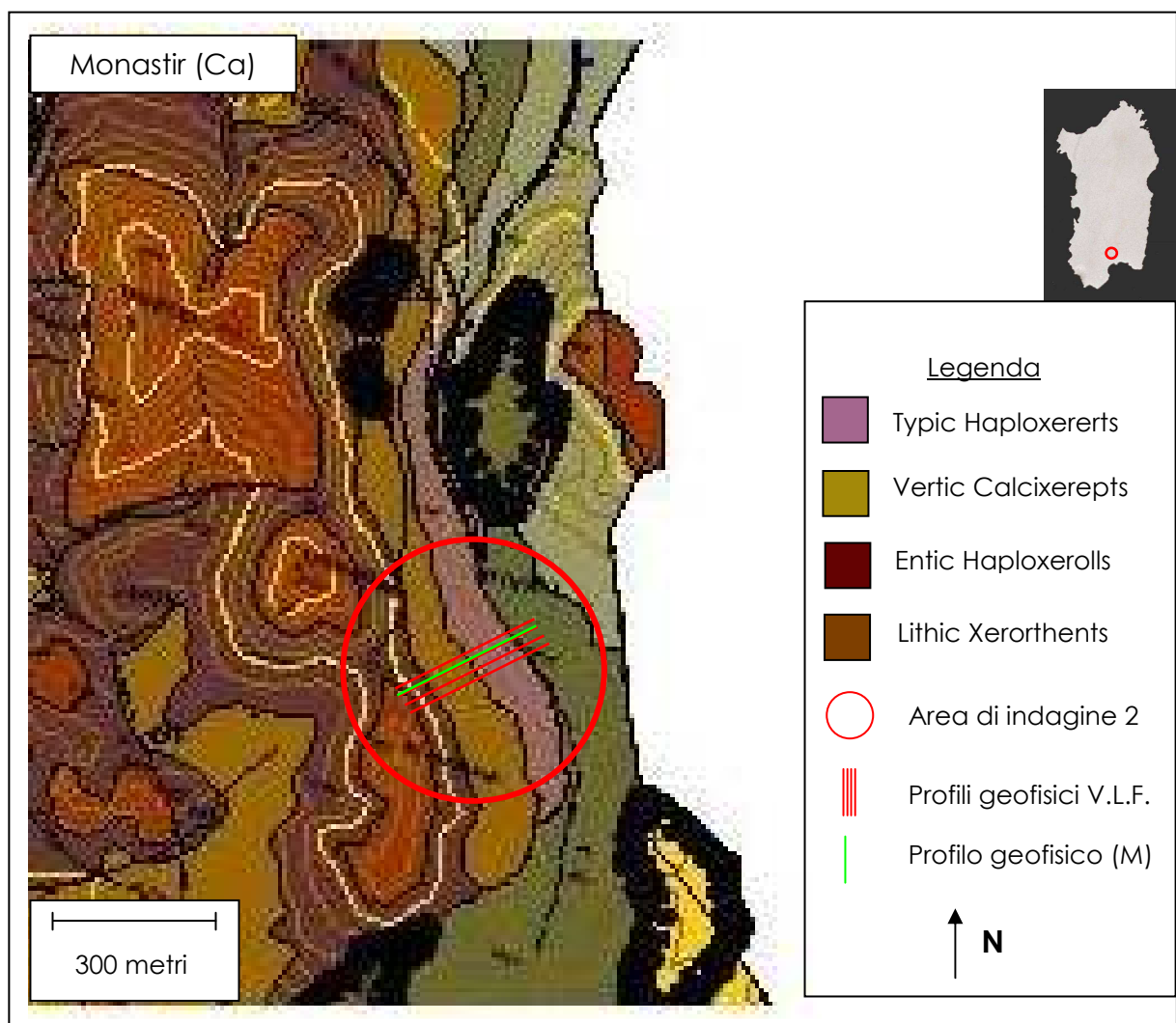


Figura 72 – Carta Pedologica dell'area di Monastir (Ca), da Orrù e Vacca (2004). Localizzazione del profilo magnetico (in verde) coincidente con il profilo geofisico V.L.F. numero 2. Area di ricerca 2.

La necessità di dover rilevare le aree di studio nel modo più completo e omogeneo possibile, ha contribuito nella scelta di aumentare la distanza di ubicazione del dato ogni 4 m.

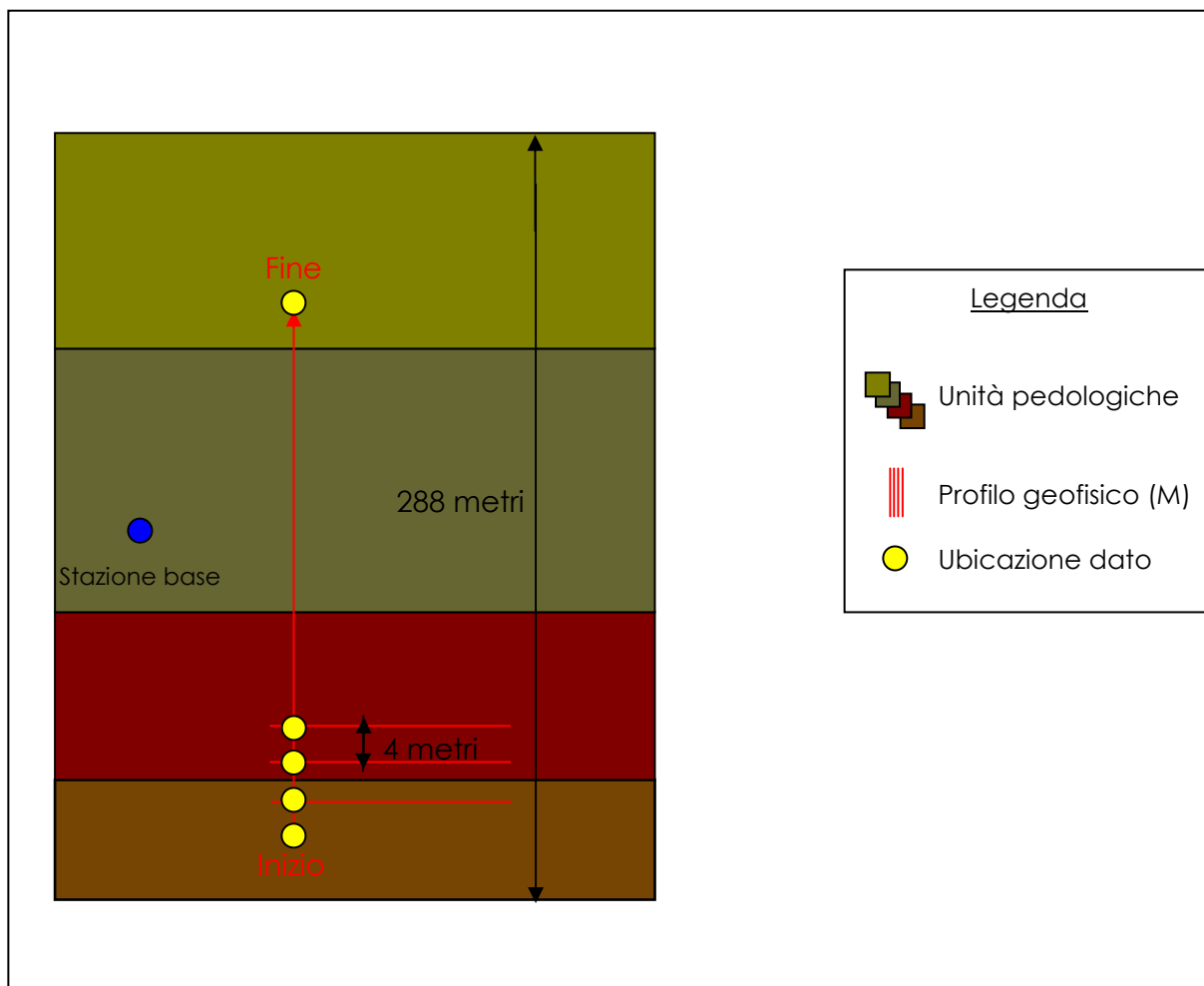


Figura 73 – Schema di acquisizione del dato

Lo schema di acquisizione dei dati, anche in questo caso, prevede l'ubicazione del profilo geofisico perpendicolare alla unità pedologiche incontrate nella carta messa a punto da Orrù e Vacca (2004) (figura 72). Questa scelta, ha permesso di confrontare i dati geo-pedologici già in possesso, con i dati geofisici ricavati dalla prospezione magnetica. Lo studio, è stato eseguito per mettere in evidenza il contatto per faglia tra la formazione del Cixerri e le andesiti del complesso vulcanico calcalcalino oligomioceno. L'acquisizione è iniziata a 38 m e si è conclusa a 158 m. Il conseguimento del dato è avvenuto ogni 4 m.

Parametri della prospezione

Il parametro ricavato dalla prospezione magnetica è l'intensità totale F del campo geomagnetico, calcolato tramite la misurazione della frequenza di precessione dei protoni, (Rif. Sottopar. 1.2.6). Detti parametri, essendo funzione del C.M.T. nel punto di misurazione, rappresentano le caratteristiche geofisiche dei terreni indagati, che sono indice di qualità specifiche (differenze di suscettività magnetica (χ) che hanno permesso di interpretare le condizioni geo-pedologiche dell'area di ricerca in esame.

Trattamento dei dati

I dati di origine magnetica risentono delle molteplici mutazioni che il campo magnetico terrestre ha in funzione delle variazioni lunisolari. Oltre alle variazioni periodiche, di cui si possono eliminare gli effetti attraverso il trattamento dei dati, esistono anche delle variazioni occasionali dovute alle esplosioni della corona solare (*sunspots*) e a perturbazioni della ionosfera, che possono indurre delle anomalie magnetiche rapide e con intense variazioni, che pregiudicano inesorabilmente i dati acquisiti. La prospezione è stata condotta riferendo i dati ad una stazione base, ubicata in un punto univoco di coordinate note, e ad una certa ora, chiamata ora di riferimento.

La prospezione magnetica inizia con il rilievo del dato nella stazione base e l'orario di misura, dopodiché ci si sposta lungo il profilo e si eseguono 3-4 misurazioni con i rispettivi orari lungo tale direzione, poi si ritorna alla stazione base e si rileva un secondo valore, anche in questo caso, col suo orario. Si prosegue con questa metodica, fino a rilevare l'ultimo dato, quello di chiusura, sempre nella stazione base. Tutti i dati messi in evidenza nella stazione base e gli orari di rilievo vengono poi proiettati in un grafico. Arbitrariamente si sceglie un orario di riferimento, in modo tale che i dati siano tutti riferiti ad uno stesso orario, annullando così l'effetto della variazione del campo magnetico durante il giorno. Si prende il primo orario nel quale si è rilevata la prima misurazione lungo il profilo e si sottrae o si somma (a seconda di come si è scelto l'orario di riferimento) al valore di campo magnetico che c'era all'ora di riferimento, ottenendo così un $\Delta\gamma$ che si sottrae o si somma (a seconda di come si è scelto l'orario di riferimento) al valore della prima misurazione lungo il

profilo magnetico. La restituzione dei dati è stata condotta in modo analogo ai dati V.L.F. e E.M.I. (rif. Par. 3.2.1).

Analisi dei dati: grafici realizzati con i dati rilevati dallo strumento OMNI IV (Scintrex Ltd)

La prima fase dell'analisi dei dati magnetometrici, prevede la redazione di un grafico (figura 74 a) che mette in evidenza il valore dei dati osservati in funzione del tempo (ora alla quale sono stati misurati). Successivamente, viene prodotto il grafico (figura 74 b), nel quale si calcola un orario arbitrario di riferimento (ore 12:12), al quale vengono riportate tutte le misure eseguite durante la prospezione annullando così l'effetto della variazione del campo magnetico durante il giorno.

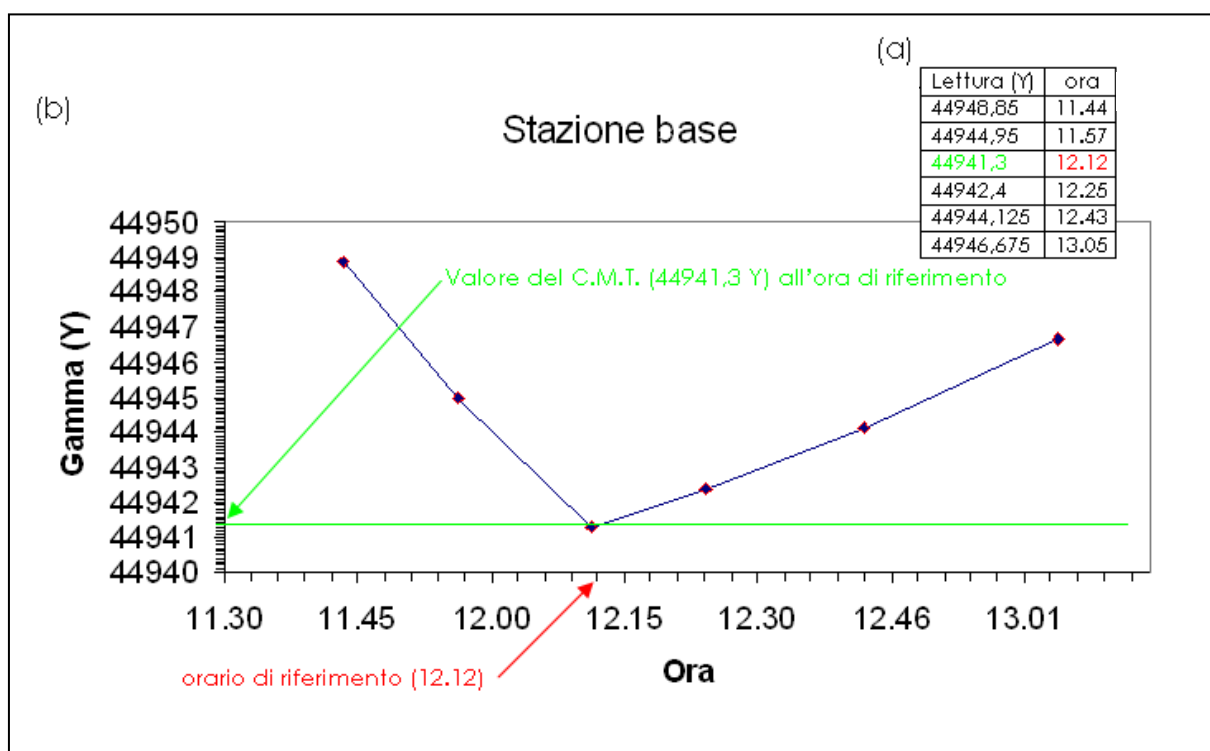


Figura 74 – Grafico di misura del C.M.T. nella stazione base e orario di riferimento

Infine, vengono proiettati in un terzo grafico (figura 75 a), i valori osservati e i valori corretti dall'effetto lunisolare in funzione dello spazio. Detto grafico, viene di seguito, messo a confronto con la pseudosezione di densità di corrente elettrica (75 b) eseguita nel medesimo profilo (profilo 2 V.L.F.).

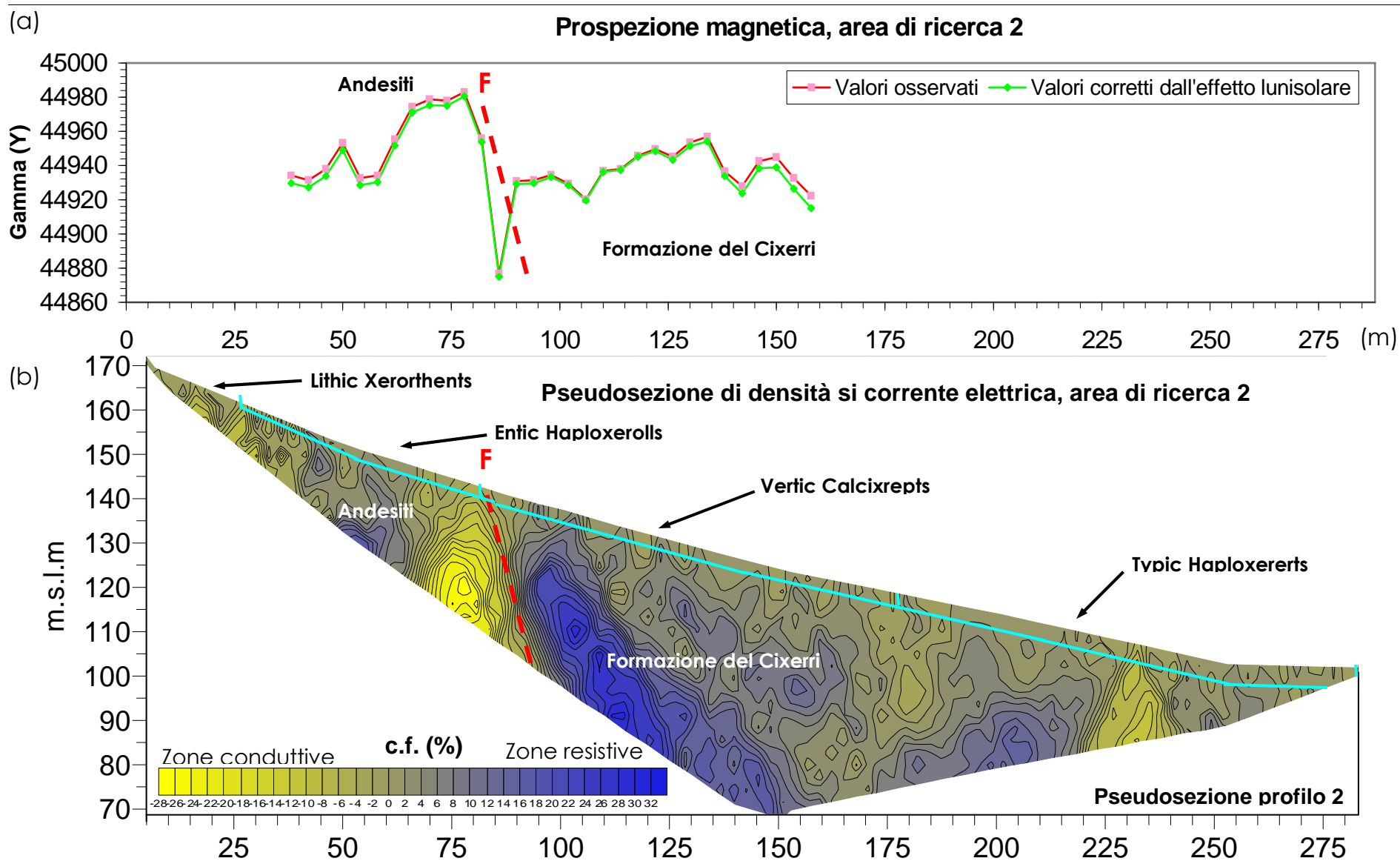


Figura 75 – a) Prospezione magnetica del profilo 2 dell'area di ricerca 2; b) Pseudosezione di densità di corrente elettrica ottenuta attraverso l'elaborazione dei dati osservati della c.f. filtrati attraverso l'algoritmo di "Karus-Hielt", del profilo 2 dell'area di ricerca 2.

Il grafico riportato in figura 75 a, presenta da 38 a 58 m valori di C.M.T. abbastanza omogenei, se si omette una piccola anomalia a 50 m. Da 58 a 66 m, i valori di C.M.T. aumentano repentinamente da 44930,275 Y fino a 44971,150 Y, per poi aumentare più o meno gradualmente fino a 44980,575 Y (78 m), dove si segnala il valore massimo raggiunto. I valori di questo primo tratto, che passano da una suscettività magnetica medio-alta ad una alta, sono correlabili alle caratteristiche magnetiche delle andesiti del complesso vulcanico calcoalcalino oligomiocenico. Successivamente, si registra una netta diminuzione dei valori nel tratto da 78 a 86 m. Questo cambiamento repentino delle condizioni magnetiche, è da attribuire al contatto per faglia tra le andesiti e la Formazione del Cixerri. Da 86 a 90 m si registra un aumento di C.M.T. che rimane più o meno costante, se si omette il valore di 44919,575 Y a 106 m, fino a 114 m. In seguito, i valori assumono un andamento altalenante: aumentano fino a 44954,100 Y (134 m), diminuiscono fino a 44923,775 Y (142 m), aumentano nuovamente fino a 44939,025 Y (150 m) e ridiminuiscono a 44915,050 Y (158 m) nel finale.

Di seguito è riportata una tabella (13) che mette in relazione vari tipi di roccia e minerali in funzione della suscettività magnetica (χ).

| <i>Roccia / minerale</i> | <i>Suscettività magnetica (valori medi SI)</i> | <i>Comportamento</i> |
|--------------------------|--|----------------------|
| marmo | $- 6,0 \cdot 10^{-9}$ | diamagnetico |
| salgemma | $- 6,5 \cdot 10^{-8}$ | “ |
| grafite | $- 6,3 \cdot 10^{-7}$ | “ |
| quarzo | $- 9,0 \cdot 10^{-7}$ | “ |
| pirite | $+ 9,5 \cdot 10^{-6}$ | paramagnetico |
| graniti | $+ (0,65 \div 9,5) \cdot 10^{-5}$ | “ |
| basalti | $+ (0,09 \div 1,6) \cdot 10^{-4}$ | “ |
| dolomite | $+ 1,3 \cdot 10^{-4}$ | “ |
| ematiti | $+ (0,16 \div 2,4) \cdot 10^{-4}$ | “ |
| pegmatiti | $+ (0,24 \div 4,5) \cdot 10^{-4}$ | “ |
| gabbri | $+ (0,24 \div 5,7) \cdot 10^{-4}$ | “ |
| pirrotiti | $+ (0,4 \div 4,0) \cdot 10^{-2}$ | misto para-ferri. |
| ilmeniti | $+ (0,24 \div 2,4) \cdot 10^{-1}$ | “ |
| magnetite | + 0,1 | ferrimagnetico |
| nicel | + 25 | ferromagnetico |
| ferro | + 500 | “ |

Tabella 13 – Suscettività magnetica di alcune rocce e minerali.

A conferma di quanto analizzato in precedenza nella prospezione elettromagnetica V.L.F., attraverso lo studio della pseudosezione di densità di corrente elettrica (figura 75 b), viene dimostrata la presenza della faglia a circa 88 m.

3.2.4 Studio dei suoli

L'area di ricerca 2 era stata interessata da un rilievo pedologico tradizionale, realizzato, per la produzione di una carta in scala 1:10000 del Territorio Comunale di Monastir, effettuato da Vacca e Orrù (2004). Erano stati realizzati 3 profili pedologici, nominati 3, 4 e 5 ed evidenziati in rosso in figura 77. In funzione dei risultati ottenuti dalle prospezioni elettromagnetiche, effettuate nella prima fase di studio, è stato ritenuto opportuno eseguire altri 2 profili pedologici e 4 trivellate. L'intenzione era verificare se le evidenze messe in luce dalle mappe geofisiche, avessero dei riscontri nel reale contesto geo-pedologico in esame. Nella figura 77, è rappresentata, oltre alla sezione geologica, una porzione della carta pedologica di riferimento, con l'ubicazione dei nuovi profili (effettuati nell'anno 2005), nominati con le lettere G e H, posizionati rispettivamente a 171 e 186 m e delle nuove trivellate, nominate T1, T2, T3 e T4 posizionate rispettivamente a 10, 64, 80 e 92 m. Successivamente, viene riportata l'analisi foto-descrittiva dei profili pedologici effettuati nell'anno 2005 e per completezza di informazione, l'analisi foto-descrittiva dei profili pedologici effettuati da Orrù e Vacca nell'anno 2004.

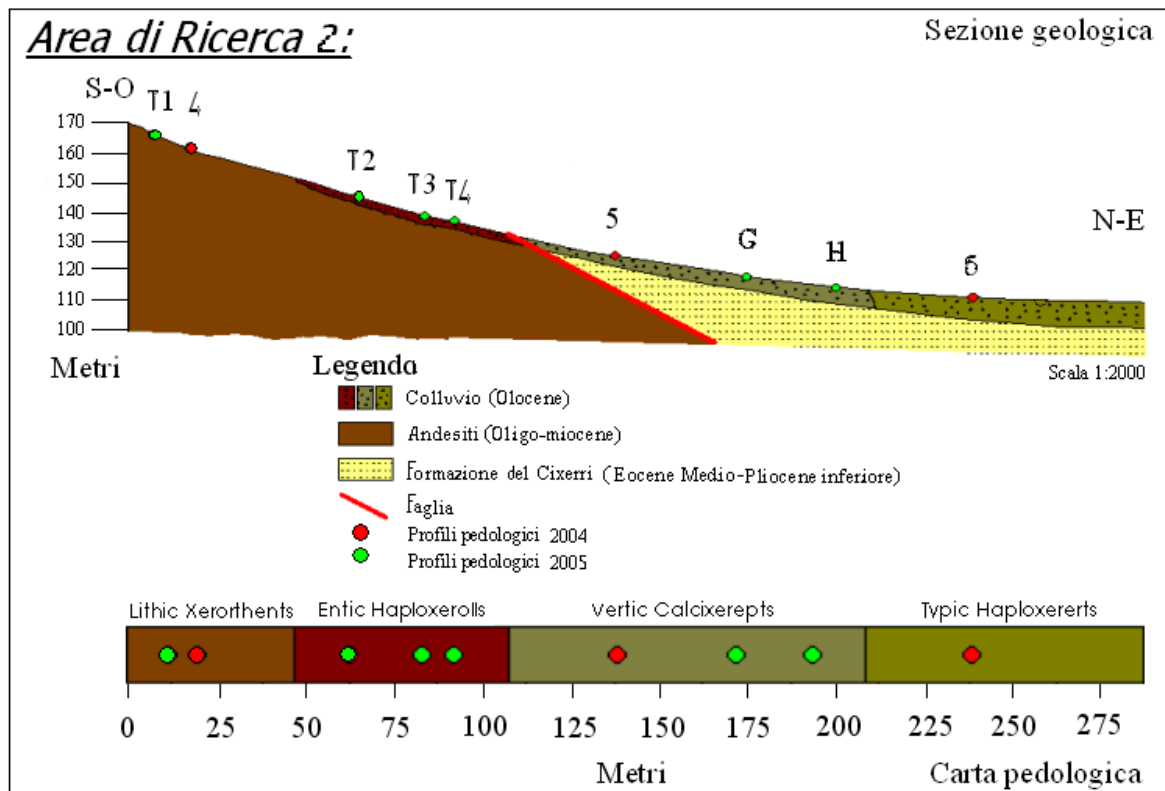


Figura 77 – Sezione geologica e porzione di carta pedologica dell'area di ricerca 2, da Orrù e Vacca (2004).

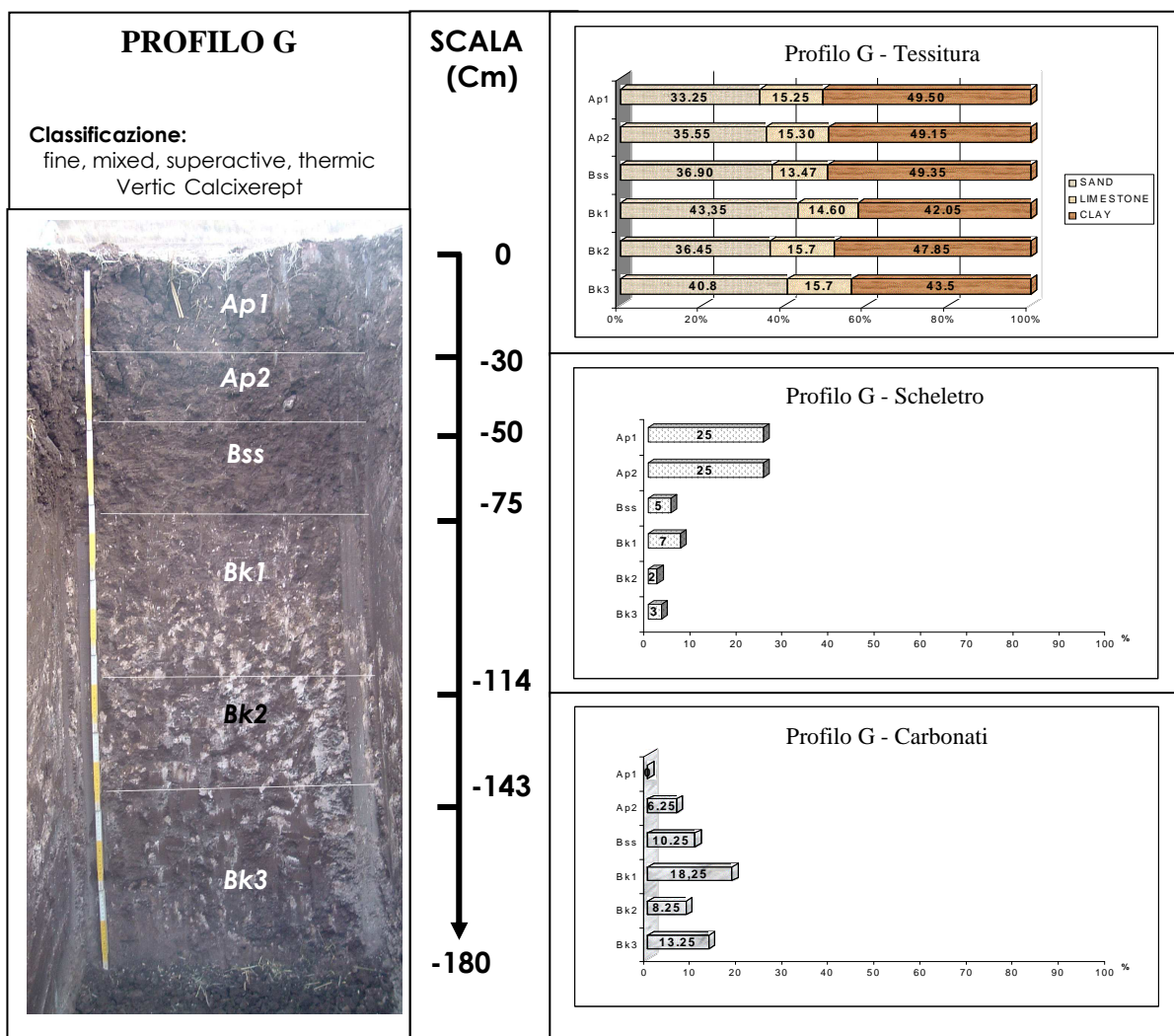


Tabella 14 – Rappresentazione foto-descrittiva del profilo G

Profilo G (Ap1- Ap2-Bss-Bk1- Bk2- Bk3)

Ap1: 0-30 cm

limite chiaro lineare; asciutto; colore da asciutto 7,5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 23% spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, forte; consistenza: da secco duro; fessurazioni: max 1,5 cm; pori abbondanti, molto piccoli, piccoli e medi; radici comuni, andamento oblique, piccole; effervescenza assente; attività biologica scarsa.

Ap2: 30-50 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7,5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 23% spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderato; consistenza: da umido resistente; fessurazioni: max 1,5 cm; pori abbondanti, molto piccoli, piccoli e medi; radici comuni, andamento oblique, piccole; effervescenza assente; attività biologica scarsa.

Bss: 50-75 cm

limite chiaro lineare; umido; colore da umido 7,5YR3/4; tessitura argillosa; scheletro 5% spigoloso, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, forte; consistenza: da umido molto resistente; facce di pressione: comuni; facce di scivolamento: comuni; pori pochi molto piccoli; radici scarse, andamento oblique, piccole; effervescenza notevole; attività biologica scarsa.

Bk1: 75-114 cm

limite graduale lineare; umido; colore da umido 7,5YR3,5/4; tessitura sabbioso-argillosa; scheletro 7% spigoloso, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido molto resistente; facce di pressione: comuni; concrezioni: 5% di carbonati, soffici e dure, irregolari, contorno netto; pori comuni, molto piccoli; radici scarse, andamento oblique, piccole; effervescenza notevole; attività biologica scarsa.

Bk2: 114-143 cm

limite graduale lineare; umido; colore da umido 7,5YR3,5/4; tessitura argillosa; scheletro 2% spigoloso, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, debole; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: abbondanti; concrezioni: 3% di carbonati, soffici e dure, irregolari, contorno netto; pori comuni, molto piccoli; radici scarse, andamento oblique, piccole; effervescenza debole; attività biologica scarsa.

Bk3: 143-180 cm

umido; colore da umido 7,5YR3,5/4; tessitura argillosa; scheletro 3% spigoloso, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e grossolana, debole; consistenza: da umido friabile; facce di pressione: abbondanti; concrezioni: 10% di

carbonati, soffici e dure, irregolari, contorno netto; pori comuni, molto piccoli; radici assenti; effervescenza molto debole; attività biologica scarsa.

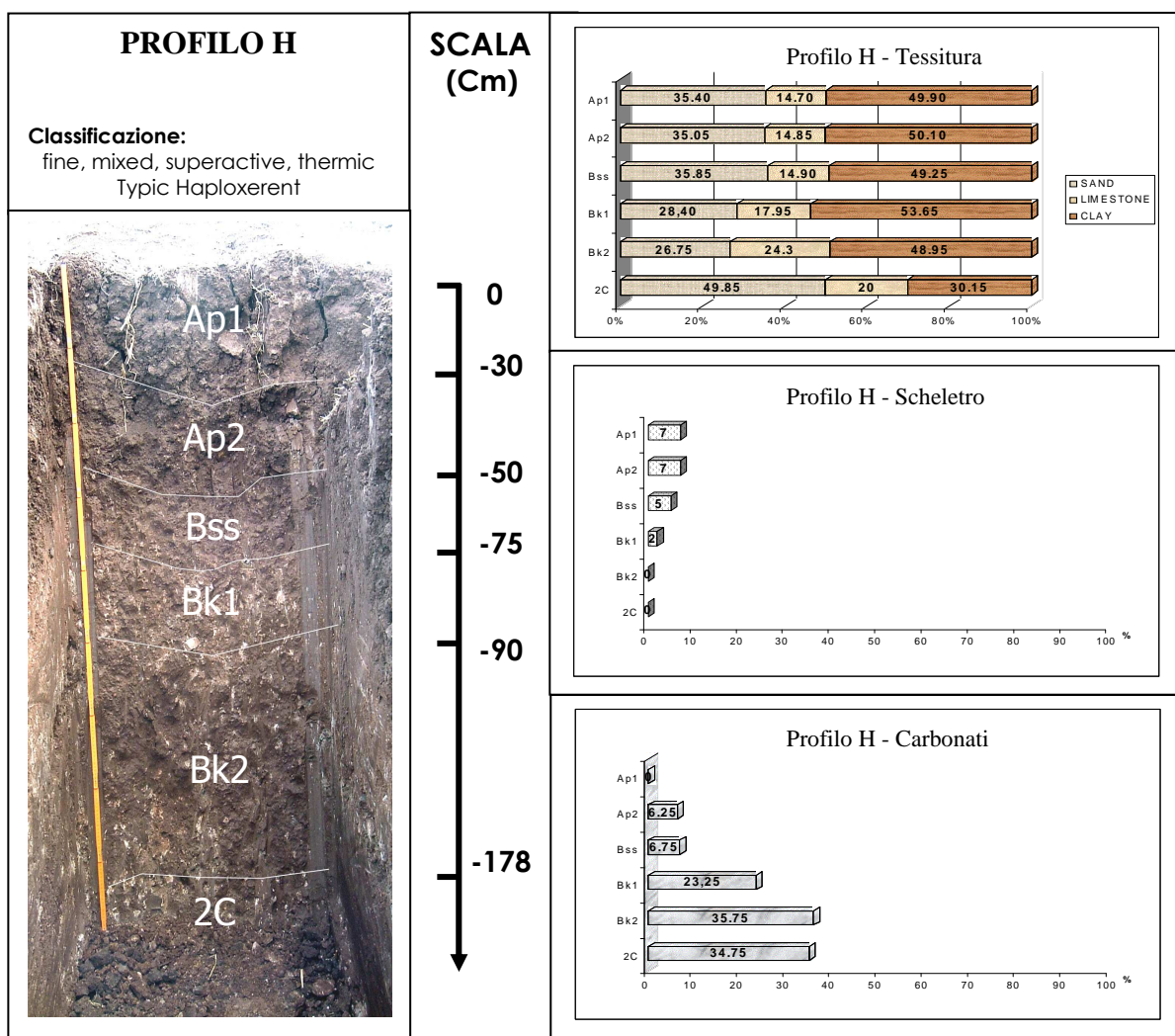


Tabella 15 – Rappresentazione foto- descrittiva del profilo H

Profilo H (Ap1- Ap2-Bss-Bk1- Bk2- 2C)

Ap1: 0-30 cm

limite chiaro lineare; asciutto; colore da asciutto 7,5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 7% spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare e prismatica, media e grossolana, forte; consistenza: da secco molto duro; fessurazioni di 0,3 cm; pori abbondanti, piccoli e medi; effervescenza assente; drenaggio normale; attività biologica media.

Ap2: 30-50 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7,5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 7% spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, fine e media, moderata; consistenza: da umido molto resistente; fessurazioni di 0,5 cm; pori abbondanti, piccoli e medi; effervescenza molto debole; drenaggio normale; attività biologica media.

Bss: 50-75 cm

limite chiaro lineare; umido; colore da umido 7,5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 7% arrotondato e spigoloso, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, fine e media, forte; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: abbondanti, dimensioni varie; facce di scivolamento: comuni; pori comuni, molto piccoli; effervescenza molto debole; drenaggio lento; attività biologica assente.

Bk1: 75-90 cm

limite graduale lineare; umido; colore da umido 7,5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 2% arrotondato, minuto, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, fine e media, moderata; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: abbondanti, dimensioni varie; concrezioni: 20% carbonatiche, soffici e dure, irregolari, contorno netto; pori comuni, molto piccoli; effervescenza molto debole; drenaggio lento; attività biologica assente.

Bk2: 90-166/178 cm

limite abrupto ondulato; umido; colore da umido 7,5YR3/3; tessitura argillosa; aggregazione: poliedrica angolare, grossolana, debole; consistenza: da umido resistente; facce di pressione: abbondanti, dimensioni varie; concrezioni: 40% carbonatiche, soffici e dure, irregolari, contorno netto; pori comuni, molto piccoli; effervescenza notevole; drenaggio lento; attività biologica assente.

2C: > 166/178 cm

umido; colore da umido 190R4/3; tessitura sabbioso-argilloso-franco; aggregazione: massiva; pori comuni, molto piccoli; radici assenti; effervescenza notevole; drenaggio lento; attività biologica assente.

Di seguito viene riportata l'analisi foto-descrittiva dei profili pedologici effettuati da Orrù e Vacca nell'anno 2004.

Profilo 4



Località: Su Pardu
Coordinate: X=1505540; Y=4358481
Quota: 155 m s.l.m.;
Pendenza: 15%;
Esposizione: 330°;
Uso del suolo: pascoli naturali
Vegetazione: spontanea
Natura della forma: versante lineare
Elemento Morfologico: alto versante
Substrato litologico: alluvione pleistocenica
Pietrosità totale: 30%
Rocciosità: assente
Erosione: assente
Drenaggio: veloce

Descrizione del profilo



A - C

A: 0-17/27 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7.5 YR 3/1, colore da asciutto 7.5 YR 3/2; tessitura franco-sabbioso-argillosa; scheletro 1-2% spigoloso, medio e minuto, alterato; aggregazione: granulare e poliedrica subangolare, fine e media, forte e moderata; consistenza: da umido friabile, da secco poco duro e duro, da bagnato poco plastico; pori comuni, molto piccoli e piccoli; radici comuni, andamento tutte le direzioni, piccole e medie; drenaggio normale; attività biologica intensa.

C: 17/27-60 cm

limite abrupto lineare; asciutto; scheletro assente; aggregazione: massiva; pori pochi, molto piccoli; radici scarse, piccole, andamento obliquo; cementazione: silice, grado litoide; drenaggio impedito; attività biologica assente.

Classificazione

loamy, mixed, superactive, thermic, shallow Entic Haploxeroll

Analisi chimico-fisiche

| Oriz. | Spessore cm | Sabbia g kg ⁻¹ | Limo g kg ⁻¹ | Argilla g kg ⁻¹ | pH | | CaCO ₃ g kg ⁻¹ | C org. g kg ⁻¹ | CSC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ac | TSB % |
|-----------|----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------|---|------------------------------|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|----------|
| | | | | | (H ₂ O) | (KCl) | | | | | | | | | |
| P1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0-17/27 | 555 | 131 | 314 | 7,9 | 7,1 | 0 | 12 | 67,7 | 44,4 | 17,9 | 0,7 | 0,7 | 4,0 | 94 |
| C | 17/27-60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Profilo 5



Località: Su Pardu
Coordinate: X=1505510; Y=4358557
Quota: 145 m s.l.m.;
Pendenza: 24%;
Esposizione: 43°;
Uso del suolo: seminativo
Vegetazione: spontanea
Natura della forma: versante lineare
Elemento Morfologico: medio versante
Substrato litologico: alluvione pleistocenica
Pietrosità totale: 10%
Rocciosità: assente
Erosione: assente
Drenaggio: veloce

Descrizione del profilo



Ap1 – Ap2 – Bw – Bk – 2C

Ap1: 0-23 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR4/3, colore da asciutto 10YR4/4; tessitura argillosa; scheletro 20% piatto, arrotondato e spigoloso, medio e grossolano, alterato; aggregazione: granulare e poliedrica subangolare, molto fine e fine, moderata; consistenza: da umido friabile, da secco poco duro, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori comuni ed abbondanti, medi; radici abbondanti, andamento oblique e verticali, piccole e medie; effervescenza notevole; drenaggio normale; attività biologica scarsa.

Ap2: 23-33 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 10YR5/3, colore da asciutto 10YR4/3; tessitura argillosa; scheletro 20% piatto, arrotondato e spigoloso, medio e grossolano, alterato; aggregazione: granulare e poliedrica subangolare, molto fine e fine, moderata; consistenza: da umido friabile, da secco duro, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori comuni ed abbondanti, medi; radici abbondanti, andamento oblique e verticali, piccole e medie; effervescenza notevole; drenaggio normale; attività biologica scarsa.

Bw: 33-46 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7.5 YR 2.5/2, colore da asciutto 7.5 YR 3/2; tessitura argillosa; scheletro 20% piatto, arrotondato e spigoloso, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica angolare e subangolare, media, moderata; consistenza: da umido friabile, da secco duro, da bagnato adesivo e plastico; pori pochi, molto piccoli; facce di pressione: comuni; radici assenti; effervescenza debole; drenaggio normale; attività biologica assente.

Bk: 46-70 cm

limite chiaro ondulato; umido; colore da umido 10YR6/3, colore da asciutto 10YR6/4; tessitura franco-argillosa; scheletro 20% piatto ed arrotondato, medio e grossolano, molto alterato; aggregazione: poliedrica angolare, media e fine, moderata; consistenza: da umido resistente, da secco duro, da bagnato adesivo e poco plastico; pori pochi, molto piccoli; radici assenti; effervescenza violenta; concrezioni: 10%, 2/mm, carbonatiche, sferiche, dure e soffici, contorno netto; drenaggio normale; attività biologica assente.

2C: 70-170 cm

limite chiaro ondulato; umido; colore da umido 7.5YR6/6, colore da asciutto 7.5YR7/6; tessitura franco-argillosa; scheletro 3% piatto, arrotondato e spigoloso, medio e grossolano, molto alterato; aggregazione: massiva; pori pochi, molto piccoli; radici assenti; effervescenza notevole; drenaggio impedito; attività biologica assente.

Classificazione

fine, mixed, superactive, thermic Vertic Calcixerept

Analisi chimico-fisiche

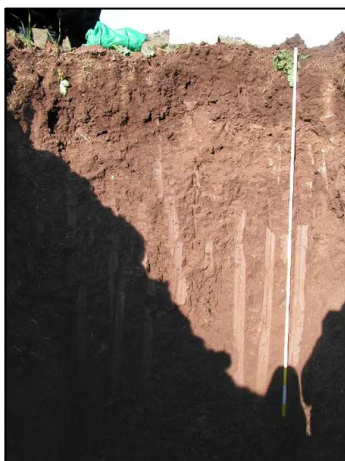
| Oriz. | Spessore cm | Sabbia g kg ⁻¹ | Limo g kg ⁻¹ | Argilla g kg ⁻¹ | pH | | CaCO ₃ g kg ⁻¹ | C org. g kg ⁻¹ | CSC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ac | TSB % |
|------------|----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------|---|------------------------------|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|----------|
| | | | | | (H ₂ O) | (KCl) | | | | | | | | | |
| P11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-23 | 339 | 235 | 426 | 8,7 | 7,5 | 227 | 7 | 56,4 | 45,8 | 5,5 | 0,1 | 0,4 | 4,6 | 92 |
| Ap2 | 23-33 | 340 | 243 | 417 | 8,6 | 7,4 | 167 | 8 | 59,2 | 48,0 | 6,6 | 0,1 | 0,4 | 4,1 | 93 |
| Bw | 33-46 | 414 | 101 | 485 | 8,6 | 7,7 | 85 | 3 | 69,8 | 47,8 | 16,9 | 0,1 | 0,7 | 4,4 | 94 |
| Bk | 46-70 | 408 | 227 | 365 | 8,6 | 7,7 | 405 | 2 | 59,9 | 47,4 | 7,9 | 0,1 | 0,4 | 4,1 | 93 |
| 2C | 70-170 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Profilo 6



Località: Su Pardu
Coordinate: X=1505692; Y=4358655
Quota: 112 m s.l.m.;
Pendenza: 1%;
Esposizione: 43°;
Uso del suolo: seminativo
Vegetazione: spontanea
Natura della forma: versante lineare
Elemento Morfologico: basso versante
Substrato litologico: alluvione pleistocenica
Pietrosità totale: 10%
Rocciosità: assente
Erosione: assente
Drenaggio: lento

Descrizione del profilo



Ap1 – Ap2 – Bss – Bw

Ap1: 0-40 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 5YR2.5/1, colore da asciutto 5YR2.5/2; tessitura argillosa; scheletro 10% piatto, arrotondato e spigoloso, medio e grossolano, alterato; aggregazione: granulare e poliedrica subangolare, fine e media, moderata; consistenza: da umido friabile e resistente, da secco duro, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori

comuni medi; radici comuni, andamento orizzontali e verticali, piccole; drenaggio normale; attività biologica media.

Ap2: 40-65 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 5YR2.5/2, colore da asciutto 5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 10% piatto, arrotondato e spigoloso, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica subangolare ed angolare, media e grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente, da secco duro, da bagnato poco adesivo e poco plastico; pori comuni medi; radici comuni, andamento orizzontali e verticali, piccole; drenaggio normale; attività biologica media.

Bss: 65-120 cm

limite abrupto lineare; umido; colore da umido 7.5YR3/1, colore da asciutto 7.5YR3/2; tessitura argillosa; scheletro 3% piatto, arrotondato e spigoloso, minuto, medio e grossolano, alterato; aggregazione: poliedrica angolare, grossolana, forte; consistenza: da umido molto resistente, da secco molto duro, da bagnato adesivo e plastico; pori pochi, molto piccoli; facce di pressione: abbondanti; facce di scivolamento: abbondanti; radici assenti; drenaggio molto lento; attività biologica media.

Bw: 120-180 cm

limite graduale lineare; umido; colore da umido 7.5YR3/1, colore da asciutto 7.5YR3/2; tessitura argillo-sabbiosa; scheletro 10% piatto, spigoloso ed arrotondato, medio e grossolano, molto alterato; aggregazione: poliedrica angolare, grossolana, moderata; consistenza: da umido resistente, da secco molto duro, da bagnato poco adesivo e plastico; pori pochi, molto piccoli; radici assenti; effervescenza debole; facce di pressione: abbondanti; ; drenaggio molto lento; attività biologica media.

Classificazione

fine, mixed, superactive, thermic Typic Haploxerert

Analisi chimico-fisiche

| Oriz. | Spessore cm | Sabbia | Limo | Argilla | pH | | CaCO ₃ | C org. | CSC | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ac | TSB % |
|-----------|----------------|--------|------|---------|--------------------|-------|-------------------|--------|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|----------|
| | | | | | (H ₂ O) | (KCl) | | | | | | | | | |
| P3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ap1 | 0-40 | 395 | 159 | 446 | 6,9 | 6,5 | 0 | 5 | 65,9 | 38,7 | 20,6 | 0,4 | 1,5 | 4,7 | 93 |
| Ap2 | 40-65 | 391 | 169 | 440 | 7,5 | 6,3 | 0 | 5 | 64,0 | 37,3 | 20,0 | 0,3 | 1,8 | 4,6 | 93 |
| Bss | 65-120 | 388 | 132 | 480 | 8,7 | 7,3 | 0 | 4 | 67,9 | 32,7 | 26,1 | 0,2 | 4,2 | 4,7 | 93 |
| Bw | 120-180 | 466 | 125 | 409 | 9,1 | 7,9 | 45 | 3 | 56,3 | 21,4 | 23,1 | 0,2 | 7,2 | 4,4 | 92 |

Di seguito vengono mostrate le tabelle di campagna di tutti gli orizzonti presenti nei profili pedologici analizzati nell'anno 2005.

| PROFILO | | G | | TESI DI DOTTORATO – Dott. G.Cuozzo | |
|----------------------------------|--|-------------------------|--|------------------------------------|--|
| PROGETTO | | PRIN 2003 | | | |
| | | FORMAZIONE GEOLOGICA | | ANDESITE | |
| COMUNE | | Monastir | | | |
| | | SUBSTRATO PEDOGENETICO | | COLLUVIO | |
| PROVINCIA | | Cagliari | | POSIZIONE FISIOGRAFICA | |
| | | | | MEDIO versante | |
| LOCALITA' | | Su Pardu | | TOPOGRAFIA DEL T. CIRCOSTANTE | |
| | | | | Collinare | |
| COORD.GEOGR. | | Latitudine n.d | | MICROTOPOGRAFIA | |
| | | Longitudine n.d | | Self mucking | |
| | | | | ORIGINE | |
| | | | | Colluviale | |
| | | | | USO DEL SUOLO | |
| RILIEVO | | 07/10/05 | | Seminativo cereali | |
| | | | | RISCHIO SOMMERSIONE | |
| RILEVATORI | | A. Vacca – G. Cuozzo | | Assente | |
| | | | | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE | |
| QUOTA (m s.l.m.) | | | | Asciutto | |
| | | | | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO | |
| ESPOSIZIONE | | 35° | | Umido | |
| | | | | VEGETAZIONE | |
| PENDENZA | | 14° | | Assente | |
| | | | | ROCCIOSITA' | |
| DRENAGGIO | | Buono | | Assente | |
| | | | | EROSIONE | |
| | | | | AGENTE | |
| | | | | Assente | |
| | | | | PIETROSITA' | |
| OSSERVAZIONI : Profilo G a 117 m | | QUANTITA' 3 % | | TIPO | |
| | | DIMENSIONI 5 cm – 10 cm | | FREQUENZA | |

| ORIZZONTE | | Ap1 | | CAMPIONE n° 29 | |
|-----------------|--|------------|--|------------------------------|--|
| SPESSORE | | 0 - 30 cm | | | |
| | | VOLUME | | 25 % | |
| LIMITE | | Chiaro | | TIPO | |
| | | | | Spigoloso | |
| | | | | DIMENSIONI | |
| ANDAMENTO | | Lineare | | 0,2 - 20 cm | |
| | | | | NATURA | |
| | | | | Andesite | |
| | | | | GRADO DI ALTERAZIONE | |
| | | | | Alterato | |
| UMIDITA' | | Asciutto | | | |
| | | | | TIPO | |
| COLORE ASCIUTTO | | 7,5 YR 3/2 | | Poliedrica angolare | |
| | | | | Media - Grossolana | |
| | | | | GRADO DI AGGREGAZIONE | |
| | | | | Forte | |
| COLORE UMIDO | | | | | |
| | | | | BAGNATO | |
| TESSITURA | | | | UMIDO | |
| | | | | SECCO | |
| | | | | Duro-molto duro | |
| DRENAGGIO | | | | | |
| | | | | QUANTITA' | |
| FESSURAZIONI | | 1,5 cm | | Comuni | |
| | | | | DIMENSIONI | |
| | | | | Molto Piccoli – Piccoli-medi | |
| | | | | QUANTITA' | |
| EFFERVESC. HCI | | Assente | | Assenti | |
| | | | | DIMENSIONI | |
| MATERIALI ORG. | | Assenti | | Piccole | |
| | | | | ANDAMENTO | |
| | | | | Oblique | |
| | | | | CEMENTAZIONE | |
| ATTIVITA BIOL. | | Scarsa | | AGENTE | |
| | | | | Assente | |
| | | | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | | | QUANTITA' | |
| | | | | Scarse | |
| | | | | AGENTE | |
| | | | | Assente | |
| | | | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Ap2 | | CAMPIONE n° 30 | |
|------------------------|------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| <i>SPESSORE</i> | | <i>30-50 cm</i> | | | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME | 25 % | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| ANDAMENTO | Lineare | DIMENSIONI | 0,2 - 20 cm | SPESSORE | |
| | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| | | TIPO | Poliedrica | | |
| COLORE ASCIUTTO | | angolare | | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | Media - | DIMENSIONI | |
| | | Grossolana | | TIPO | |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | | FORMA | |
| | | Moderato | | CONSISTENZA | |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3/2 | | | CONTORNO | |
| | | BAGNATO | | COLORE | |
| TESSITURA | | UMIDO | Resistente | | |
| | | SECCO | | | |
| DRENAGGIO | | | | | |
| | | QUANTITA' | Comuni | | |
| FESSURAZIONI | 1 cm | DIMENSIONI | Molto Piccoli - Piccoli- medi | QUANTITA' | Assenti |
| | | | | DIMENSIONI | |
| | | | | CONTRASTO | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | QUANTITA' | Comuni | COLORE | |
| | | DIMENSIONI | Piccole | CONTORNO | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Oblique | | |
| | | | | | |
| ATTIVITA BIOL. | Scarsa | QUANTITA' | Assenti | CEMENTAZIONE | |
| | | DIMENSIONI | | AGENTE | Assente |
| | | | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Scarse | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bss | | CAMPIONE n° 31 | |
|------------------------|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| <i>SPESSORE</i> | | <i>50-75 cm</i> | | | |
| LIMITE | chiaro | VOLUME | 5 % | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| ANDAMENTO | Lineare | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm | SPESSORE | |
| | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare | | |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media - Grossolana | QUANTITA' | Assenti |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato | DIMENSIONI | |
| | | | | TIPO | |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3/4 | | | FORMA | |
| | | BAGNATO | | CONSISTENZA | |
| TESSITURA | | UMIDO | Molto Resistente | CONTORNO | |
| | | SECCO | | COLORE | |
| DRENAGGIO | | | | | |
| | | QUANTITA' | Pochi | | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto Piccoli | QUANTITA' | Assenti |
| | | | | DIMENSIONI | |
| | | | | CONTRASTO | |
| EFFERVESC. HCl | notevole | QUANTITA' | Scarsi | COLORE | |
| | | DIMENSIONI | Piccole | CONTORNO | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Oblique | | |
| | | | | | |
| ATTIVITA BIOL. | Scarsa | QUANTITA' | Assenti | CEMENTAZIONE | |
| | | DIMENSIONI | | AGENTE | Assente |
| | | | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bk1 | | CAMPIONE n° 32 | |
|------------------------|------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------|
| <i>SPESSORE</i> | <i>75-114 cm</i> | | | | |
| LIMITE | graduale | VOLUME | 7 % | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| ANDAMENTO | Lineare | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm | SPESSORE | |
| | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| | | | | | |
| COLORE ASCIUTTO | | TIPO | Poliedrica angolare | QUANTITA' | 5% |
| | | DIMENSIONI | Media - Grossolana | DIMENSIONI | 2 cm |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3,3/4 | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato | TIPO | Carbonati |
| | | | | FORMA | Irregolari |
| TESSITURA | | BAGNATO | | CONSISTENZA | Dure |
| | | UMIDO | Molto Resistente | CONTORNO | Netto |
| DRENAGGIO | | SECCO | | COLORE | |
| | | | | | |
| FESSURAZIONI | Assenti | QUANTITA' | Comuni | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | Molto Piccoli | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | notevole | QUANTITA' | Scarsi | CONTRASTO | |
| | | DIMENSIONI | Piccole | COLORE | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | Oblique | CONTORNO | |
| | | | | | |
| ATTIVITA BIOL. | Scarsa | QUANTITA' | Assenti | CEMENTAZIONE | |
| | | DIMENSIONI | | AGENTE | Assente |
| OSSERVAZIONI | | | | GRADO | |
| | | | COMPATTAZIONE | | |

| ORIZZONTE | | Bk2 | | CAMPIONE n° 33 | |
|------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------|
| <i>SPESSORE</i> | <i>114-143 cm</i> | | | | |
| LIMITE | graduale | VOLUME | 2 % | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| ANDAMENTO | Lineare | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm | SPESSORE | |
| | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| | | | | | |
| COLORE ASCIUTTO | | TIPO | Poliedrica angolare | QUANTITA' | 3% |
| | | DIMENSIONI | Media - Grossolana | DIMENSIONI | 2 cm |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3,5/4 | GRADO DI AGGREGAZIONE | debole | TIPO | Carbonati |
| | | | | FORMA | Irregolari |
| TESSITURA | | BAGNATO | | CONSISTENZA | Dure |
| | | UMIDO | Resistente | CONTORNO | Netto |
| DRENAGGIO | | SECCO | | COLORE | |
| | | | | | |
| FESSURAZIONI | Assenti | QUANTITA' | Comuni | QUANTITA' | Assenti |
| | | DIMENSIONI | Molto Piccoli | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | debole | QUANTITA' | | CONTRASTO | |
| | | DIMENSIONI | | COLORE | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | | CONTORNO | |
| | | | | | |
| ATTIVITA BIOL. | Scarsa | QUANTITA' | Assenti | CEMENTAZIONE | |
| | | DIMENSIONI | | AGENTE | Assente |
| OSSERVAZIONI | | | | GRADO | |
| | | | | | |
| | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bk3 | CAMPIONE n° 34 | |
|------------------------|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| <i>SPESSORE</i> | | 143-180 cm | | |
| LIMITE | | VOLUME | 3 % | QUANTITA' Assenti |
| | | TIPO | Spigoloso | TIPO |
| | | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm | SPESSORE |
| ANDAMENTO | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' |
| | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE |
| UMIDITA' | | Umido | | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare | |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media - Grossolana | QUANTITA' 10% |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | debole | DIMENSIONI 4 cm |
| COLORE UMIDO | | 7,5 YR 3,5 | | TIPO Carbonati |
| | | BAGNATO | | FORMA Irregolari |
| TESSITURA | | UMIDO Friabile | | CONSISTENZA Dure |
| | | SECCO | | CONTORNO Netto |
| DRENAGGIO | | | | COLORE |
| | | QUANTITA' | Abbondanti | |
| FESSURAZIONI | | Assenti | | QUANTITA' Assenti |
| | | DIMENSIONI | Molto Piccoli | DIMENSIONI |
| EFFERVESC. HCl | | Molto debole | | CONTRASTO |
| | | | | COLORE |
| MATERIALI ORG. | | Assenti | | CONTORNO |
| | | | | CEMENTAZIONE |
| ATTIVITA BIOL. | | | QUANTITA' Assenti | AGENTE Assente |
| | | | DIMENSIONI | GRADO |
| OSSERVAZIONI | | | | COMPATTAZIONE |
| | | | QUANTITA' Comuni | AGENTE Assente |
| | | | DIMENSIONI | GRADO |

| PROFILO | | <i>H</i> | TESI DI DOTTORATO – Dott. G.Cuozzo | |
|--|-------------|---------------------|---|---------------------------------------|
| <i>PROGETTO</i> | | PRIN 2003 | | |
| | | | <i>FORMAZIONE GEOLOGICA</i> | ANDESITE |
| COMUNE | | Monastir | | |
| | | | SUBSTRATO PEDOGENETICO | COLLUVIO |
| PROVINCIA | | Cagliari | <i>MORFOLOGIA</i> | POSIZIONE FISIOGRAFICA MEDIO versante |
| LOCALITA' | | Su Pardu | | TOPOGRAFIA DEL T. COLLINARE |
| | | | | CIRCOSTANTE |
| COORD.GEOGR. | Latitudine | | MICROTOPOGRAFIA | Fessuraz. spinte |
| | Longitudine | | ORIGINE | Colluviale |
| | | | <i>USO DEL SUOLO</i> | Seminativo cereali |
| RILIEVO | | 07/10/05 | | |
| | | | RISCHIO SOMMERSIONE | Assente |
| RILEVATORI | | A. Vacca – G.Cuozzo | | |
| | | | CLIMA DURANTE LA DESCRIZIONE | Asciutto |
| QUOTA (m s.l.m.) | | | | |
| | | | CONDIZIONI DI UMIDITA' NEL SUOLO | Umido |
| ESPOSIZIONE | | 35° | | |
| | | | VEGETAZIONE | Assente |
| PENDENZA | | 10/11% | | |
| | | | ROCCIOSITA' | Assente |
| DRENAGGIO | | Buono | | EROSIONE |
| | | | <i>PIETROSITA'</i> | AGENTE Assente |
| <i>OSSERVAZIONI : Profilo H a 92 m</i> | | | QUANTITA' 10 % | TIPO |
| | | | DIMENSIONI max 10 cm | FREQUENZA |

| ORIZZONTE | | Ap1 | | CAMPIONE n°35 | |
|------------------------|------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|---------|
| <i>SPESSORE</i> | | <i>0 - 30 cm</i> | | | |
| LIMITE | Chiaro | VOLUME | 7 % | QUANTITA' | Assenti |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| UMIDITA' | Asciutto | DIMENSIONI | 0,2 - 20 cm | SPESSORE | |
| COLORE ASCIUTTO | 7,5 YR 3/2 | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| COLORE UMIDO | | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| TESSITURA | | TIPO | Poliedrica angolare-prismatica | | |
| DRENAGGIO | | DIMENSIONI | Media - Grossolana | QUANTITA' | Assenti |
| FESSURAZIONI | 0,3 cm | GRADO DI AGGREGAZIONE | Forte | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | Assente | BAGNATO | | TIPO | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | UMIDO | | FORMA | |
| ATTIVITA BIOL. | Media | SECCO | molto duro | CONSISTENZA | |
| OSSERVAZIONI | | QUANTITA' | Abbondanti | CONTORNO | |
| | | DIMENSIONI | Molto Piccoli - Piccoli-medi | COLORE | |
| | | QUANTITA' | | | |
| | | DIMENSIONI | | | |
| | | ANDAMENTO | | | |
| | | | | CEMENTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |
| | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Scarse | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Ap2 | | CAMPIONE n° 36 | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| <i>SPESSORE</i> | | <i>30-50 cm</i> | | | |
| LIMITE | Abrupto | VOLUME | 7 % | QUANTITA' | Assenti |
| ANDAMENTO | Lineare | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| UMIDITA' | Umido | DIMENSIONI | 0,2 - 20 cm | SPESSORE | |
| COLORE ASCIUTTO | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3/2 | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| TESSITURA | | TIPO | Poliedrica angolare | | |
| DRENAGGIO | | DIMENSIONI | Media - fine | QUANTITA' | Assenti |
| FESSURAZIONI | max 0,5 cm | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | Molto debole | BAGNATO | | TIPO | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | UMIDO | Molto Resistente | FORMA | |
| ATTIVITA BIOL. | Media | SECCO | | CONSISTENZA | |
| OSSERVAZIONI | | QUANTITA' | Abbondante | CONTORNO | |
| | | DIMENSIONI | Piccoli-medi | COLORE | |
| | | QUANTITA' | | | |
| | | DIMENSIONI | | | |
| | | ANDAMENTO | | | |
| | | | | CEMENTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Assenti | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |
| | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Scarse | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bss | | CAMPIONE n° 37 | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| <i>SPESSORE</i> | | <i>50-75 cm</i> | | | |
| LIMITE | chiaro | VOLUME | 5 % | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | Spigol-Arroton | TIPO | |
| ANDAMENTO | Lineare | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm | SPESSORE | |
| | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare | | |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media - Grossolana | QUANTITA' | Assenti |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato | DIMENSIONI | |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3/4 | | | TIPO | |
| | | BAGNATO | | FORMA | |
| TESSITURA | | UMIDO | Resistente | CONSISTENZA | |
| | | SECCO | | CONTORNO | |
| DRENAGGIO | | | | COLORE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto Piccoli | QUANTITA' | Assenti |
| | | | | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | Molto debole | QUANTITA' | | CONTRASTO | |
| | | DIMENSIONI | | COLORE | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | | CONTORNO | |
| | | | | CEMENTAZIONE | |
| ATTIVITA BIOL. | | QUANTITA' | Assenti | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bk1 | | CAMPIONE n° 38 | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------|
| <i>SPESSORE</i> | | <i>75-90 cm</i> | | | |
| LIMITE | | VOLUME | 2 % | QUANTITA' | Assenti |
| | | TIPO | Spigoloso | TIPO | |
| ANDAMENTO | Lineare | DIMENSIONI | 0,2 - 5 cm | SPESSORE | |
| | | NATURA | Andesite | CONTINUITA' | |
| UMIDITA' | Umido | GRADO DI ALTERAZIONE | Alterato | LOCALIZZAZIONE | |
| | | TIPO | Poliedrica angolare | | |
| COLORE ASCIUTTO | | DIMENSIONI | Media - Fine | QUANTITA' | 20% |
| | | GRADO DI AGGREGAZIONE | Moderato | DIMENSIONI | varie |
| COLORE UMIDO | 7,5 YR 3/2 | | | TIPO | carbonati |
| | | BAGNATO | | FORMA | irregolari |
| TESSITURA | | UMIDO | Resistente | CONSISTENZA | dure |
| | | SECCO | | CONTORNO | netto |
| DRENAGGIO | | | | COLORE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | | |
| FESSURAZIONI | Assenti | DIMENSIONI | Molto Piccoli | QUANTITA' | Assenti |
| | | | | DIMENSIONI | |
| EFFERVESC. HCl | Molto debole | QUANTITA' | | CONTRASTO | |
| | | DIMENSIONI | | COLORE | |
| MATERIALI ORG. | Assenti | ANDAMENTO | | CONTORNO | |
| | | | | CEMENTAZIONE | |
| ATTIVITA BIOL. | | QUANTITA' | Assenti | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |
| OSSERVAZIONI | | | | COMPATTAZIONE | |
| | | QUANTITA' | Comuni | AGENTE | Assente |
| | | DIMENSIONI | | GRADO | |

| ORIZZONTE | | Bk2 | CAMPIONE n° 39 | |
|------------------------|--|----------------------|------------------------------|----------------------|
| <i>SPESSORE</i> | | 90-166/178 cm | | |
| LIMITE | | Abrupto | VOLUME | QUANTITA' Assenti |
| ANDAMENTO | | Ondulato | TIPO | TIPO |
| UMIDITA' | | Umido | DIMENSIONI | SPESSORE |
| COLORE ASCIUTTO | | | NATURA | CONTINUITA' |
| COLORE UMIDO | | 10 YR 3/3 | GRADO DI ALTERAZIONE | LOCALIZZAZIONE |
| TESSITURA | | | TIPO Poliedrica angolare | |
| DRENAGGIO | | Lento | DIMENSIONI Grossolana | QUANTITA' 40% |
| FESSURAZIONI | | Assenti | GRADO DI AGGREGAZIONE Debole | DIMENSIONI varie |
| EFFERVESC. HCl | | Notevole | BAGNATO | TIPO carbonati |
| MATERIALI ORG. | | Assenti | UMIDO Resistente | FORMA irregolari |
| ATTIVITA BIOL. | | | SECCO | CONSISTENZA dure |
| OSSERVAZIONI | | | | CONTORNO netto |
| | | | QUANTITA' Comuni | COLORE |
| | | | DIMENSIONI Molto Piccoli | |
| | | | | CEMENTAZIONE |
| | | | QUANTITA' Assenti | AGENTE Assente |
| | | | DIMENSIONI | GRADO |
| | | | | COMPATTAZIONE |
| | | | QUANTITA' Comuni | AGENTE Assente |
| | | | DIMENSIONI | GRADO |

| ORIZZONTE | | 2C | CAMPIONE n° 40 | |
|------------------------|--|-----------------|--------------------------|----------------------|
| <i>SPESSORE</i> | | 178 cm → | | |
| LIMITE | | Abrupto | VOLUME | QUANTITA' Assenti |
| ANDAMENTO | | Ondulato | TIPO | TIPO |
| UMIDITA' | | Umido | DIMENSIONI | SPESSORE |
| COLORE ASCIUTTO | | | NATURA | CONTINUITA' |
| COLORE UMIDO | | 10 YR 4/3 | GRADO DI ALTERAZIONE | LOCALIZZAZIONE |
| TESSITURA | | | TIPO Massiva | |
| DRENAGGIO | | Lento | DIMENSIONI | QUANTITA' |
| FESSURAZIONI | | Assenti | GRADO DI AGGREGAZIONE | DIMENSIONI |
| EFFERVESC. HCl | | Notevole | BAGNATO | TIPO |
| MATERIALI ORG. | | Assenti | UMIDO Friabile | FORMA |
| ATTIVITA BIOL. | | | SECCO | CONSISTENZA |
| OSSERVAZIONI | | | | CONTORNO |
| | | | QUANTITA' Comuni | COLORE |
| | | | DIMENSIONI Molto Piccoli | |
| | | | | CEMENTAZIONE |
| | | | QUANTITA' Assenti | AGENTE Assente |
| | | | DIMENSIONI | GRADO |
| | | | | COMPATTAZIONE |
| | | | QUANTITA' Comuni | AGENTE Assente |
| | | | DIMENSIONI | GRADO |

3.3 Analisi spettrale con metodo FFT (Fast Fourier Transform) delle frequenze (V.L.F.) delle serie di valori osservati della componente in fase e della componente in quadratura

Fondamenti teorici della Trasformata di Fourier

Una delle aree di applicazione più importanti per le tecniche di processing dei segnali digitali è il calcolo della trasformata di Fourier dei segnali a tempo continuo.

Se $x(t)$ è una funzione continua definita su \mathbb{R} e sommabile, allora è ben definita la sua trasformata di Fourier :

$$x(t) \longleftrightarrow X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{i2\pi ft} dt$$

L'operatore matematico trasformata di Fourier consente di passare, per qualunque segnale continuo $x(t)$, dal dominio del tempo al dominio della frequenza (frequenza spettrale o di Fourier appunto) ottenendo lo spettro di ampiezza del segnale medesimo. Con l'avvento di calcolatori più evoluti e grazie al sempre maggiore impiego di segnali campionati (dunque discreti nel tempo e con una rappresentazione numerica dell' ampiezza) è divenuto di grande interesse pratico un particolare algoritmo di calcolo detto FFT (Fast Fourier Transform). L'algoritmo FFT viene normalmente attribuito a Cooley e Tukey (1965) ma di fatto venne scoperto e usato da Gauss nel XIX secolo (Heideman et al., 1984). La FFT, consente di calcolare rapidamente la trasformata di Fourier discreta (DFT) di un insieme N di campioni del segnale. Essa è di grande importanza per una varietà di applicazioni, dall'elaborazione di segnali digitali alla soluzione di equazioni differenziali alle derivate parziali agli algoritmi per moltiplicare numeri di grandi dimensioni. La trasformata di Fourier per punti, sarà dunque, un nuovo vettore $X_i(f)$, nel dominio delle frequenze che rappresenta (simbolo \longleftrightarrow) lo spettro d' ampiezza del segnale, $X_i(f)$.

$$X_k(f) \longleftrightarrow X_i(f) = \text{FFT} \{x_i(t)\} \quad \text{con } i= 1, 2, \dots, N, \text{ e } k= 1, 2, \dots, N+1$$

Se per il segnale campionato, l'asse dei tempi si estende da 0 a T con passo T_c , l'asse delle frequenze spettrali si estenderà da $-f_{Nyquist}$ a $+f_{Nyquist}$ con passo $\Delta f=1/T$. Dunque la risoluzione spettrale (distanza in frequenza tra 2 campioni adiacenti) dipende inversamente dal tempo di osservazione T. Per avere una buona risoluzione in frequenza (Δf piccolo) dovremo osservare il segnale $x(T)$ per un tempo di osservazione T abbastanza lungo. Inoltre la frequenza di Nyquist, ossia la massima frequenza spettrale ricostruibile da un segnale campionato con frequenza di campionamento f_c è pari a $f_{Nyquist} = f_c/2$. Pertanto la massima frequenza spettrale osservabile dipende direttamente dalla frequenza di campionamento f_c e inversamente dall'intervallo di campionamento T_c . Per osservare lo spettro del segnale su un ampio intervallo di frequenza (da $-f_{Nyquist}$ a $+f_{Nyquist}$), bisogna utilizzare una frequenza di campionamento f_c sufficientemente elevata o corrispondente ad un intervallo di campionamento T_c sufficientemente breve.

Algoritmi di calcolo

La trasformazione dei valori di una serie digitale in uno spettro di frequenza richiede, da parte dei calcolatori elettronici, lo svolgimento di un gran numero di operazioni aritmetiche al secondo. Le sole moltiplicazioni occorrenti per trasformare N campionamenti in N/2 frequenze sono N^2 , e poiché si è visto che per ottenere una buona definizione occorre un N molto elevato, il tempo richiesto per svolgere queste operazioni può costituire un limite alle applicazioni pratiche. Un notevole miglioramento del tempo di calcolo, può essere ottenuto applicando l'algoritmo FFT in alternativa a quello utilizzato normalmente chiamato DFT. Il metodo FFT elimina la ripetizione di moltiplicazioni ridondanti, rendendo più rapida l'esecuzione dei calcoli. Si deve evidenziare che l'FFT non è un'approssimazione, ma dà esattamente gli stessi risultati della DFT, eseguendo però solamente $(N/2) \cdot \log_2(N)$ moltiplicazioni. Il vantaggio è tanto maggiore quanto maggiore è N, e, precisamente, il rapporto fra numero di moltiplicazioni richieste con la FFT rispetto a quelle richieste dalla DFT è $(\log_2(N)) / (2 \cdot N)$. L'unico accorgimento della metodologia FFT che si deve rispettare è il numero di campionamenti N che deve sempre essere un'esatta potenza di 2. Se non si ha a disposizione un numero di dati che soddisfi questo vincolo, si può eseguire una "Decimazione in fine", aggiungendo degli zeri ai dati a disposizione, fino ad ottenere la potenza di 2 più vicina.

Dal punto di vista matematico, la FFT consiste nella scomposizione di un fenomeno periodico nelle sue componenti sinusoidali armoniche. Questo procedimento considera una funzione periodica come somma di sinusoidi, ciascuna delle quali possiede una ben determinata frequenza, ampiezza e fase (Teorema di Fourier). Da quest'insieme di sinusoidi (e dalle loro frequenze e ampiezze o potenze) si ricostruisce lo spettro di frequenza del segnale in esame.

Dal punto di vista acustico, una funzione periodica, può benissimo essere vista come un banco di filtri che suddivide l'intera gamma delle frequenze in tante bande quanti sono i dati diviso 2. Applicando la FFT a 128 dati, equivale a suddividere il campo frequenziale in 64 bande. Si può quindi considerare la FFT come un sistema che misura l'energia contenuta in ognuna di queste bande. Il principale parametro di controllo della FFT è la sua risoluzione, che è determinata dal numero di campioni (dati) su cui viene effettuata. In questo lavoro di ricerca, lo scopo del calcolo della stima della potenza dello spettro di una serie di dati digitali (dati elettromagnetici V.L.F.) viene effettuato per ottenere informazioni sul contenuto spettrale del segnale elettromagnetico, il cui potere diagnostico era stato già accertato nel corso di precedenti studi (Fais & Mosetti, 1982). Nell'ambito della presente ricerca, l'analisi in frequenza dei segnali elettromagnetici V.L.F. ha avuto l'obiettivo di migliorare l'individuazione e la caratterizzazione delle diverse unità geopedologiche la cui natura e composizione influenza il contenuto spettrale dei segnali in studio.

Trattamento dei dati

Le serie digitali dei valori osservati della componente in fase e quadratura relativi ai profili elettromagnetici V.L.F., realizzati in ambedue le aree di ricerca, sono stati processati attraverso un software messo a punto nel laboratorio di geofisica del Di.Gi.TA (Dipartimento di GeolIngegneria e Tecnologie Ambientali dell'Università di Cagliari). Detto software, scritto in linguaggio Fortran 90, permette di applicare ai dati il procedimento noto come FFT (Fast Fourier Transform). Il programma consente di calcolare numerosi parametri, tra cui: la Frequenza, il Periodo, l'Ampiezza, la Potenza e la Fase delle diverse componenti del segnale analizzato. Di seguito verranno descritti tutti i grafici messi a punto per l'analisi spettrale nelle due rispettive aree di ricerca .

Analisi dei dati

Area di ricerca 1, località "Miceddu", Monastir (Ca).

L'area di ricerca 1, caratterizzata dalle alluvioni terrazzate Pleistoceniche, è stata suddivisa in 3 unità pedologiche, in seguito all'individuazione dei limiti pedologici realizzati grazie all'analisi delle numerose prospezioni geofisiche nell'area. Da 0 a circa 60 m abbiamo un'unità contraddistinta da alluvioni risalenti al periodo del Pleistocene medio, da 60 m circa a 250 m affiora la formazione del Cixerri dell'Eocene Medio - Pleistocene Inferiore, da 250 m a 300 m è presente un'unità pedologica riferibile al Pleistocene Inferiore.

Come già ricordato in precedenza, l'applicazione della metodica FFT, impone che il numero di campionamenti N deve sempre essere un'esatta potenza di 2. Per questo motivo è stato scelto un N uguale a 128 dati (2⁷).

La prima serie di 128 dati digitali, processati mediante la tecnica FFT, inizia da 44 m e termina a 300 m, (ricordiamo che la prospezione V.L.F. era stata effettuata con il rilievo del dato ogni 2 m) ed è relativa alla prima (*Fine, mixed, superactive, thermic Aquic Haploxeralf*), alla seconda (*Fine, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralf*) e parzialmente alla terza unità pedologica (*Clayey-skeletal, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralf*) (figura 78).

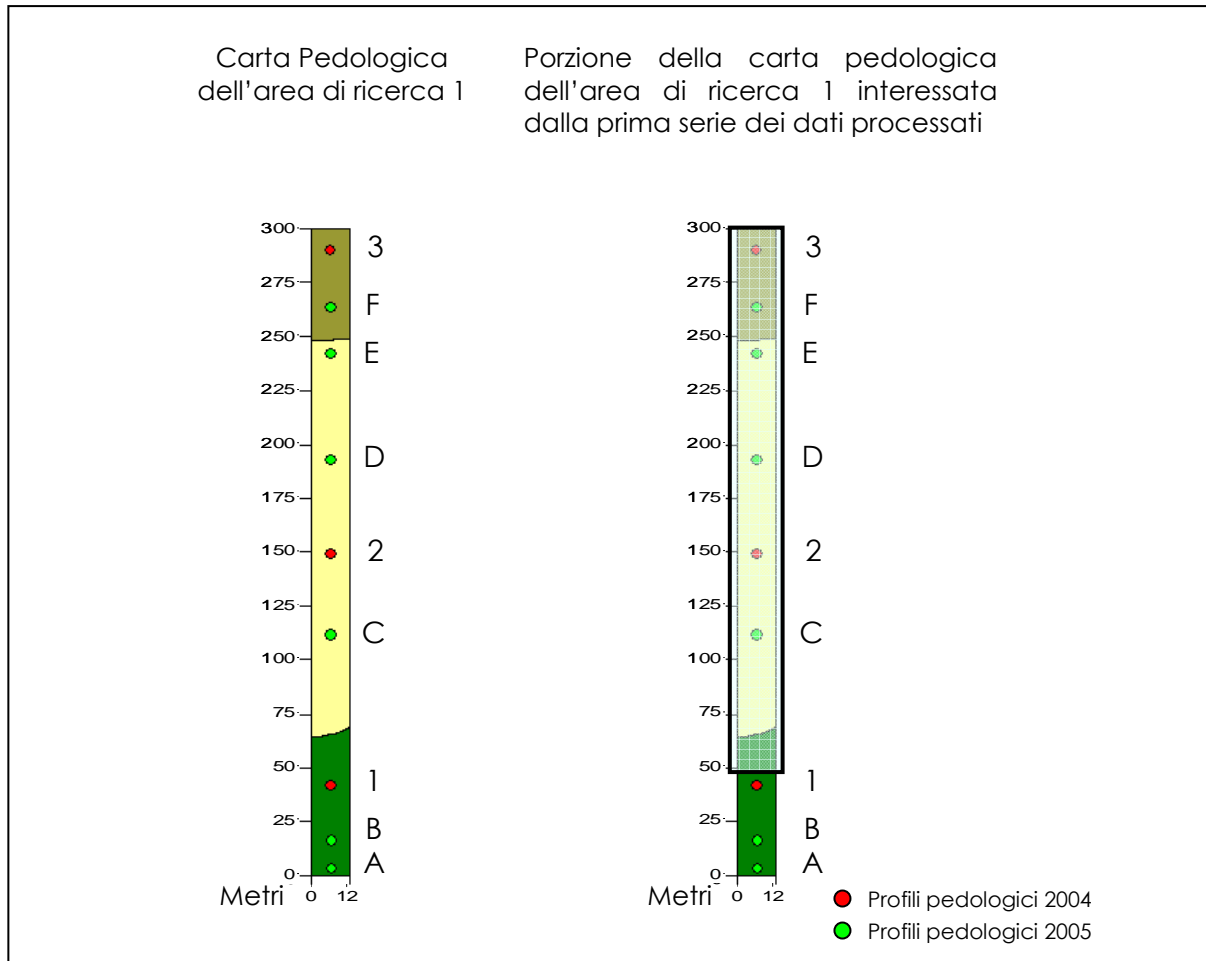


Figura 78 – Zone interessate dalla prima serie di dati processati, area di ricerca 1

Attraverso l'interazione dei parametri: Frequenza, Ampiezza e Potenza, è stato possibile ricavare, per ogni profilo geofisico V.L.F. (4 in tutto) 64 grafici riassunti in tabella 16, che rappresentano il contenuto in frequenza dei segnali analizzati.

| Area di studio 1 1° Serie di 128 dati Da 44 m a 300 m | Dati Osservati Fase | Dati Osservati Quadratura | Dati filtrati Fraser Fase | Dati filtrati Fraser Quadratura |
|---|---|---|---|---|
| Profilo 1 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 2 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 3 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 4 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |

Tabella 16 – Tabella riassuntiva dei grafici degli spettri di frequenza effettuati per la 1°serie di 128 dati, nell'area di ricerca 1.

La seconda serie di 128 dati processati mediante la tecnica FFT, inizia da 76 m e termina a 202 m (figura 79).

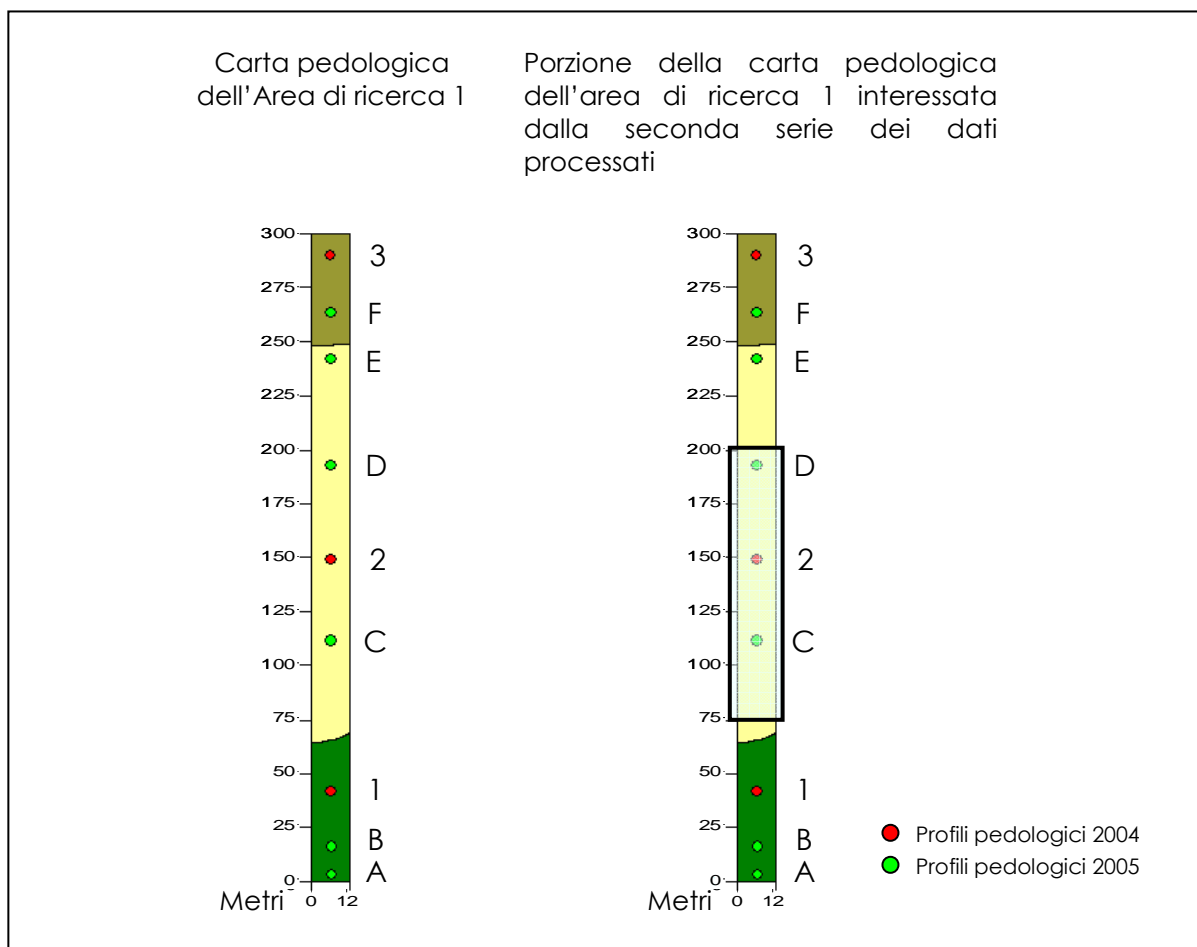


Figura 79 - Zone interessate dalla seconda serie di dati processati, area di ricerca 1

La seconda serie di dati digitali, è interamente relativa alla seconda unità pedologica. Sono stati eseguiti 64 grafici (riassunti in tabella 17) che rappresentano gli spettri di frequenza.

| Area di studio 1 2° Serie di 128 dati Da 76 m a 202 m | Dati Osservati Fase | Dati Osservati Quadratura | Dati filtrati Fraser Fase | Dati filtrati Fraser Quadratura |
|---|---|---|---|---|
| Profilo 1 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 2 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 3 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 4 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |

Tabella 17 – Tabella riassuntiva dei grafici degli spettri di frequenza effettuati per la 2°serie di 128 dati, nell'area di ricerca 1.

La terza serie di 128 dati digitali processati, inizia da 250 m e termina a 378 m, ed è relativa alla terza unità pedologica (figura 80). Anche in questo caso si sono ricavati 64 grafici (riassunti in tabella 18) che rappresentano gli spettri di frequenza,.

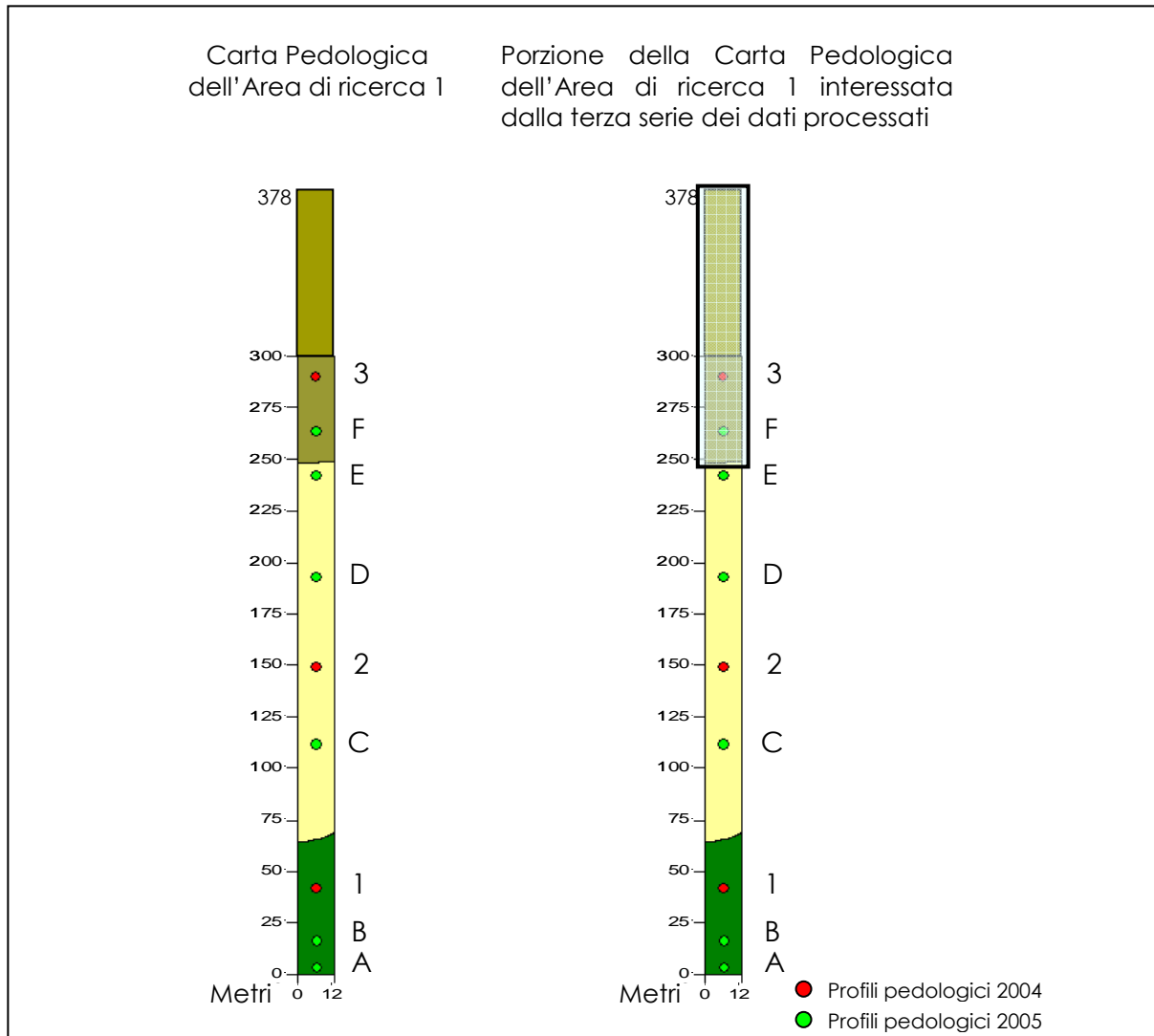


Figura 80 - Zone interessate dalla terza serie di dati processati, area di ricerca 1

| Area di studio 1 3° Serie di 128 dati Da 250 m a 378 m | Dati Osservati Fase | Dati Osservati Quadratura | Dati filtrati Fraser Fase | Dati filtrati Fraser Quadratura |
|--|---|---|---|---|
| Profilo 1 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 2 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 3 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 4 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |

Tabella 18 – Tabella riassuntiva dei grafici degli spettri di frequenza effettuati per la 3°serie di 128 dati, nell'area di ricerca 1.

In totale, per l'area di ricerca 1 sono stati eseguiti 192 spettri di frequenza.

Area di ricerca 2, località "Su Pardu", Monastir (Ca).

L'area di ricerca 2, caratterizzata dal complesso vulcanico Oligo-Miocenico, è stata suddivisa in 4 unità, in seguito all'individuazione dei limiti pedologici realizzati grazie all'analisi delle numerose prospezioni geofisiche nell'area. Nell'unità che si sviluppa da 0 a 20 m, talvolta sono presenti suoli poco spessi associati ad affioramenti di rocce andesitiche (*Lithic xerorthent*). Da 20 a 88 m è presente un'unità pedologica caratterizzata da modesti spessori (*Loamy, mixed, superactive, thermic, shallow Entic Haploxeroll*) e infine da 88 ad 288 m sono presenti 2 unità, una che sfuma nell'altra (*Fine, mixed, superactive, thermic Vertic Calcixerapt* su *Fine, mixed, superactive, thermic Typic Haploxerent*).

Dette unità, sono contraddistinte da materiale vulcanico formatosi per degradazione delle sommità del complesso calcoalcalino Oligo-Miocenico che si è poi posizionato sul versante ricoprendo con spessori differenti l'unità geologica del Cixerri.

La prima serie di 128 dati digitali processati con la metodica FFT inizia da 0 m e termina a 88 m (figura 81).

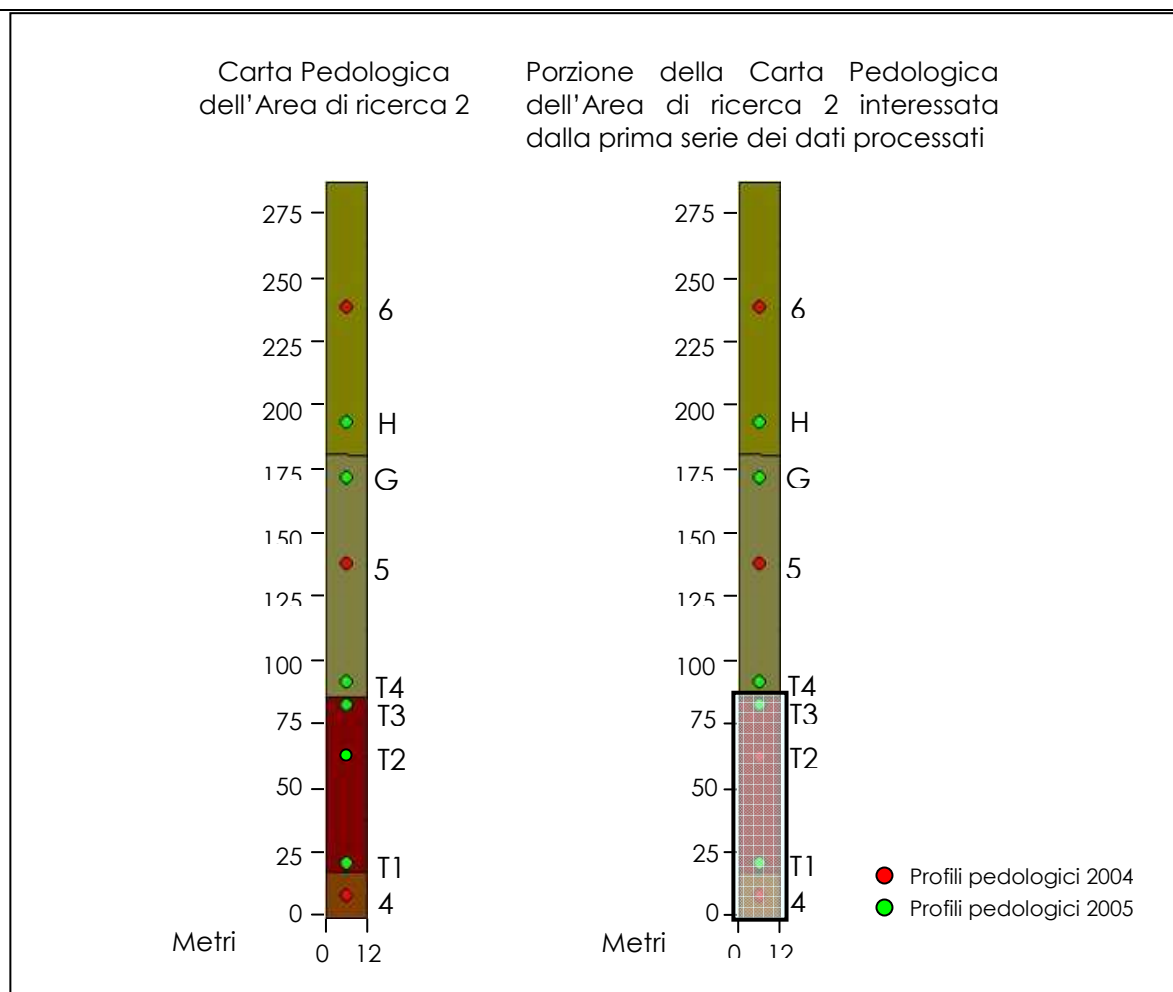


Figura 81 - Zone interessate dalla prima serie di dati processati, area di ricerca 2

Anche per l'area di ricerca 2, la prospezione V.L.F. era stata effettuata con il rilievo del dato ogni 2 m. Per questa prima serie di dati, relativa alla prima unità pedologica e ad una parte della seconda, sono stati ricavati, 64 grafici (riassunti in tabella 19) rappresentanti gli spettri di frequenza.

| Area di studio 2 | Dati Osservati | Dati Osservati | Dati filtrati Fraser | Dati filtrati Fraser |
|----------------------|---|---|---|---|
| 1° Serie di 128 dati | Fase | Quadratura | Fase | Quadratura |
| Da 0 m a 88 m | | | | |
| Profilo 1 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 2 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 3 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 4 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |

Tabella 19 – Tabella riassuntiva dei grafici degli spettri di frequenza effettuati per la 1°serie di 128 dati, nell'area di ricerca 2.

La seconda serie di 128 dati processati sempre mediante la tecnica FFT inizia da 160 m e termina a 288 m (figura 82).

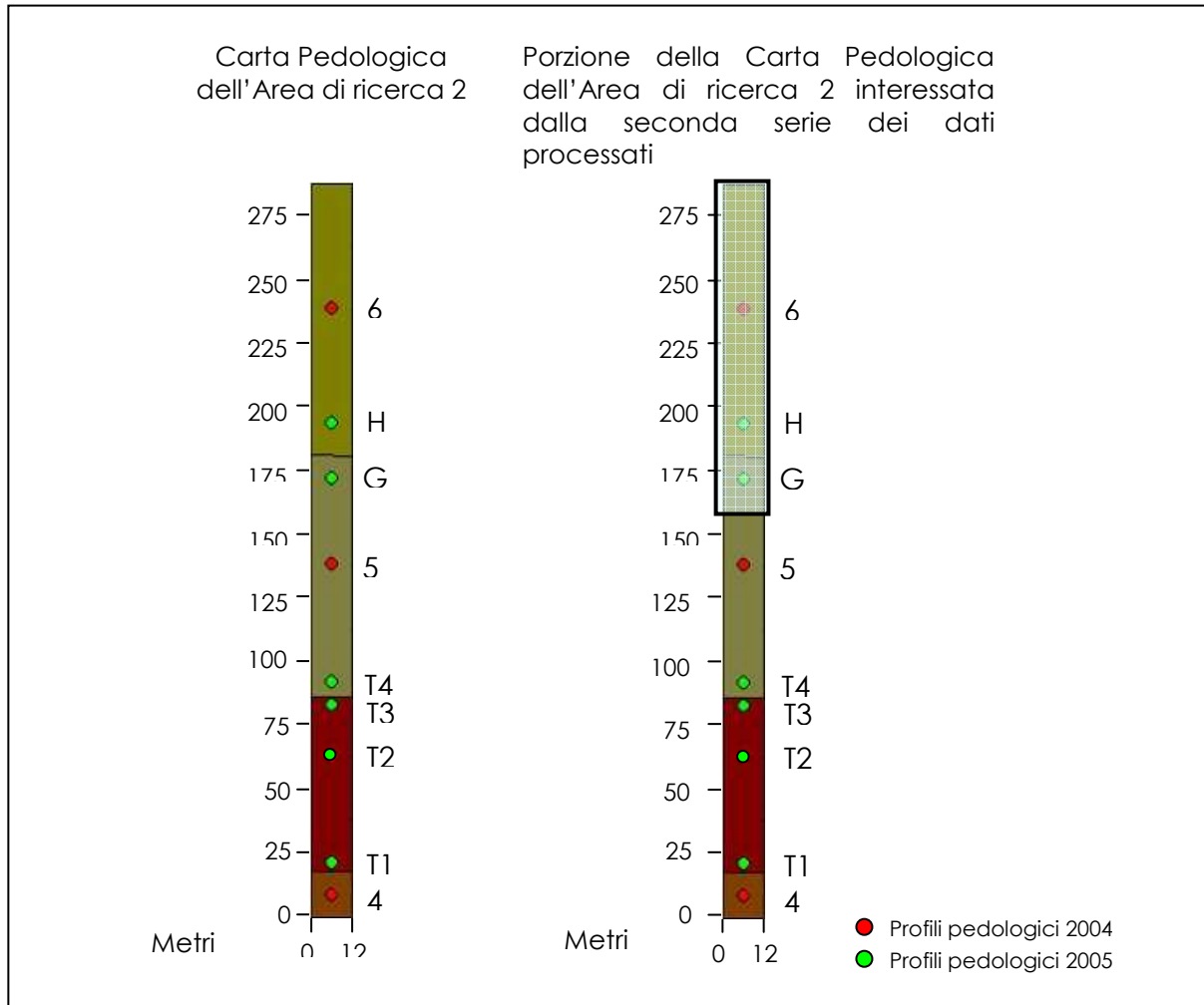


Figura 82 – Zone interessate dalla seconda serie di dati processati, area di ricerca 2

Anche questa seconda serie di dati, è stato possibile ricavare, per ogni profilo geofisico V.L.F., 64 grafici (riassunti in tabella 20) rappresentanti gli spettri di frequenza.

| Area di studio 2 2° Serie di 128 dati Da 160 m a 288 m | Dati Osservati Fase | Dati Osservati Quadratura | Dati filtrati Fraser Fase | Dati filtrati Fraser Quadratura |
|--|---|---|---|---|
| Profilo 1 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 2 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 3 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |
| Profilo 4 | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza | Ampiezza - Frequenza Potenza - Frequenza |

Tabella 20 – Tabella riassuntiva dei grafici degli spettri di frequenza effettuati per la 2°serie di 128 dati, nell'area di ricerca 2.

Per l'area di ricerca 2 sono stati realizzati 128 spettri di frequenza. In ambedue le aree di ricerca sono stati effettuati un totale di 320 spettri di ampiezza e potenza.

Analisi spettrale delle serie spaziali dei dati E.M. - V.L.F.

Le serie dei valori osservati delle componenti in fase e in quadratura del campo e.m. sono state trattate, oltre che con i menzionati metodi classici di filtraggio, tipici dell'analisi dei dati elettromagnetici V.L.F., anche con metodi di elaborazione numerica basati sull'uso dell'analisi spettrale (Fais e Mosetti, 1982). Lo spettro di ampiezza e/o di potenza di un segnale geofisico rivela l'energia associata alle diverse frequenze che costituiscono la struttura della serie in analisi, consentendo di valutare, in modo oggettivo, la qualità ed il contenuto di informazioni dei segnali stessi. L'analisi spettrale delle serie dei dati delle componenti in fase e in quadratura, è stata effettuata utilizzando l'algoritmo della Fast Fourier Transform (FFT) (Oppenheim e Schafer, 1975) ed un software appositamente predisposto dal laboratorio di geofisica del Dipartimento di Geingegneria e Tecnologie Ambientali dell'Università di Cagliari. Al fine di valutare la risposta dei terreni in studio alla sollecitazione di natura elettromagnetica ed il potere discriminante della composizione spettrale dei segnali elettromagnetici, per ogni profilo sono state isolate serie di dati provenienti dalle zone con diverse caratteristiche elettriche, messe in evidenza sia nelle mappe dei valori filtrati (Fraser, 1969) sia, più in dettaglio, dalle pseudosezioni di densità di corrente (Karous e Hjelt, 1983; Ogilvy e Lee, 1991) (Rif. Par. 3.1.1 e 3.2.1). Le serie sottoposte all'analisi erano costituite da 128 valori delle componenti del campo e.m.,

acquisiti con passo di campionatura di un metro, sufficiente ad evitare fenomeni di *aliasing* nello spettro. L'analisi spettrale è stata effettuata sia sui valori osservati, sia sui valori precedentemente trattati con tecniche di filtraggio lineare (Fraser, 1969). L'applicazione di tali tecniche di filtraggio ai valori osservati contribuisce, in modo significativo, a migliorare la qualità dei risultati dell'analisi spettrale e ne rende più facile l'interpretazione. Gli spettri di potenza, ottenuti dalle diverse serie di valori filtrati, mostrano che la composizione spettrale dei segnali elettromagnetici, relativi a profili acquisiti nella stessa area, varia notevolmente in base alle caratteristiche elettriche dei terreni.

Di seguito vengono riportati gli spettri di frequenza, in funzione della densità spettrale di potenza e della frequenza c/m (cicli al metro), rispettivamente dell'area 1 e dell'area 2.

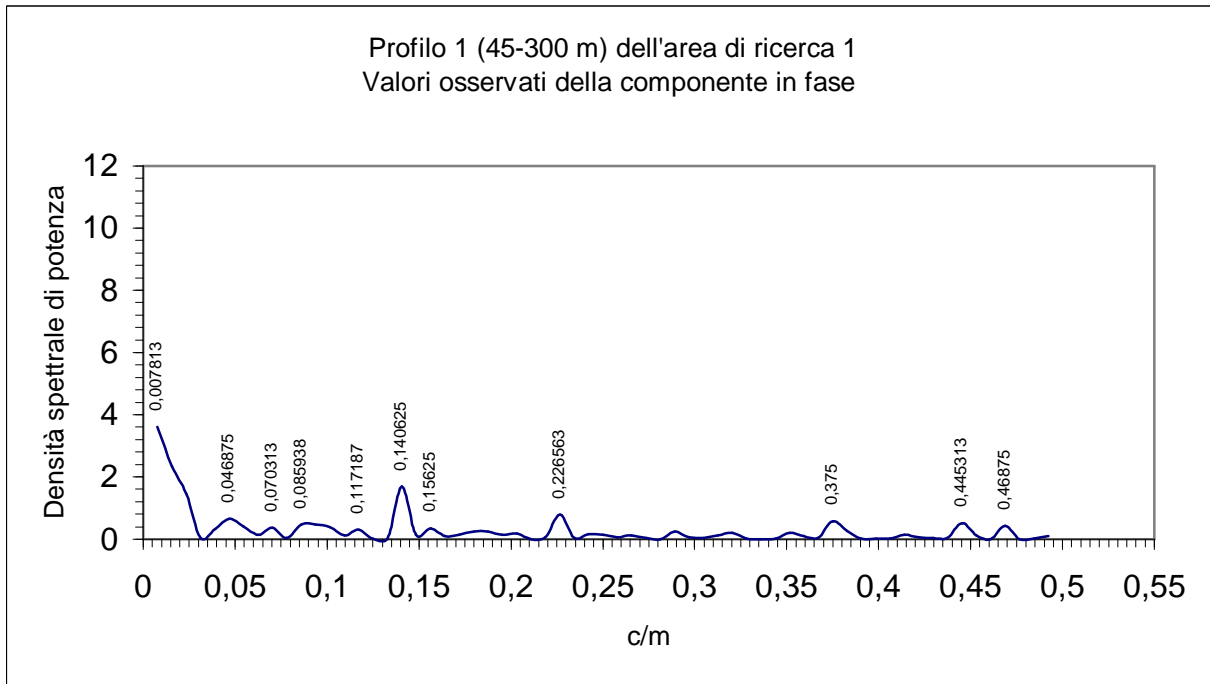


Figura 83 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 1.

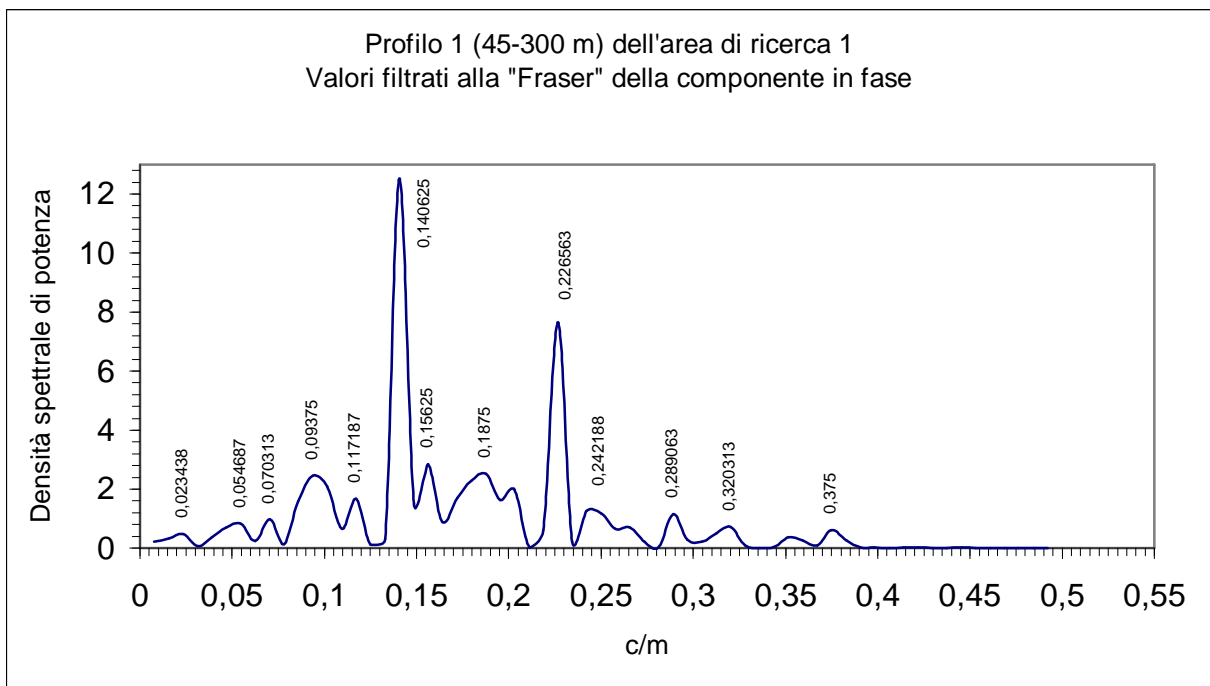


Figura 84 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 1.

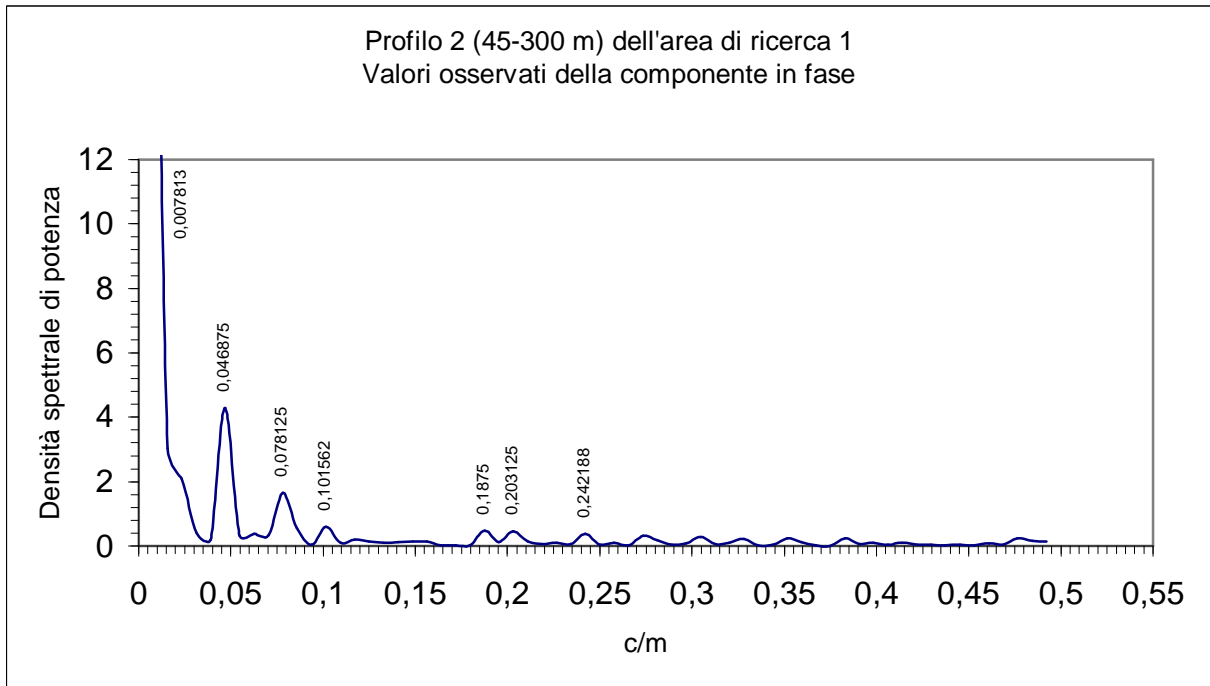


Figura 85 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 1.

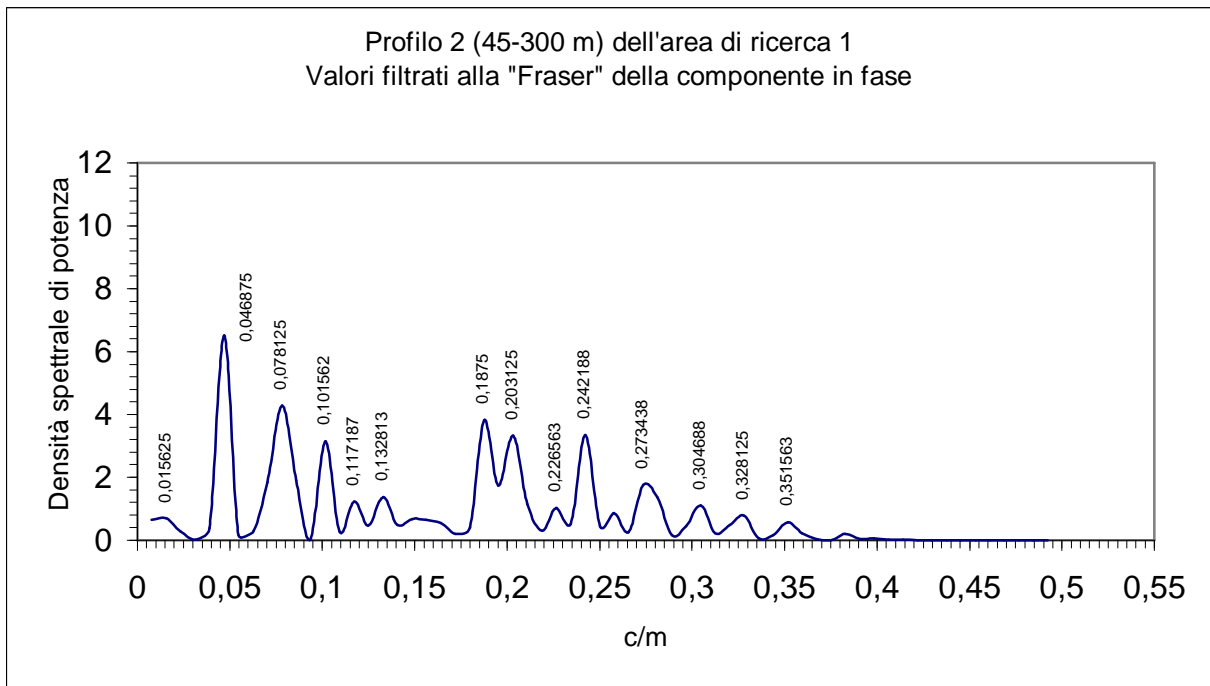


Figura 86 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 1.

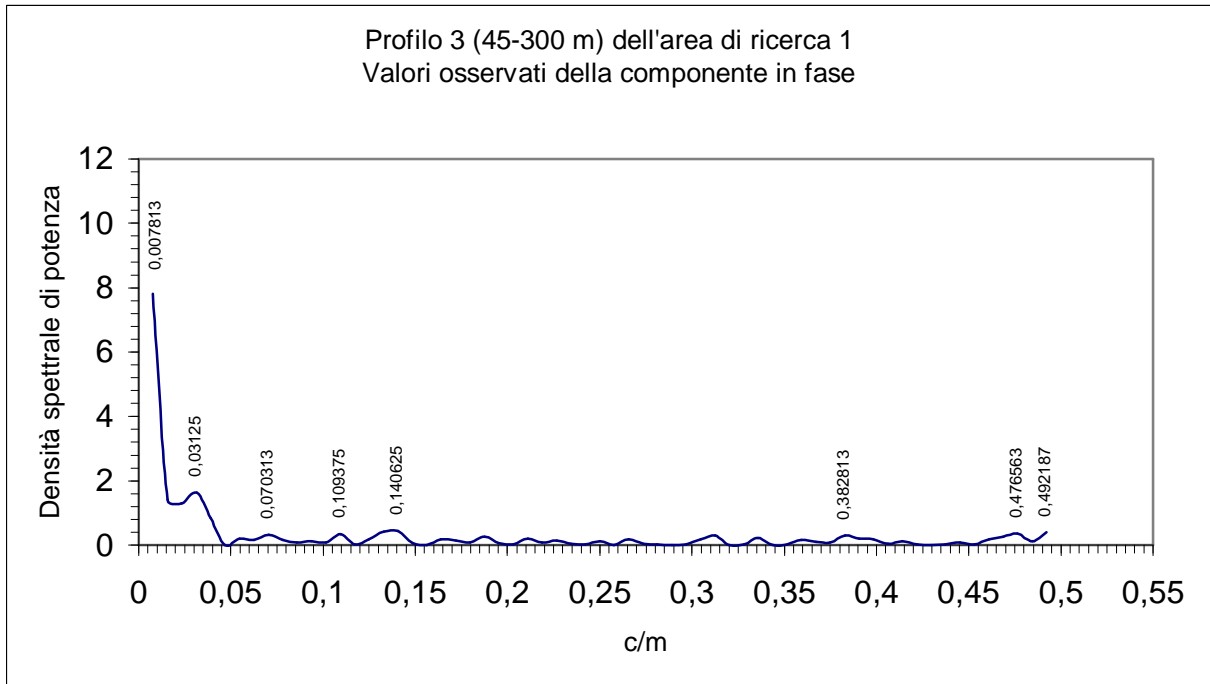


Figura 87 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 1.

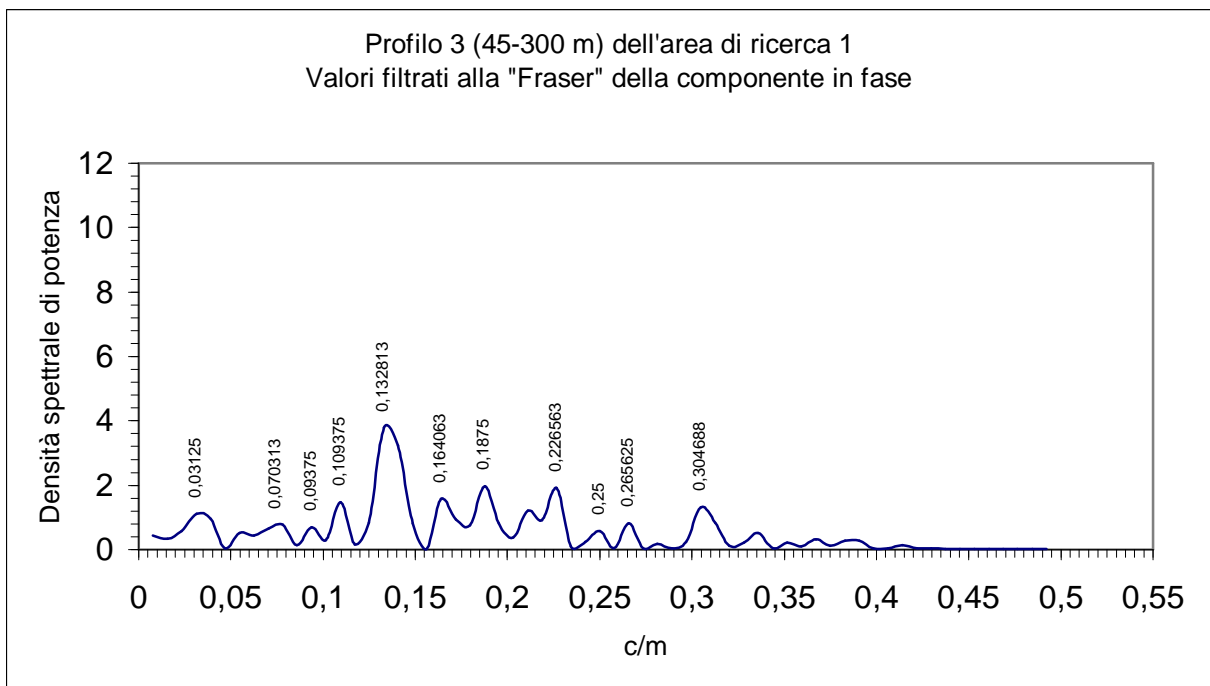


Figura 88 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 1.

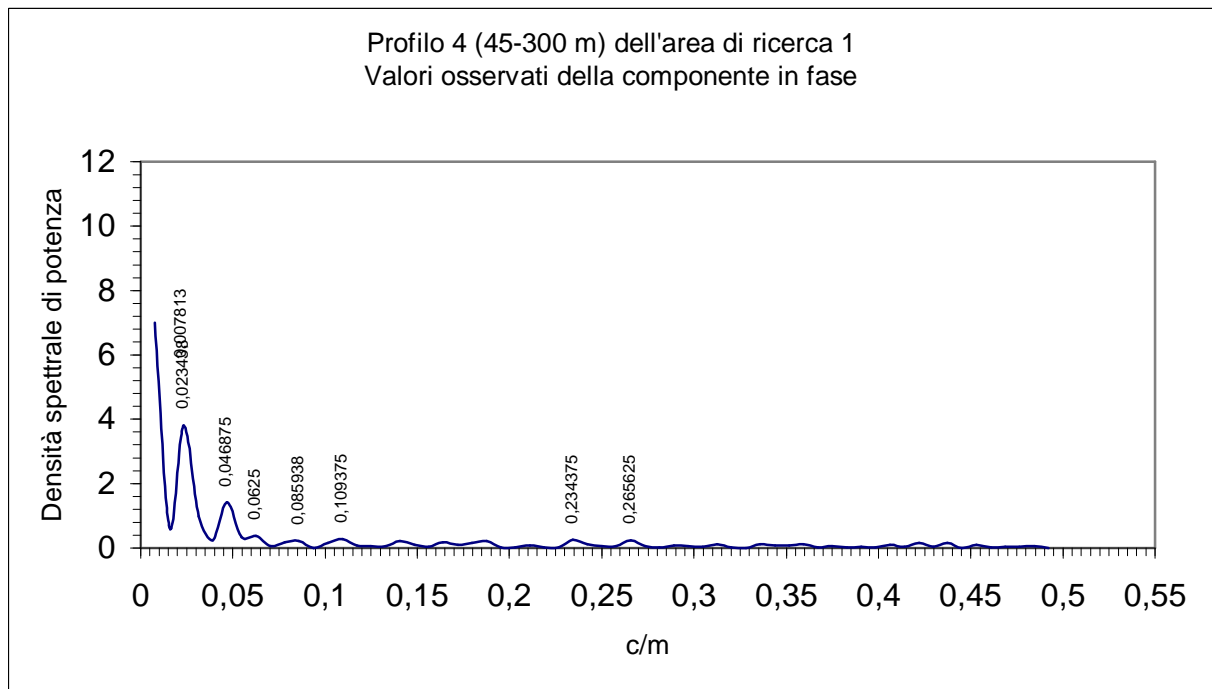


Figura 89 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

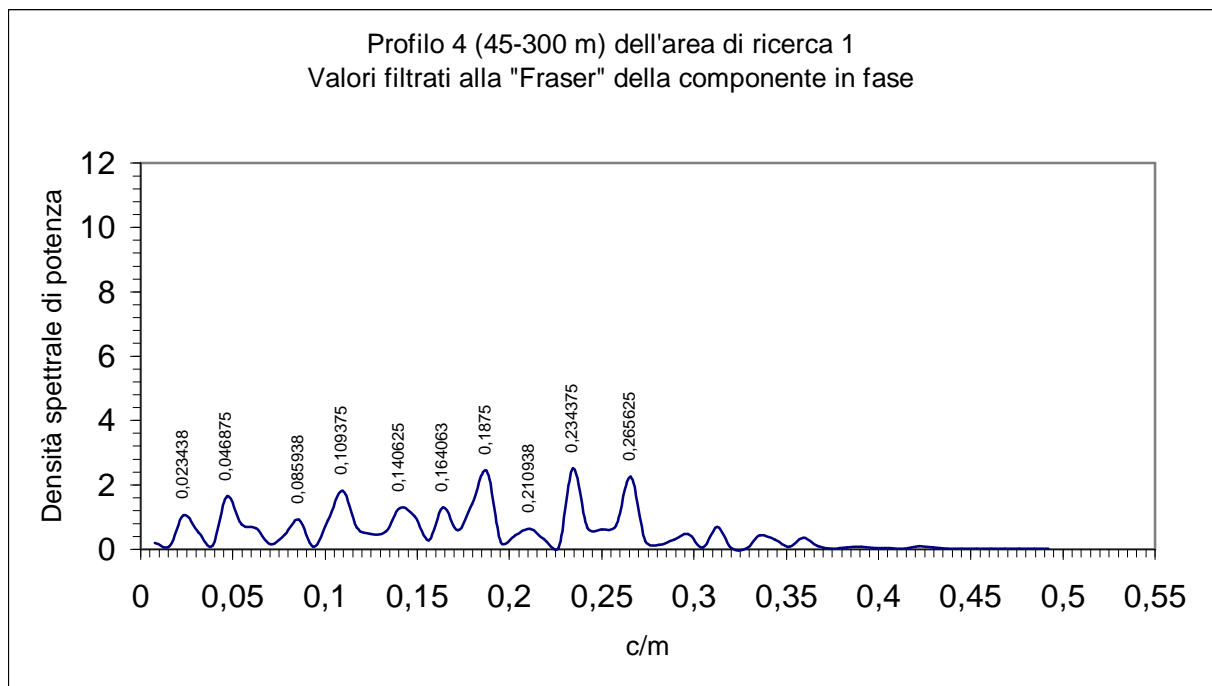


Figura 90 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

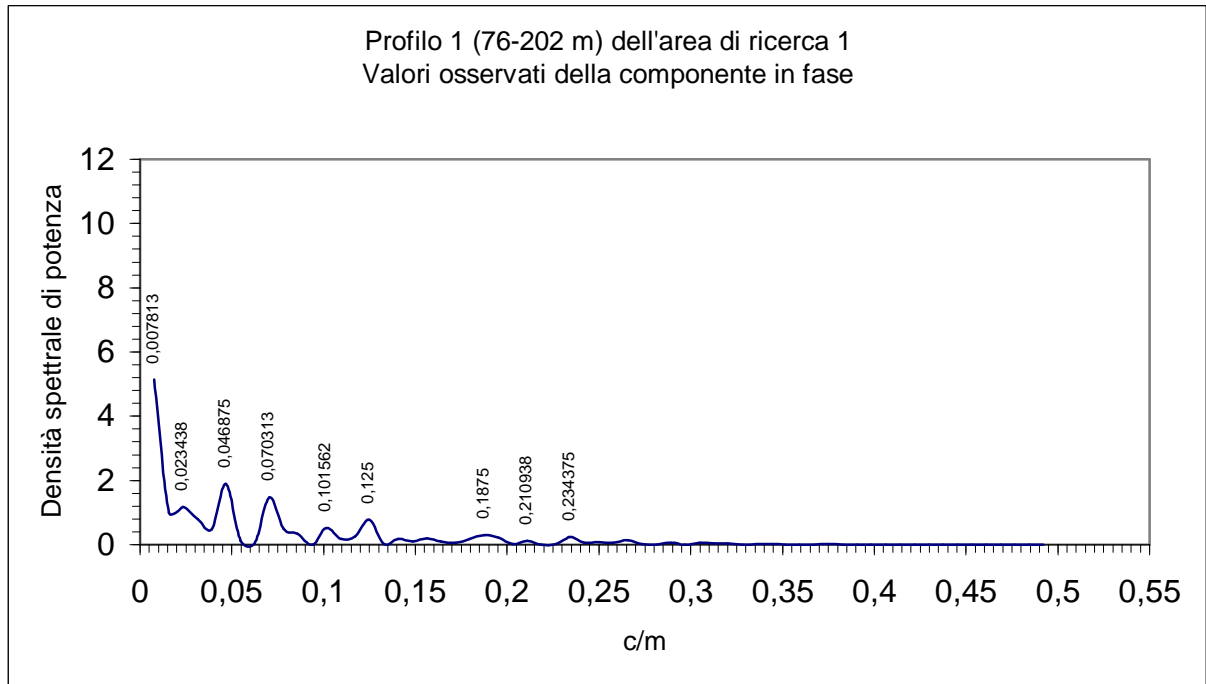


Figura 91 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 1.

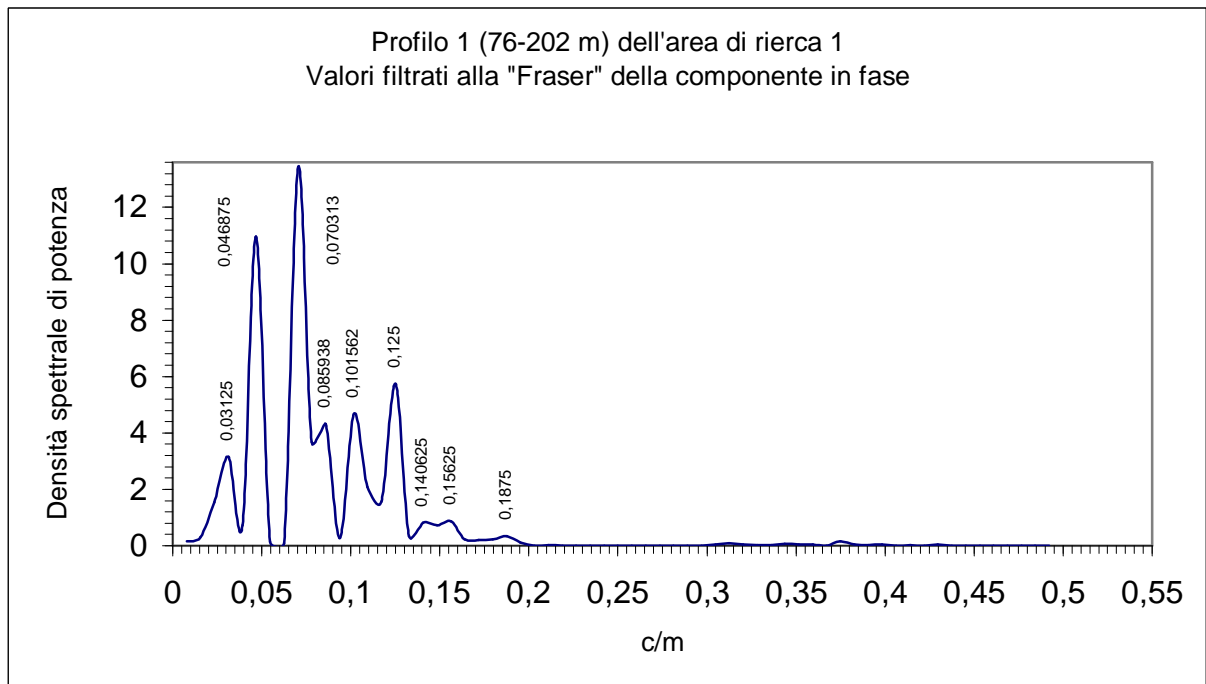


Figura 92 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 1.

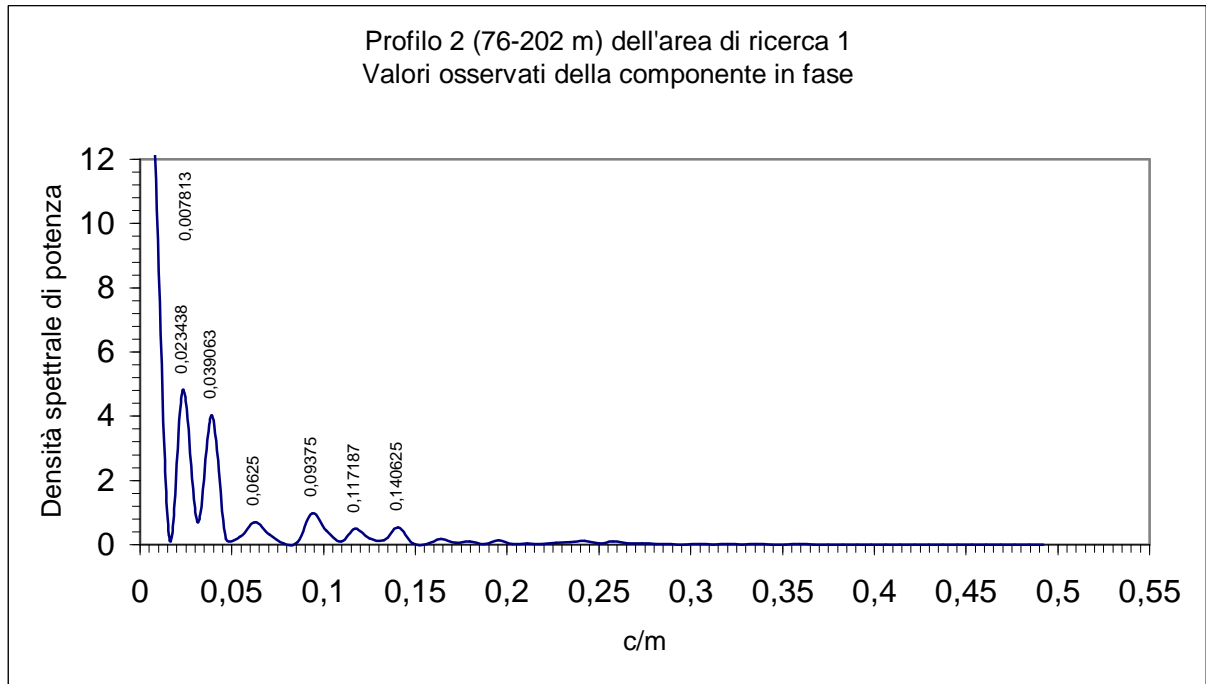


Figura 93 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei osservati della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 1.

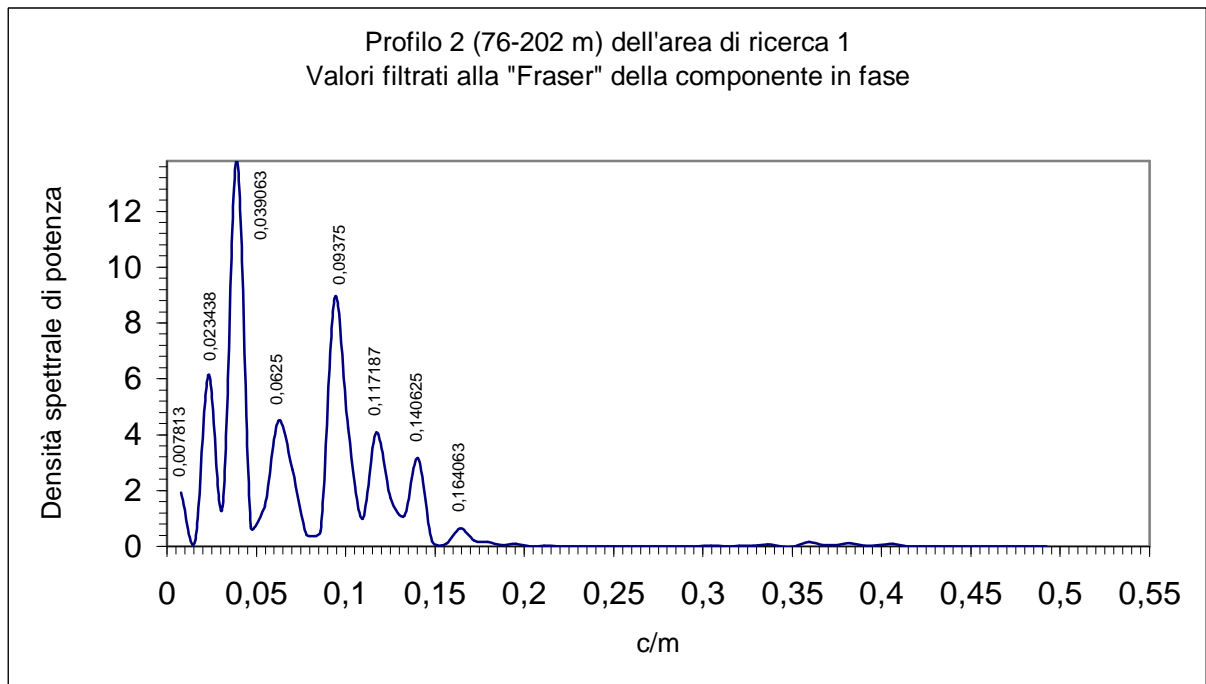


Figura 94 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 1.

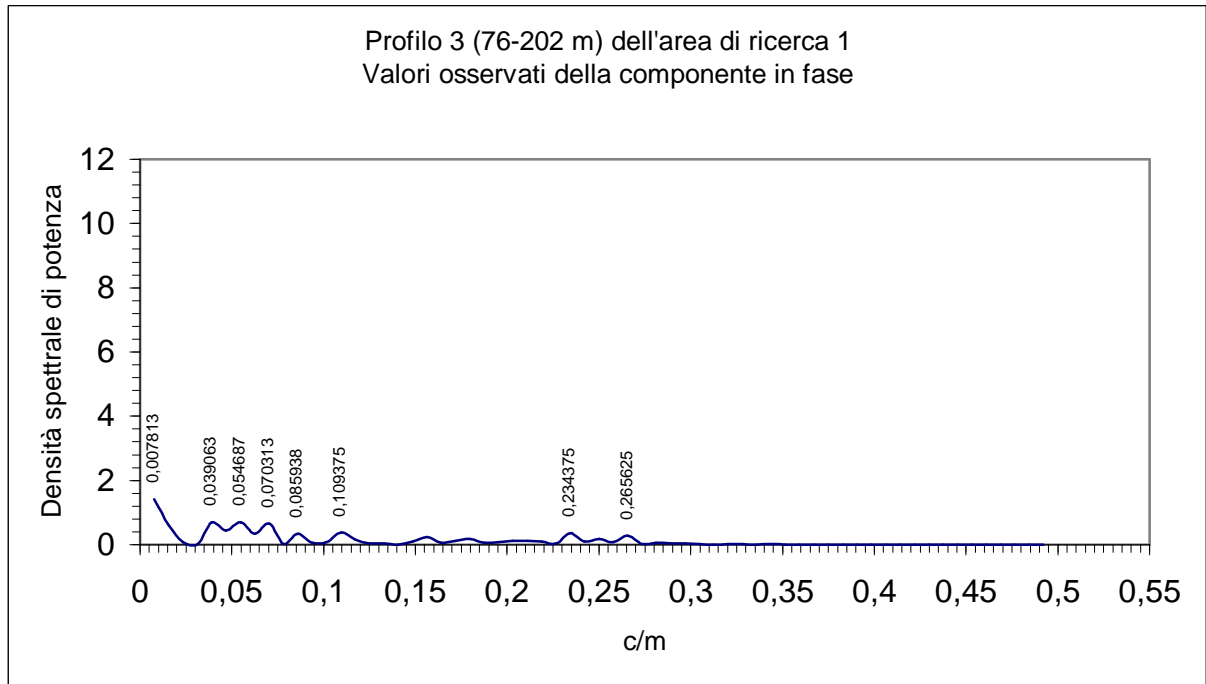


Figura 95 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 1.

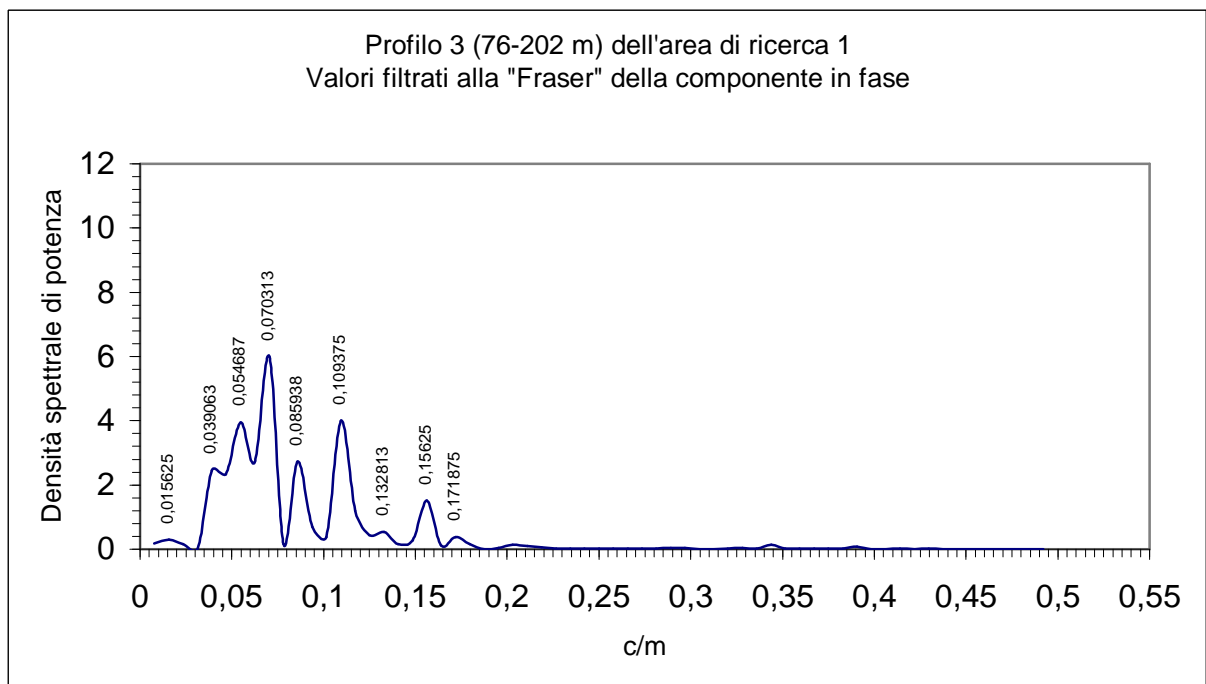


Figura 96 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 1.

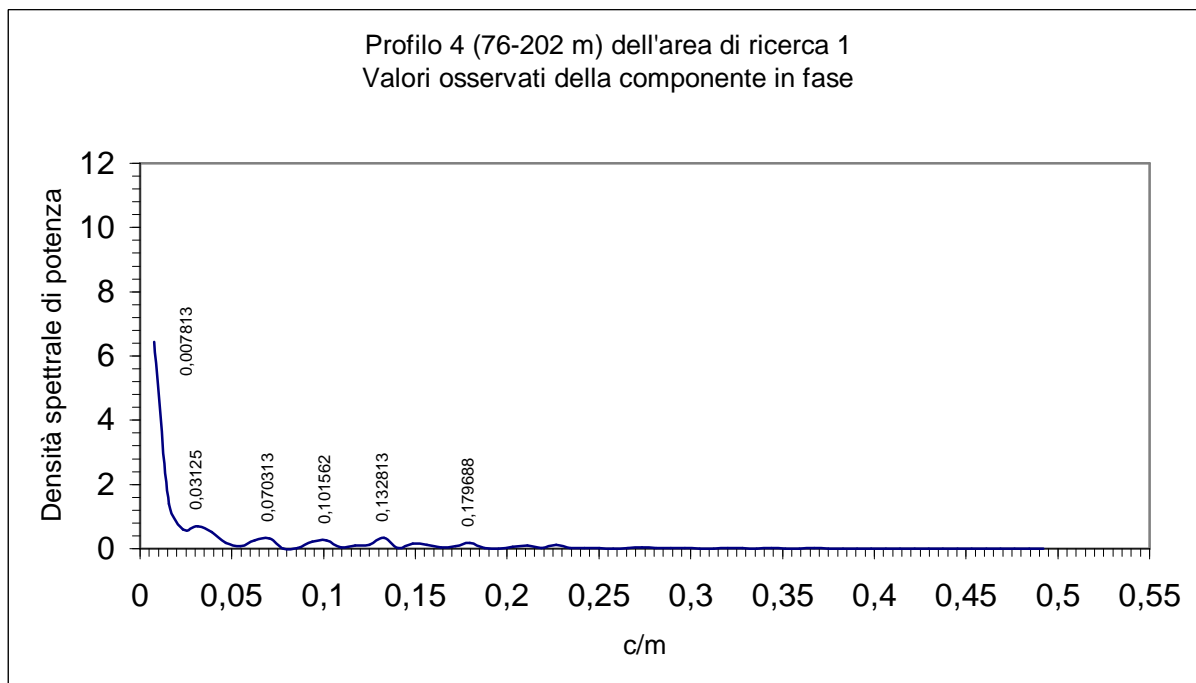


Figura 97 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

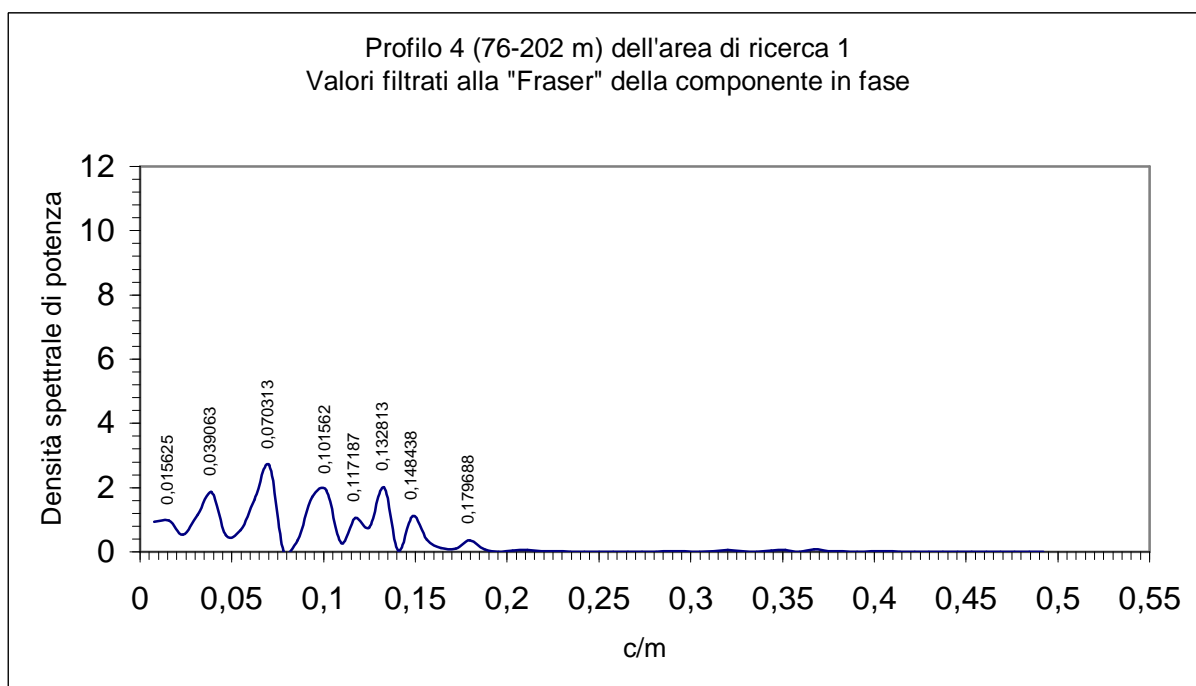


Figura 98 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

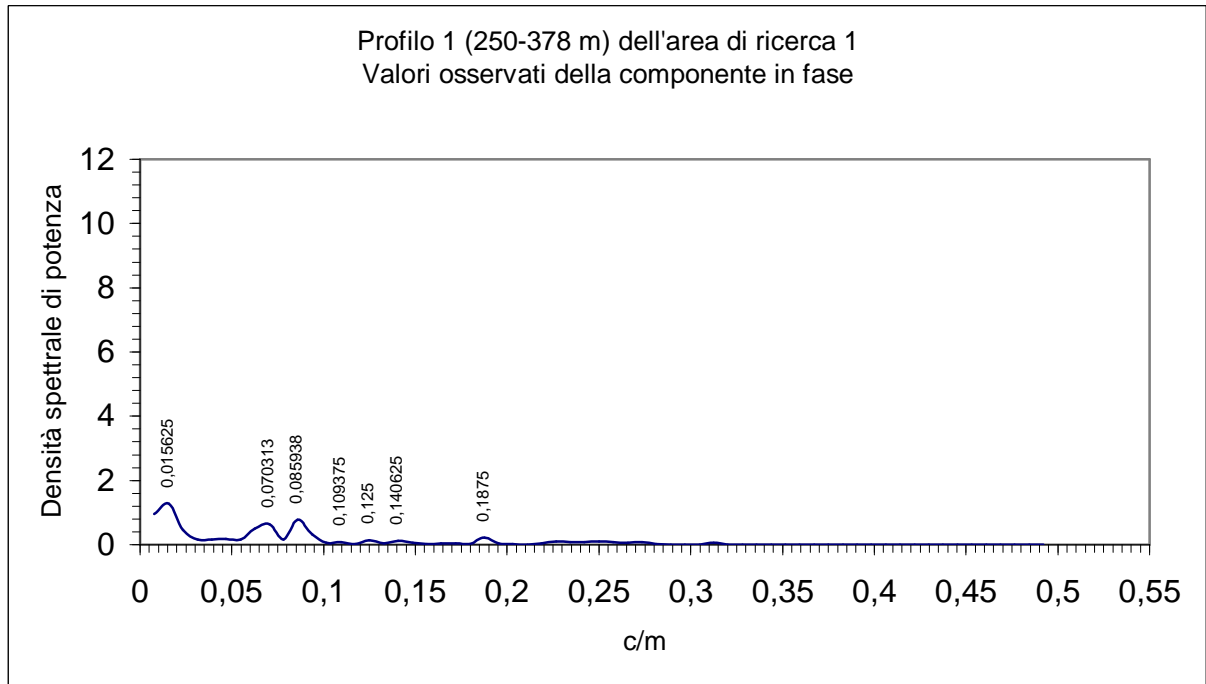


Figura 99 – Spettro della serie spaziale (258-378 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 1.

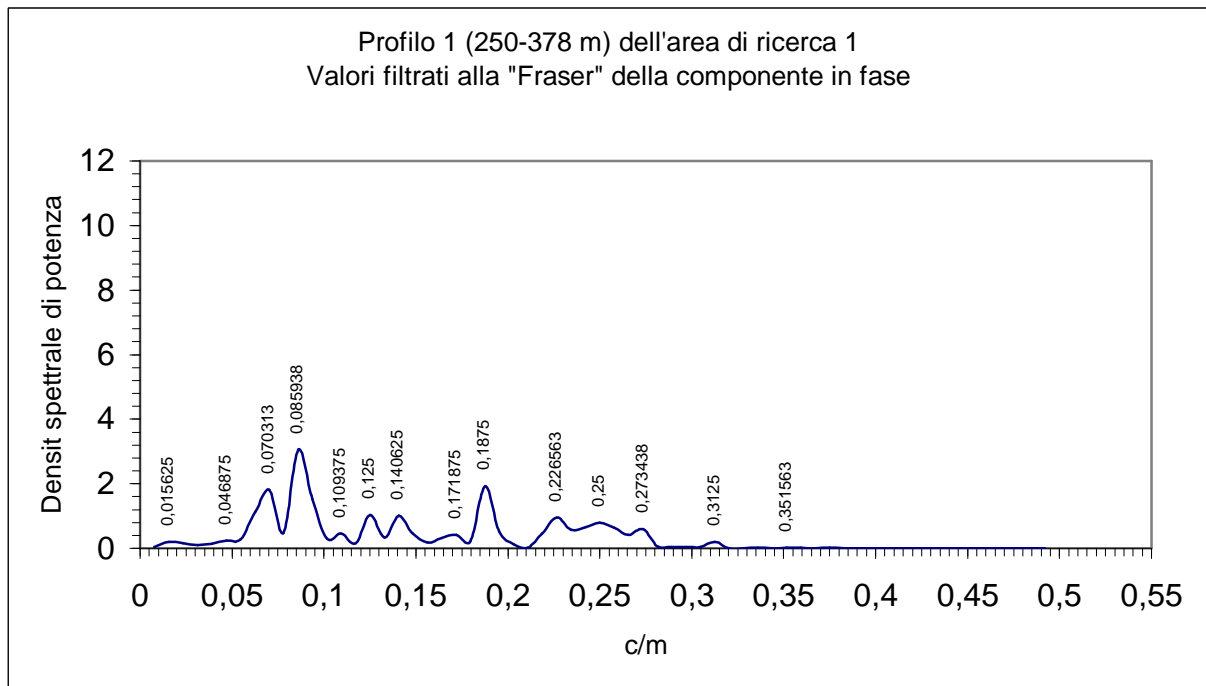


Figura 100 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 1.

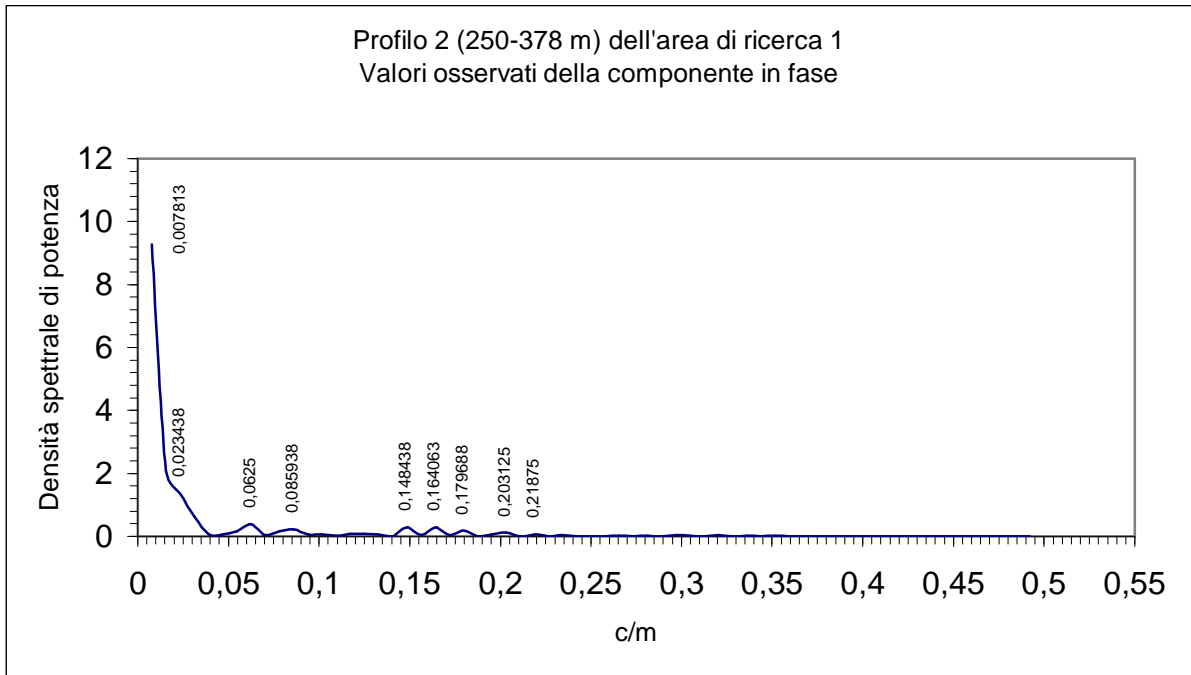


Figura 101 – Spettro della serie spaziale (258-378 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 1.

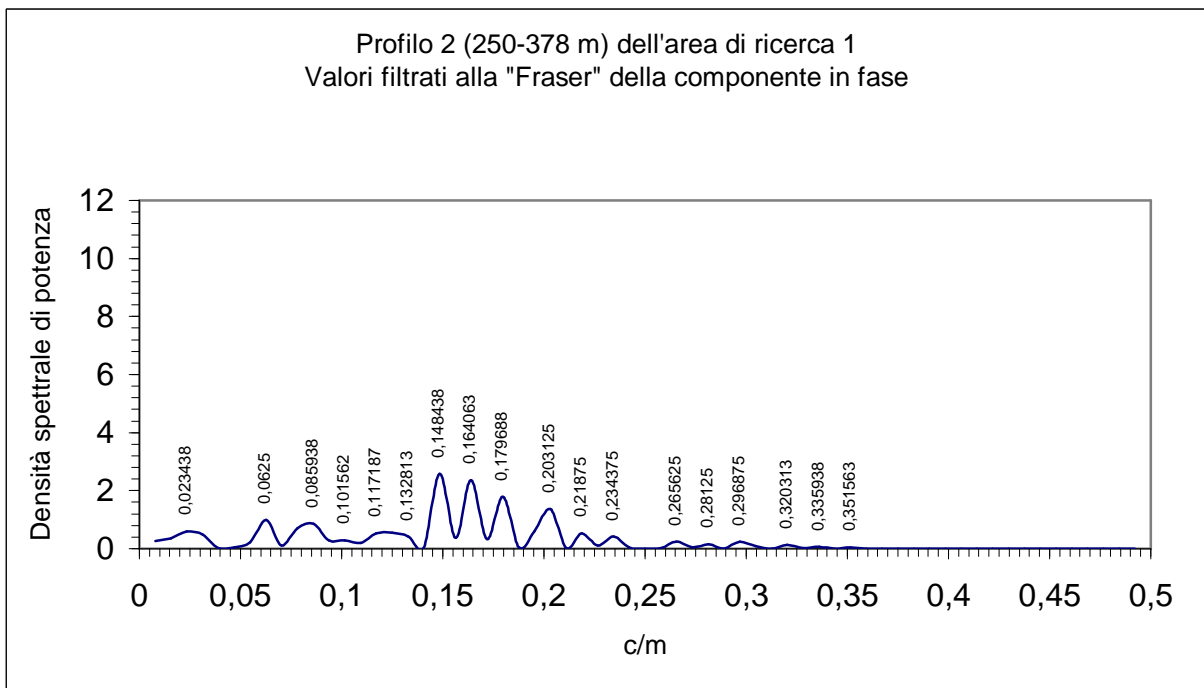


Figura 102 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 1.

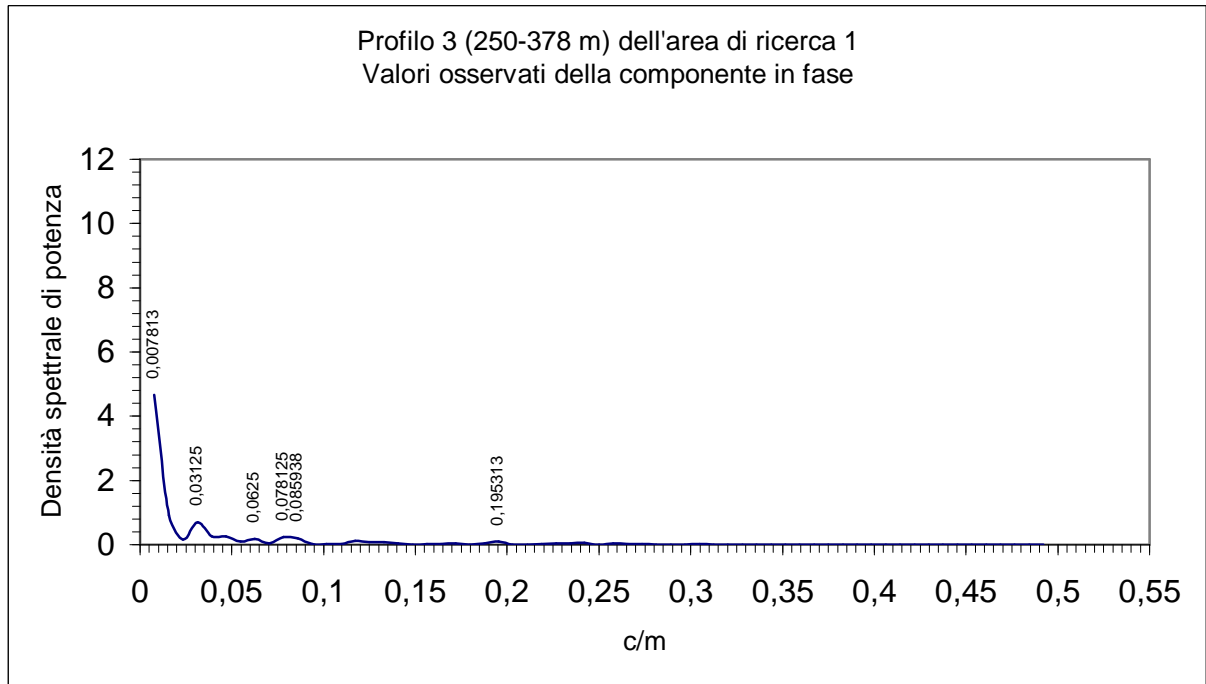


Figura 103 – Spettro della serie spaziale (258-378 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 1.

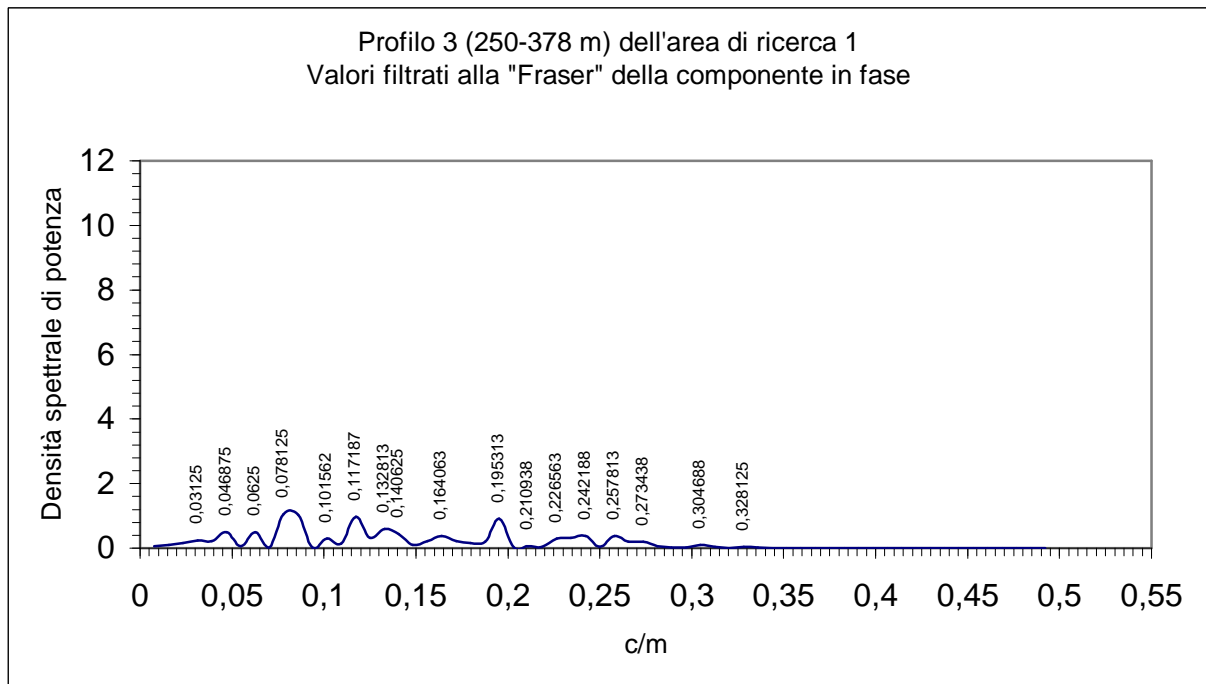


Figura 104 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 1.

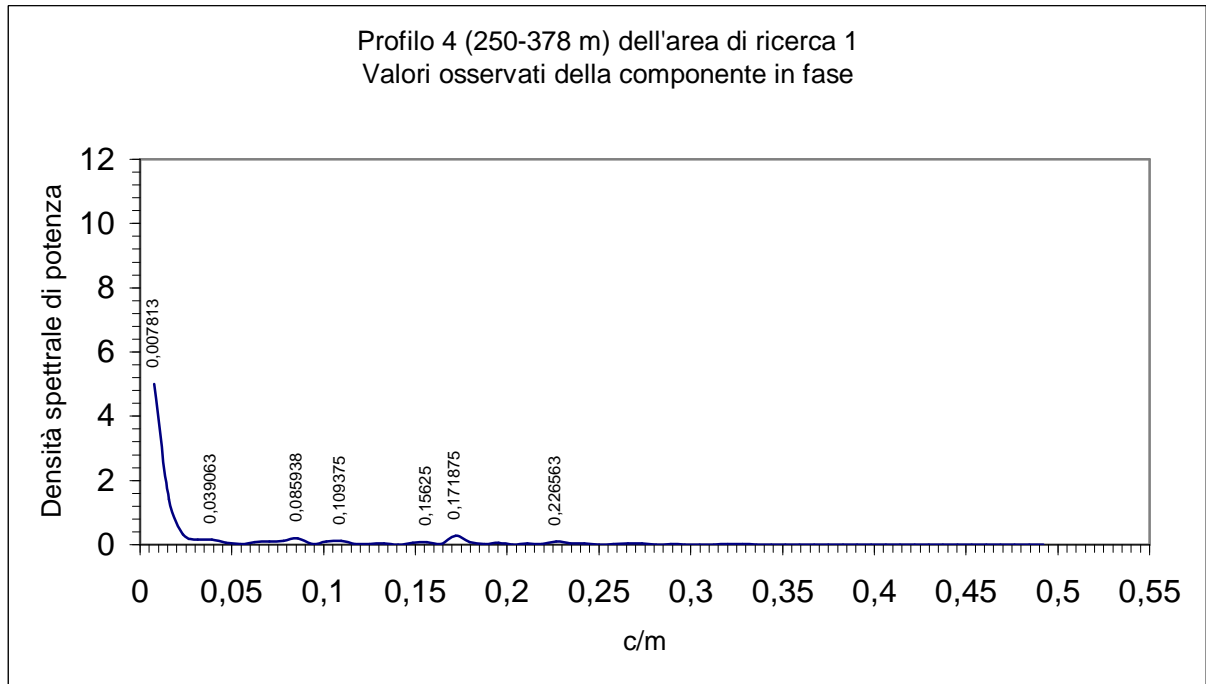


Figura 105 – Spettro della serie spaziale (258-378 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

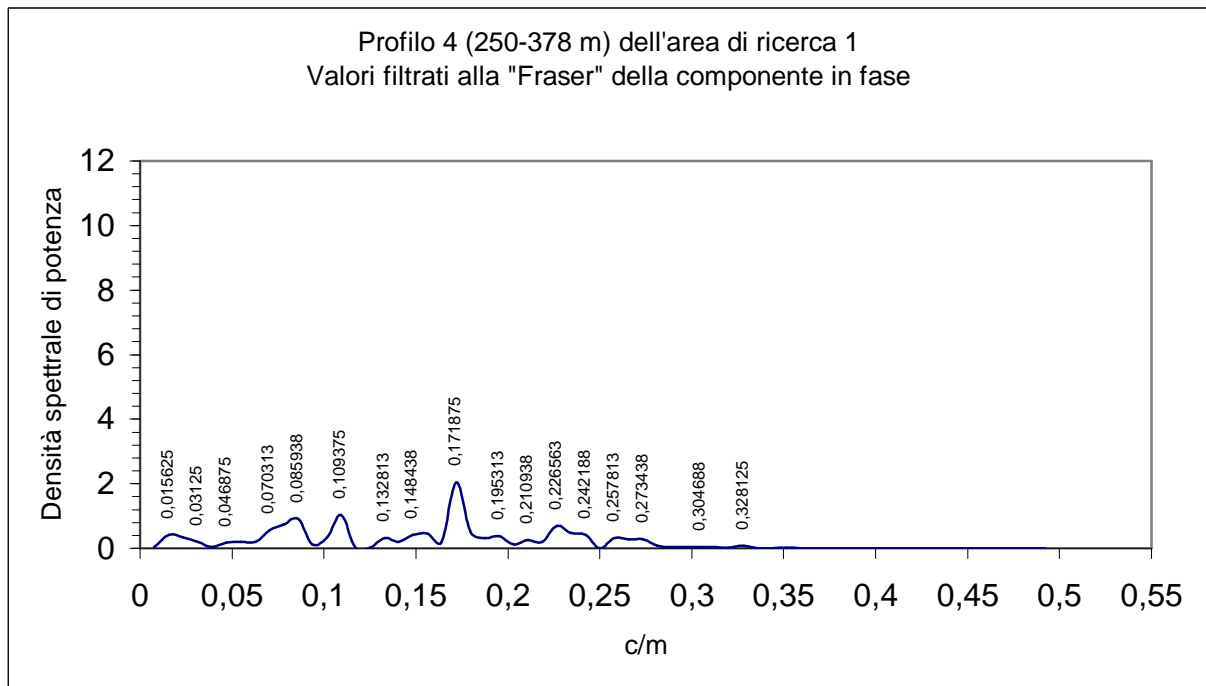


Figura 106 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

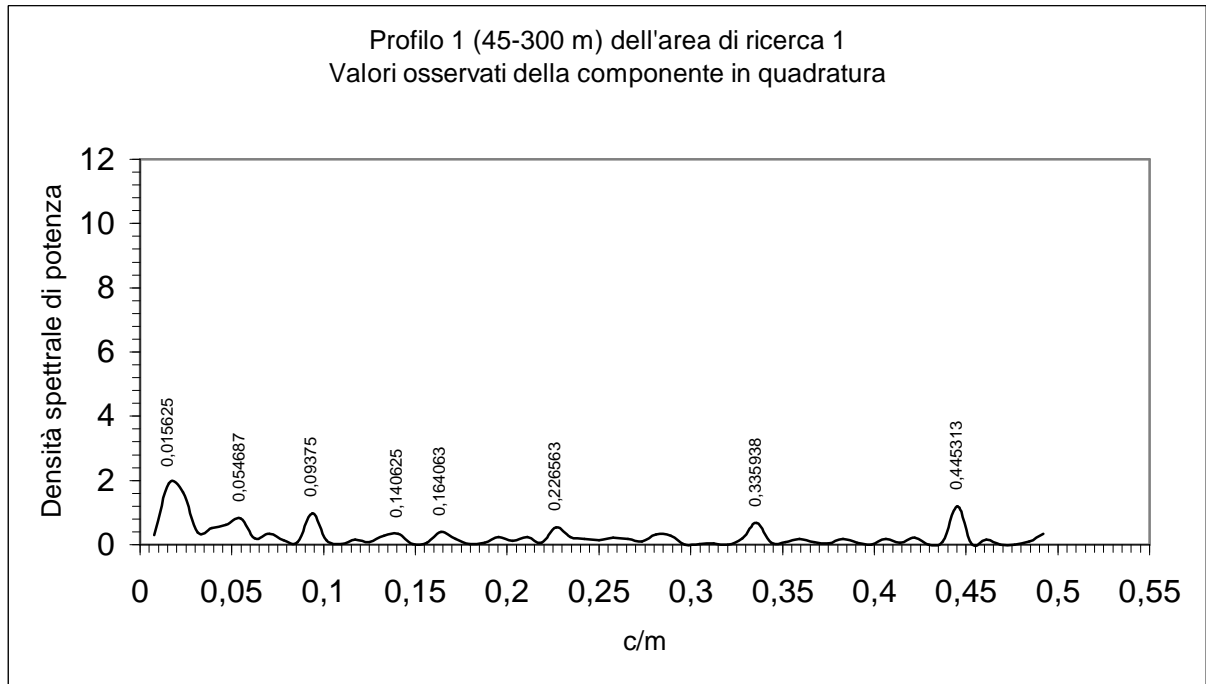


Figura 107 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 1.

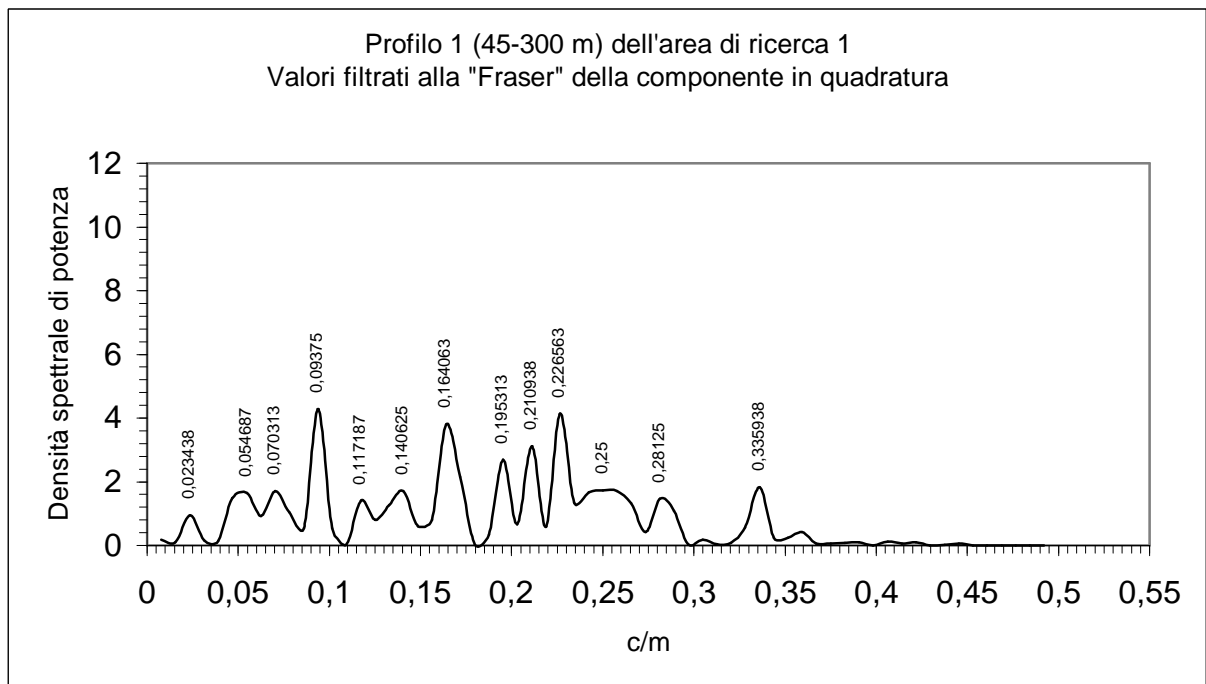


Figura 108 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 1.

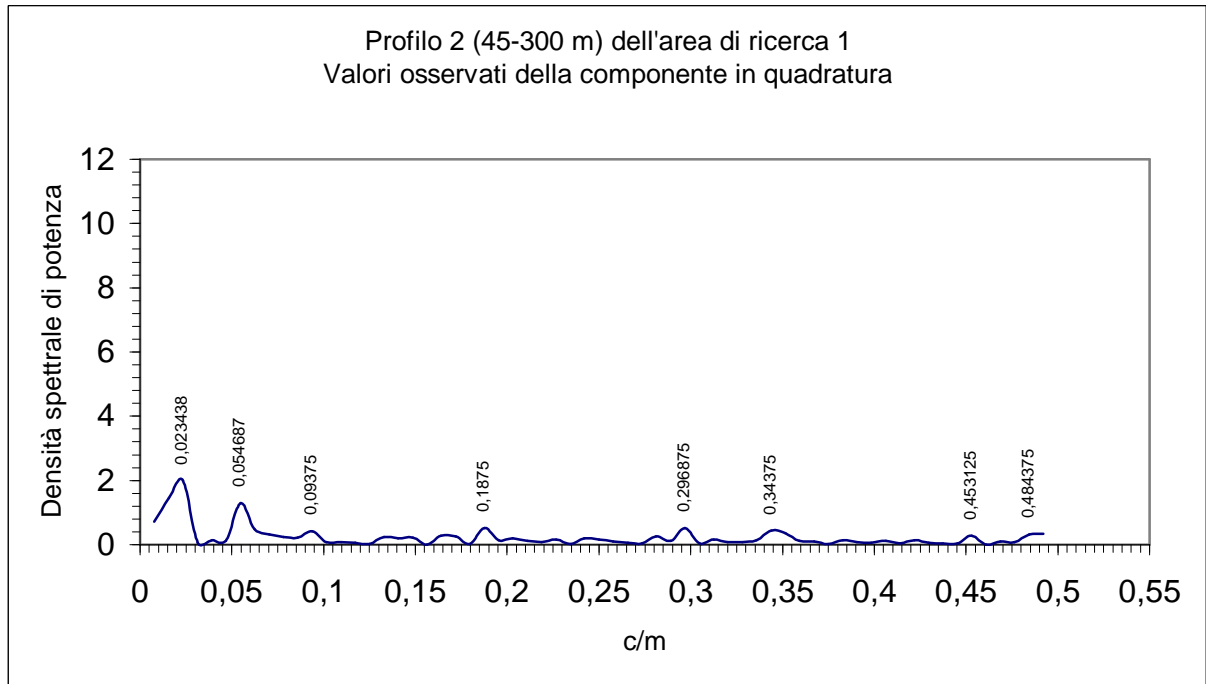


Figura 109 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 1.

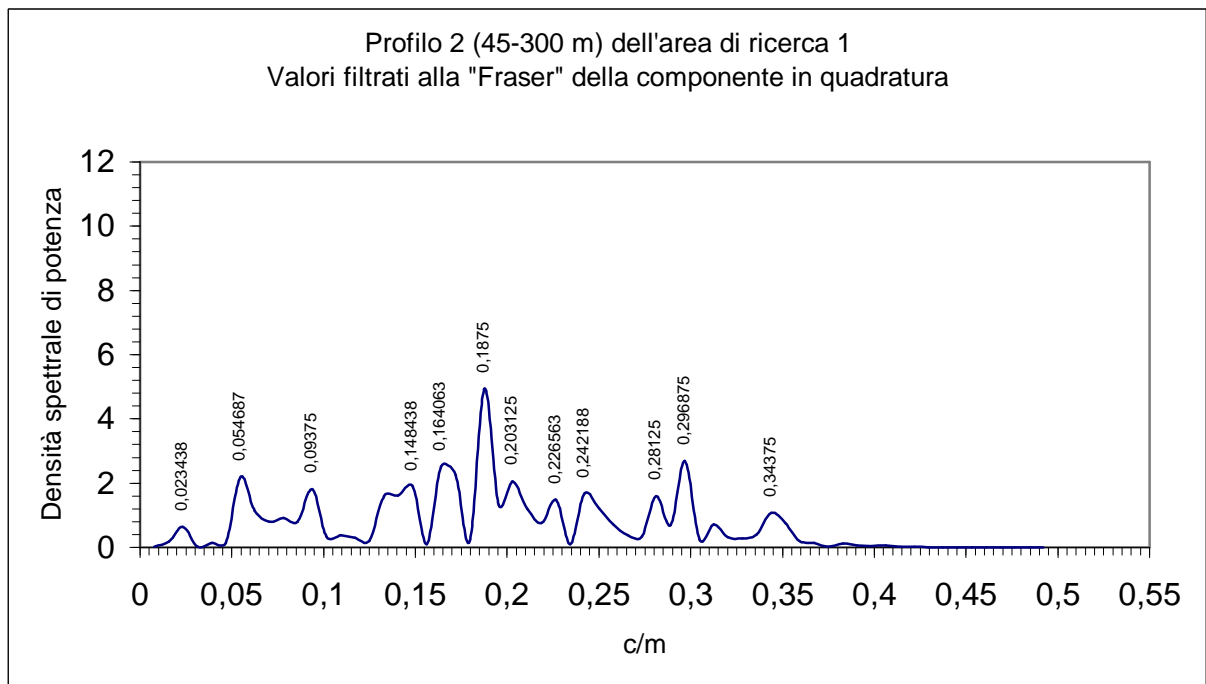


Figura 110 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 1.

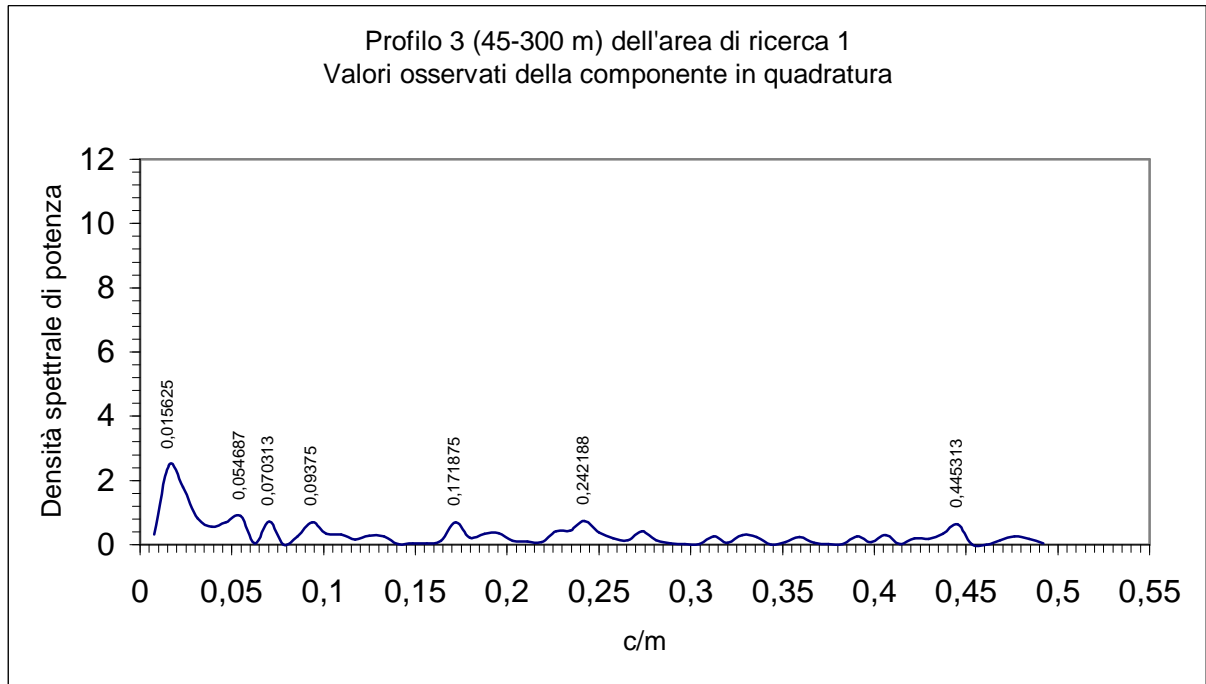


Figura 111 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 1.

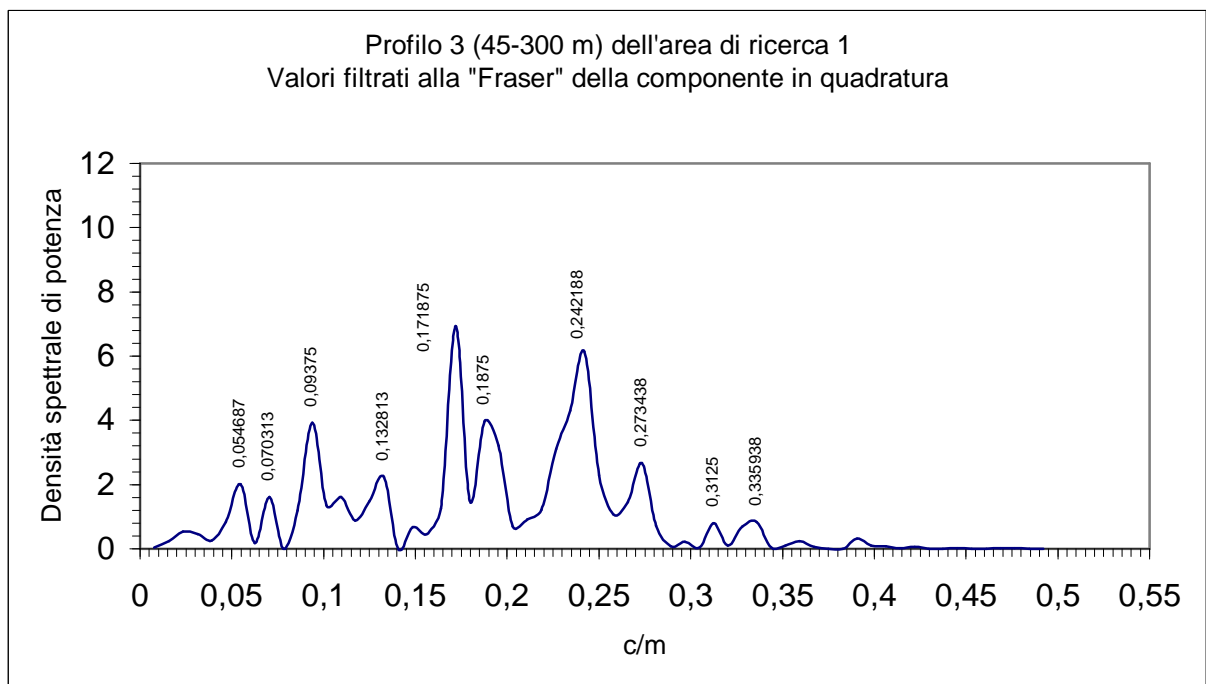


Figura 112 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 1.

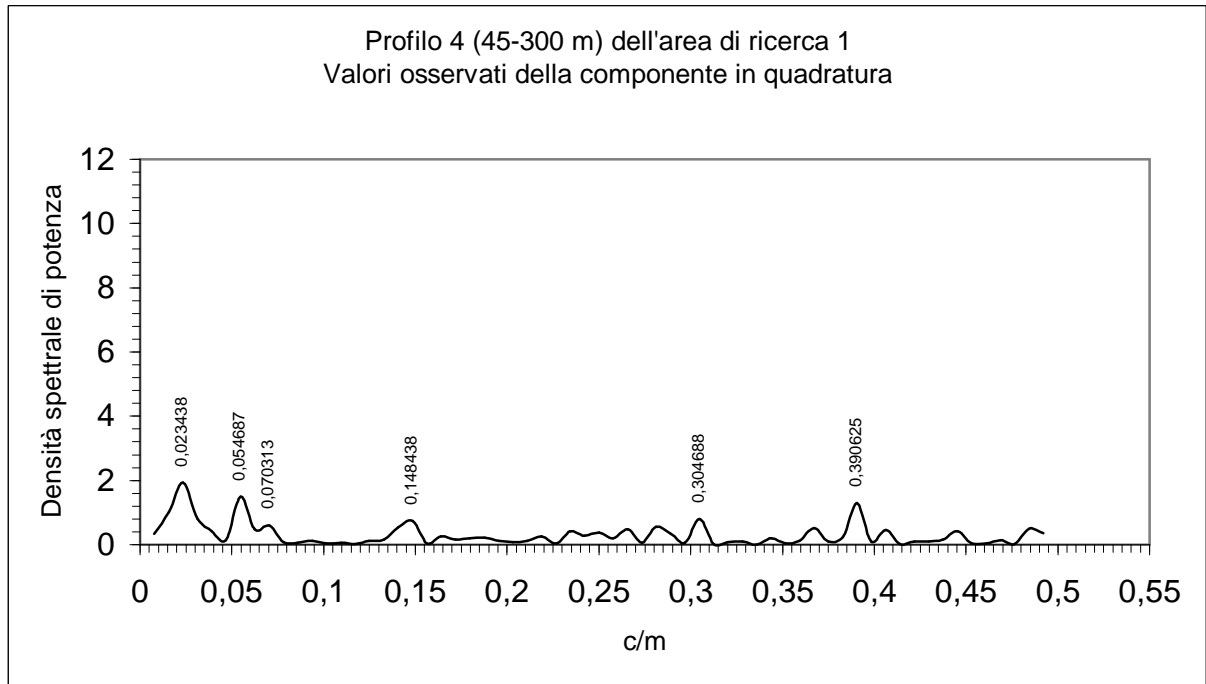


Figura 113 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

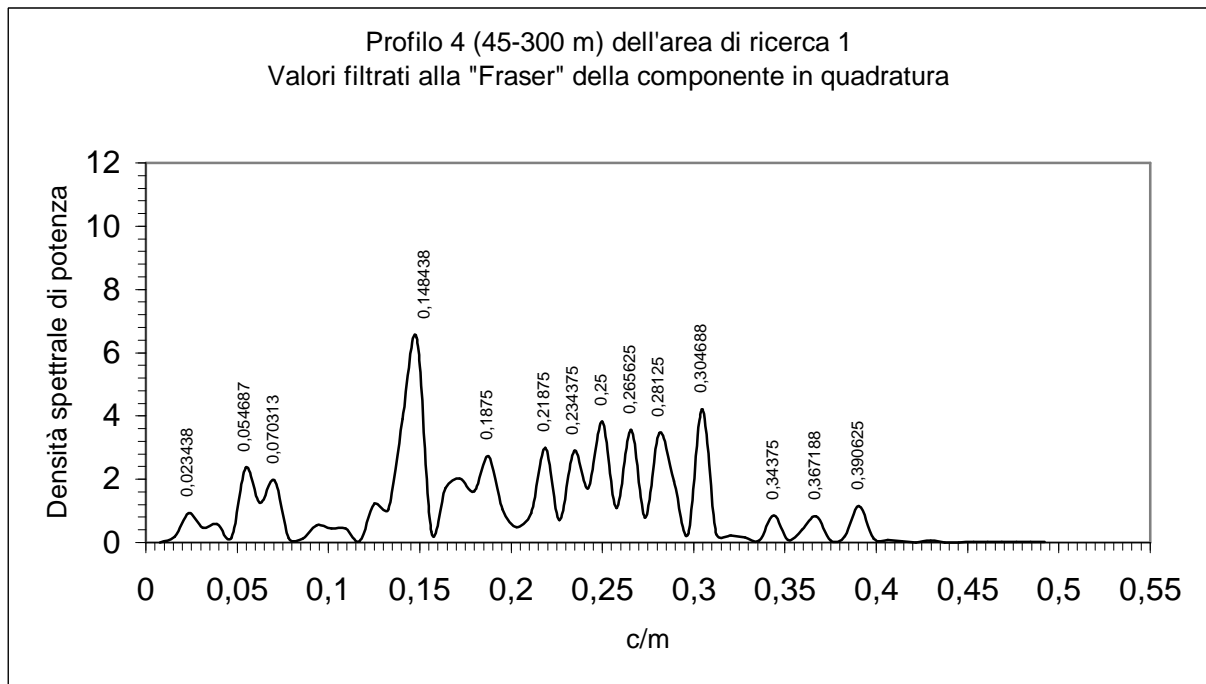


Figura 114 – Spettro della serie spaziale (45-300 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 1.

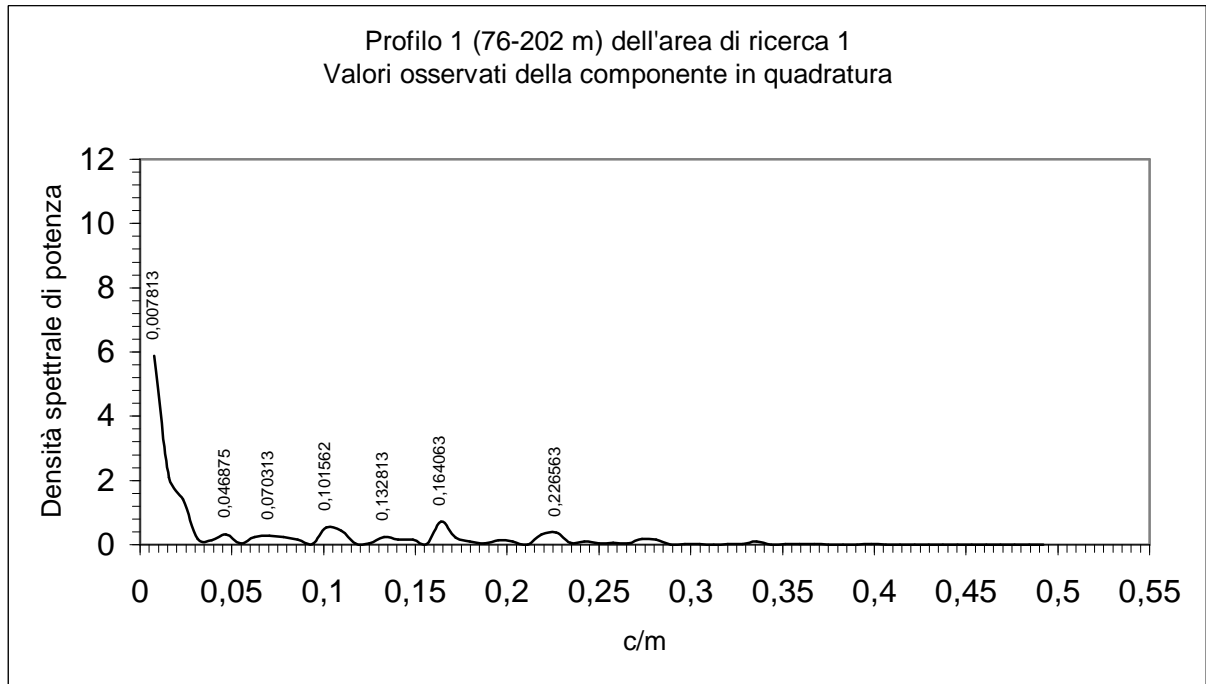


Figura 115 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 1.

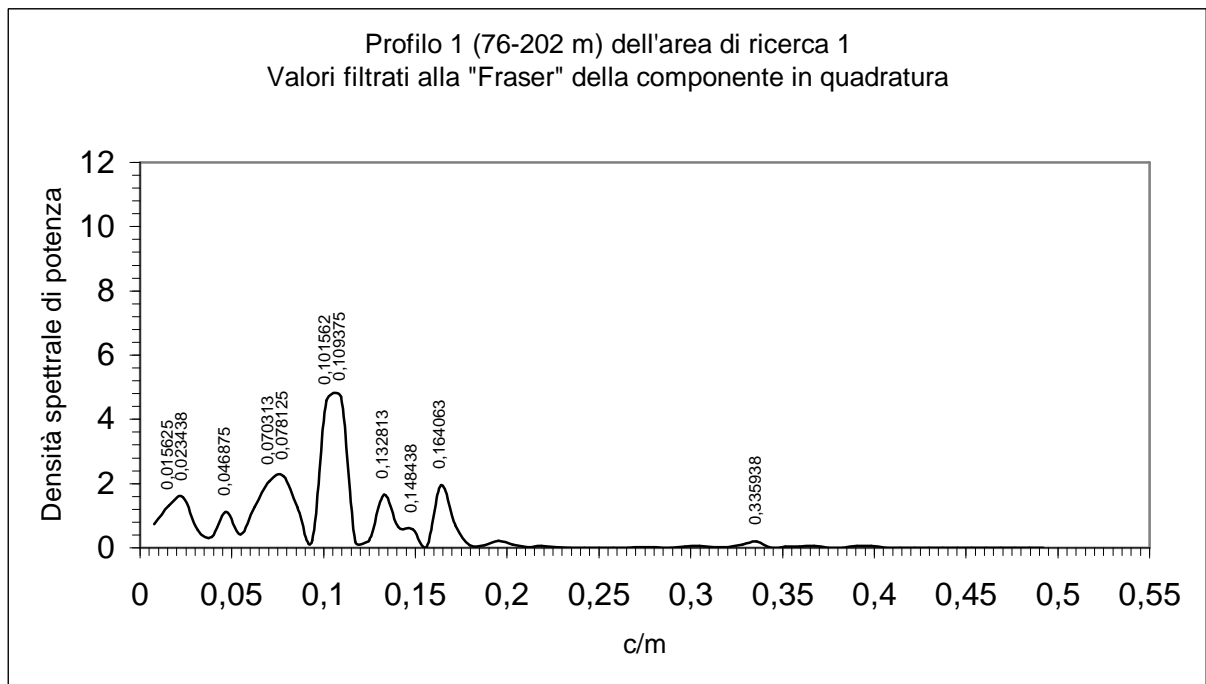


Figura 116 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 1.

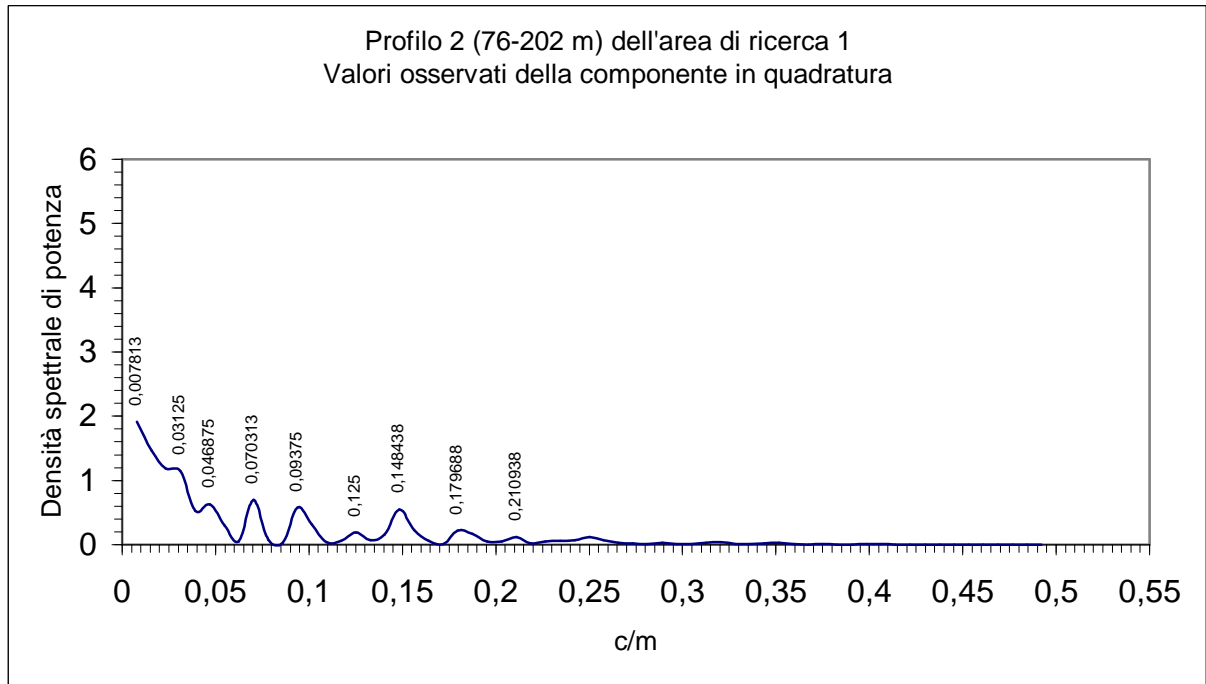


Figura 117 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 1.

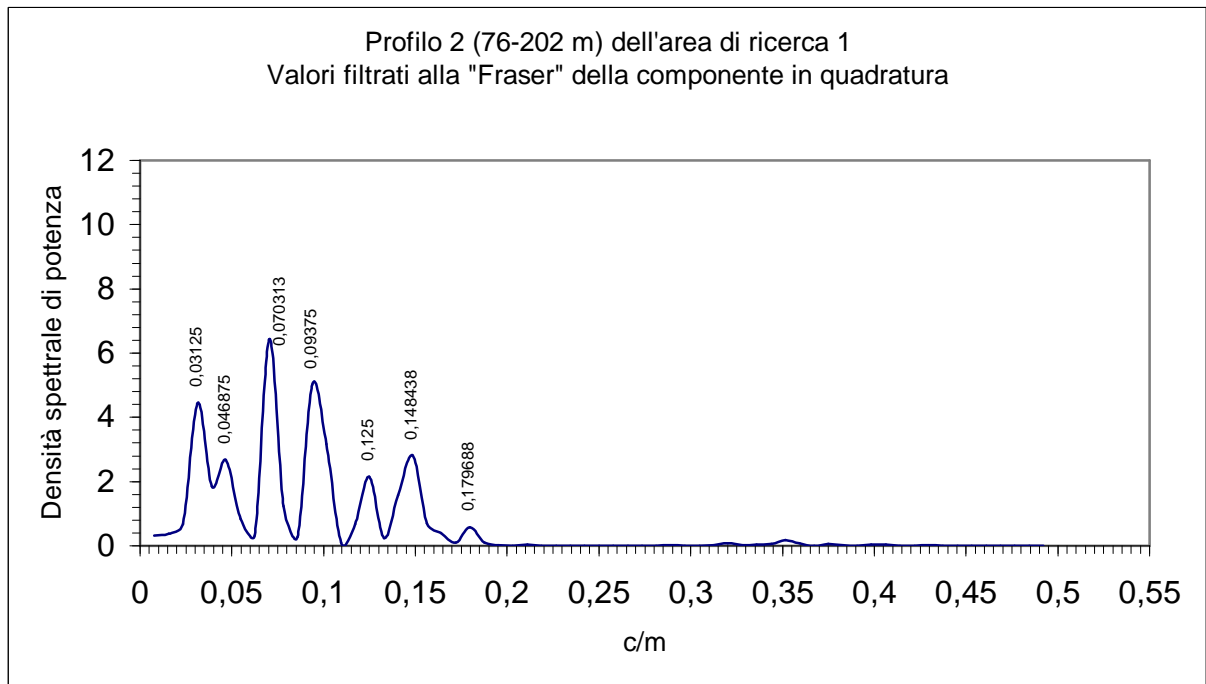


Figura 118 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 1.

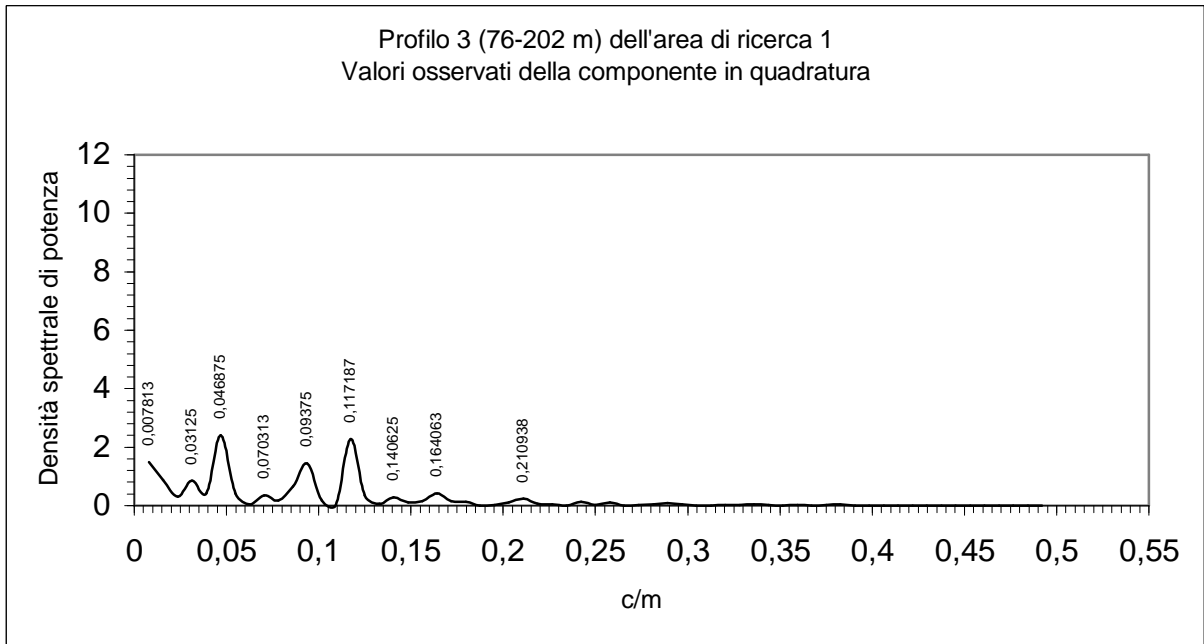


Figura 119 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 1.

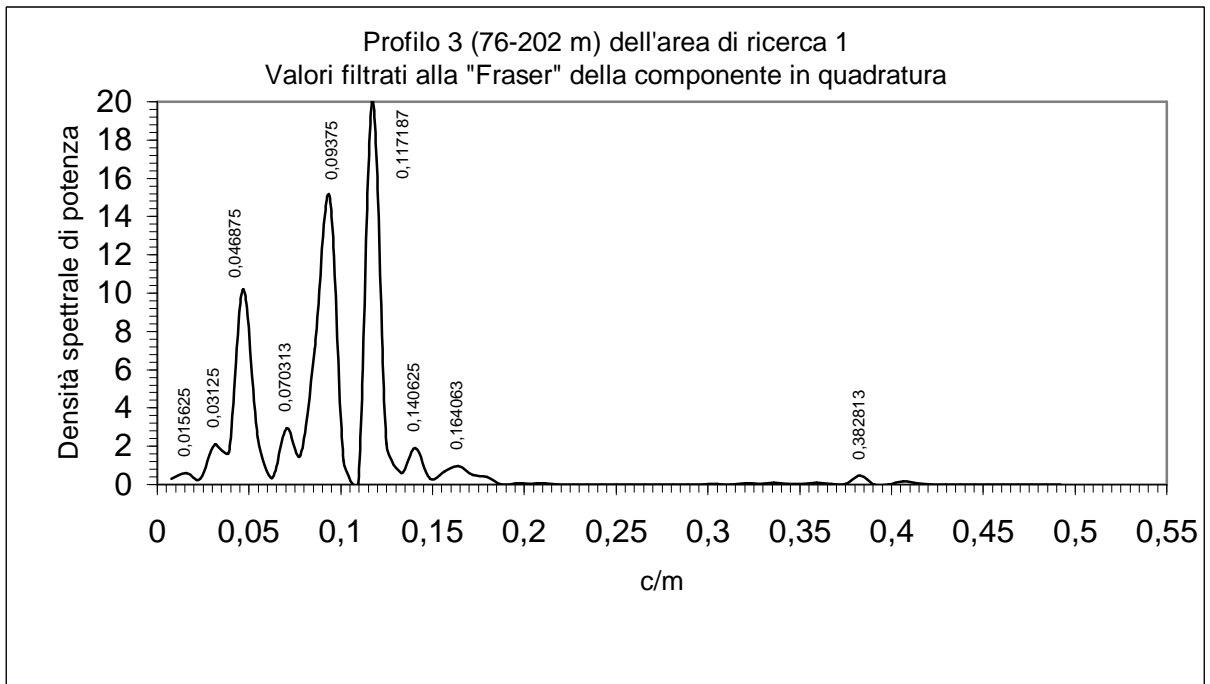


Figura 120 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 1.

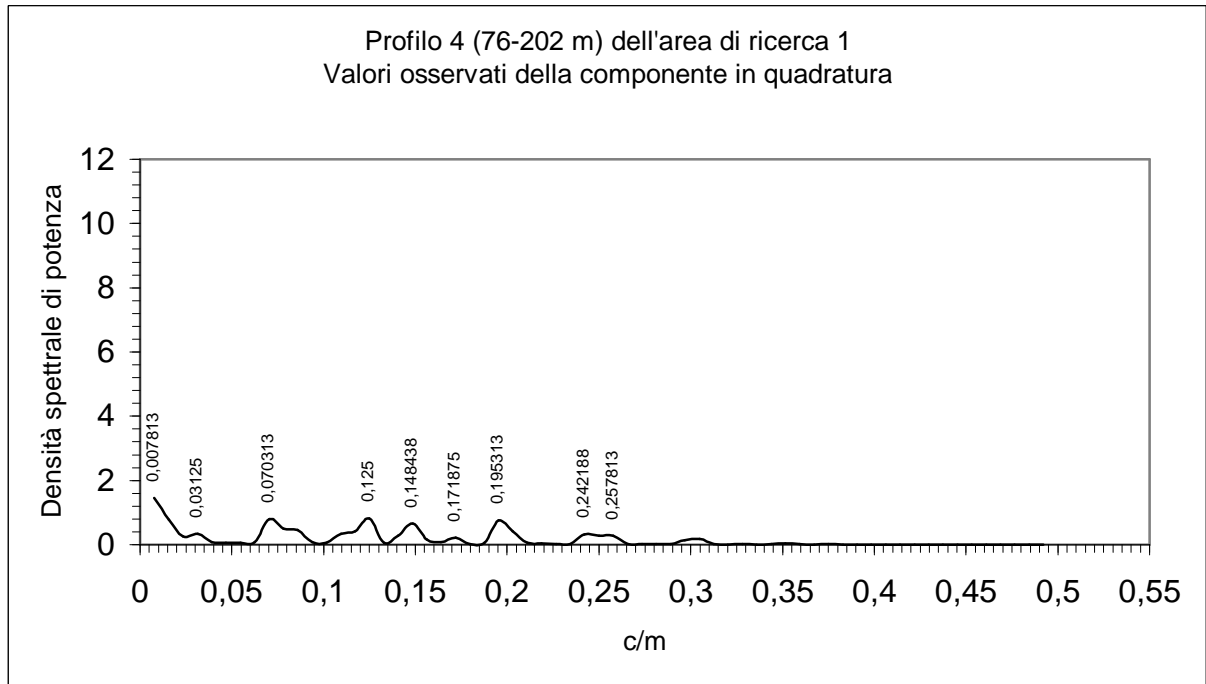


Figura 121 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 1.

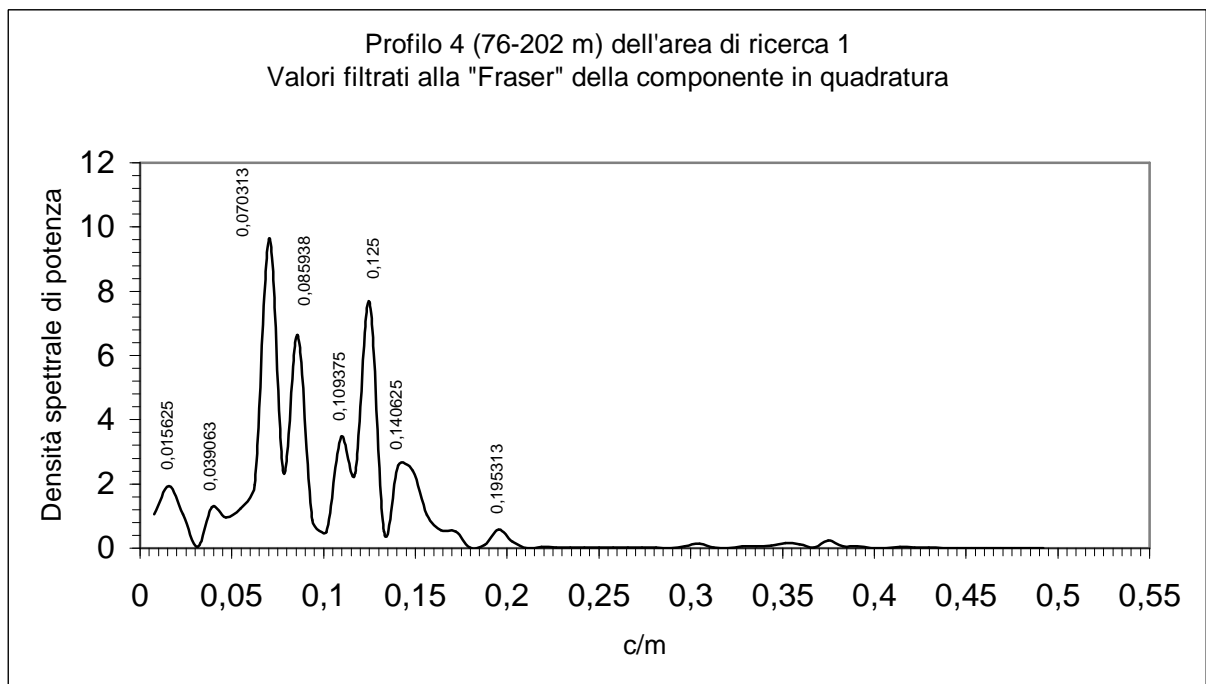


Figura 122 – Spettro della serie spaziale (76-202 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 1.

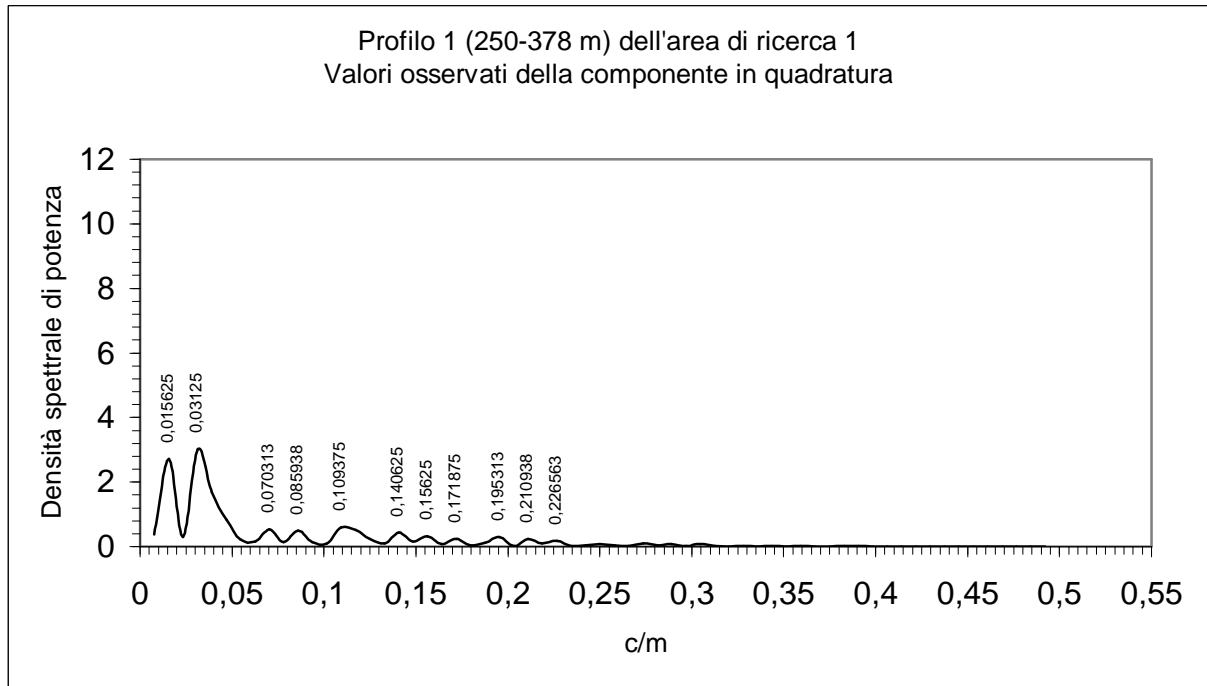


Figura 123 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 1.

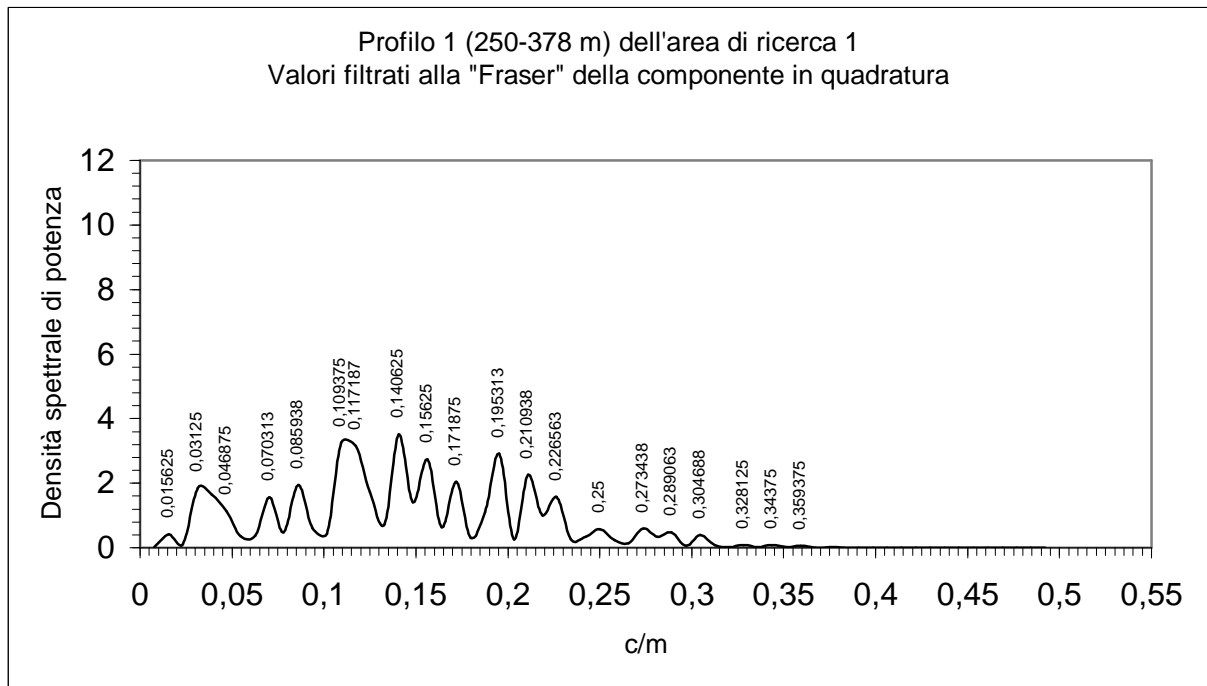


Figura 124 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 1.

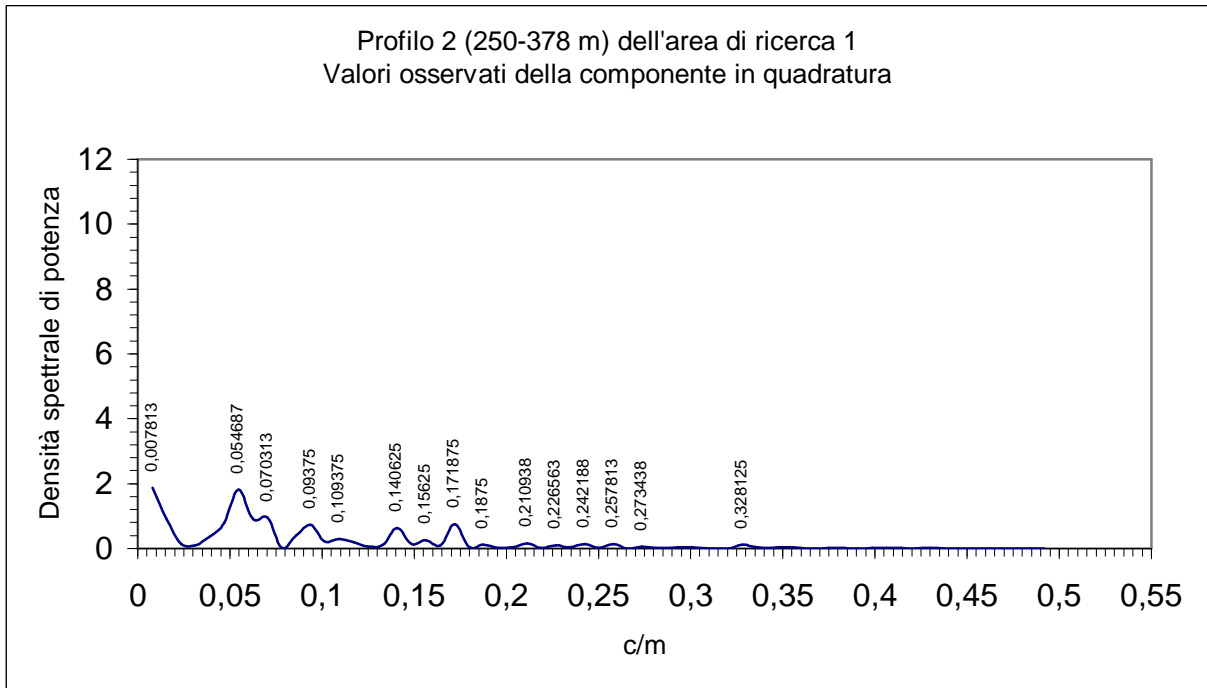


Figura 125 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 1.

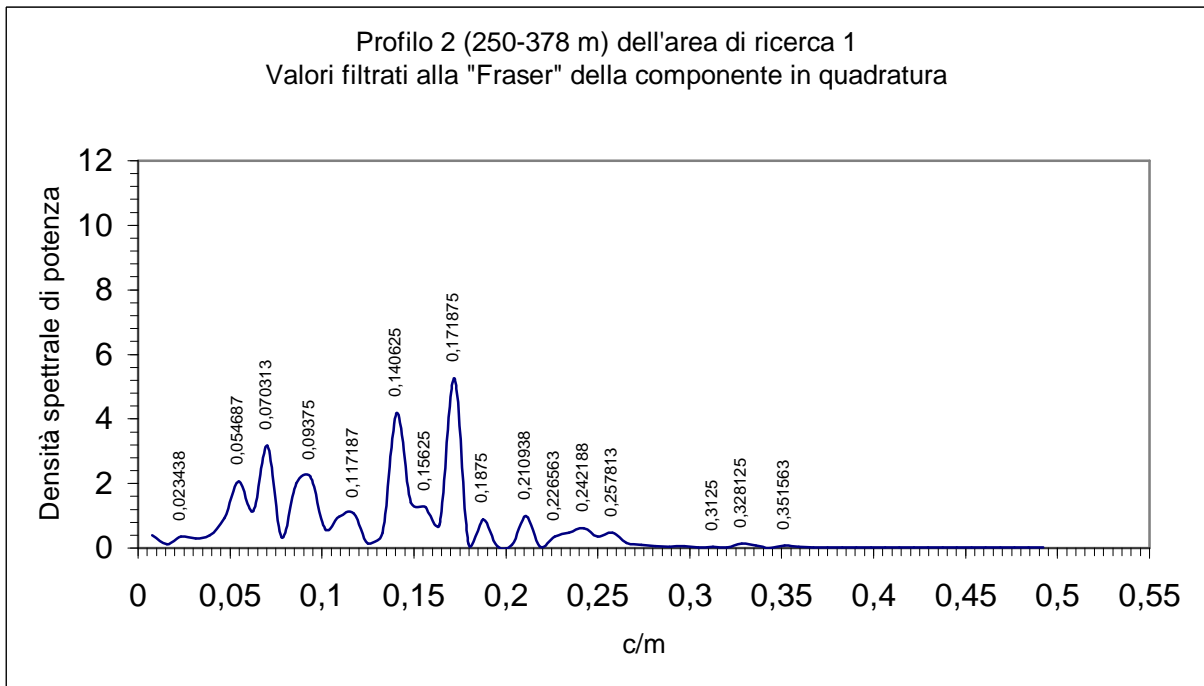


Figura 126 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 1.

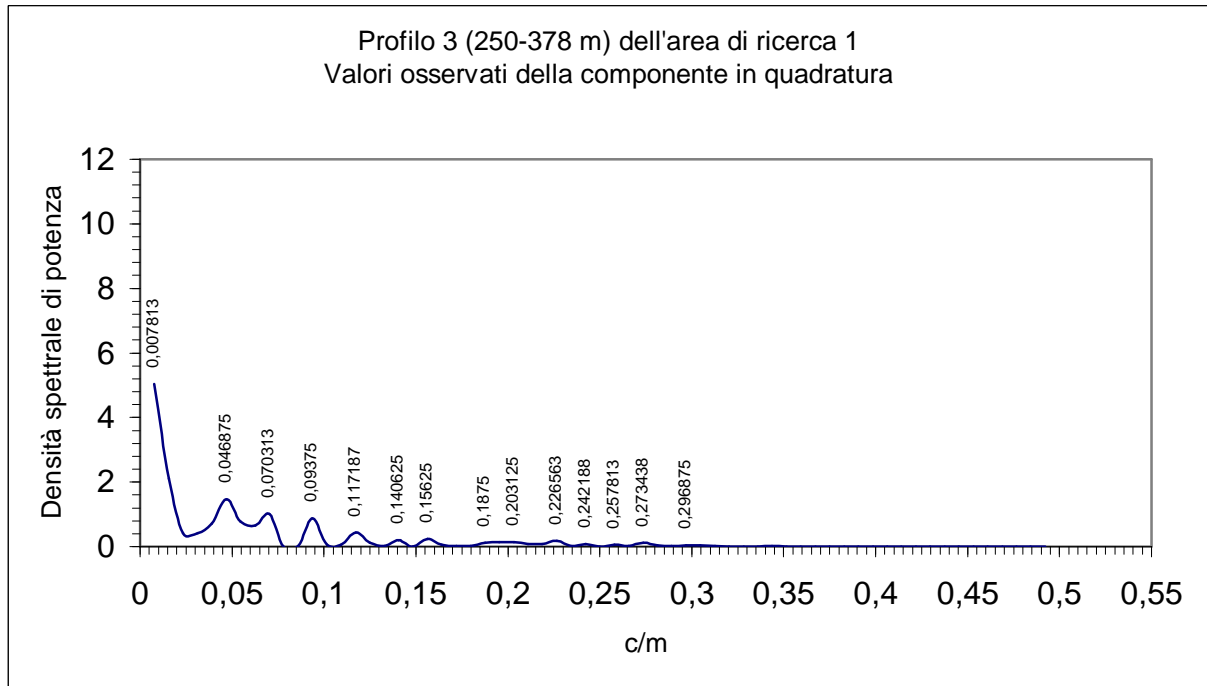


Figura 127 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 1.

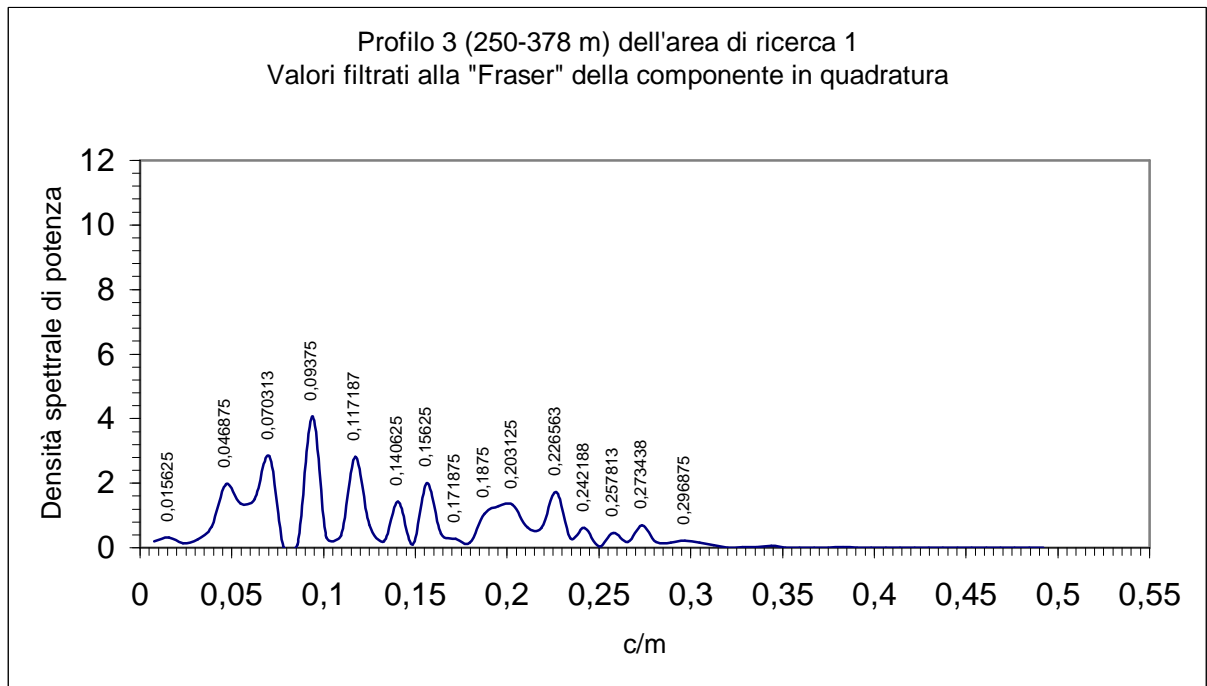


Figura 128 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 1.

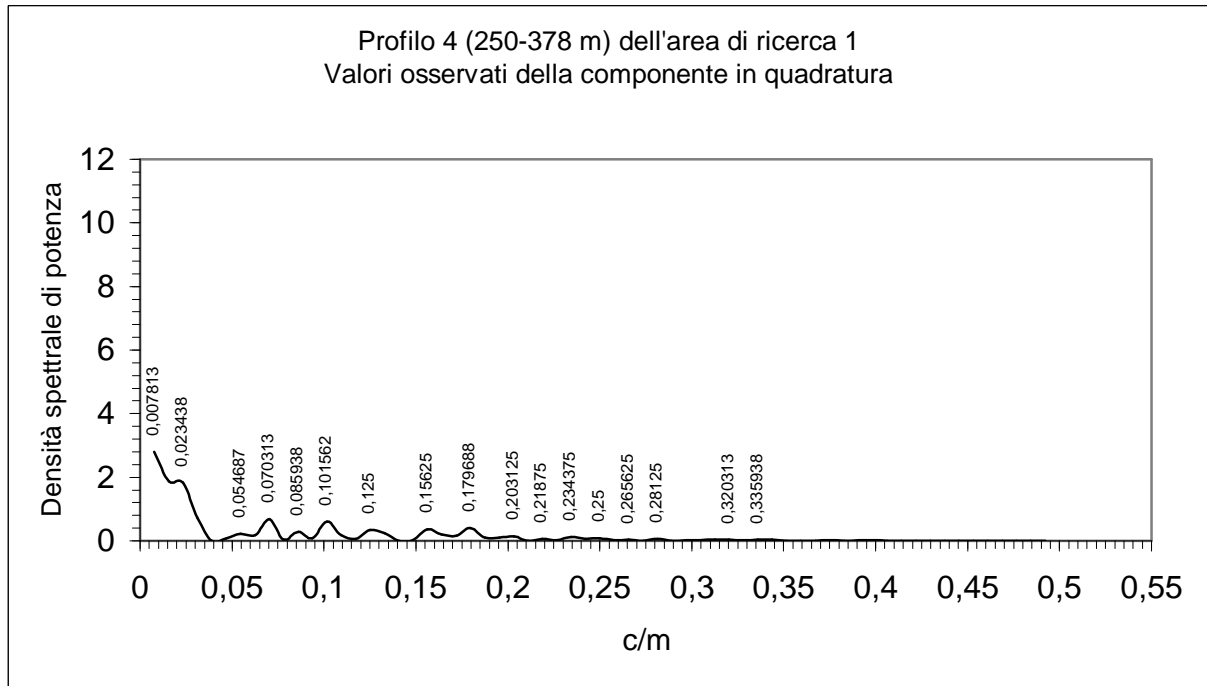


Figura 129 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 1.

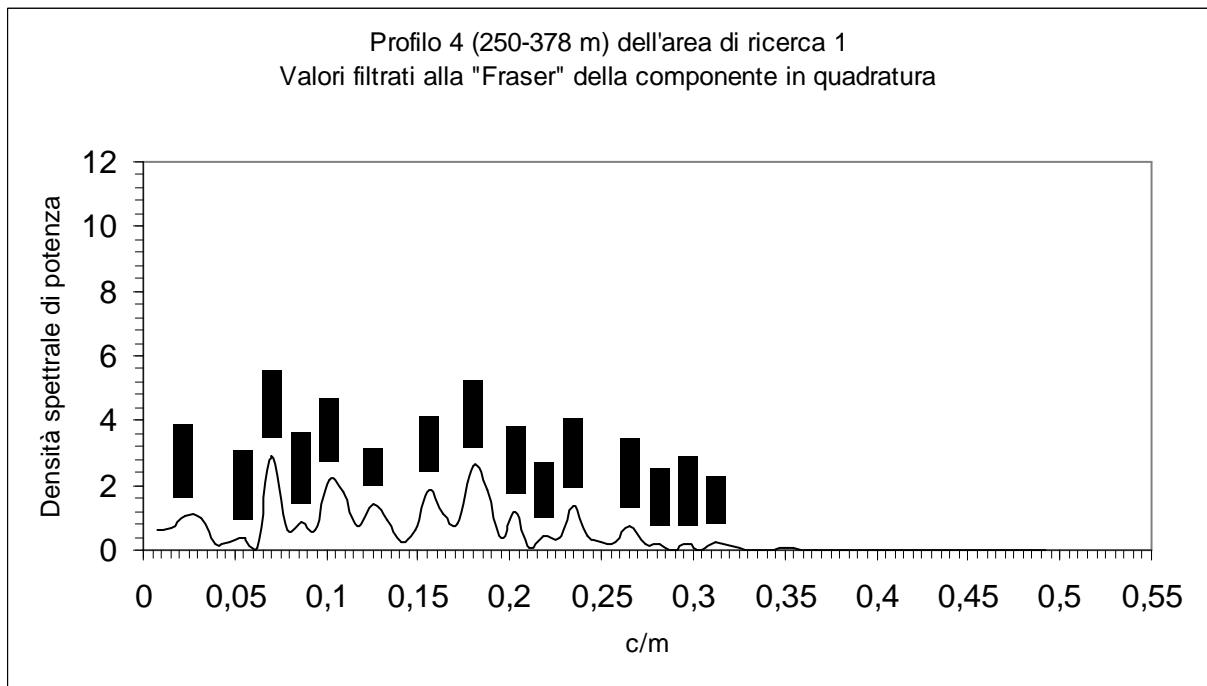


Figura 130 – Spettro della serie spaziale (250-378 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 1.

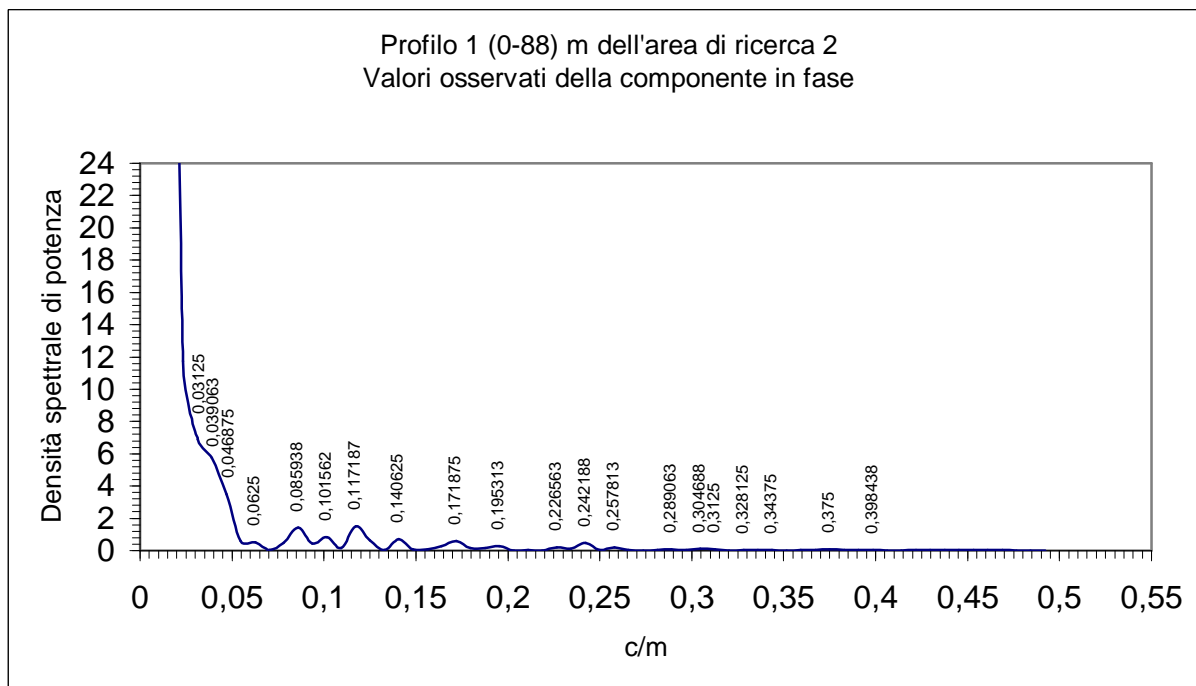


Figura 131 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 2.

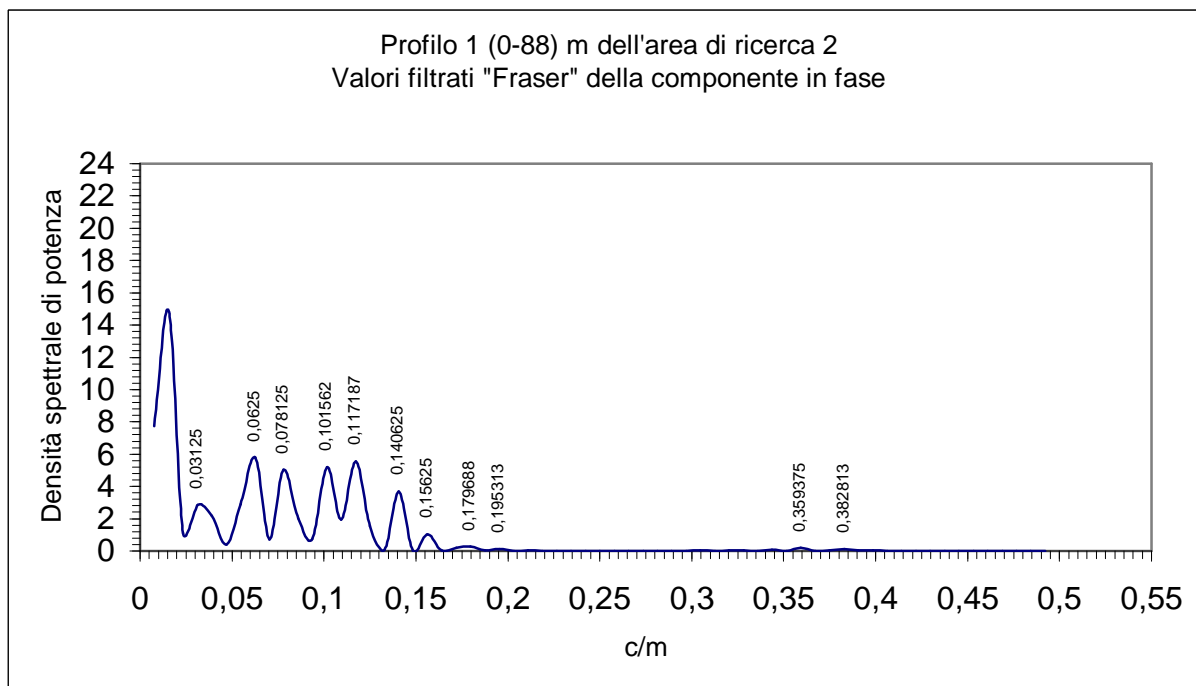


Figura 132 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 2.

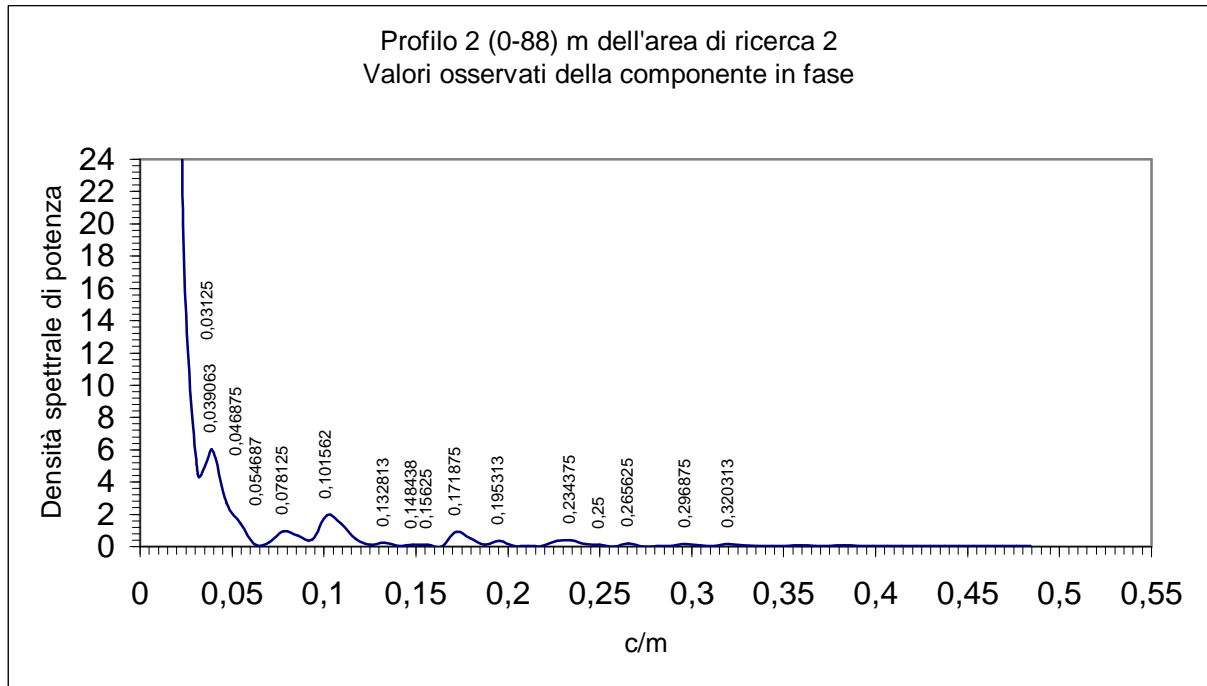


Figura 133 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 2.

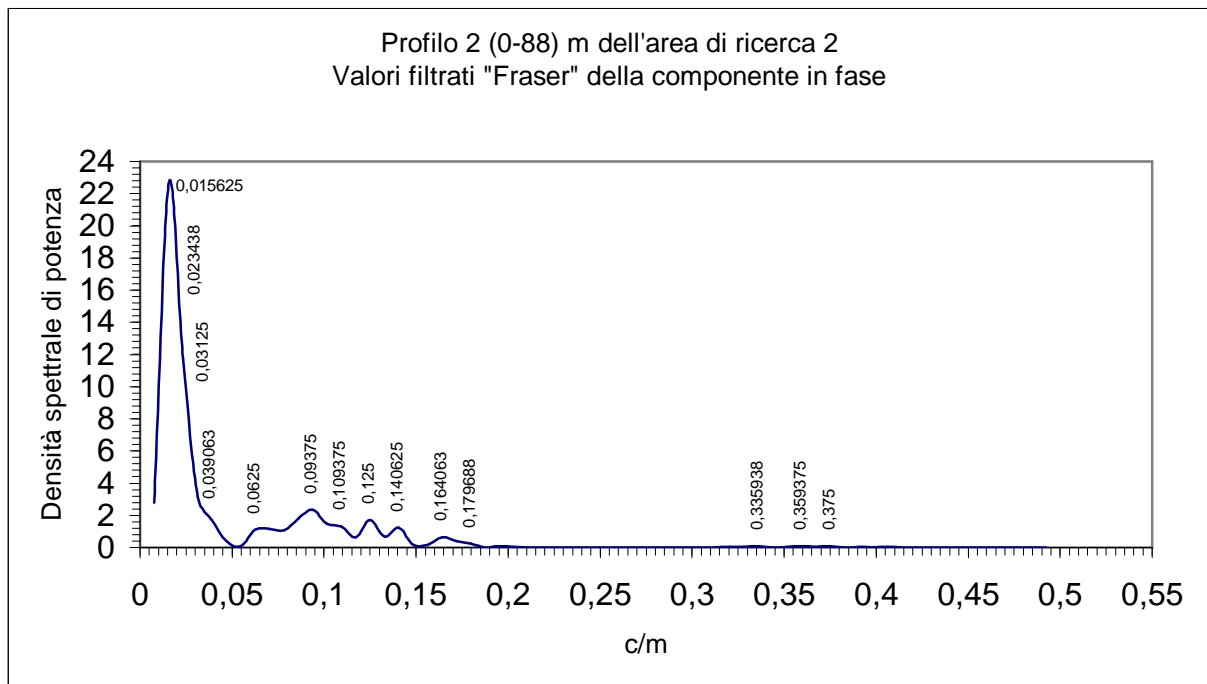


Figura 134 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 2.

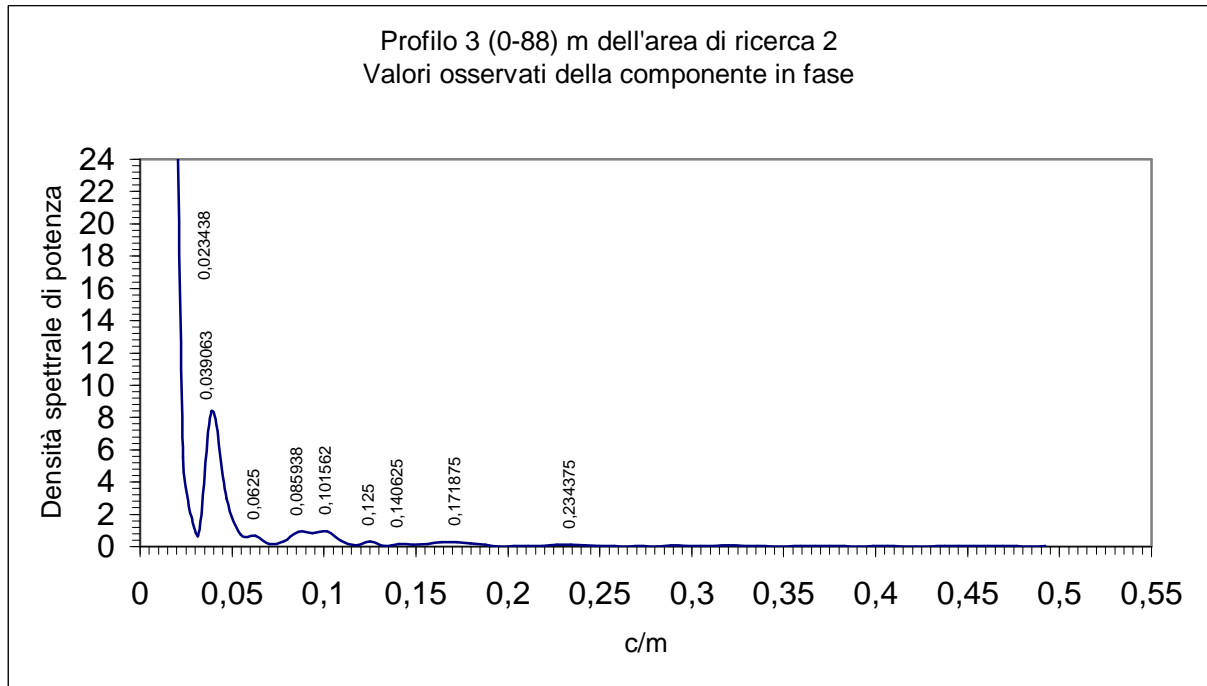


Figura 135 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 2.

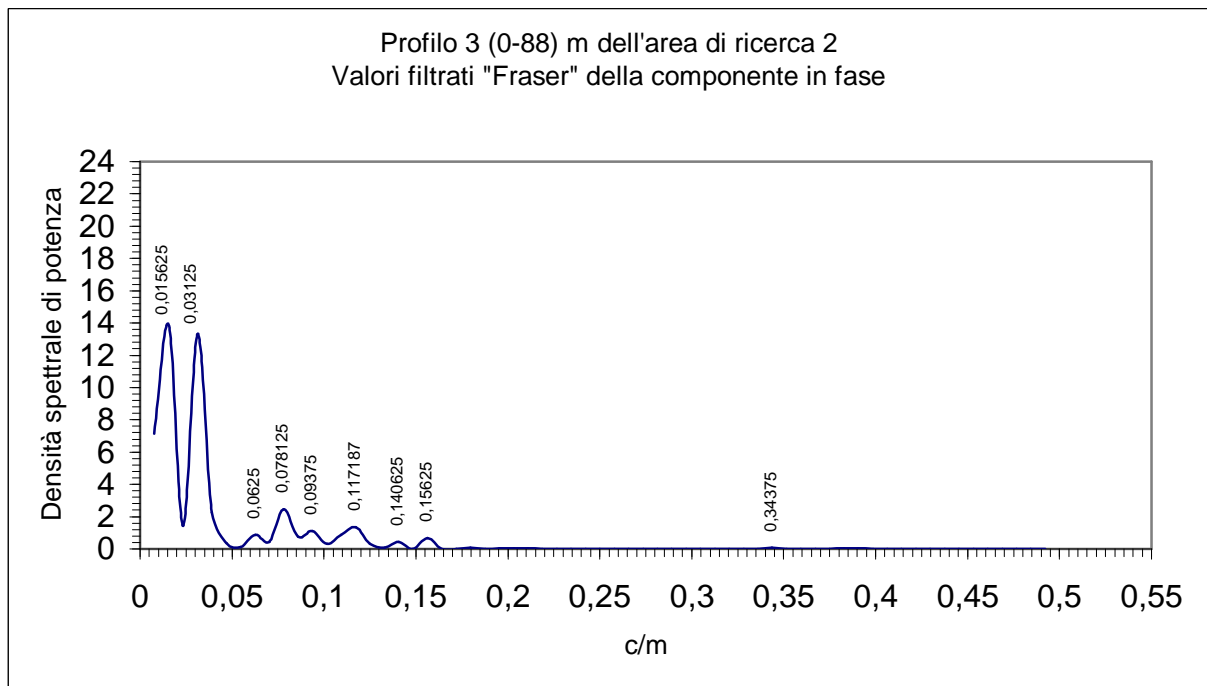


Figura 136 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 2.

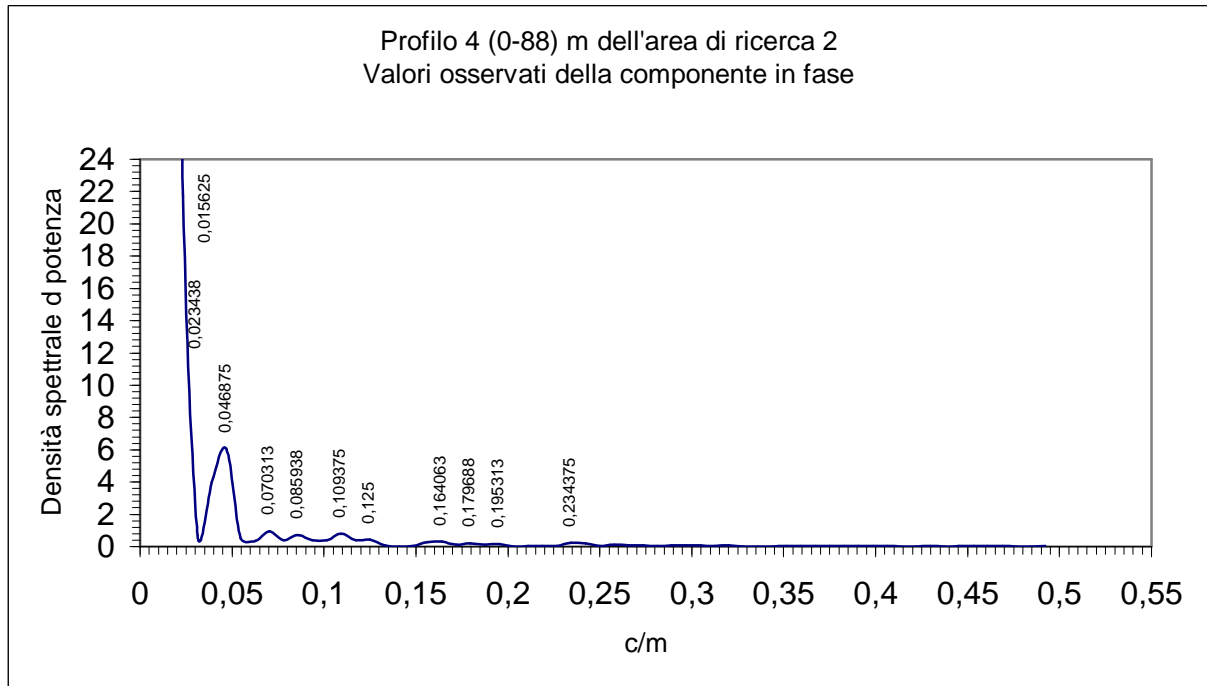


Figura 137 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 2.

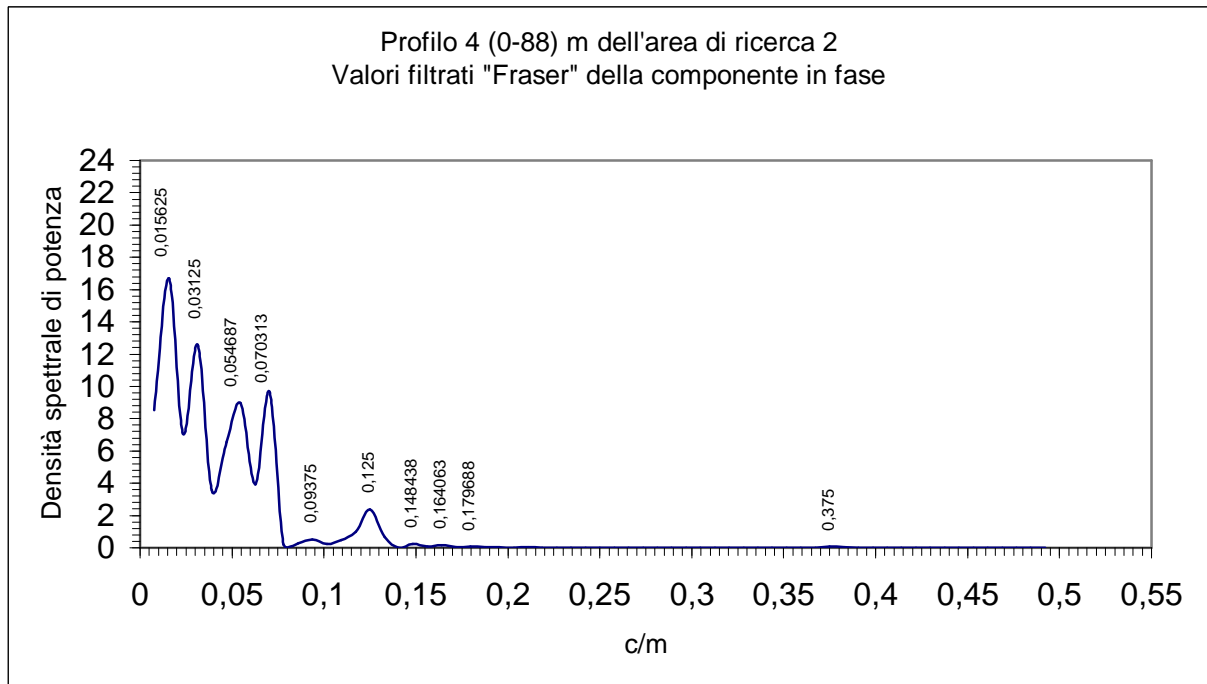


Figura 138 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 2.

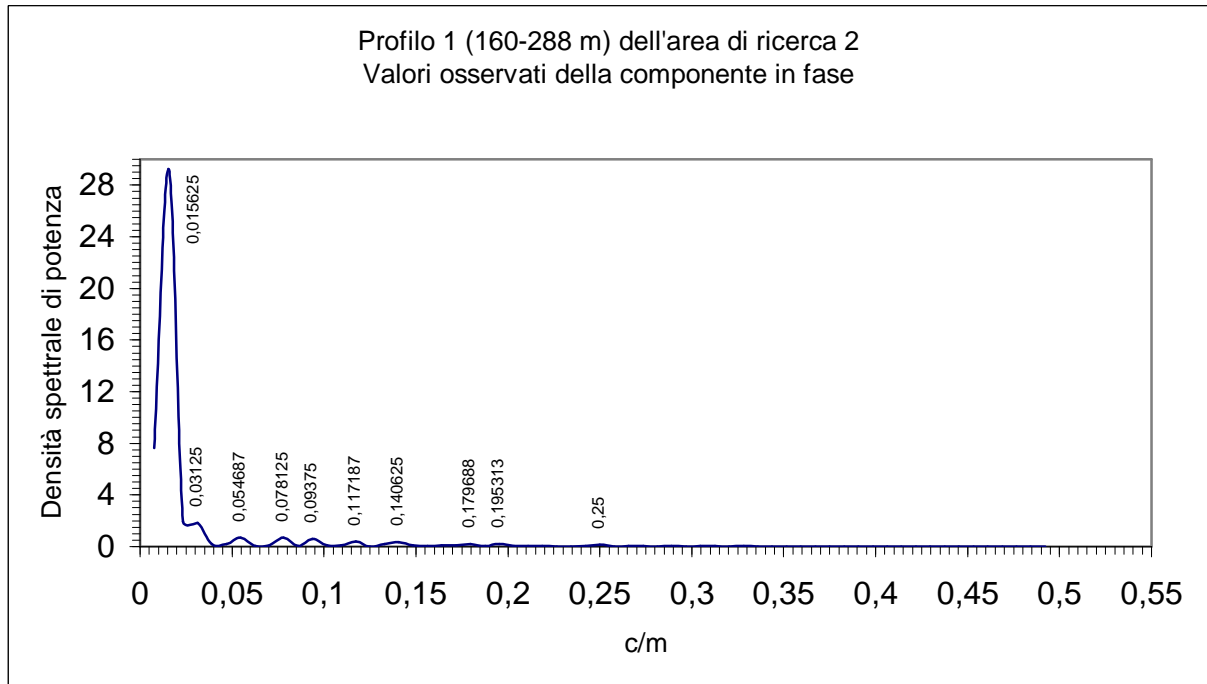


Figura 139 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 2.

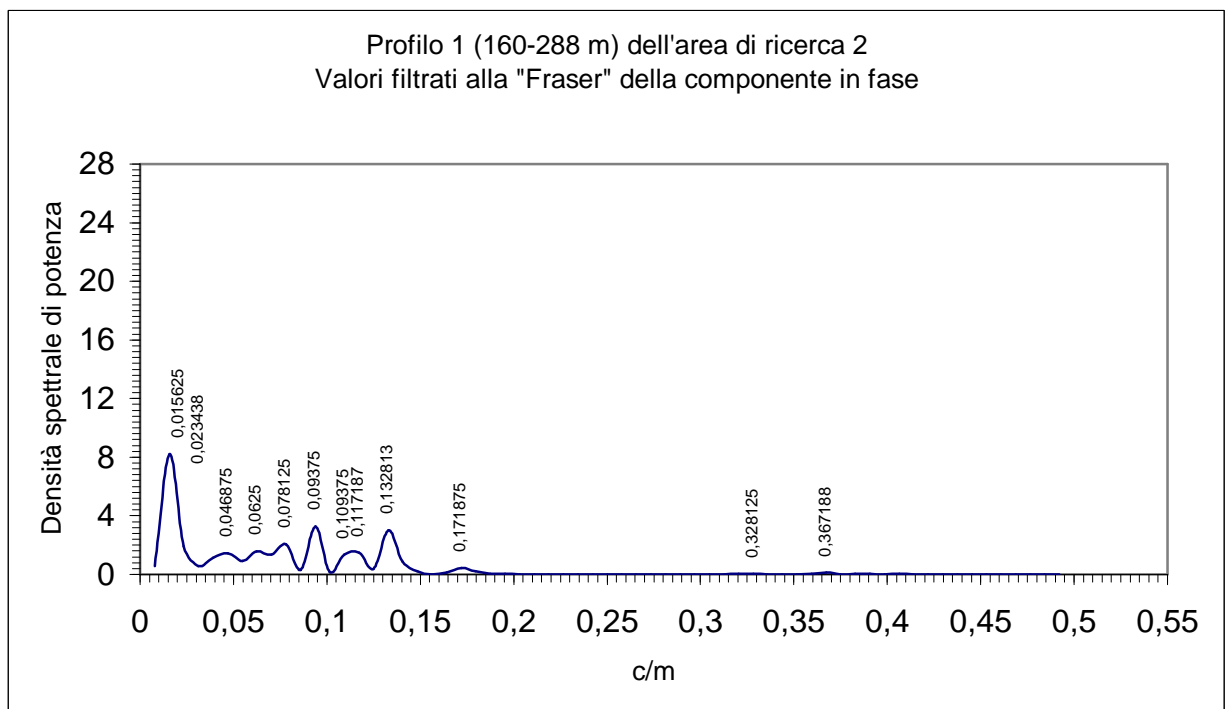


Figura 140 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 1, area di ricerca 2.

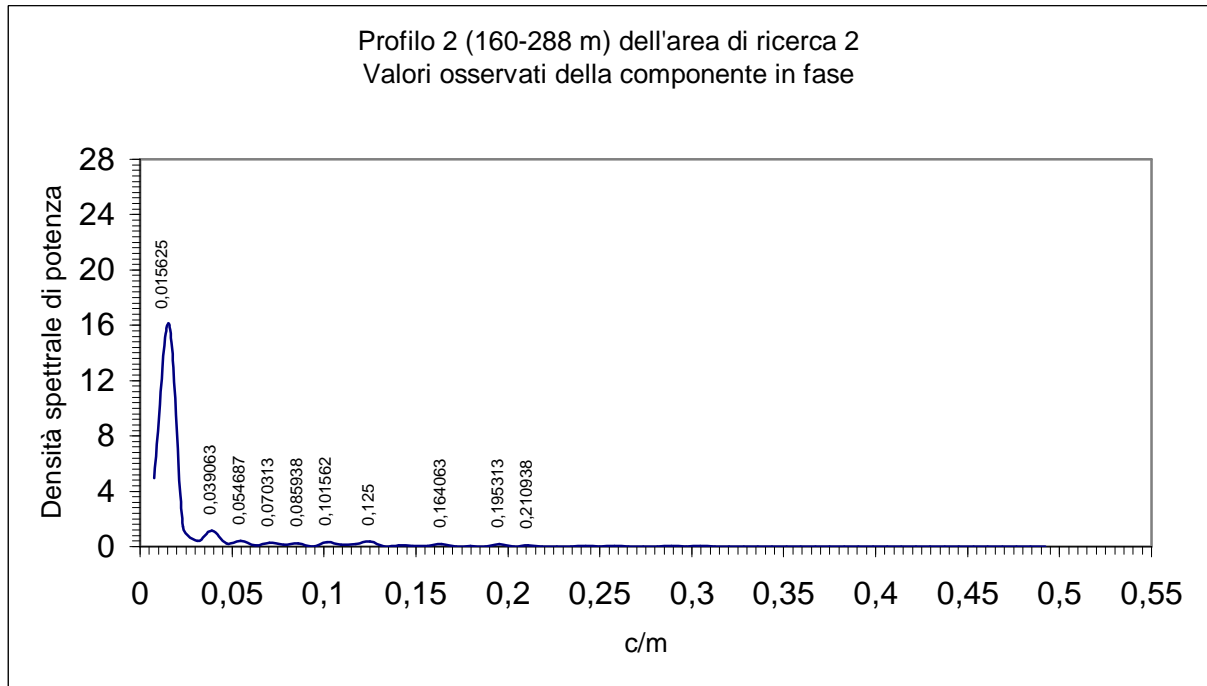


Figura 141 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 2.

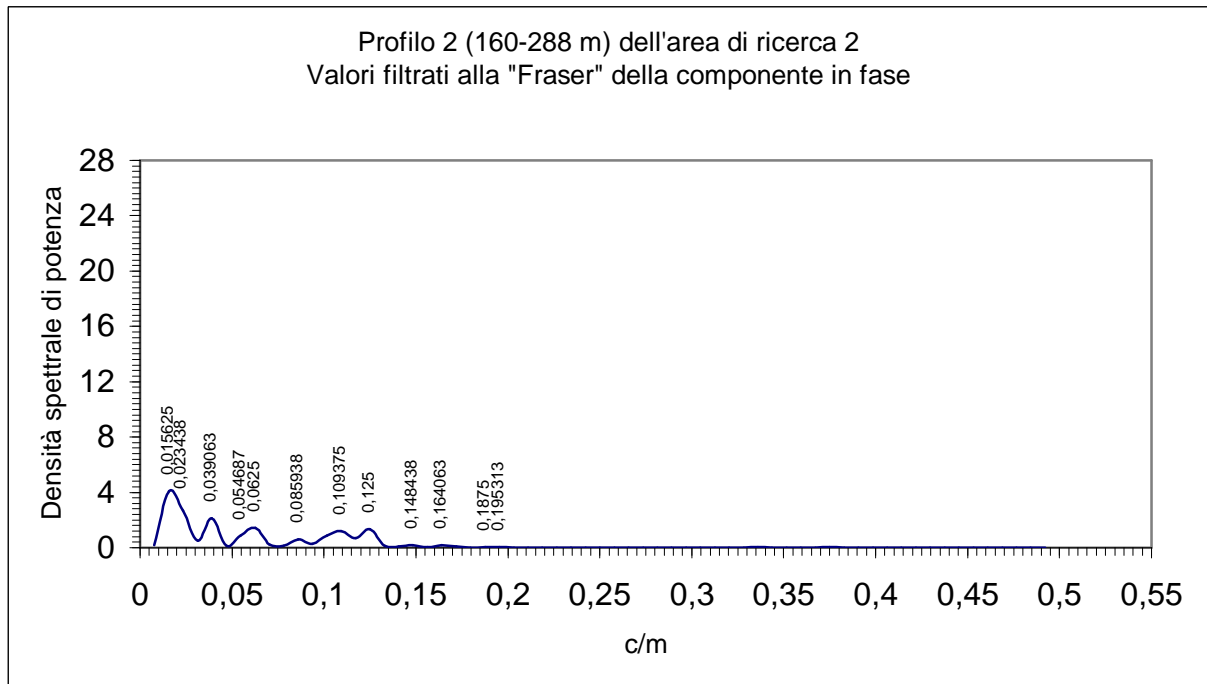


Figura 142 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 2, area di ricerca 2.

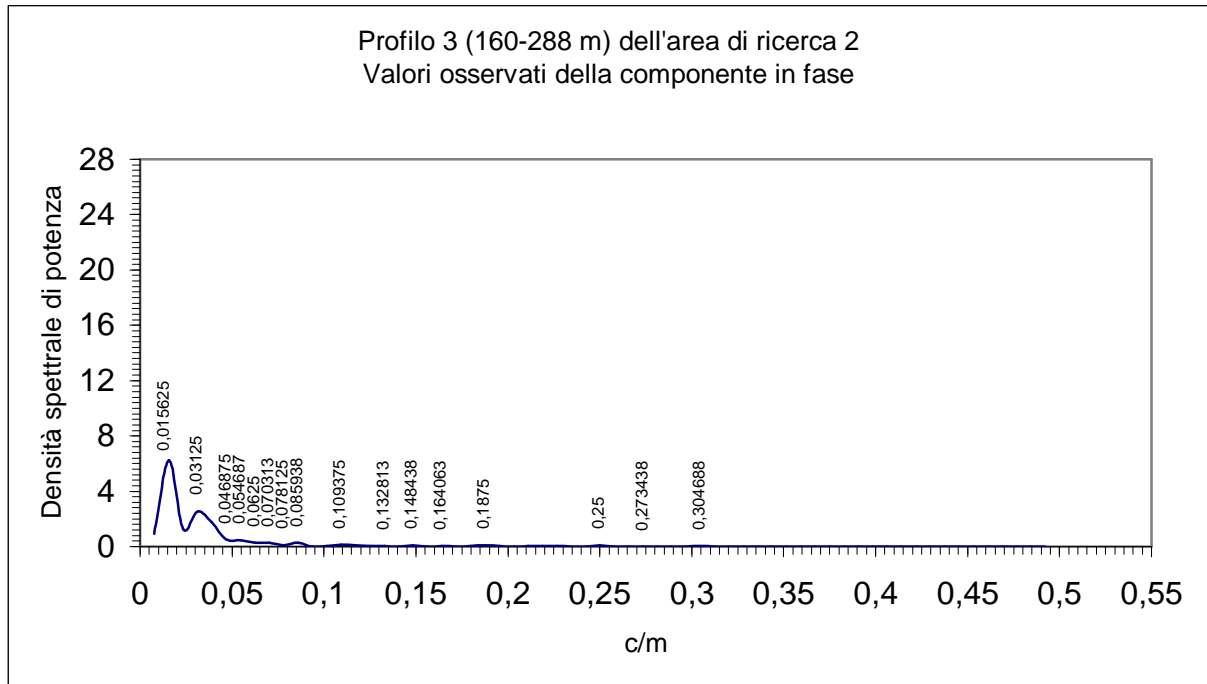


Figura 143 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 2.

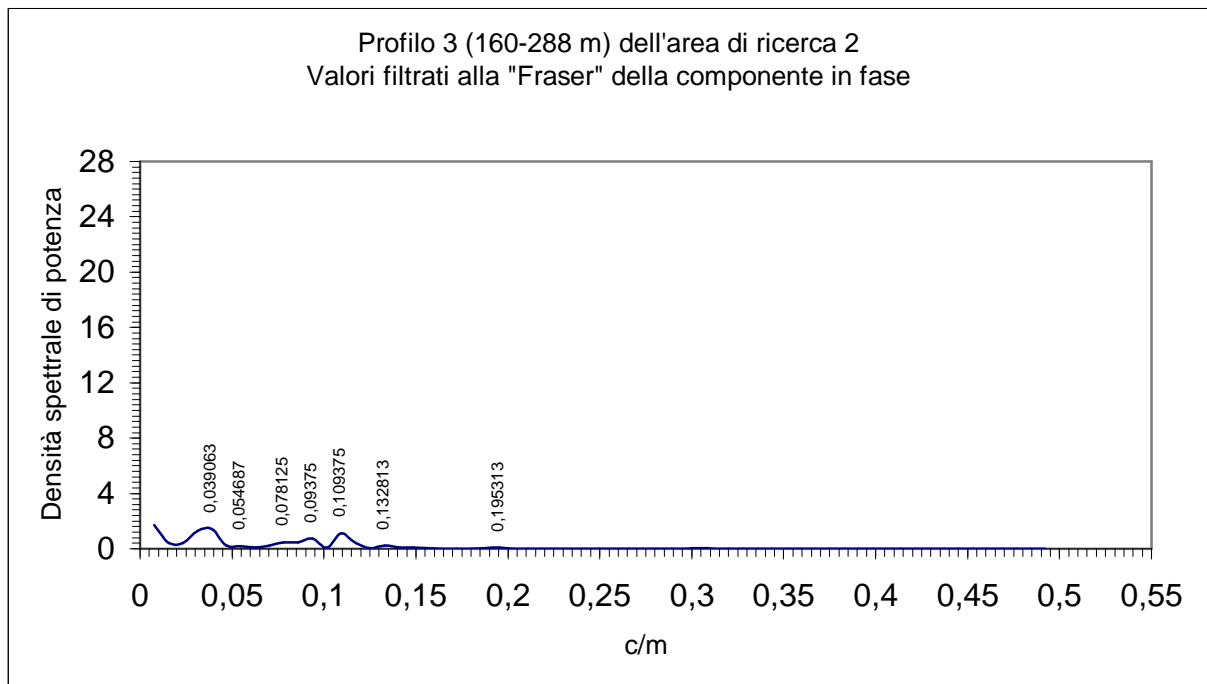


Figura 144 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 3, area di ricerca 2.

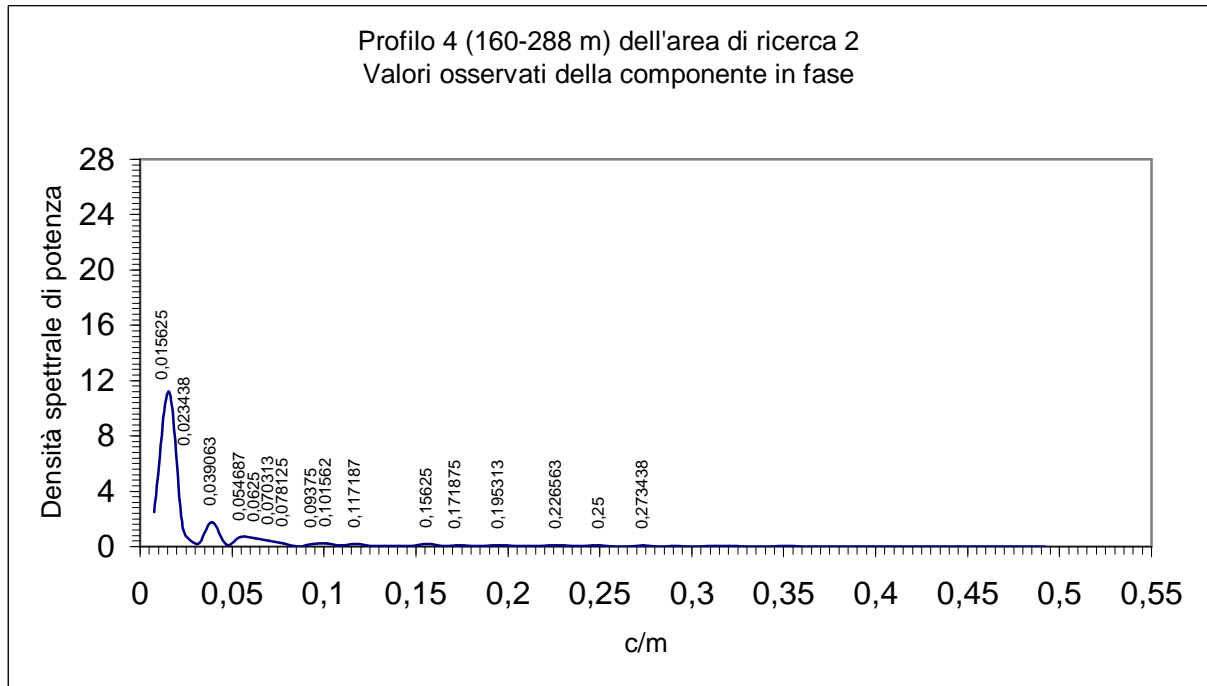


Figura 145 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 2.

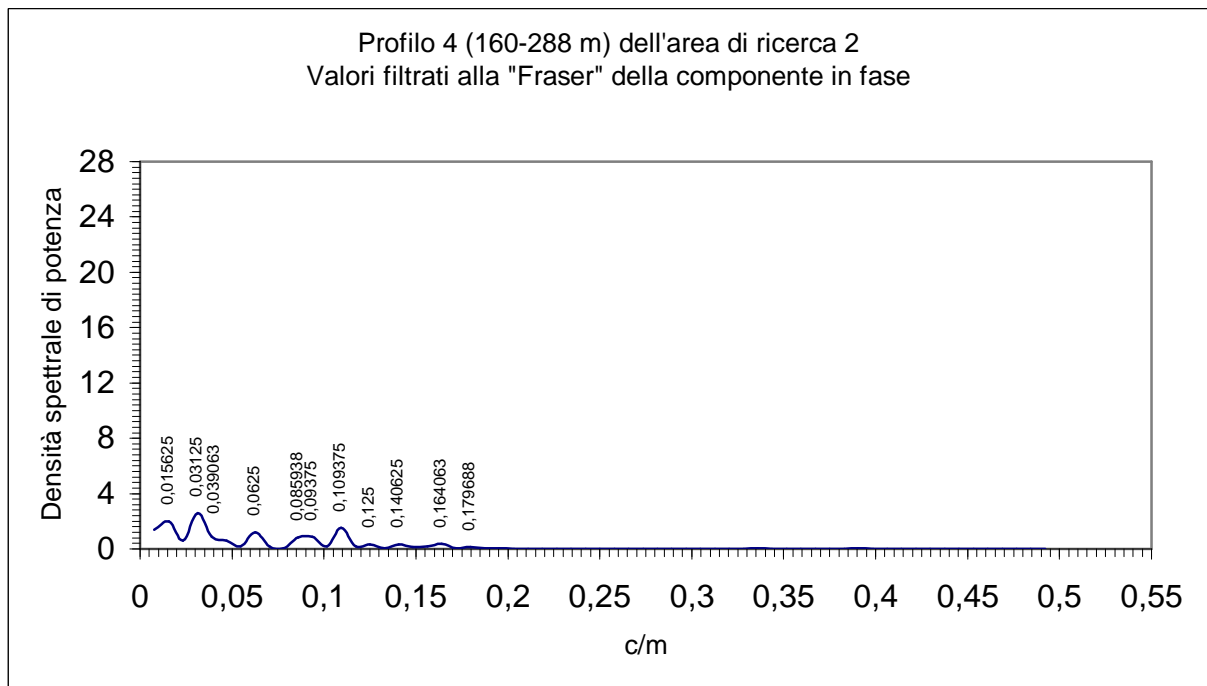


Figura 146 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in fase nel profilo 4, area di ricerca 2.

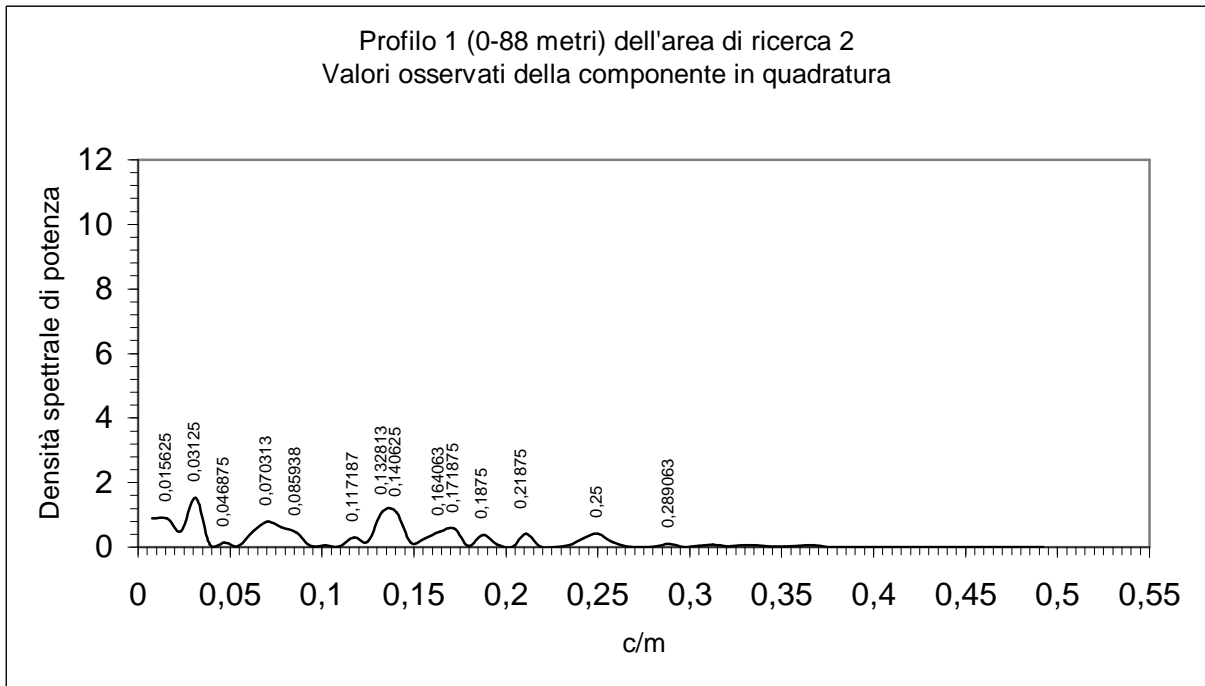


Figura 147 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 2.

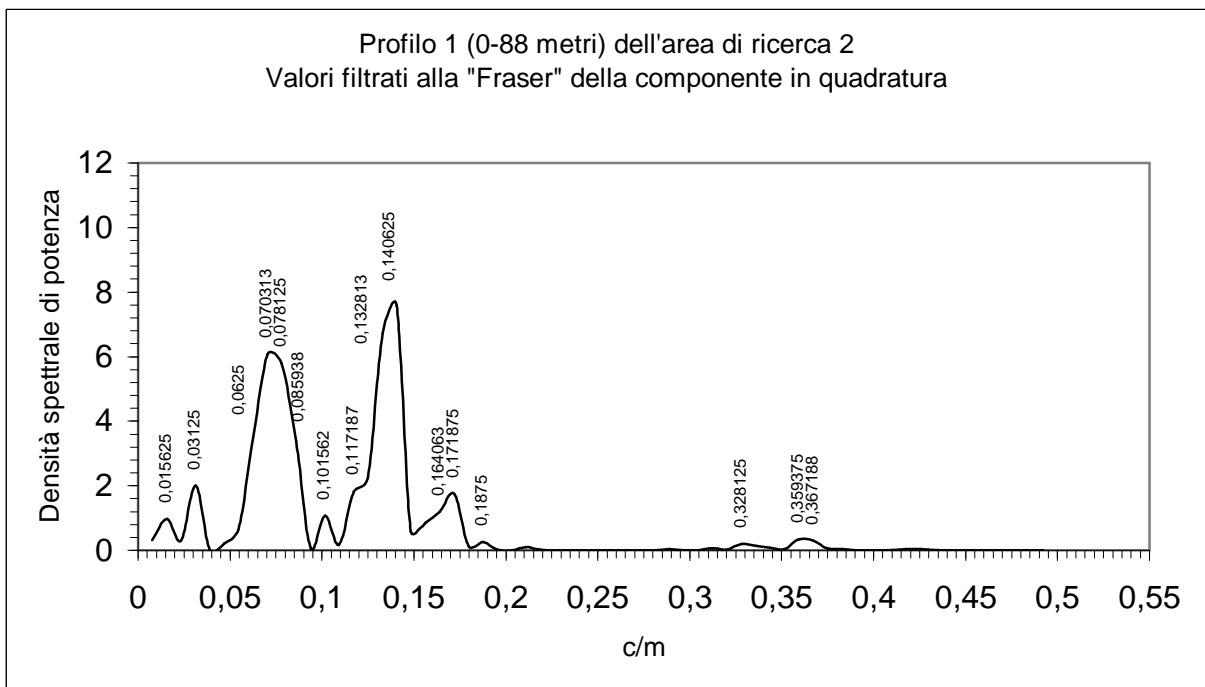


Figura 148 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 2.

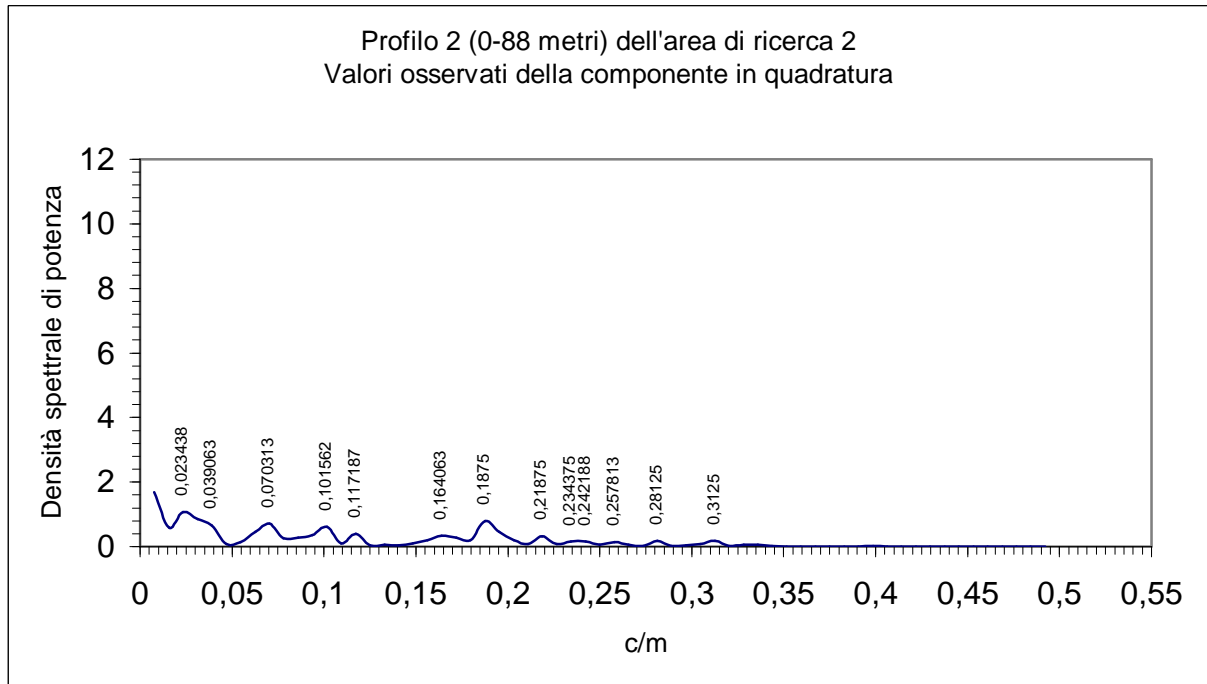


Figura 149 – Spettro della serie spaziale (0-88m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 2.

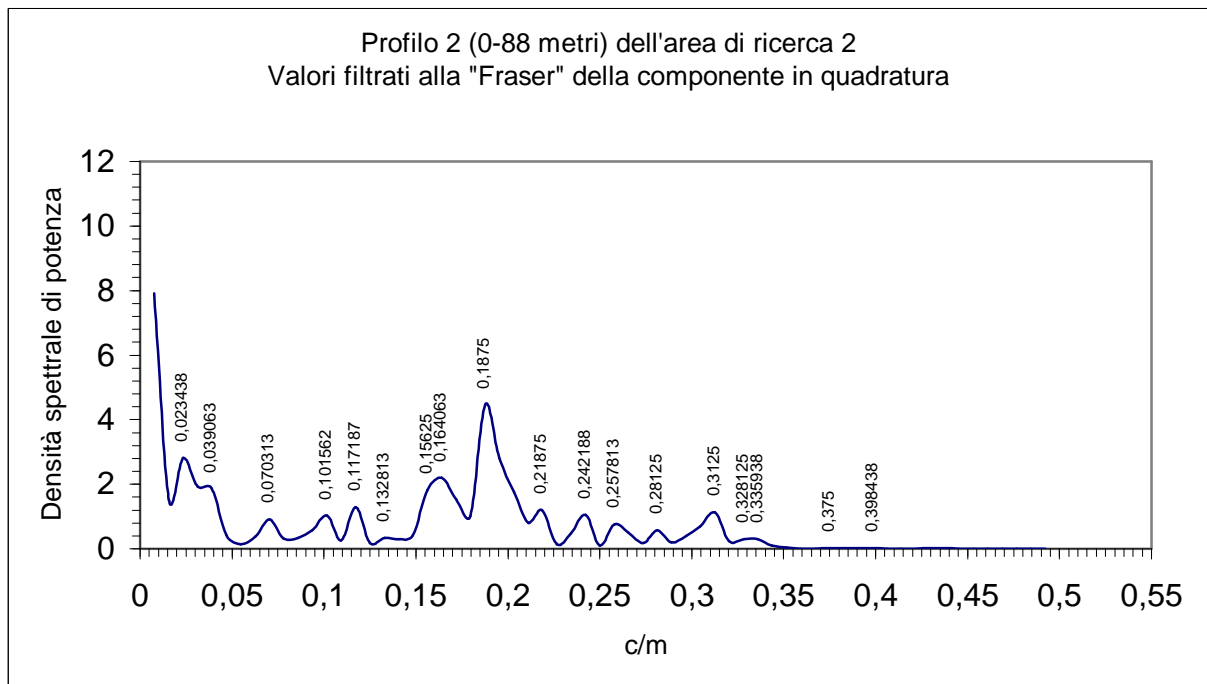


Figura 150 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 2.

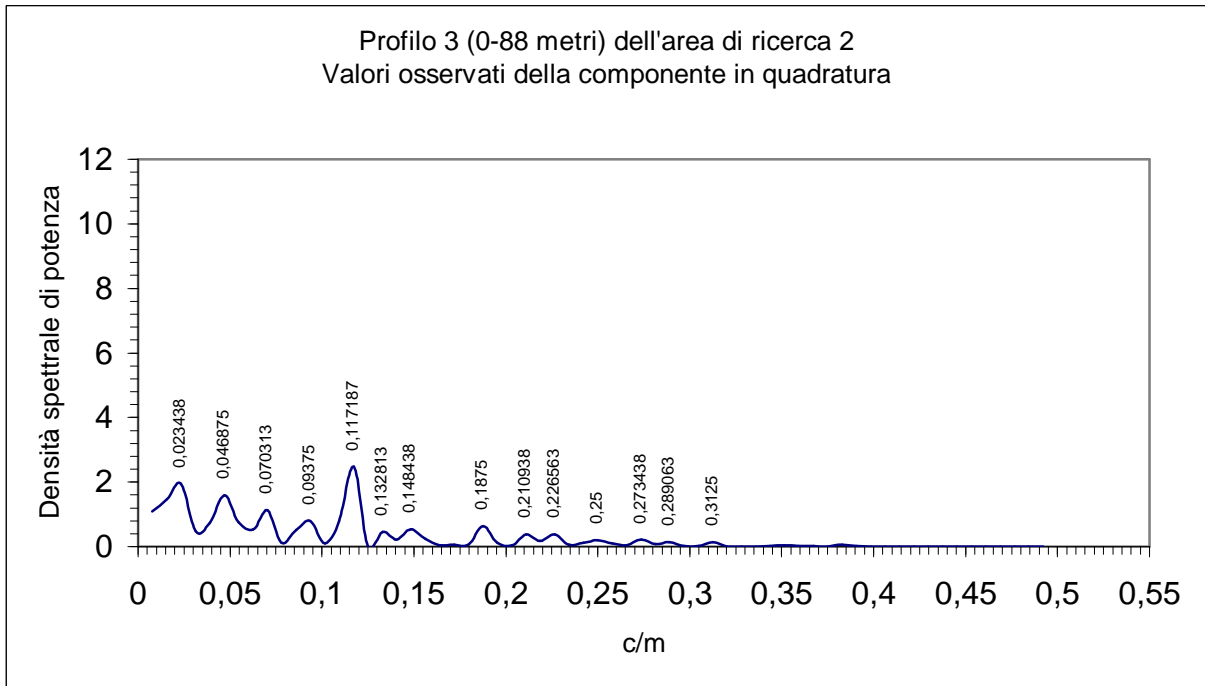


Figura 151 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 2.

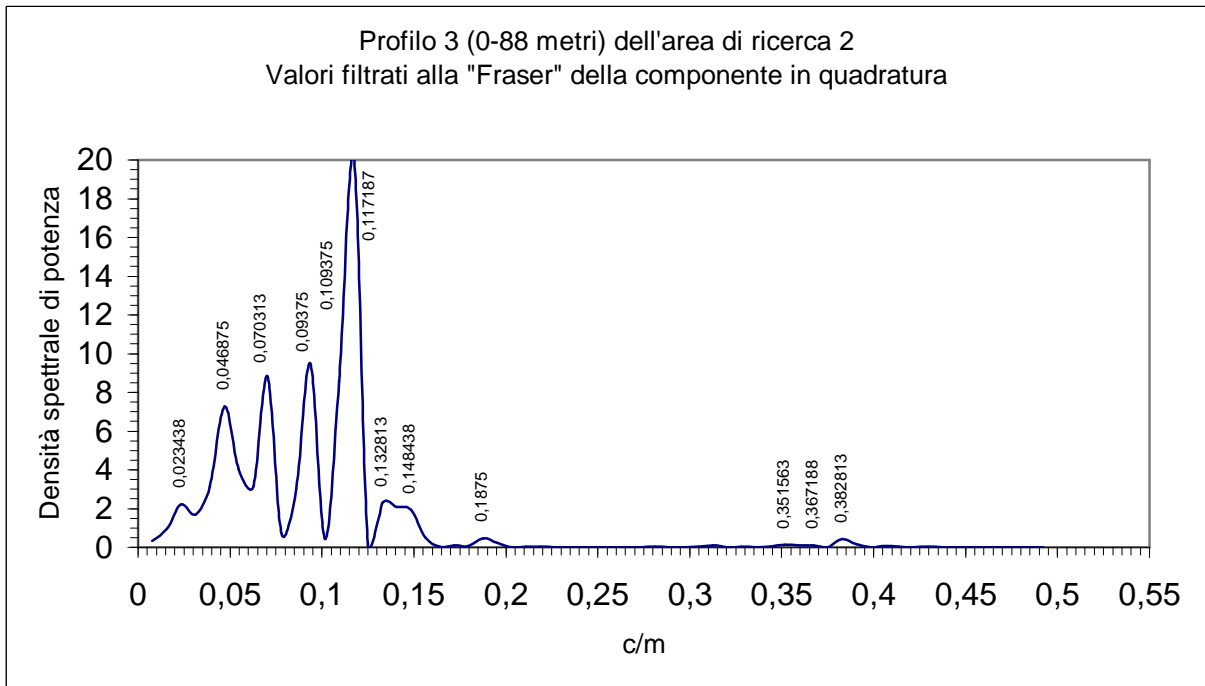


Figura 152 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 2.

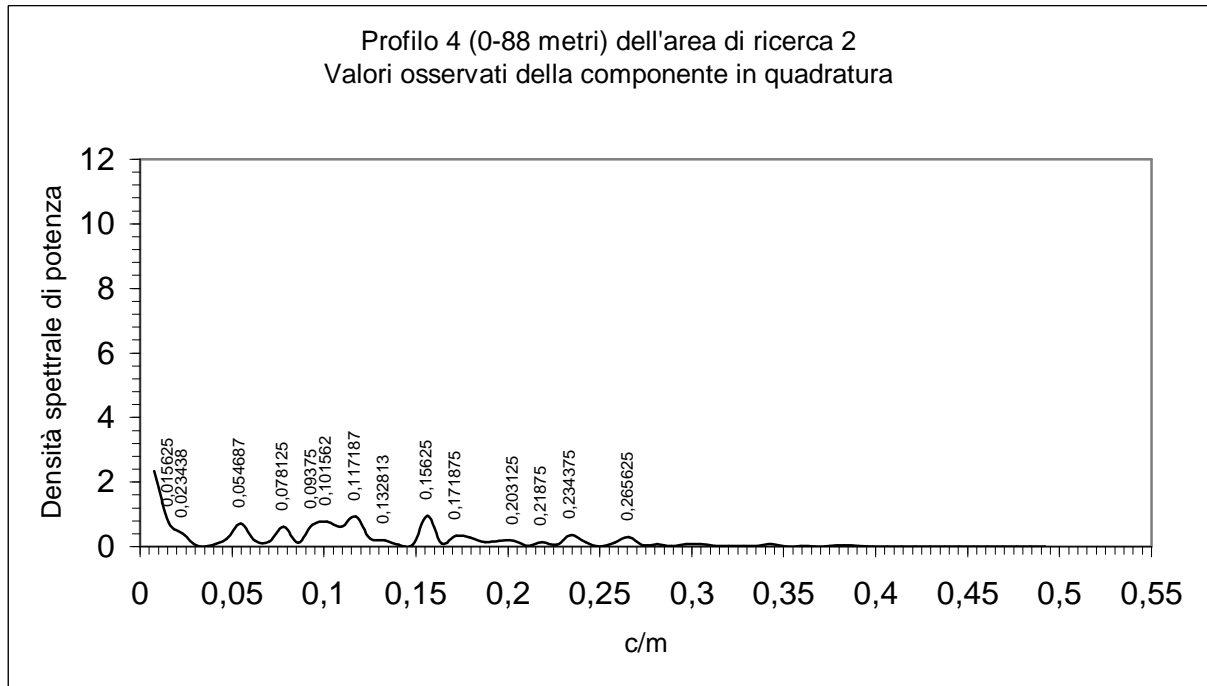


Figura 153 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 2.

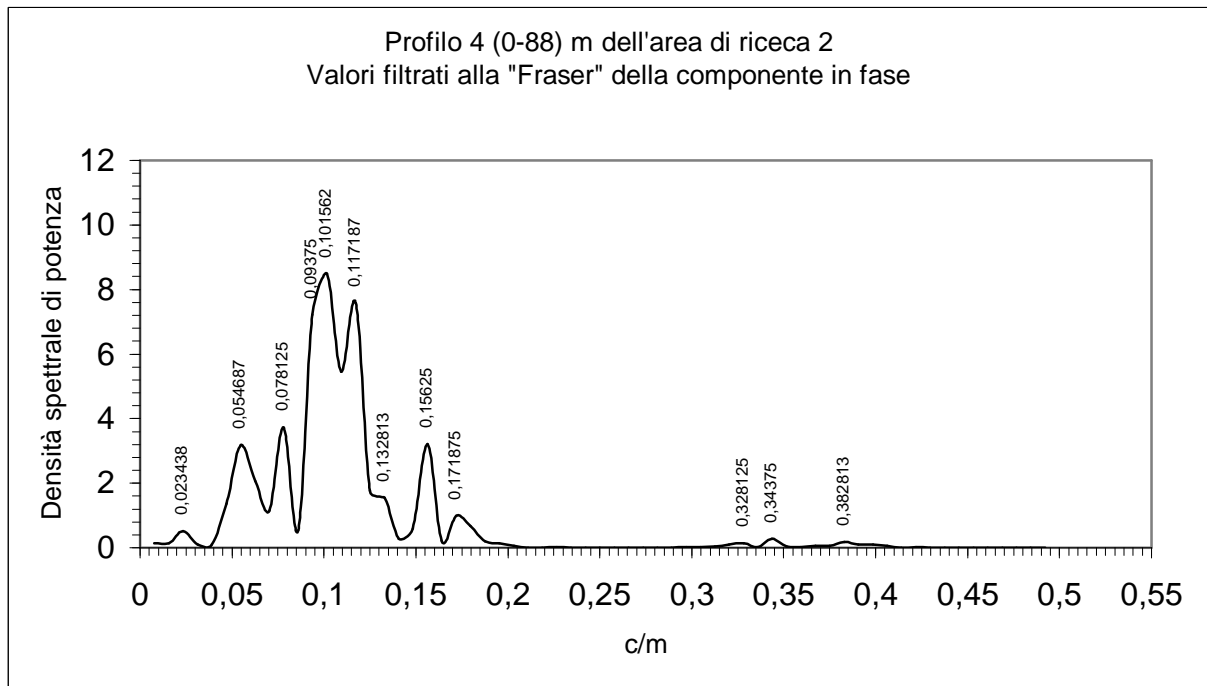


Figura 154 – Spettro della serie spaziale (0-88 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 2.

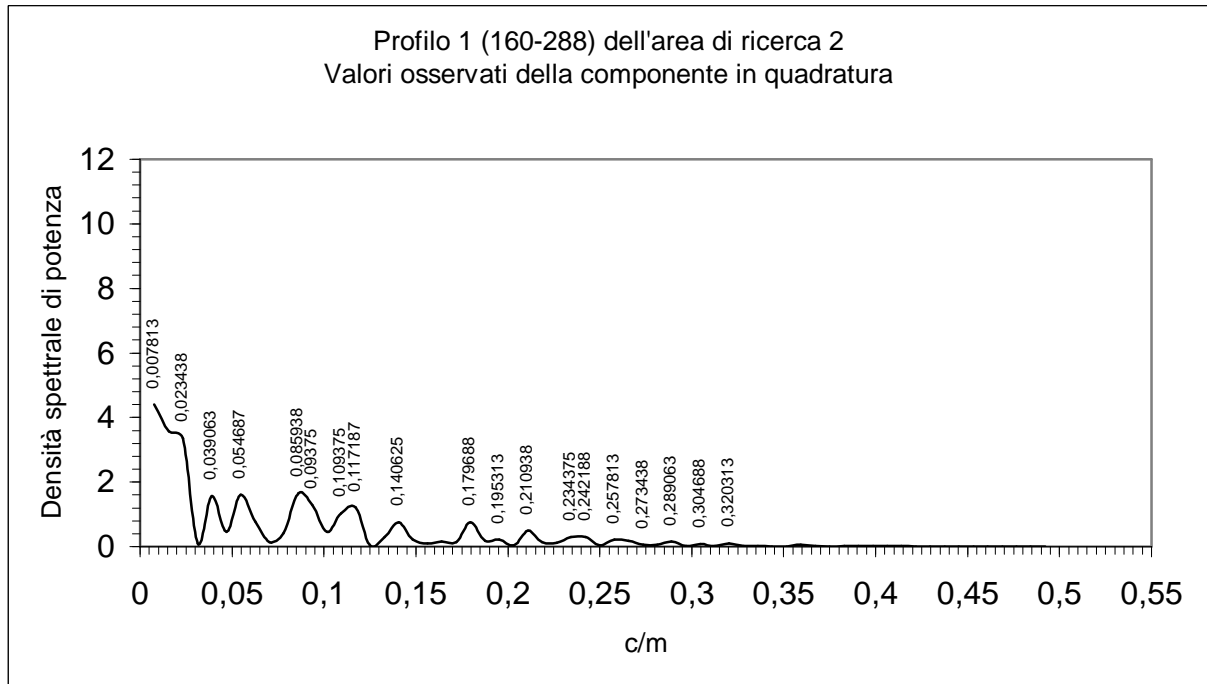


Figura 155 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 2.

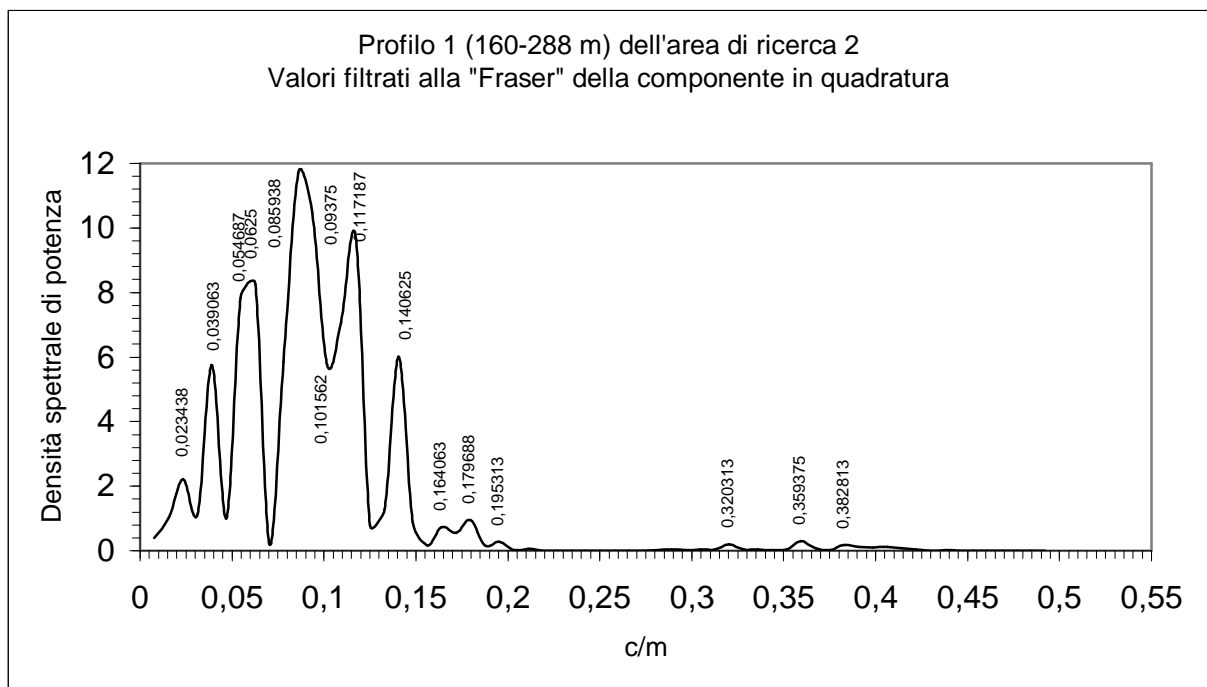


Figura 156 - Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 1, area di ricerca 2.

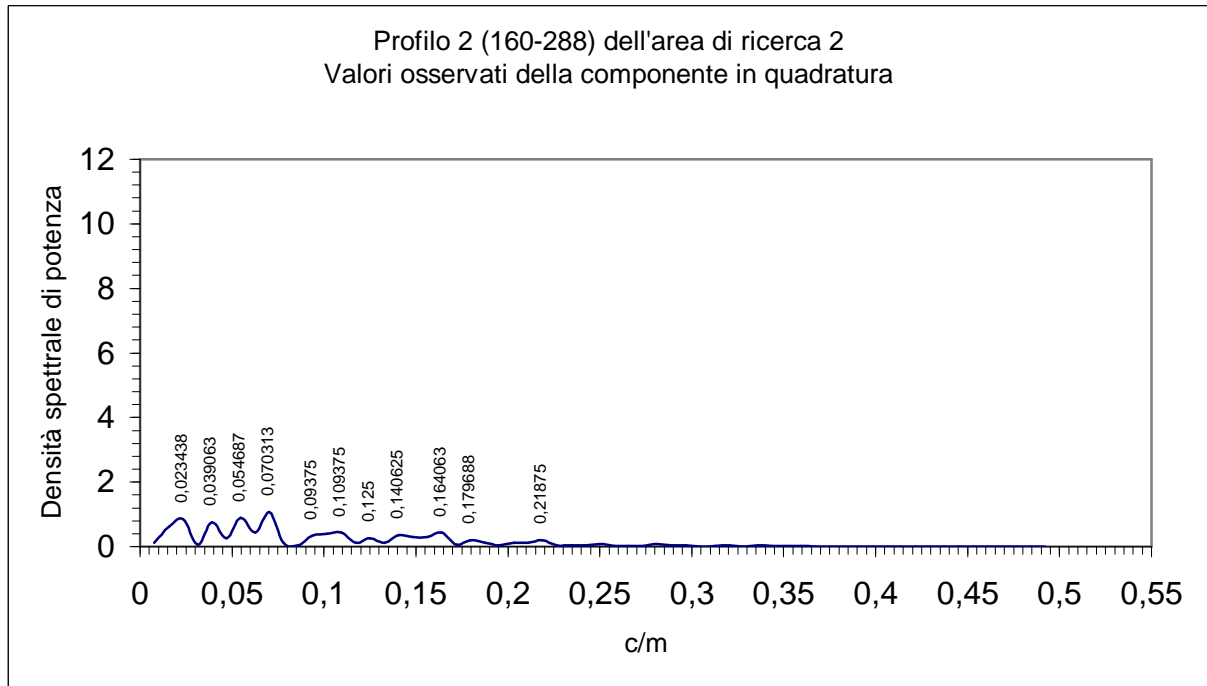


Figura 157 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 2.

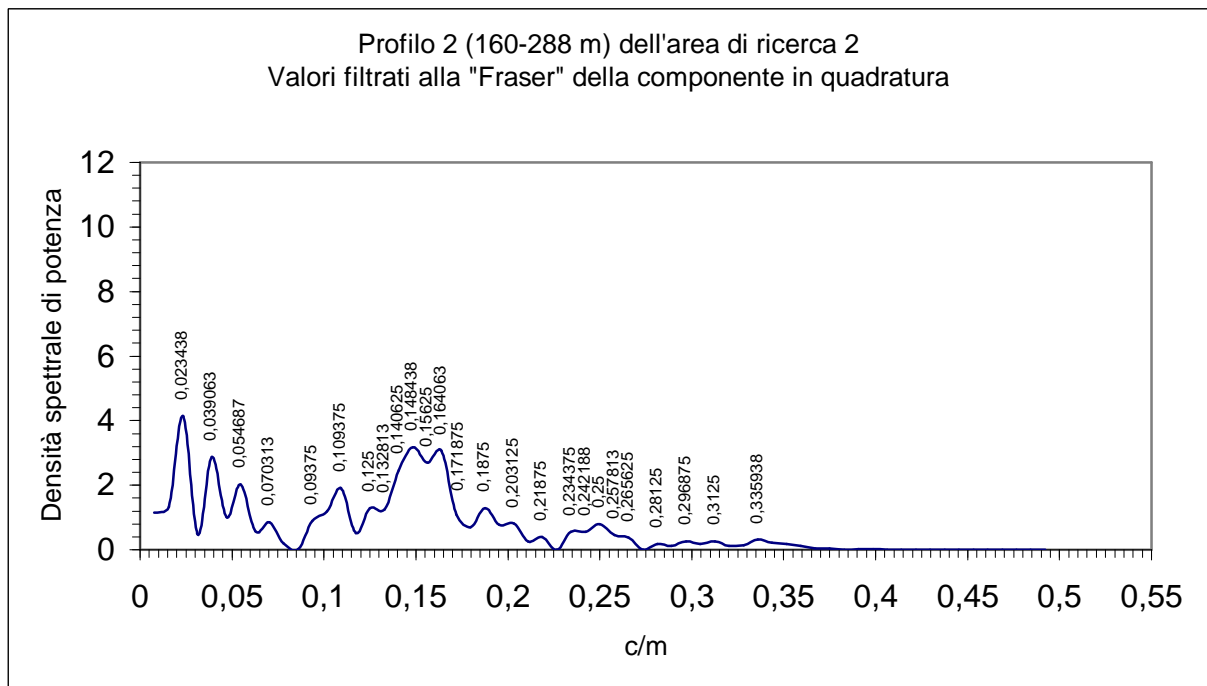


Figura 158 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 2, area di ricerca 2.

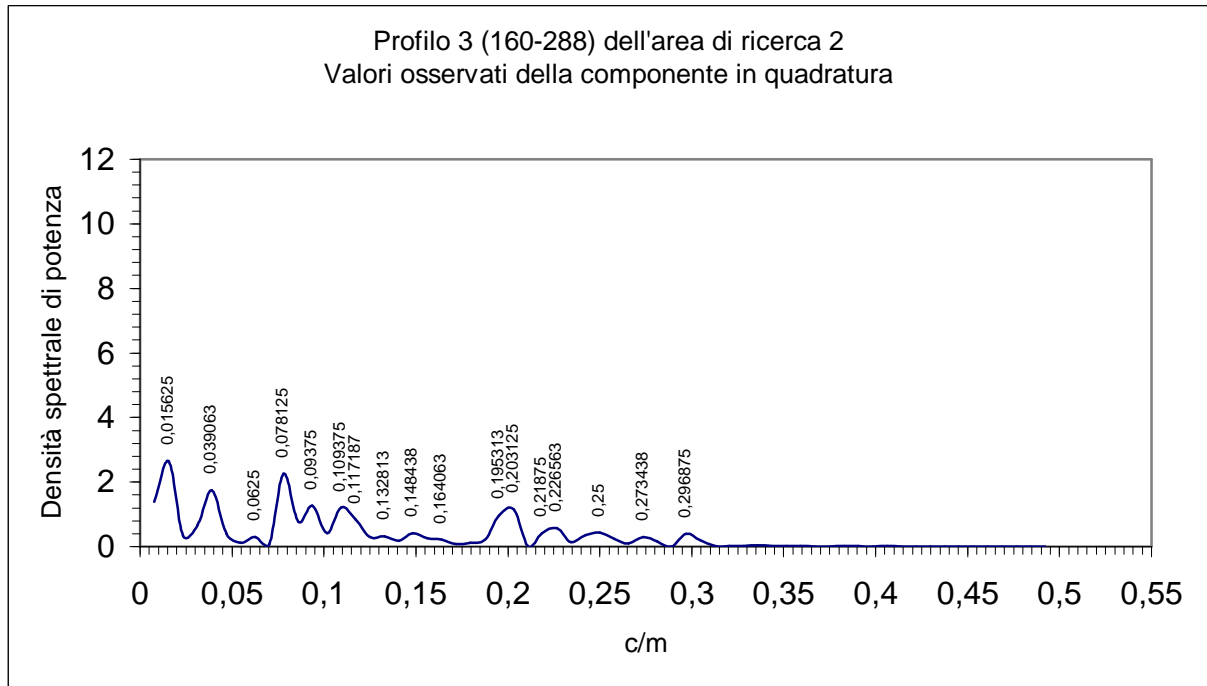


Figura 159 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 2.

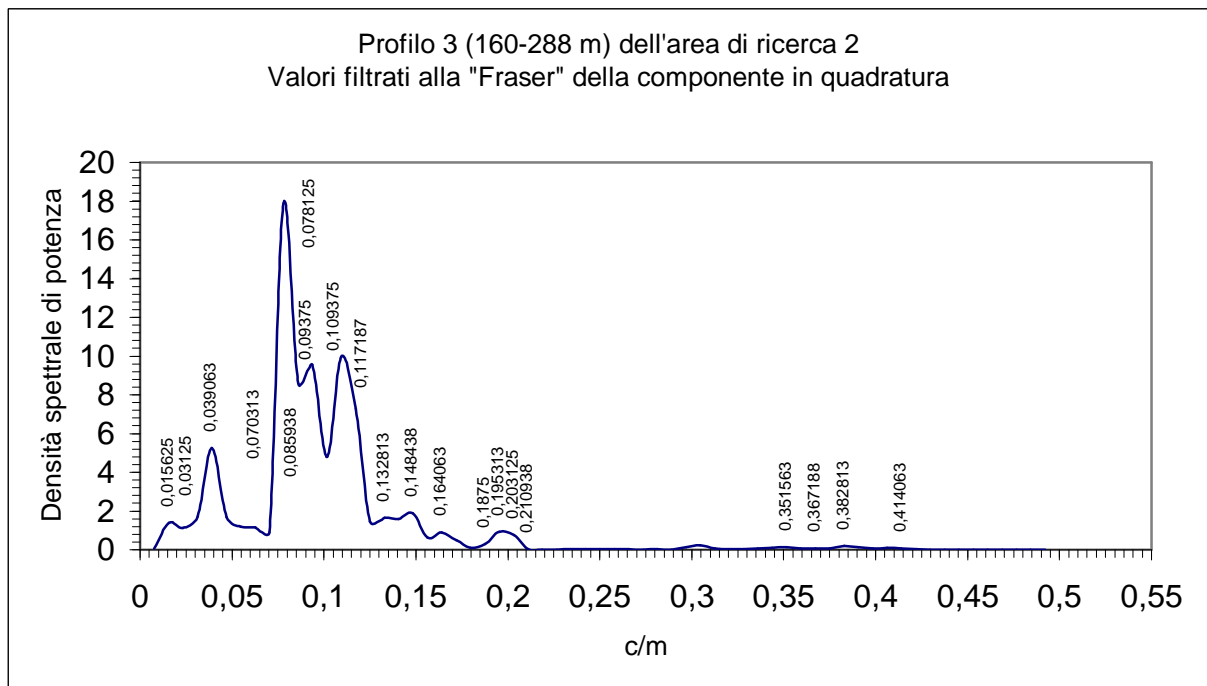


Figura 160 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 3, area di ricerca 2.

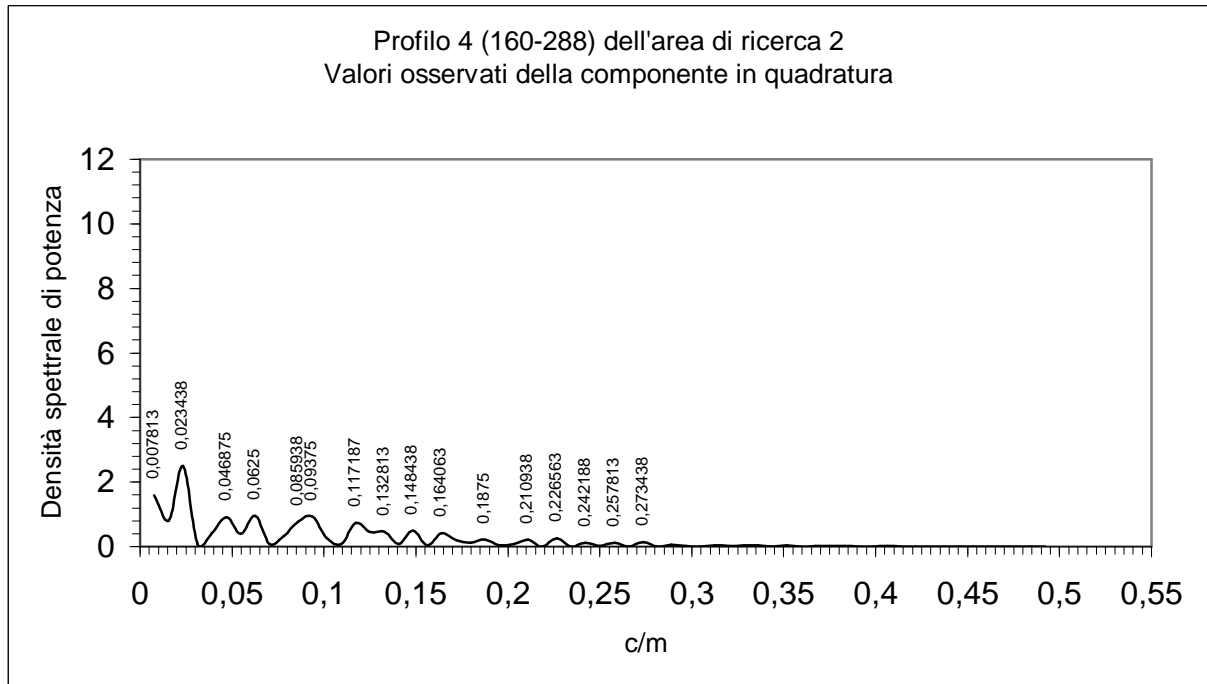


Figura 161 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori osservati della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 2.

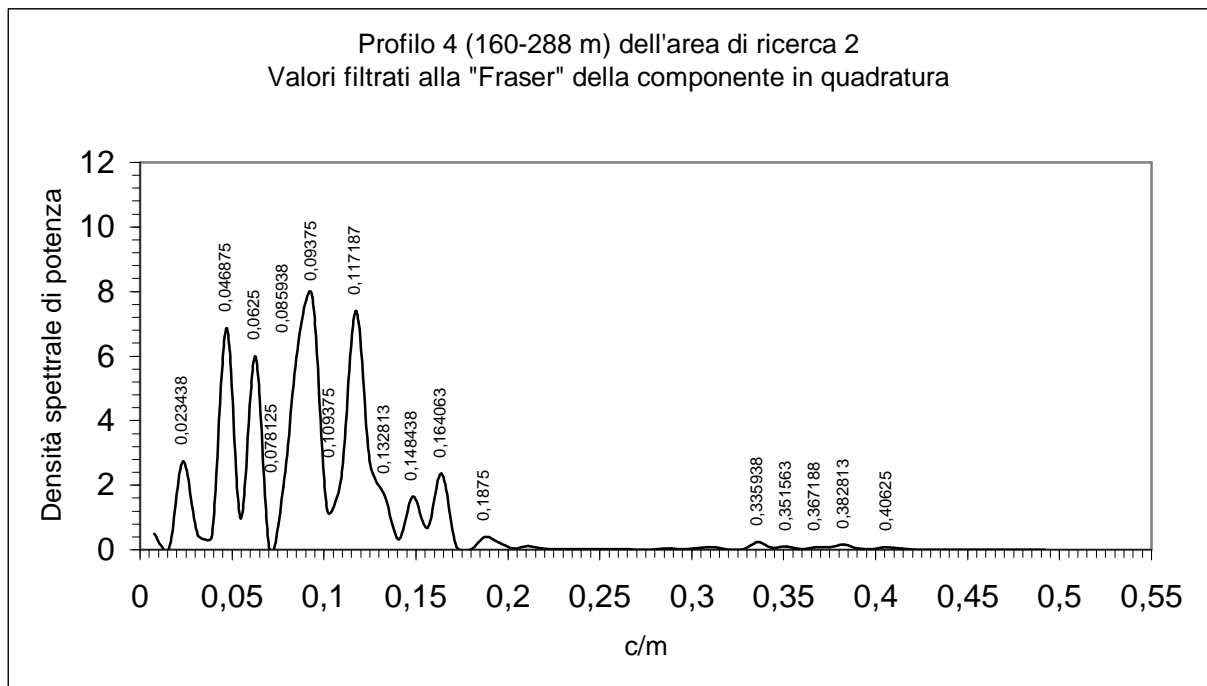


Figura 162 – Spettro della serie spaziale (160-288 m) dei valori filtrati alla "Fraser" della componente in quadratura nel profilo 4, area di ricerca 2.

L'analisi spettrale delle serie spaziali dei dati E.M. - V.L.F., mostra per l'area di ricerca 1 e in particolare per la prima serie (45-300 m), spettri (risultanti dallo sviluppo dell'algoritmo FFT dei dati della componente in fase (c.f.) filtrata alla "Fraser") con un contenuto in frequenza, prevalentemente compreso nel *range* tra 0 e 0,40 c/m. I valori della funzione densità spettrale di potenza sono compresi tra 0 e 12,5 (profilo P1) J/Hz, con una media di circa 1,1 J/Hz. Gli spettri elaborati con i dati della componente in quadratura (c.q.), presentano contenuti spettrali entro lo stesso *range* di frequenza, mentre la funzione di densità spettrale di potenza è compresa tra 0 e 6,9 J/Hz, con una media che si attesta su 1,6 J/Hz. La seconda serie (76-202 m), interamente sviluppata sulla Formazione del Cixerri, (unità a conducibilità elevata) presenta spettri (risultanti dallo sviluppo dell'algoritmo FFT dei dati della c.f. filtrata alla "Fraser") ben definiti entro un *range* di frequenza 0 e 0,20 c/m. La funzione di densità spettrale di potenza presenta valori compresi tra 0 e di 13,9 (profilo P2) J/Hz, con una media di circa 2,2 J/Hz. Gli spettri ottenuti dai dati della c.q., presentano lo stesso *range* di frequenza, mentre la funzione di densità spettrale di potenza è compresa tra 0 e 20 (profilo P3) J/Hz, con una media di circa 2,4 J/Hz. La terza serie (250-378 m), si sviluppa nella parte alta del versante indagato, interessata dalle alluvioni terrazzate nel Pleistocene Inferiore (unità a conducibilità bassa). Detta unità, mostra spettri (risultanti dallo sviluppo dell'algoritmo FFT dei dati della c.f. filtrata alla "Fraser") con contenuto spettrale entro un *range* di frequenza compreso tra 0 e 0,35 c/m. La funzione di densità spettrale di potenza presenta valori compresi tra 0 e 3 (profilo P1) J/Hz con una media di 0,45 J/Hz. Gli spettri ricavati dai dati della c.q., presentano lo stesso *range* di frequenza, mentre la funzione di densità spettrale di potenza è compresa tra 0 e 5,2 (profilo P2) J/Hz, con una media di circa 1 J/Hz.

L'analisi comparata degli spettri di frequenza dell'area di ricerca 1, ha mostrato che gli spettri di frequenza, relativi ai dati della c.f. e c.q. filtrati alla "Fraser", sono risultati maggiormente significativi in conseguenza dell'azione di filtraggio, che ha consentito di migliorare il rapporto segnale/disturbo. La configurazione spettrale è risultata meglio definita (i picchi principali si concentrano entro un *range* di frequenze spaziali ben definito, associato ad alti valori della funzione di densità spettrale di potenza) per la serie di dati, relativa al settore in cui le litologie risultano maggiormente conduttive (Formazione del Cixerri). E' ancora da osservare che gli spettri elaborati con i dati della c.q. filtrata alla "Fraser", presentano sempre valori più elevati della funzione di densità spettrale di potenza rispetto a quella degli spettri elaborati con i dati della c.f.

filtrata alla "Fraser".

L'analisi spettrale delle serie spaziali dei dati E.M. - V.L.F., mostra per l'area di ricerca 2, e in particolare per la prima serie (0-88 m), che si sviluppa sulle andesiti oligomioceniche e sui suoli ad esse sovrastanti e di scarso spessore, spettri (risultanti dallo sviluppo dell'algoritmo FFT dei dati della componente in fase (c.f.) filtrata alla "Fraser") con un *range* di frequenza compreso tra 0 e 0,20 c/m. La funzione di densità spettrale di potenza è compresa tra 0 e 22,7 (profilo P2) J/Hz, con una media di circa 3,3 J/Hz. Gli spettri relativi ai dati della componente in quadratura (c.q.), presentano lo stesso *range* di frequenza (0-0,20 J/Hz), eccetto il profilo P2 (0,35 J/Hz), mentre la funzione di densità spettrale di potenza è compresa tra 0 e 20,1 J/Hz, con una media di circa 2,55 J/Hz. La seconda serie (160-288 m), sviluppata sulla Formazione del Cixerri e sul colluvio di origine vulcanica sovrastante, presenta spettri (risultanti dallo sviluppo dell'algoritmo FFT dei dati della c.f. filtrata alla "Fraser") con un *range* di frequenza compresa tra 0 e 0,12/0,15 c/m. Le potenze presentano valori compresi tra 0 e di 8,2 (profilo P1) J/Hz, con una media di circa 0,8 J/Hz. Gli spettri relativi ai dati della c.q., presentano *range* di frequenza compresi tra 0 e 0,20/0,27 c/m, mentre la funzione di densità spettrale di potenza è compresa tra 0 e 17,8 (profilo P3) J/Hz, con una media che si attesta su 3,2 J/Hz.

L'analisi comparata degli spettri di frequenza relativi ai dati acquisiti nell'area di ricerca 2, ha confermato la maggiore significatività degli spettri di frequenza relativi ai dati della c.f. e c.q. filtrati alla "Fraser". Anche per l'area di ricerca 2, la configurazione spettrale, è meglio definita per la serie di dati relativa al settore le cui litologie risultano maggiormente conduttive (seconda serie, colluvio andesitico su Formazione del Cixerri). A ulteriore conferma, gli spettri elaborati con i dati della c.q. filtrata alla "Fraser", presentano sempre valori della funzione di densità spettrale di potenza maggiori rispetto a quelli che caratterizzano gli spettri relativi alla c.f. filtrata alla "Fraser".

Per completezza di informazione, si sono eseguite analisi sulle serie spaziali dei dati provenienti dalle prospezioni geofisiche E.M.I. Dette analisi, non hanno mostrato la stessa significatività rilevata per i dati E.M.-V.L.F. Probabilmente le diverse caratteristiche intrinseche del dato analizzato, non ha consentito di ottenere gli stessi eccellenti risultati ottenuti con l'analisi spettrale delle serie spaziali dei dati E.M.-V.L.F.

CAPITOLO 4 – Discussione dei risultati

4.1 Area campione 1, località "Micceddu", Monastir (Ca)

I risultati ottenuti attraverso lo studio geofisico-geopedologico dell'area in esame sono rappresentati dal miglioramento della precisione nella redazione della cartografia pedologica prodotta. La redazione della cartografia di dettaglio è stata ottenuta attraverso il riposizionamento dei limiti pedologici definiti attraverso studi tradizionali di rilevamento del suolo, discussi nel capitolo 3 e di seguito dettagliatamente riportati.

In particolare:

- Il limite pedologico, tra i *fine, mixed, superactive, thermic Aquic Haploxeralfs* (evidenziato nella parte bassa del versante con il colore verde) e l'unità di suolo caratterizzata dai *fine, mixed, superactive thermic Calcic Palexeralfs* (evidenziata al centro del versante con il colore giallo pallido), posto nella carta di riferimento in scala 1:10.000 (Orrù e Vacca, 2004) alla quota di circa 65 m (figura 55), è risultato posizionato in maniera corretta. Tutte le prospezioni geofisiche effettuate con i diversi strumenti utilizzati, e con le diverse metodologie, davano come posizione del limite proprio i 65 m.

Da questa analisi è emerso che le prospezioni elettromagnetiche sono state di grande utilità, consentendo di confermare l'attendibilità di una carta eseguita attraverso il tradizionale rilievo pedologico.

- Il limite pedologico, tra i *fine, mixed, superactive thermic Calcic Palexeralfs* e l'unità di suolo caratterizzata dai *clayey-skeletal, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralfs* (evidenziata sulla parte alta del versante con il colore verde militare), inizialmente posto nella carta di Orrù e Vacca (2004) alla quota di circa 150 m (figura 55), è stato riposizionato a quota 248 m circa (figura 163). Tutti gli strumenti utilizzati, nelle diverse metodologie di indagine, segnalavano la presenza di anomalie elettriche riferibili a un cambiamento di condizioni fisico-chimiche dei suoli analizzati proprio a quella quota (figura 54). Anche i risultati delle analisi pedologiche, effettuate dopo la campagna geofisica, hanno permesso di posizionare il limite tra le diverse unità di suolo proprio a 248 m. Infatti, la classificazione del profilo E (*fine, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralf*), risulta la stessa del profilo 2, studiato da Orrù e Vacca (2004)

(Rif. Par. 3.1.3). In particolare, l'assenza quasi totale di scheletro e l'alta percentuale di limo e argilla (60-70%), in entrambi i profili analizzati, hanno permesso che si rilevasse un'alta conducibilità elettrica, propria di litologie come la Formazione del Cixerri (Eocene medio-Pliocene inferiore) (Rif. Par. 1.1.1). Questi risultati, hanno permesso di determinare la presenza della stessa unità pedologica (Formazione del Cixerri), in entrambi i profili. La classificazione del profilo F (*clayey-skeletal, mixed, superactive, thermic Calcic Palexeralf*), è la stessa del profilo 3 studiato da Orrù e Vacca (2004) (Rif. Par. 3.1.3). In particolare, l'alta percentuale di scheletro (fino al 70% nell'orizzonte Btkm del profilo F) e la limitata profondità (da -50 a -80 cm) degli orizzonti con aggregazione massiva, di entrambi i profili, hanno permesso di evidenziare una scarsa conducibilità elettrica, propria di litologie come i depositi alluvionali terrazzati del Pleistocene medio. Dette analisi, hanno permesso di determinare la presenza della stessa unità pedologica (depositi alluvionali terrazzati), in entrambi i profili, confermando il riposizionamento del limite pedologico di 100 m.

A conferma dei risultati ottenuti, i grafici dei valori della componente in fase e in quadratura del campo elettromagnetico filtrati mediante l'algoritmo di "Fraser", nonché le pseudosezioni di densità di corrente elettrica, ottenute attraverso il filtro di "Karous Hjelt" (Rif. Par. 3.1.1), hanno messo in evidenza una zona con buone caratteristiche di conducibilità elettrica, posizionata nel settore centrale del versante indagato. Detta unità geofisica coincide con la già menzionata Formazione del Cixerri. In particolare, dall'analisi dei dati elettromagnetici si è osservato come la componente in quadratura sia maggiormente influenzata dalle condizioni più superficiali delle litologie indagate. Pertanto, le osservazioni di tale componente hanno permesso di ottenere informazioni di carattere strettamente pedologico. La componente in fase è risultata, invece, maggiormente influenzata dalle condizioni più profonde delle litologie indagate. Le informazioni ottenute hanno di conseguenza, un significato più geologico che pedologico.

Nella figura 163 vengono riportate sia la sezione geologica (a) sia la carta pedologica (b) dell'area in esame. In particolare, la carta pedologica è stata rivista e migliorata in seguito all'analisi e all'integrazione dei dati geofisici e geopedologici.

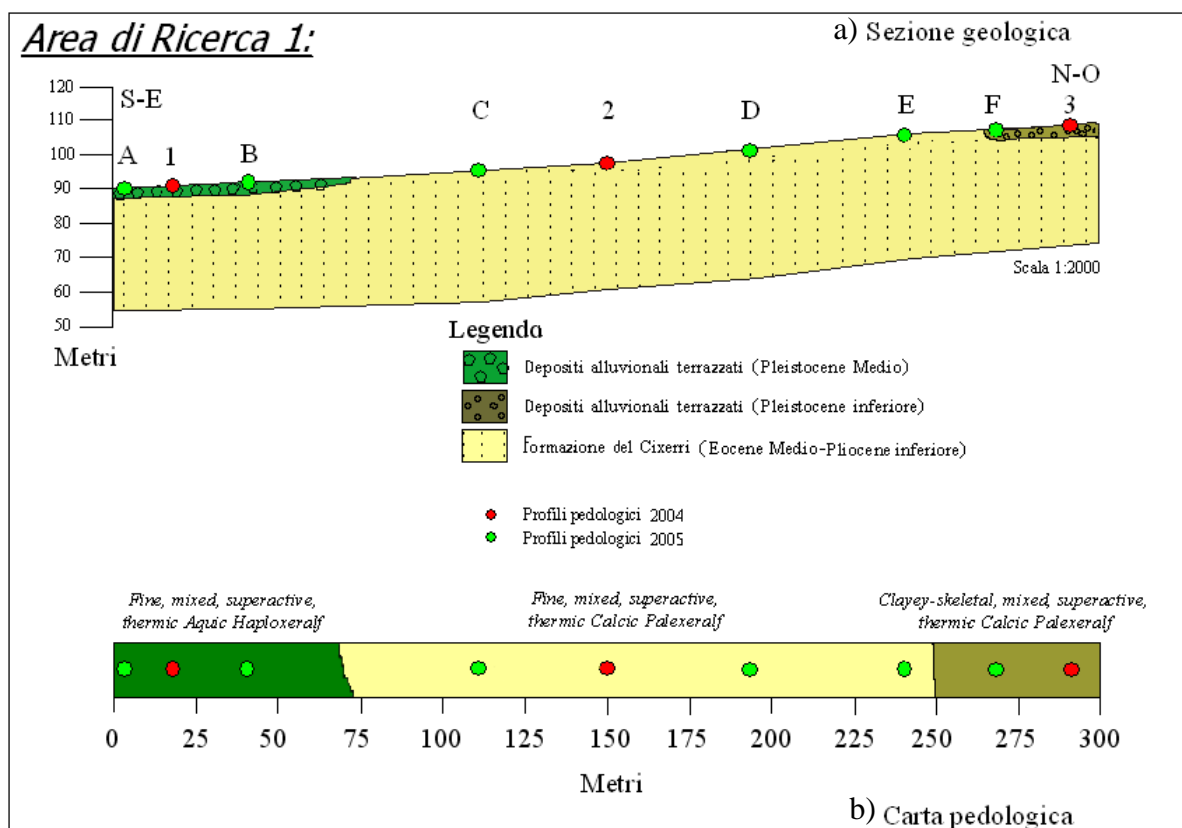


Figura 163 – Sezione geologica (a) e porzione di carta pedologica (b) dell'area di ricerca 1, ottenute dall'integrazione dei dati geopedologici e geofisici.

I risultati precedentemente discussi sono stati ulteriormente verificati mediante l'applicazione dell'analisi spettrale alle serie dei dati delle componenti in fase e in quadratura, acquisiti lungo tutti i profili geofisici realizzati nell'area. Infatti, lo spettro di ampiezza e/o di potenza di un segnale geofisico rivela l'energia associata alle diverse frequenze che costituiscono la struttura della serie in analisi, consentendo di valutare, in modo oggettivo, la qualità ed il contenuto di informazioni dei segnali stessi. Dall'analisi comparata tra i risultati dell'analisi spettrale ed i dati geopedologici, si è constatata la stretta correlazione tra natura dei suoli e composizione spettrale dei segnali elettromagnetici. Infatti, il range di frequenze riscontrato nell'analisi spettrale, è proprio di ogni unità pedologica e la definisce in maniera univoca.

In particolare:

- L'analisi comparata degli spettri di frequenza dell'area di ricerca 1, sia per la c.f. che per la c.q, ha mostrato che la configurazione spettrale è meglio definita (i picchi principali si concentrano entro un range di frequenze spaziali rappresentative limitato, associato ad elevati valori della funzione densità spettrale di potenza) per la serie di dati relativa al settore le cui litologie

risultano maggiormente conduttive (Formazione del Cixerri, seconda serie di dati). Le unità litologiche poco conduttive (alluvioni terrazzate nel Pleistocene inferiore), sono risultate caratterizzate da un range di frequenze ampie e da bassi valori della funzione densità spettrale di potenza. Gli spettri di frequenza calcolati sui dati della c.f. e c.q. filtrati alla "Fraser" sono risultati più significativi rispetto a quelli ricavati direttamente dai dati osservati. Tale azione di filtraggio, migliorando il rapporto segnale/disturbo, ha consentito di mettere meglio in evidenza i picchi spettrali associati ai segnali utili, ossia derivanti dai contrasti laterali di caratteristiche elettriche dei suoli.

- Gli spettri di potenza, elaborati con i dati della c.q. filtrata alla "Fraser", presentano sempre valori della funzione densità spettrale di potenza media, maggiori rispetto a quelli riscontrati negli spettri elaborati con i dati della c.f. filtrata alla "Fraser". Ciò può essere spiegato con il fatto che un suolo è sempre più conduttivo di una roccia della medesima composizione e di conseguenza, essendo la c.q. maggiormente influenzata dalle condizioni più superficiali, risulta, almeno nelle condizioni geopedologiche in studio, essere quella più significativa.

Considerando che tutti i suoli presenti nell'Area di studio 1 "Miceddu" presentano elevati contenuti in argilla ed orizzonti Bt, si ritiene che le differenze sostanziali tra i suoli, per quanto concerne la loro risposta alla sollecitazione di natura elettromagnetica e la composizione spettrale dei segnali elettromagnetici, siano principalmente dovute al contenuto in scheletro, alla profondità degli orizzonti con struttura massiva, alla presenza di condizioni *aquiche* (*sensu* Soil Survey Staff, 2006), ed al contenuto in CaCO₃.

4.2 Area campione 2, località "Su Pardu", Monastir (Ca)

I risultati ottenuti attraverso lo studio geofisico-geopedologico sono rappresentati, anche per l'area di ricerca 2, dal miglioramento della precisione della cartografia pedologica prodotta. Anche per quest'area di ricerca, la redazione della cartografia di dettaglio è stata ottenuta attraverso il riposizionamento dei limiti pedologici posti attraverso gli studi tradizionali di rilevamento del suolo. Tali correzioni, evidenziate nel capitolo 3, sono di seguito dettagliatamente riportate.

In particolare:

- Il limite, tra l'unità ubicata nella parte alta del versante (evidenziata con il colore marrone chiaro) e i *loamy, mixed, superactive, thermic, shallow Entic Haploxerolls*, posto sulla parte medio-alta del versante (evidenziata con il colore marrone scuro), inizialmente posto nella carta di Orrù e Vacca (2004) alla quota di circa 48 m (figura 77), è stato riposizionato a quota 20 m circa (figura 164). Tutti gli strumenti utilizzati, nelle diverse metodologie di indagine, segnalavano la presenza di anomalie elettriche riferibili a un cambiamento di condizioni fisico-chimiche dei suoli analizzati proprio a quella quota (figura 76). Anche i risultati delle analisi pedologiche hanno permesso di posizionare il limite tra le diverse unità di suolo proprio a 20 m. La classificazione del suolo riscontrato nella trivellata T1 (*Lithic Xerorthent*), risulta essere differente da quella del profilo 4 (*loamy, mixed, superactive, thermic, shallow Entic Haploxeroll*) studiato da Orrù e Vacca (2004) (Rif. Par. 3.2.4). In particolare, si sono evidenziati degli Entisuoli con un regime *xerico*, di esiguo spessore, caratterizzati da una conducibilità elettrica media. Dette analisi hanno permesso di riposizionare il limite pedologico di 30 m (figura 164).
- Il limite pedologico tra i *loamy, mixed, superactive, thermic, shallow Entic Haploxerolls* e i *fine, mixed, superactive, thermic Vertic Calcixerepts* (evidenziato nella parte medio-alta del versante con il colore verde militare), inizialmente posto da Orrù e Vacca (2004) alla quota di circa 110 m (figura 77), è stato riposizionato a quota 88 m circa (figura 164). Tutti gli strumenti utilizzati, segnalavano la presenza di grandi anomalie elettriche riferibili a un improvviso cambiamento di condizioni fisico-chimiche delle unità litologiche analizzate (contatto per faglia tra il complesso vulcanico calcoalcalino oligomiocenico e le arenarie della formazione del Cixerri) (figura 76). Anche i risultati delle analisi pedologiche hanno permesso di distinguere le unità di suolo incontrato, permettendo di riposizionare il limite a 88 m. Infatti, la classificazione del suolo, incontrato nella trivellata T4, risulta la stessa del profilo 5, studiato da Orrù e Vacca (2004), e del profilo G (Rif. Par. 3.1.3).
In particolare, si sono evidenziati degli Inceptsuoli a carattere *vertico* con regime *xerico*, che hanno permesso di evidenziare una conducibilità elettrica medio-alta. Dette analisi hanno permesso di determinare la presenza della stessa unità di suolo (*fine, mixed, superactive, thermic Vertic Calcixerepts*), riposizionando il limite pedologico di circa 20 m (figura 164).

- L'ultimo limite pedologico dell'unità di ricerca 2, tra i *fine, mixed, superactive, thermic Vertic Calcixererts* e i *fine, mixed, superactive, thermic Typic Haploxererts* (evidenziato nella parte bassa del versante con il colore verde oliva), inizialmente posto da Orrù e Vacca (2004) alla quota di circa 210 m (figura 77), è stato riposizionato a quota 180 m circa (figura 164). Tutte le prospezioni geofisiche effettuate con i diversi strumenti utilizzati, e con le diverse metodologie, davano come posizione del limite proprio quella quota (figura 76). Anche i risultati delle analisi pedologiche hanno permesso di distinguere le unità di suolo incontrato, permettendo di riposizionare il limite proprio a 180 m. Infatti, la classificazione del suolo, per il profilo H, risulta la stessa del profilo 6, studiato da Orrù e Vacca (2004) (Rif. Par. 3.1.3).

In particolare, si sono evidenziati dei Vertisuoli con un regime xerico, che hanno permesso di evidenziare un'alta conducibilità elettrica. Dette analisi hanno consentito di determinare la presenza della stessa unità di suolo (*fine, mixed, superactive, thermic Typic Haploxererts*), riposizionando il limite pedologico di circa 30 m (figura 164).

A conferma dei risultati ottenuti, i grafici dei valori della componente in fase e in quadratura del campo elettromagnetico filtrati mediante l'algoritmo di "Fraser", nonché le pseudosezioni di densità di corrente elettrica, ottenute attraverso il filtro di "Karus Hjelt" (Rif. Par. 3.1.1), hanno mostrato tutti, a 88 m, il contatto per faglia tra il complesso vulcanico calcoalcalino oligomiocenico e le arenarie della formazione del Cixerri, caratterizzato da una grande anomalia. In particolare, anche per l'area di ricerca 2, si è osservato come la componente in quadratura venisse maggiormente influenzata dalle condizioni più superficiali delle litologie indagate, mentre la componente in fase dalle condizioni più profonde. Nella figura 164 viene riportata la sezione geologica (a) e la carta pedologica (b) dell'area in esame. In particolare, la carta pedologica è stata rivista e migliorata in seguito all'analisi e all'integrazione dei dati geofisici e geopedologici.

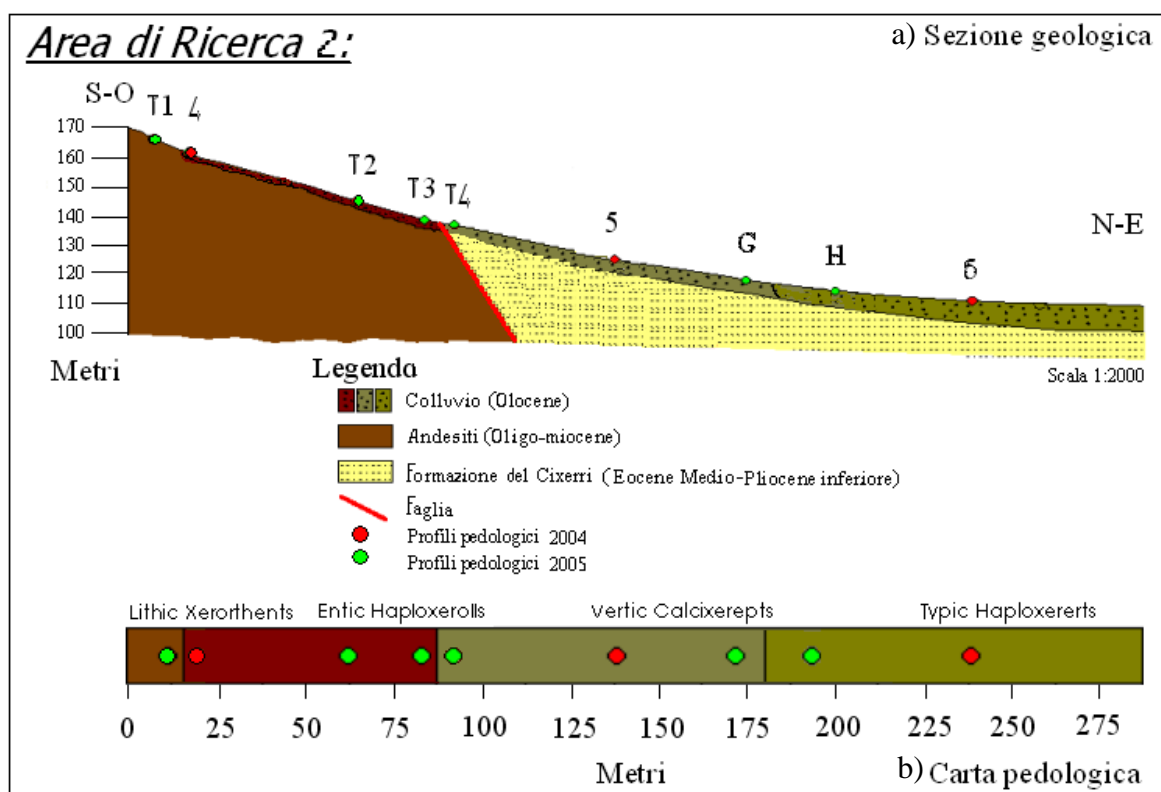


Figura 164 – Sezione geologica (a) e porzione di carta pedologica (b) ottenute con l'integrazione dei dati geopedologici e geofisici.

Dall'analisi comparata tra i risultati dell'analisi spettrale applicata alle serie dei dati delle componenti in fase e in quadratura, acquisiti lungo tutti i profili geofisici realizzati nell'area di ricerca 2 ed i dati geopedologici, si è constatata, anche in questo caso, la stretta correlazione tra natura dei terreni e composizione spettrale dei segnali elettromagnetici.

In particolare:

- L'analisi comparata degli spettri di frequenza ha mostrato, per entrambe le serie di dati analizzati, che i picchi principali, risultanti dallo sviluppo dell'algoritmo FFT dei dati della c.q. filtrata alla "Fraser", si concentrano all'incirca nello stesso range di frequenze spaziali (0-0,20/0,27 J/Hz). Questo risultato è dovuto alla stessa natura compositiva del colluvio sul quale si sono impostate le unità pedologiche, che conseguentemente presentano caratteristiche elettriche simili.

Le potenze medie riscontrate risultano più alte per la serie dei dati relativi alla parte bassa del versante (3,2 J/Hz), rispetto alla serie dei dati rappresentativi

dei suoli situati nella parte alta (2,55 J/Hz). Questo effetto è dovuto alla variazione dello spessore dei suoli, che tende progressivamente ad aumentare, se si procede verso la parte topograficamente più bassa del versante.

- Anche nell'area di ricerca 2 si è riscontrato che gli spettri di frequenza sviluppati con i dati della c.f. e c.q. filtrati alla "Fraser" sono risultati maggiormente interpretabili dei dati osservati.
- Gli spettri elaborati con i dati della c.q. filtrata alla "Fraser" hanno una potenza media maggiore (3,2 J/Hz) degli spettri elaborati con i dati della c.f. filtrata alla "Fraser" (0,8 J/Hz), solo per la seconda serie di dati analizzati (160-288 m, colluvio su formazione del Cixerri). Questa caratteristica è dovuta al fatto che la c.q. è rappresentativa delle condizioni elettriche del colluvio (superficiale), che risulta più conduttivo della più profonda formazione del Cixerri, rappresentata dal valore della c.f.
- Nella seconda serie di dati analizzati (0-88 m, colluvio poco spesso su andesiti), risulta che i dati della c.q. filtrata alla "Fraser" hanno una potenza media minore (2,55 J/Hz) degli spettri elaborati con i dati della c.f. filtrata alla "Fraser" (3,3 J/Hz). Questa caratteristica è dovuta al fatto che per questa prima serie di dati la c.q. è rappresentativa di un suolo poco spesso (più superficiale), che risulta meno conduttivo del più profondo complesso vulcanico oligomiocenico, rappresentato dal valore della c.f.

I suoli analizzati nell'area di ricerca 2 presentano differenze sostanziali (per quanto concerne la loro risposta all'indagine V.L.F. e, quindi, la loro influenza sulla composizione spettrale dei segnali elettromagnetici) dovute alla c.f. e alla c.q., che risultano maggiormente influenzate dai loro spessori, più che dalla loro natura e composizione (che risulta la stessa).

4.3 Valutazione delle potenzialità strumentali

Tra gli strumenti utilizzati per la misura dell'E.M.I., l'EM38DD è quello che ha fornito, nel complesso, i dati da cui sono state ottenute le mappe di C.E.a. maggiormente correlabili alla reale distribuzione dei suoli nelle due aree campione considerate. Oltre a consentire una veloce acquisizione del dato, l'EM38DD ha il pregio di essere direttamente interfacciabile con un D.G.P.S., mentre ciò non è possibile né per il

GEM300 né per l'EM16. Per quanto concerne il GEM300, la possibilità di acquisire in multifrequenza è senz'altro un aspetto da considerare positivamente, anche se è sempre necessaria una corretta valutazione delle diverse profondità teoriche d'indagine in funzione delle caratteristiche ambientali (es. presenza di strati superficiali molto conduttivi). Inoltre, è da rimarcare il fatto che il GEM300 è ormai fuori produzione. L'acquisizione del dato con l'EM16 è risultata la meno speditiva, in quanto eseguita dall'operatore in punti stazione equidistanziati lungo lo stendimento prescelto. Inoltre, il dato viene acquisito in funzione della percezione auditiva del minimo sonoro dell'operatore.

Miglioramento delle tecniche di acquisizione dei dati rilevati con l'EM38DD

Tra gli strumenti usati l'EM38DD è quello che, nel complesso, ha fornito i dati maggiormente correlabili alla reale distribuzione dei suoli. Infatti, trattandosi di uno strumento con minore capacità di penetrazione rispetto agli altri utilizzati nel corso del presente studio, ha fornito dati più facilmente correlabili con le caratteristiche geopedologiche dei suoli investigati.

Si è focalizzata l'attenzione sulla fase di acquisizione, che risulta fin dal principio la più delicata e quella nella quale si poteva incorrere negli errori più gravi. L'intento di migliorare la qualità dei dati parte dal concetto che la configurazione di trasporto tradizionale della strumentazione (figura 22) porta ad incorrere in errori più o meno importanti:

- Errori dovuti al reale posizionamento del dato, che risulta falsato dalla posizione dell'antenna D.G.P.S. che l'operatore porta in spalla con uno zaino.
- Errori dovuti all'"Effetto fisarmonica", che è un effetto negativo, dato dall'abbassarsi e dal sollevarsi dello strumento rispetto al suolo e rispetto all'orizzontale di riferimento. Quest'effetto è dovuto al naturale andamento dell'operatore e si ripercuote sulla geometria del volume d'influenza teorico complessivo indagato e, quindi, sul volume significativo d'influenza (K). In particolare, il volume aumenta quando lo strumento si avvicina al suolo e diminuisce quando si allontana.

Inoltre, la configurazione di trasporto manuale dell'attrezzatura permette il rilievo di una area limitata nell'unità di tempo.

Il miglioramento delle tecniche di acquisizione del dato è avvenuto attraverso la progettazione e realizzazione di un particolare sistema di trasporto strumentale che, laddove la tipologia di suolo lo consente, permette riduzioni sostanziali del tempo di prospezione, consentendo un notevole incremento del ritmo di acquisizione (figura 23). Detto sistema consente inoltre:

- che la distanza suolo-strumento e la velocità di spostamento dell'equipaggiamento rimanga costante per tutta la prospezione;
- che il sensore D.G.P.S., essendo vincolato e centrato al sistema di trasporto dell'EM38DD, abbia una maggior precisione nel posizionare nello spazio i dati rilevati.

Questi vantaggi hanno permesso, durante l'acquisizione del dato, che il volume d'influenza teorico complessivo rilevato si avvicinasse molto alle condizioni geometriche standard riportate dalla casa costruttrice nel grafico in figura 16.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti attraverso lo studio geofisico-geopedologico dell'area in esame sono rappresentati dal miglioramento della precisione della cartografia pedologica prodotta. L'uso integrato di diverse metodologie geofisiche di tipo elettromagnetico, nella redazione di cartografia pedologica di dettaglio, è risultato essenziale per l'individuazione dei limiti delle diverse unità pedologiche mediante tecniche indirette, non invasive e con notevoli capacità ricognitive di ampie superfici.

Dallo studio è emerso, inoltre, che le tecniche di analisi spettrale, applicate alle serie digitali dei valori elettromagnetici portano un contributo efficace nella valutazione oggettiva dei dati, nell'ambito di studi finalizzati alla caratterizzazione di dettaglio dei suoli. La scelta di applicare un metodo elettromagnetico è derivato dalla considerazione che le caratteristiche elettriche dei suoli sono strettamente connesse con la loro natura e composizione. Infatti, le proprietà che influenzano le caratteristiche elettriche dei terreni includono la porosità, il contenuto idrico, la mineralogia e la quantità e qualità delle argille in essi contenute, nonché la forza ionica, la composizione, la temperatura e la fase della soluzione del suolo (McNeill, 1980). In generale, si è constatato che la conducibilità elettrica è strettamente correlata con lo spessore dei suoli, la salinità, la capacità di scambio cationico, il contenuto idrico ed il contenuto in argilla (Rhoades et al., 1976; Doolittle et al., 1994; Boettinger et al., 1997).

L'analisi dei dati elettromagnetici, realizzata oltre che con i classici metodi di filtraggio anche con metodi di elaborazione numerica dei dati, basati sull'uso delle tecniche di analisi spettrale, ha mostrato che lo spettro di ampiezza e/o di potenza dei segnali in studio, definendo l'energia associata alle diverse frequenze contenute nelle serie di dati, consente di valutare in modo oggettivo la qualità ed il contenuto di informazioni dei segnali stessi.

Gli spettri di potenza ottenuti dalle diverse serie di dati mostrano che la composizione spettrale dei segnali elettromagnetici varia notevolmente in base alle caratteristiche elettriche dei terreni (figura 165).

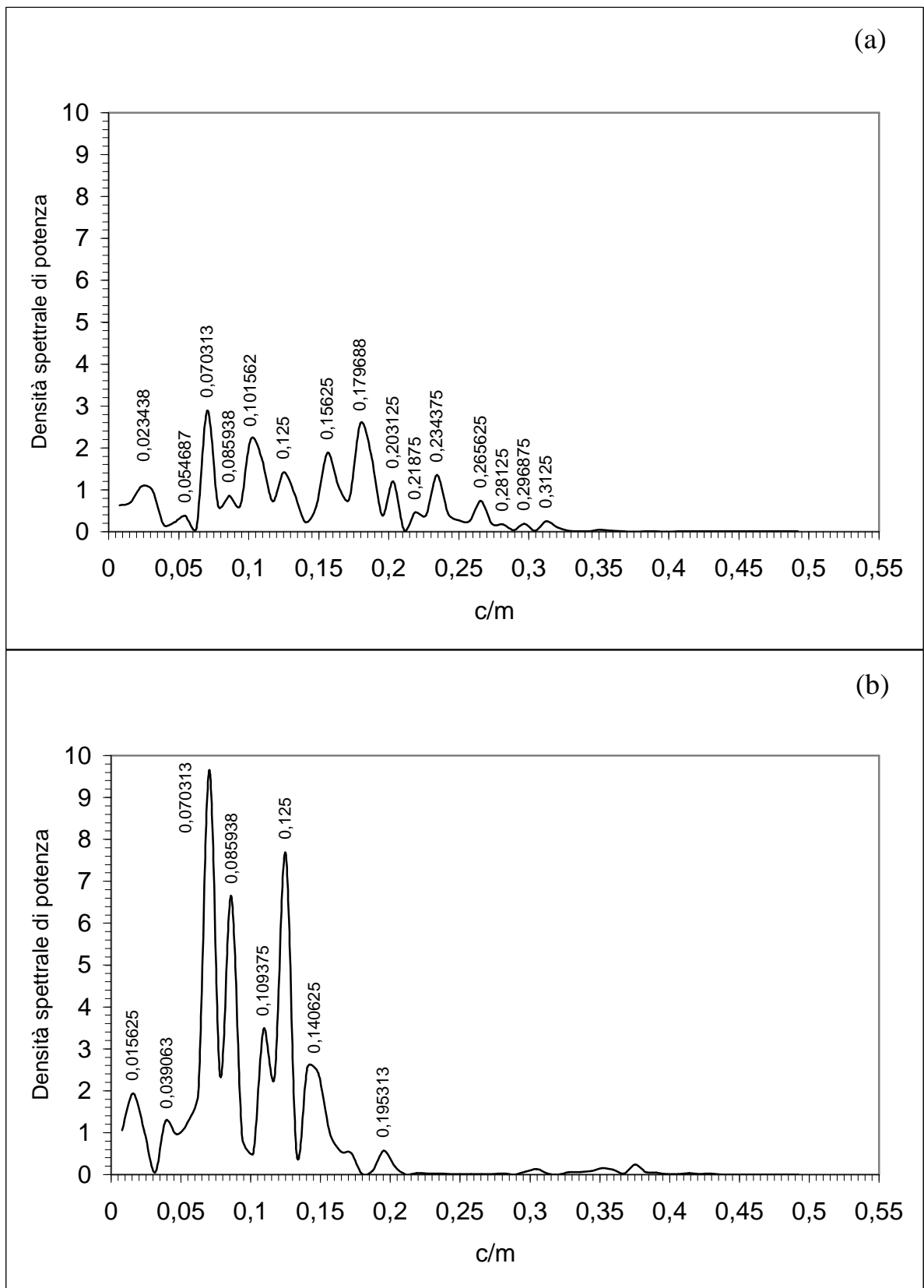


Fig. 165 – Composizione spettrale delle serie di valori della componente in quadratura, relative rispettivamente a settori scarsamente conduttivi (a) e conduttivi (b) lungo il profilo 4 dell' Area di studio 1.

Gli spettri di potenza, ottenuti dalle diverse serie di valori filtrati, mostrano che la composizione spettrale dei segnali elettromagnetici, relativi a profili acquisiti nella stessa area, varia notevolmente in base alle caratteristiche elettriche dei terreni, come facilmente osservabile dagli spettri riportati, in figura 165 (a e b). Per quanto alcuni dei picchi spettrali siano presenti in corrispondenza delle stesse bande di frequenza in entrambi gli spettri, si osserva una migliore risposta spettrale per la serie di dati relativa al settore in cui i suoli risultano maggiormente conduttivi. Infatti, lo spettro riportato in figura 165 (b) mostra che i picchi principali si concentrano entro un range di frequenze spaziali che non superano i 0,2 cicli/metro (c/m) e sono caratterizzati da una maggiore energia spettrale rispetto a quelli evidenziati nello spettro mostrato nella figura 165 (a). Tali risultati sono comuni a molti degli spettri ottenuti dalle serie sottoposte all'analisi. Dalla sperimentazione condotta su serie di valori provenienti da unità pedologiche differenti si è dedotto che, in generale, le migliori risposte spettrali provengono dai settori in cui i suoli risultano più conduttivi. In tal senso, l'uso dell'analisi spettrale nelle fasi di trattamento e valutazione dei dati elettromagnetici, può portare un ulteriore significativo contributo nella caratterizzazione di dettaglio dei suoli.

In linea generale, l'analisi integrata dei dati elettromagnetici con quelli geopedologici precedentemente acquisiti ha consentito di migliorare l'identificazione delle unità pedologiche modificando, parzialmente, sulla base delle caratteristiche elettriche, i limiti individuati con i precedenti rilievi pedologici (figure 54 e 76). I nuovi limiti, identificati mediante l'approccio integrato geologico-geofisico, sono stati verificati con successive metodologie d'indagine diretta, mediante l'esecuzione di ulteriori profili pedologici ubicati sulla base dei risultati delle indagini geofisiche.

La ricerca conferma l'importanza che l'approccio integrato geopedologico-geofisico assume nella caratterizzazione di dettaglio dei suoli e nella redazione della cartografia pedologica alla scala aziendale. Infatti, i risultati conseguiti dimostrano come l'elettromagnetismo indotto possa trovare applicazione in una fase preliminare a quella del classico rilevamento pedologico di campagna, particolarmente nelle aree pianeggianti laddove l'assenza di variazioni morfologiche limita notevolmente la pianificazione di un rilevamento del suolo, fornendo una zonazione areale atta ad indirizzare opportunamente la scelta dei punti di osservazione del rilevamento tradizionale, limitando così il numero di osservazioni necessarie per caratterizzare una

data area. Inoltre, il suo utilizzo può concorrere ad aumentare enormemente la precisione di carte pedologiche di dettaglio, contribuendo alla maggiore accuratezza delle delineazioni cartografiche ed alla individuazione di ulteriori unità in queste incluse.

BIBLIOGRAFIA

- ARU A., BALDACCINI P., VACCA A., 1991. Nota illustrativa alla Carta dei Suoli della Sardegna. R. A. S. Ass. Prog. – Univ. degli studi di Cagliari, Dipart. Scienze della Terra, Cagliari.
- ASSORGIA A., BROZZU P., CALLEGARI E., FADDA A., LONIS R., OTTELLI L., RUFFINI R., ABRATE T., 1992. Carta geologica del distretto vulcanico cenozoico del Sulcis. Selca, Firenze.
- ASSORGIA A., BARCA S., FARRIS M., RIZZO R., SPANO C., 1994. The Cenozoic sedimentary and Volcanic successions in the Monastir-Furtei sector (Southern Campidano – Sardinia). Mem. Soc. Geol. It., 48: 391-397.
- BARCA S., COSTAMAGNA L.G., 1997. Compressive "Alpine" tectonics in Western Sardinia: geodynamic consequences. C. R. Acad. Sci. Paris. 325: 791-797.
- BARCA S., COSTAMAGNA L.G., 2000. Il bacino paleogenico del Sulcis-Inglesiente (Sardegna SW): nuovi dati stratigrafico-strutturali per un modello geodinamico nell'ambito dell'orogenesi pirenaica. Boll. Soc. Geol. It., 119: 497-505.
- BOETTINGER J.L., DOOLITTLE J.A., WEST N.E., BORK E.W., SHUPP E.W., 1997. Nondestructive assessment of rangeland soil depth to petrocalcic horizon using electromagnetic induction. Arid Soil Research and Rehabilitation, 11: 375-390.
- CHERCHI A., MARINI M., MURRU M., ULZEGA A., 1978. Movimenti neotettonici della Sardegna Meridionale. Mem. Soc. Geol. It. 19: 581-587.
- CHERCHI A., 1979. Riv. Ital. Paleont. Strat. 35: 353-410.
- CHERCHI A., MONTADERT L., 1982. Il sistema di rifting oligo-miocenico del Mediterraneo occidentale e sue conseguenze paleogeografiche sul Terziario sardo. Mem. Soc. Geol. It., 24: 387-400.
- COOLEY J.W., TUKEY J.W., 1965. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. Math. Computat., 19: 297-301.
- CUOZZO G., IDILI M.G., MARRONE V.A., MORELLI G., ORRU' M., VACCA A., 2007. Valutazione dell'uso dell'elettromagnetismo indotto e della geoelettrica nel rilevamento dei suoli. In N. Senesi e T. Miano (ed.) *Atti del Convegno Nazionale della Società Italiana della Scienza del Suolo "Il suolo: sistema centrale nell'ambiente e nell'agricoltura"*, Bari 21-24 giugno 2005: 89-100.
- DE CILLIA C., FAIS S., TOCCO R., 1992. Geostruttural features of the middle Tirso valley from seismic reflection data. Boll. Geof. Teor. Appl. 34 (136): 273-286.
- DOOLITTLE J.A., SUDDUTH K.A., KITCHEN N.R., INDORANTE S.J., 1994. Estimating depth to claypans using electromagnetic inductive methods. Journal of Soil and Water Conservation, 49: 552-555.

E.S.A (European Space Agency). <http://www.esa.int/esaCP/Italy.html>

FADDA A., 1994. Sardegna guida ai tesori nascosti. Co. Edi. Sar Ed., Cagliari.

FAIS S., KLINGELE' E., LECCA L., 1996. Oligo-Miocene half graben structure in Western Sardinia Shelf (western mediterranean): reflection seismic and aeromagnetic data comparison. *Marine Geology*, 133: 203-222.

FAIS S., KLINGELE' E., LECCA L., 2002. Structural features of the south-western Sardinian shelf (Western Mediterranean) deduced from aeromagnetic and high-resolution reflection seismic data. *Eclogae Geologicae Helvetiae Swiss Journal of Geoscience*, 95 (2): 169-182.

FAIS S., LECCA L., TOCCO R., 2000. Reflection seismic and geological data in a central sector of the Sardinia Riff (Western Mediterranean). IX Cong. Geol. Chileno, Puerto Varas, Chile : 1-4.

FAIS S., MOSETTI F., 1982. A geomathematical approach to the analysis of some geophysical fields and their spatial forecasting. *Il nuovo Cimento*, 5C (4): 409-429.

FINETTI I.R., 2005. Geodynamic evolution of the Mediterranean Region, from Permo-Triassic Ionian opening to the present, constrained by new lithospheric CROP seismic data. Chapter 34.

FINETTI I.R., DEL BEN A., FAIS S., FORLIN E., KLINGELE' E.E., LECCA L., PIPAN M., PRIZZON A., 2005. Crustal Tectono-Stratigraphic Setting and Geodynamics of the Corso-Sardinia Block from New CROP Seismic Data. In: *CROP Deep Seismic Exploration of the Mediterranean Region*. I.R. Finetti (Ed.), Elsevier, 2004: 413-446.

FINETTI I., MORELLI C., 1973. Esplorazione geofisica dell'area circostante il blocco Sardo-Corso. *Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, Suppl.* (43): 213-238

FRASER D. C., 1967. Data transformation and the linear model. *Annals Mathematical Statistics* 38: 1456-1465.

FRASER D. C., 1969. Contouring of VLF-Em data. *Geophysics*, 34 (6): 958-967

GIORDANO A., 1999. *Pedologia*. UTET, Torino, 364 pp.

GODWIN R.J., MILLER P.C.H., 2003. A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering*, 84 (4): 393-407.

GEONICS LTD., 1980. *Geonics VLF-EM (EM-16) manual (with case histories and interpretive notes)*. Geonics Geophysical Instruments Ltd., Mississauga, Ontario, Canada, 44 pp.

HEIDEMAN M. T., JOHNSON D. H., BURRUS C. S., 1984. Gauss and the history of the fast Fourier transform. *IEEE ASSP Magazine*, 4: 14-21.

KAROUS M., HJELT S. B., 1983. Linear filtering of VLF dip-angle measurements. *Geophysical Prospecting*, (31): 782-794.

LECCA L., LONIS R., LUXORO S., MELIS E., SECHI F., BROTZU P., 1997. Oligo-Miocene volcanic sequences and rifting stages in Sardinia: a review. *Periodico di Mineralogia*, (66): 7-71.

MCBRATNEY A.B., MENDONCA SANTOS M.L., MINASNY B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.

MCNEILL J.D., 1980. Electrical conductivity of soils and rocks. Technical Note TN-5, Geonics, Mississauga, Ontario, Canada, 22 pp.

MCNEILL J.D., 1986. Geonics EM38 ground conductivity meter operating instructions and survey interpretation techniques. Technical Note TN-21, Geonics, Mississauga, Ontario, Canada, 16 pp.

OGILVY, R.D., Lee A.C., 1991. Interpretation of VLF-EM in-phase data using current density pseudosections. *Geophysical Prospecting* 39, 567-580.

OPPENHEIM A.V., SCHAFER R.R., 1975. Digital signal processing. Prentice-Hall., A.V. Oppenheim and Bell Telephone Laboratories INC. (Eds.), Englewood Cliffs, New Jersey, (1975), 585 pp.

ORRÙ M., 2003. Rilevamento geopedologico del territorio comunale di Monastir e sue applicazioni alla pianificazione urbanistica comunale. Tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Cagliari, 206 pp.

ORRÙ M., VACCA A., 2004. Il contributo della pedologia nella pianificazione comunale: applicazioni all'area di Monastir (Sardegna meridionale). *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 53 (1-2): 357-363.

PALA A., PECORINI G., PORCU A., 1976. Struttura idrogeologica della soglia di Siliqua tra la fossa del Campidano e la fossa del Cixerri (Sardegna meridionale). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 95: 705-724.

PATERSON N.R., RONKA V., 1971. Five years of surveying the Very Low Frequency – Electromagnetic method. *Geoexploration*, 9 (1), 7-26.

PITTAU DEMELIA P. (1979). Palinologia e datazione della sezione di Tanca Aru nella valle del Cixerri (Sardegna sud-occidentale). *Boll. Soc. Paleont. It.* Vol 18 n°2: 303-314.

PECORINI G., POMESANO CHERCHI A., 1969. Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale. (Sardegna). *Mem. Soc. Geol. It.* 8: 421-451.

PHILLIPS W.J., RICHARDS W.E., 1975. A study of the effectiveness of the VLF method for the location of narrow-mineralized fault zones. *Geoexploration*, 13: 215-226.

RHOADES J.D., RAATS P.A., PRATHER R.J., 1976. Effect of liquid phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 40: 651-655.

SAVELLI C., BECCALUVA L., DERIU M., MACCIOTTA G., MACCIONI L., 1979. K/Ar geochronology and evolution of the Tertiary "Calc-Alcalic" volcanism of Sardinia (Italy). *Journ. Of. Sed. Petro.* 33: 180-190.

SOIL SURVEY STAFF, 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second Edition.* USDA-NRCS Agric. Handb. 436. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

SOIL SURVEY STAFF, 2006. *Keys to Soil Taxonomy, 10th ed.* USDA, NRCS, Washington D.C., 333 pp.

SOMMER M., WEHRHAN M., ZIPPRICH M., WELLER U., ZU CASTELL W., EHRICH S., TANDLER B., SELIGE T., 2003. Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale. *Geoderma*, 112: 179-196.

TELFORD W.M., GELDART L.P., SHERIFF R.E., KEYS D.A., 1976. *Applied Geophysics.* Cambridge University Press, New York, U.S.A., 860 pp.

RINGRAZIAMENTI

...a mia moglie Ketty, con cui ho avuto l'onore di condividere questa vita, a Lei che mi ha sempre incoraggiato e sostenuto soprattutto nei momenti più difficili...

...nel ringraziarla, le dedico il risultato più brillante di questa ricerca, cioè lo studio sull'identificazione e il calcolo del Volume significativo d'influenza, che ho chiamato (K).

...ai miei genitori, Flavio e Isabella ed Ignazio e Laura, ai miei fratelli, Donatella e Sandro ed Andrea e Maria Lucia, che hanno sempre creduto in me...

...ai miei Professori, Silvana Fais ed Andrea Vacca, che con la loro grande esperienza e professionalità, hanno permesso che raggiungessi questo mio grande obiettivo...permettendomi inoltre, di terminare il lavoro fuori sede, realizzando così un altro grande sogno: lavorare a Lanzarote, l'isola dei vulcani.

...agli amici sinceri, che mi hanno sempre incoraggiato, in particolare Alessandro Marrone, con il quale ho condiviso tantissimi momenti di studio, lavoro e divertimento, con l'augurio che il futuro ci riservi ancora la possibilità di lavorare e viaggiare assieme...

...ed a Marco che da lassù, mi è stato vicino in questa magnifica avventura,

Grazie !!!