

COMUNE DI
SANTA MARIA CAPUA VETERE
PROVINCIA DI CASERTA

PIANO URBANISTICO COMUNALE

*ADEGUAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO E DELLE
CARTE TEMATICHE*

**Indagine Sismica M.A.S.W
Rapporto Tecnico**

Rev.1 del Gennaio 2019

Geologo incaricato: dr. ~~Giuseppe A.~~ Diplomatico



Collaboratrice: dr. geologo Paola Russo



1.0 INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini sismiche eseguite mediante metodologia MASW nel mese di Novembre 2018, nel Comune di Santa Maria Capua Vetere (CE).

E' stata eseguita una campagna geofisica mediante acquisizione MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) ossia un'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva, al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità equivalente, così come previsto dal D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Di seguito vengono descritte: la metodologia d'indagine, lo schema operativo, le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, ed infine l'interpretazione dei dati elaborati.



Fig. 1: Immagine Google Maps dell'abitato di Santa Maria Capua Vetere

2.0 INDAGINE GEOFISICA MASW

2.1 Metodologia d'Indagine

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro V_{seq} .

Il contributo predominante delle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

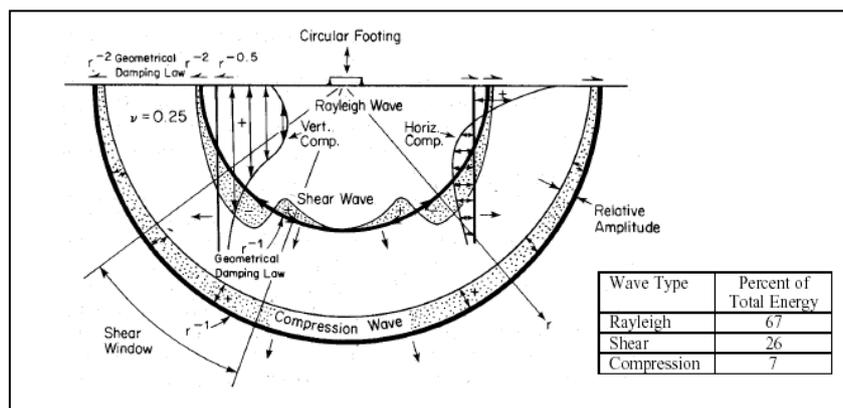


Fig. 2: Schema di propagazione delle onde di Rayleigh

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999 - Aki, K. and Richards, P.G., 1980).

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazione sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano in profondità interessando gli strati più profondi del suolo. Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con massa

battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30 m – 50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

2.2 Strumentazione Utilizzata

Un sistema digitale di acquisizione dati in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali. Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo costituito da un sistema a più canali a conversione digitale tra loro in catena, ciascuno con un proprio ID, e pilotati da PC. Il modello è denominato DOREMI (della SARA Electronic Instruments), con risoluzione di acquisizione pari a 24 bit. Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 4.5 Hz con una distanza inter-gefonica da 1 m a 2 m (stendimento complessivo da 28 a 52 metri). Come sorgente di energia sismica per le onde di Rayleigh si è fatto uso di una mazza con maglio da 5 kg battente su una piastra di PVC duro posta sul suolo in linea con lo stendimento. La battuta è stata effettuata ad una distanza di 2 m, 3 m e 4 m dal primo geofono.

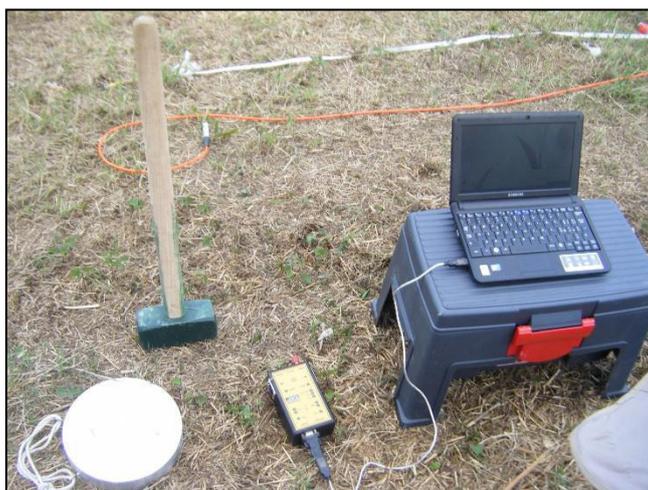


Fig. 3: Strumentazione utilizzata

3.0 ANALISI DEI DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW – V. Roma, 2007). Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale “Phase Velocity-Frequency (c-f)” che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

In questo grafico è possibile distinguere il “modo fondamentale” delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione combinata presentata in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon “fitting” con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativi dell'area investigata.

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 1 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 130.510 | - 2 |
| 2 | 3 | 178.990 | - 5 |
| 3 | 3 | 253.380 | - 8 |
| 4 | 4 | 332.560 | - 12 |
| 5 | 4 | 380.630 | - 16 |
| 6 | 14 | 442.470 | - 30 |
| 7 | 0 | 470.130 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 2 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 357.820 | - 2 |
| 2 | 3 | 382.970 | - 5 |
| 3 | 2 | 462.520 | - 7 |
| 4 | 4 | 515.550 | - 11 |
| 5 | 4 | 568.590 | - 15 |
| 6 | 15 | 636.770 | - 30 |
| 7 | 0 | 817.230 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 3 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 1 | 133.330 | - 1 |
| 2 | 2 | 208.200 | - 3 |
| 3 | 2 | 323.780 | - 5 |
| 4 | 5 | 379.350 | - 10 |
| 5 | 5 | 408.180 | - 15 |
| 6 | 15 | 493.290 | - 30 |
| 7 | 0 | 638.840 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 4 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 198.410 | - 2 |
| 2 | 3 | 262.620 | - 5 |
| 3 | 3 | 369.960 | - 8 |
| 4 | 4 | 384.050 | - 12 |
| 5 | 4 | 415.190 | - 16 |
| 6 | 14 | 506.320 | - 30 |
| 7 | 0 | 624.060 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 5 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 112.050 | - 2 |
| 2 | 3 | 183.540 | - 5 |
| 3 | 3 | 251.480 | - 8 |
| 4 | 4 | 298.770 | - 12 |
| 5 | 4 | 377.850 | - 16 |
| 6 | 14 | 396.710 | - 30 |
| 7 | 0 | 432.130 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 6 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 190.860 | - 2 |
| 2 | 3 | 214.420 | - 5 |
| 3 | 3 | 277.990 | - 8 |
| 4 | 4 | 331.550 | - 12 |
| 5 | 4 | 373.280 | - 16 |
| 6 | 14 | 435.010 | - 30 |
| 7 | 0 | 516.690 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 7 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 155.070 | - 2 |
| 2 | 3 | 172.110 | - 5 |
| 3 | 3 | 238.930 | - 8 |
| 4 | 6 | 375.750 | - 14 |
| 5 | 6 | 396.850 | - 20 |
| 6 | 10 | 439.730 | - 30 |
| 7 | 0 | 483.600 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 8 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 195.620 | - 2 |
| 2 | 3 | 255.930 | - 5 |
| 3 | 3 | 284.400 | - 8 |
| 4 | 4 | 332.870 | - 12 |
| 5 | 4 | 367.260 | - 16 |
| 6 | 6 | 405.740 | - 22 |
| 7 | 8 | 470.840 | - 30 |
| 8 | 0 | 592.180 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 9 | | | |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 207.360 | - 2 |
| 2 | 3 | 268.860 | - 5 |
| 3 | 3 | 319.640 | - 8 |
| 4 | 4 | 369.920 | - 12 |
| 5 | 4 | 392.670 | - 16 |
| 6 | 14 | 473.870 | - 30 |
| 7 | 0 | 637.840 | - oo |

| Modello sismico monodimensionale M.A.S.W. 10 | | | |
|---|---------------------|-----------------|--------------------|
| STRATO | SPESSORE (m) | Vs (m/s) | PROFONDITA' |
| 1 | 2 | 142.290 | - 2 |
| 2 | 3 | 199.110 | - 5 |
| 3 | 3 | 251.730 | - 8 |
| 4 | 4 | 292.500 | - 12 |
| 5 | 4 | 369.910 | - 16 |
| 6 | 14 | 388.260 | - 30 |
| 7 | 0 | 509.780 | - oo |

4.0 CALCOLO DELLE V_{Seq}

A partire dal modello sismico monodimensionale è possibile calcolare il valore delle V_{Seq} , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione delle onde di taglio. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove:

h_i indica lo spessore dell’ i -esimo strato;

V_{S_i} indica la velocità delle onde di taglio nell’ i -esimo strato;

N indica il numero di strati;

H indica la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori:

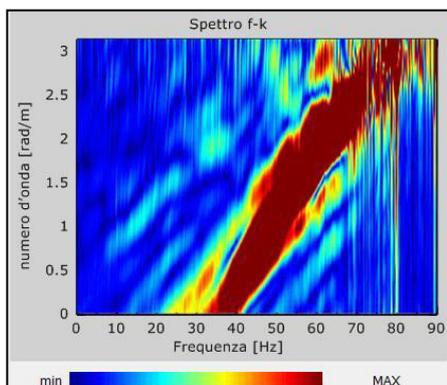
| NUMERO | VALORI | CLASSE |
|---------------|----------------------------|-------------------|
| MASW | V_{Seq} m/s | sottosuolo |
| 1 | 305 | C |
| 2 | 534 | B |
| 3 | 379 | B |
| 4 | 388 | B |
| 5 | 284 | C |
| 6 | 332 | C |
| 7 | 310 | C |
| 8 | 344 | C |
| 9 | 371 | B |
| 10 | 295 | C |

| Classe | Descrizione |
|---------------|---|
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri. |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 100 m/s e 180 m/s. |
| E | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri. |

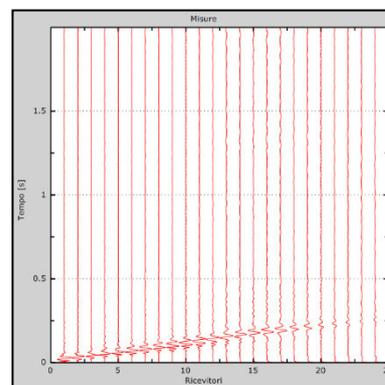
Tabella 1: Categorie di sottosuolo dal D.M. 17/01/2018

Rappresentazioni grafiche MASW 1

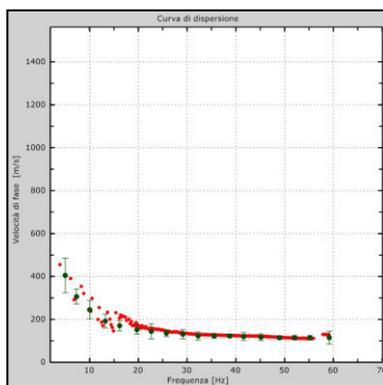
Spettro f – k



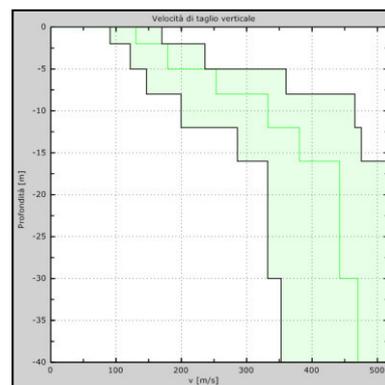
Tracce sperimentali



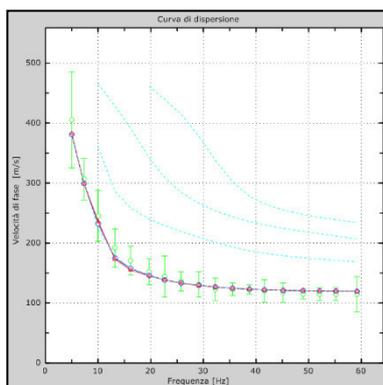
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



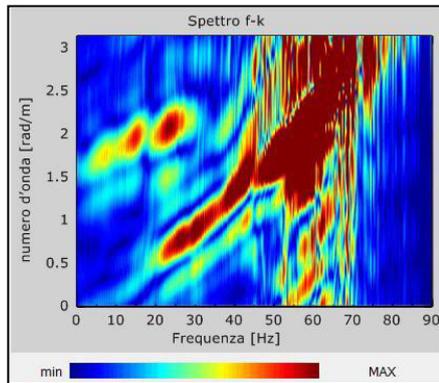
Velocità numeriche



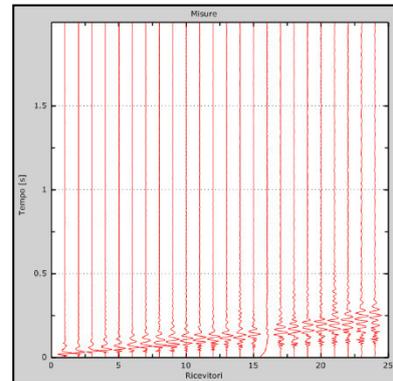
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 2

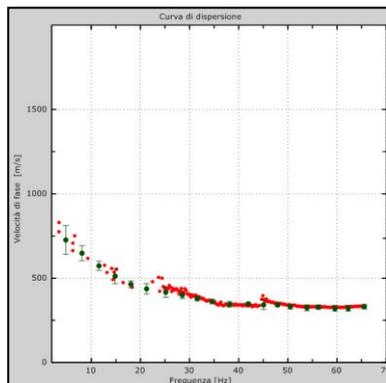
Spettro f – k



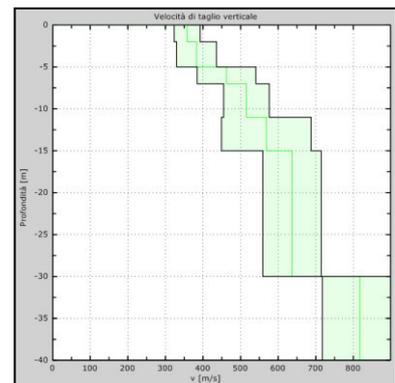
Tracce sperimentali



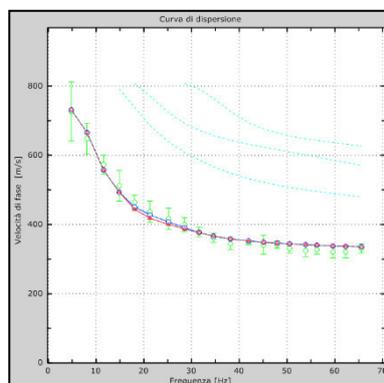
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



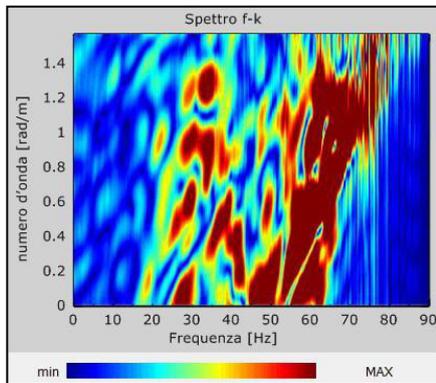
Velocità numeriche



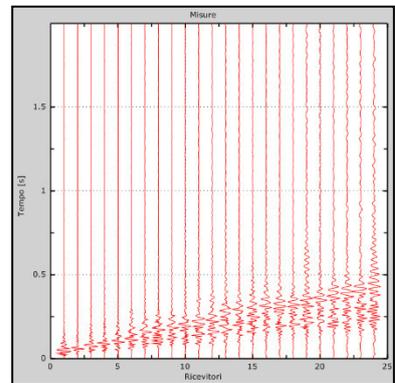
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 3

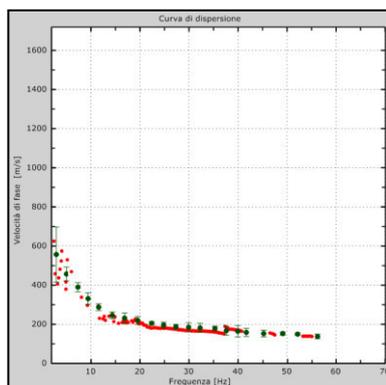
Spettro f – k



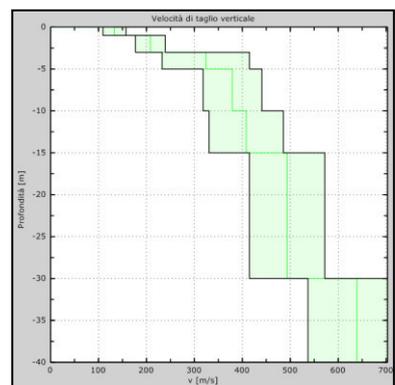
Tracce sperimentali



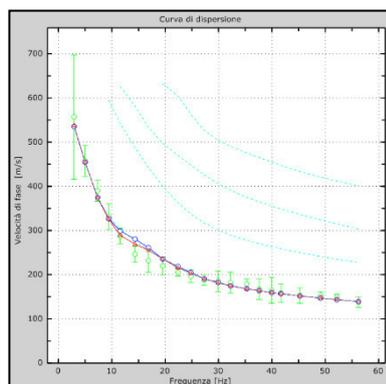
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



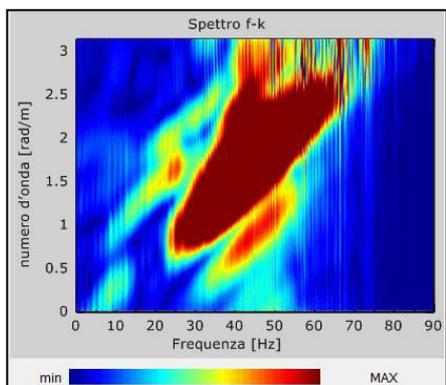
Velocità numeriche



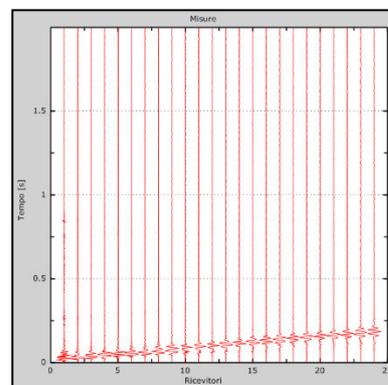
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 4

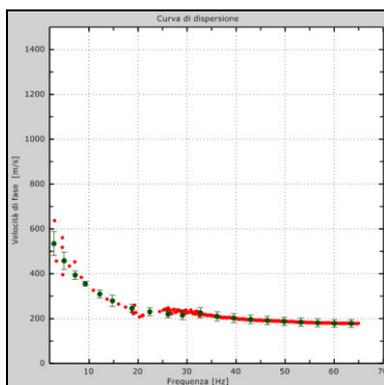
Spettro f – k



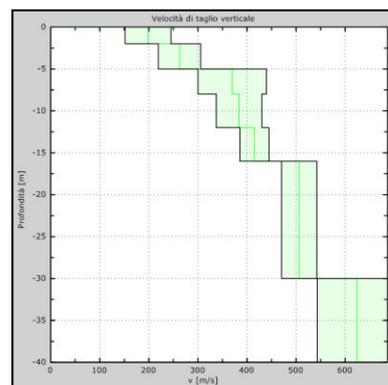
Tracce sperimentali



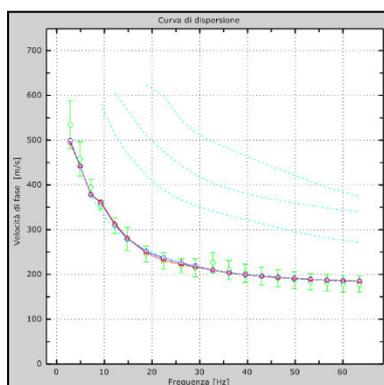
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



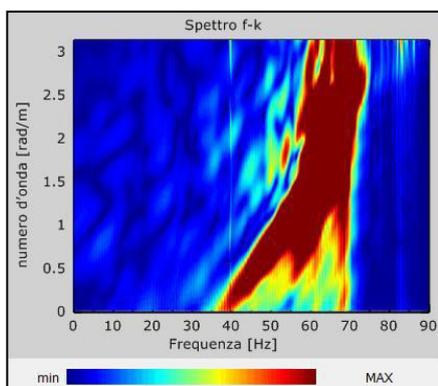
Velocità numeriche



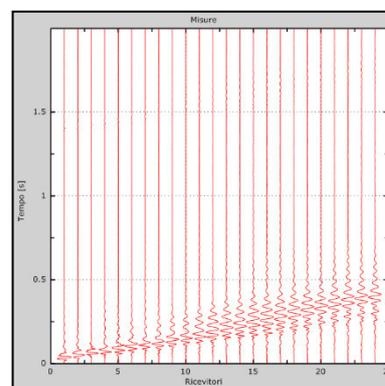
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 5

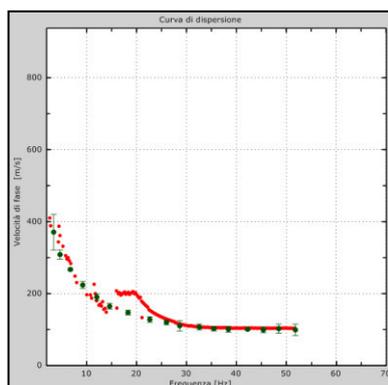
Spettro f - k



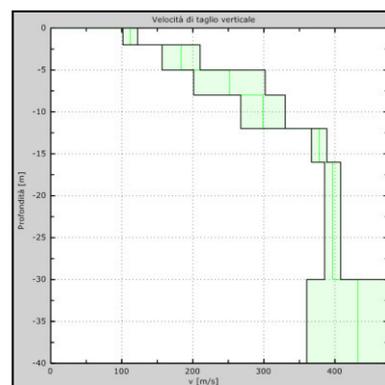
Tracce sperimentali



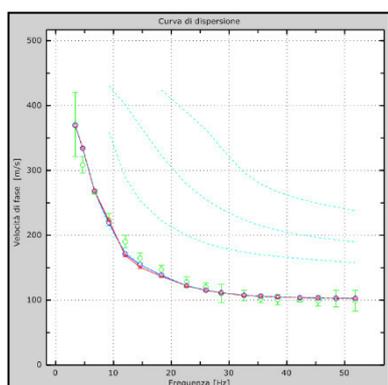
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



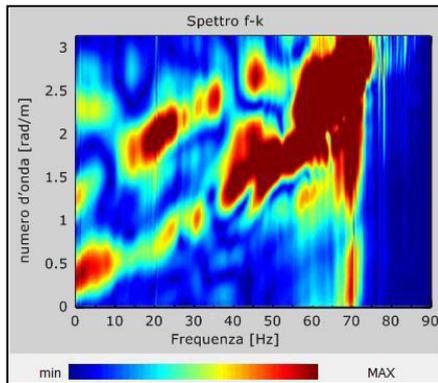
Velocità numeriche



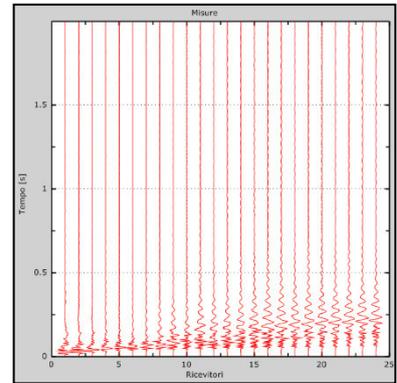
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 6

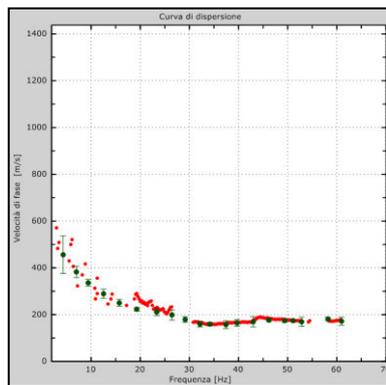
Spettro f – k



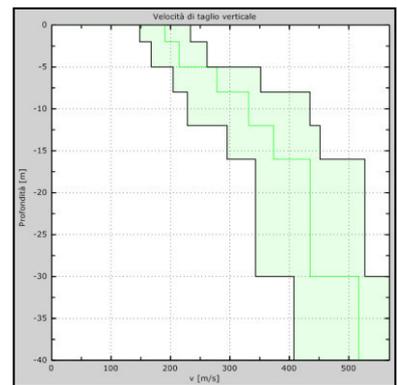
Tracce sperimentali



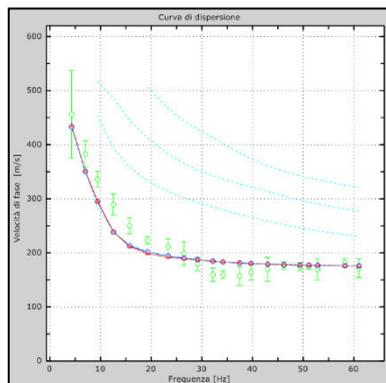
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



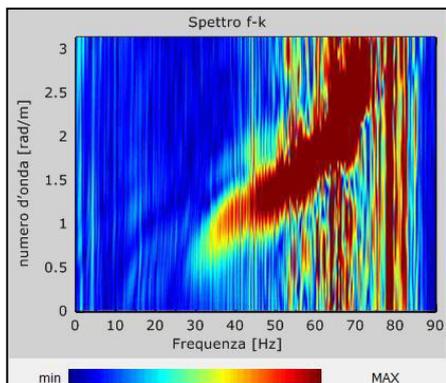
Velocità numeriche



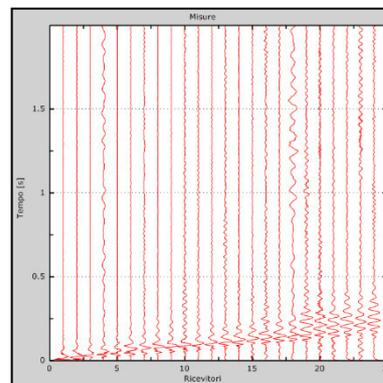
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 7

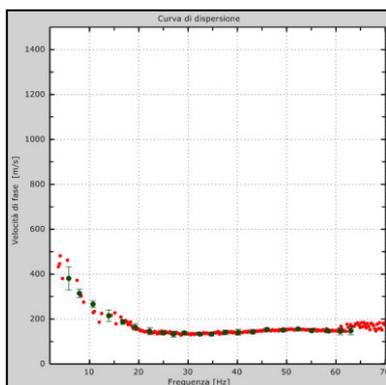
Spettro f – k



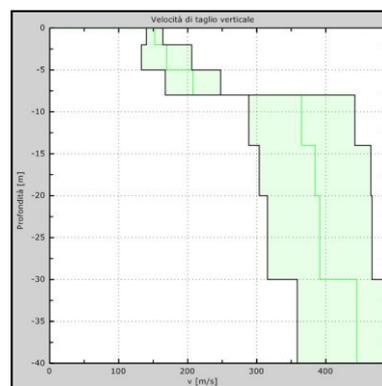
Tracce sperimentali



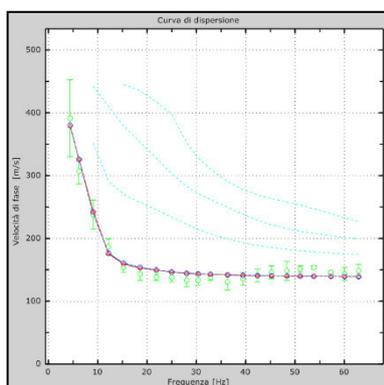
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



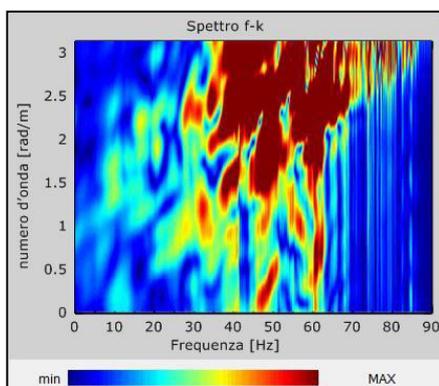
Velocità numeriche



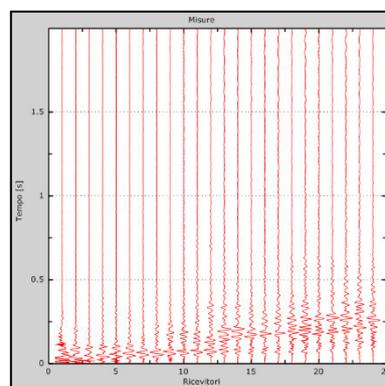
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 8

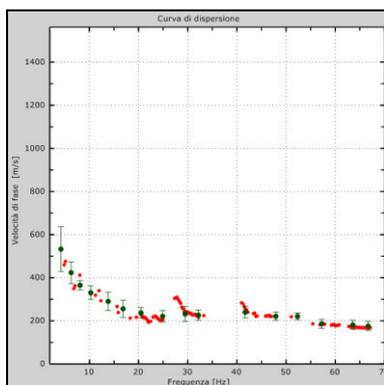
Spettro f – k



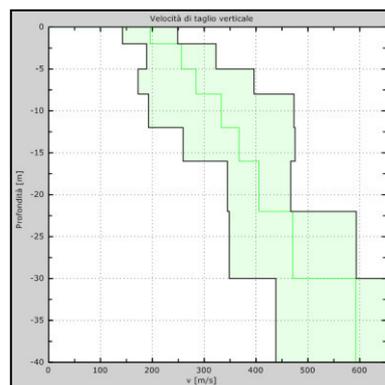
Tracce sperimentali



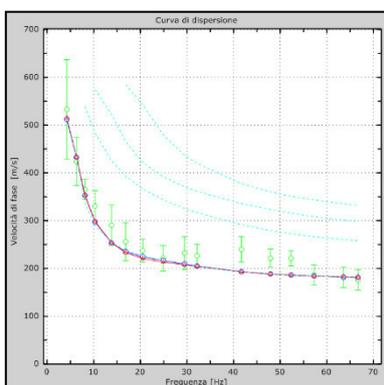
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



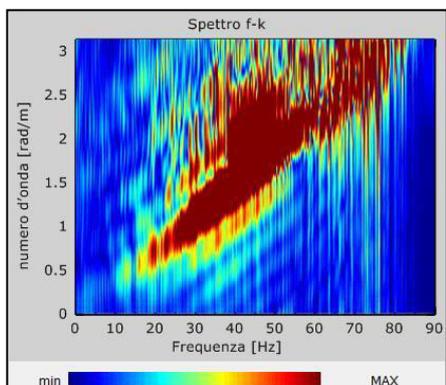
Velocità numeriche



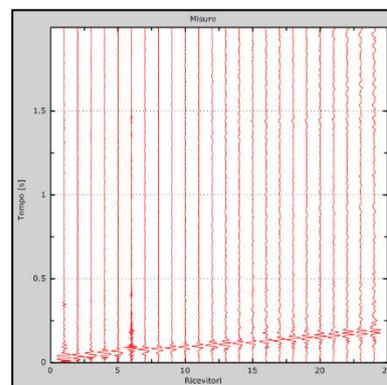
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 9

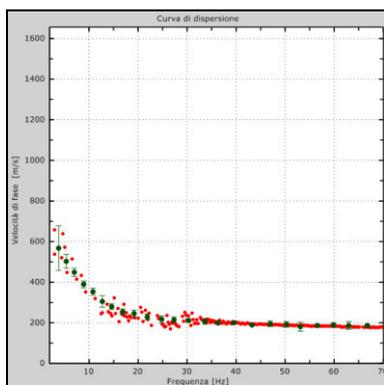
Spettro f – k



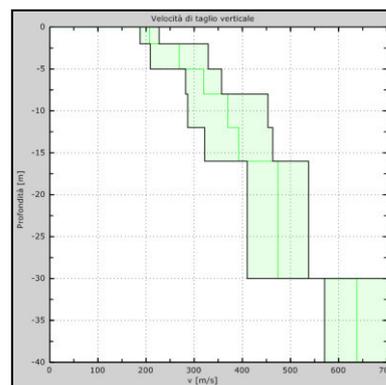
Tracce sperimentali



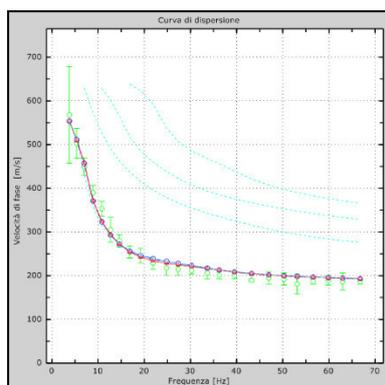
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



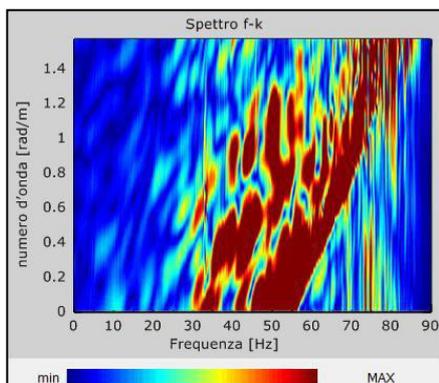
Velocità numeriche



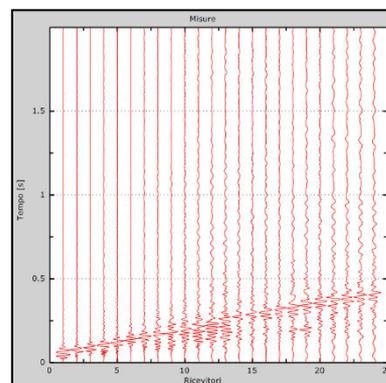
Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

Rappresentazioni grafiche MASW 10

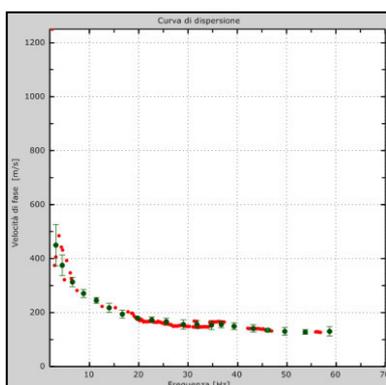
Spettro f - k



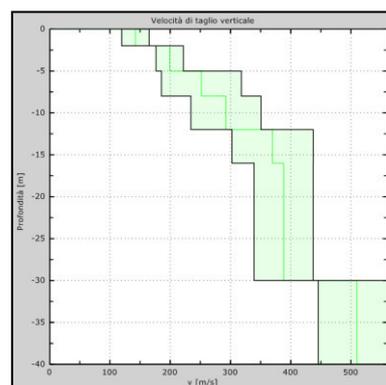
Tracce sperimentali



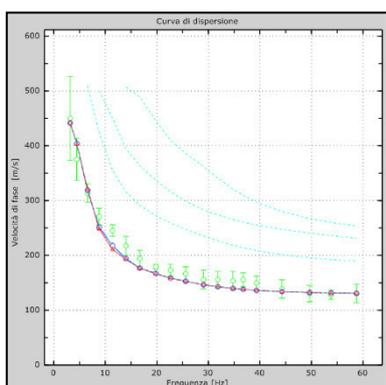
Curva di dispersione



Profilo verticale Vs



Velocità numeriche



Punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

TAVOLA 1

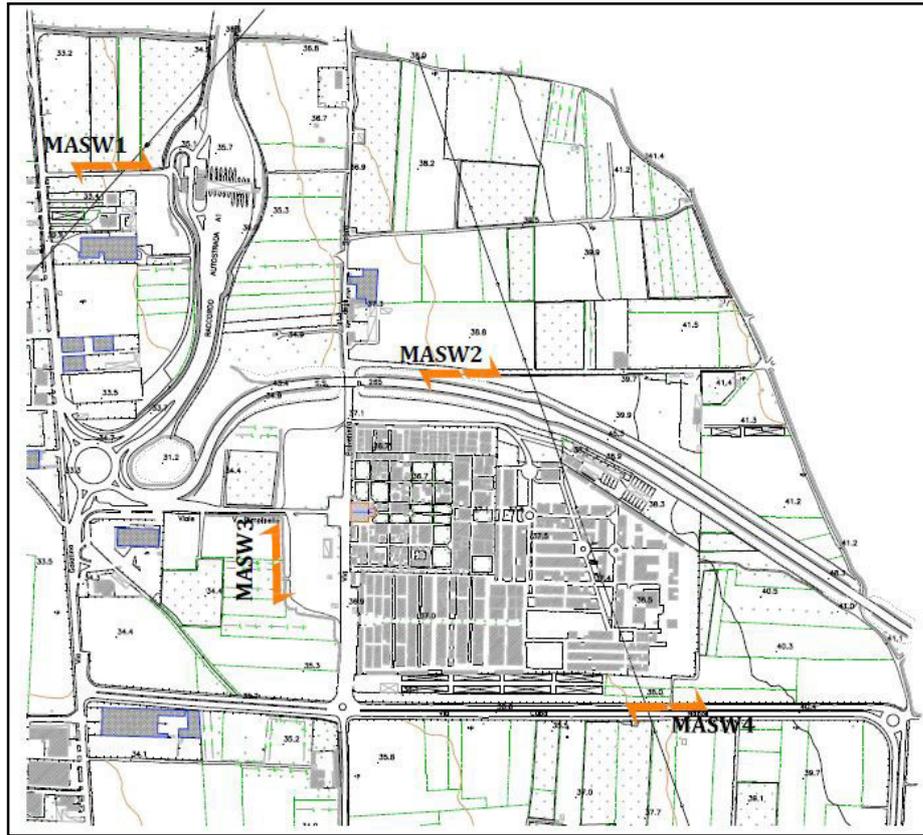


TAVOLA 2

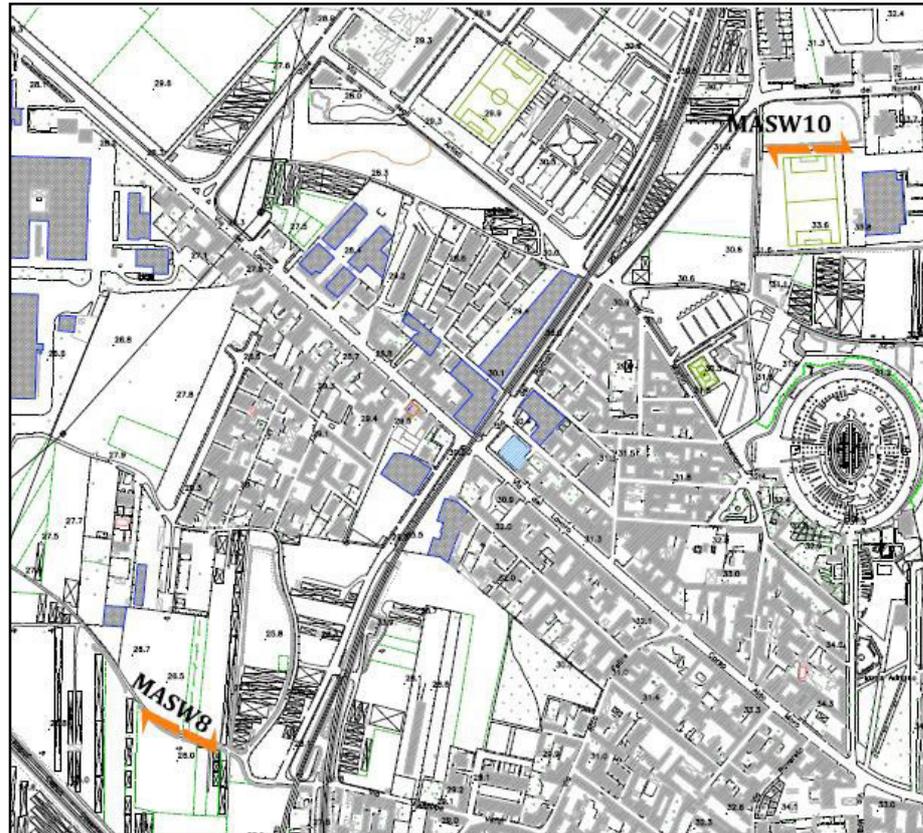


TAVOLA 3

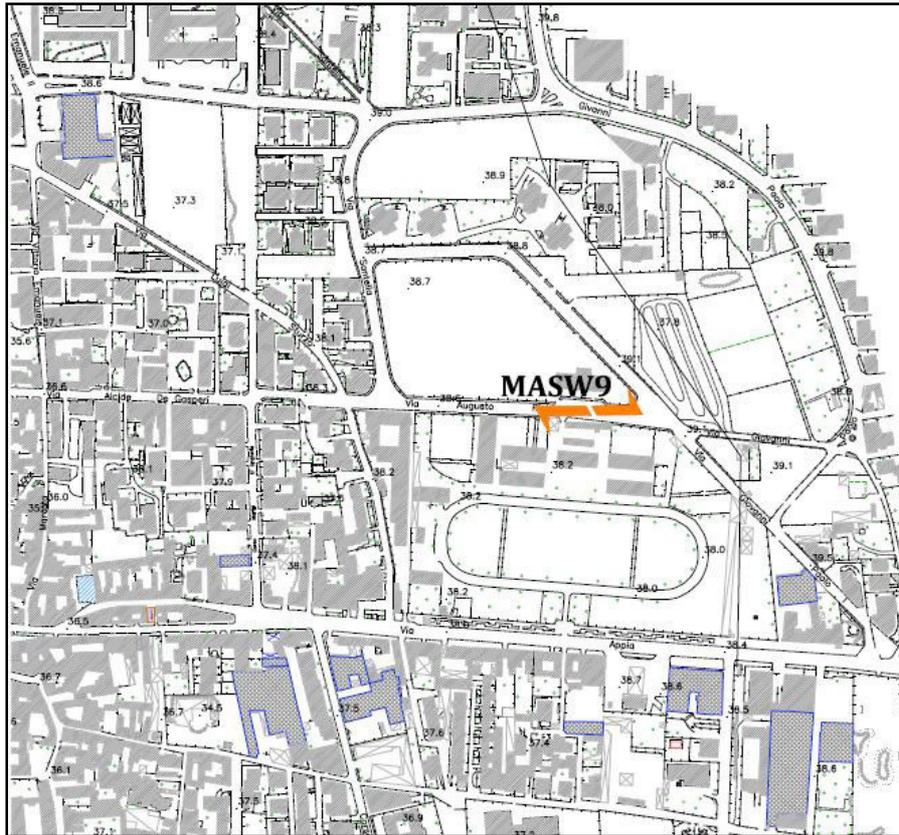


TAVOLA 4

