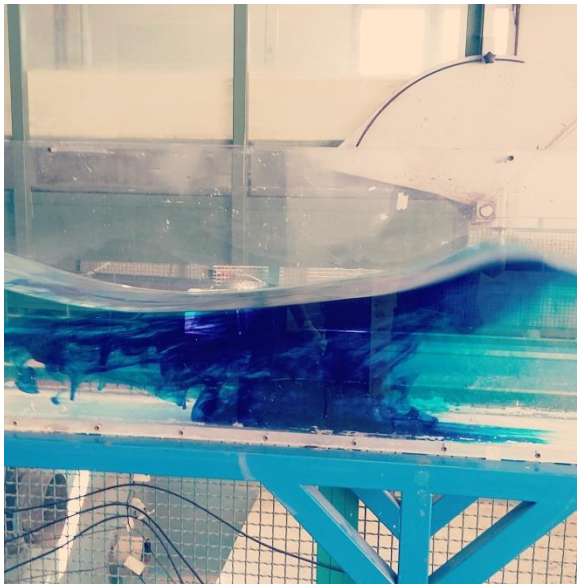
Dipartimento di Ingegneria

Corso di Laurea di Magistrale in Ingegneria Civile per la Protezione dei Rischi Naturali

Relazione di fine tirocinio

Calibrazione e Prove Sperimentali del Simulatore del Moto Ondoso nel Laboratorio di Idraulica



Tirocinante :
Fabrizio Oliveti

Tutor :
Prof. Giorgio Bellotti

INDICE

1 PREMESSA 3

2 INTRODUZIONE 3

3 ACQUISIZIONE DELLE CONOSCENZE NECESSARIE PER L'UTILIZZO DEL SIMULATORE DEL MOTO ONDOSO 4

3.1 Pulizia del simulatore 4

3.2 Apparato sperimentale 4

3.3 Costruzione della configurazione sperimentale 8

3.3.1 configurazione I 8

3.3.2 configurazione II 9

3.3.3 strumenti di misura e disposizione 13

3.4 Riempimento del canale 16

3.5 Prove di calibrazione delle sonde e scelta del livello idrico medio 17

3.6 Calibrazione Pala meccanica 24

3.7 Disposizione e Calibrazione Dinamometro 31

3.7.1 Calibrazione e validazione del trasduttore di forza 33

1 PREMESSA

La relazione descrive le attività svolte nell'ambito del tirocinio interno, presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Roma Tre, sotto il controllo del docente guida Prof. Giorgio Bellotti e della correlatrice Claudia Cecioni nel periodo tra ottobre e dicembre del 2016.
Nel corso del tirocinio sono stati svolti esperimenti nel canale d'onde con lo scopo di apprendere il funzionamento della strumentazione tecnica di laboratorio. L'attività ha inoltre previsto un approfondimento sul software MatLab, utilizzato per analizzare i dati prodotti dagli esperimenti.
Di seguito verranno descritte le prove effettuate e riportati i risultati ottenuti.

2 INTRODUZIONE

Durante questo tirocinio particolare attenzione è stata rivolta all'uso del canale ondoso con lo scopo di studiare le interazioni tra onde e struttura. Per questo motivo, è stata realizzata una struttura composta da: un dinamometro, una parete incernierata alla base, che consente la trasmissione degli sforzi orizzontali al registratore di forza ed una sonda di registrazione posizionata di fronte a tale parete.
Alla luce di queste premesse, l'attività di tirocinio si è articolata nelle seguenti fasi:

- Pulizia del simulatore.
- Acquisizione delle conoscenze necessarie per l'utilizzo del simulatore del moto ondoso.
- Utilizzo secondo il "*Manuale d'utilizzo del canale di moto ondoso",* in modo da poter svolgere al meglio e in sicurezza le prove di laboratorio.
- Realizzazione della sonda di registrazione.
- Realizzazione della struttura incernierata.
- Calibrazione delle sonde.
- Calibrazione della pala meccanica.
- Calibrazione del dinamometro.

3 ACQUISIZIONE DELLE CONOSCENZE NECESSARIE PER L'UTILIZZO DEL SIMULATORE DEL MOTO ONDOSO

3.1 PULIZIA DEL SIMULATORE

Per prima cosa si è proceduto alla pulizia delle sonde e del canale dove è collocato il simulatore, in quanto, non essendo stata svuotato a seguito dei precedenti utilizzi, presentava incrostazioni calcaree sui bordi ed uno strato di alghe sul fondo.
Quindi, utilizzando aceto, così come raccomandato dal manuale, si è provveduto alla pulizia di vasche e sonde.

3.2 APPARATO SPERIMENTALE

Viene mostrato in Figura 1 l'apparato sperimentale del laboratorio di Ingegneria costiera dell'Università degli Studi Roma Tre.

Figura 1:apparato sperimentale

Tale apparato è definito da quattro organi principali:

- *Computer*, ha lo scopo d'inviare i segnali al motore e ricevere i segnali dagli strumenti di misura, è il primo strumento ad essere acceso e l'ultimo ad essere spento;

Figura 2: postazione di controllo

- *Controller*, ha il compito di trasmettere i segnali inviati dal computer al motore della pala meccanica all'interno del canale. Ha una spia e due interruttori, uno è posizionato sul retro del controller insieme alla spia, mentre l'altro sul lato anteriore. Il controller è collegato al computer e tramite cavi arancioni al motore;

Figura 3: Interruttore posteriore controller

Figura 4: Interruttore anteriore controller

- *Terminaliera*, è un blocco connettore schermato per dispositivi DAQ con connettori a 68 pin, ovvero una scatola all'interno della quale trovano sede dei fili di trasmissione dati;

Figura 5: Terminaliera

Figura 6: Terminaliera

- *Wave Monitor*, è uno strumento che permette la calibrazione delle sonde, la misura e la registrazione delle onde. È composto da cinque moduli, ognuno è abbinato ad una sonda installata nel canale. Le sonde restituiscono dati in Volt.

Figura 7: Wave monitor

Questi elementi costituiscono il cervello del simulatore del moto ondoso che è costituito inoltre dal canale, in cui si svolgono le prove.
Tale canale è realizzato in perspex (materia plastica formata da polimeri del metacrilato di metile), ha una lunghezza di 9 m, una larghezza di 0.30 m ed un'altezza di 0.5 m.

Figura 8: Specifiche canale

Il canale è sorretto da una struttura a telaio metallica che conferisce la dovuta robustezza e flessibilità all'intero sistema. Al suo interno è presente una pala meccanica azionata da un motore che, ricevendo determinati segnali di input dal computer, ne consente il movimento attraverso la regolazione continua di una vite senza fine posta al di sopra di tale pala, nella parte iniziale del canale. Tale generatore ha una sua posizione a riposo, che corrisponde al comando *LAB_2_risposta* di Matlab ed una sua posizione in attività che è data dal comando *LAB_0_sposta* e riduce la lunghezza complessiva del canale a circa 7,30 m considerando l'istallazione del cassone sulla parte finale.

Figura 9: Posizione in attività

Oltre alla parte 'strutturale', sono presenti i misuratori di livello resistivi, installati all'interno del canale e disposti lungo la progressiva in funzione dei punti di interesse. Le sonde sono composte da due elettrodi, variando il livello dell'acqua, varia il segnale che le sonde trasmettono attraverso i fili elettrici al wave monitor.

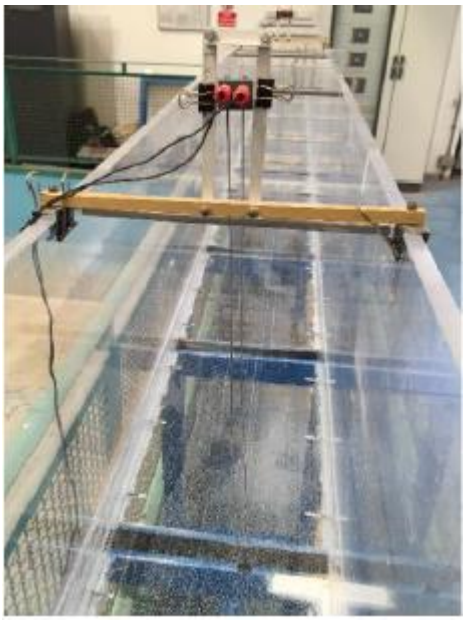


Figura 10: Esempio sonda

3.3 COSTRUZIONE DELLA CONFIGURAZIONE SPERIMENTALE

La fase iniziale ha previsto la rimozione e la pulizia di una spiaggia precendentemente installata, in seguito, sono state realizzate due configurazioni sperimentali poste sul fondo della vasca, ad una distanza di 7,30 m circa dalla posizione a riposo della pala meccanica.

3.3.1 CONFIGURAZIONE I

La prima configurazione sperimentale consiste nella collocazione del cassone in poliplat in scala 1:30 sul fondo del canale con i relativi sensori di pressione.
Tale struttura presenta le seguenti dimensioni b = 0,27 m , h = 0,35 m e l = 0,47 m ed è stata assicurata al fondo del canale attraverso l'utilizzo di pesi metallici, per evitare spostamenti indesiderati durante l'agitazione ondosa.

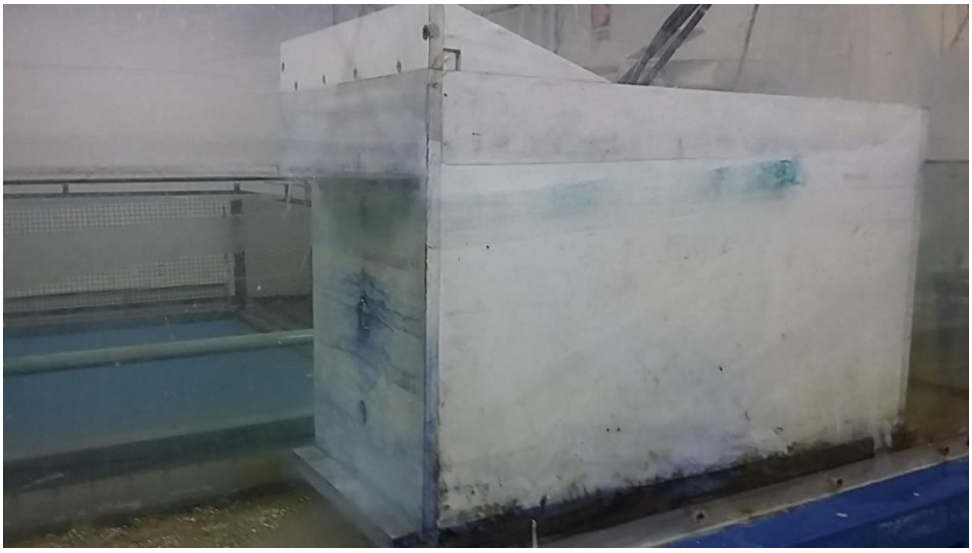


Figura 11: Cassone

Con questa prima ricostruzione in scala sono stati effettuati diversi esperimenti sulla sovrapposizione dei treni d'onda a diversa frequenza di propagazione (wave focussing).

3.3.2 CONFIGURAZIONE II

Con la seconda configurazione sperimentale, è stata installata una struttura più complessa. In questo caso, la struttura è costituita da due pannelli in poliplat disposti ad L ed incernierati alla base, il pannello orizzonatale oltre ad essere un piano dove disporre le cerniere, servirà al collocamento dei pesi metallici in modo da contrastare i movimenti indotti dal moto ondoso.

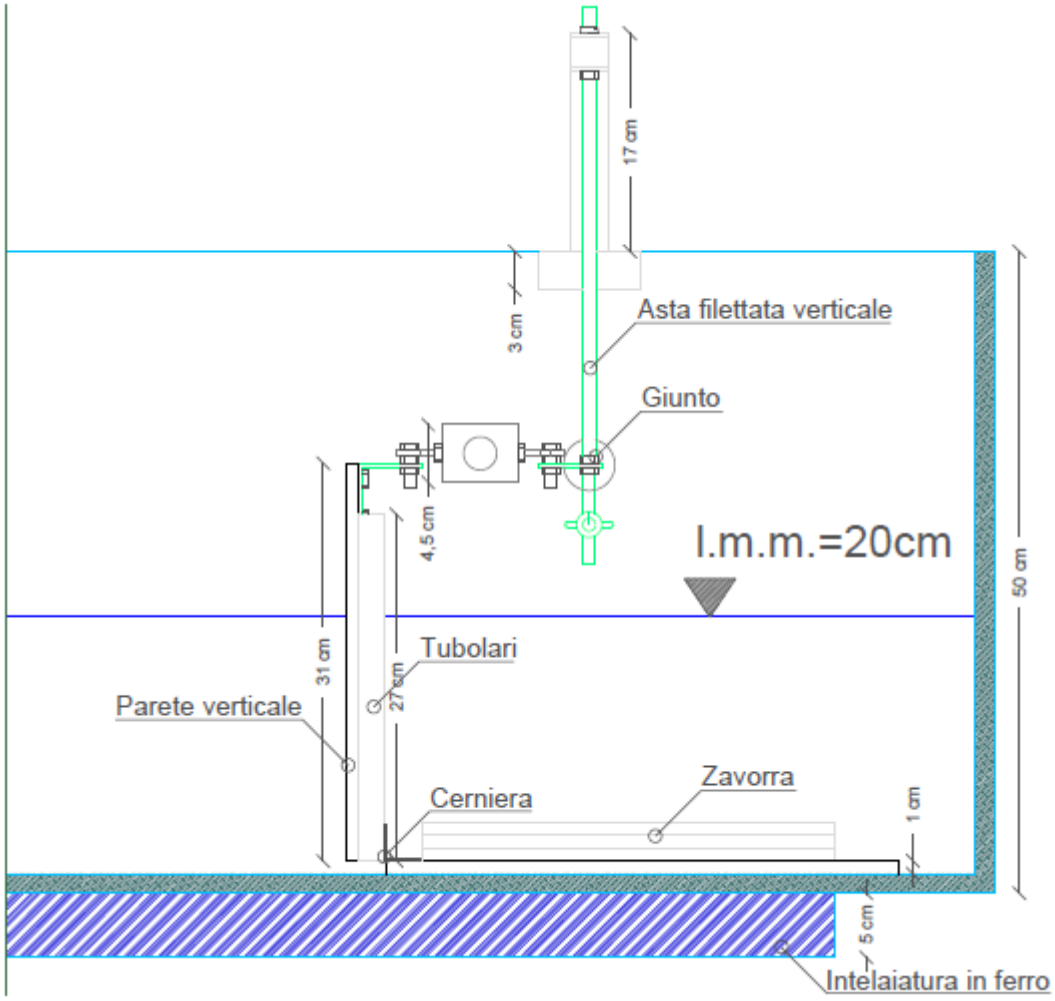


Figura 12: Sezione Configurazione II

Sulla parte posteriore della parete verticale è stata collocata un'intelaiatura metallica realizzata in ferro (tubolari), a cui è stata applicata una vernice zincata per evitare la formazione di ruggine.

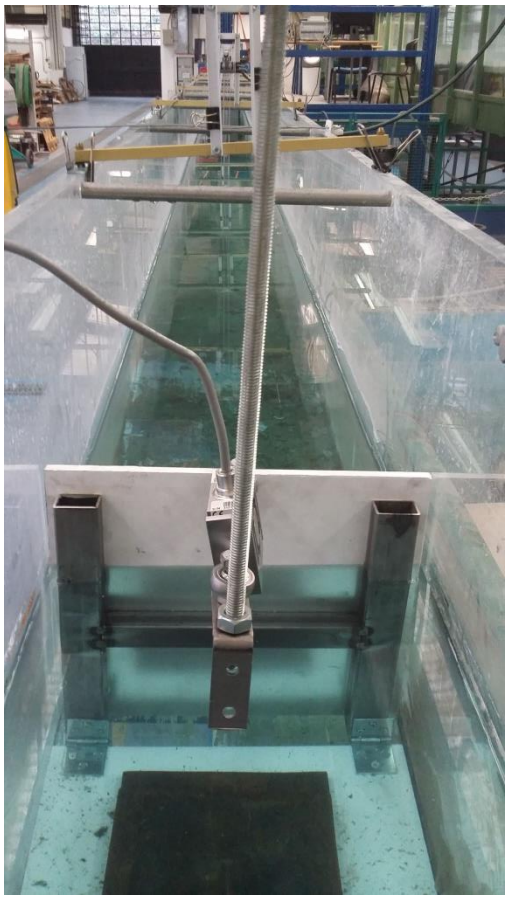


Figura 13: Intelaiatura metallica

In figura 13 si può vedere l'intelaiatura in ferro non ancora zincata alla quale è applicata la parete in poliplat di 2 mm più piccola della larghezza interna della vasca, questo per garantirne i movimento.

Tale intelaiatura, è stata realizzata per consentire alla parete di avere oscillazioni e quindi consentire il trasferimento dello sforzo normale al dinamometro.

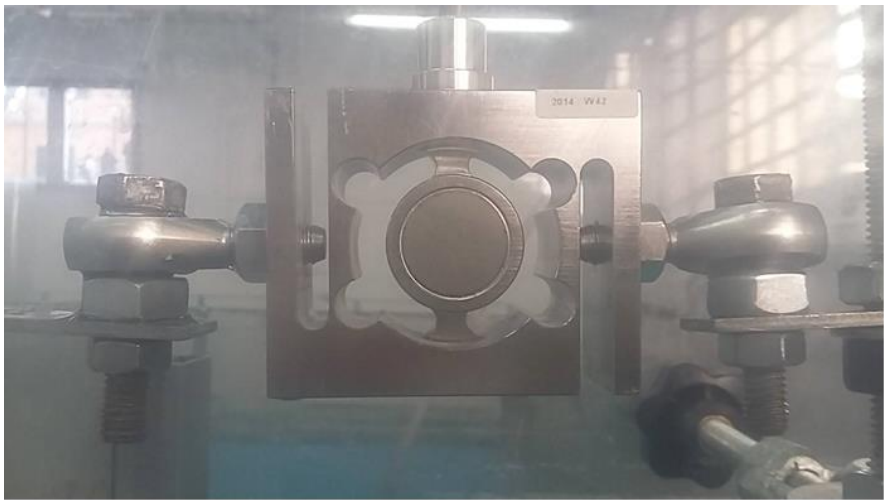


Figura 14: ancoraggi dinamometro

Questo trasduttore di forza è stato ancorato da un lato (sinistra), alla paratia tramite l'utilizzo di una staffa metallica ad L in acciao inox, dall'altro (destra) è collegato ad un'asta filettata verticale ed un'asta filettata orizzontale.
Come si può vedere in figura 15 l'asta verticale è ancorata al canale di propagazione tramite una staffa ad U fissata solidamente ai bordi superiori grazie a dei binari con guarnizioni in gomma regolabili.

Figura 15: Staffa ad U

Mentre la barra orizzontale, è stata ideata utilizzando un giunto centrale all'interno del quale passa la barra verticale che viene fissata stringendo i bulloni ed i piattini posti al di sopra e al di sotto di tale giunto.

Figura 16: Dettaglio giunti

Ai lati di questa parte centrale sono presenti due barre di minore lunghezza con dei piedini in plastica che svitandosi si espandono fino a toccare le pareti interne del canale evitando, in questo modo, di avere oscillazioni orizzontali al trasduttore di forza e di mantenere una solida posizione di equilibrio, come si può vedere in figura 17.

Figura 17: Ancoraggio verticale ed orizzontale

Una volta fissato il dinamometro è possibile, sfruttando le oscillazioni della paratia e, quindi la compressione del trasduttore, registrare i valori di forza trasferiti alla scheda di acquisizione collegata al computer.

3.3.3 STRUMENTI DI MISURA E DISPOSIZIONE

A questo punto, vengono disposti e tarati i vari strumenti di misura. In questo caso sono stati utilizzati cinque sonde ed un calibro. Il calibro è un misuratore di livello dell'acqua, composto da una penna appuntita all'estremità finale, che andrà a contatto con l'acqua e servirà per avere una corretta misura del livello del fluido in condizione di quiete.

Le sonde registrano il segnale del moto ondoso fornendo una misura elettrica in volt al passaggio delle onde; prima di effettuare qualsiasi prova, occorre calibrarle correttamente, in quanto da esse dipenderanno i dati sperimentali acquisiti e quindi analizzati con i software.

Le sonde di livello resistive sono state disposte nei punti di intersse, come riportato in tabella, a partire dalla posizione 0 della pala meccanica:

Strumenti	**Distanza [cm]**
Sonda 1	1,50 m
Sonda 2	3,50 m
Sonda 3	5,00 m
Sonda 4	6,50 m
Sonda 5	7,33 m

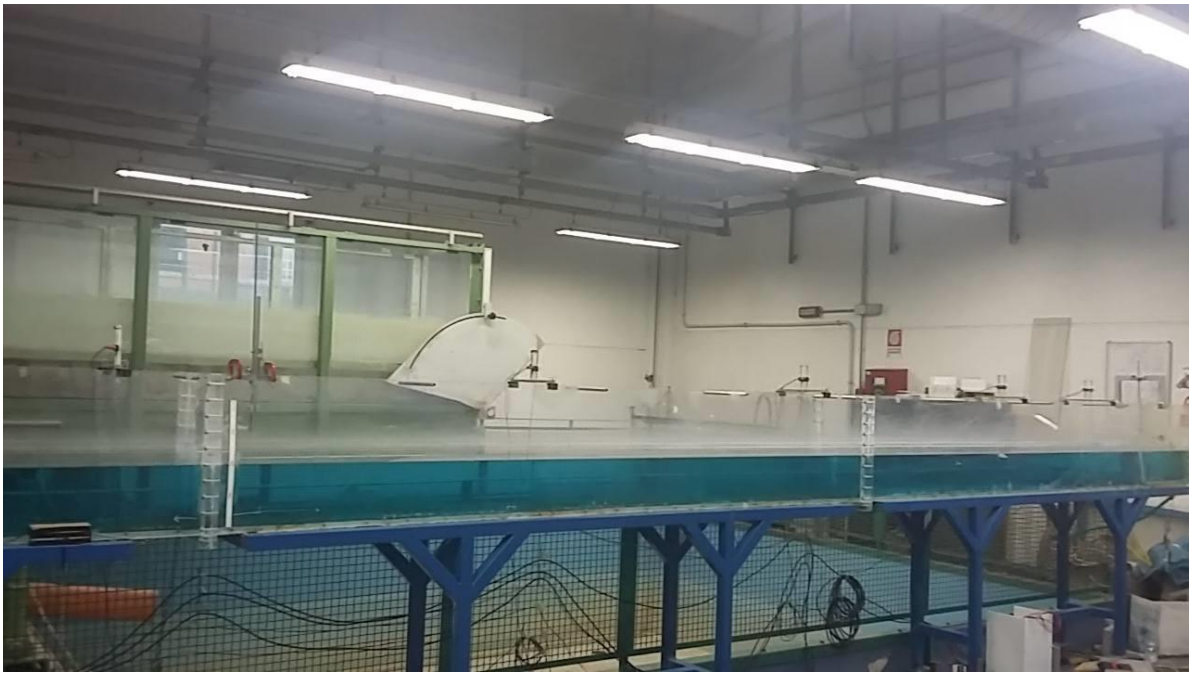


Figura 18: Progressiva sonde

La quinta sonda, costruita durante questo tirocinio, è stata collocata sulla parte anteriore della struttura.

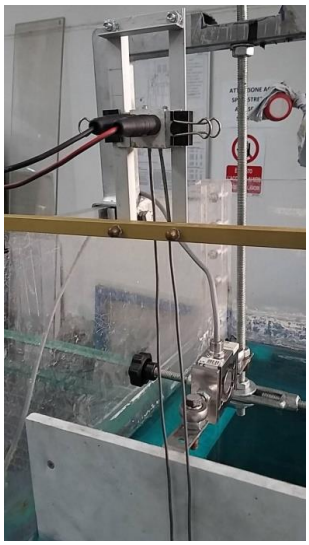


Figura 19: V Sonda su paratia

Tale sonda, è stata realizzata prendendo come modello quelle preesistenti: è costituita da due fili metallici spessi, ognuno dei quali è imbullonato in testa a un jack maschio, mentre alla base sono tenuti insieme da un gommino di plastica.

Figura 20: Jack maschio

Figura 21: Ancoraggio jack

I jack maschi, in testa, sono poi inseriti nei jack femmina e collegati tramite dei cavi audio al wave monitor in modo tale di chiudere il circuito elettrico e consentire la registrazione dei dati.
Il collocamento di tale sonda sulla paratia non è casuale, infatti, consente la registrazione dell'elevazione del moto ondoso a ridosso di tale struttura. In questo punto, le particelle d'acqua hanno un'oscillazione verticale che causa quindi un aumento pari al doppio dell'elevazione. Oltre all'utile registrazione dell'elevazione dell'onda, è possibile confrontare le creste ed i cavi dell'onda generata con i picchi positivi e negativi di forza.

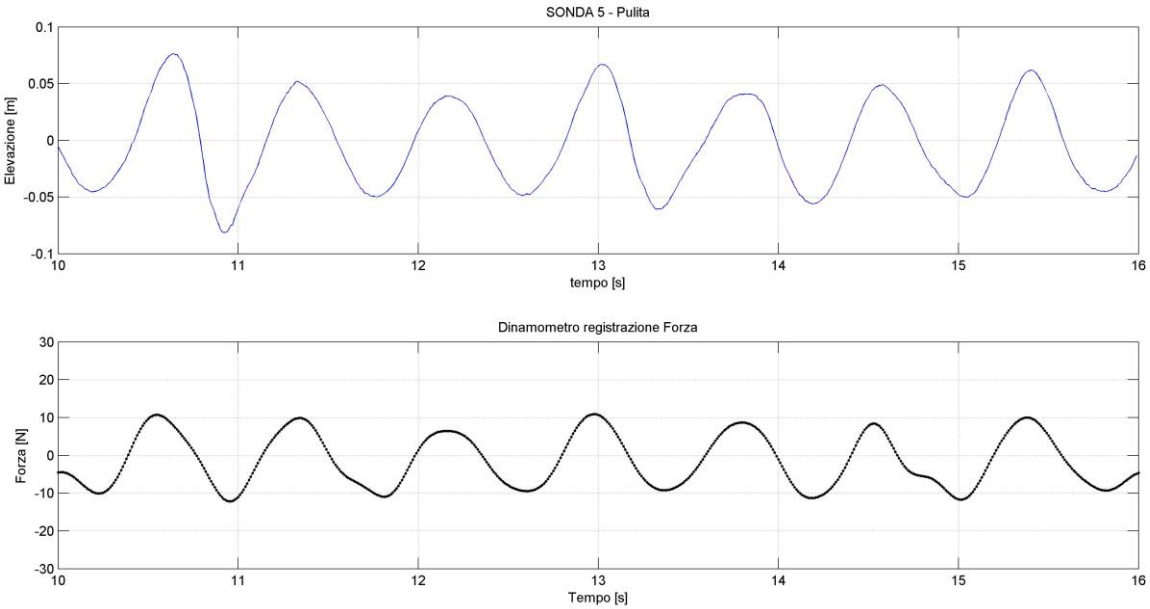


Figura 22: Confronto Elevazione-forza

Come si può verificare in figura 22, si ha un rapido confronto dell'elevazione ondosa in un preciso instante temporale con la forza in N registrata dal trasduttore.

3.4 RIEMPIMENTO DEL CANALE

Per poter eseguire le prove è stato necessario riempire d'acqua il canale fino all'altezza desiderata, tirante pari a 20 cm l.m.m. Ciò è stato possibile grazie all'ausilio di un tubo collegato ad una condotta di alimentazione, dove vi sono due valvole, delle quali quella inferiore, più piccola, è predisposta per il riempimento del canale. Per tale riempimento bisogna rispettare le seguenti fasi:

- controllare che il rubinetto rosso posizionato a destra del canale sia chiuso, in quanto serve solamente per le misure di tracimazione; il tubo ad esso collegato scarica l'acqua convogliata in apposite vasche di raccolta per la tracimazione, a cui viene collegato un dinamometro;
- controllare che il rubinetto giallo a sinistra del canale, al di sotto del motore, sia chiuso, in quanto il suo scopo è permetterne lo svuotamento;
- prima di fissare il tubo nel canale va inserito nella griglia di scolo aprendo la valvola di alimentazione due/tre volte con la massima pressione per rimuovere dal tubo eventuali alghe ed impurità, che si formano al suo interno a causa della trasparenza del tubo che ne permette l'irraggiamento, e controllare che nel canale non siano presenti oggetti estranei alle prove che si vogliono svolgere;
- aprire la valvola principale per riempire il canale fino al livello preso come riferimento;
- pulire il canale da eventuali alghe residue che potrebbero confluire al suo interno dal tubo, in quanto la presenza di alghe o di altre impurità potrebbe interferire sia con la dinamica del fenomeno studiato che con gli strumenti di misurazione, infine rimuovere il tubo dal canale.

Figura 23: Tubo riempimento

3.5 PROVE DI CALIBRAZIONE DELLE SONDE E SCELTA DEL LIVELLO IDRICO MEDIO

Lo scopo delle prove sperimentali è quello di studiare il moto ondoso; per ottenere risultati il più possibile corretti, è necessario procedere alla calibrazione delle sonde di livello per calcolare il "*coefficiente di calibrazione*". La trasmissione corretta del segnale da parte delle sonde viene quindi garantita, solo dopo aver effettuato un'opportuna calibrazione delle stesse. Una non corretta calibrazione delle sonde pregiudica la buona riuscita dell'analisi delle prove eseguite e fornisce un erroneo risultato.

Le prove di calibrazione sono finalizzate a convertire in cm i valori registrati dalle sonde in Volt e trovare la giusta correlazione tra l'altezza d'onda che si vuole generare e quella che effettivamente viene riprodotta dal motore in canale.

Sono state effettuate 4 prove con tirante idrico variabile, ±5 cm rispetto al tirante di progetto pari a 20 cm. Sono state effettuate prove sperimentali ad acqua ferma considerando quindi i seguenti 4 tiranti: h = 20 cm, h = 25 cm, h =20 cm e h=15 cm. Le condizioni di acqua ferma sono state ottenute imponendo alla palala generazione di un'onda con altezza prossima allo zero, H=0.0000000001 m.

Per variare il livello del tirante, è stato necessario provvedere al riempimento e allo svuotamento del canale; la precisione della misura del livello idrico nel canale è stata ottenuta grazie all'ausilio del calibro. La calibrazione è stata effettuata con il wave- monitor, composto da un pannello per ogni sonda. Per la calibrazione delle sonde, innanzitutto è necessario mettere in corto circuito le sonde manualmente, facendo in modo che i due elettrodi si tocchino tra loro e nello stesso momento controllare che la barretta rossa sul wavemonitor si muova. Il movimento in alto e in basso della barretta rossa serve a verificare il funzionamento delle sonde dopo aver "lanciato" il programma, implementato in Matlab, che realizza il moto ondoso.

Figura 24: Manapola set datum

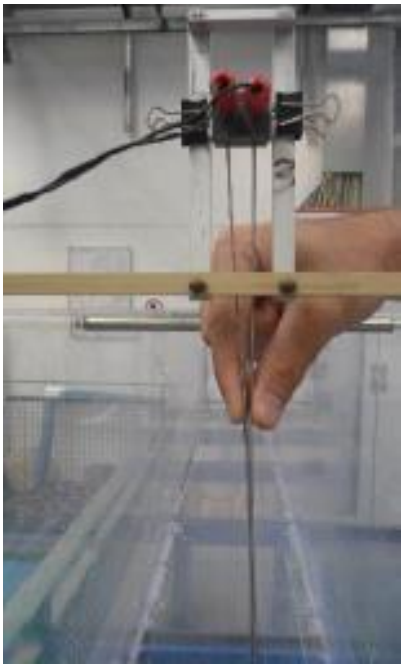


Figura 25: Prova sonda

La calibrazione viene eseguita tramite due manopole di *"set datum"* e *"set output"* presenti sul front del wave monitor. La monopola del set datum viene girata finché la barretta rossa non si trova al centro del quadrante. Le sonde devono essere immerse per circa la metà della loro lunghezza. Il set output è una monopola che va da 0 a 10 e regola il "guadagno" della sonda e cioè la sensibilità. Per trovare il guadagno adeguato di ogni sonda si è proceduto per tentativi, che consistevano nel mettere in movimento l'acqua, manualmente o con l'ausilio della pala, osservando il segnale registrato dalle sonde sul Test Panels. In questo modo è stato possibile capire il range di competenza di ogni sonda, in modo tale da non ottenere risultati fuori scala.
Dopo aver effettuato le 4 prove precedentemente elencate, sono stati esportati i dati di generazione ed acquisizione e successivamente analizzati. Dalla cartella di salvataggio dati del computer di controllo del dipartimento di ingegneria costiera, sono stati estrapolati i dati registrati dalle sonde, relativi ad un'altezza d'onda tendente allo zero per ogni tirante idrico. Attraverso un codice in Matlab per ogni sonda è stata determinata la media di tutte le misurazioni relative ai vari tiranti idrici adottati. È stata, quindi, ricavata la relazione che regola il rapporto tra le medie in Volt ed i tiranti idrici utilizzati (in cm), rappresentata da una retta il cui coefficiente angolare è proprio il fattore di conversione; ogni sonda ha il proprio fattore di conversione.
I dati acquisiti dalle varie sonde, per ogni prova effettuata, sono stati inseriti in un grafico Elevazione [volt] - Tempo [s].

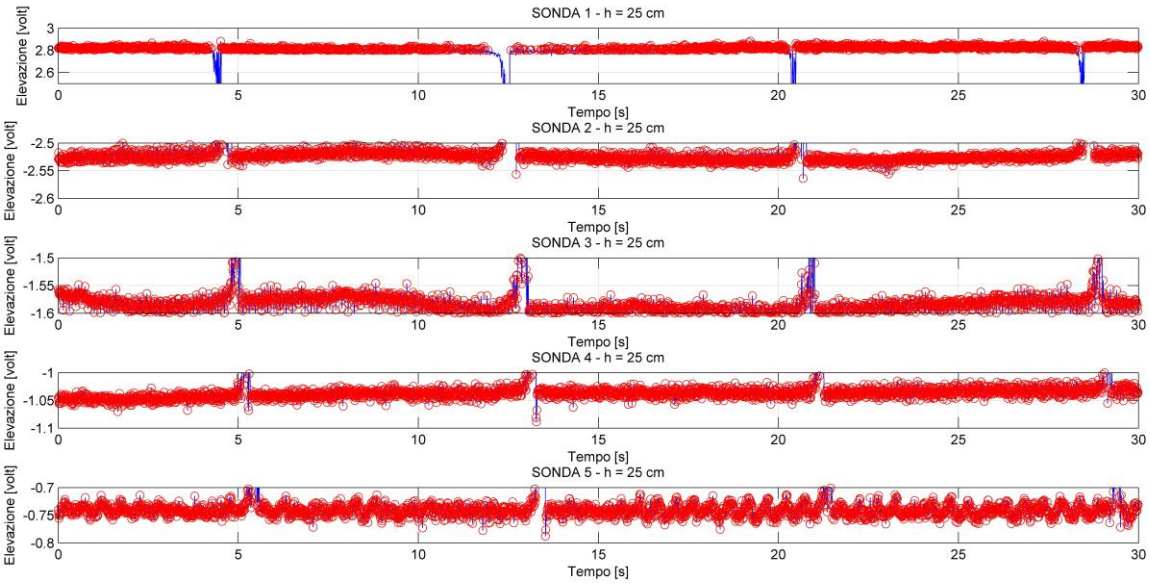


Figura 26: Elevazione sonde in [volt] per h=25cm

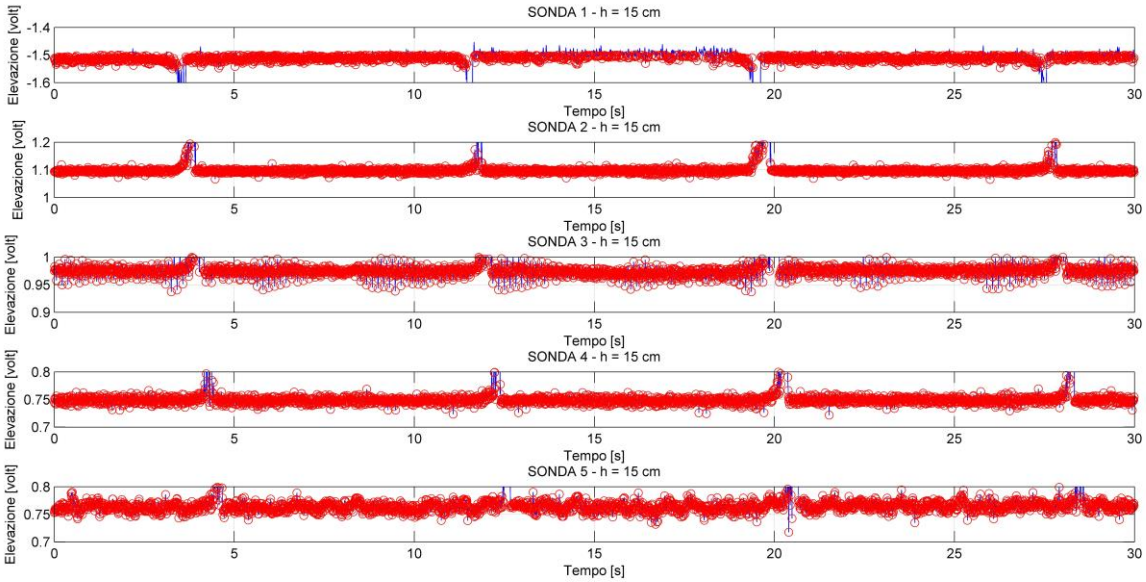


Figura 27: Elevazione sonde in [volt] per h=15cm

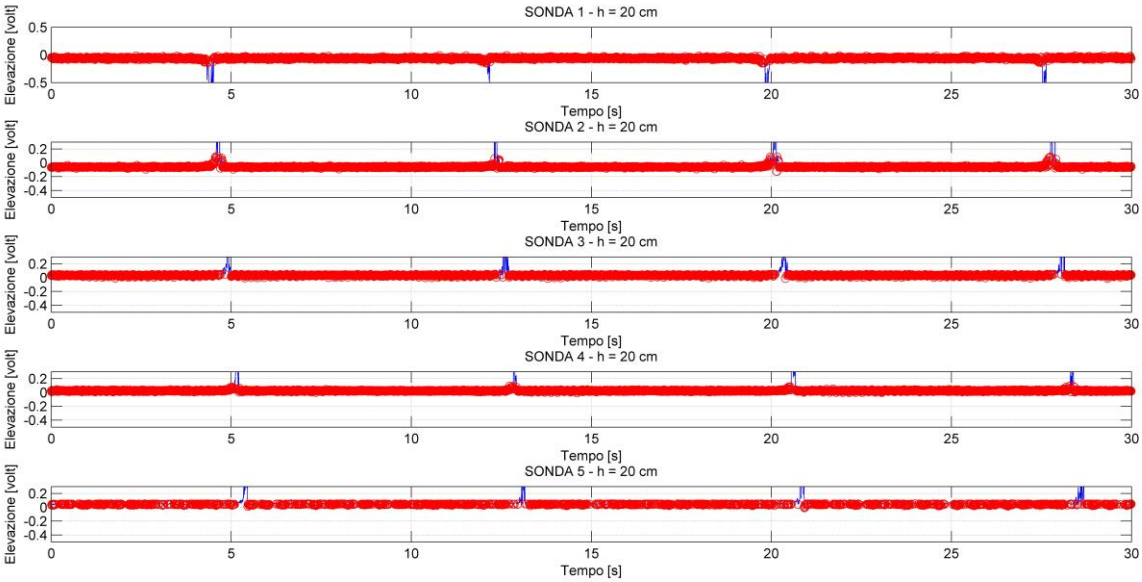


Figura 28:Elevazione sonde in [volt] per h=20cm

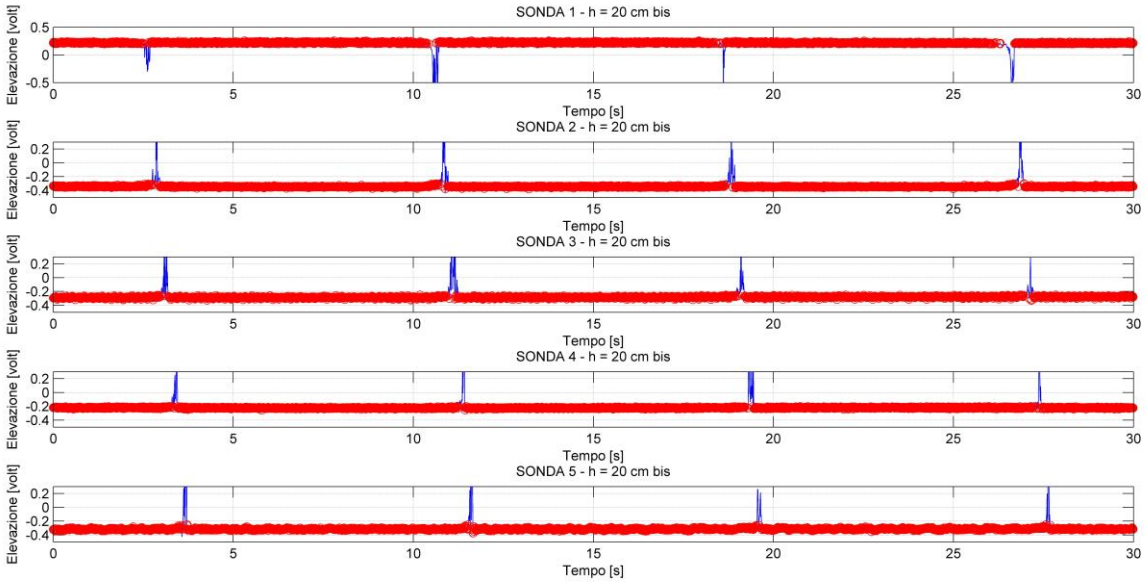


Figura 29: Elevazione sonde in [volt] per h=20cm

Realizzando grafici delle registrazioni complete, ne è stato individuato un range di valori medio (rosso). Questa operazione di filtraggio è stata effettuata realizzando il codice Matlab riportato in figura 30 per eliminare il rumore di registrazione e gli spike presenti ogni sette secondi su ogni registrazione del laboratorio.

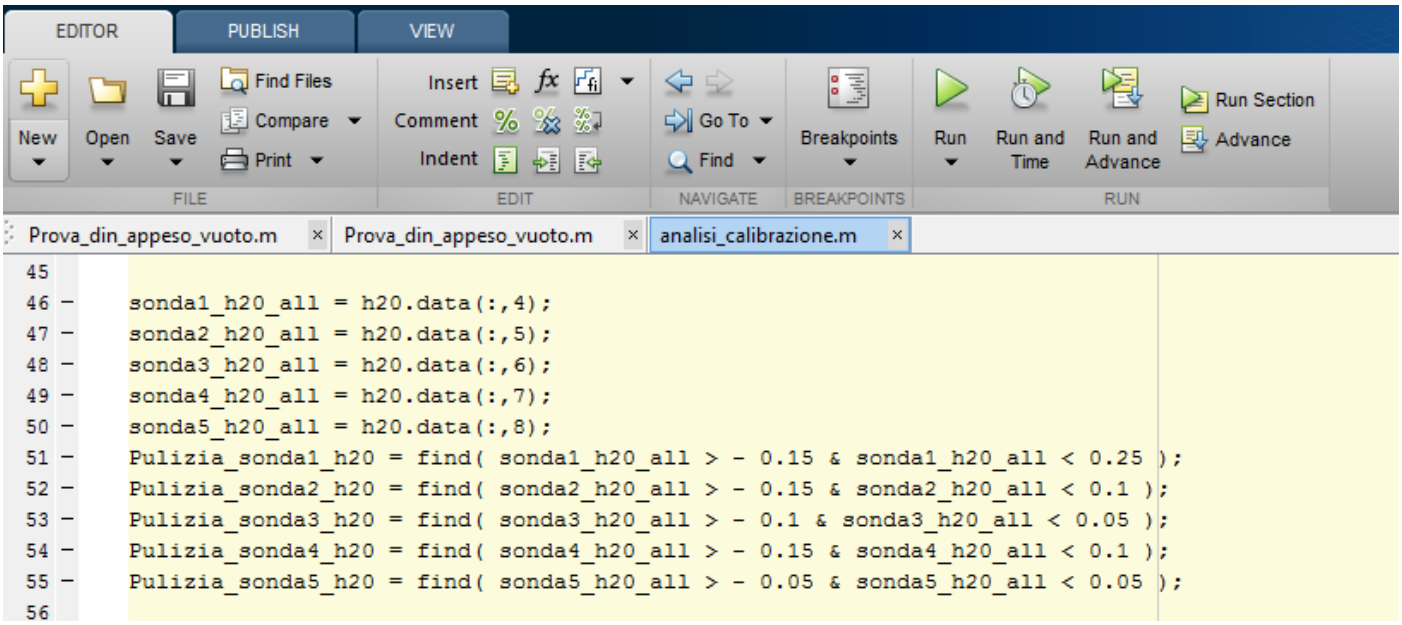


Figura 30: esempio script pulizia dati

Come si può vedere dall'esempio di codice estrapolato, per ogni sonda e per ogni tirante idrico utilizzato, è stato individuato un range di valori accettabili analizzando i grafici di output delle registrazioni complete e quindi, individuando una elevazione in volt di riferimento.
Superato questo primo step, si è calcolata la media dei valori registrati per poi procedere alla realizzazione di un grafico, per ogni sonda, dove sono state messe in correlazione le medie delle registrazioni, in volt, con il tirante idrico stesso, in metri.

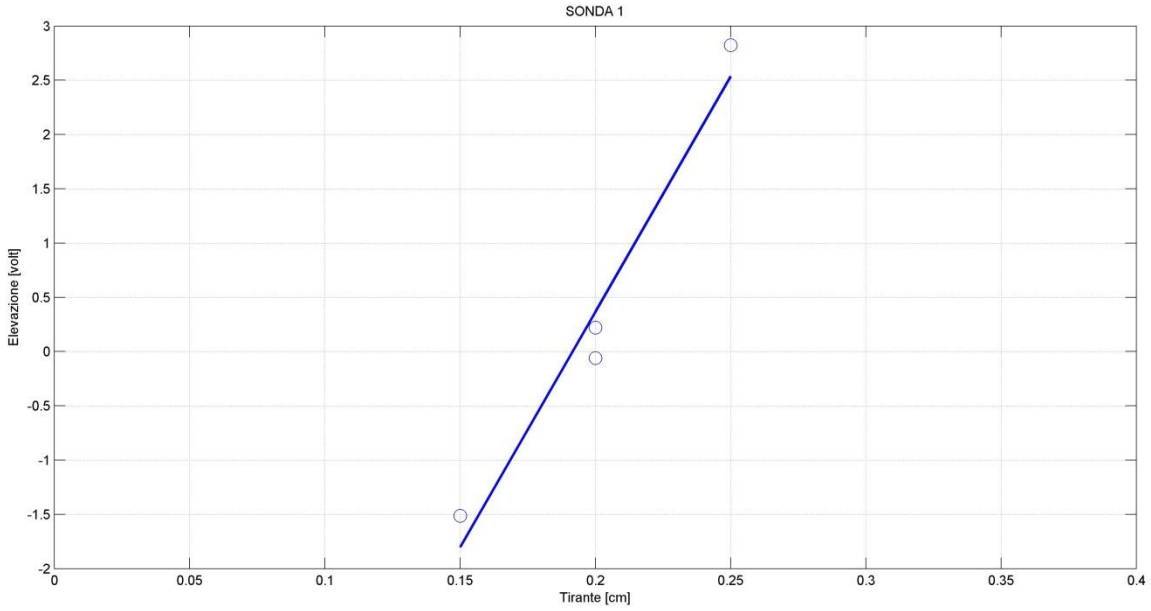


Figura 31: Coeff. Sonda 1

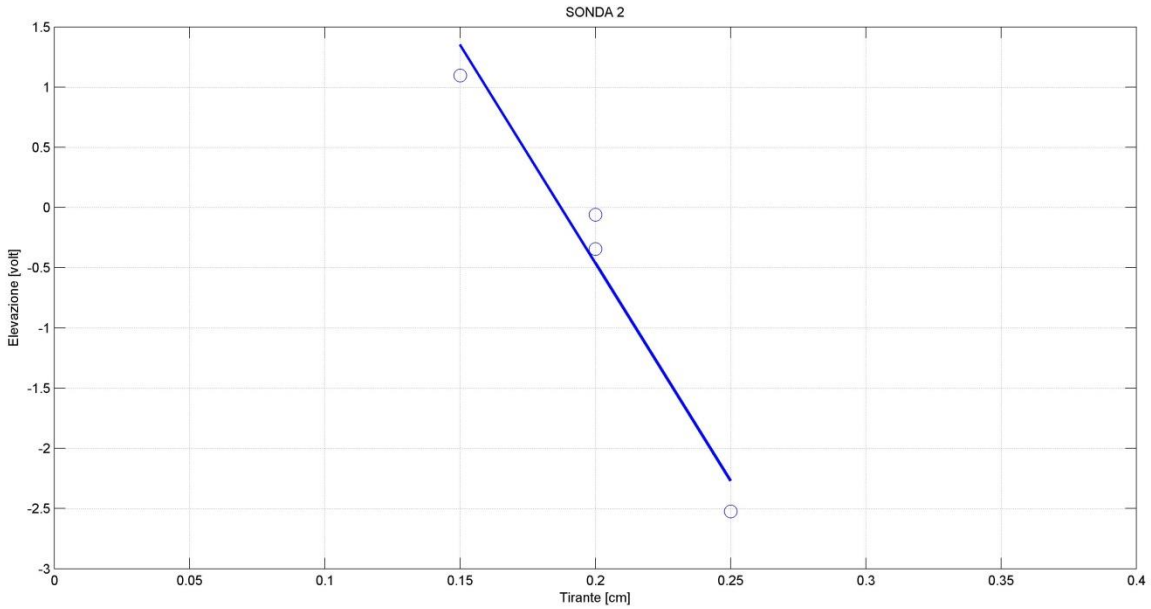


Figura 32: Coeff. Sonda 2

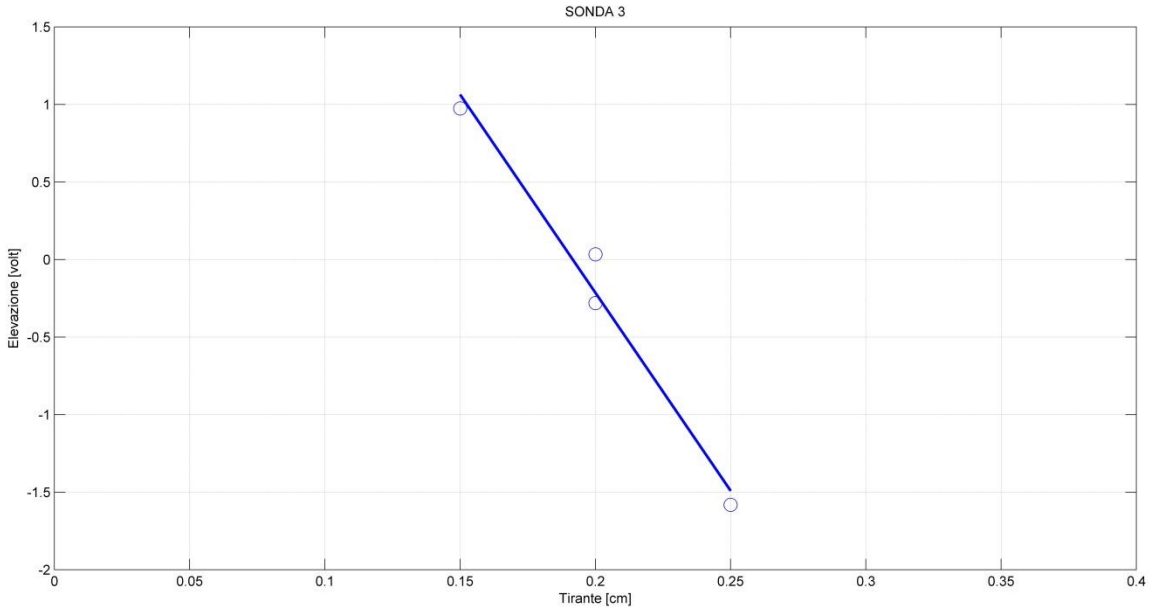


Figura 33: Coeff. Sonda3

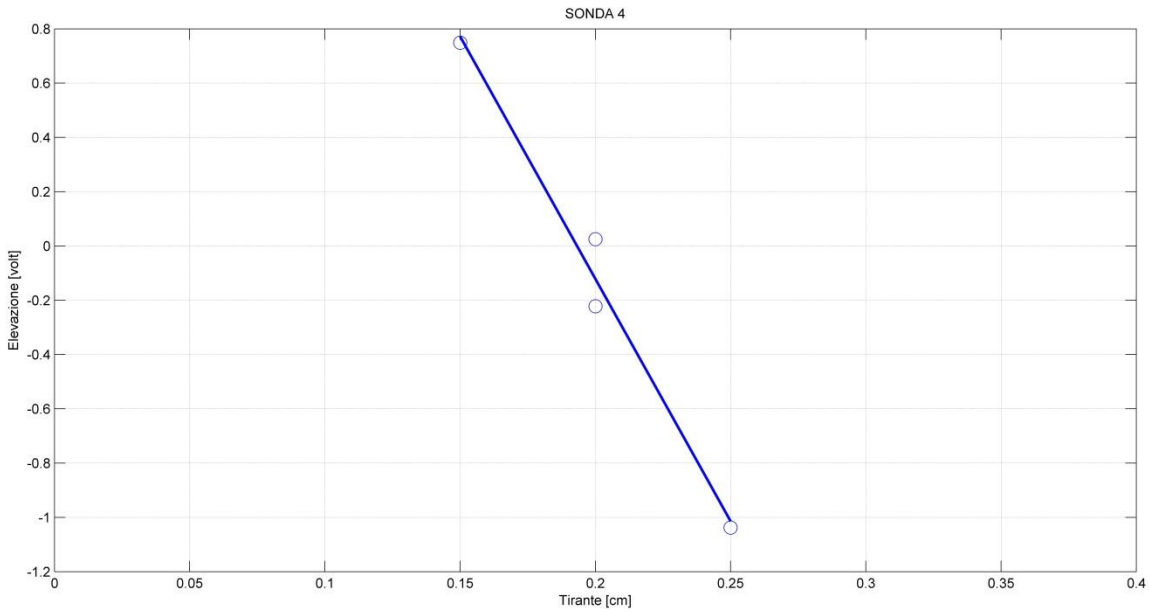


Figura 34: Coeff. Sonda4

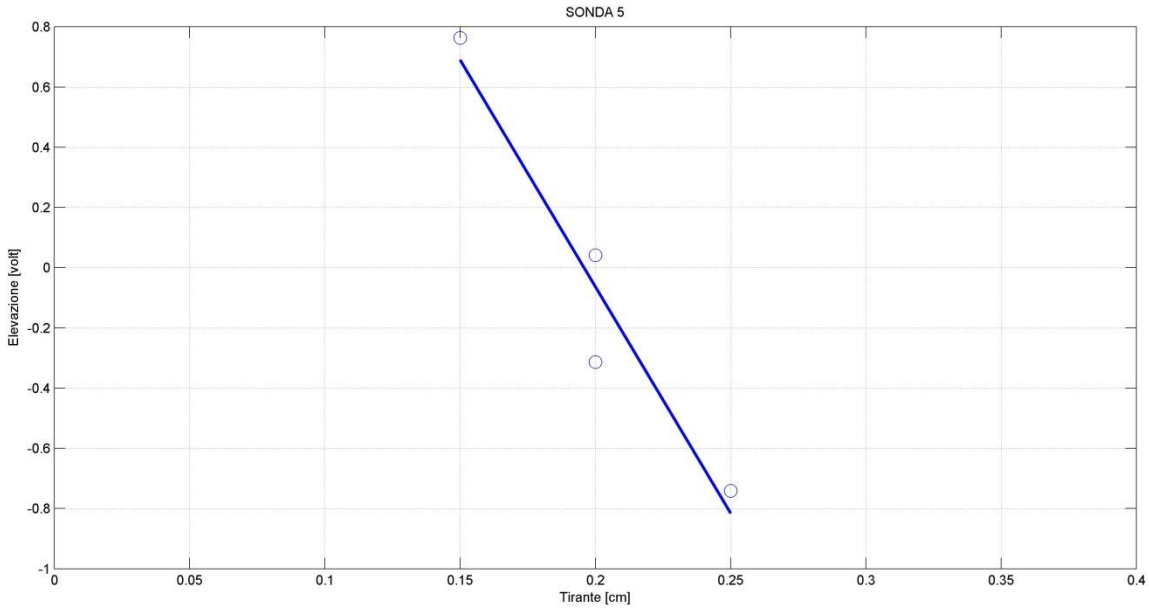


Figura 35: Coeff. Sonda5

Tracciando la retta interpolante per ogni grafico si è individuato il coeff. di conversione Volt – Metri, rappresentato dal coefficiente angolare di ogni retta.Osservando i grafici, si può vedere come la prima retta abbia un'altra inclinazione; questo è dovuto al fatto che i poli del circuito della prima sonda siano invertiti, quindi, prendendo il valore assoluto del coefficiente angolare, non si ha nessuna differenza.
Alla fine dello script realizzato per questa calibrazione, si è realizzata e salvata una matrice dei coefficienti di conversione, che verrà utilizzata per la conversione volt-metri nella calibrazione del generatore e nelle varie prove. Di seguito viene riportata la parte finale dello script e la matrice dei coefficienti angolari e delle intercette.

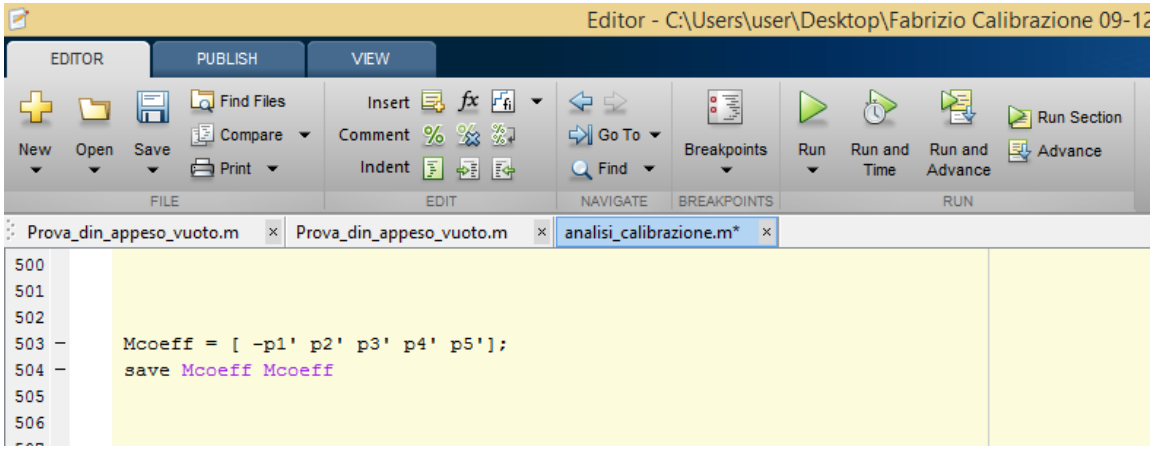


Figura 36: Script per Mcoeff.

Variables - Mcoeff

Mcoeff

Mcoeff <2x5 double>

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-43.3625	-36.2195	-25.5524	-17.8661	-15.0551			
2	8.3046	6.7867	4.8967	3.4519	2.9489			
3								
4								

Figura 37: Esempio Mcoeff.

3.6 CALIBRAZIONE PALA MECCANICA

Poichè la pala meccanica del laboratorio non genera esattamente l'onda richiesta, a causa della presenza di possibili errori strumentali, è necessario calibrare la pala meccanica cercando di capire quale è la differenza tra l'altezza richiesta al software e quella che esso realmente produce, in modo da ricavare, anche in questo caso, un coefficiente di conversione.

A questo punto, per la calibrazione si effettuano diverse prove creando diverse elevazioni regolari e monocromatiche della superficie: H = 1 cm, H = 2 cm, H = 3 cm, H = 4 cm.

Trovata la matrice dei coefficienti di conversione, al momento della calibrazione delle sonde, si è in grado di poter convertire il segnale rilevato in Volt in un segnale in metri.

Di seguito si riporta la Prova relativa solo all onda di 1 cm.

Sonda1:

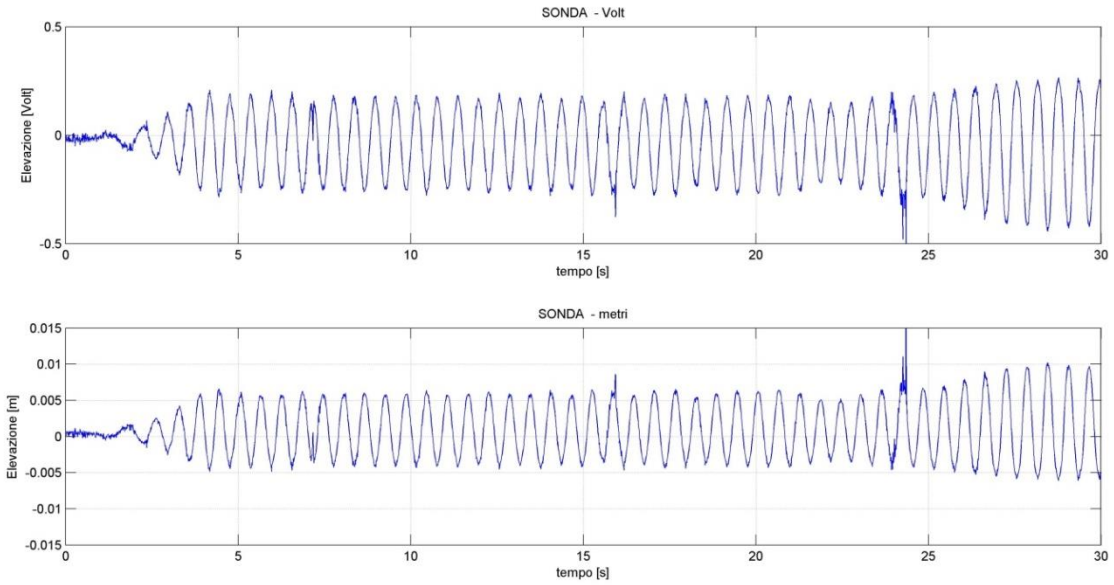


Figura 38: Conversione Sonda 1

Sonda2:

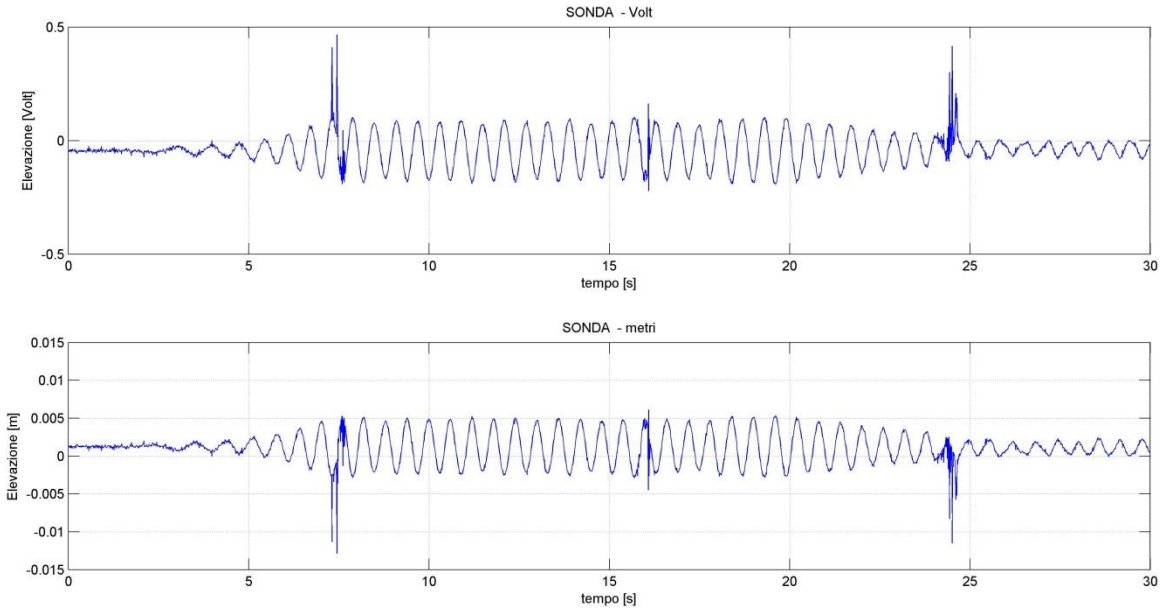


Figura 39: Conversione Sonda 2

Sonda3:

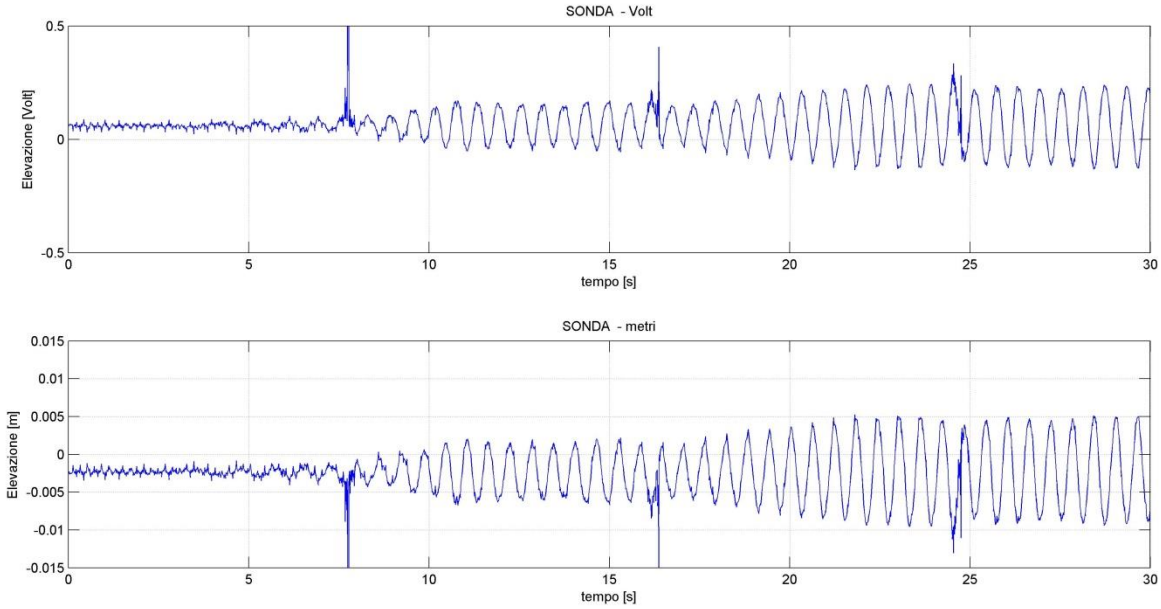


Figura 40: **Conversione Sonda 3**

Sonda4:

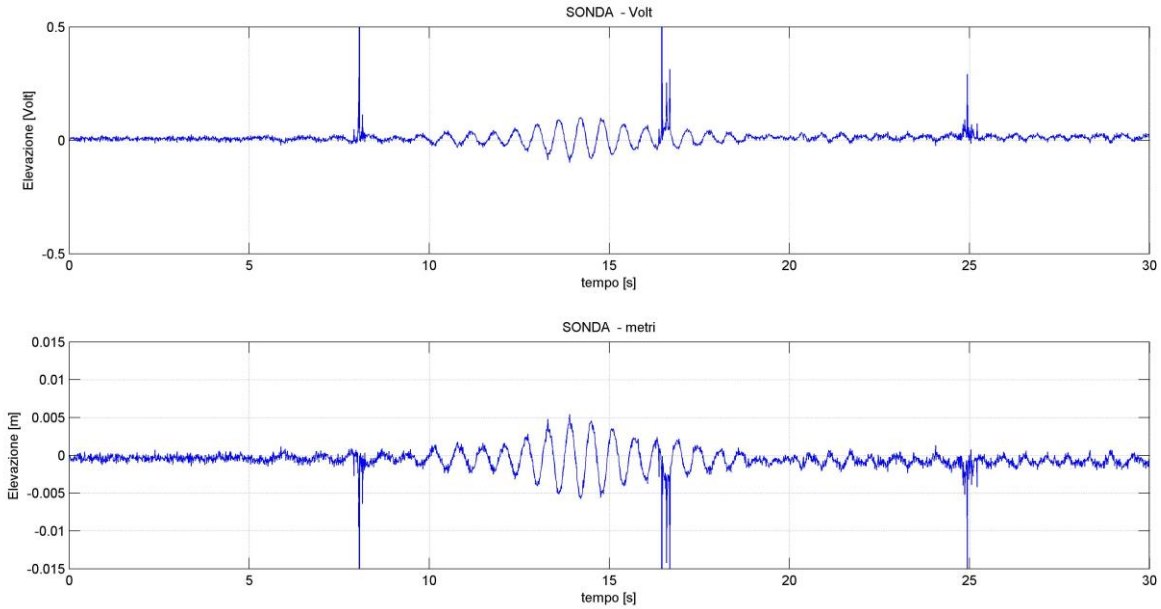


Figura 41: Conversione Sonda 4

Sonda5:

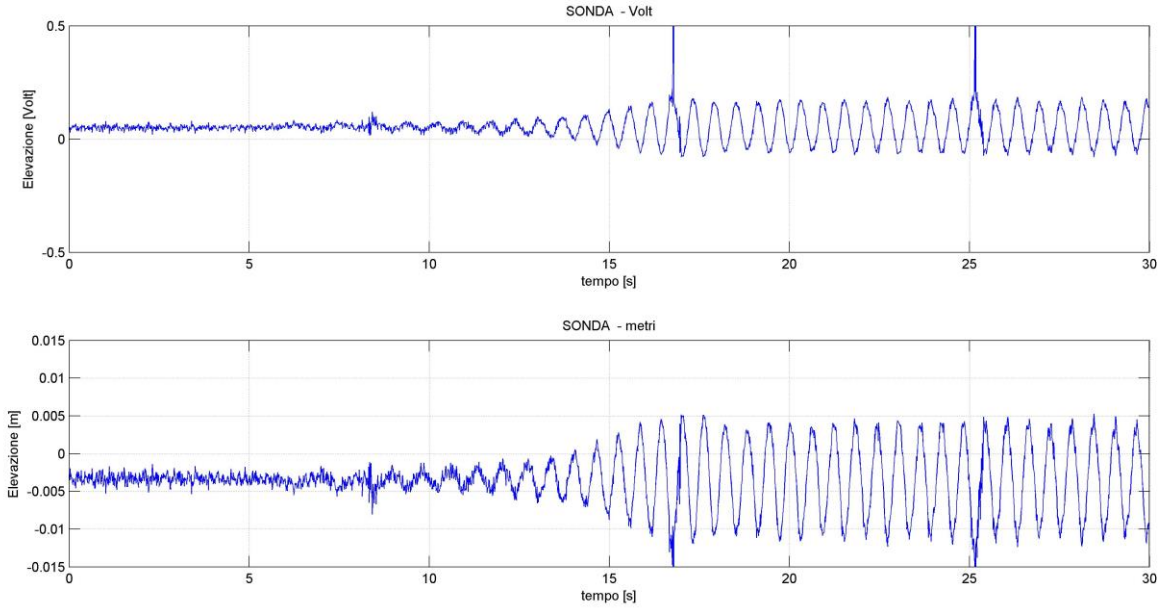


Figura 42: Conversione Sonda 5

Da questi primi grafici sono stati individuati, per ogni strumento di registrazione, gli istanti temporali per i quali non vi fosse una sovrapposizione del segnale tra l'onda generata e l'onda riflessa dal fondo del canale. Come è evidente in figura 43, dopo 25 s di registrazione vi è la sovrapposizione tra l'onda generata e quella riflessa dal cassone, che in questo caso ritorna fino alla prima sonda. Per tale motivo, si è effettuato un filtraggio del segnale escludendo la sovrapposizione registrata dopo i 25 s e gli spike presenti intorno ai 24 secondi ottenendo uno zoom sulla registrazione che va dai 5 s ai 20 s, con un andamento abbastanza regolare dell'onda.

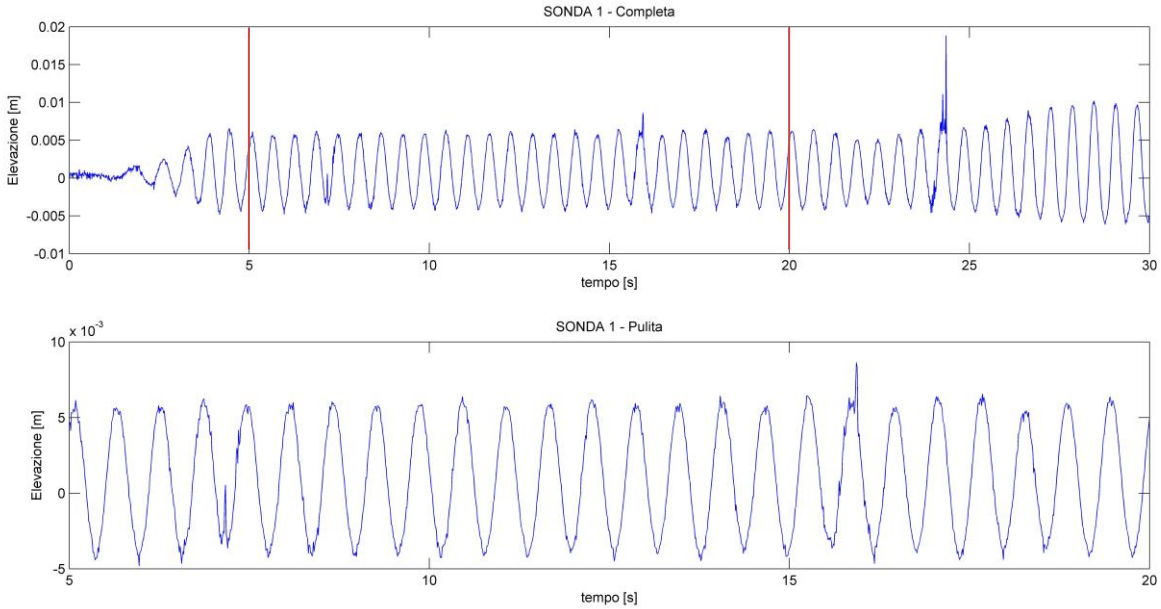


Figura 43: Scrematura sonda 1

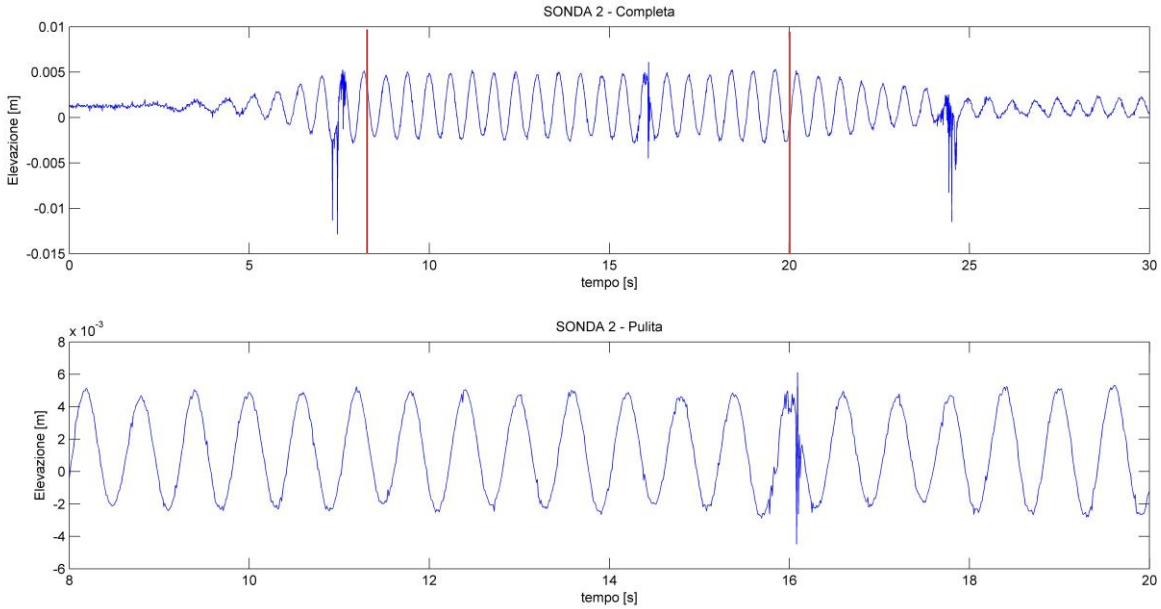


Figura 44: Scrematura sonda 2

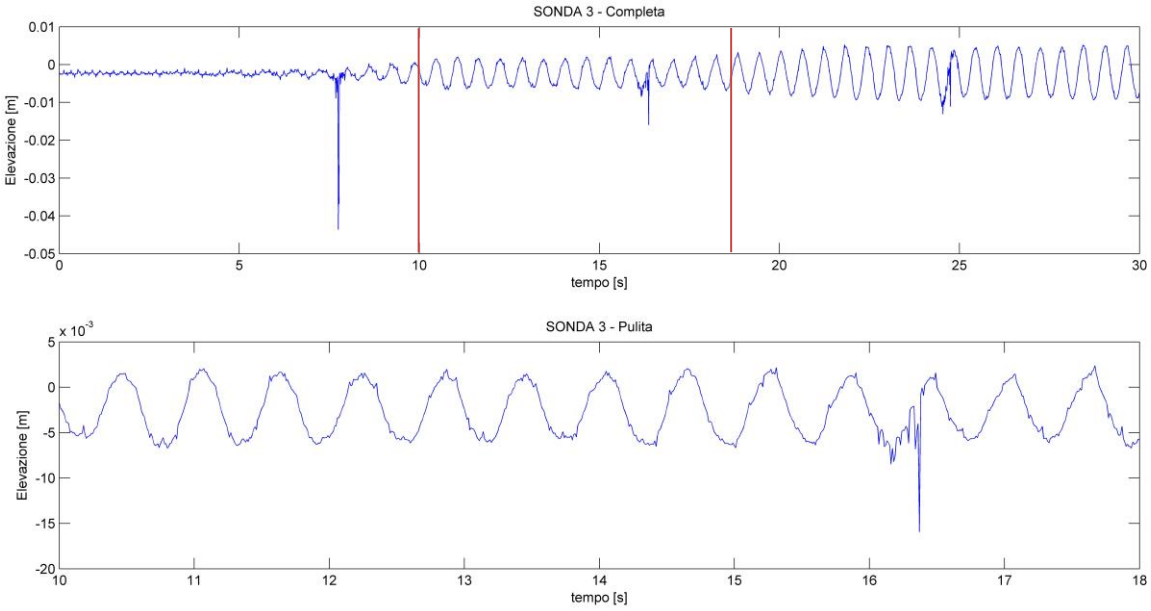


Figura 45: Scrematura sonda 3

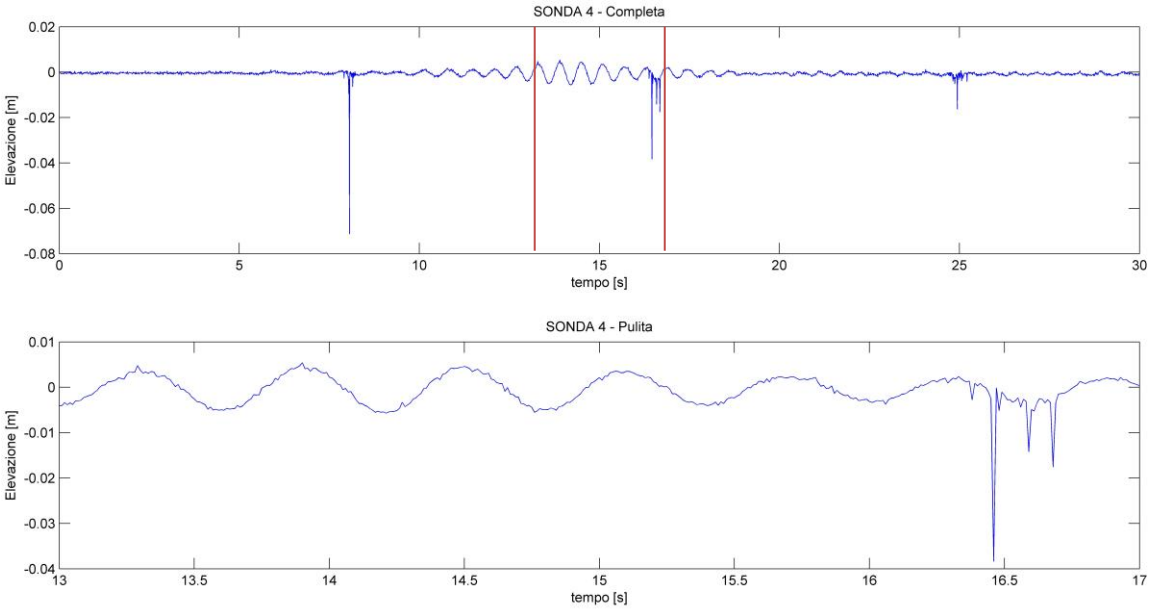


Figura 46: Scrematura sonda 4

Per quanto riguarda le sonde due e quattro, quando torna l'onda riflessa, si ha uno smorzamento dell'onda generata, di conseguenza, il filtraggio è stato realizzato non considerando tale smorzamento.

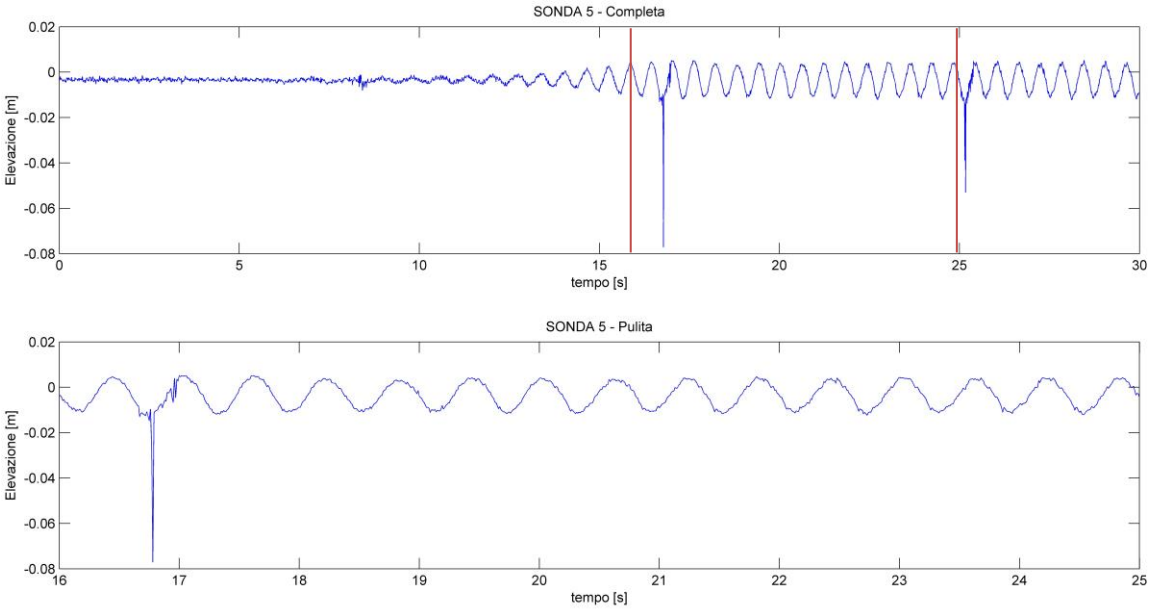


Figura 47: Scrematura sonda 5

Dopo aver effettuato un'analisi ed un filtraggio del segnale acquisito, utilizzando la funzione Matlab zero_up_crossing, è stata calcolata la media dell'elevazione registrata per ogni sonda. Di seguito, viene riportato un esempio di script.

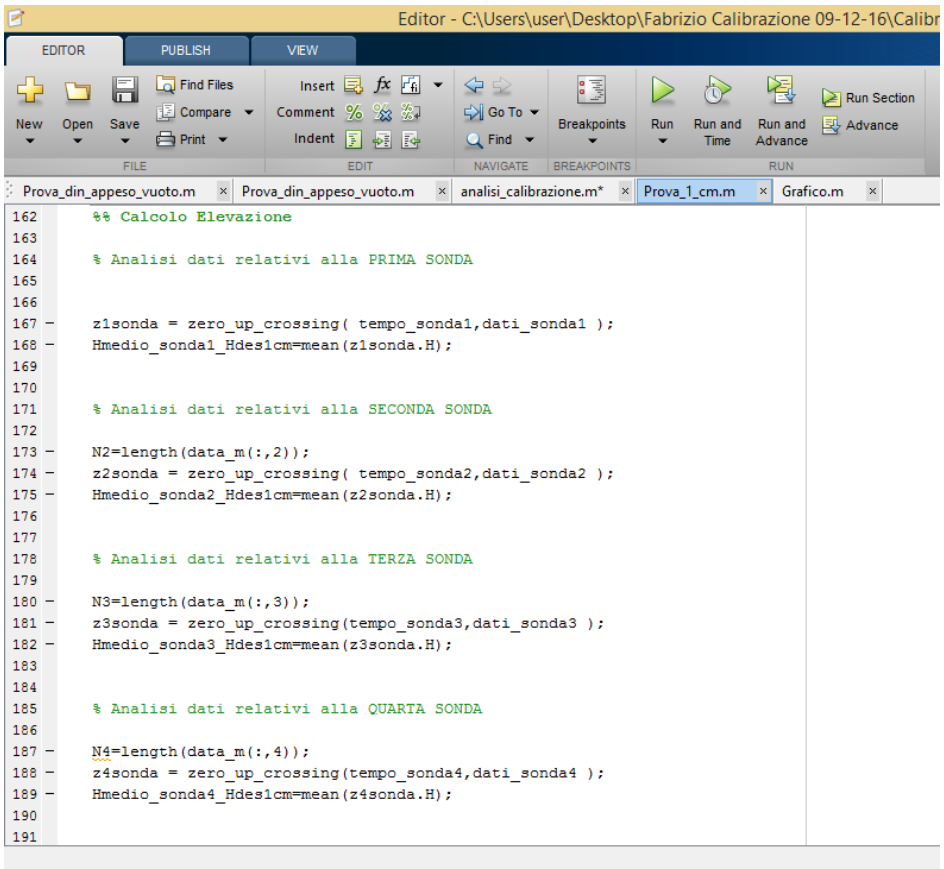


Figura 48: Esempio funzione Zero_up_crossing

L’esperimento è stato ripetuto per le altre altezze d’onda ovvero:
H=0.02m-H=0.03m-H=0.04m in modo tale da ottenere il seguente grafico, dal quale è stato escluso il risultato della sonda 5 poiché, in questo punto, l’altezza dell’onda si sovrappone e quindi, altererebbe il coefficiente di calibrazione del generatore.

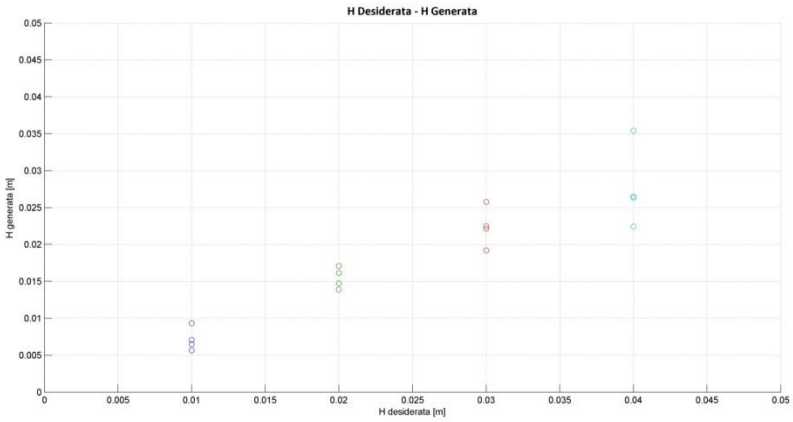


Figura 49: H desiderata - H generata

A questo punto si è tracciata la retta interpolante estrapolando così il suo coeff. angolare:
m = 0,6852 , che confrontato con il coeff. della retta bisettrice del primo e terzo quadrante y = x ci restituisce il coeff. di calibrazione 0,30, ovvero, l’altezza generata è più piccola del 30% circa.

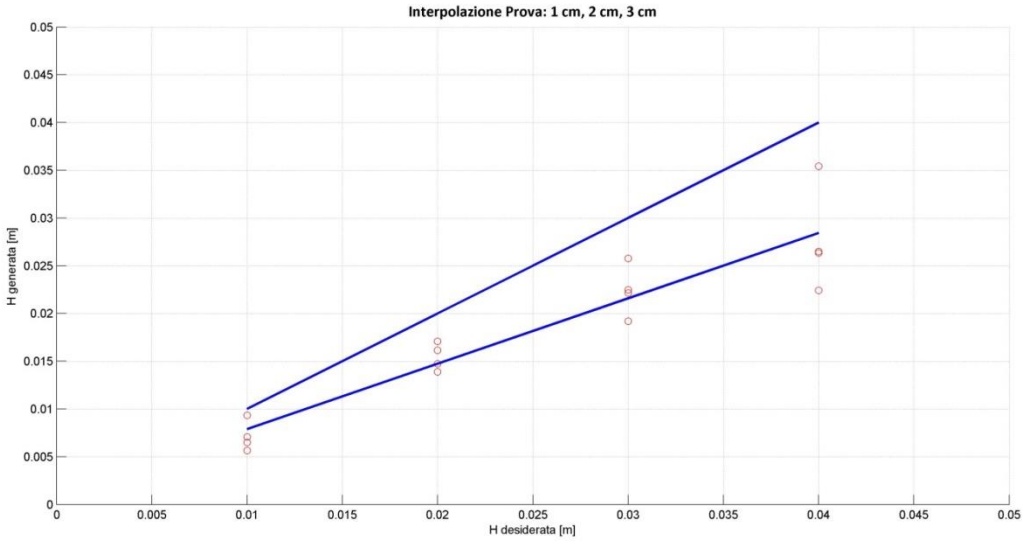


Figura 50: Coefficiente di conversione

Per tale motivo, nel momento in cui verranno realizzati degli esperimenti in laboratorio, quando si lancerà lo script di generazione del moto ondoso bisognerà tener conto di questa differenza per non ottenere poi dei risultati sfalzati.

3.7 DISPOSIZIONE E CALIBRAZIONE DINAMOMETRO

Il trasduttore di forza è il modello S9M/500N prodotto dalla ditta HBM con sede Milano. Il seriale del trasduttore è 31279261.

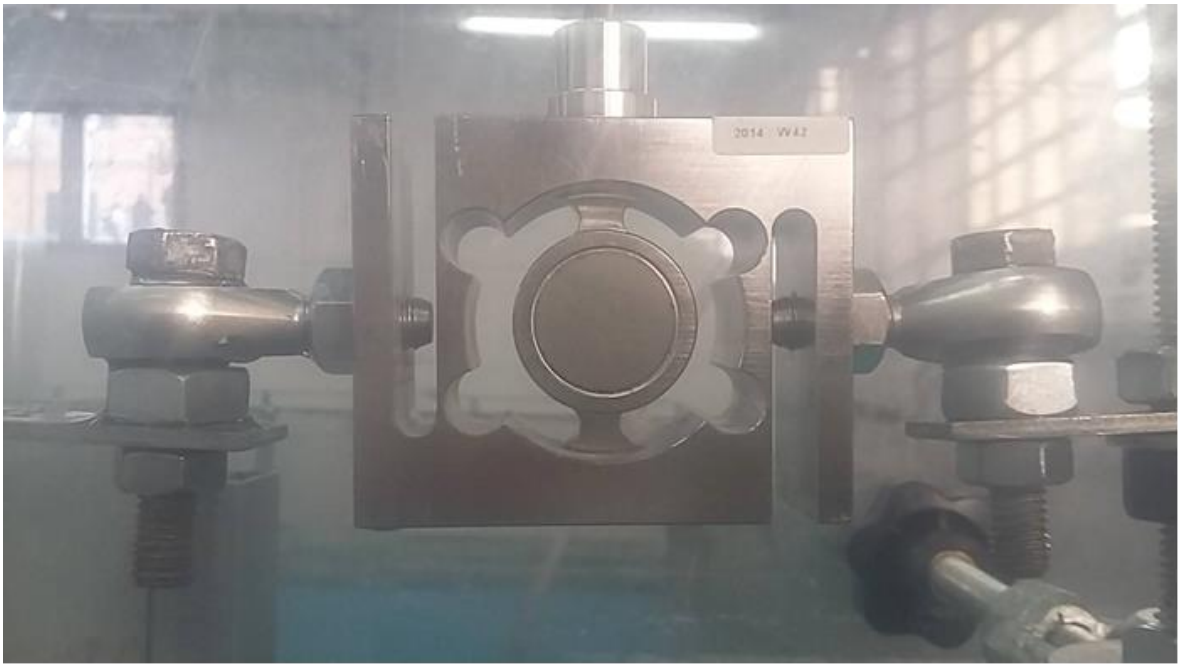


Figura 51:Trasduttore di forza usato per gli esperimenti

Il dinamometro rileva un voltaggio, convertendolo poi in forza; la forza che ci permette di leggere il trasduttore varia da 0 a 500 N.
La curva di conversione è fornita dalla ditta stessa, ed è allegata nella documentazione del trasduttore.
Il trasduttore può lavorare sia in trazione che in compressione.

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
Im Tiefen See 45
D-64293 Darmstadt

HBM

Zertifiziert nach ISO 9001 und ISO 14001
ISO 9001 and ISO 14001 certified / Certification selon ISO9001 et ISO 14001

Prüfprotokoll/Test certificate/Protocole d'essai

Typ: Type / Type — S9M/500N
Auftrag: 200035125 — Order no. / Commission
Justiermessbereich: Adjusted range / Étendue d'essai — 500 N
Prüfer Examiner / Vérifieur
Seriennummer: Serial number / No-. de série — 31279261
Datum 16.10.2014 — Test date / Date d'essai

Prüfergebnisse:
Test results / Résultats d'essai

Eingangsgröße [N] Input quantity / Grandeur d'entrée	**Ausgangsgröße [mV/V]** Output quantity / Grandeur de sortie
0	0.00604
500	2.00463
Ausgangswiderstand[Ω]: Output resistance/Résistance de sortie:	350.12

Aus den Prüfergebnissen berechnete messtechnische Kenngrößen:
Metrological characteristic quantities calculated from the test results
Grandeurs caractéristiques de mesure calculées à partir des résultats d'essai

Kennwert C [mV/V] Sensitivity / Sensibilité — 1.99859

Figura 52: Calibrazione fornita dalla fabbrica

In questo caso il circuito realizzato per il collegamento del dinamometro agli strumenti di registrazione è stato alimentato inizialmente con una batteria da 9 volt, di conseguenza, i valori di partenza offerti dalla casa saranno convertiti utilizzando tale valore di voltaggio.

Tabella di conversione			
Forza (N)	**Valori iniziali [mv/V]**	**Valore alimentazione [V]**	**Valori finali [mv]**
0	0,00604	9	0,05436
500	2,00463		18,04167

Tabella 1 - Conversione voltaggio-forza nel trasduttore

Una volta effettuata tale conversione è stata realizzato un grafico, rappresentato da una retta che in corrispondenza di 0 N ha un'ordinata di 0,05436 mV, mentre, a 500N un'ordinata di 18,041 mV. Tale retta presenta la seguente equazione :

$$y = mx + q = 0{,}0361x + 18{,}041$$

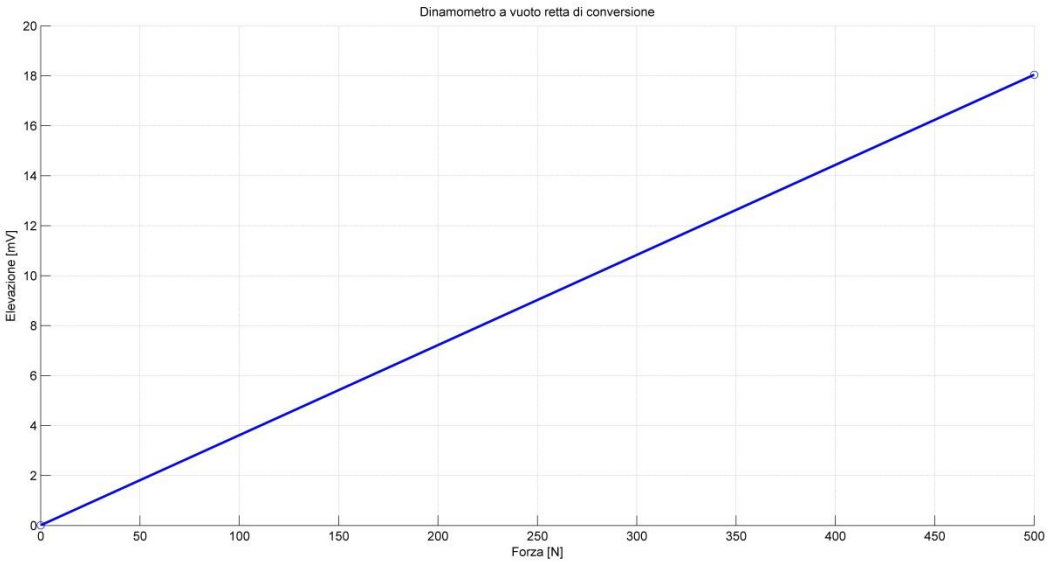


Figura 53: retta di conversione

3.7.1 CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL TRASDUTTORE DI FORZA

Dopo aver convertito i valori di fabbrica, è stato effettuato un test di calibrazione del dinamometro per valutarne il funzionamento. L'apparecchio è stato disposto verticalmente inizialmente in posizione di riposo (scarico), per verificare che il valore registrato a vuoto coincidesse con il valore zero di listino.

In seguito, sono stati utilizzati pesi dell'ordine dei 0,5-4,5-6 Kg, verificando così, che la curva di misura fornita dalla casa di produzione fosse idonea.

Di seguito viene riportata la registrazione completa a vuoto in posizione verticale.

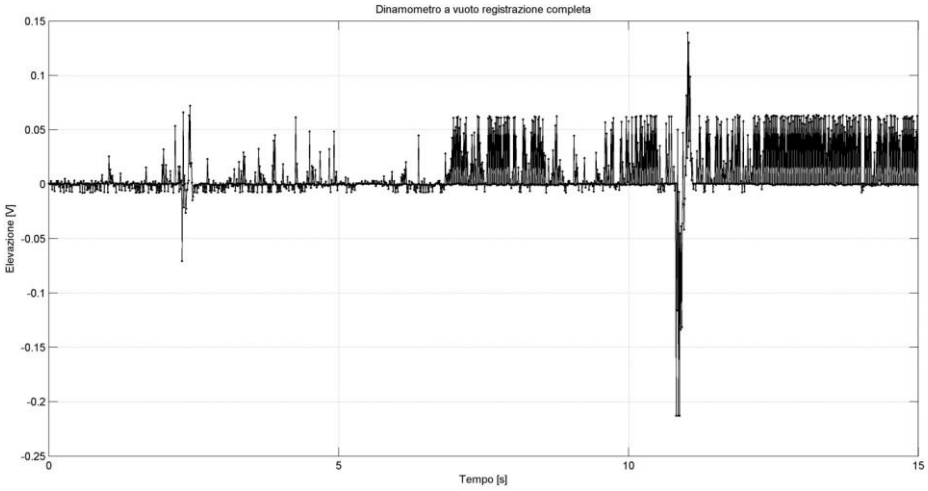


Figura 54: Registrazione completa

Come è evidente dalla registrazione, sono presenti degli spike e del rumore prodotto dalle strumentazioni presenti in laboratorio, per tale motivo è stata effettuata una pulizia del segnale individuando una fascia di valore medio e scartando così i valori anomali. Di seguito, si riporta la registrazione pulita misurata in Volt.

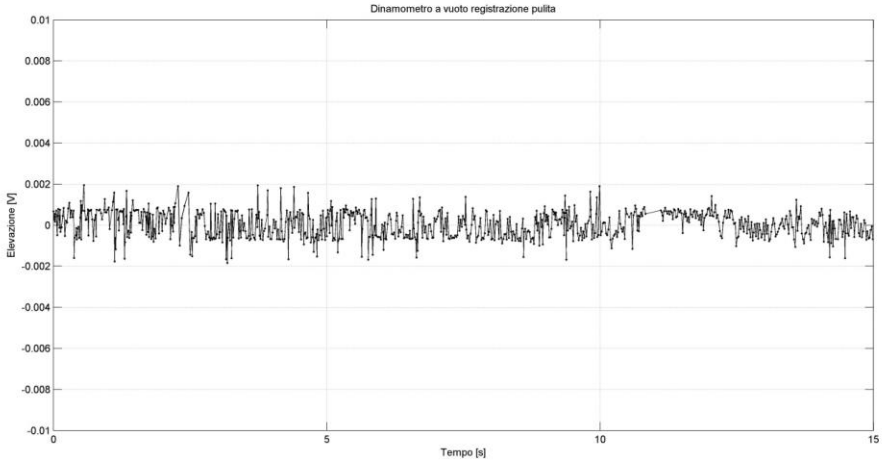


Figura 55: Registrazione completa

Se si effettua una media dei valori scremati, si ottiene un valore di registrazione che oscilla intorno ai $4 * 10^{-5}$V. Se si prende tale valor medio e si moltiplica per 1000 si ottiene il

valore in mV, ovvero, 0,04 mV ; tale valore, diviso per i Volt di alimentazione, ci restituisce $\sim 0{,}00433\ \frac{mV}{V}$ che corrisponde all'incirca al valore fornito dalla casa di produzione ovvero $\sim 0{,}00604\ \frac{mV}{V}$ di conseguenza si può affermare che verticalmente il dinamometro è collegato correttamente e che il valore non torna essattamente uguale per gli errori di registrazione.
Oltre alla prima prova a vuoto, per sicurezza, sono state realizzate alcune prove di carico con i valori riportati precedentemente. Come esempio si analizza la prova di carico realizzata utilizzando un peso a trazione di 6 kg.
Anche in questo caso, si riporta la registrazione completa con gli errori strumentali, per 15 s di registrazione.

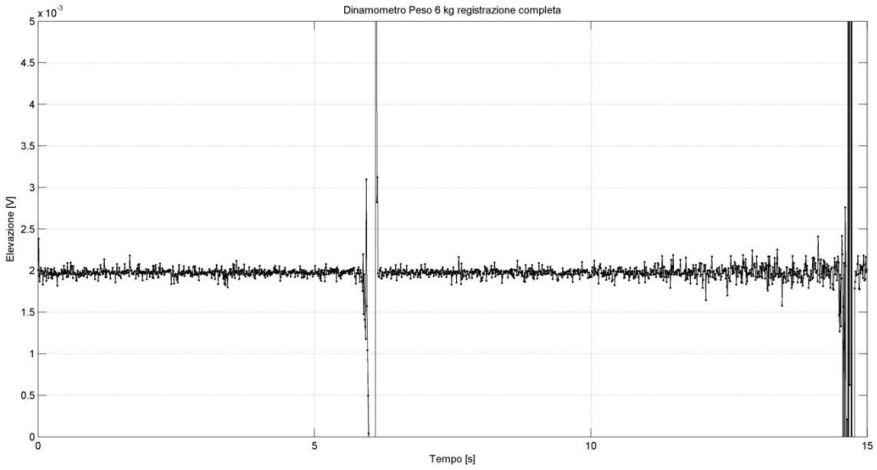


Figura 56: Registrazione completa

Si rieffettua anche qui una scrematura dei valori registrati eliminando soprattutto gli spike che si ripetono ogni sette secondi.

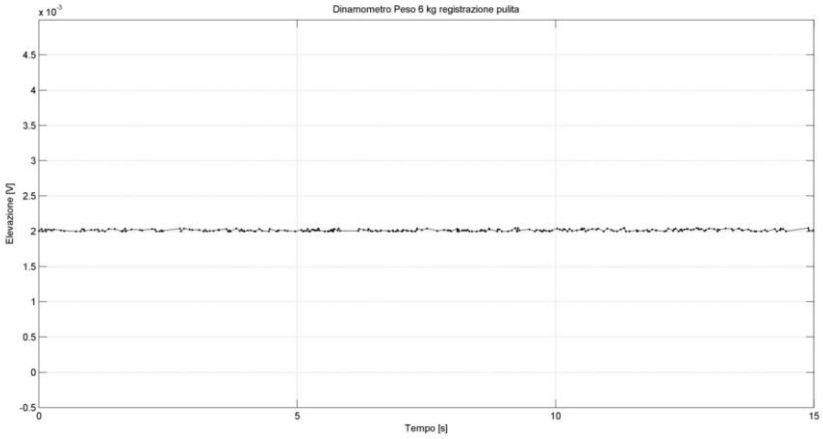


Figura 57: Registrazione Pulita

Il procedimento è analogo a quello descritto nella prova a vuoto, ovvero, una volta eliminati i dati anomali, si utilizza la funzione mean di Matlab per calcolare il valore medio registrato durante la prova, in questo caso $\sim 0{,}002\ V$ come è anche evidente dal grafico.

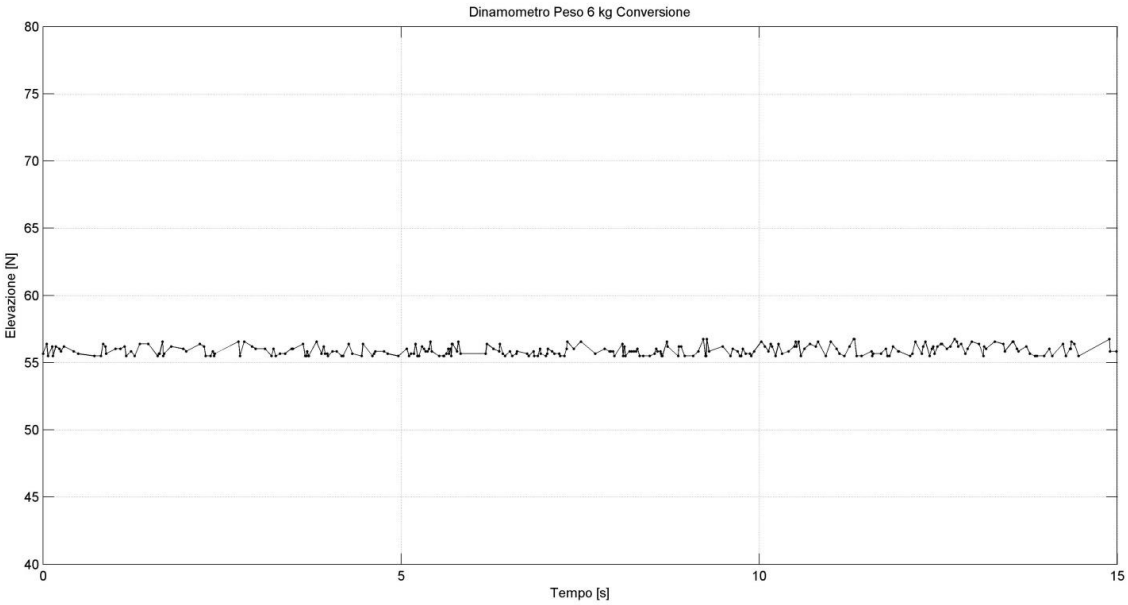


Figura 58: Conversione in N

Tale valore verrà utilizzato per effettuare la conversione in N infatti, dividendolo per il coefficiente angolare pari a $\sim 0{,}0361$, si ottnegono $\sim 57\ N$ che diviso l'accelerazione di gravità (g) corrispondono circa ai 6 kg utilizzati per la prova.
Questo test, insieme agli altri sopra citati, ha confermato, a meno di qualche imprecisione, il corretto funzionamento del trasduttore in posizione verticale.
Una volta effettuata la prima calibrazione e le varie prove nella posizione standard, ne è stata effettuata un'altra con il trasduttore di forza disposto orizzontalmente, tale calibrazione sarà però oggetto della tesi svolta durante questo tirocinio.