



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea

Ancoraggio Flottante:  
Analisi del Comportamento delle Piastre di Ancoraggio di  
Diversa Geometria Mediante Prove su Modello Fisico

---

FLOATING ANCHOR:  
PHYSICAL MODEL TEST FOR EVALUATIONS THE BEHAVIOR OF PLATES  
WITH DIFFERENT SHAPES

Relatore

Prof. Ing. Simonetta Cola

Correlatore

Ing. Alberto Bisson

Laureando: Tinello Alberto

Matricola: 1040319

Anno Accademico 2013-2014



## Sommario

1. Introduzione .....	7
2. Tiranti di Ancoraggio.....	9
3. Ancoraggio Autoperforante.....	13
3.1. Ancoraggio Composito .....	14
3.2. Caratteristiche Meccaniche della Barra Composita .....	15
4. Ancoraggio Flottante .....	17
4.1. Cintura Flottante .....	19
4.2. Modello di Calcolo per Versanti Lenti .....	20
4.3. Ancoraggio Flottante SIRIVE® .....	22
4.4. Vantaggi Geotecnici e Tecnologici del Sistema Composto.....	23
5. Modello Fisico .....	25
5.1. Piastra Frontale .....	26
5.2. Pianale Inferiore .....	27
5.3. Metodo di Stesa.....	29
5.4. Chiodi e Teste .....	30
5.5. Celle di Carico .....	31
5.5.1. Cella di Carico a Compressione .....	32
5.5.2. Cella di Carico a Flessione .....	34
5.5.3. Cella di Carico a Trazione da 100kg .....	36
5.5.4. Cella di Carico a Trazione da 500kg .....	38
5.6. Fotocamera Digitale .....	40
5.7. Estrattore .....	40
5.8. Acquisitore Dati Celle di Carico .....	41
5.9. Software Utilizzati .....	42
5.9.1. DSLRemote PRO.....	42
5.9.2. LabView.....	42
5.9.3. GeoPIV.....	43
5.10. SET UP dell'Esperimento e Metodologia di Prova .....	50
5.10.1 Posizionamento delle Celle di Carico .....	50
5.10.2 Posizionamento del Chiodo .....	51
5.10.3 Disposizione Lampade.....	52
5.10.4 Posizionamento e Regolazione Fotocamera.....	53
5.10.5 Preparazione Timer per l'Estrazione del Chiodo.....	54
6. Modalità di Prova .....	55
7. Prove.....	57

7.1.	Prove in Posizione Laterale .....	58
7.1.1.	Cono Allungato.....	58
7.1.1.1.	Cono Allungato Posizione P1.....	59
7.1.1.2.	Cono Allungato Posizione P2.....	62
7.1.1.3.	Cono Allungato Posizione P3.....	64
7.1.1.4.	Cono Allungato Posizione P3bis.....	65
7.1.1.5.	Confronti tra le Diverse Posizioni per il Cono Allungato.....	68
7.1.1.6.	Osservazioni.....	69
7.1.2.	Piastra Piatta .....	71
7.1.2.1.	Piastra piatta Posizione P1 .....	72
7.1.2.2.	Piastra Piatta Posizione P2.....	74
7.1.2.3.	Piastra Piatta Posizione P3.....	77
7.1.2.4.	Confronti tra le Diverse Posizioni per la Piastra Piatta.....	80
7.1.2.5.	Osservazioni.....	81
7.1.3.	Cono.....	83
7.1.3.1.	Cono Posizione P1 .....	84
7.1.3.2.	Cono Posizione P2.....	87
7.1.3.3.	Cono Posizione P3.....	89
7.1.3.4.	Confronti tra le Diverse Posizioni per il Cono .....	92
7.1.3.5.	Osservazioni.....	93
7.1.4.	Tronco Cono .....	95
7.1.4.1.	Tronco Cono Posizione P1 .....	96
7.1.4.2.	Tronco Cono Posizione P2 .....	98
7.1.4.3.	Tronco Cono Posizione P3 .....	101
7.1.4.4.	Confronti tra le Diverse Posizioni per il Tronco cono .....	103
7.1.4.5.	Osservazioni.....	104
7.1.5.	Piastra Piatta Spessa.....	106
7.1.5.1.	Piastra Piatta Spessa Posizione P1.....	107
7.1.5.2.	Piastra Piatta Spessa Posizione P2.....	109
7.1.5.3.	Piastra Piatta Spessa Posizione P3.....	111
7.1.5.4.	Confronti tra le Diverse Posizioni per la Piastra Piatta Spessa.....	113
7.1.5.5.	Osservazioni.....	114
7.1.6.	Confronti tra le Varie Forme delle Piastre per Posizione.....	116
7.1.6.1.	Posizione P1.....	116
7.1.6.2.	Posizione P2.....	118
7.1.6.3.	Posizione P3.....	120

7.1.6.4.	Considerazioni.....	122
7.2.	Prove in Posizione Centrale.....	124
7.2.1.	Cono Allungato.....	124
7.2.2.	Cono.....	126
7.2.3.	Piastra Piatta.....	128
7.2.4.	Tronco Cono.....	130
7.2.5.	Confronti tra le Varie Forme delle Piastre.....	132
7.2.6.	Considerazioni.....	133
7.3.	Confronti Capacità Portante in Posizione Centrale e Laterale.....	134
7.3.1.	Cono Allungato.....	134
7.3.2.	Cono.....	134
7.3.3.	Piastra Piatta.....	135
7.3.4.	Tronco Cono.....	135
7.3.5.	Considerazioni.....	136
7.4.	Confronti Sforzo di Compressione in Posizione Centrale e Laterale.....	138
7.4.1.	Cono Allungato.....	138
7.4.2.	Cono.....	138
7.4.3.	Piastra Piatta.....	139
7.4.4.	Tronco Cono.....	139
7.4.5.	Considerazioni.....	140
7.5.	Confronti Sforzo di Taglio in Posizione Centrale e Laterale.....	141
7.5.1.	Cono Allungato.....	141
7.5.2.	Cono.....	141
7.5.3.	Piastra Piatta.....	142
7.5.4.	Tronco Cono.....	142
7.5.5.	Considerazioni.....	143
7.6.	Osservazioni.....	144
8.	Conclusioni.....	145
9.	Bibliografia.....	146



## 1. Introduzione

Dal momento che l'Italia è un paese, per conformazione e posizione geografica, soggetto a numerosi disastri naturali, tra i quali certamente i movimenti franosi sono tra i più rilevanti, è di fondamentale importanza operarsi nella ricerca di soluzioni a basso costo per la mitigazione del rischio in questo campo e la stabilizzazione dei pendii instabili.

In un progetto di stabilizzazione di un pendio in terra, l'azione e l'efficienza degli interventi geotecnici adottati si possono riferire al concetto di fattore di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza a taglio disponibile del materiale e la resistenza al taglio mobilitata. In tal senso le tipologie di intervento possono suddividersi in due gruppi in relazione al meccanismo con il quale aumentano il fattore di sicurezza:

1. Interventi che aumentano la resistenza al taglio del materiale (aumento delle forze o dei momenti stabilizzanti);
2. Interventi che riducono la resistenza al taglio mobilitata (diminuzione delle forze o dei momenti destabilizzanti).

Tra gli interventi per aumentare la resistenza al taglio si annoverano i trattamenti di consolidamento, i drenaggi superficiali e profondi, mentre interventi per la riduzione della resistenza al taglio mobilitata sono ad esempio la riprofilatura del versante (rinterro al piede), le opere di sostegno che possono essere rigide (muri di sostegno), flessibili (paratie e diaframmi in c.a., pali singoli di grande diametro) o speciali (terre rinforzate, muro a gabbioni, ecc.) oppure ancoraggi, chiodature e micropali (tiranti di ancoraggio, Soil Nailing, reticoli di micropali).

La ditta Dalla Gassa s.r.l. ha brevettato una particolare tecnica di stabilizzazione di movimenti franosi lenti, denominata "Ancoraggio Flottante SIRIVE®", evoluzione del classico Soil Nailing. La tecnica prevede l'inserimento, all'interno del pendio da stabilizzare, di barre autoperforanti in acciaio. Le barre vengono quindi cementate e solidarizzate al terreno circostante mediante il pompaggio di boiaccia cementizia. Non è previsto un rivestimento continuo di facciata, ma la sola applicazione di un plinto in calcestruzzo.

La forma del plinto posto in corrispondenza della testata è determinante per l'attivazione del sistema flottante. Il lavoro svolto ha lo scopo di determinare il comportamento del sistema variando la forma del plinto, e fornire delle valutazioni sulla forma e sull'estensione del cono di influenza che si viene a creare a tergo del plinto stesso al momento dell'attivazione del sistema. Il lavoro si conclude con una stima della capacità portante di picco e residua che si può ottenere, oltre che una valutazione del cuneo di spinta prodotto per le diverse configurazioni del chiodo.



## 2. Tiranti di Ancoraggio

Per la stabilizzazione di pendii tra le tecniche più comunemente utilizzate si annoverano gli ancoraggi, le chiodature e i micropali.

Gli ancoraggi correntemente impiegati sono raggruppati in 3 categorie:

- a) Chiodi di ancoraggio;
- b) Bulloni di ancoraggio;
- c) Tiranti di ancoraggio.

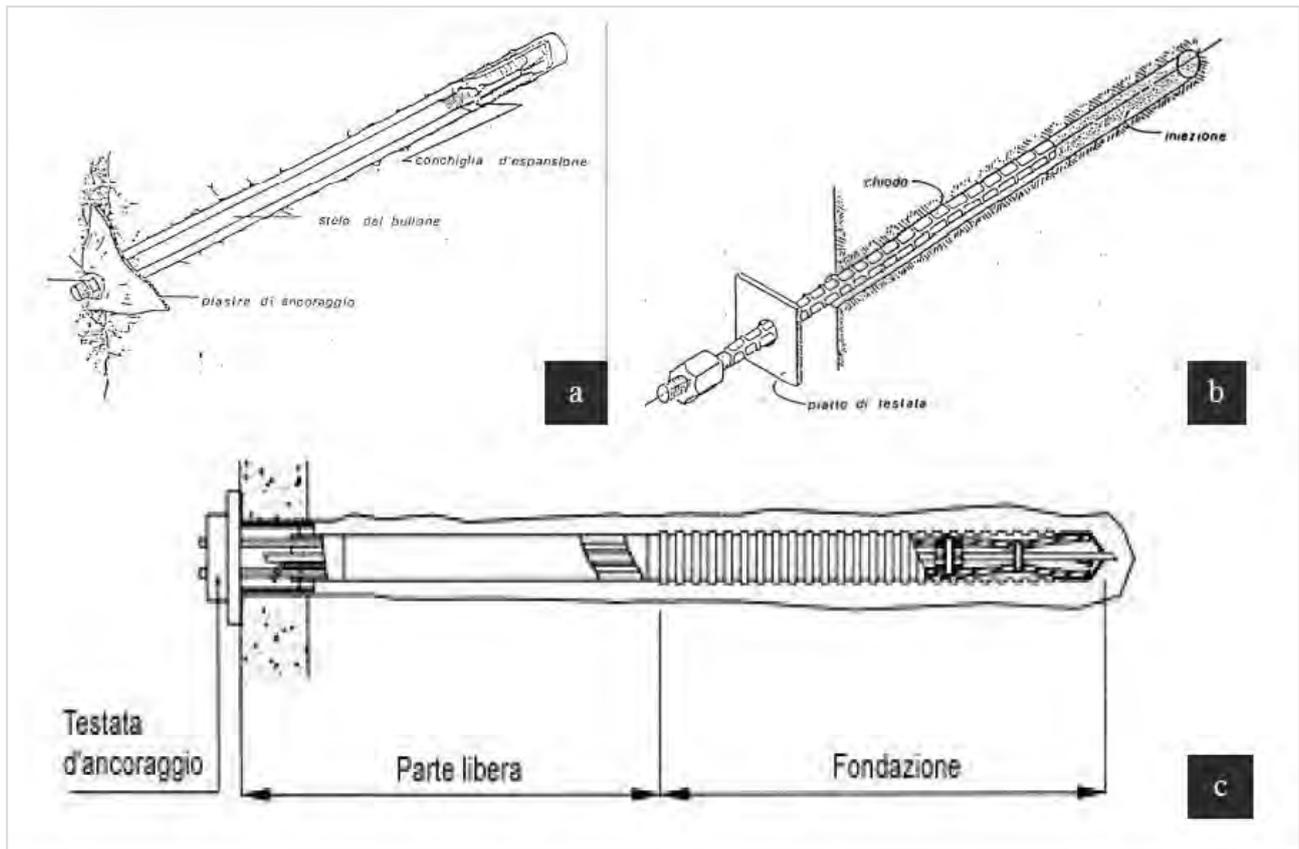


Figura 2.2.1 Tipologie d'ancoraggio. a) chiodo ; b) bullone; c) tirante

L'ancoraggio al terreno avviene attraverso l'impiego di malte cementizie con additivi antiritiro, ovvero con resine, o con dispositivi meccanici che modificano la loro geometria mediante una operazione di avvvitamento.

I tiranti d'ancoraggio vengono suddivisi in due categorie, in funzione dei loro propositi finali:

- *Ancoraggi temporanei:* hanno solo il ruolo provvisorio e diventano superflui oltre una certa fase di realizzazione dell'opera;
- *Ancoraggi permanenti:* assicurano la stabilità per tutta la vita della struttura.

In base alla tensione iniziale possono essere classificati in:

- *Presollecitati:* tiranti nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura superiore a quella teorica di utilizzazione;

- *Parzialmente presollecitati*: nell'armatura viene indotta una forza di tesatura minore o uguale a quella teorica di utilizzazione;
- *Non presollecitati*: tiranti per i quali esiste, anche dopo la fase iniziale, la possibilità di modificare, sia in aumento che in diminuzione, la forza da tesatura.

I tiranti vengono inoltre suddivisi in base al dispositivo di bloccaggio: se questo è unico per tutti gli elementi costituenti l'armatura, oppure se è multiplo, cioè uno per ciascun elemento costituente l'armatura.

Altra importante classificazione avviene in base alla lavorazione dell'acciaio armonico impiegato per l'armatura:

- *A barre*;
- *A fili*;
- *A trefoli*;

in base alla guaina che avvolge la parte libera:

- *Semplice*: una sola guaina per tutti gli elementi costituenti l'armatura;
- *Multipla*: una guaina per ciascun elemento dell'armatura;
- *Composta*: una guaina per ciascun elemento, più una guaina per l'insieme degli elementi costituenti l'armatura;

e in base alla guaina che avvolge la fondazione:

- *Senza guaina*;
- *Con guaina* (detta anche "fondazione protetta").

Un' ulteriore suddivisione viene eseguita in base alla realizzazione del dispositivo di ancoraggio:

- *Ancoraggio per cementazione*: può essere ulteriormente distinto in relazione alla forma del foro di alloggiamento, al tipo di legame, alla modalità di iniezione dei leganti, ecc.
- *Ancoraggio ad espansione meccanica*: utilizzabile solo per tiranti provvisori.

Tra le tipologie elencate gli ancoraggi più comuni sono quelli che comprendono una pretensione dell'elemento in tensione tramite malta cementizia.

I tiranti contribuiscono alla stabilità delle strutture. Molte costruzioni, specialmente di grandi città, sono progettate con molti piani seminterrati, necessitano così di scavi a grande profondità, che spesso sono portati avanti tramite due principali tecniche: diaframmi, usando del fango bentonitico e il metodo delle berlinesi. Che consistono nella posa in opera di elementi di irrigidimento. La stabilità.

Dello scavo richiede la posa di ancoraggi a diversi livelli, specialmente in fase temporanea e nel caso in devono resistere al sollevamento dovuto alla pressione idrostatica, perciò vengono fissate attraverso dei tiranti permanenti assicurano così l'equilibrio.

Generalmente tutti questi tiranti sono presollecitati al fine di ridurre successive deformazioni.

Il tirante è composto da tre principali parti funzionali:

- *Testata*: insieme dei dispositivi atti a conferire alla struttura ancorata la forza di trazione impressa al tirante;
- *Fondazione*: insieme degli elementi atti a trasmettere al substrato di ancoraggio (terreno o roccia) le forze di trazione del tirante;
- *Parte libera*: insieme degli elementi di collegamento, atti a trasmettere la forza di trazione dalla testata alla fondazione.

Gli elementi costitutivi fondamentali del tirante sono:

- Il dispositivo di bloccaggio e piastra di ripartizione della testata;
- Dispositivo di ancoraggio della fondazione;
- Armatura e guaina.

Durante il periodo di esercizio il tirante raggiunge diverse fasi di carico raggiungendo dei valori limite.

Tra questi si evidenziano:

- Il valore  $T_e$  che rappresenta il massimo valore raggiungibile dal tirante durante le prove di carico effettuate sugli elementi di ancoraggio;
- Il valore  $T_a$ , che individua il carico d'esercizio accettabile, ossia la tensione che deve rimanere nel tirante per assicurare l'equilibrio finale della struttura contro la maggior parte delle azioni avverse che probabilmente ( e ragionevolmente) accadranno durante tutta la vita d'esercizio;
- Il valore  $T_L$ , che rappresenta il carico limite che il tirante può sopportare.

Dipende dalle dimensioni del bulbo di fondazione e corrisponde al più basso tra i seguenti due valori:

- Lo sfilamento dell'elemento in tensione del tirante;
- La rottura del legame tra terreno e bulbo di fondazione.

Il valore dato da  $T_L/T_a$  rappresenta il fattore di sicurezza del tirante.



### 3. Ancoraggio Autoperforante

Nel campo dell'ingegneria geotecnica gli ancoraggi con barra autoperforante si configurano come una buona alternativa ai tradizionali ancoraggi di tipo passivo, quali le barre cementate, infisse o getto-iniettate. Essi trovano ormai frequente impiego nel sostegno temporaneo o permanente di pareti di scavo con Soil Nailing o nella stabilizzazione di pendii.

Le autoperforanti sono barre cave in acciaio filettate per tutta la lunghezza mediante rullatura a freddo di tubi lisci. Sono generalmente poste in opera con l'utilizzo di una perforatrice a rotopercolazione utilizzando la barra stessa, munita in testa di punta a perdere (bit), come asta di perforazione e una boiaccia cementizia molto fluida (rapporto a/c pari a 1) come fluido di spurgo. Una volta raggiunta la profondità di progetto, per poter cementare e solidarizzare correttamente la barra al terreno circostante, la miscela cementizia viene addensata fino ad un rapporto a/c pari a 0.4.

Un intervento con barre autoperforanti presenta diversi vantaggi, quali una maggiore semplicità e velocità di esecuzione, un incremento del diametro del reso del bulbo cementato e un minor costo. Questo ha portato ad un aumento dell'utilizzo di questa tipologia di ancoraggi. Nell'ottica di sfruttare i vantaggi offerti dalle barre autoperforanti e, allo stesso tempo, ampliare il loro campo di applicazione, recentemente è stata proposta una nuova tipologia di barre, dette barre composite. Esse mirano a soddisfare una duplice esigenza: da una parte, migliorare il comportamento in stato limite di esercizio sviluppando elementi in grado di lavorare con carichi di rottura maggiori a parità di allungamento in dominio elastico; d'altra parte, realizzare un rinforzo che offra un miglior comportamento in condizioni di stato limite ultimo, in grado cioè di sviluppare minori deformazioni plastiche a parità di allungamento rispetto a una barra tradizionale.

### **3.1. Ancoraggio Composito**

Una barra autoperforante tradizionale è ricavata per rullatura da una barra liscia in acciaio dolce. L'acciaio di colata della barra vergine presenta solitamente una percentuale di carbonio pari a 0.18-0.20%, comunque mai superiore a 0.23%: nella lega sono presenti in percentuali ridotte anche altri elementi chimici, quali manganese (1.3-1.4%), silicio (0.3-0.4%), fosforo (0.01%), zolfo (0.002%) e alluminio (0.03-0.04%). Le barre lisce presentano elevata duttilità e allungamento medio a rottura molto grande (25-30%, in ogni caso non inferiore al 15%). La riserva di resistenza plastica è molto alta: infatti, il rapporto tra tensione di rottura e tensione di snervamento, quest'ultimo assunto come limite elastico convenzionale in quanto non vi è snervamento localizzato, è pari a circa 1.4-1.6. Durante il processo di rullatura a freddo l'acciaio incrudisce: si osserva un incremento sia della resistenza a rottura che della tensione di snervamento e della rigidità, a scapito però di una contrazione del campo plastico e una riduzione della duttilità.

La riserva di resistenza plastica si riduce a circa 1.2 e l'allungamento omogeneo a carico massimo  $A_{gt}$  si attesta tra 5% e 8%. Le barre composite nascono dall'idea di accoppiare le prestazioni offerte da una barra autoperforante tradizionale con quelle dei trefoli d'acciaio usualmente utilizzati per i tiranti e più economici. I trefoli sono realizzati in acciaio armonico, cioè un acciaio al silicio ad alto tenore di carbonio (0.8-0.9%) ricotto e successivamente temprato. Il processo di lavorazione produce un acciaio altamente resistente e deformabile in campo elastico, con una soglia di snervamento elevata, ma con un rapporto tra tensioni di rottura e di snervamento più basso rispetto all'acciaio dolce, generalmente compreso tra 1.05 e 1.25. Gli acciai armonici presentano inoltre basso rilassamento, garantendo quindi l'assenza di sostanziali perdite di tensione nel tempo. Nell'ancoraggio composito l'accoppiamento tra barra e trefoli è realizzato attraverso il semplice inserimento di uno o più trefoli nella cavità della barra tradizionale e la successiva cementazione mediante una speciale iniezione cementizia. L'installazione di una particolare testata di bloccaggio per i trefoli completa lo sviluppo, consentendo il raggiungimento di elevati carichi di rottura senza sfilamento della barra da dado e manicotto di giunzione.

### 3.2. Caratteristiche Meccaniche della Barra Composita

La risposta tenso-deformativa del sistema composito formato da barra, trefoli e malta cementizia si basa sulle seguenti ipotesi:

1. Congruenza del sistema accoppiato: assumendo una perfetta aderenza tra barra, trefoli ed eventuale miscela di cementazione interna, le deformazioni dei singoli elementi del sistema devono essere tra loro uguali;
2. Equilibrio del sistema accoppiato: la forza complessiva applicata al sistema composito è pari alla somma delle forze agenti nei singoli elementi del sistema;
3. Variazioni termiche trascurabili.

In prima analisi si considera una barra composita costituita dai soli elementi barra e trefoli senza cementazione interna, con l'obiettivo di studiare l'effetto dell'accoppiamento dei due acciai sul comportamento del sistema in campo elastico e plastico, nonché sull'allungamento della barra.

A partire dalle ipotesi di congruenza e di equilibrio, è possibile descrivere la rigidità equivalente teorica del sistema di base così ottenuto tramite lo sviluppo della legge di Hooke e dei teoremi di Kirchhoff per le resistenze in parallelo:

$$\frac{F_b(\sigma)}{E_b(\sigma) \cdot A_b} = \frac{F_t(\sigma)}{E_t(\sigma) \cdot A_t} = \frac{F(\sigma)}{(EA)_{eq}(\sigma)} \quad \text{dove: } A = A_b + A_t \quad (3.1)$$

$$F_b(\sigma) + F_t(\sigma) = F(\sigma) = (EA)_{eq}(\sigma) \cdot \frac{\Delta l(\sigma)}{l_0} \quad (3.2)$$

definendo come rigidità assiale equivalente  $(EA)_{eq}(\sigma)$  il rapporto tra forza complessiva e deformazione del sistema. Nelle precedenti espressioni si assume che i moduli elastici siano dipendenti dallo stato tensionale  $\sigma$ . Attraverso alcuni elementari passaggi matematici si perviene all'espressione:

$$(EA)_{eq}(\sigma) = [E_b(\sigma) \cdot A_b + E_t(\sigma) \cdot A_t] \quad (3.3)$$

Dalla quale è possibile ricavare il modulo elastico equivalente della barra composita:

$$E_{eq}(\sigma) = \frac{[E_b(\sigma) \cdot A_b + E_t(\sigma) \cdot A_t]}{A_b + A_t} \quad (3.4)$$

Si può notare che la rigidità assiale equivalente del sistema è pari alla somma delle rigidità assiali dei componenti singoli, mentre il modulo di elasticità equivalente è la media pesata dei singoli moduli.



## 4. Ancoraggio Flottante

In genere, gli interventi di rinforzo sono dimensionati al fine di sopportare una sollecitazione di progetto valutata necessaria per garantire la stabilità del versante sulla base di un'analisi di stabilità globale. Molte volte sono interventi rigidi sia strutturalmente che come disposizione sul versante. Numerose sono le criticità di queste opere:

- 1) hanno in genere elevata rigidità, caratteristica che non permette loro di adattarsi bene ad eventuali spostamenti del versante e, allo stesso tempo, induce sollecitazioni interne agli elementi strutturali molto grandi;
- 2) come conseguenza del punto 1) le strutture risultano molto pesanti e resistenti, con conseguenti elevati costi di realizzazione;
- 3) non possono essere costruite in fasi successive (moduli), perché la non completa stabilità del versante metterebbe a rischio la sopravvivenza di quanto eseguito nella prima fase;
- 4) se la forza sollecitante supera il valore di progetto si possono danneggiare, a volte irreversibilmente, perdendo il loro effetto stabilizzante;
- 5) la loro progettazione richiede una valutazione precisa delle forze agenti, ma spesso le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno non sono facilmente identificabili e controllabili.

La tecnica degli ancoraggi flottanti si configura come un avanzamento delle tecniche di ancoraggio passivo e un'alternativa ai tradizionali rinforzi. Essa prevede l'installazione di singole barre in acciaio secondo una geometria discontinua che si adatta alla morfologia del pendio. Pur potendo utilizzare barre inserite in preforo, l'uso di barre autoperforanti riduce i tempi di esecuzione e rende ancor più economica l'opera. Diversamente dai tiranti attivi tradizionali, suddivisi in bulbo di ancoraggio e parte libera e messi in trazione durante l'installazione, le barre sono cementate al terreno per tutta la loro lunghezza e lavorano in modo passivo, cioè non sono messe in trazione da subito. Esternamente non è previsto un rivestimento continuo del pendio, ma solo l'applicazione di una piastra (elemento flottante) collegata alla testa di ciascuna barra. Dato che il rinforzo è necessariamente prolungato in profondità fino al terreno stabile, esso resta fisso nello spazio e se il pendio si deforma e il terreno si sposta relativamente ad esso, la piastra può essere eventualmente inglobata dal terreno circostante.

E' noto che per attivare un ancoraggio di tipo passivo devono maturarsi degli spostamenti relativi all'interfaccia terreno-superficie esterna dell'ancoraggio (i.e. interfaccia tra terreno e boiaccia cementizia). A seguito di ciò possono verificarsi due condizioni: se il sistema di rinforzo è sufficiente a stabilizzare completamente il versante il movimento si arresta e la tensione nei rinforzi resta inferiore alla massima disponibile; viceversa, il versante continua a muoversi e nei rinforzi si raggiunge la completa attivazione della massima resistenza disponibile.

Il verificarsi della seconda condizione non è da considerarsi un difetto ma un meccanismo di autoregolazione del sistema: il terreno spostandosi relativamente alla barra permette di mobilitare le resistenze di attrito massime all'interfaccia terreno-boiaccia e di dissipare parte dell'energia che attiva il movimento; allo stesso tempo, l'ancoraggio trova una sua condizione di equilibrio interna al versante in movimento (come l'ancora di una nave che si allinea alle correnti) senza raggiungere una sua rottura strutturale e continuando quindi ad esplicare un'azione stabilizzante. Si può dire che l'ancoraggio così realizzato è flessibile in quanto può adattarsi alle deformazioni del sistema senza perdita prestazionale.

Il sistema è perciò composto da elementi di rinforzo puntuali, progettati e posti in opera per assorbire ciascuno una data quantità di tensioni tangenziali; la forza totale esplicabile da ciascun elemento è limitata superiormente dall'attrito totale potenzialmente attivabile all'interfaccia terreno-boiaccia, sommato alla forza di testa assorbita dalla piastra flottante ( $Q_p$ ):

$$Q_a = Q_p + \int_0^L \pi D \tau_u dx \quad (4.1)$$

dove  $D$  è il diametro della barra con la boiaccia di cementazione,  $L$  la lunghezza dell'ancoraggio e  $\tau_u$  la resistenza a taglio esplicata all'interfaccia boiaccia-terreno. L'energia del movimento franoso viene così ridotta della quota parte pari al lavoro dissipato da ciascun ancoraggio moltiplicato per il numero totale degli ancoraggi stessi, aumentando la stabilità globale.

Altri fattori che rendono favorevole la tecnica sono:

- la facilità e la rapidità di installazione grazie all'utilizzo della tecnologia autoperforante;
- il basso impatto ambientale: la tecnica non prevede un rivestimento continuo di facciata, ma solamente la presenza discontinua delle piastre flottanti poste alla testa di ciascun ancoraggio; essendo le piastre di ripartizione rade (la superficie mediamente coperta con le piastre è di  $1,5 \text{ m}^2$  ogni  $25\text{-}30 \text{ m}^2$ , con un rapporto di ricoprimento pari a circa 5-6%), la parete può essere piantumata e rinverdita;
- la buona protezione delle barre dalla corrosione: la zincatura a caldo e la boiaccia cementizia che avvolge le barre proteggono l'acciaio dai fenomeni corrosivi e forniscono maggiore durabilità all'opera secondo quanto previsto dalle UNI EN 14490; si può prevedere una protezione aggiuntiva per ambienti particolarmente aggressivi (protezione con resine, tiranti dielettrici, ecc.).

E' inoltre in fase di sviluppo una barra autoperforante composita, con la quale è possibile raggiungere elevati carichi di rottura mantenendo tutti gli aspetti positivi della tecnologia autoperforante (Bisson et al., 2013). Il sistema composito permette inoltre di raggiungere lunghezze d'ancoraggio elevate migliorando la giunzione tra le barre rispetto al solo manicotto.

## 4.1. Cintura Flottante

Le cinture flottanti sfruttano l'interazione che si genera tra più ancoraggi flottanti ravvicinati. Quando, infatti, gli ancoraggi sono disposti ad un interasse contenuto, non possono più essere considerati come elementi discreti e non interagenti tra loro. Ciascun ancoraggio flottante, per mezzo della piastra esterna, crea un volume di terreno trattenuto dietro la piastra e solidale alla barra. Se gli ancoraggi sono ravvicinati, le zone di terreno che spingono su due elementi contigui interagiscono tra loro dando origine a un sorta di "effetto arco".

Una cintura flottante è costituita da 2 o più linee orizzontali di ancoraggi flottanti, ciascuno con fondazione nella zona stabile del pendio, disposti a quinconce. Nel corpo frana, si viene quindi a creare una "cintura" di terreno ancorato che, come una cerchiatura, stabilizza il pendio. La funzione è equivalente a quella di un'opera di sostegno, ma a differenza di un muro, una cintura flottante può ammettere deformazioni e cedimenti differenziali senza per questo raggiungere il collasso dell'opera; questo perché i singoli elementi sono scollegati pur interagendo tra loro.

Data la natura flessibile dell'intervento e potendo ammettere deformazioni differenziali, le sollecitazioni a base del dimensionamento dell'opera sono molto inferiori rispetto a quelle necessarie con un'opera rigida. Di conseguenza i costi dell'opera risulteranno notevolmente ridotti, a parità di grado di sicurezza globale raggiunto. Se confrontate poi con le berlinesi di micropali o con i muri gettati in opera e fondati su micropali, le cinture flottanti hanno un campo di applicazione più vasto, in quanto la lunghezza delle barre può arrivare fino a 50 m, come per i tiranti a trefoli, e di conseguenza sono utilizzabili anche per interventi in frane mediamente profonde.

Per quanto riguarda il calcolo della forza assorbita da ciascun ancoraggio, si può utilizzare la relazione precedente trascurando, in favore di sicurezza, il contributo migliorativo dovuto all'effetto arco. La determinazione teorica e sperimentale di questo contributo è attualmente oggetto di studio.

## 4.2. Modello di Calcolo per Versanti Lenti

Come dimostrato gli ancoraggi flottanti sono un intervento estremamente vantaggioso nella stabilizzazione o rinforzo di versanti potenzialmente instabili o già franati. Ma ciò che li rende ulteriormente vantaggiosi è la possibilità di adottarli nella stabilizzazione di frane lente o medio lente di dimensioni significative, situazioni nelle quali, spesso, non è possibile disporre di finanziamento sufficiente a realizzare opere per un completo arresto del movimento. La modularità degli ancoraggi flottanti e la loro capacità di adattamento alle deformazioni del versante permettono di utilizzarli anche solo per rallentare il movimento in attesa di altri interventi futuri. In queste applicazioni, il loro dimensionamento può essere basato sul modello proposto da Gudehus G. e Schwarz W. (1985) per interventi di stabilizzazione di pendii instabili con pali verticali in terreni con comportamento viscoso non lineare. Mettendo in relazione la velocità di spostamento lungo la superficie di taglio con lo sforzo mobilitato sulla stessa, gli autori propongono la seguente relazione:

$$\frac{T_1}{T_0} = 1 + I_v \cdot \ln \frac{v_0}{v_1} \quad (4.2)$$

dove  $T_0$  e  $T_1$  sono rispettivamente la forza di taglio esplicita sulla superficie di scorrimento prima e dopo l'intervento,  $v_0$  e  $v_1$  le corrispondenti velocità di scorrimento, mentre  $I_v$  è un indice di viscosità che, secondo gli autori, può essere assunto nell'intervallo 0.01- 0.06.

Per un pendio indefinito con superficie di scivolamento inclinata di un angolo  $\beta$  si ha:

$$T_0 = W \sin \beta \quad (4.3)$$

Il contributo stabilizzante  $S$  dovuto al sistema di ancoraggi flottanti sarà:

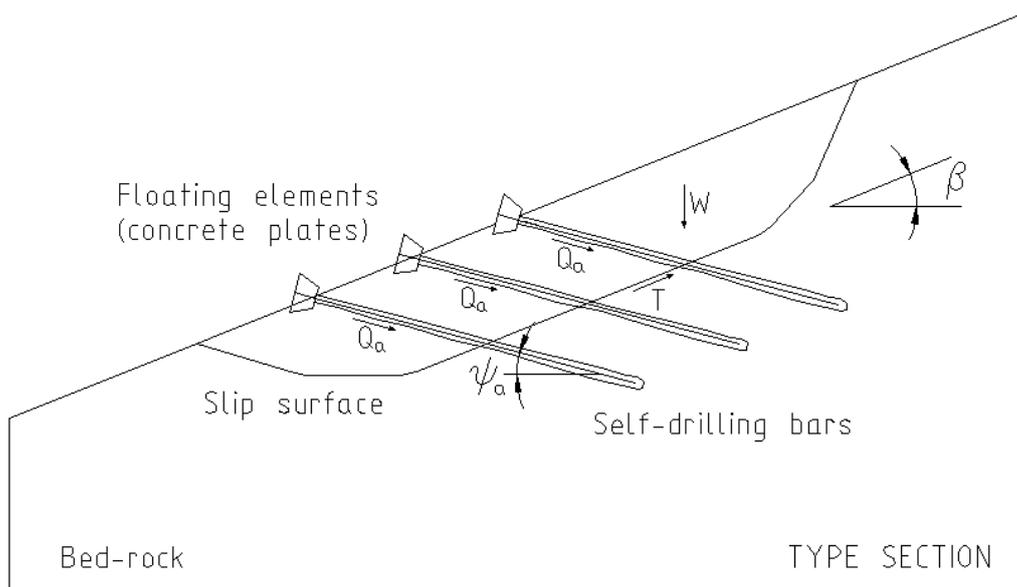


Figura 4.4.1 Sezione tipo di intervento con ancoraggi flottanti: schema di calcolo

$$S = n_a \cdot Q_a \cdot \cos(\psi_a + \beta) = T_1 - T_0 \quad (4.4)$$

dove  $W$  è il peso della massa di terreno instabile e  $\psi_a$  l'angolo di inclinazione degli ancoraggi rispetto all'orizzontale. Trascurando in favore di sicurezza il contributo (benefico) dato dalla

componente della forza  $Q_a$  ortogonale alla superficie di scorrimento, il numero di ancoraggi necessari per ottenere una riduzione di velocità dal valore  $v_0$  a  $v_1$  sarà quindi pari a:

$$S = n_a \cdot I_v \frac{W \cdot \sin \beta}{Q_a \cos(\psi_a + \beta)} \cdot \ln \frac{v_0}{v_1} \quad (4.5)$$

Secondo questo modello l'intervento con ancoraggi flottanti può essere calibrato in corso d'opera, con la possibilità di aumentare il numero di ancoraggi anche in un secondo tempo, a seconda delle necessità riscontrate in sito e delle evidenze di un eventuale monitoraggio, in accordo con l'impostazione definita dal "metodo osservazionale" previsto dalla normativa tecnica italiana (NTC 2008, paragrafo 6.2.4). Naturalmente un sistema di ancoraggi flottanti può essere anche integrato da ulteriori interventi (contemporanei o successivi) di altro tipo.

In frane ad evoluzione lenta o medio-lenta questa tecnica può quindi essere utilizzata anche solamente per rallentare la velocità di avanzamento del pendio instabile. L'effetto ottenuto dipende dal numero di ancoraggi installati e quindi dal rapporto tra energia cinetica della massa instabile ed energia dissipata dal sistema.

### **4.3. Ancoraggio Flottante SIRIVE®**

L'idea dell'Ancoraggio Flottante SIRIVE® nasce dalla necessità di trovare una valida alternativa alle opere statiche normalmente utilizzate per il controllo dei movimenti franosi.

Le tecniche attualmente impiegate sono molteplici; in generale però si tratta di opere rigide (drenaggi a parte), opere che devono essere adeguatamente dimensionate per contrastare le spinte del terreno in movimento, pena il collasso. Spesso inoltre le pressioni indotte nel terreno dal movimento del versante non sono facilmente identificabili e controllabili; l'applicabilità di strutture rigide richiede quindi grandi risorse economiche, le quali non sono sempre disponibili.

Per superare questa limitazione, una possibilità è l'utilizzo di alcuni innovativi sistemi flessibili, che possano contrastare in modo efficace una quota parte delle sollecitazioni attivate dal movimento del corpo frana e che possano continuare a svolgere, senza collassare, l'azione di contrasto prefissata, proseguendo la loro mansione anche nel tempo, inducendo una riduzione della velocità della frana e dei danni ad essa correlati.

L'Ancoraggio Flottante SIRIVE®, opportunamente posizionato nel corpo frana, diventa un "dissipatore di energia" flessibile, trattenendo per attrito nel tempo una parte dell'energia generata dal movimento franoso; il raggiungimento di una completa stabilizzazione della frana dipenderà quindi dal solo numero di ancoraggi che dovranno essere collocati all'interno del corpo di frana: in ogni caso, nell'eventualità che il budget economico non sia sufficiente per realizzare immediatamente l'intero numero di ancoraggi richiesti per una completa stabilizzazione, l'installazione di un minor numero di ancoraggi produce comunque un miglioramento delle condizioni generali di stabilità.

Nel 2010 è iniziato un programma di studio e ricerca in collaborazione con enti, università e liberi professionisti, con l'obiettivo di fornire risposte pratiche in vista dell'utilizzo in sito di questi nuovi sistemi.

Dalla Gassa ha depositato per l'Ancoraggio Flottante SIRIVE® il brevetto italiano VI2010A000020 del 4 Febbraio 2010, e il brevetto europeo (EP 11153454.1, depositato il 4 Febbraio 2011).

A partire dallo studio e dall'osservazione del comportamento dell'Ancoraggio Autoperforante, sono state elaborate tre diverse tecniche di rinforzo, denominate "Tecniche Flottanti SIRIVE®":

- Ancoraggio Flottante SIRIVE®;
- Parete Flottante SIRIVE®;
- Cintura Flottante SIRIVE®.

Il principale campo di applicazione di queste tecniche riguarda la stabilizzazione di movimenti franosi lenti. La stabilizzazione di un movimento franoso si configura sempre come un'operazione complessa e di non banale realizzazione. Uno dei metodi di intervento sviluppati negli anni dall'ingegneria civile è l'installazione di rinforzi, siano essi rigidi o flessibili, aventi lo scopo di aumentare le forze resistenti che ostacolano il movimento stesso. Le tecniche flottanti SIRIVE® sono altamente flessibili e si pongono in alternativa ai più classici interventi di tipo rigido quali muri di sostegno in calcestruzzo armato, paratie tirantate di micropali o pali trivellati, terre rinforzate, gabbionate, ecc.

Diversamente da un'opera rigida tradizionale, che deve essere adeguatamente dimensionata per contrastare le spinte del terreno in movimento, pena il collasso e il mal funzionamento della struttura, l'intervento con tecniche flottanti SIRIVE® può essere calibrato in corso d'opera, variando la posizione, la lunghezza e l'interasse degli ancoraggi a seconda dei risultati di rilievi fatti durante la realizzazione dell'opera stessa, e può essere eventualmente integrato con altri interventi o incrementando il numero di rinforzi installati.

Un altro importante vantaggio offerto da questo tipo di ancoraggio riguarda la sua capacità

di assorbire per attrito gli sforzi tangenziali lungo l'interfaccia boiaccia-terreno, che permette di diminuire la mobilità del terreno situato attorno al rinforzo, esplicando una funzione di "dissipatore di energia". Questa azione ha entità pari alla possibilità di assorbimento dell'ancoraggio stesso, senza però che vi sia il raggiungimento di una condizione di collasso fragile o di perdita di resistenza degli elementi flottanti al superamento della resistenza di progetto.

E' perciò possibile utilizzare l'Ancoraggio Flottante SIRIVE® anche solo per rallentare in modo più o meno completo un movimento franoso lento. Questo a seconda delle dimensioni e della cinematica del fenomeno e delle esigenze del committente.

L'applicazione di tali opere per il consolidamento di infrastrutture viarie poste in versanti in frana e per la stabilizzazione idrogeologica dei pendii è analizzata inoltre con grande interesse in quanto le tecniche flottanti SIRIVE® offrono ottime caratteristiche di integrazione nel contesto paesaggistico e ambientale, consentendo un naturale rinverdimento del versante.

#### **4.4. Vantaggi Geotecnici e Tecnologici del Sistema Composto**

La barra composita ottenuta per accoppiamento di una barra tradizionale e di uno o più trefoli presenta numerosi vantaggi. Il principale vantaggio della barra composita è certamente il minor costo a parità di caratteristiche meccaniche del sistema, che deriva principalmente dal minor impiego di materiale e dai minori costi di esecuzione e di posa in opera. Il sistema offre inoltre la possibilità di realizzare ancoraggi con alti carichi di rottura contenendo le deformazioni della barra. Il minor allungamento in fase di esercizio è di notevole impatto sulla durabilità dell'opera: lo sviluppo di minori deformazioni, limita le fessurazioni che si instaurano nella boiaccia cementizia esterna, garantendo una maggior protezione della barra alla corrosione. La barra composita presenta una maggiore inerzia flessionale, data dalla sezione cava in acciaio ma anche dalla presenza del riempimento. A parità di resistenza a trazione, l'inerzia flessionale è certamente maggiore di quella che caratterizza la sola barra o un tirante realizzato con soli trefoli. Ulteriori punti di forza dell'ancoraggio composito, non facilmente quantizzabili, sono la maggiore semplicità di trasporto dei materiali, la velocità di esecuzione dell'intervento, l'adattabilità della lunghezza di ancoraggio alle diverse condizioni geologico-geotecniche presenti in loco e la continuità data dal trefolo al rinforzo completo. Per quanto riguarda quest'ultimo punto è importante sottolineare come il trefolo che si estende per tutta la lunghezza dell'ancoraggio, soprattutto nei casi di rinforzi molto lunghi ottenuti per giunzione con manicotto di numerose barre, migliori l'accoppiamento tra barre successive rispetto a quello dato dai soli manicotti.

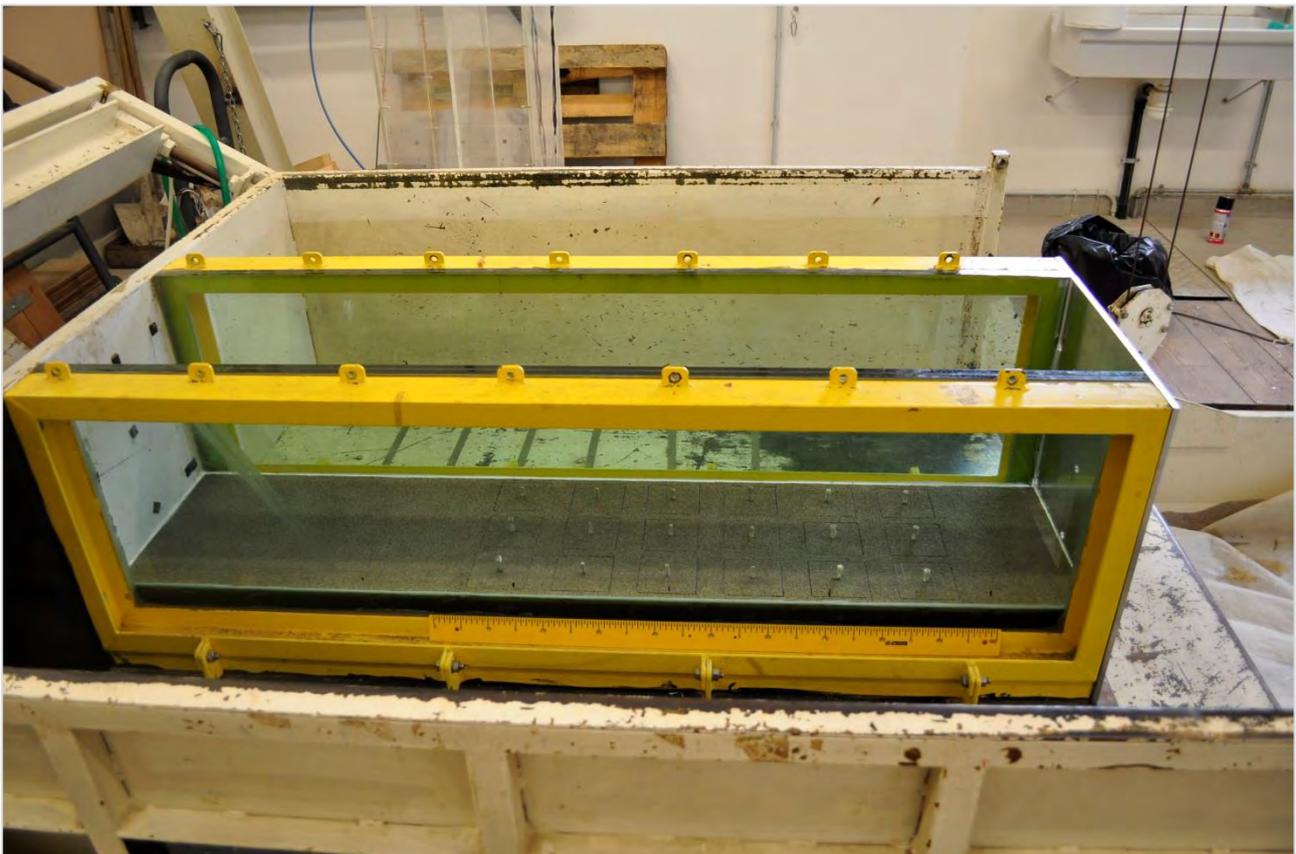


## 5. Modello Fisico

Il modello fisico che ci ha permesso di eseguire la sperimentazione è stato costituito presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova ubicato in via Ognissanti 39, utilizzando e riadattando per le nuove esigenze un vecchio sistema per la modellazione di pareti rinforzate con Soil Nailing.

Per ospitare il modello si è sfruttato lo stesso telaio utilizzato per le prove precedenti posizionato all'interno del cassone. L'intelaiatura è composta da due pareti verticali di lunghezza di 179 cm per un'altezza di 50 cm e dello spessore di 8 cm; all'interno dell'intelaiatura incollati alle pareti verticali del telaio, sono stati applicati due doppi vetri dello spessore di 3,1 cm con all'interno un fil di polimero per aumentare la resistenza, e in caso di superamento della capacità portante, rompere in sicurezza senza l'esplosione del vetro in pericolose schegge.

Il telaio è inserito nel mezzo di un cassone ribaltabile, delle dimensioni di 188.5 x 188.5 cm e 60 cm di altezza.



*Figura 5.1 Modello fisico su cui si è svolta la sperimentazione*

## 5.1. Piastra Frontale

La parete frontale del modello è chiusa da una piastra in alluminio dello spessore di 1 cm sulla quale sono stati praticati 9 fori in tre posizioni in senso orizzontale, ai due lati a filo vetro e uno centrale a tre diverse altezze i quali fungono da fori per la fuoriuscita della barra costituente il chiodo.



*Figura 5.2 Piastra Frontale del modello*

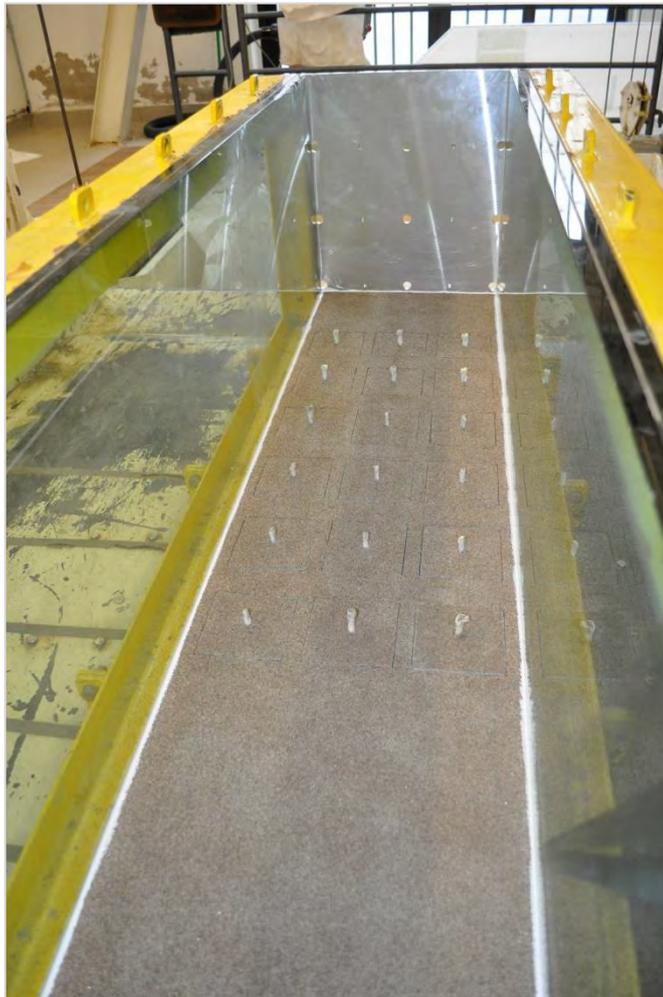
Come evidenziato in figura 5.2 sono stati utilizzati due fori:

Foro A : è il foro nel quale si inserisce il chiodo per eseguire la prima tipologia di prova, quella laterale vicino al vetro.

Foro B : è il foro nel quale si inserisce il chiodo per eseguire la seconda tipologia di prove, quella per l'estrazione in posizione centrale.

## 5.2. Pianale Inferiore

Sulla base del modello è stata inserita una lamiera di 5 mm dove verrà fissata la rotaia sulla quale scorrerà il carrello che ospita la cella a flessione e quella a compressione, la rotaia e di conseguenza anche il carrello, a seconda della posizione del chiodo, verrà spostata su una delle tre posizioni possibili per permettere alle celle la misurazione degli sforzi indotti dall'estrazione del chiodo, sopra di essa un pianale composto da tre corsie. Sulla base superiore del pianale sono presenti una serie di dei fori quadrati di 15x15cm distanziati l'uno dall'altro di 4,5 centimetri disposti in tre file. In totale i fori sono pari a 18. Come si vede nella figura 5.3 ogni piastrina a chiusura dei fori è dotata di un piolo svitabile. Prima che si inizi il riempimento del modello con il terreno i pioli verranno rimossi.



*Figura 5.3 Pianale inferiore del modello*

Una volta scelta la posizione del chiodo la rotaia viene fissata nella posizione corrispondente e viene inserito il carrello che ospita la cella a flessione con collegata la cella a compressione.



*Figura 5.4 Inserimento sulla rotaia al di sotto del pianale delle celle di carico.*



*Figura 5.5 Vista in pianta delle celle di carico con collegata la piastrina di chiusura*



*Figura 5.6 Vista laterale del collegamento tra cella di carico a flessione e piastra di chiusura*

Come si può intravedere dalle foto, il pianale e anche la piastrina collegata alla cella sono ricoperte da uno strato di sabbia. Questo è stato necessario per ricreare l'attrito all'interfaccia terreno-piastra, il più possibile uguale a quello che si genera in un pendio reale. Questa ricopertura è stata fatta intervallando due strati di sabbia e tre strati di colla spray. La sabbia utilizzata è la stessa utilizzata per riempire il modello ma preventivamente setacciata utilizzando il crivello 200 e utilizzando per la ricopertura solo la parte trattenuta, cioè la parte più grossolana, dal momento che alcune prove eseguite in precedenza avevano evidenziato il distacco della sabbia dal pianale causato proprio dalla frazione più fine.

### 5.3. Metodo di Stesa

Il terreno utilizzato per la realizzazione del modello, è una sabbia medio-fine che proviene dalla foce del fiume Adige. Il diametro medio  $D_{50}$  delle particelle componenti questo terreno è pari a 0.42mm con un coefficiente di uniformità  $C_u$  di 2.04. Altri parametri del terreno sono il peso specifico  $G_s$  che assume un valore pari a 2.71 g/cm<sup>3</sup>, il peso di volume secco massimo di 16.51 KN/m<sup>3</sup> ed il peso di volume secco minimo di 13.58 KN/m<sup>3</sup>. La composizione mineralogica di questa sabbia è la seguente: 35% feldspati, 15% carbonati, 25% altri minerali.

Il valore medio dell'angolo di attrito di picco risulta, in corrispondenza di una densità relativa  $D_R$  dell'85% e del campo tensionale di una prova triassiale standard, di 41°.

La sabbia viene depositata per pluviazione, ovvero fatta cadere per gravità da una tramoggia mobile dotata di inversore di marcia automatico per realizzare una stesa in entrambi i sensi. La sabbia fuoriesce dalla tramoggia tramite una fessura con luce di 4,9mm, mentre la velocità di traslazione del nastro trasportatore, che spinge la sabbia contro la saracinesca, è di 37cm/min e la velocità di traslazione del tramoggia è di 2,77 cm/min. In questo modo il riempimento del cassone avviene in maniera uniforme e, soprattutto, ripetibile.

Questo tipo di deposizione permette di ottenere una densità costante del terreno e di avere così una sufficiente omogeneizzazione e ripetibilità delle condizioni iniziali di prova.

Il valore di densità medio è stato determinato in un lavoro di tesi precedente ("Il ruolo del rivestimento sulla stabilità delle pareti sostenute con Soil Nailing: analisi sperimentale" di Davide Pilotto) nel quale si riporta che il metodo di stesa permette di avere una densità pari all' 82% e di conseguenza il terreno utilizzato durante le prove è classificabile come sabbia densa.



*Figura 5.7 Vista laterale della tramoggia automatica durante la stesa della sabbia*

## 5.4. Chiodi e Teste

I chiodi usati per la sperimentazione sono composti da due parti:

- Barra filettata
- Testa del chiodo

La barra filettata è una barra in acciaio dolce filettata per tutta la lunghezza con filetto M8, in modo da riprodurre la barra usata per l'ancoraggio usata in sito che è filettata per tutta la lunghezza. Per quanto riguarda invece la testa dei chiodi si sono utilizzate 5 diverse forme:

1. Forma conica allungata
2. Forma conica
3. Tronco conica sottile
4. Forma quadrata sottile
5. Forma quadrata spessa (usata solo per la prima tipologia di prove)

Il programma di prove è diviso in due parti: nella prima fase, le 5 teste sono state sezionate secondo un piano passante a piccola distanza dal foro passante per l'aggancio del chiodo (mettere un disegno delle teste sia intere che sezionate) in modo da avere una faccia piana da poter appoggiare al vetro laterale del modello, in modo da poter riprendere con le fotografie le configurazioni deformate del terreno e ricostruire i movimenti del chiodo e del terreno tutto attorno durante l'estrazione.

Nella seconda parte, invece, il chiodo, è posizionato al centro del modello e ha forma completa. Questo permette anche di confrontare le due diverse sperimentazioni e valutare con che rapporto variano le forze in gioco durante l'estrazione.

Come avvenuto per il pianale di base e le relative piastrine che lo compongono, anche le teste sono state ricoperte da tre strati di colla spray intervallati da due strati della stessa sabbia utilizzata per il rivestimento del pianale e per riempire il cassone.

## 5.5. Celle di Carico

Una cella di carico è un componente elettronico (trasduttore) usato per misurare una forza su un oggetto tramite un segnale elettrico il quale valore cambia in funzione dell'entità della forza applicata. L'applicazione più comune è nei sistemi di pesatura elettronica e nella misura di sforzi meccanici di compressione e trazione. Si tratta di rilevare la deformazione meccanica dell'oggetto tramite la variazione di un segnale elettrico e trasformarla in unità di misura. Questo componente è generalmente costituito da un corpo metallico (Acciaio inox martensitico/Alluminio) che nel caso uno o più estensimetri che leggono la deformazione meccanica del materiale (compressione, trazione). Per amplificare l'entità del segnale la scelta più comune è quella di usare quattro estensimetri collegati tra di loro in una configurazione a ponte di Wheatstone. Il segnale elettrico ottenuto (differenziale) è normalmente dell'ordine di pochi millivolt e richiede un'ulteriore amplificazione con un amplificatore di segnale prima di essere utilizzato. Il segnale è poi elaborato mediante un algoritmo per calcolare la forza applicata al trasduttore. È richiesta la correzione delle non linearità, calibrazione, compensazione delle variazioni dovute alla temperatura, ecc.

Per la misurazione delle forze in gioco durante l'esperimento si è pensato ad un sistema di tre celle di carico. La misurazione avverrà in simultanea.

- Una cella per misurare la compressione data dal terreno in senso verticale.
- Una cella per la misura dello sforzo di taglio che causa scorrimento della piastrina rimovibile al di sotto del chiodo;
- Una cella per la misura della forza di trazione necessaria per l'estrazione del chiodo

Le celle di carico sono collegate ad un acquisitore (CompatRIO). L'acquisitore si interfaccia ad un pc tramite il programma LabView che permette di salvare su di un file excell i dati registrati dalle celle.

### 5.5.1. Cella di Carico a Compressione

La cella di carico utilizzata per la misura della compressione data dallo spostamento della piastrina fissata alla cella a flessione è una cella di carico CELMI TCA 10 in alluminio con limite di carico pari a 100N e errore dichiarato di  $\leq \pm 0,1\%$

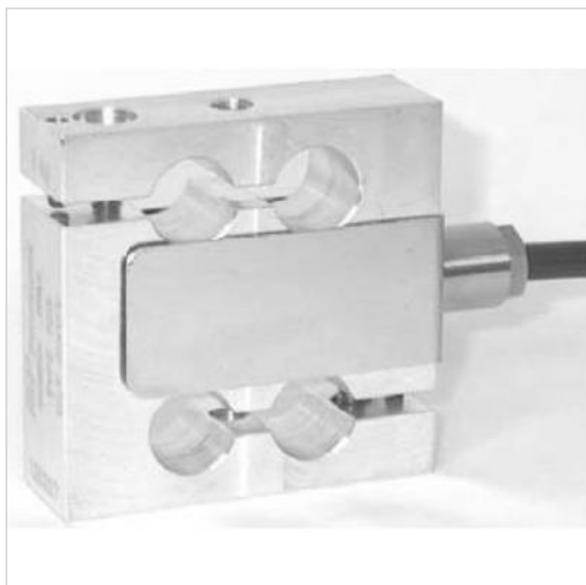


Figura 5.8 Cella di carico a compressione CELMI TCA 10

#### 5.5.1.1. Calibrazione Cella

Tabella 5.1 Calibrazione Cella a Compressione

Media[mV/V]	N (tara = 1,305+4,383)
3,82E-05	1,304571
0,000126	5,68786
0,000326	15,71481
0,000527	25,7194
0,000927	45,71569
0,001327	65,71709
0,001727	85,72973

I carichi usati per la taratura sono: 0kg-1kg-2kg-4kg-6kg-8kg, ai quali deve necessariamente essere aggiunta il peso del sistema per il supporto del carico denominato tara che comprende un apposito gancio fornito con la cella del peso di 1,304 N e il supporto per il posizionamento del carico pari a 4,383N.

Viene valutata la risposta sia per step crescenti di carico (Carico), sia per step decrescenti (Scarico).

Nel grafico 5.1 sono riportati i dati misurati per la calibrazione e la retta di regressione avente equazione:

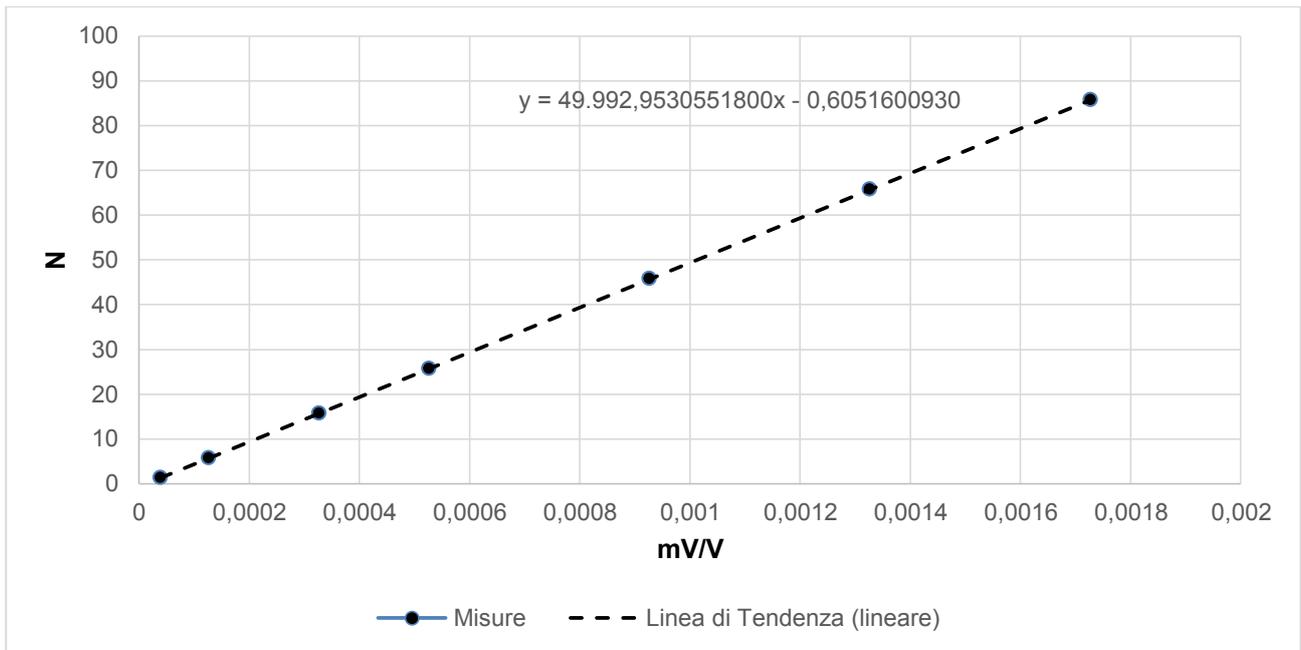


Grafico5.1 Curva di calibrazione della cella di carico a compressione

$$y = 49992,0x - 0,6 \quad (5.1)$$

dove  $y$  è il valore in Newton della forza mentre  $x$  è il valore elettrico misurato dalla cella in mV/V. Una volta determinata l'equazione della retta di calibrazione essa verrà inserita all'interno del programma di acquisizione dei dati che permette di acquisire le misure della forza durante le prove direttamente in Newton.

### 5.5.2. Cella di Carico a Flessione

Come cella di carico per la misurazione della compressione data dal terreno in senso verticale sulla piastrina è stata usata una cella a flessione, più precisamente un cella di carico CELMI Off Center SUP22 in alluminio con limite di carico pari a 800N.



Figura 5.9 Cella a flessione CELMI Off Center SUP22

### Calibrazione Cella

Tabella 5.2 Calibrazione Cella a Flessione

Media[mV/V]	N (tara = 6,564)
0,000368783	6,8760584
0,000391183	16,2426584
0,000413774	26,0486584
0,000458897	45,6606584
0,000504182	65,2726584

I carichi usati per la taratura sono: 0kg-1kg-2kg-4kg-6kg, ai quali deve necessariamente essere aggiunta il peso del sistema per il supporto del carico denominato tara pari a 6,564N. Viene valutata la risposta sia per step crescenti di carico (Carico), sia per step decrescenti (Scarico).

Nel grafico 5.2 sono riportati i dati misurati per la calibrazione e la retta di regressione avente equazione:

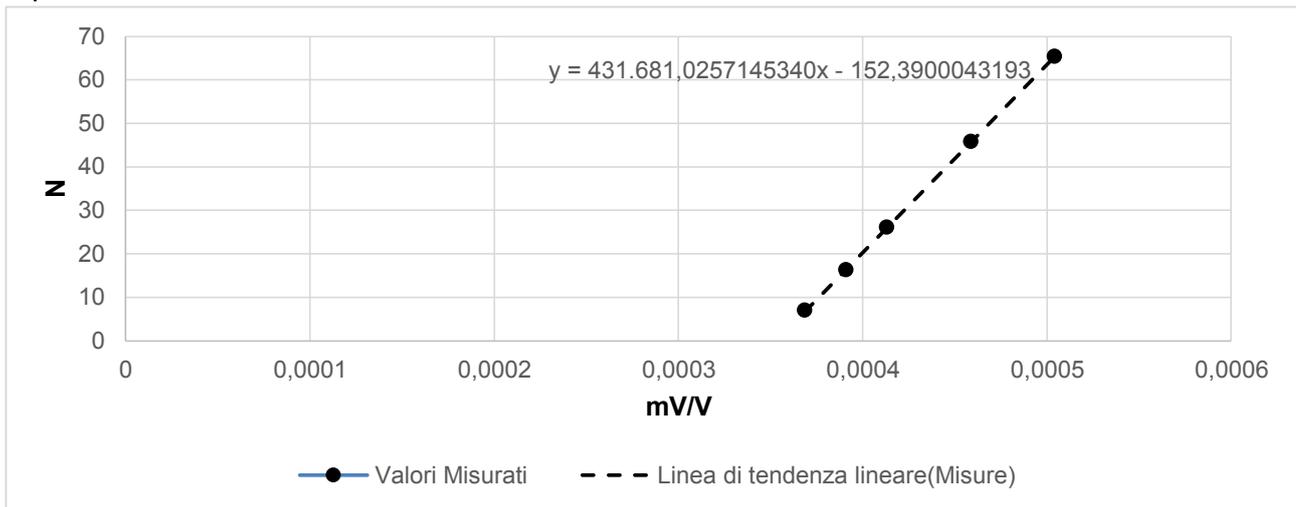


Grafico 5.2 Curva di calibrazione cella di carico a flessione

L'equazione risulta essere:

$$y = 431681,0x - 152,4 \quad (5.2)$$

dove  $y$  è il valore in newton della forza mentre  $x$  è il valore misurato dalla cella in mV/V. Una volta determinata l'equazione della retta di calibrazione essa verrà inserita all'interno del programma di acquisizione dei dati che darà come output un file excel con all'interno la serie di misurazioni già in Newton.

### 5.5.3. Cella di Carico a Trazione da 100kg

Per misurare lo sforzo assiale necessario per estrarre il chiodo si è utilizzata una cella di carico CELMI a flessione TIPO 54 utilizzando gli adattatori per renderla adatta alla misurazione dello sforzo di trazione.



Figura 5.10 cella di carico a flessione CELMI TIPO 54

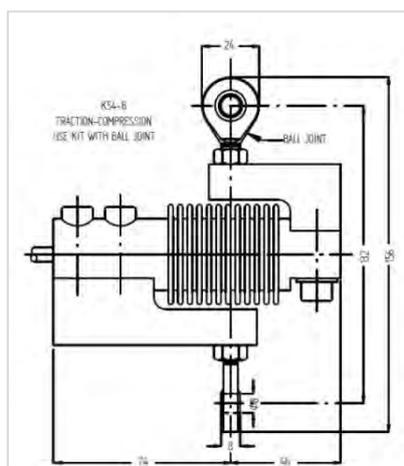


Figura 5.11 Schema di montaggio per l'utilizzo della cella per misurazioni di forza in trazione/compressione

#### 5.5.3.1. Calibrazione Cella

Tabella 5.5.3 Calibrazione Cella a Trazione

Calibrazione Cella a Trazione	
Media[mV/V]	N (tara = 4,394)
-2,3E-05	4,3087564
-4,3E-05	14,1147564
-6,3E-05	23,9207564
-0,0001	43,5327564
-0,00014	63,1447564

Anche qui i carichi usati per la taratura sono: 0kg-1kg-2kg-4kg-6kg, ai quali deve necessariamente essere aggiunta il peso del sistema per il supporto del carico denominato tara pari a 4, 394N. Viene valutata la risposta sia per step crescenti di carico (Carico), sia per step decrescenti (Scarico).

Nel grafico 5.3 sono riportati i dati misurati per la calibrazione e la retta di regressione avente equazione :

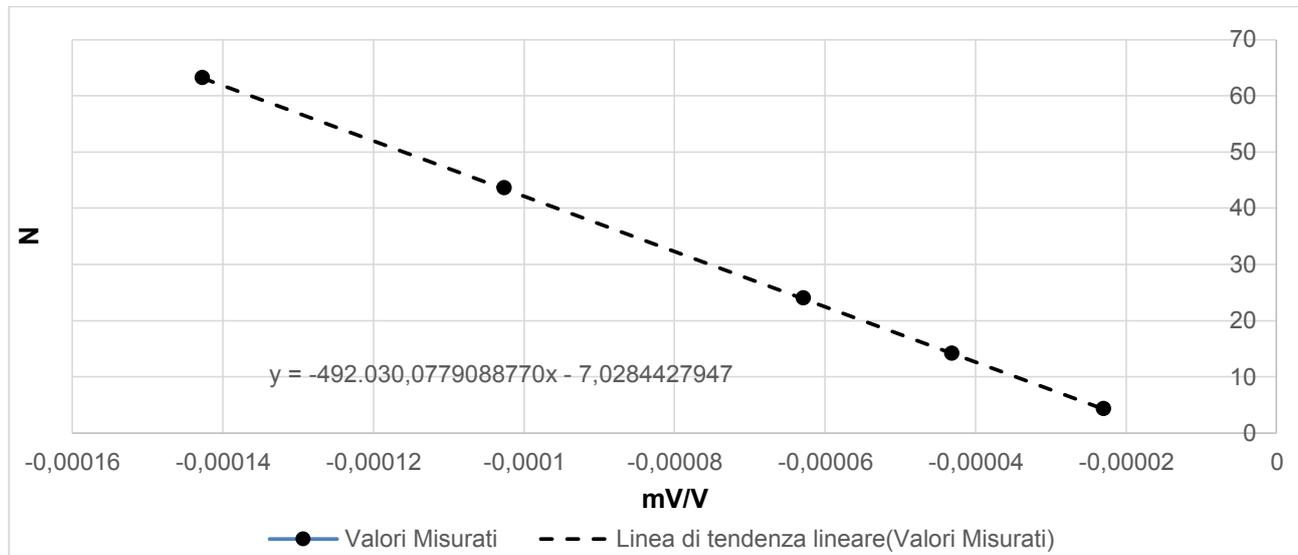


Grafico 5.3 Curva di calibrazione della cella di carico in trazione/compressione

L'equazione risulta essere:

$$y = -492030,08 x - 7,03 \quad (5.3)$$

dove  $y$  è il valore in newton della forza mentre  $x$  è il valore misurato dalla cella in mV/V. Una volta determinata l'equazione della retta di calibrazione essa verrà inserita all'interno del programma di acquisizione dei dati che darà come output un file excel con all'interno la serie di misurazioni già in newton.

#### 5.5.4. Cella di Carico a Trazione da 500kg

Per misurare lo sforzo assiale necessario per estrarre il chiodo si è utilizzata una cella di carico AEP TSTM. Questa è nata proprio per misurare sforzi di trazione



Figura 5.12 Cella di carico a trazione AEP TSTM

##### 5.5.4.1. Calibrazione Cella

Tabella 5.4 Calibrazione Cella a Trazione

Media[mV/V]	N (tara = 5,074)
-1,444444E-06	0
1,13077E-06	5,074
4,01833E-05	105,074
7,93731E-05	205,074
0,000117875	305,074
0,00015625	405,074

Anche qui i carichi usati per la taratura sono: 0kg-10kg-20kg-30kg-40kg, ai quali deve necessariamente essere aggiunta il peso del sistema per il supporto del carico denominato tara pari a 5,074N.

Viene valutata la risposta sia per step crescenti di carico (Carico), sia per step decrescenti (Scarico).

Una volta inseriti i valori ricavati in un grafico:

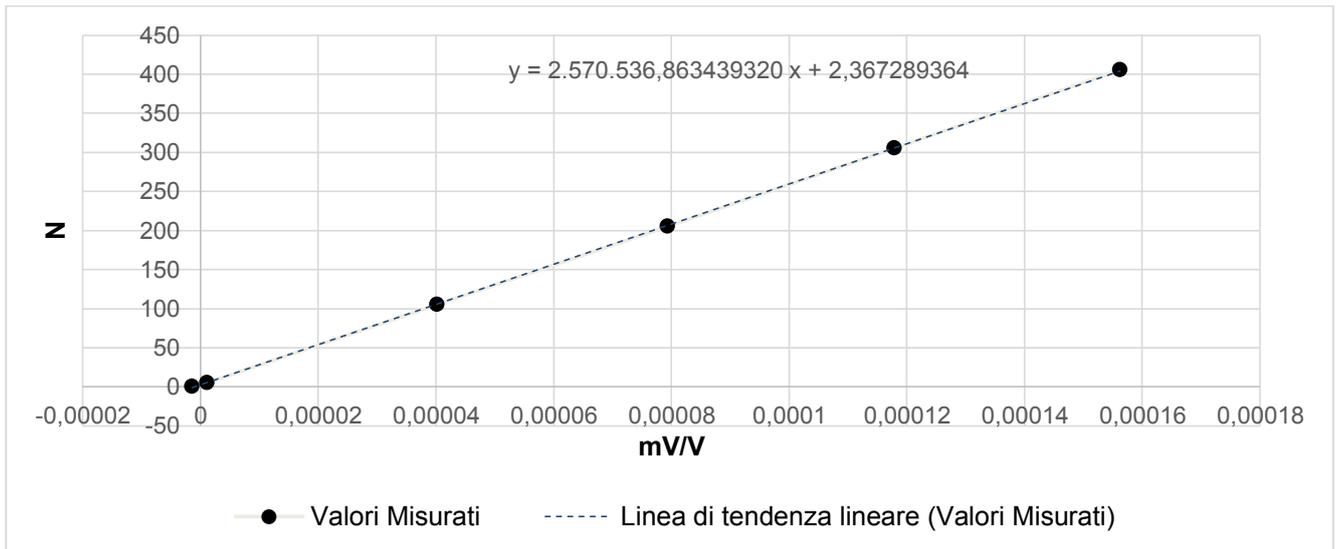


Grafico 5.4 Curva di calibrazione della di carico a trazione

L'equazione risulta essere:

$$y = 2.570.536,86 x + 2,37 \quad (5.4)$$

dove y è il valore in newton della forza mentre x è il valore misurato dalla cella in mV/V.

Una volta determinata l'equazione della retta di calibrazione essa verrà inserita all'interno del programma di acquisizione dei dati che darà come output un file Excel con all'interno la serie di misurazioni già in newton.

## 5.6. Fotocamera Digitale

In questa serie di esperimenti è stata utilizzata una fotocamera digitale per l'acquisizione di immagini durante lo svolgimento di ogni singola prova di estrazione.

La Fotocamera in questione è una CANON EOS 400D (sensore CMOS da 10.1 megapixel) con un obiettivo EFS 10-22 mm (si tratta dell'obiettivo con grandangolo più ampio in commercio).



Figura 5.13 Fotocamera CANON EOS 400D con obiettivo EFS 10-22mm

## 5.7. Estrattore

L'estrazione del chiodo è effettuata mediante un estrattore, cioè un sistema con vite a cuscinetto costruito in modo tale da consentire lo spostamento uniassiale e senza rotazione del chiodo durante lo sfilamento. Esso viene fissato tramite delle barre di alluminio alla piastra frontale. Questo metodo di fissaggio permetterà un'estrazione perfettamente ortogonale del chiodo rispetto al piano della piastra frontale. L'estrazione del chiodo avviene manualmente ruotando la manovella dell'estrattore.

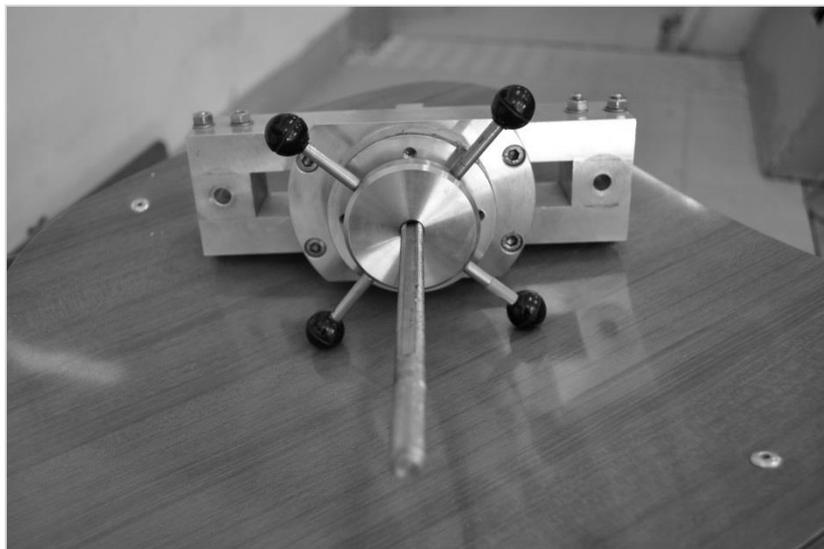
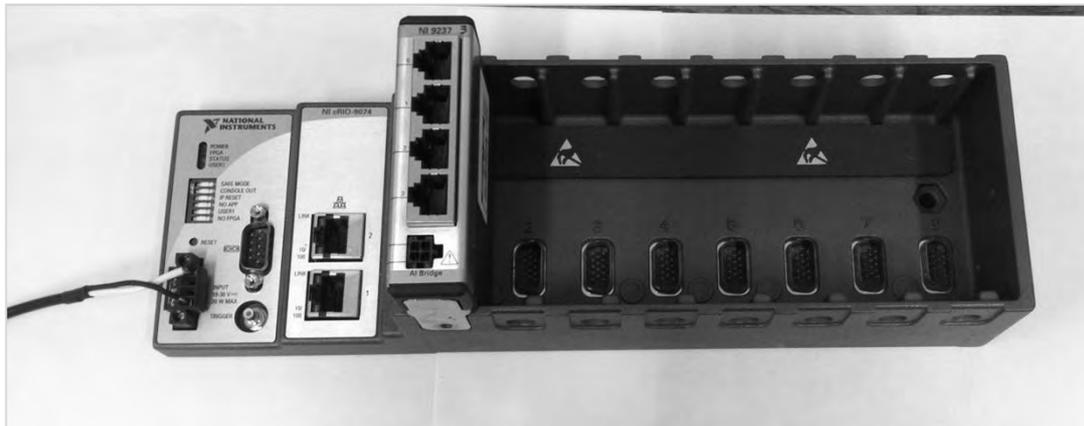


Figura 5.14 Estrattore

## 5.8. Acquisitore Dati Celle di Carico

Per l'acquisizione dei dati delle varie celle presenti nel nostro modello si è ricorso all'utilizzo di un CompactRIO prodotto dalla National Instrument.

Il sistema CompactRIO include un controller embedded e uno chassis riconfigurabile. Il controller embedded offre esecuzione embedded stand-alone per applicazioni deterministiche LabVIEW Real-Time o Windows Embedded Standard 7. Gli chassis embedded sono i componenti principali del sistema CompactRIO in quanto integrano il core FPGA I/O riconfigurabile.



*Figura 5.15 Acquisitore National Instruments CompactRIO*

## 5.9. Software Utilizzati

I software utilizzati per acquisire ed elaborare i dati durante le varie prove sperimentali sono:

- DSLRemote PRO
- LabVIEW
- GeoPIV

Oltre a fogli di calcolo quali excel per la produzione di grafici e effettuare calcoli sui dati acquisiti.

### 5.9.1. DSLRemote PRO

DSLRemote Pro è un software prodotto dalla Breeze systems che permette di controllare la fotocamera, nel nostro caso la CANON EOS400D da remoto e permette di impostare tra le varie cose un timing di scatto della fotocamera, cioè è possibile impostare la fotocamera affinché acquisisca in automatico una immagine ad intervalli regolari, nel nostro caso il tempo di acquisizione è stato fissato pari a 5 secondi e salvarla in automatico sul disco del computer alla quale la fotocamera è collegata.

### 5.9.2. LabView

NI LabVIEW è un software per la progettazione di sistemi che utilizza icone, terminali e collegamenti piuttosto che testo, per permetterti di programmare in un modo più intuitivo e semplificato. LabVIEW include strumenti basati sulla configurazione e funzioni di programmazione avanzate per lo sviluppo di applicazioni di controllo, analisi e misura con interfacce utente professionali.

LabVIEW è un ambiente di sviluppo avanzato che offre integrazione hardware senza precedenti e compatibilità ad ampio raggio con una vasta gamma di strumenti. LabVIEW include funzioni avanzate che ti permettono di risolvere i problemi, accelerare la produttività e sviluppare applicazioni e sistemi innovativi. Grazie all'ambiente di programmazione grafica, le librerie integrate di funzioni software e interfacce hardware, le funzioni di analisi, visualizzazione e condivisione, LabVIEW ti permette di fare più in meno tempo. Grazie ad una vasta gamma di partner e integratori di sistemi, una comunità di utenti mondiale e numerosi rilasci software annuali, LabVIEW ti permette di sviluppare sempre applicazioni e sistemi innovativi.

Nel nostro caso ci ha permesso di creare un software ad hoc per l'acquisizione dei dati fornitici dalle celle durante lo svolgimento della prova contemporaneamente con un intervallo di lettura del valore delle varie celle di un secondo.

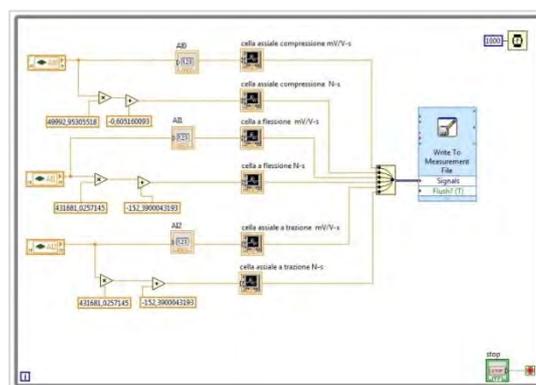


Figura 5.16 Flow chart del programma LabView per acquisizione dei dati dalle celle

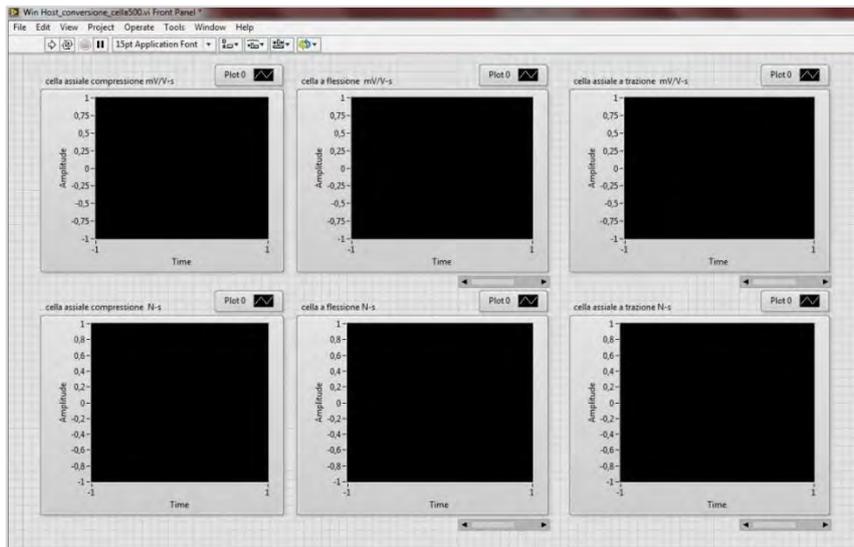


Figura 5.17 Front Panel di LabView per il monitoraggio in tempo reale delle misurazioni delle celle

Come si può notare il programma permette una lettura immediata dei valori sia in mV/V sia con una conversione diretta in N plottati su dei grafici, oltre ad un salvataggio in un file excel di entrambi i valore per ogni singola cella.

È stato scelto di salvare il dato della singola cella in entrambe le unità di misura per avere, eventualmente la possibilità di ricontrollare i dati acquisiti dalle celle effettuando una nuova calibrazione delle celle successiva allo svolgimento delle prove.

### 5.9.3. GeoPIV

Prima di parlare nello specifico del GeoPIV parliamo brevemente della tecnica denominata *Particle Image Velocimetry* in breve PIV.

La tecnica denominata *Particle Image Velocimetry* (PIV) è stata originariamente sviluppata nell'ambito della meccanica dei fluidi e consente di misurare indirettamente la velocità del fluido in una determinata sezione del fluido stesso. Nel fluido si immettono delle particelle traccianti (*seeding*) la cui densità deve essere molto simile a quella del fluido in esame. Questa è una condizione necessaria perché in realtà si misura la velocità delle particelle, quindi la sostanza usata come tracciante deve seguire il più fedelmente possibile il moto del fluido per poter ritenere la sua velocità pari a quella calcolata delle particelle. In seguito si illumina la sezione di fluido che si intende esaminare e, dato che le particelle riflettono la luce, si può fotografare questa sezione in due istanti consecutivi e ravvicinati. Così facendo si ottiene una coppia di immagini si ricava il vettore spostamento delle particelle e, noto il tempo intercorso tra una foto e l'altra, se ne calcola la velocità.

L'applicazione della tecnica PIV in ambito geotecnico sfrutta le caratteristiche naturali di un terreno quindi non è necessario l'impiego di una sostanza tracciante, infatti un terreno si presenta con una struttura propria costituita da grani diversi tra loro per forma e colore. Illuminando questa struttura si creano luci e ombre differenti tra grani adiacenti le quali possono essere sfruttate come particelle traccianti dato che svolgono la stessa funzione del *seeding* in un fluido.

La tecnica PIV consente di determinare lo spostamento dei grani su un terreno riconoscendo all'interno di due immagini consecutive dei punti omologhi. Il processo di analisi che si conduce utilizzando la tecnica PIV è schematicamente illustrato in figura

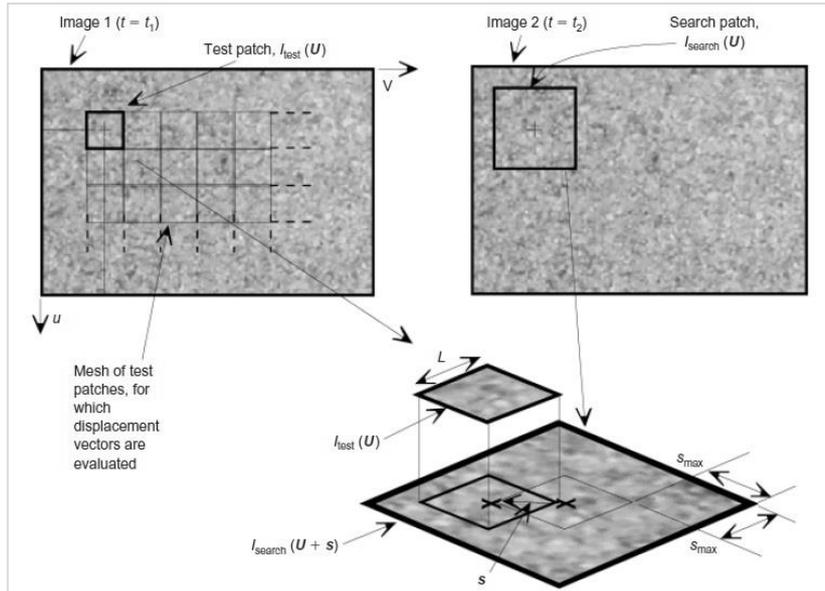


Figura 5.18 Schema del processo di analisi delle immagini con la tecnica PIV

La prima immagine è suddivisa in piccole porzioni da una griglia regolare a maglia quadrata che è tenuta fissa e per questo è chiamata matrice sagoma (*target* o *template*). Ogni porzione quadrata di lato  $L$  (lunghezza espressa in *pixels*) è definita *test patch* e costituisce un campione della matrice immagine  $I(\mathbf{U})$ . se considero nella prima immagine una certa *test patch* caratterizzata da un valore di intensità luminosa  $I_{test}(\mathbf{U})$ , nella seconda immagine essa definisce un'area all'interno della quale ricercare il *test patch*. Questa posizione si chiama *search patch* ed è anch'essa quadrata ma la sua area si estende oltre quella della *test patch* di una quantità  $s_{max}$  in entrambe le direzioni  $u$  e  $v$ . L'intensità luminosa della search patch è definita dal valore  $I_{search}(\mathbf{U}+\mathbf{s})$ . A questo punto si applica la tecnica di cross-correlation che si basa sul criterio statistico della "massima correlazione" tra due livelli di intensità luminosa  $I_{test}(\mathbf{U})$  e  $I_{search}(\mathbf{U}+\mathbf{s})$ . Si assume come posizione cercata quella a cui corrisponde il massimo valore del coefficiente di correlazione normalizzato  $R_n(\mathbf{s})$ , calcolato per tutte le possibili posizioni che il *test patch* può assumere dentro la *search patch*. Il coefficiente di correlazione normalizzato  $R_n(\mathbf{s})$  si calcola secondo la seguente relazione :

$$R_n(s) = \frac{\sum_U I_{test}(U) I_{search}(U+s)}{\sqrt{\sum_U [I_{search}(U+s)]^2 M(U)}} \quad (5.5)$$

dove  $\mathbf{M}(\mathbf{U})$  rappresenta la matrice intensità del dominio  $\mathbf{U}$  da cui si prede  $I_{test}$  e  $\mathbf{U}$  è il vettore delle coordinate in *pixel*  $(u,v)$ .

In figura 5.19(a) è riportato un esempio dell'andamento della funzione di correlazione: dove c'è il picco, cioè il più alto valore di  $R_n(\mathbf{s})$  indica il vettore spostamento  $\mathbf{s}$  della *test patch*. In figura 5.19 (b) la curva che rappresenta l'andamento di  $R_n(\mathbf{s})$  è valutata a livello di singoli *pixel* in un intorno del picco di correlazione. In tal caso la precisione raggiunta è limitata al livello del *pixel*. Se si desidera una precisione maggiore, quindi una risoluzione sub-*pixel*, si raccordano i punti in un intorno del picco della funzione  $R_n(s)$  valutata il livello di singoli *pixel* con una doppia funzione interpolatrice cubica. White, Take e Boston riportano che mediamente questa interpolazione si raggiunge una risoluzione del vettore spostamento pari a 0.005 *pixel*. Un'ulteriore riduzione risulta inutile perché i valori ottenuti, accrescendo notevolmente il lavoro computazionale, sono persino minori degli errori associati a precisione ed accuratezza.

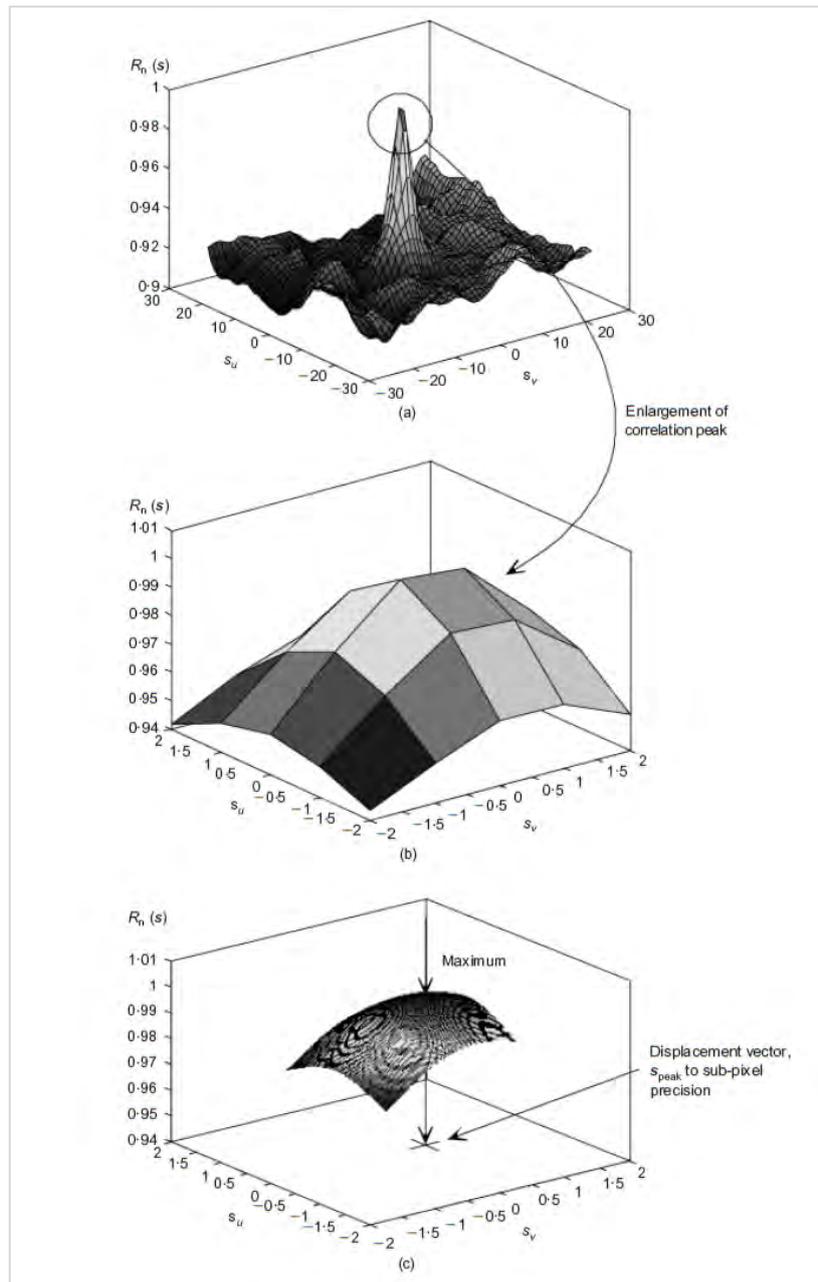


Figura 5.19 (a) Funzione di correlazione discretizzata; (b) ingrandimento del picco di correlazione; (c) valutazione del vettore spostamento a livello subpixel.

L'intero campo di spostamenti si ottiene ripetendo la procedura descritta per ciascuna *patch* in cui è stata suddivisa inizialmente la prima immagine e poi si deve fare per tutte le coppie di immagini che hanno a disposizione.

Con il procedere dell'analisi i picchi di correlazione possono risultare meno chiari perché, aumentando gli spostamenti di un terreno, si modifica sia la vista del terreno stesso sia il gioco di luce ed ombre creato da grani.

Queste variabili possono influenzare la corretta correzione tra test e *search patch* dei vettori spostamento scorretti ("wild" vectors). Per evitare questo rischio l'immagine dovrebbe essere aggiornata ad intervalli regolari durante l'analisi.

Nei loro studi White, Take e Boston riscontrano che la precisione della tecnica PIV applicata nel campo della geotecnica è influenzata sia dal contenuto dell'immagine sia dalla dimensione  $L$  della *patch test*. Tra i due fattori ha sicuramente più rilievo la dimensione  $L$  e ciò è confermato dalla relazione che esprime l'errore casuale ( $\rho_{pixel}$ ) presente in una sequenza di dati da un'analisi PIV.

Il numero di punti che si possono misurare all'interno di una patch è funzione del lato L della patch e del numero di *pixel* contenuto nell'immagine:

$$n_{pixel} = \frac{WH}{L^2} \quad (5.6)$$

Osservando le equazioni si evidenzia una contraddizione: *patch* di grandi dimensioni garantiscono una precisione maggiore, ma un minor numero di punti osservabili; *patch* con il lato L piccolo offrono la possibilità di osservare un numero più elevato di punti e quindi di esplorare in maggior dettaglio le immagini in esame. Per scegliere la dimensione ideale delle *patch* bisogna tener conto di questo conflitto di interessi e valutare la soluzione più bilanciata.

GeoPIV è il software ideato e sviluppato da D. J. White e W. Take per implementare la tecnica del *particle image velocimetry* in maniera adatta ai test sperimentali geotecnici. Partendo da una serie di fotografie digitali scattate durante l'evolversi della prova, GeoPIV determina l'entità degli spostamenti riscontrati tra una foto e l'altra. Plottando poi dei dati ottenuti si possono ricostruire i campi di spostamento prestando attenzione al fatto che i valori forniti dal software GeoPIV sono espressi nelle coordinate dello spazio immagine quindi in *pixel*.

GeoPIV è un "modulo" del programma di calcolo MatLab e pertanto viene compilato da MatLab stesso. L'analisi segue quella presentata nel paragrafo ed è riassunta nel diagramma riportato in figura

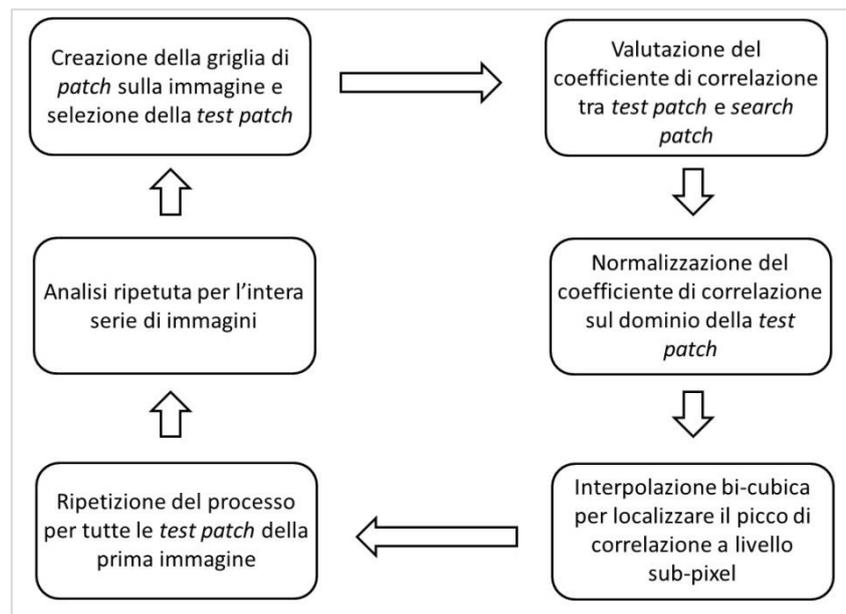


Figura 5.20 Diagramma rappresentante la sequenza delle operazioni dell'analisi PIV

Per poter funzionare il GeoPIV necessita di due file di lancio:

- File contente le informazioni utili per definire l'analisi da svolgere
- File contenente le coordinate della griglia di *patch* iniziali

Nel primo file si definiscono i parametri che caratterizzano un'analisi:

- Dimensioni e coordinate delle *test patch* sulla prima immagine;

- *Search zone*, cioè il massimo spostamento previsto della *test patch* (si assume pari a circa la metà della differenza tra la dimensione della *search patch* e della *test patch*);
- Serie di immagini da confrontare;
- “intervallo di analisi” (*leadfrog*), cioè quante foto confrontare tra loro tenendone una di riferimento (ad esempio il numero 1 indica che la prima immagine è confrontata con la seconda, la seconda con la terza e così via, mentre il 2 indica che la prima immagine è confrontata con la seconda e con la terza, poi la terza con la quarta e la quinta, etc.)

Il software GeoPIV fornisce sempre dei risultati, salvo errori grossolani nell'uso del programma che però vengono prontamente segnalati, per cui spetta all'utente la valutazione dell'attendibilità dei dati ottenuti. A tal fine un buon *set up* dei parametri sopra elencati può essere d'aiuto. La dimensione delle *test patch* influenza la precisione della tecnica di misurazione mediante PIV, inoltre *patch* troppo piccole sono più sensibili a distorsioni o variazioni della luminosità per cui possono far sorgere *will vectors*. Il valore impostato di *search zone* deve essere leggermente più grande del massimo vettore spostamento previsto. Così facendo si evita l'insorgere di *will vectors* che rappresentano il vettore spostamento troncato a causa dell'area di ricerca limitata. L'ideale sarebbe estendere l'area di ricerca all'intera immagine a ciò comporterebbe un notevole aumento dell'onere di calcolo dell'elaboratore. Il numero associato al parametro *leapfrog* influenza la precisione dato che l'errore di misurazione accumulato nell'ultima immagine è dato che l'errore di immagine è dato dalla seguente relazione:

$$e = \frac{\sqrt{(n-1)}}{f} \quad (5.7)$$

Dove  $n$  è il numero delle fotografie e  $f$  quello del *leapfrog*. Risulta evidente che l'uso di alti valori di *leapfrog* accresce la precisione ma allo stesso comporta l'insorgere di *will vectors* in quanto c'è il rischio che la *test patch* iniziale perda definizione e diventi irriconoscibile nel procedere dell'analisi. Oltre ai parametri strettamente necessari per definire l'analisi ci sono altri fattori che possono influenzare i risultati: graffi o riflessi sulla superficie del modello usato per un test sperimentale, insufficiente definizione delle particelle e notevoli variazioni nell'aspetto delle *patch* in seguito ad uno spostamento.

Dopo l'esecuzione dell'analisi, GeoPIV fornisce gli *output files*, uno per ogni confronto tra due immagini, contenenti le coordinate che identificano delle *patch* spostata ed i corrispondenti vettori spostamento.

Dal lato pratico, il risultato dell'analisi PIV è il campo di spostamento delle particelle in un determinato periodo di tempo. È possibile anche, utilizzando delle sottofunzioni che elaborano le matrici dell'analisi PIV, arrivare ad avere dei contour, delle immagini dove sono riportati con varie gradazioni di colore gli spostamenti delle varie particelle.

Durante l'esperimento la fotocamera scattava una foto ogni 5 secondi quindi per noi il passo di analisi della tecnica sarà di 5 secondi.

Nel nostro caso, sono stati calcolati gli spostamenti cumulati ed incrementali ad ogni passo oltre che i vettori spostamento sempre ad ogni passo.

Per meglio capire il funzionamento del GeoPiv si riportano di seguito i vari passi che costituiscono l'analisi:

- Dopo aver acquisito una serie di immagini digitali del fenomeno da studiare (con una frequenza impostata a priori e dipendente dalla velocità del fenomeno stesso), vengono scritte delle matrici  $n*m$  che contengono i valori corrispondenti ad ogni pixel della foto: le dimensioni della matrice sono quindi quelle della foto in pixel;

- Il passo successivo è quello di indicare la zona di interesse per l'analisi delle immagini: per far ciò si esegue sulla *command window* di Matlab il comando *geoMESHuv8('nomefile.txt,n1,n2)*. Sulla foto di partenza va individuata la *mesh* iniziale (ovvero l'area soggetta all'analisi di lato non inferiore a 6 *pixel*). Per ogni *patch* (sottoarea componente la *mesh*) vengono considerate le coordinate u,v del suo centro geometrico: in questa fase esse sono espresse in *pixel*;

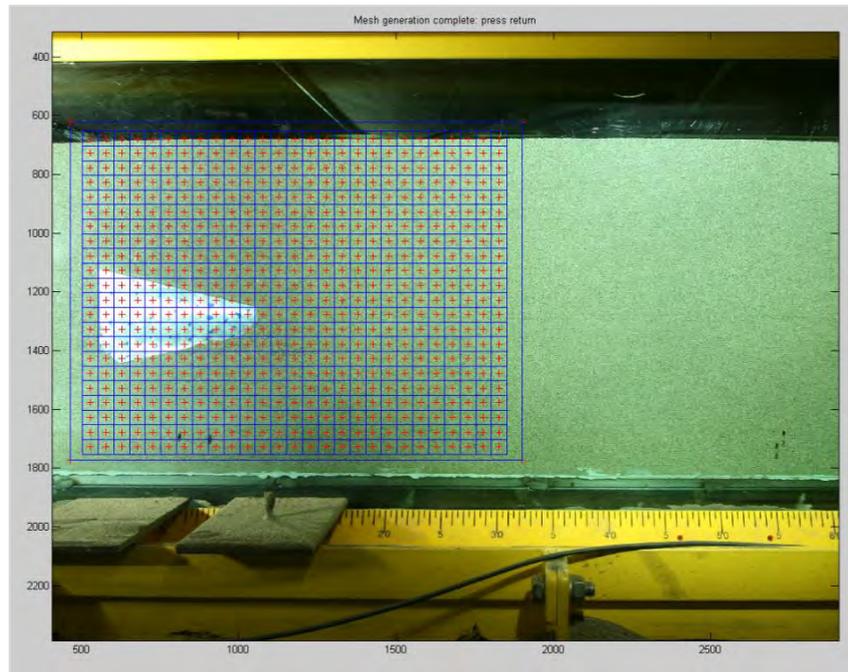


Figura 5.21 Esempio di mesh creata con GeoPIV

- Il file di output sono due file di tipo testo chiamati *ELNomefile.txt* e *MEshnomefile.txt* che contengono tutte le informazioni riguardanti la geometria della *mesh*;

- Viene creato anche un file sempre di testo denominato *GeoPIV7\_launcher.txt* dove all'interno ci sono tutte le informazioni necessarie al programma per l'analisi delle immagini.

```

%GeoPIV7 LAUNCHFILE, April 2002, Dave white & Andy Take
%project: GeoPIV demonstration
%task:

%[MESH TO LOAD]
%MESH_example.txt 0           %filename of initial mesh
1 MESH_nometfile.txt 0

%[PIV ANALYSIS]
%searchzonepixels 15         %PIV search zone, smax. (<max disp).
2 searchzonepixels 30

show_mesh 0                  %Show PIV mesh during analysis.
show_patch 0                 %Show each PIV patch during analysis.
show_quiver 0                %Show quiver plot during analysis.
show_vector 0                %Print vector magnitude during analysis.

spare_A 0                    %Spare. For future use.
spare_B 0                    %Spare. For future use.
spare_C 0                    %Spare. For future use.
spare_D 0                    %Spare. For future use.
spare_E 0                    %Spare. For future use.

%D:\users\diw29\GeoAPPS\geoPIV\padova 0           %Location of image files
4 C:\D51rRemote\cartella_immagini

teapfrog 1                   %Leapfrog flag

subpixelmeth 1               %FFT on/off boolean

%[IMAGES]
5 IMG_0008.JPG
  IMG_0009.JPG
  IMG_0010.JPG
  IMG_0011.JPG
  IMG_0012.JPG
  IMG_0013.JPG
  IMG_0014.JPG
  IMG_0015.JPG
  IMG_0016.JPG

```

Figura 5.22 Esempio di un file launcher di GeoPIV

- File dove è riportata la geometria della mesh iniziale da dove il programma comincia all'analisi.
  - Dimensione in pixel dell'area della ricerca.
  - Opzioni che permettono o meno di avere una visualizzazione realtime ad ogni passo dell'analisi per quanto riguarda *mesh*, *patch*, ecc.
  - Si indica la directory dove sono presenti le foto da analizzare
  - Sequenza delle immagini da analizzare
- Le immagini vengono analizzate in modo sequenziale: dopo aver cercato la prima *patch* sulla prima immagine, il programma cerca la stessa *patch* sulla seconda immagine (non su tutta l'immagine ma su una certa area il cui raggio è impostato dall'utente); il vettore di spostamento della prima *patch* tra le prime due immagini è il vettore congiungente i due rispettivi baricentri della *patch*, mentre la velocità è pari allo spostamento moltiplicato per la frequenza di acquisizione delle foto;
  - La precedente operazione viene ripetuta per tutte le *patches* della *mesh* e per tutte le immagini: si ottiene quindi il campo di spostamenti della *mesh* per ogni singola immagine della sequenza; le coordinate contenute nel file di testo di output sono tutte in *pixel*, per trasformarle in metri bisogna procedere alla conversione da *pixel* in mm. Va definito il coefficiente  $\alpha$  [mm/pixe/] utile alla conversione;
  - Ultimo passo è quello di plottare i risultati ottenuti in maniera da avere grafici che illustrino gli spostamenti i direzione orizzontale e verticale.

## **5.10. SET UP dell'Esperimento e Metodologia di Prova**

Di seguito vengono descritte le operazioni eseguite per la realizzazione del modello fisico:

- a) Posizionamento delle celle di carico per la misurazione
- b) Posizionamento del chiodo
- c) Disposizione Lampade
- d) Posizionamento Fotocamera
- e) Preparazione timer per l'estrazione del chiodo

### **5.10.1 Posizionamento delle Celle di Carico**

Per questo esperimento, come esposto nei capitoli precedenti, si utilizzeranno 3 celle di carico posizionate in diversi punti del modello fisico in modo da misurare le varie forze in gioco. Sotto al pianale sono sistemate due delle tre celle di carico utilizzate:

- una cella a flessione collegata direttamente alla piastrina del pianale in modo da misurare la forza verticale trasmessa dalla movimentazione del chiodo;
- una cella per la misurazione della forza a compressione derivante dallo spostamento della piastrina del pianale, collegata alla piastra tramite una barra di acciaio. Va precisato che la piastrina che chiude il foro quadrato praticato sul pianale ha un gioco di qualche millimetro su tutti e quattro i lati, il quale viene riempito da vasellina in modo da impedire che la sabbia sovrastante la piastrina entri e vada ad intasare l'apertura senza però impedire alla piastrina un eventuale scorrimento sotto carico; dall'altra parte, alla cella a compressione è impedito il movimento tramite il fissaggio di una barra che fuoriesce frontalmente al modello.

Queste due celle sono posizionate prima che avvenga la deposizione della sabbia all'interno del modello e la loro posizione dipende dalla posizione che avrà la testa del chiodo all'inizio della prova.

La terza cella di carico, atta a misurare la forza assiale di estrazione del chiodo, viene fissata tra il chiodo fuoriuscente dalla piastra frontale del modello e il macchinario usato per l'estrazione del chiodo stesso. Essa quindi viene posizionata necessariamente dopo il posizionamento del chiodo a circa metà stesa del materiale.

### **5.10.2 Posizionamento del Chiodo**

Per quanto riguarda il posizionamento del chiodo si sono scelte tre posizioni in senso longitudinale e due posizioni in senso trasversale. La quota del chiodo rispetto al piano inferiore del modello è stata tenuta fissa in modo da avere il chiodo in una posizione centrale rispetto al terreno presente. Rispetto al piano inferiore del modello, dove sono presenti le piastrine quadrate si ha una quota di sabbia pari a 32cm, la barra filettata del chiodo si trova ad una quota di 16cm, esattamente a metà. Essendo le piastre di dimensioni diverse, per la piastra di forma conica allungata la posizione è stata variata rispetto alle altre, cioè la si è disposta 10 cm più lontano rispetto alla piastra frontale del modello, in modo tale da avere una corsa di estrazione il più possibile uguale, o che comunque la testa del chiodo non risenta durante l'estrazione della presenza ravvicinata della piastra frontale, essendo essa lunga 20 cm circa al contrario delle altre che arrivano a misurare al massimo 10cm circa.

Per ovvie ragioni si sono traslate indietro di dieci centimetri anche le celle di carico sotto il pianale, facendole corrispondere al foro immediatamente retrostante rispetto alla posizione che assumono per le altre piastre.

Una volta posizionato il chiodo viene anche montata la cella di carico a trazione, al di fuori del modello oltre la piastra frontale, avvitandola direttamente sulla barra filettata del chiodo e collegando ad essa l'estrattore. Tutto ciò che si trovava all'esterno del modello veniva accuratamente coperto per evitare che la sabbia andasse a rovinare la cella di carico e l'estrattore. A questo punto il modello viene riempito in modalità automatica tramite la tramoggia. La stesa prosegue fino alla quota desiderata.

### 5.10.3 Disposizione Lampade

Conclusa la stesa della sabbia all'interno del modello si passava alla disposizione di due lampade Daylight 300 della Lupo.

L'utilizzo di questo tipo di lampade è stato necessario per garantire la giusta illuminazione al modello, in modo da avere delle foto adatte all'analisi PIV e quindi per cercare di limitare il più possibile la presenza di riflessi causati dalla luce naturale entrante da porte e finestra e da quella artificiale delle luci presenti in laboratorio, si è deciso di illuminare la parte del modello interessata esclusivamente da due lampade Daylight 300 della Lupo, tenendo spente le luci artificiali del laboratorio e limitando al massimo l'entrata della luce naturale per mezzo delle tende già disposte sulle finestre e sulla porta del laboratorio per l'analogo problema durante altre sperimentazioni precedenti.

Sono state disposte su due supporti, posizionate agli estremi della sponda laterale del cassone come si vede nelle foto sottostanti.



Figura 5.23 Posizione prima lampada



Figura 5.24 Posizione seconda lampada



Figura 5.25 Vista frontale del modello con il posizionamento delle lampade

Come si vede anche dalle foto è stato disposto anche un telo scuro sopra e dietro il modello in modo da non far filtrare né da sopra o né da dietro la luce.

#### 5.10.4 Posizionamento e Regolazione Fotocamera

Per l'acquisizione delle immagini, come detto in precedenza, è stata utilizzata una Canon EOS 440D da 10.1 megapixel con obiettivo EF 10/22mm f/3.5-4.5 USM.

La fotocamera è stata collegata ad un computer che grazie al software specifico, il DSLRemote Pro, ha permesso di gestire lo scatto della macchina da remoto. Per le prove si è impostato una frequenza di scatto di una foto ogni 5 secondi.

La fotocamera è stata fissata su un foro presente su lato del cassone per mezzo di una piastrina, ad una distanza di 58 cm dal vetro che contiene il modello con l'asse dell'obiettivo ortogonale al vetro del modello e ad un'altezza tale da avere l'altezza dell'asse dell'obiettivo alla stessa quota della barra che compone il chiodo.

Di seguito si elencano le impostazioni usate nel software DSLRemote PRO per il controllo automatico degli scatti:

EOS 400D

Tempo di esposizione 1/40s @f 5/6

Regolazione di luminosità ISO 400

Size/Quality : large/fine (è la risoluzione massima)

White balance: shade (si deve ottenere una copertura dei colori omogenea lungo tutto lo spettro)

Metering mode: center-weighted

Drive mode : single shot

Lunghezza focale: 10mm

Obiettivo impostato su MF con focus a 0,5 metri



Figura 5.26 Posizione fotocamera sulla sponda del cassone con collegamento al pc per acquisizione foto

### 5.10.5 Preparazione Timer per l'Estrazione del Chiodo

L'utilizzo del timer per l'estrazione del chiodo è stato reso necessario per avere una velocità di estrazione il più uniforme possibile e il più ripetibile possibile. L'estrazione avvenendo, non in modo automatico ma in modo manuale tramite la rotazione di un mandrino necessitava di un metodo che permettesse all'operatore di essere il più ripetitivo possibile.

Si è deciso come velocità di estrazione una velocità pari a un giro di mandrino ogni 12sec, un giro di mandrino in termini di lunghezza di estrazione equivale a 2 mm. È stato scelto come timer una semplice applicazione per smartphone che a schermo simulava lo scorrere di questi 12 secondi tramite una barra circolare che compieva in appunto 12 sec un giro completo. Questo rendeva molto semplice da parte dell'operatore il mantenimento della velocità di estrazione prestabilita.



Figura 5.27 Screenshot timer usato per l'estrazione del chiodo



Questi test sono stati eseguiti in tre posizioni diverse con l'obiettivo di capire qual è la posizione ottimale per aver le misurazioni più significative e per provare inoltre a capire come si sviluppa il cono di influenza determinato dal sistema chiodo-plinto.

Una volta scelta la posizione migliore si è proceduto con la seconda tipologia di prova, nella quale l'ancoraggio è posto in posizione centrale nel cassone (non appoggiato al vetro laterale): questo tipo di prove è stato eseguito nella sola posizione ottimale rispetto i piatti di misura determinata nelle prove precedenti.

Nella 2° tipologia di prove l'acquisizione delle immagini digitali mediante fotocamera è stata eseguita ugualmente, ma, come si vedrà più in dettaglio successivamente, l'analisi con GeoPIV non è riuscita a evidenziare alcun spostamento e di conseguenza non fornisce risultati utili per le successive valutazioni.

La metodologia di estrazione rimane la stessa per tutte le prove.

## 7. Prove

Nel seguente capitolo vengono riportati tutti i grafici relativi ad entrambe le tipologie di prove svolte e tutti i vari confronti.

Per ogni tipologia di prova vengono riportati tre grafici. Un grafico riporta l'andamento della capacità portante durante l'estrazione per ogni testa del chiodo utilizzata. Gli altri due invece riportano l'andamento della sigma di compressione e di taglio impresse dal terreno sulla piastra rimovibile presente sul pianale alla quale è fissata la cella a flessione e di compressione. Oltre a questi vengono riportate una serie di immagini derivanti dall'analisi del GeoPIV utili a determinare in maniera qualitativa il cuneo di spinta imposto dalla testa del chiodo al terreno.

Il primo grafico, relativo alla misurazione della capacità portante, è il risultato della lettura fatta durante l'estrazione da parte della cella di carico a trazione montata direttamente sul chiodo divisa per l'area di impronta di ciascuna testa usata. Questo viene fatto perché le teste hanno area di impronta diverse, ed essendo la forza di pull-out influenzata dall'area di impronta stessa, non sarebbe stato possibile fare un confronto tra le varie forme di testa del chiodo senza prescindere dall'area di impronta.

Mentre per il secondo e il terzo grafico, il valore misurato, secondo per secondo, dalla cella di carico a compressione e a flessione è stato diviso per l'area della piastrina rimovibile alla quale erano collegate direttamente (cella a flessione) e indirettamente (cella a compressione). Con indirettamente si intende il fatto che la cella a compressione che misura lo sforo di taglio è collegata in maniera solidale al carrellino posto sulla rotaia e sul quale è fissata la cella a flessione. L'area della piastrina rimovibile è pari a  $10000\text{mm}^2$ .

Un'altra precisazione da fare sui grafici delle sigma di compressione e di taglio è che questi grafici misurano l'incremento delle sigma, impresso dal terreno alla piastra rimovibile, causato dall'estrazione del chiodo dal terreno. Una volta acquisiti i dati dalle celle, viene determinato il valore che la cella aveva misurato prima dell'inizio dell'esperimento e poi questo verrà sottratto a tutti i dati misurati durante l'esperimento. Per esempio, per quanto riguarda la cella di carico a flessione che misura la forza di compressione essa parte da un valore pari al peso della colonna di sabbia che insiste sulla piastra a cui è collegata. La cella a flessione, come si vede nel grafico, registra all'aumentare della forza impressa sulla piastra rimovibile un aumento del valore in senso negativo, questo perché essendo una cella per la misurazione della forza di flessione, un incremento della compressione sulla parte mobile della cella mette in trazione le fibre superiori della cella stessa e come da convenzione produce una flessione negativa. Anche la cella a compressione, dalla quale poi si determina la sigma di taglio, registra un valore negativo all'aumentare dello sforzo sulla piastrina. Questo perché la cella da valori positivi quando misura sforzi di trazione e negativi a compressione.

Per quanto riguarda la capacità portante verranno determinati il valore massimo e il valore minimo residuo per ogni tipologia di prova. Per valore minimo residuo è il valore di capacità portante minimo registrato successivamente al raggiungimento del valore massimo. Per la sigma di compressione e per la sigma di taglio viene determinato solo il valore massimo in valore assoluto ma minimo valutando anche il segno raggiunto.

Per la parte riguardante l'analisi fatta con il GeoPIV, si sono riportate le immagini contenenti i vettori spostamento delle particelle di terreno ad intervalli, il più possibile, regolari. L'intervallo preso in esame era di 2,5 cm di estrazione del chiodo. Va precisato però, come detto in precedenza, che la determinazione dell'angolo è di tipo qualitativo, essendo fortemente influenzata dalla sensibilità dell'operatore. I vettori di spostamento presenti nelle immagini vengono utilizzati solamente per capire quali particelle di terreno hanno avuto uno spostamento e quali no, per determinare quindi il cuneo di spinta.

# 7.1. Prove in Posizione Laterale

## 7.1.1. Cono Allungato

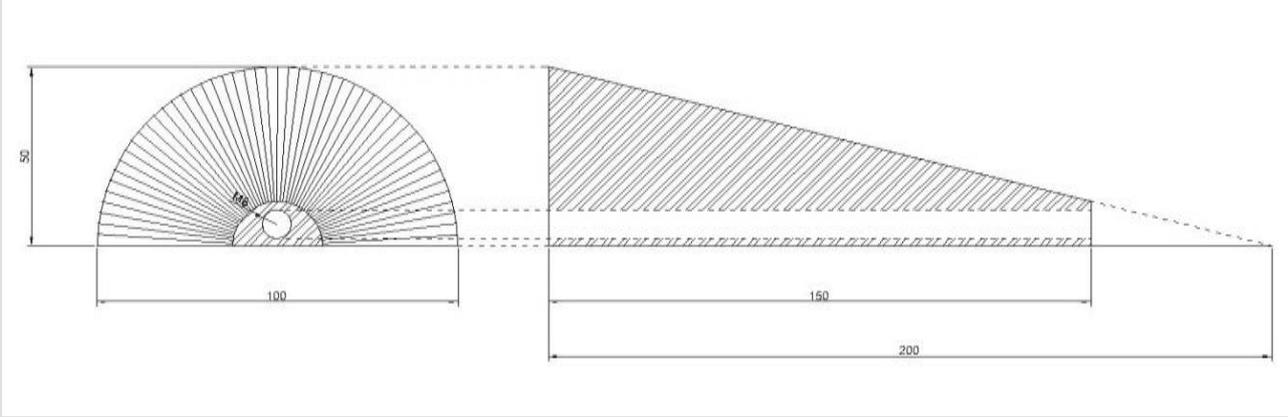


Figura 7.1 Geometria Cono Allungato

### 7.1.1.1. Cono Allungato Posizione P1

Prova svolta il 16-04-2014

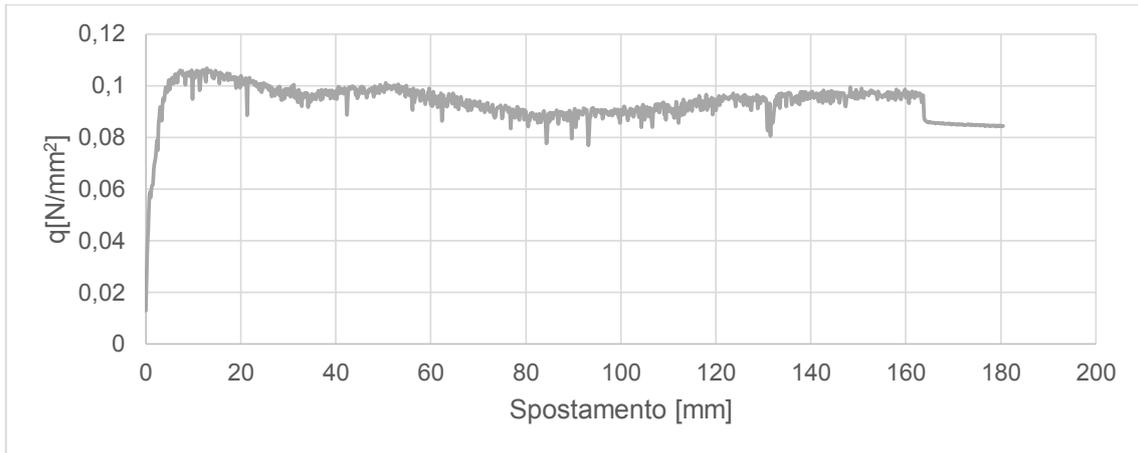


Grafico 7.1 Andamento Capacità Portante per il Cono Allungato in posizione P1

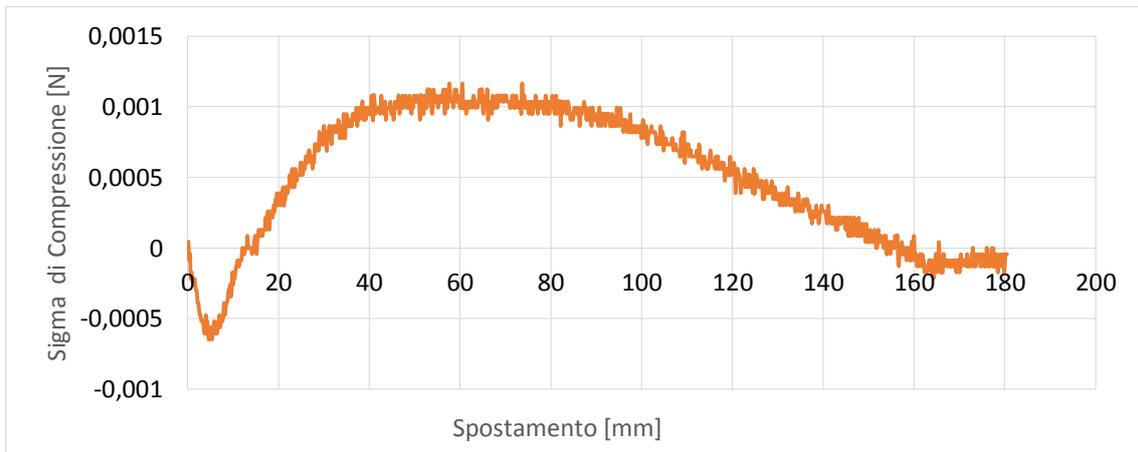


Grafico 7.2 Andamento Sigma di Compressione per il Cono Allungato in posizione P1

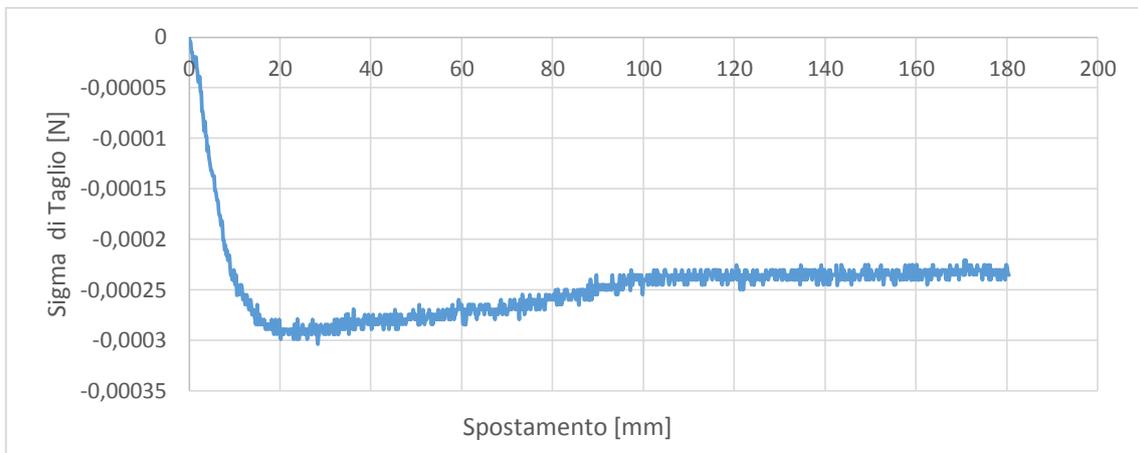


Grafico 7.3 Andamento Sigma di Taglio per il Cono Allungato in posizione P1

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

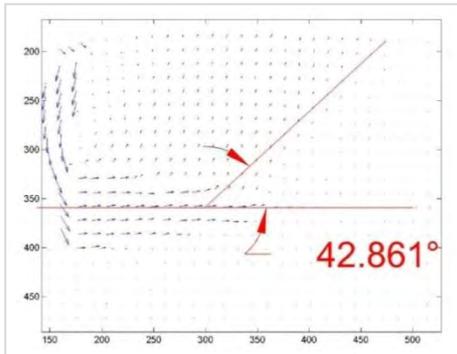


Figura 7.2 Spostamento pari a 2,5 cm

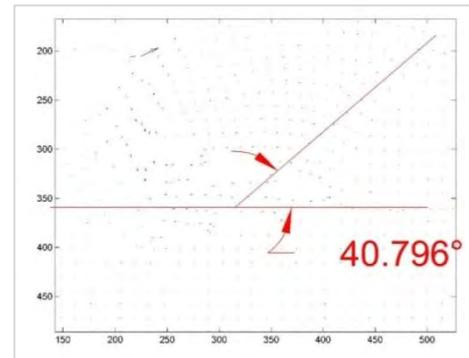


Figura 7.6 Spostamento pari a 12,5 cm

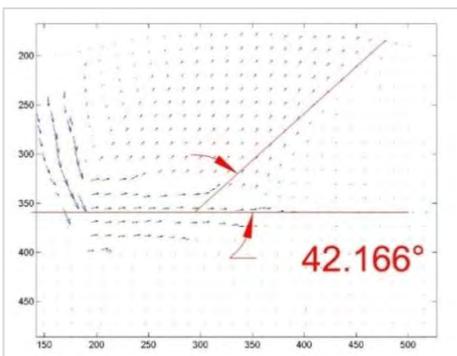


Figura 7.3 Spostamento pari a 5 cm

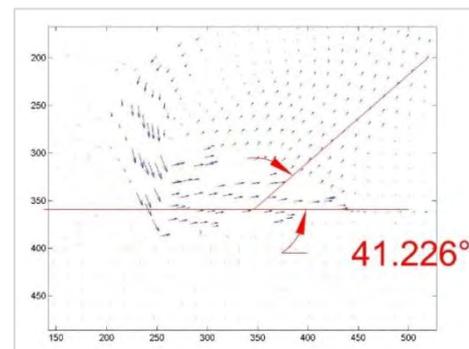


Figura 7.7 Spostamento pari a 15 cm

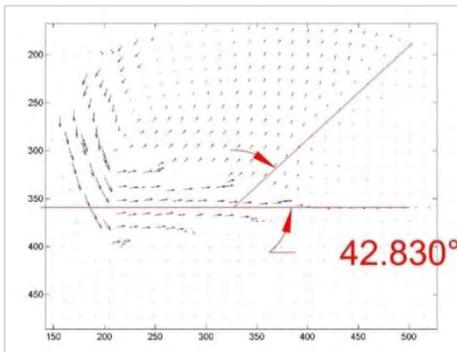


Figura 7.4 Spostamento pari a 7,5 cm

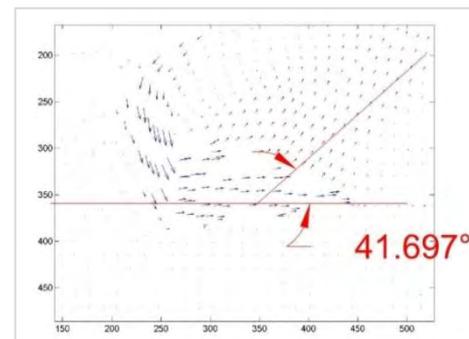


Figura 7.8 Spostamento pari a 17,5cm

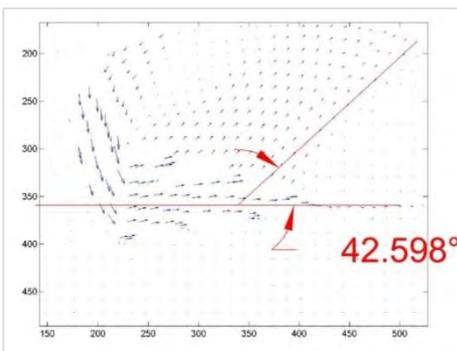
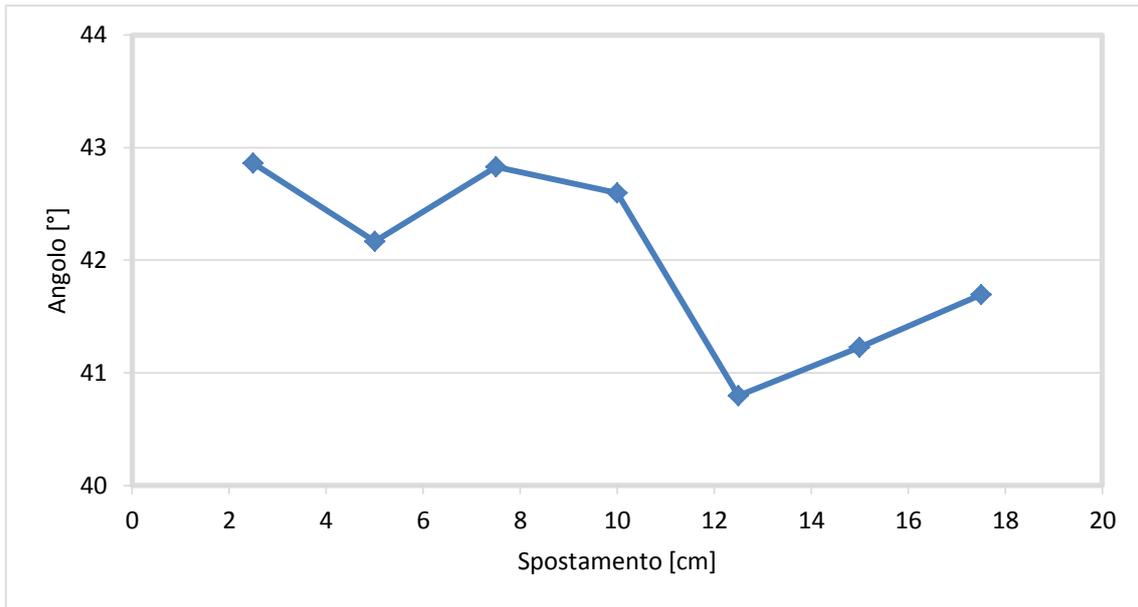


Figura 7.5 Spostamento pari a 10 cm



*Grafico 7.4 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo*

### 7.1.1.2. Cono Allungato Posizione P2

Prova svolta il 22-04-2014

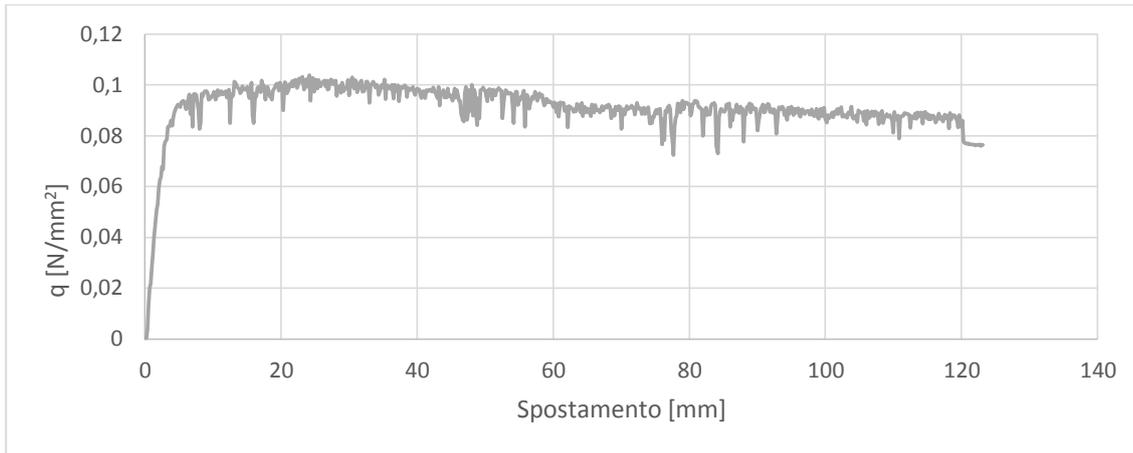


Grafico 7.5 Andamento Capacità Portante per il Cono Allungato in posizione P2

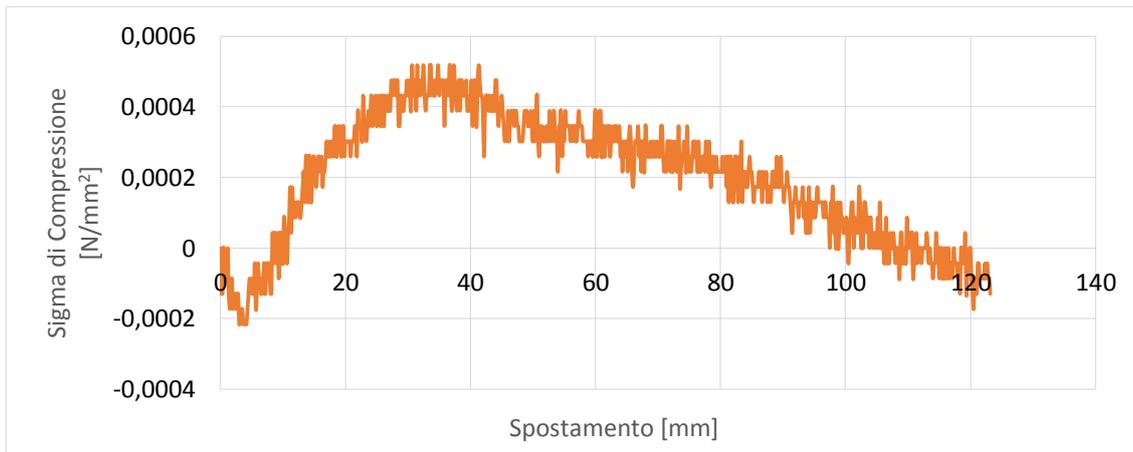


Grafico 7.6 Andamento Sigma di Compressione per il Cono Allungato in posizione P2

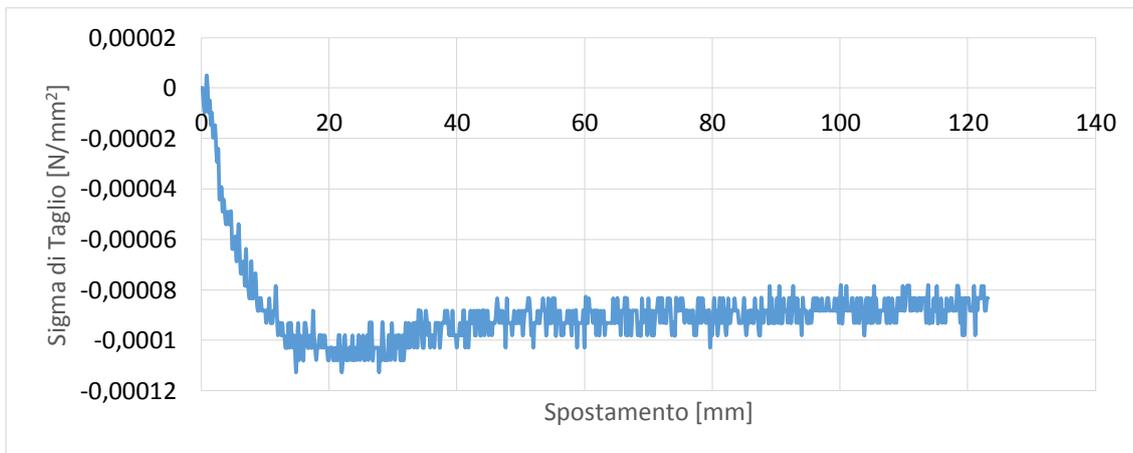


Grafico 7.7 Andamento Sigma di Taglio per il Cono Allungato in posizione P2

## Analisi dei Risultati del Software geoPIV

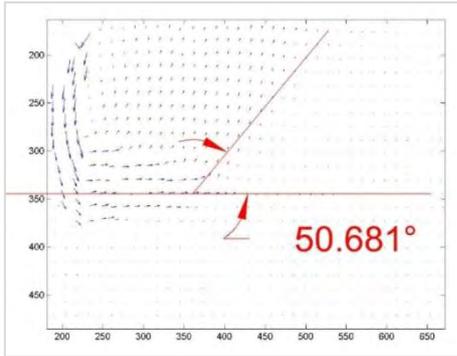


Figura 7.9 Spostamento pari a 2,5cm

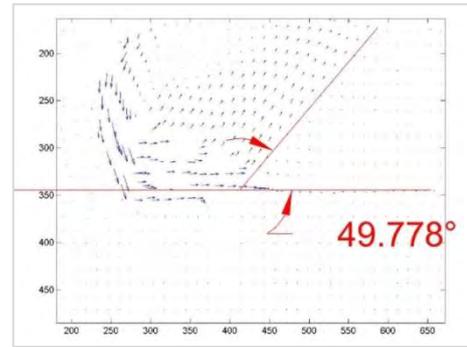


Figura 7.12 Spostamento pari a 10cm

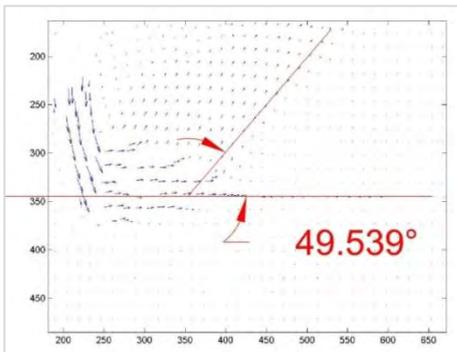


Figura 7.10 Spostamento pari a 5cm

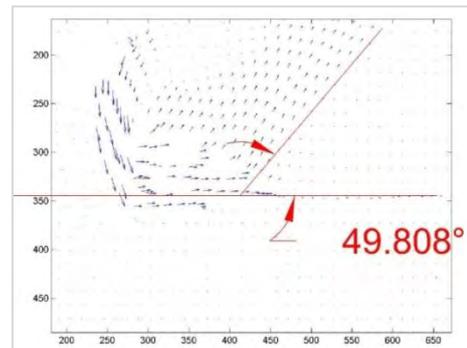


Figura 7.13 Spostamento pari a 12,5cm

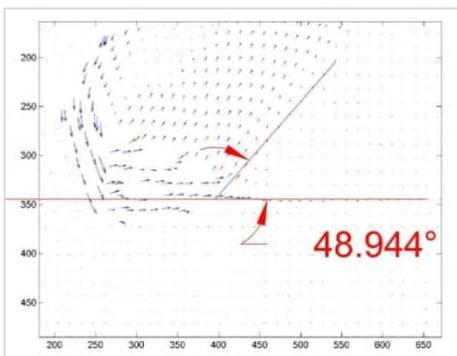


Figura 7.11 Spostamento pari a 7,5cm

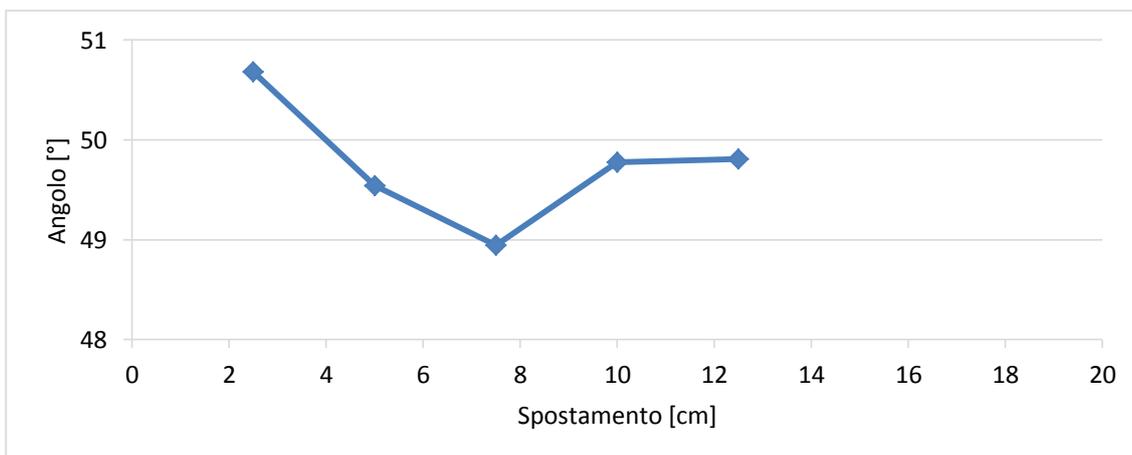


Grafico 7.8 Andamento del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.1.3. Cono Allungato Posizione P3

Prova svolta il 23-04-2014

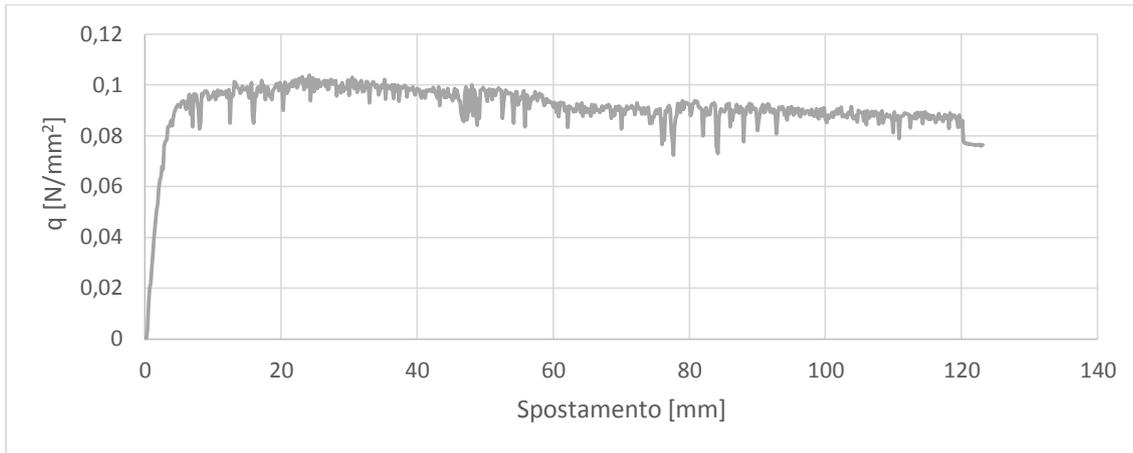


Grafico 7.9 Andamento Capacità Portante per il Cono Allungato in posizione P3

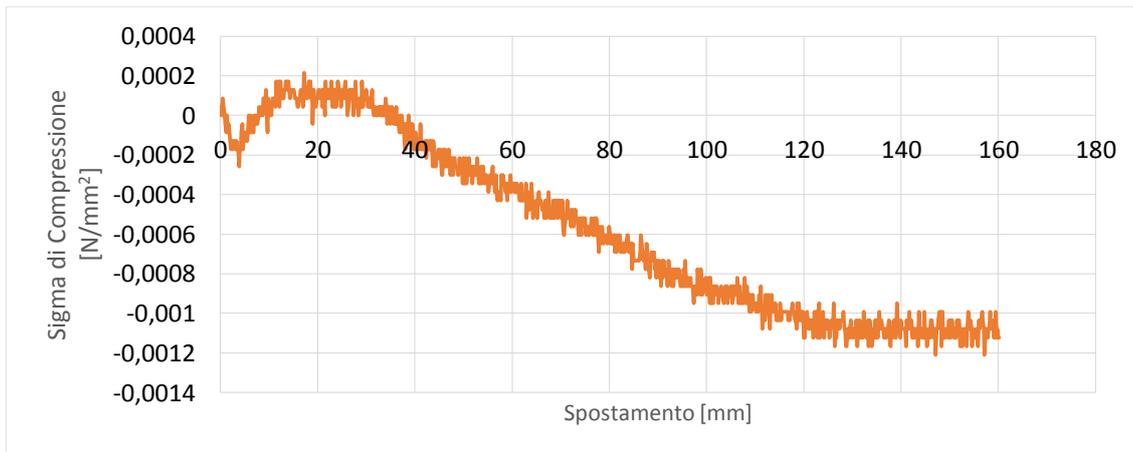


Grafico 7.10 Andamento Sigma di Compressione per il Cono Allungato in posizione P3

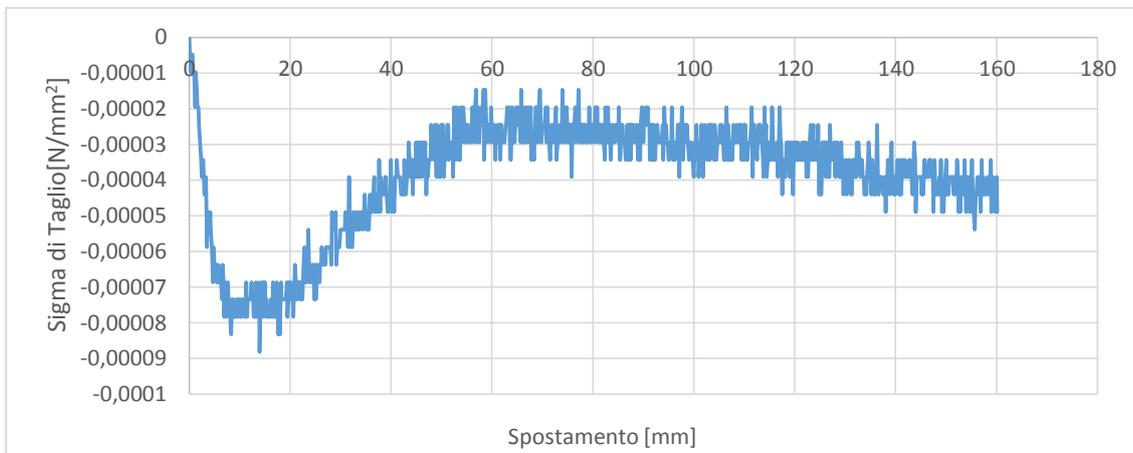


Grafico 7.11 Andamento Sigma di Taglio per il Cono Allungato in posizione P3

### 7.1.1.4. Cono Allungato Posizione P3bis

Prova svolta il 24-04-2014

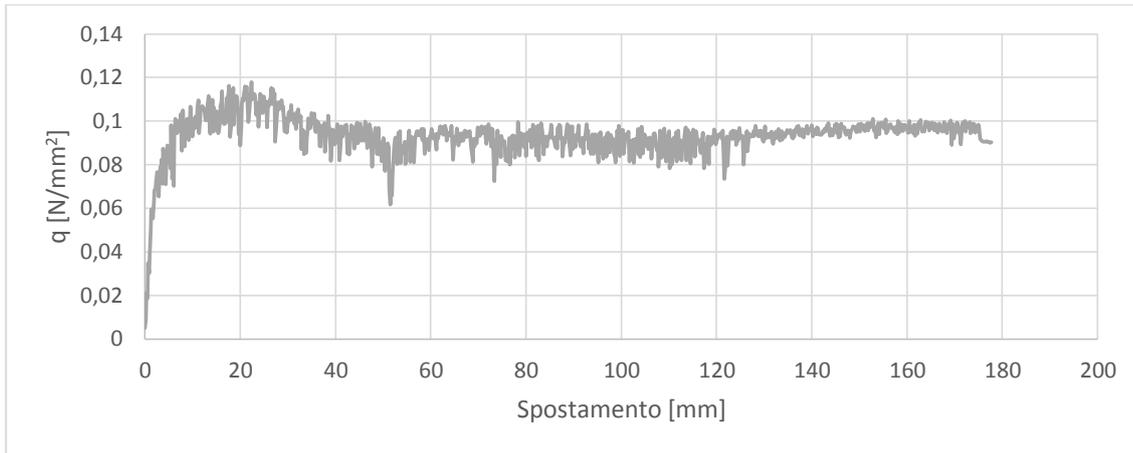


Grafico 7.12 Andamento Capacità Portante per il Cono Allungato in posizione P3bis

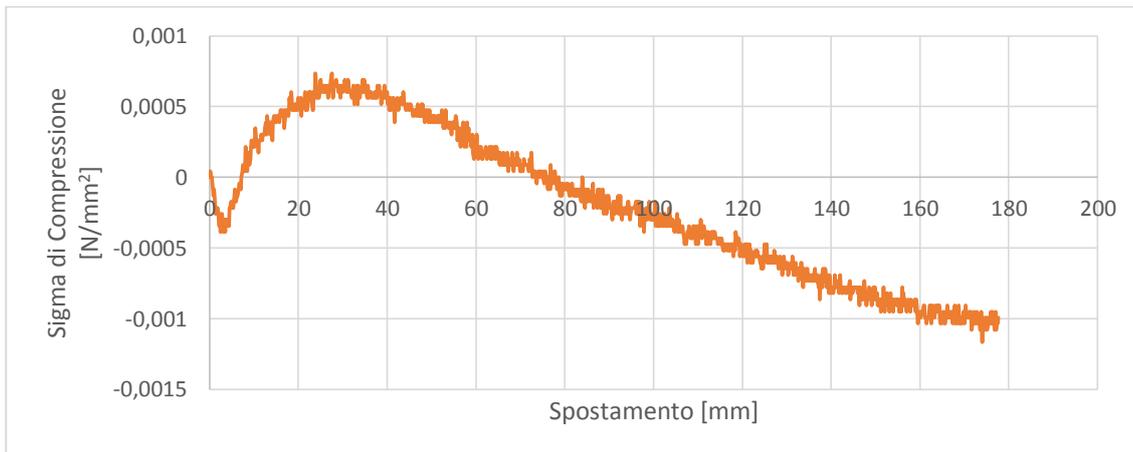


Grafico 7.13 Andamento Sigma di Compressione per il Cono Allungato in posizione P3bis

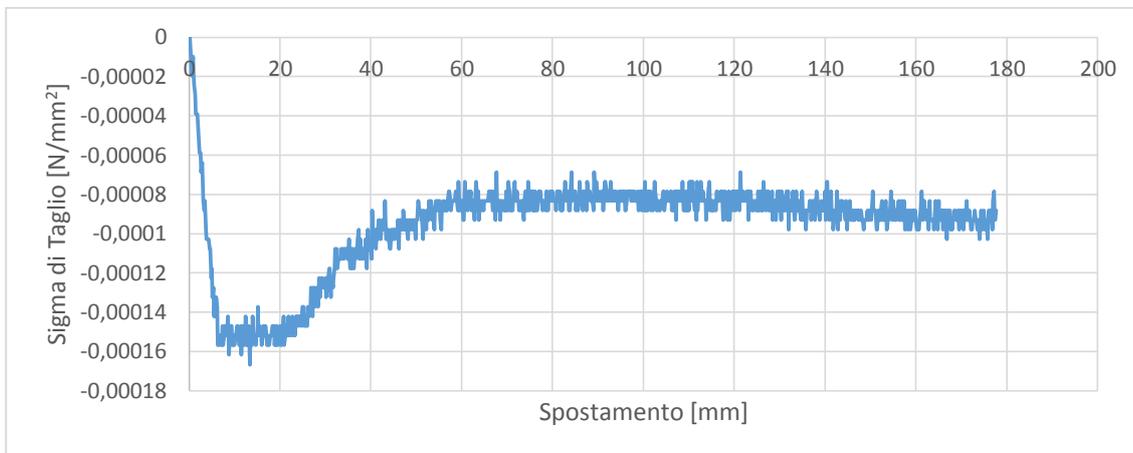


Grafico 7.14 Andamento Sigma di Taglio per il Cono Allungato in posizione P3bis

## Analisi dei Risultati del Software geoPIV

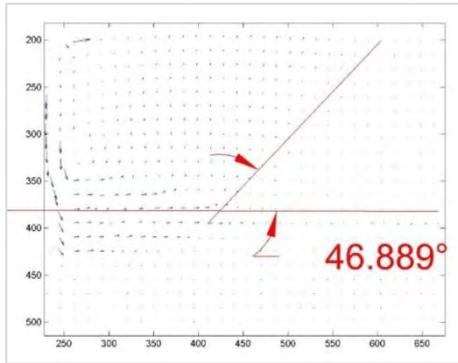


Figura 7.14 Spostamento pari a 2,5 cm

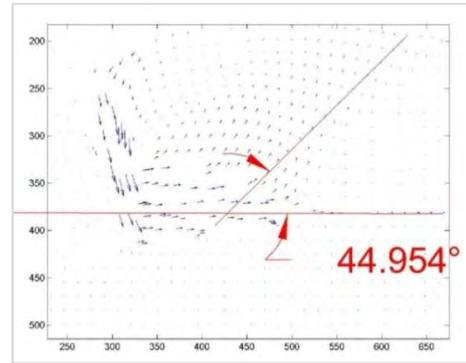


Figura 7.18 Spostamento pari a 12,5 cm

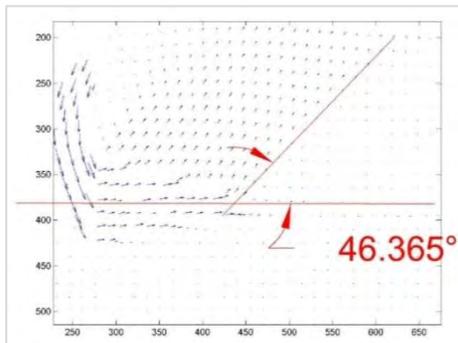


Figura 7.15 Spostamento pari a 5 cm

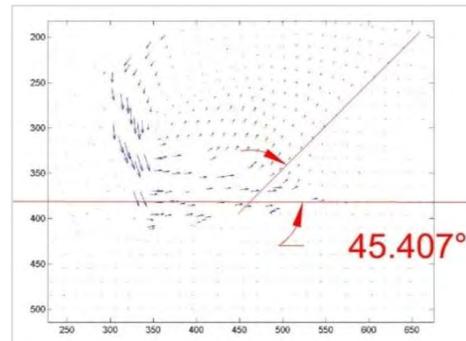


Figura 7.19 Spostamento pari a 15 cm

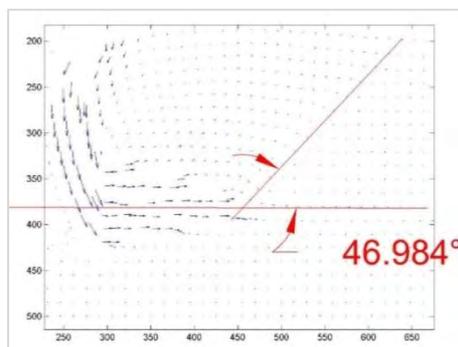


Figura 7.16 Spostamento pari a 7,5 cm

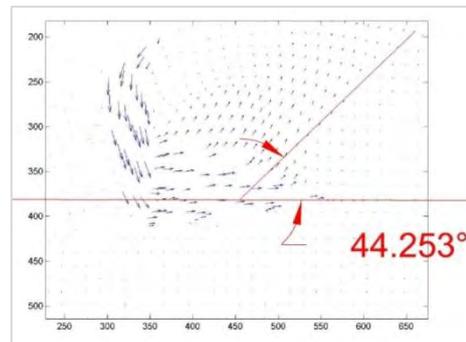


Figura 7.20 Spostamento pari a 17 cm

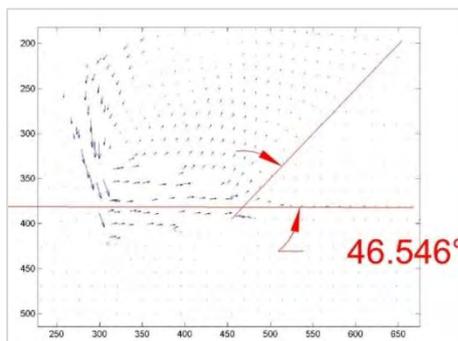
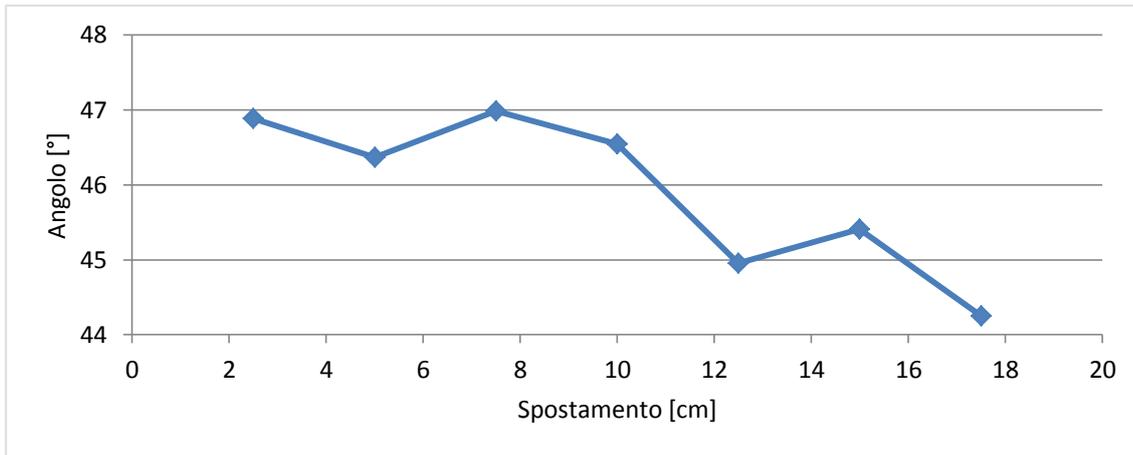


Figura 7.17 Spostamento pari a 10 cm



*Grafico 7.15 Andamento del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo*

### 7.1.1.5. Confronti tra le Diverse Posizioni per il Cono Allungato

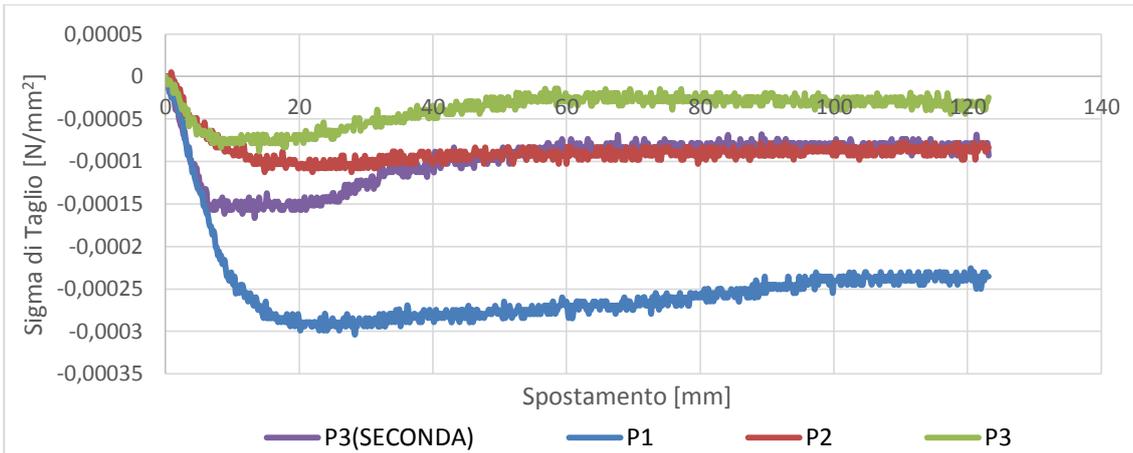


Grafico 7.16 Confronto delle Sigma di Taglio a seconda della posizione

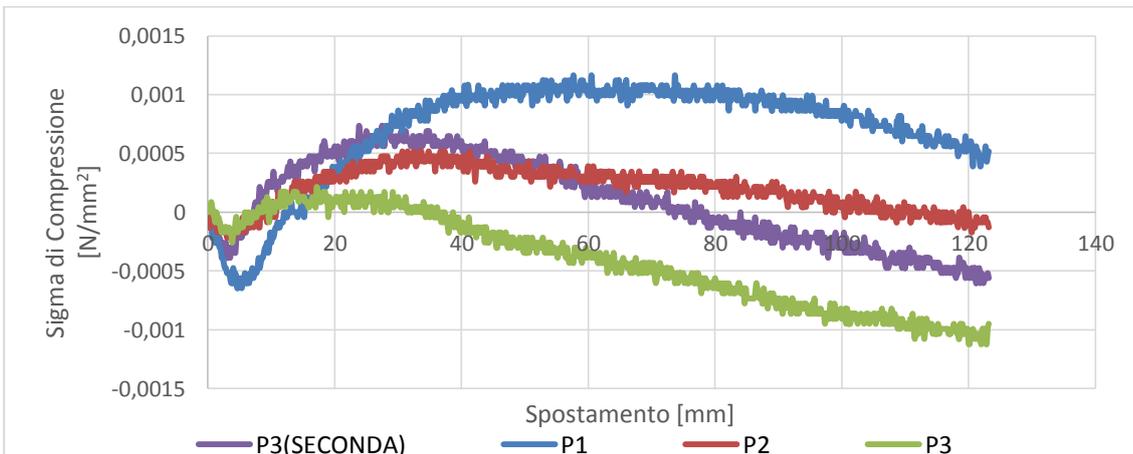


Grafico 7.17 Confronto delle Sigma di Compressione a seconda della posizione

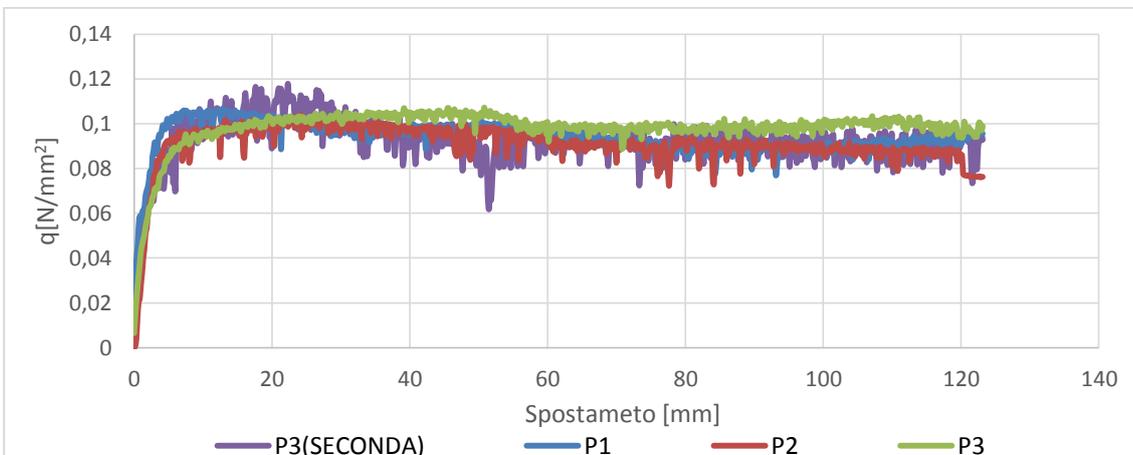


Grafico 7.18 Confronto della Capacità Portante a seconda della posizione

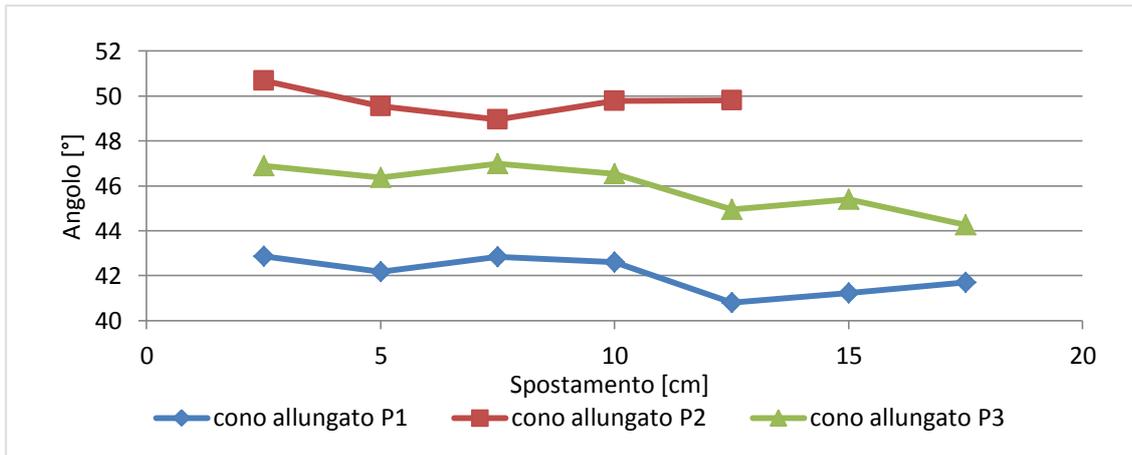


Grafico 7.19 Confronto andamenti dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.1.6.Osservazioni

Solo per questa tipologia di testa sono state fatte due prove nella posizione P3. Questa doppia prova si è dovuta fare per il semplice motivo che durante l'esecuzione della prima delle due prove, l'acquisizione automatica delle foto si era interrotta, infatti come si vede, l'analisi fatta con il GeoPIV non riporta la doppia prova nella posizione P3 ma solamente una prova per posizione. L'andamento del grafico 7.16 riferito alla capacità portante è molto simile per tutti e quattro gli esperimenti, non si nota un picco ben definito ma sembra che il valore si mantenga abbastanza costante durante tutta l'estrazione. La capacità portante per l'esperimento in posizione P1 è pari a  $0,107 \text{ N/mm}^2$ . Si può notare che la misurazione secondo dell'esperimento in posizione P3 è più irregolare rispetto alle altre e forse questo porta a falsare la misura del massimo. Quindi fatto salvo il massimo rilevato per l'esperimento P3 secondo che da una capacità portante di picco del 10% maggiore rispetto a quella misurata in P1, l'esperimento P2 ha un picco del 2,6% inferiore rispetto a P1 e P3 invece dello 0,5% superiore.

Questo porta a dire che la capacità portante rilevata non è influenzata dalla posizione della testa del chiodo all'interno del modello, al contrario della sigma di compressione e della sigma di taglio che sono sensibili alla variazione di posizione. Questa sensibilità è data dal fatto che la posizione delle celle collegate alla piastra rimovibile rispetto alla testa varia durante l'esperimento al contrario della cella a trazione che essendo fissata direttamente sul chiodo rimane sempre alla stessa distanza dalla testa durante l'estrazione.

Il grafico 7.17 che riporta l'andamento della sigma a compressione presenta per tutte e quattro le prove un picco (negativo) prima dei 10mm di estrazione poi il valore tende a valori positive e poi inverte ancora il suo andamento verso valori negativi.

Essendo la misurazione della sigma di compressione, una misurazione relativa, come spiegato nel capitolo 7, il picco negativo determina un incremento di sforzo sulla piastra, successivamente si vede uno scarico molto probabilmente dal passaggio della testa che crea una rottura del terreno e un trasporto di terreno. Quando poi, la testa ha superato completamente la piastra rimovibile, il terreno scivolando all'interno del cuneo di rottura che si è creato dietro alla testa porta ad un progressivo ricarico della piastrina e quindi sul grafico si legge un graduale aumento della sigma di compressione. L'incremento maggiore di sigma di compressione è dato dall'estrazione in posizione P1 con uno spostamento di 8mm circa, l'incremento dato dalla seconda estrazione in posizione P3 è di un 40% minore rispetto alla P1 con uno spostamento pari a 5mm e invece per le altre due prove il picco è il 60% inferiore sempre rispetto a P1 con uno spostamento attorno ai 6mm. La parte di scarico della piastrina per la posizione P3 inizia dai 10mm di spostamento, come per la prova in posizione P2 e la seconda in posizione P3. Ma, per la prima prova in posizione P3 lo scarico si esaurisce a 35mm di spostamento, mentre per la seconda prova in posizione P3 esso

prosegue fino a 75mm di spostamento; per quanto riguarda la posizione P2 lo scarico persiste fino a 120mm di spostamento, mentre per l'esperimento in posizione P1 la piastrina non viene più ricaricata fino a conclusione dell'esperimento.

Per quanto riguarda la forza tangenziale sulla piastrina, riportato nel grafico 7.18, l'andamento complessivo è simile, fatto salvo per i valori che, nel caso della posizione P1, sono il 45% percento in più rispetto alla seconda prova in posizione P3 e di oltre il 60% rispetto alla posizione P3 e P2. Questo si presume possa essere solo dovuto ad una questione di posizionamento relativo tra testa e cella. Cosa da non sottovalutare è invece la forza impressa alla piastrina che si traduce in una forza impressa alle particelle di terreno e che quindi determina un confinamento del terreno. Analizzando ora il grafico 7.19 derivante dall'analisi degli angoli desunti dal geoPIV, si nota che l'angolo nella posizione P1 è sui 43°, mentre per la posizione P2 è addirittura di 49° circa e per la posizione P3 di circa 47°. Come detto nel capitolo 7, la valutazione dell'angolo è una valutazione qualitativa, è molto dipendente dalla sensibilità dell'operatore. È per questo che il range di variazione dell'angolo rilevato è di 6°.

Si è anche notato durante lo svolgimento delle prove che durante l'estrazione il chiodo oltre che a spostarsi orizzontalmente, tendeva anche a spostarsi verticalmente. Al termine dell'estrazione infatti, come si nota dalle figure 7.21,7.22 e7.23 che il chiodo non rimane in posizione orizzontale ma la testa si sposta verso l'alto, in linea con l'idea di ancoraggio flottante.



*Figura 7.21 Posizione chiodo a fine estrazione Cono Allungato posizione P1*



*Figura 7.23 Posizione chiodo a fine estrazione Cono Allungato posizione P3*



*Figura 7.22 Posizione chiodo a fine estrazione Cono Allungato posizione P2*

7.1.2. Piastra Piatta

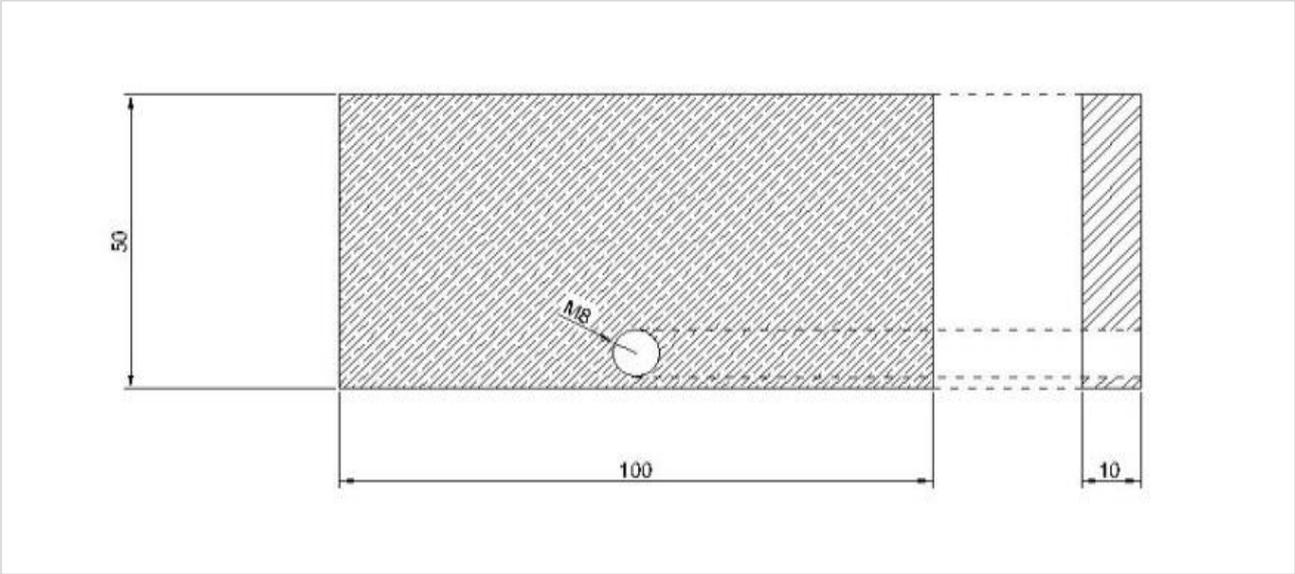


Figura 7.24 Geometria Piastra Piatta

### 7.1.2.1. Piastra piatta Posizione P1

Prova svolta il 28-04-2014

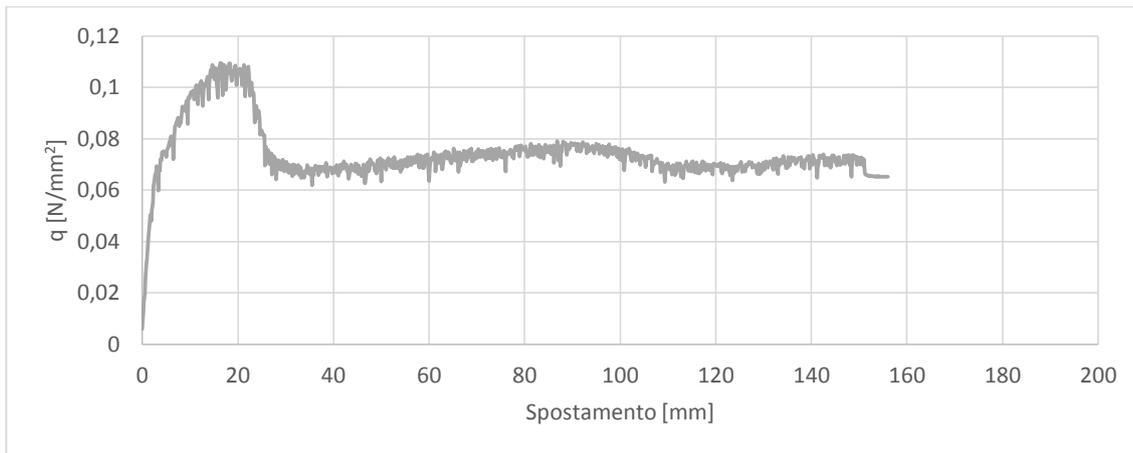


Grafico 7.20 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta in posizione P1

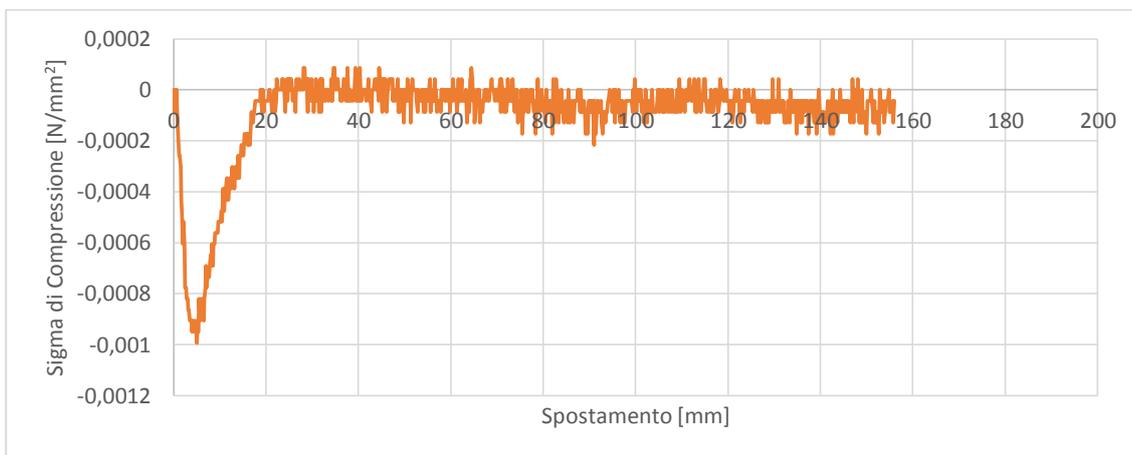


Grafico 7.21 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta in posizione P1

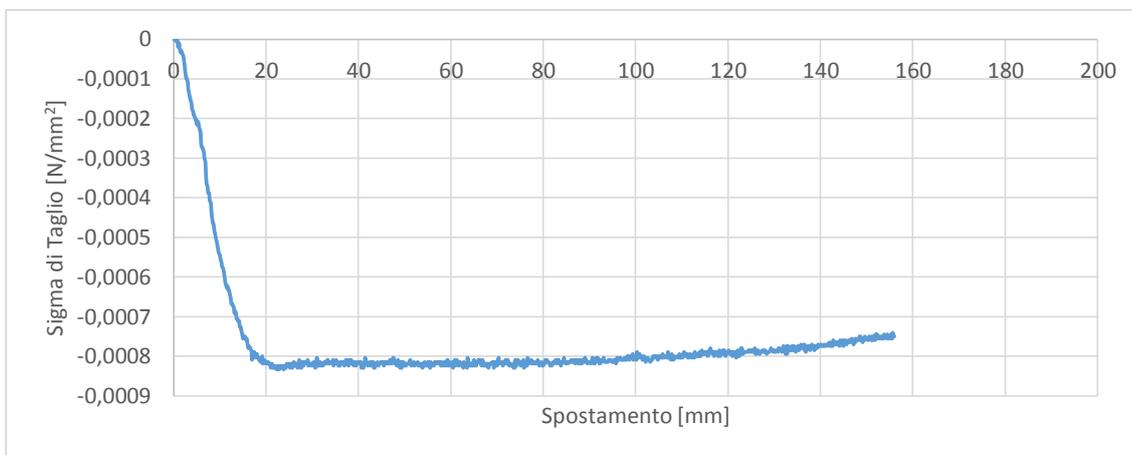


Grafico 7.22 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta in posizione P1

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

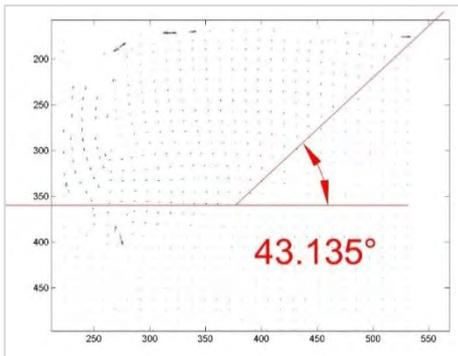


Figura 7.25 Spostamento pari a 2,5 cm

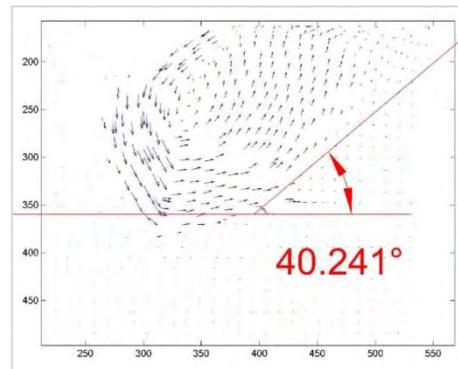


Figura 7.28 Spostamento pari a 10 cm

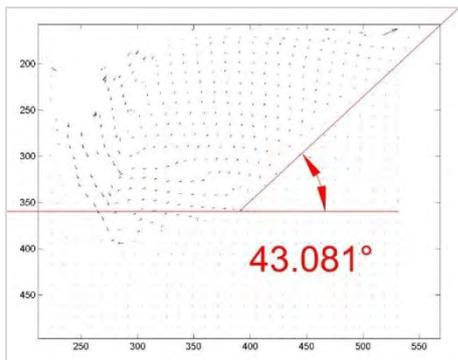


Figura 7.26 Spostamento pari a 5 cm

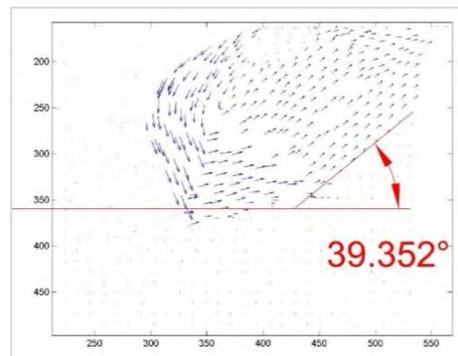


Figura 7.29 Spostamento pari a 12,5 cm

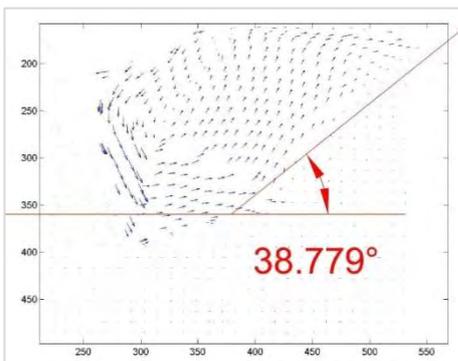


Figura 7.27 Spostamento pari a 7,5 cm

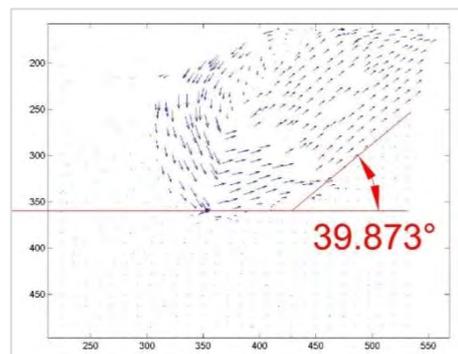


Figura 7.30 Spostamento pari a 15 cm

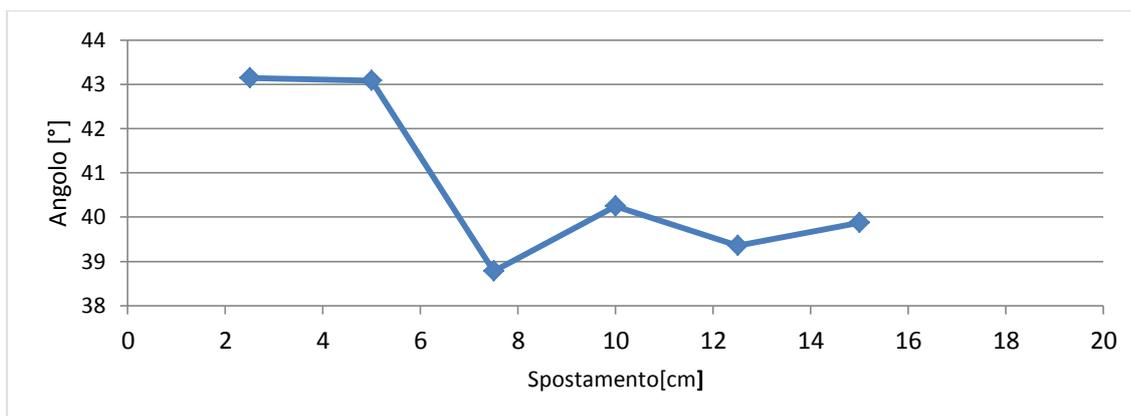


Grafico 7.23 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.2.2. Piastra Piatta Posizione P2

Prova svolta il 29-04-2014

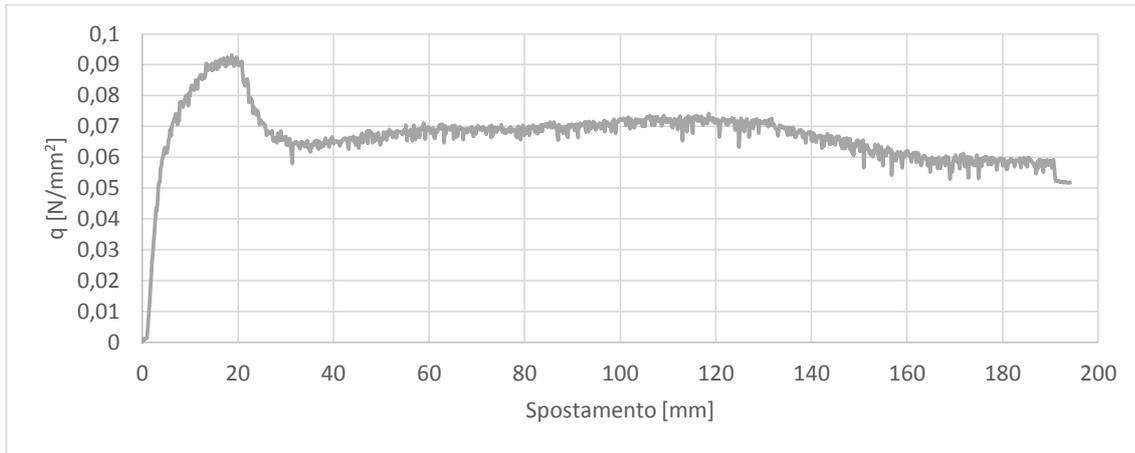


Grafico 7.24 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta in posizione P2

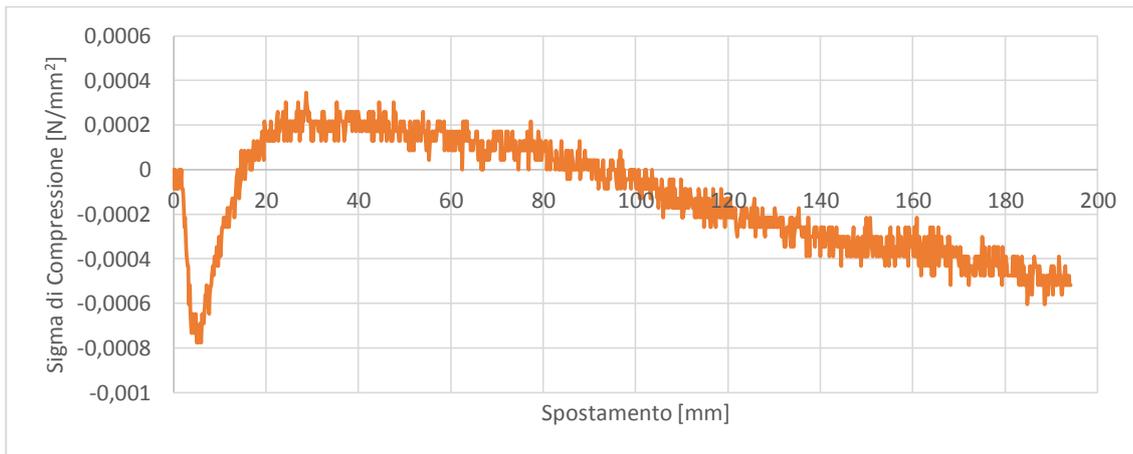


Grafico 7.25 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta in posizione P2

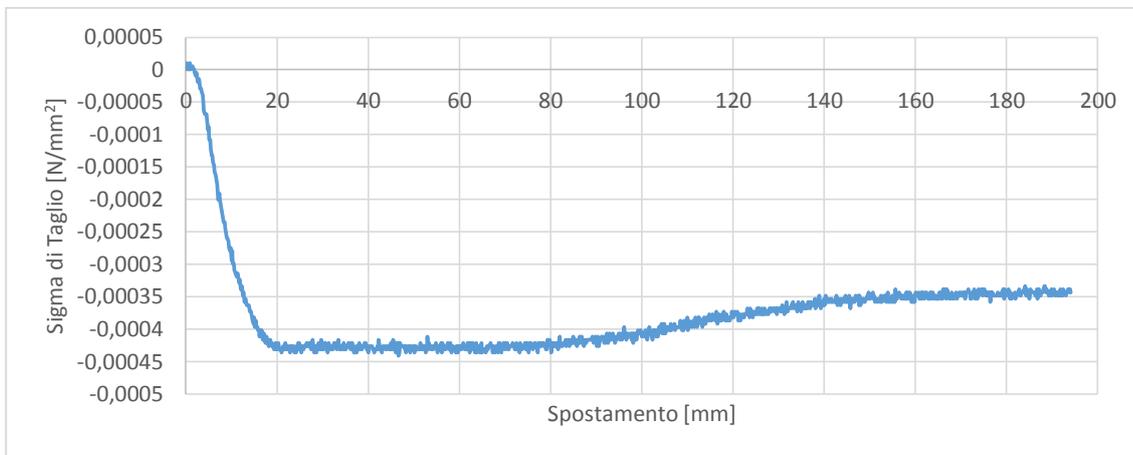


Grafico 7.26 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta in posizione P2

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

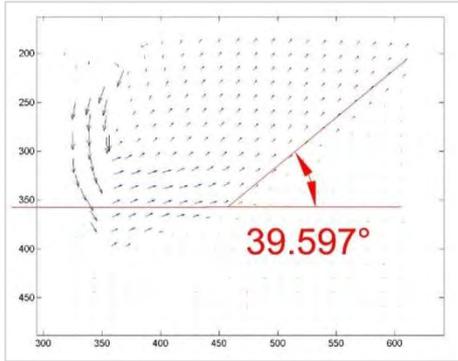


Figura 7.31 Spostamento pari a 2,5 cm

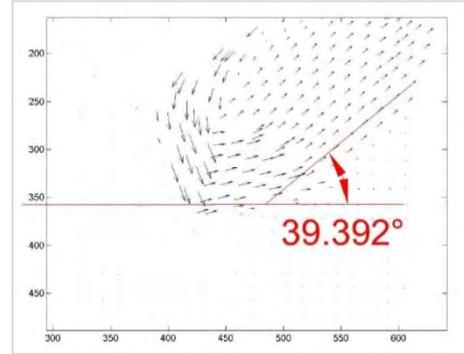


Figura 7.35 Spostamento pari a 12,5 cm

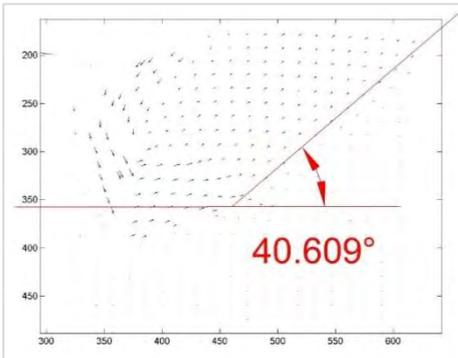


Figura 7.32 Spostamento pari a 5 cm

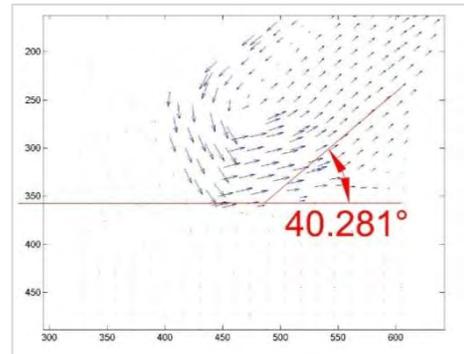


Figura 7.36 Spostamento pari a 15 cm

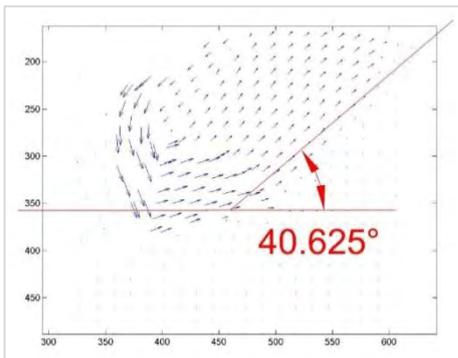


Figura 7.33 Spostamento pari a 7,5 cm

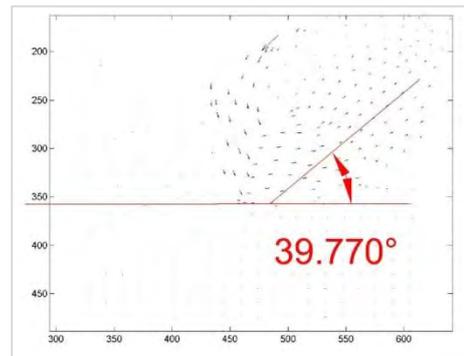


Figura 7.37 Spostamento pari a 17 cm

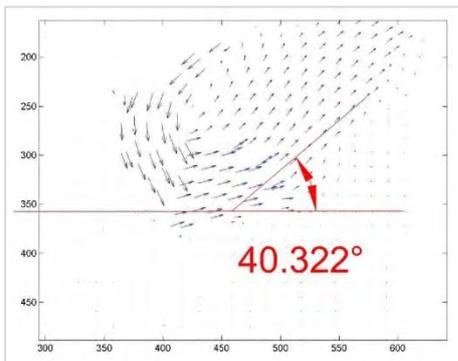


Figura 7.34 Spostamento pari a 10 cm

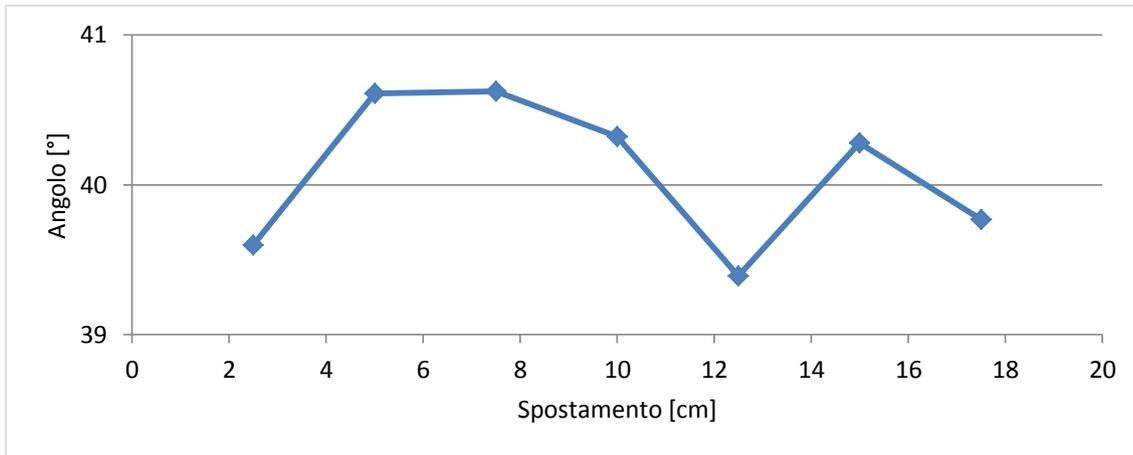


Grafico 7.27 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.2.3. Piastra Piatta Posizione P3

Prova svolta il 30-04-2014

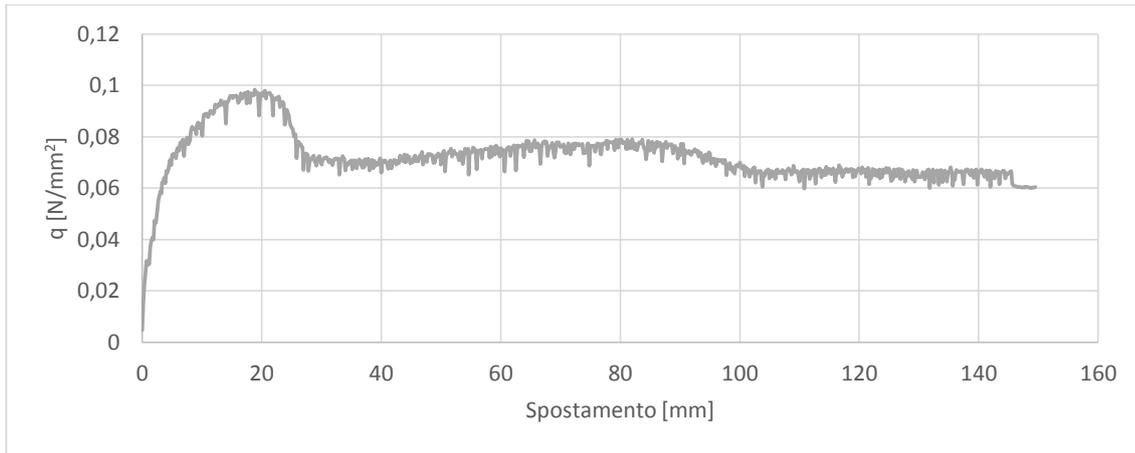


Grafico 7.28 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta in posizione P3

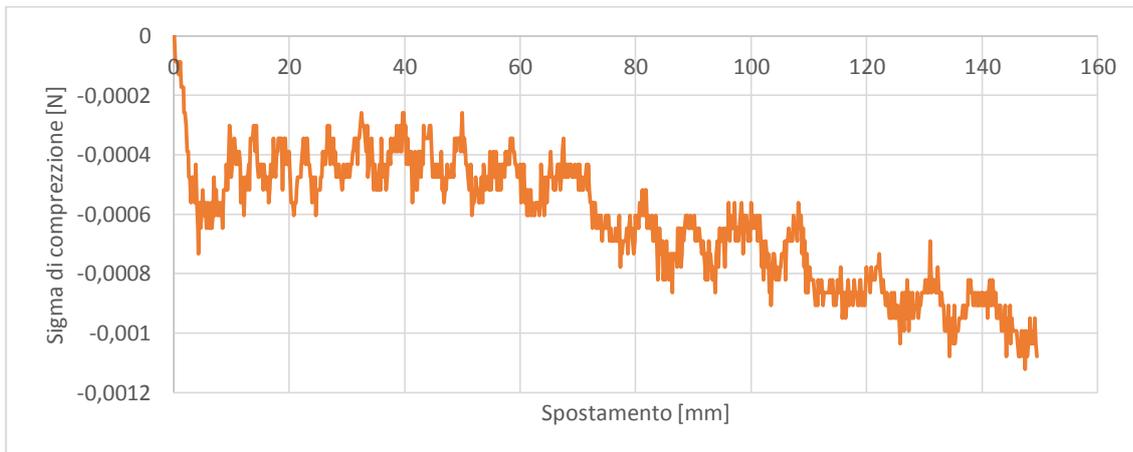


Grafico 7.29 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta in posizione P3

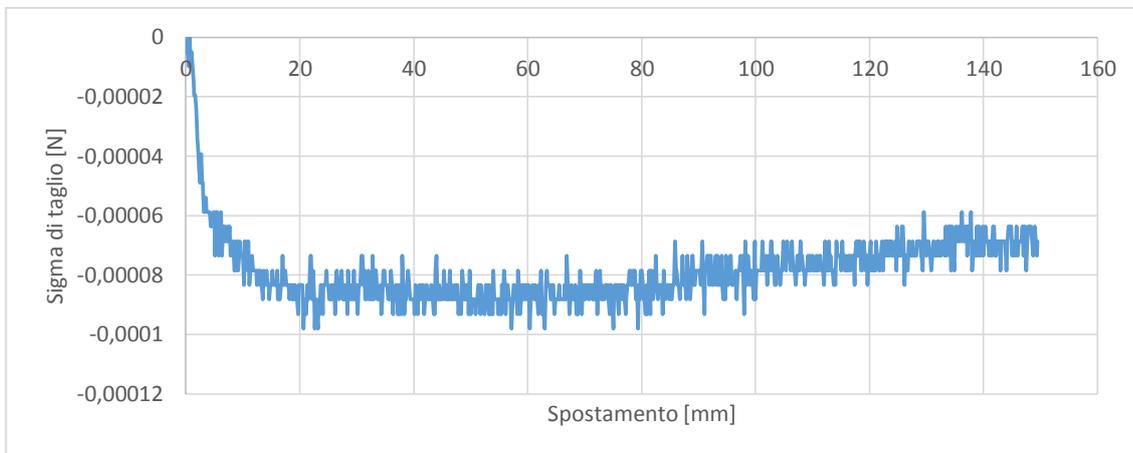


Grafico 7.30 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta in posizione P3

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

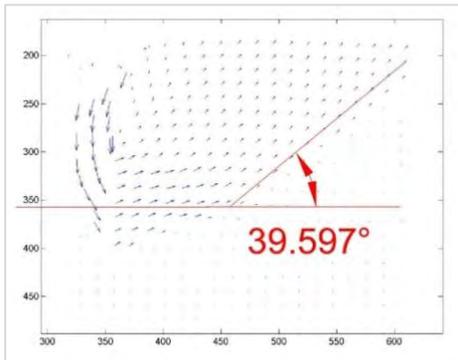


Figura 7.38 Spostamento pari a 2,5cm

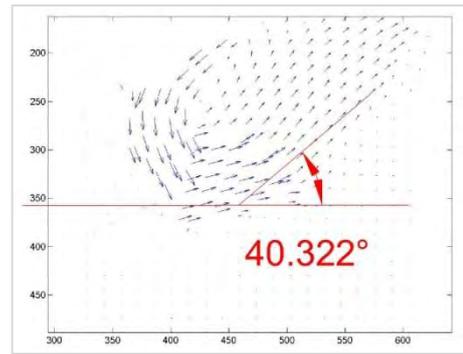


Figura 7.41 Spostamento pari a 12,5cm

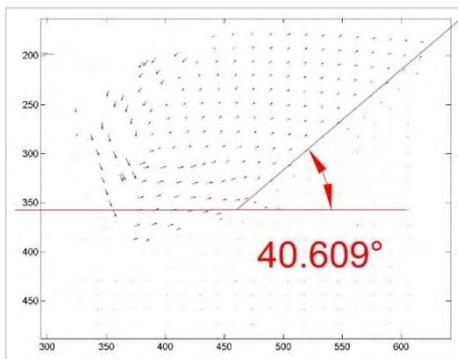


Figura 7.39 Spostamento pari a 5cm

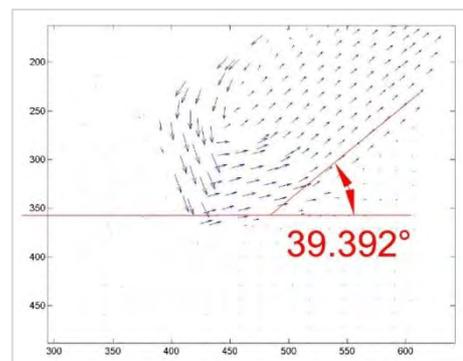


Figura 7.42 Spostamento pari a 15cm

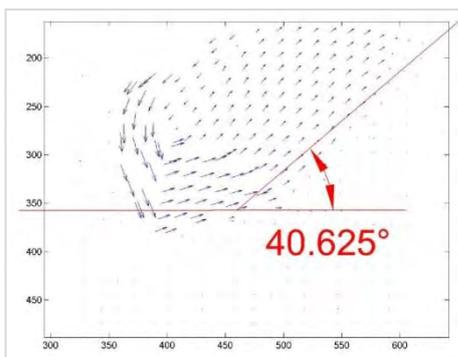


Figura 7.40 Spostamento pari a 7,5cm

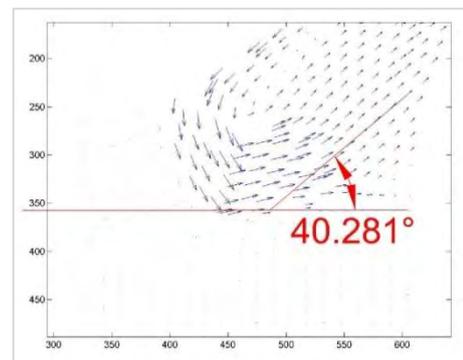


Figura 7.43 Spostamento pari a 17,5cm

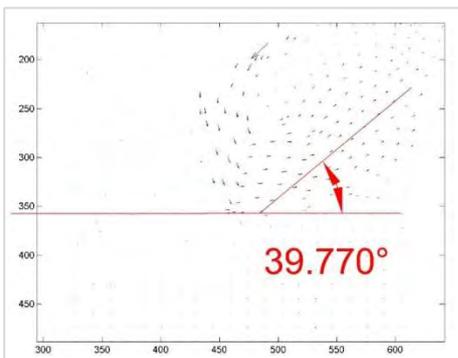
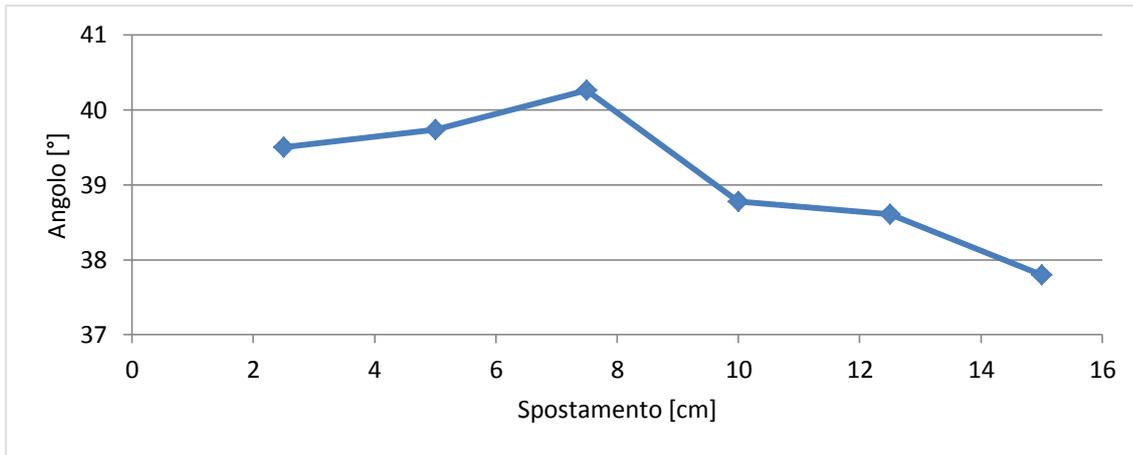


Figura 7.44 Spostamento pari a 10 cm



*Grafico 7.31 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo*

#### 7.1.2.4. Confronti tra le Diverse Posizioni per la Piastra Piatta

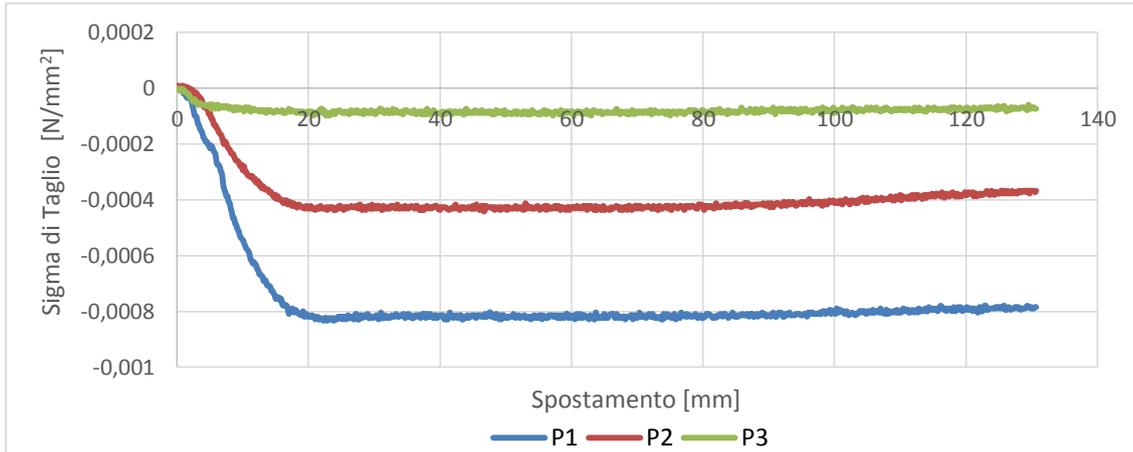


Grafico 7.32 Confronto delle Sigma di Taglio a seconda della posizione

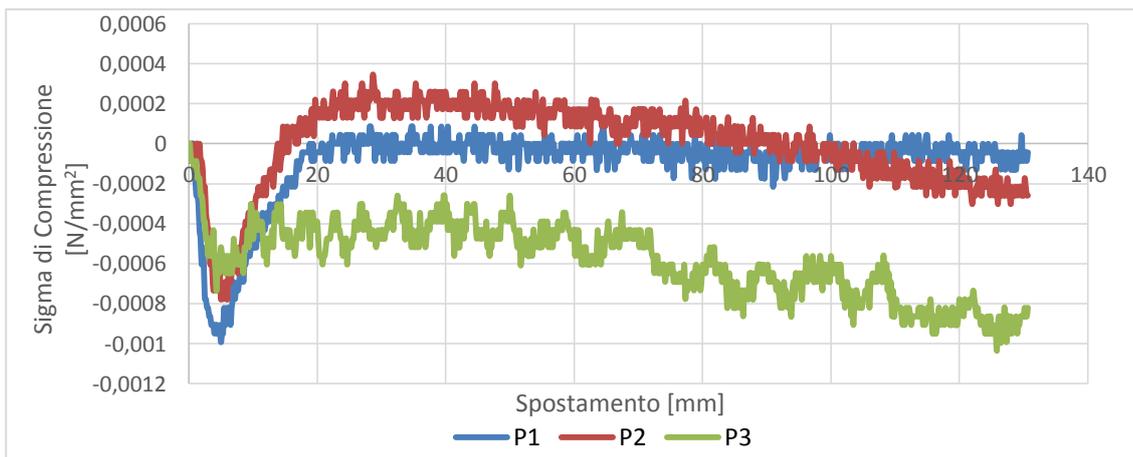


Grafico 7.33 Confronto delle Sigma di Compressione a seconda della posizione

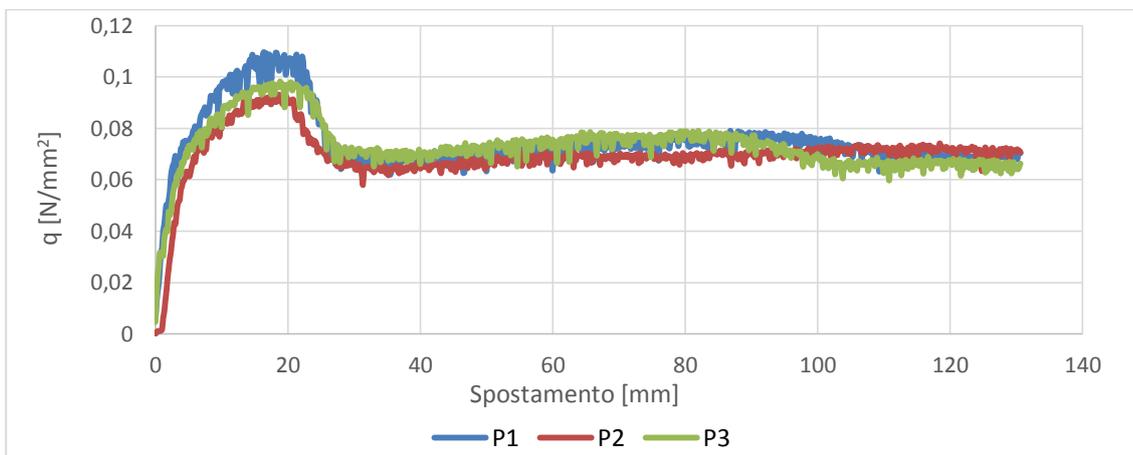


Grafico 7.34 Confronto della Capacità Portante a seconda della posizione

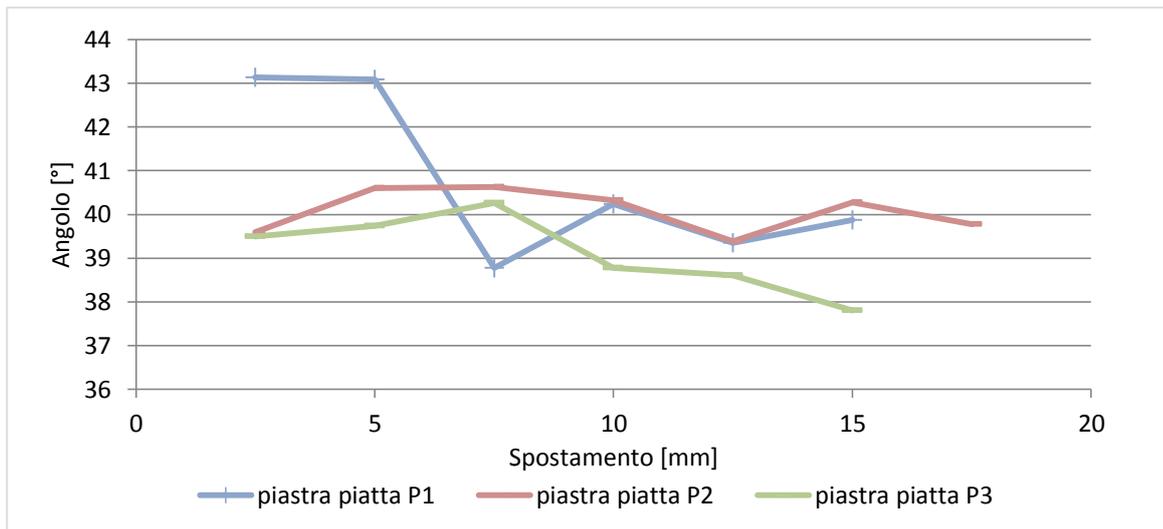


Grafico.7.35 Confronto degli andamenti dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.2.5.Osservazioni

La capacità portante, riportata nel grafico 7.32, come nel caso precedente, presenta andamento pressoché identico nelle tre prove, fatta eccezione per il picco massimo. Questo è sicuramente dovuto alla difficoltà operativa nel replicare perfettamente le medesime condizioni sperimentali anche adottando una procedura di prova il più possibile fissa. Il posizionamento del chiodo all'interno del modello può portare ad un leggero aumento della compattazione della sabbia nell'intorno della testa che può tradursi in un aumento della resistenza che il terreno imprime durante l'estrazione. Anche la posa non perfettamente orizzontale del chiodo potrebbe influenzare la non perfetta ripetitività dell'esperimento nelle medesime condizioni. Per la Posizione P1 il picco è pari a  $0,11 \text{ N/mm}^2$ . Per la posizione P2 invece il picco è il 15% inferiore quello rilevato per la posizione P1 mentre per la posizione P3 il picco è inferiore di un 10%.

Sul grafico 7.32, riguardante la sigma di compressione, l'andamento nei primi 10 mm di estrazione è abbastanza simile dove tutte e tre presentano un picco di compressione, in termini di valore la posizione P1 è quella che da un valore più alto pari a  $0,0001 \text{ N/mm}^2$ , la posizione P2 ha un valore inferiore del 22%, per la posizione P3 invece è inferiore di un 26%. All'aumentare dello spostamento i comportamenti si differenziano leggermente. Per la posizione P1 dopo il picco è presente una rapida diminuzione dell'incremento di compressione entro i 20mm oltre i quali il valore si stabilizza intorno allo 0. La posizione P2 presenta invece una zona di scarico che va dai 15 ai 100mm per poi avere di nuovo un ricarico sulla piastra. Per la posizione P3 invece lo scarico dopo il picco si ferma intorno agli  $0,0003 \text{ N/mm}^2$  sempre in compressione, quindi sulla piastrina insiste comunque un incremento di sigma di compressione. Addirittura arrivati ai 75mm di spostamento si registra una sigma di compressione pari a quella del picco, e al proseguire dell'estrazione la sigma continua a crescere.

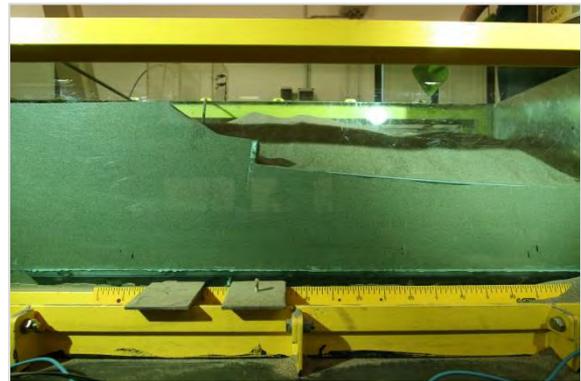
Per quanto riguarda invece il grafico 7.34 dei confronti della sigma di taglio impressa dal cuneo di spinta si vede nitidamente che la posizione rispettiva testa-cellula è determinante nella misurazione e la posizione migliore è la posizione P1 perché da il valore più alto pari a  $0,0008 \text{ N/mm}^2$ , per la posizione P2 viene registrato un picco inferiore del 48% circa rispetto a quello della P1 e la posizione P3 addirittura inferiore di un 88% circa. Questo decremento del valore di picco è da attribuirsi molto probabilmente al fatto che riducendo la distanza tra testa del chiodo e piastra rimovibile lo sforzo di taglio non riesce ad esplicitarsi nel breve spazio che si ha per la prova in posizione P2 e P3.

La misurazione invece dell'angolo di apertura del cono desunta all'analisi delle immagini e riportata nel grafico 7.35, non da dei valori distinti o comunque diversi da posizione a posizione, salvo i primi due angoli determinati per la posizione P1 che superano i 43° e che molto probabilmente saranno affetti da un errore di misurazione da parte dell'operatore, per tutte le altre rilevazioni, in ogni posizione, si vede che l'angolo di apertura si aggira attorno ai 40°. Va precisato che la determinazione dell'angolo tramite le immagini prodotte dal suddetto software è molto dipendente dalla sensibilità dell'operatore che effettua la misurazione dell'angolo.

Si è anche notato durante lo svolgimento delle prove che durante l'estrazione il chiodo oltre che a spostarsi orizzontalmente, tendeva anche a spostarsi verticalmente. Al termine dell'estrazione infatti, come si nota dalle figure 7.45,7.46 e7.47 che il chiodo non rimane in posizione orizzontale ma la testa si sposta verso l'alto, in linea con l'idea di ancoraggio flottante.



*Figura 7.45 Posizione chiodo a fine estrazione Piastra Piatta posizione P1*



*Figura 7.47 Posizione chiodo a fine estrazione Piastra Piatta posizione P3*



*Figura 7.46 Posizione chiodo a fine estrazione Piastra Piatta posizione P2*

7.1.3. Cono

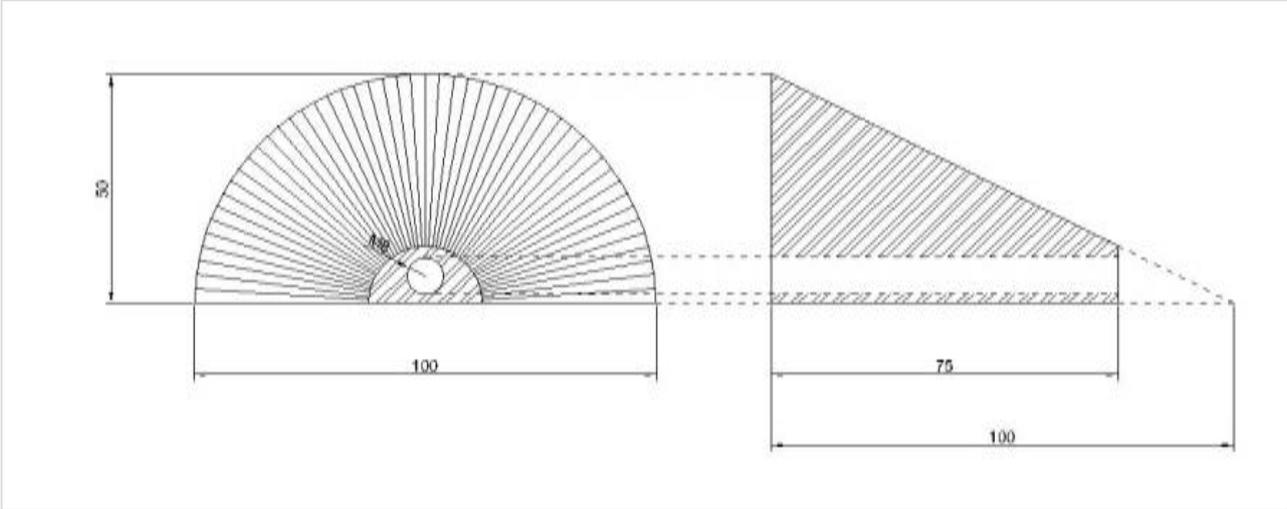


Figura 7.48 Geometria Cono

### 7.1.3.1. Cono Posizione P1

Prova svolta il 05-05-2014

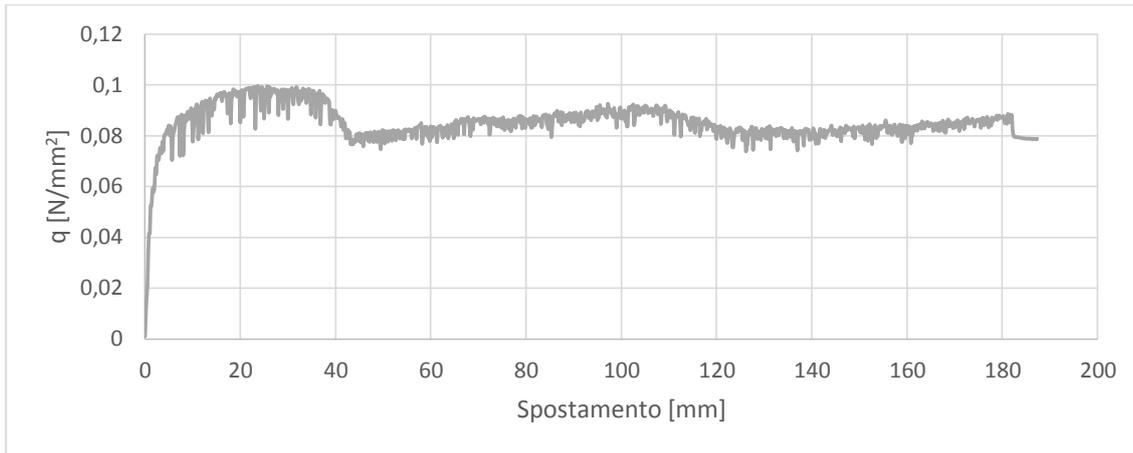


Grafico 7.36 Andamento Capacità Portante per il Cono in posizione P1

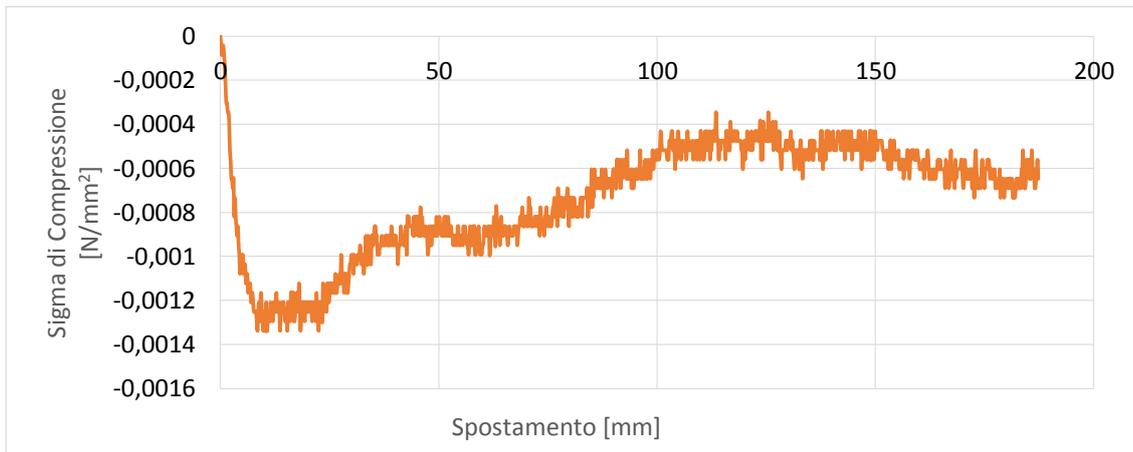


Grafico 7.37 Andamento Sigma di Compressione per il Cono in posizione P1

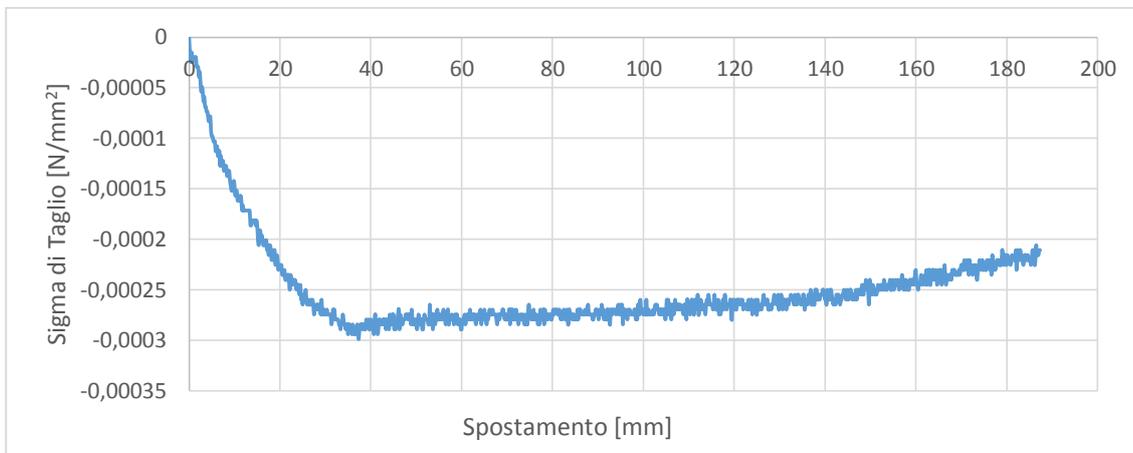


Grafico 7.38 Andamento Sigma di Taglio per il Cono in posizione P1

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

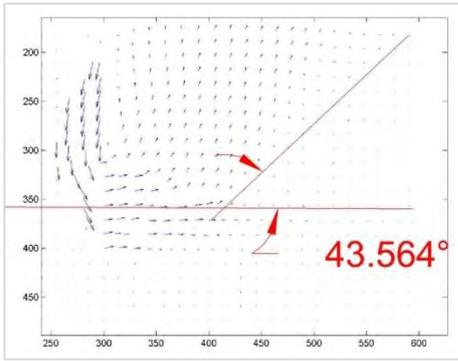


Figura 7.49 Spostamento pari a 2.5 cm

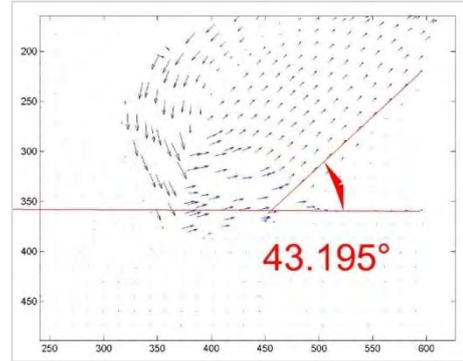


Figura 7.53 Spostamento pari a 12.5 cm

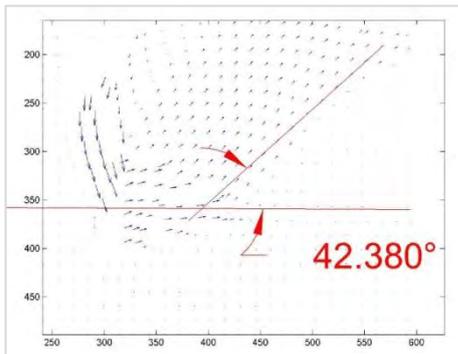


Figura 7.50 Spostamento pari a 5 cm

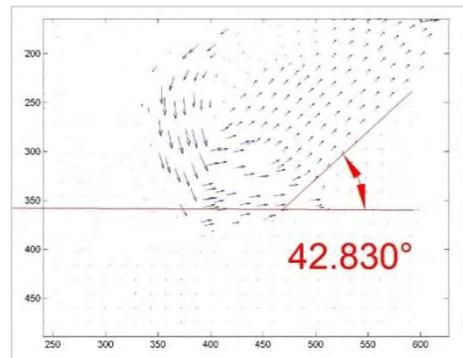


Figura 7.54 Spostamento pari a 15 cm

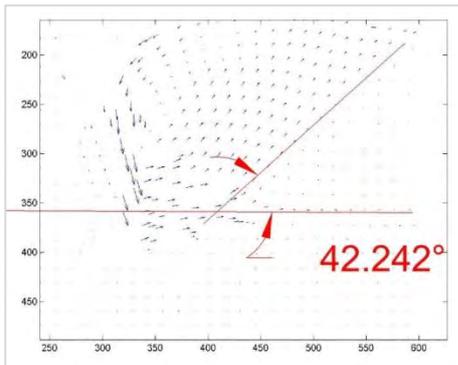


Figura 7.51 Spostamento pari a 7.5 cm

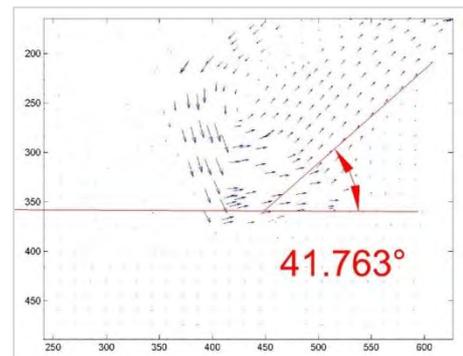


Figura 7.55 Spostamento pari a 17.5 cm

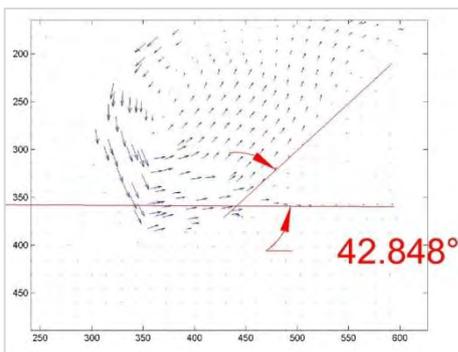


Figura 7.52 Spostamento pari a 10 cm

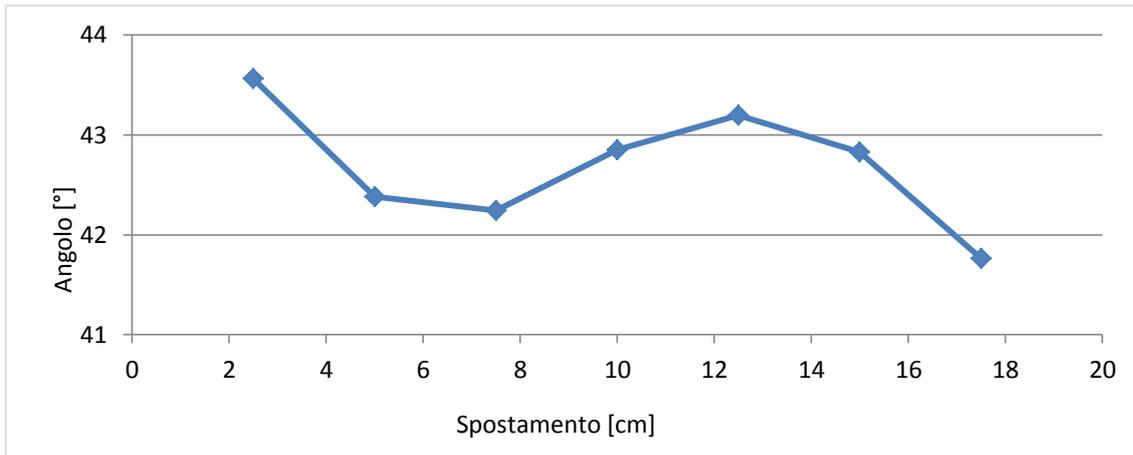


Grafico 7.39 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.3.2. Cono Posizione P2

Prova svolta il 06-05-2014

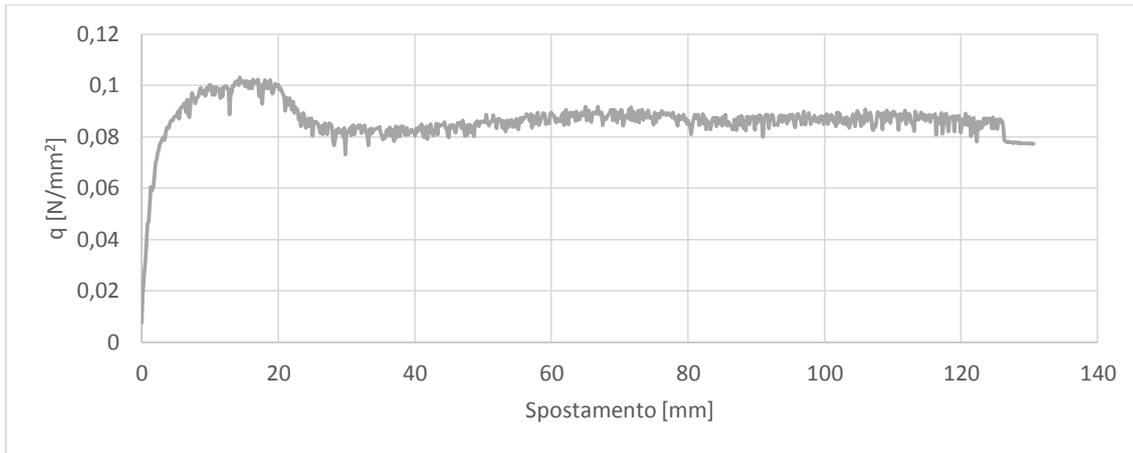


Grafico 7.40 Andamento Capacità Portante per il Cono in posizione P2

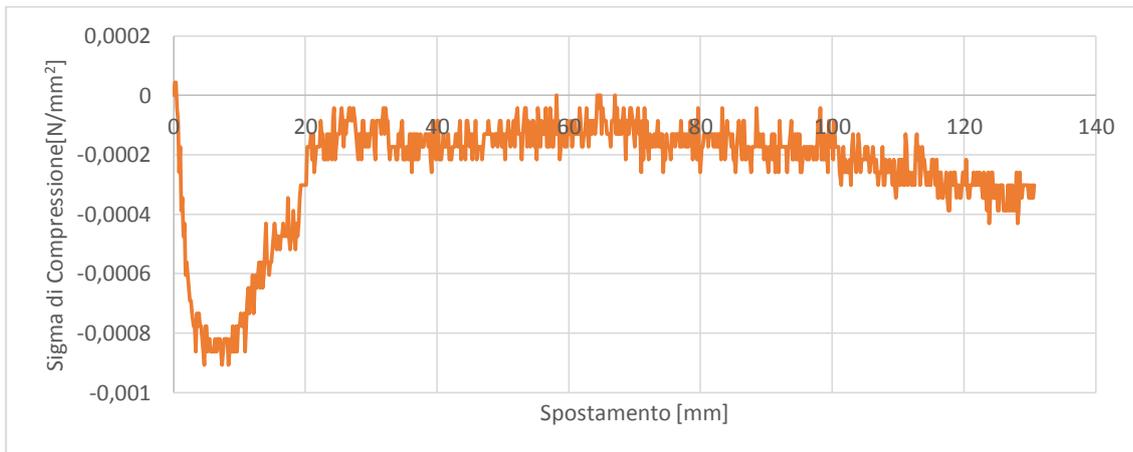


Grafico 7.41 Andamento Sigma di Compressione per il Cono in posizione P2

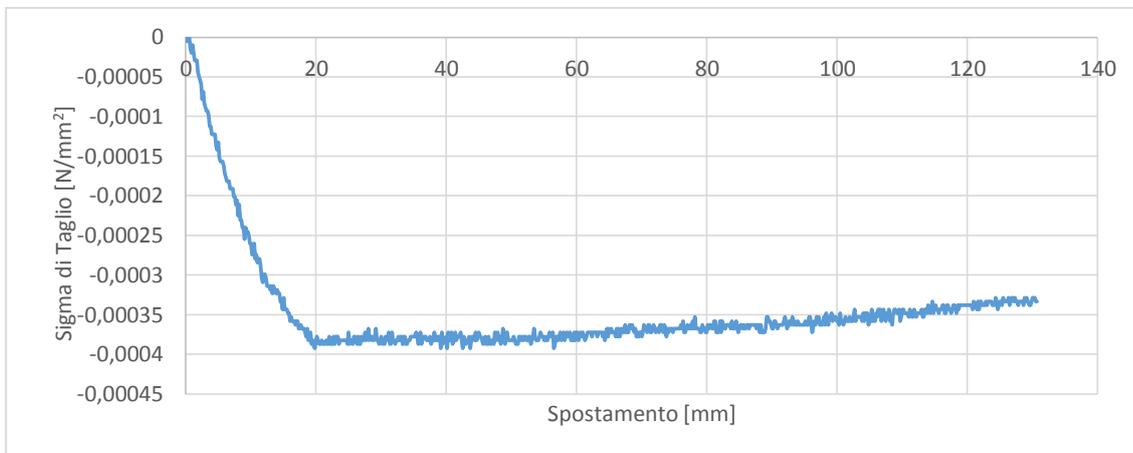


Grafico 7.42 Andamento Sigma di Taglio per il Cono in posizione P2

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

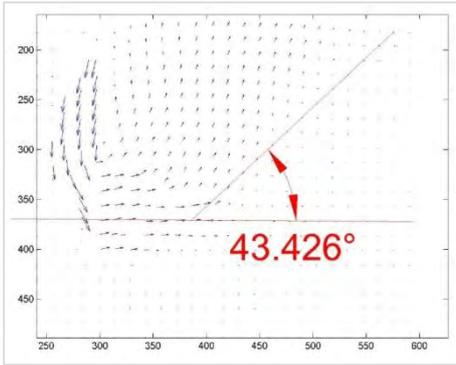


Figura 7.56 Spostamento pari a 2,5 cm

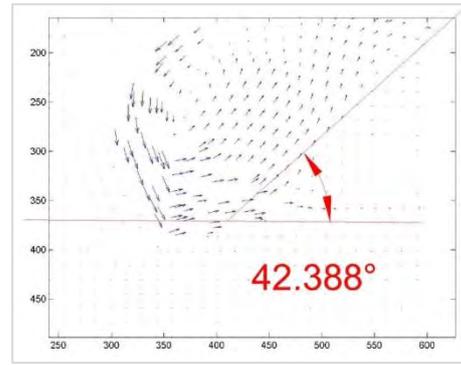


Figura 7.59 Spostamento pari a 10 cm

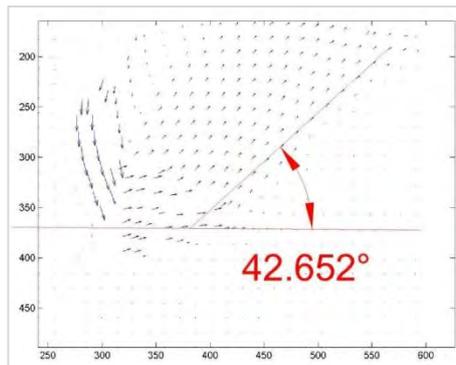


Figura 7.57 Spostamento pari a 5 cm

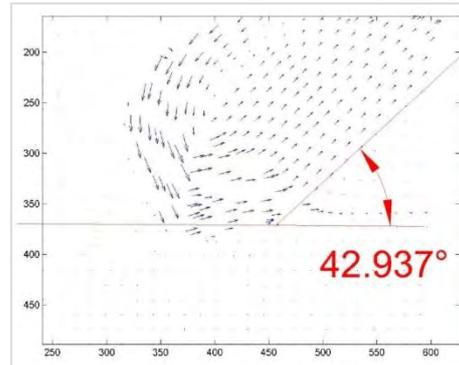


Figura 7.60 Spostamento pari a 12,5 cm

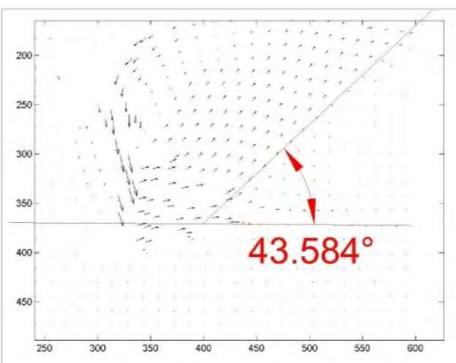


Figura 7.58 Spostamento pari a 7,5 cm

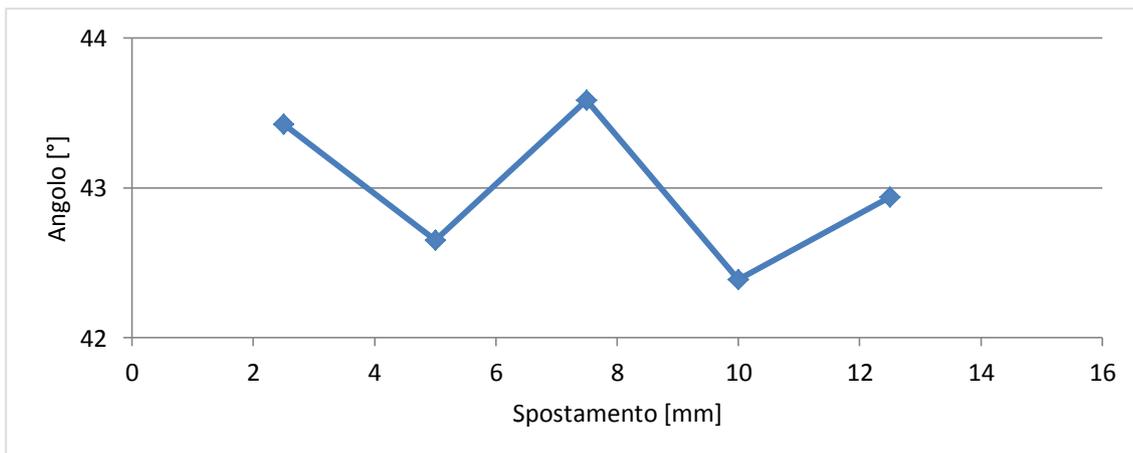


Grafico 7.43 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.3.3. Cono Posizione P3

Prova svolta il 07-05-2014

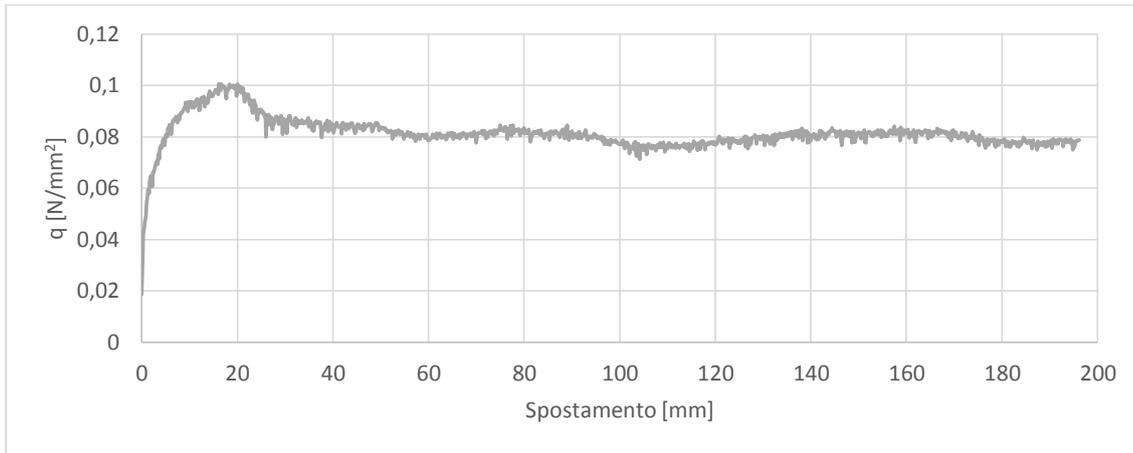


Grafico 7.44 Andamento Capacità Portante per il Cono in posizione P3

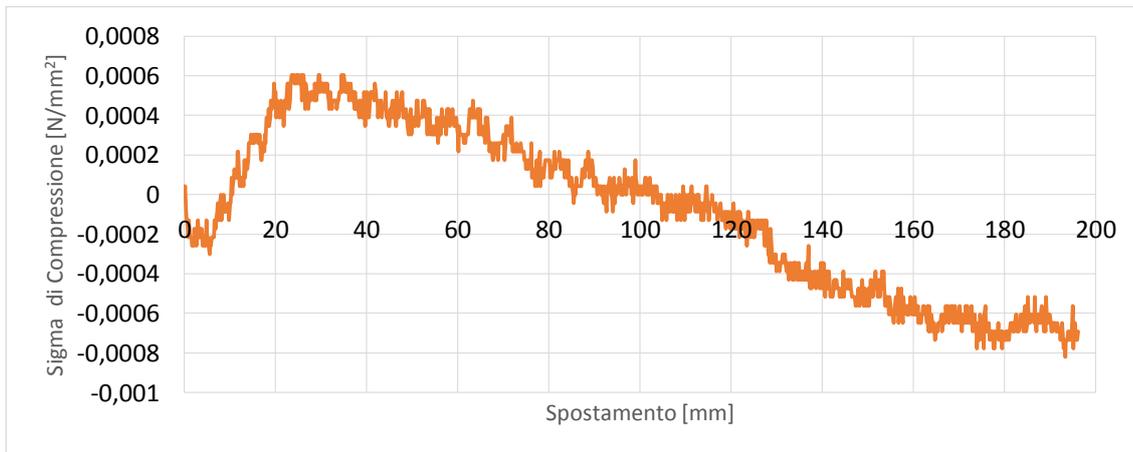


Grafico 7.45 Andamento Sigma di Compressione per il Cono in posizione P3

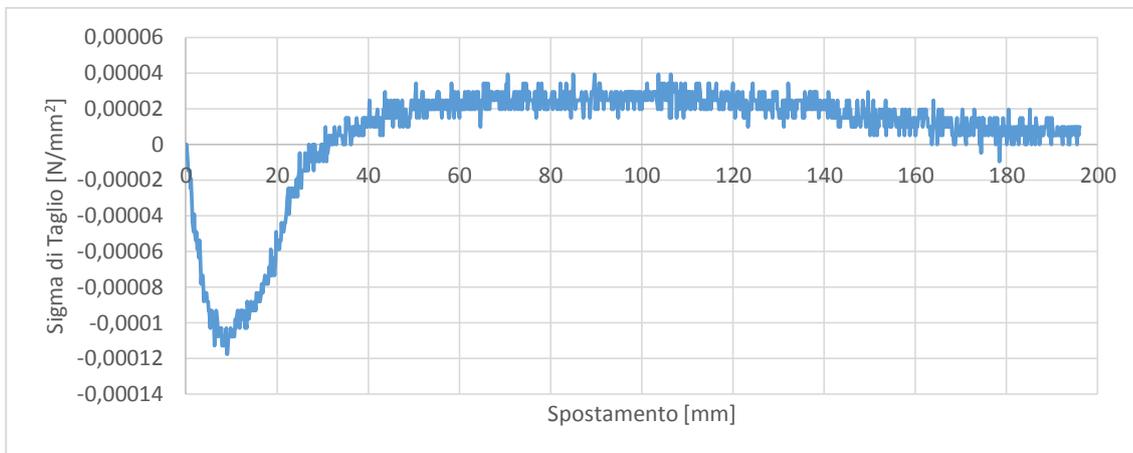


Grafico 7.46 Andamento Sigma di Taglio per il Cono in posizione P3

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

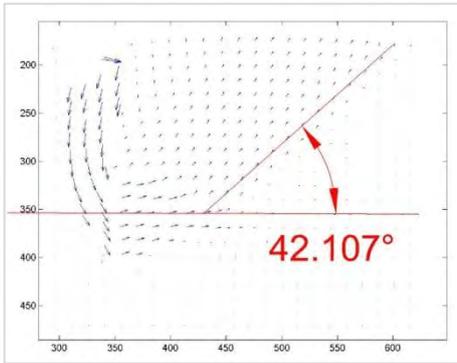


Figura 7.61 Spostamento pari a 2,5 cm

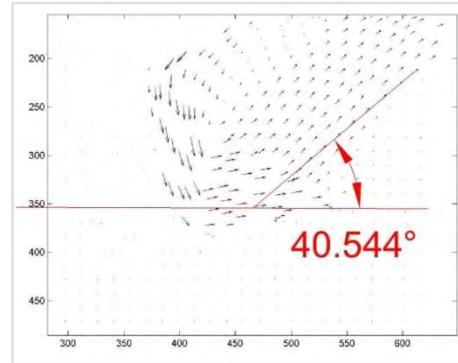


Figura 7.65 Spostamento pari a 12,5 cm

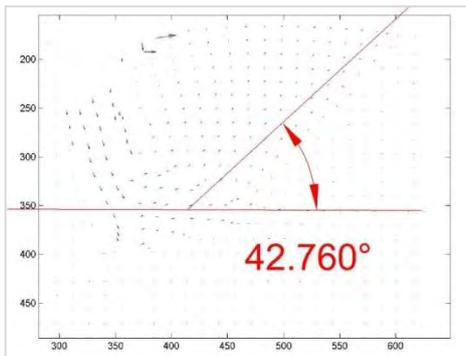


Figura 7.62 Spostamento pari a 5 cm

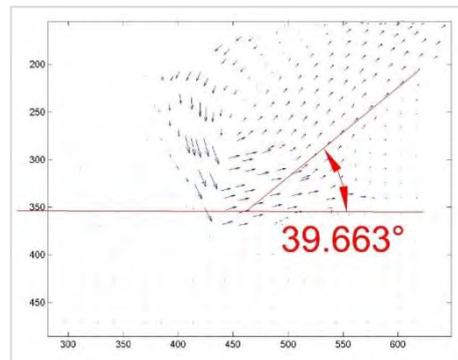


Figura 7.66 Spostamento pari a 15 cm

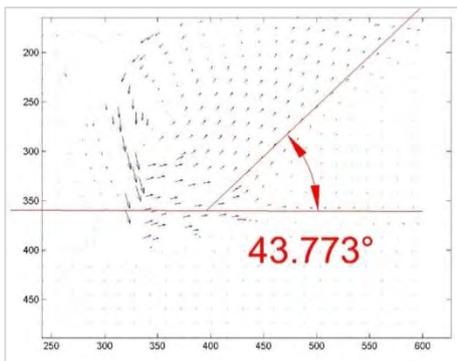


Figura 7.63 Spostamento pari a 7,5 cm

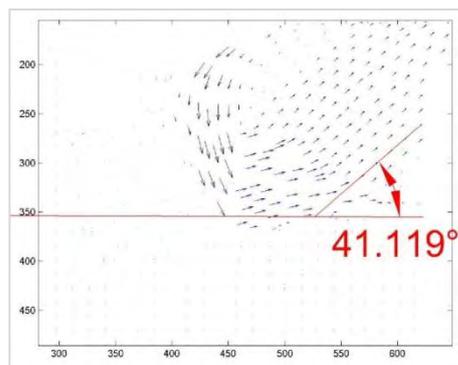


Figura 7.67 Spostamento pari a 17,5 cm

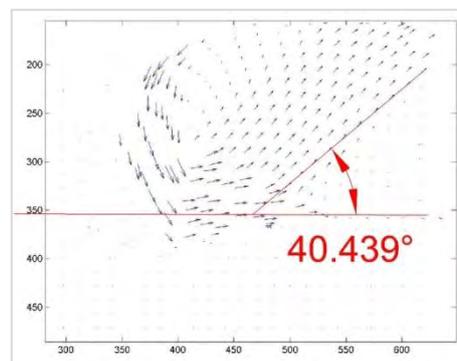


Figura 7.64 Spostamento pari a 10 cm

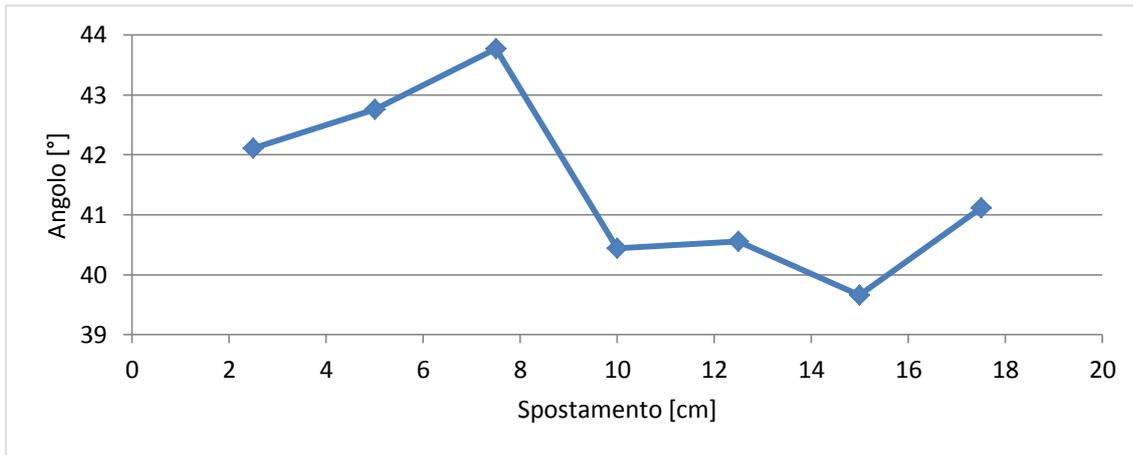


Grafico 7.47 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.3.4. Confronti tra le Diverse Posizioni per il Cono

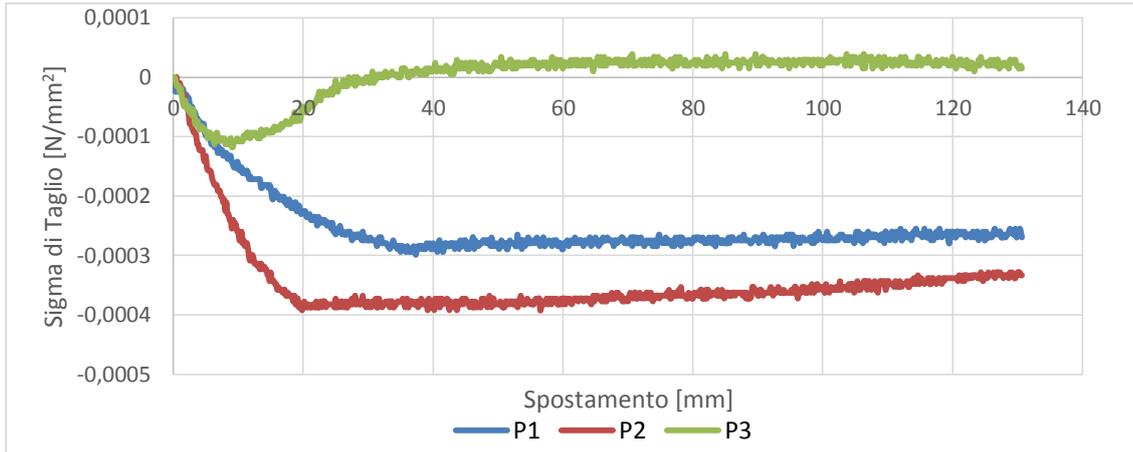


Grafico 7.48 Confronto delle Sigma di Taglio a seconda della posizione

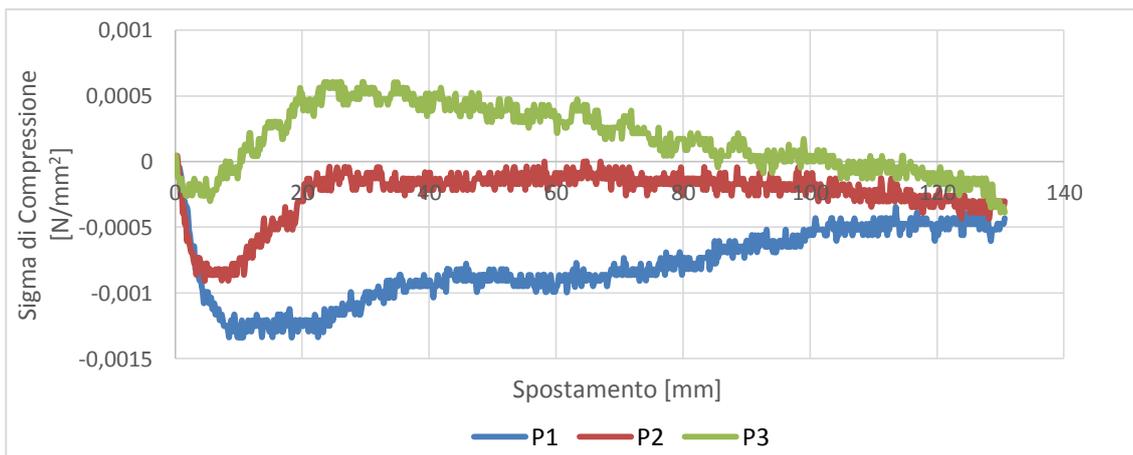


Grafico 7.49 Confronto delle Sigma di Compressione a seconda della posizione

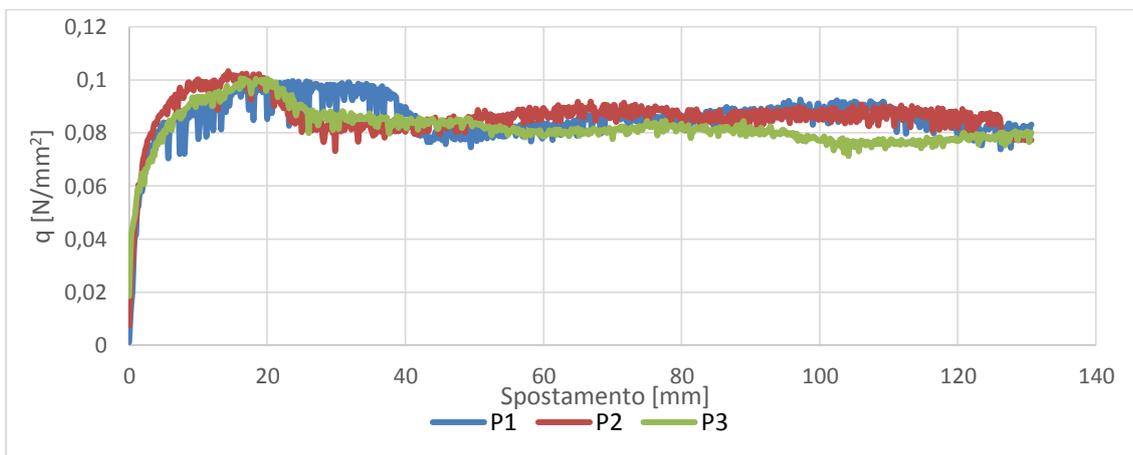


Grafico 7.50 Confronto della Capacità Portante a seconda della posizione

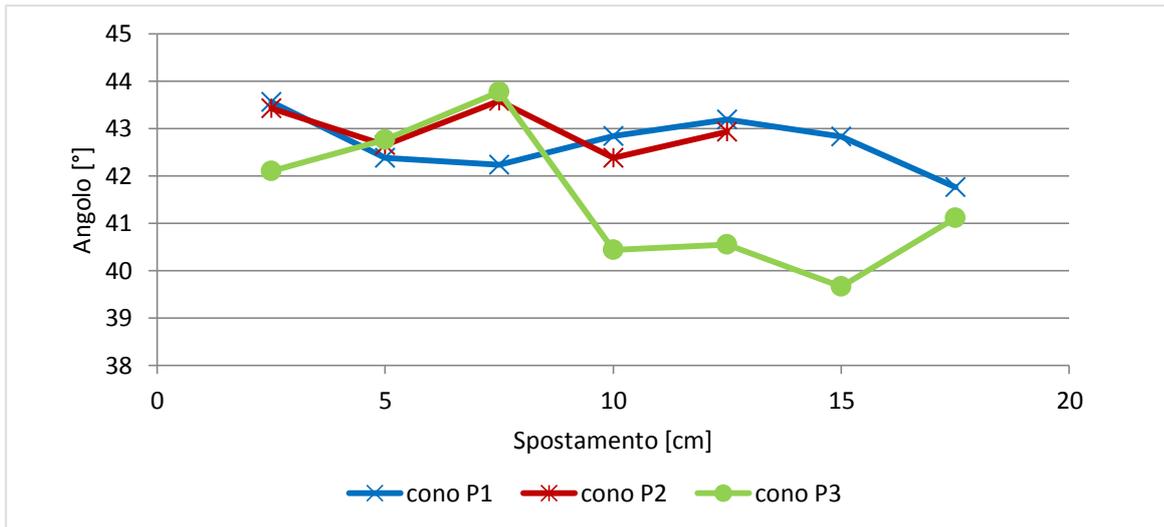


Grafico 7.51 Confronto degli andamenti dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.3.5.Osservazioni

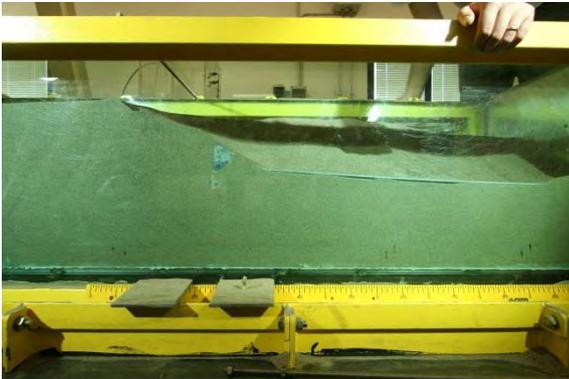
Dal grafico 7.48, dove si confronta la capacità portante nelle varie posizioni, l'andamento è molto simile per tutte le posizioni. Una cosa che si nota subito è il picco poco pronunciato rispetto al valore al quale il chiodo si stabilizza a grande deformazione, cosa vista anche per il cono allungato. Per quanto riguarda il valore massimo di capacità portante registrato è pari a  $0,099 \text{ N/mm}^2$  per la posizione P1, per la posizione P2 è di  $0,103 \text{ N/mm}^2$  e per la posizione P3 è di  $0,1 \text{ N/mm}^2$ . La differenza di picco tra le varie posizioni va dal 4% tra P1 e P2 e l'1% tra P1 e P3. Per quanto riguarda il valore residuo della capacità portante si nota che per la posizione P1 e P2 si ha un valore molto simile intorno allo  $0,009 \text{ N/mm}^2$ , mentre per la posizione P3 il valore è pari a  $0,008 \text{ N/mm}^2$  circa.

Il confronto della sigma di compressione sulla piastrina riportato nel grafico 7.49, mostra per la posizione P1 un picco pari a  $0,0013 \text{ N/mm}^2$  e per la posizione P2 pari a  $0,0009 \text{ N/mm}^2$  per entrambe attorno ai 10 mm di spostamento. Per la posizione P3 il picco si ha per un'estrazione minore, attorno ai 5 mm circa, con un valore pari a  $0,0003 \text{ N/mm}^2$  di un 77% inferiore in riferimento al valore di picco per la posizione P1. Per le tre posizioni gli andamenti sono diversi, la posizione P1 mostra un scarico dopo aver raggiunto il picco molto lento, infatti le sigma si portano ad un valore prossimo allo zero solo a 120 mm di spostamento. Le sigma di compressione, dovute alla testa in posizione P2, invece si portano ad un valore vicino allo zero dopo circa 25 mm di estrazione. Per la posizione P3, come si vede dal grafico, la piastra subisce un carico inferiore a quello di partenza a partire da 10 mm di estrazione fino a 150 mm per poi allinearsi ai valori registrati per le altre prove.

Per quanto riguarda invece il confronto della sigma di taglio, nel grafico 7.50 si nota che il valore di picco maggiore si ha per la posizione P2 pari a  $0,0004 \text{ N/mm}^2$  invece che per la posizione P1 pari a  $0,0003 \text{ N/mm}^2$ , quindi superiore del 31%. Per la posizione P3 il valore di picco è pari a  $0,00012 \text{ N/mm}^2$ . Si vede addirittura che la sigma di taglio dopo aver avuto il picco a 10 mm di estrazione, diminuisce fino ad arrivare addirittura a cambiare segno. Tale andamento porterebbe a dire che la direzione della sigma di taglio invece che mantenersi concorde con la direzione di spostamento della testa, dai 30 mm di estrazione in poi diventi discorde cioè risulti di senso opposto. Ma essendo una misura relativa, cioè depurata dal valore iniziale; questo potrebbe essere stato causato da un precarico eccessivo della cella di carico a compressione sotto il pianale, dovuto al non perfetto posizionamento della piastra rimovibile. Questa differenza di andamenti è sicuramente attribuibile alla diversa posizione della testa rispetto alla piastra rimovibile.

Passando all'analisi sugli angoli di influenza si può notare dal confronto riportato sul grafico

7.51, che tranne gli ultimi quattro angoli della posizione P3 che differiscono circa  $2^\circ$  rispetto alla media degli altri, l'angolo del cuneo di spinta è pari a  $42^\circ$ - $43^\circ$  per tutte e tre le posizioni della testa. Si è anche notato durante lo svolgimento delle prove che durante l'estrazione il chiodo oltre che a spostarsi orizzontalmente, tendeva anche a spostarsi verticalmente. Al termine dell'estrazione infatti, come si nota dalle figure 7.68, 7.69 e 7.70, che il chiodo non rimane in posizione orizzontale ma la testa si sposta verso l'alto, in linea con l'idea di ancoraggio flottante.



*Figura 7.68 Posizione chiodo a fine estrazione Cono posizione P1*



*Figura 7.70 Posizione chiodo a fine estrazione Cono posizione P3*



*Figura 7.69 Posizione chiodo a fine estrazione Cono posizione P2*

7.1.4. Tronco Cono

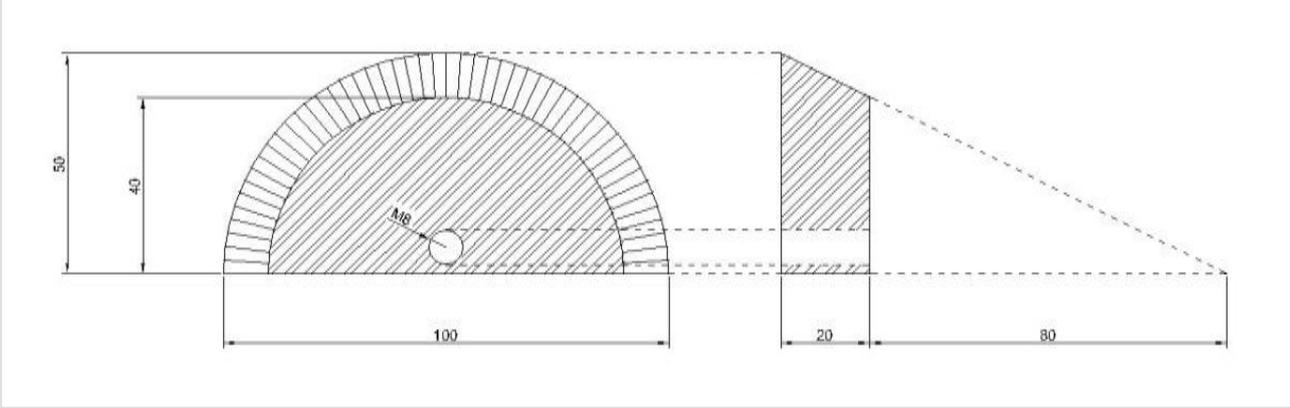


Figura 7.71 Geometria Tronco Cono

### 7.1.4.1. Tronco Cono Posizione P1

Prova svolta il 09-05-2014

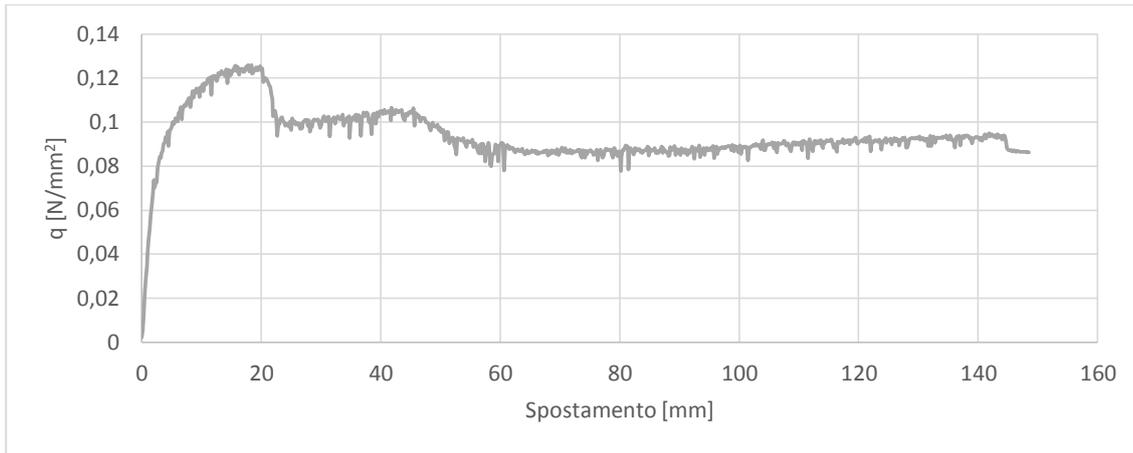


Grafico 7.52 Andamento Capacità Portante per il Tronco Cono in posizione P1

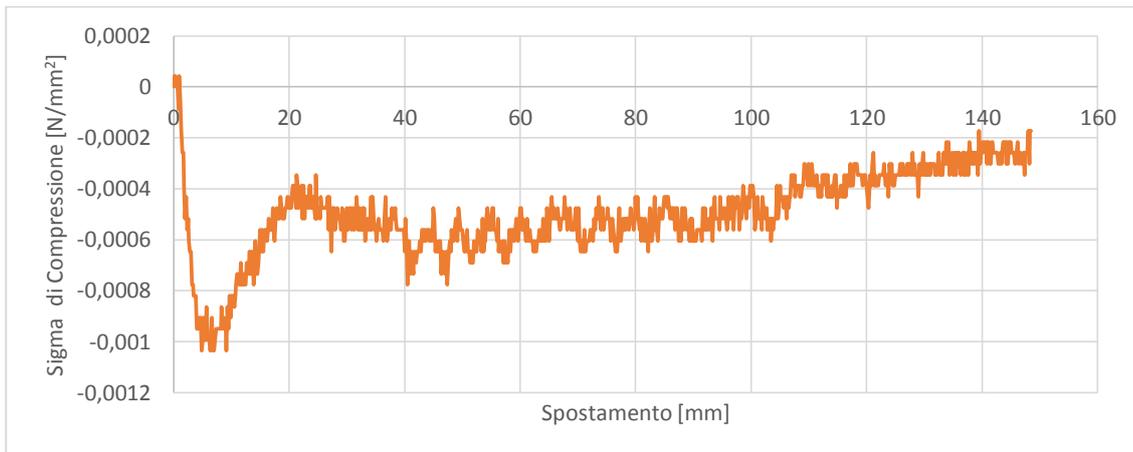


Grafico 7.53 Andamento Sigma di Compressione per il Tronco Cono in posizione P1

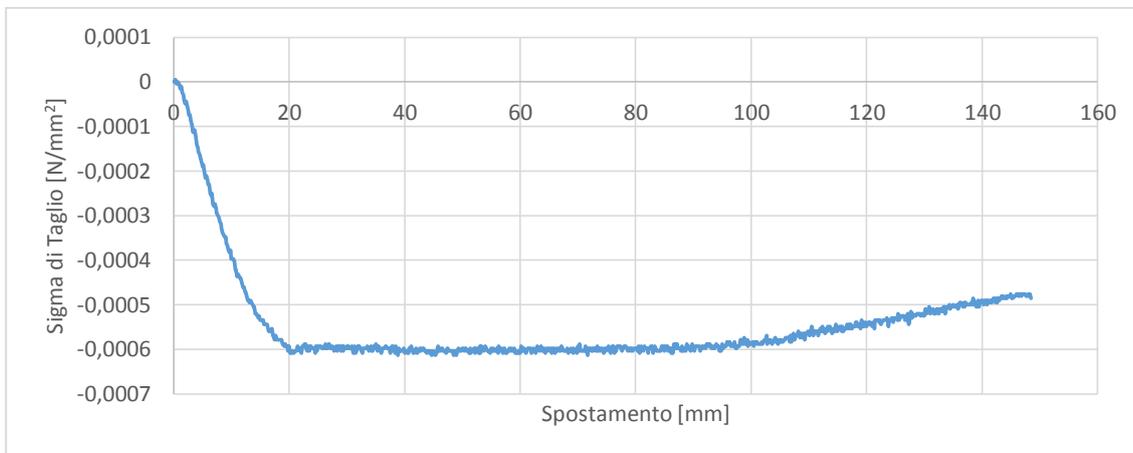


Grafico 7.54 Andamento Sigma di Taglio per il Tronco Cono in posizione P1

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

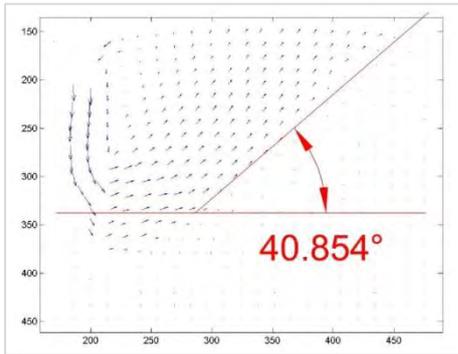


Figura 7.72 Spostamento pari a 2,5 cm

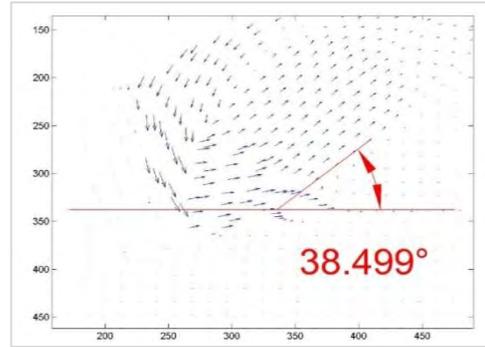


Figura 7.75 Spostamento pari a 10 cm

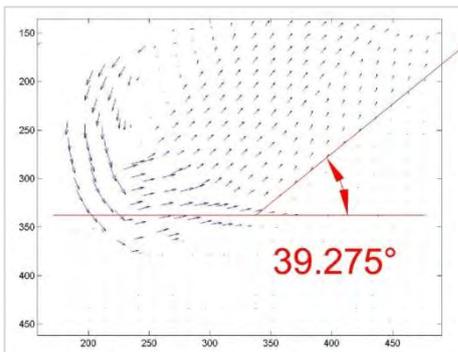


Figura 7.73 Spostamento pari a 5 cm

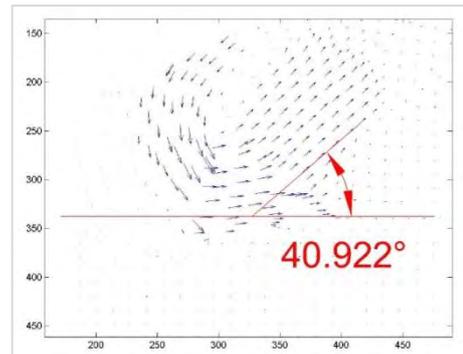


Figura 7.76 Spostamento pari a 12,5 cm

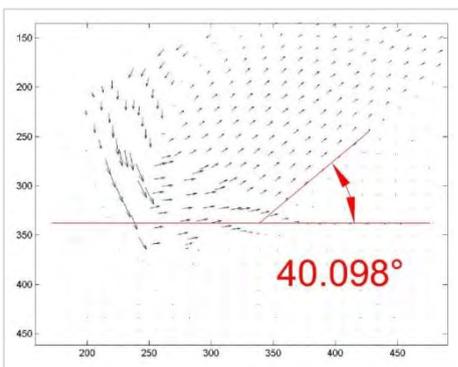


Figura 7.74 Spostamento pari a 7,5 cm

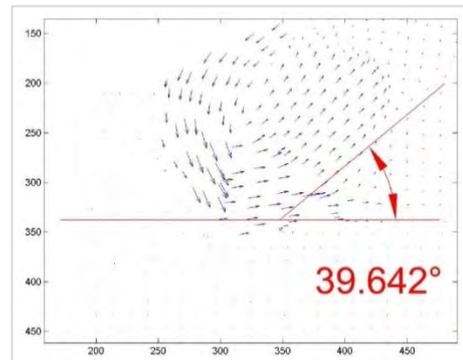


Figura 7.77 Spostamento pari a 15 cm

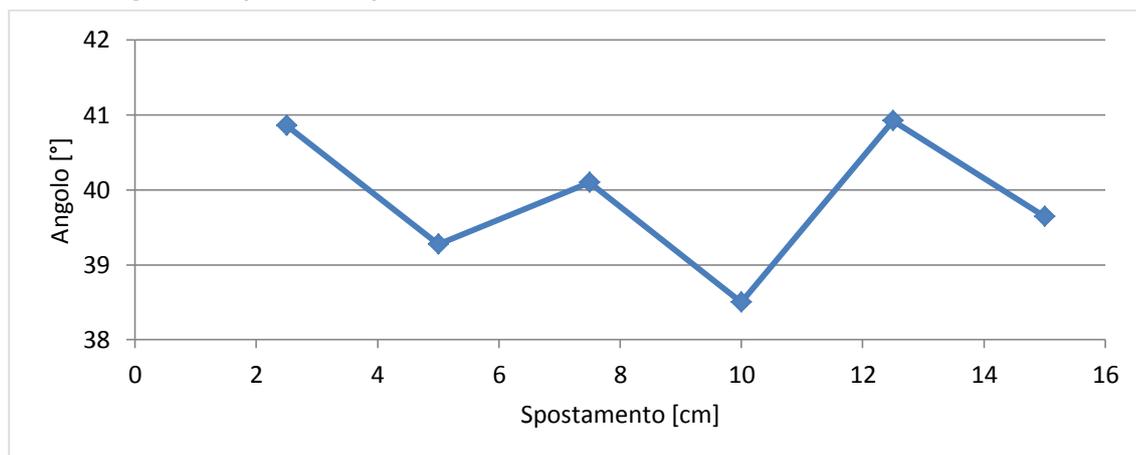


Grafico 7.55 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.4.2. Tronco Cono Posizione P2

Prova svolta il 10-05-2014

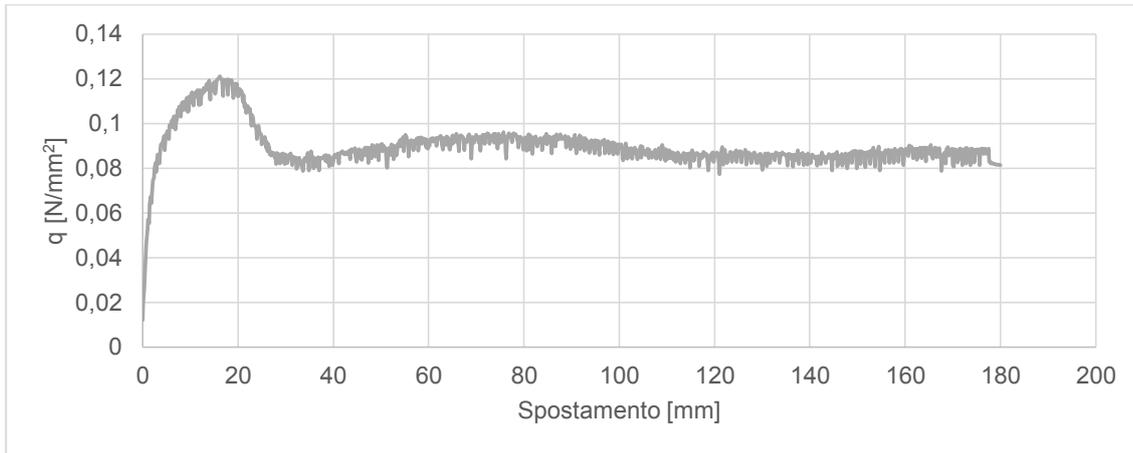


Grafico 7.56 Andamento Capacità Portante per il Tronco Cono in posizione P2

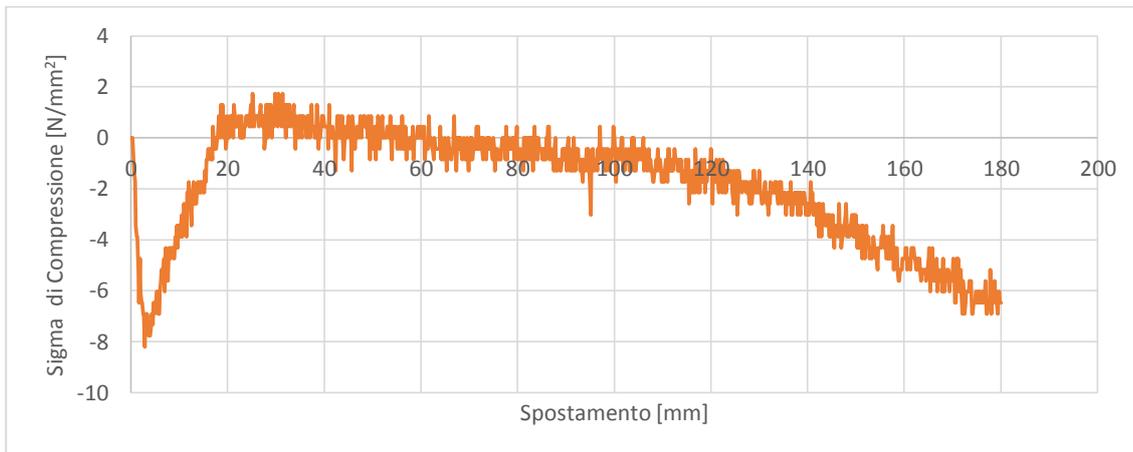


Grafico 7.57 Andamento Sigma di Compressione per il Tronco Cono in posizione P2

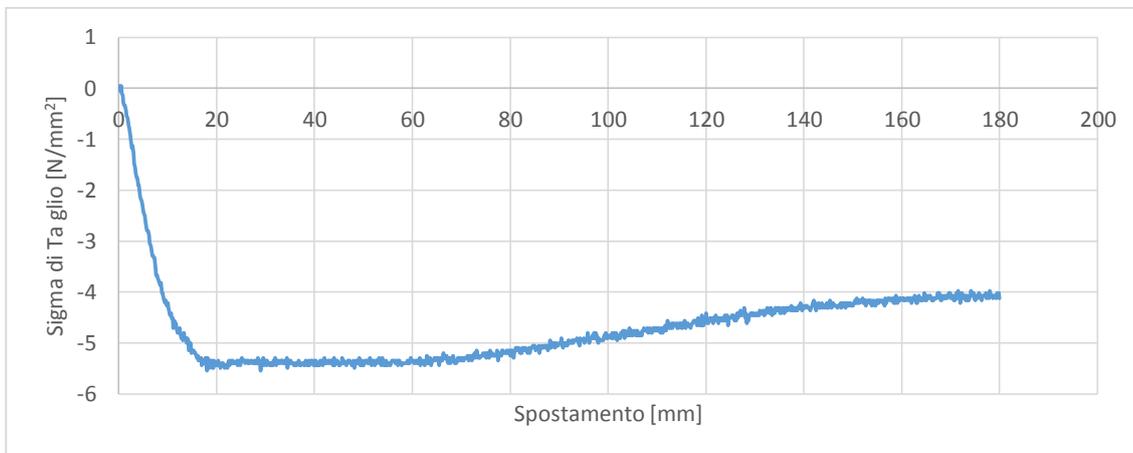


Grafico 7.58 Andamento Sigma di Taglio per il Tronco Cono in posizione P2

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

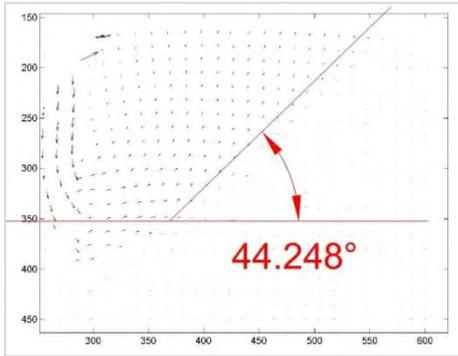


Figura 7.78 Spostamento pari a 2,5 cm

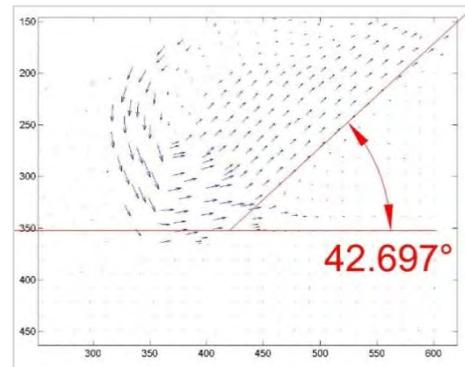


Figura 7.82 Spostamento pari a 12,5 cm

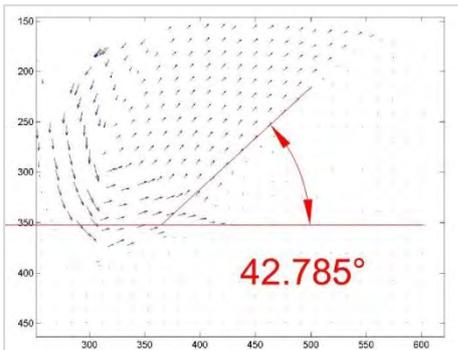


Figura 7.79 Spostamento pari a 5 cm

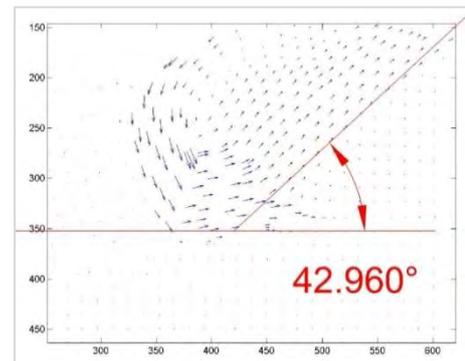


Figura 7.83 Spostamento pari a 15 cm

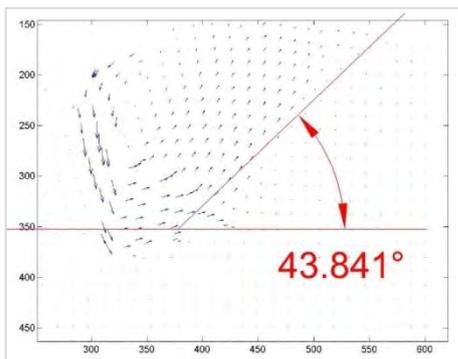


Figura 7.80 Spostamento pari a 7,5 cm

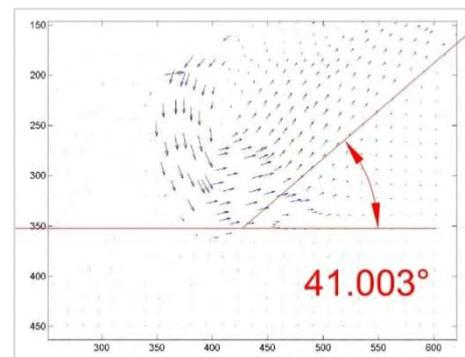


Figura 7.84 Spostamento pari a 17,5 cm

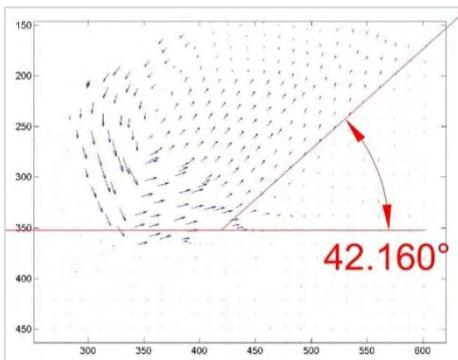


Figura 7.81 Spostamento pari a 10 cm

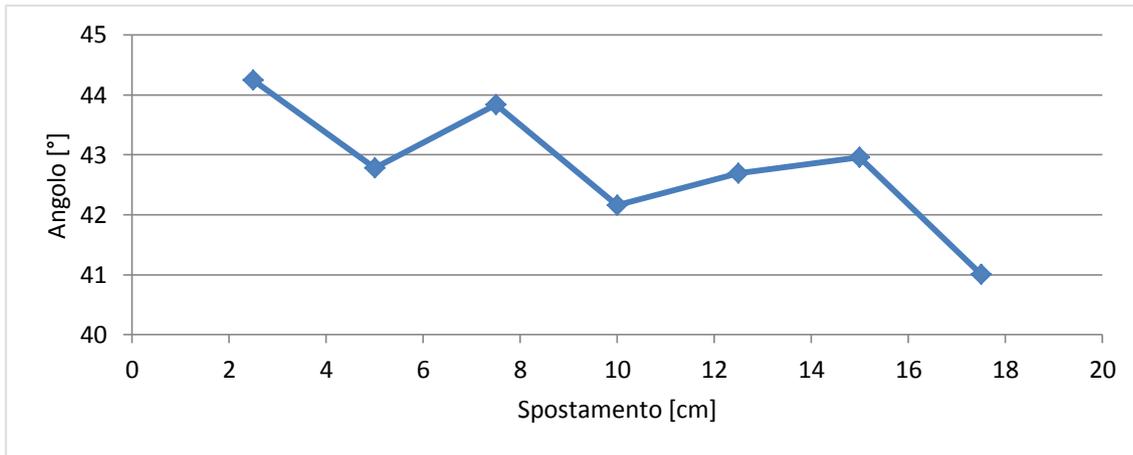


Grafico 7.59 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.4.3. Tronco Cono Posizione P3

Prova svolta il 12-05-2014

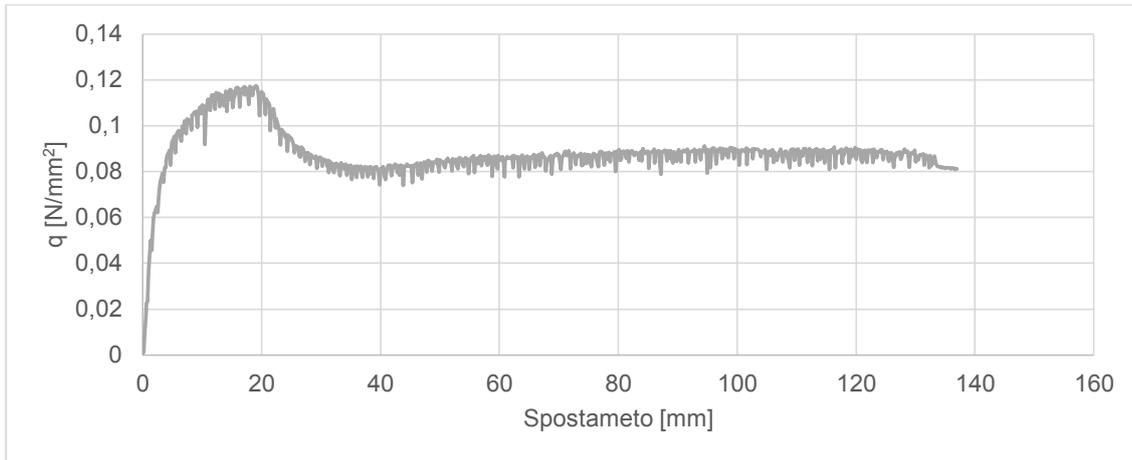


Grafico 7.60 Andamento Capacità Portante per il Tronco Cono in posizione P3

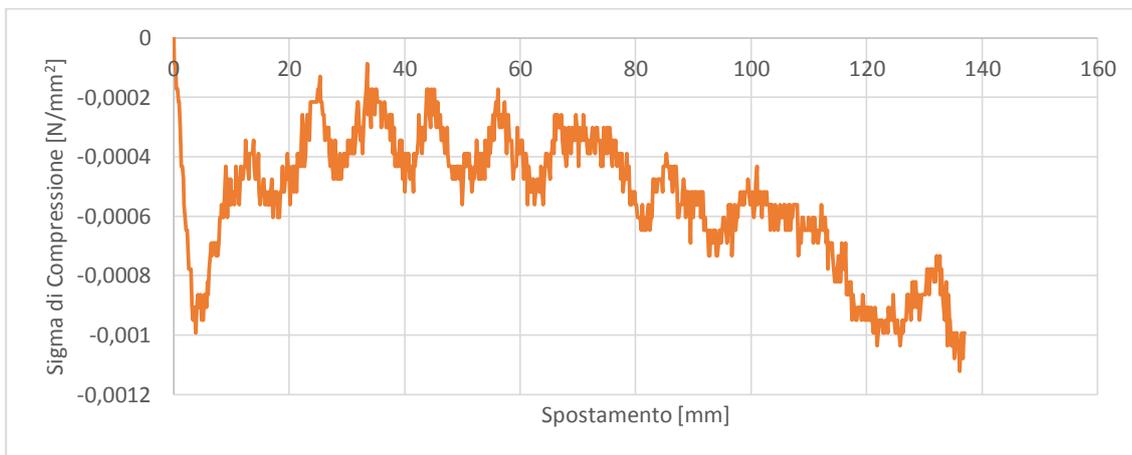


Grafico 7.61 Andamento Sigma di Compressione per il Tronco Cono in posizione P3

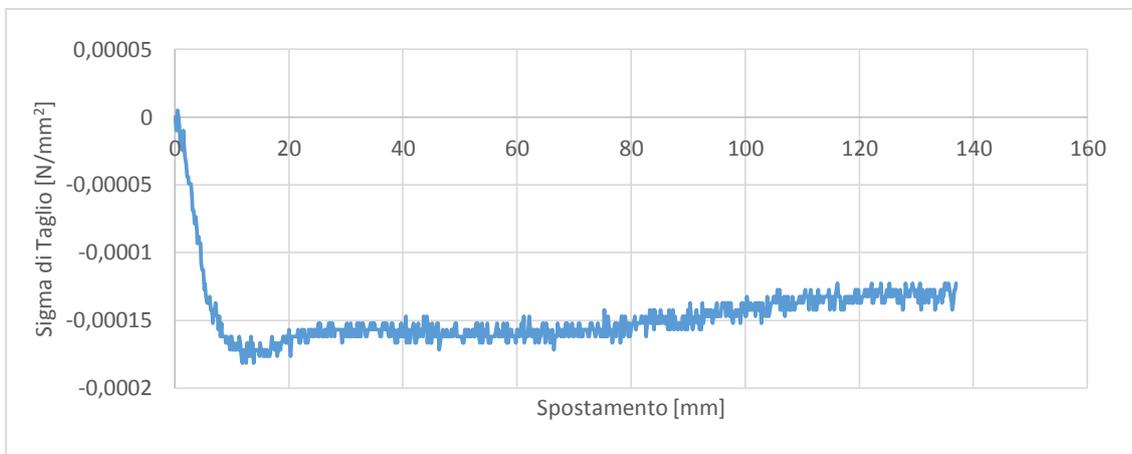


Grafico 7.62 Andamento Sigma di Taglio per il Tronco Cono in posizione P3

## Analisi dei Risultati del software geoPIV

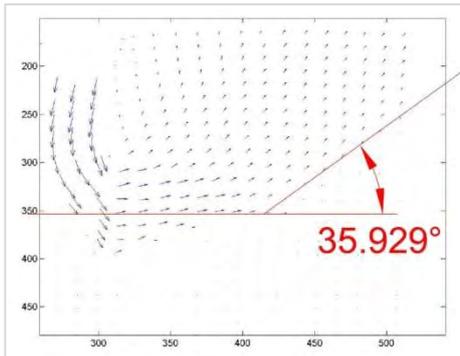


Figura 7.85 Spostamento pari a 2,5 cm

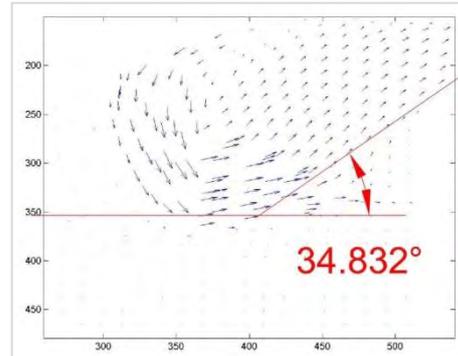


Figura 7.88 Spostamento pari a 10 cm

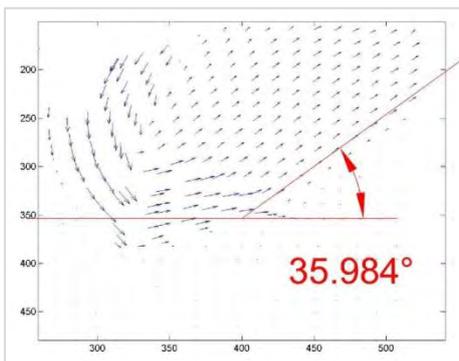


Figura 7.86 Spostamento pari a 5 cm

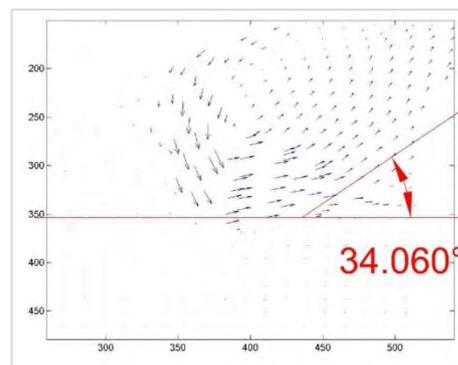


Figura 7.89 Spostamento pari a 12,5 cm

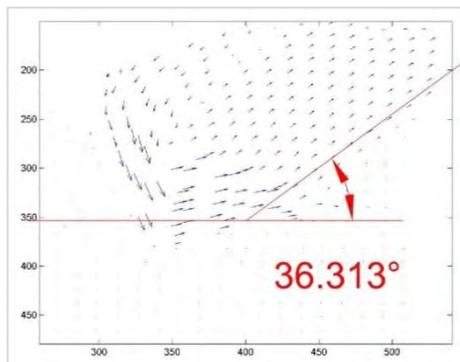


Figura 7.87 Spostamento pari a 7,5 cm

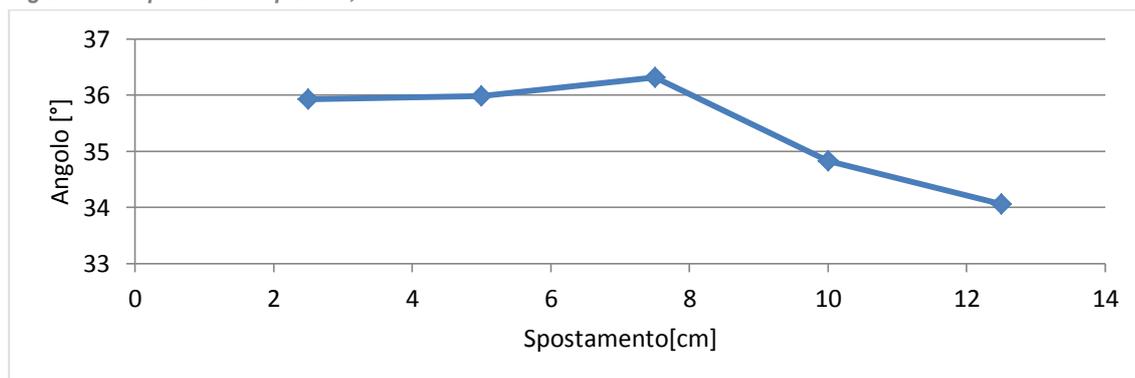


Grafico 7.63 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

#### 7.1.4.4. Confronti tra le Diverse Posizioni per il Tronco cono

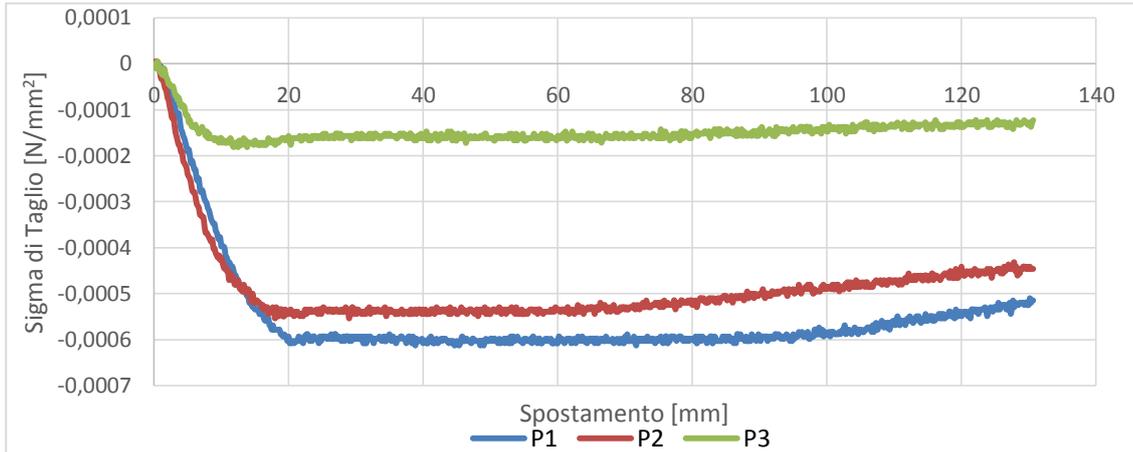


Grafico 7.64 Confronto delle Sigma di Taglio a seconda della posizione

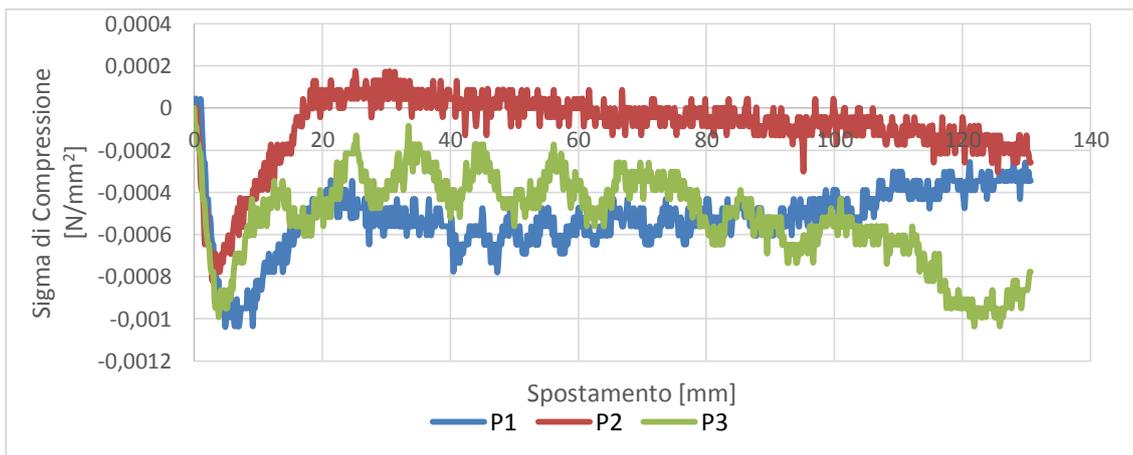


Grafico 7.65 Confronto delle Sigma di Compressione a seconda della posizione

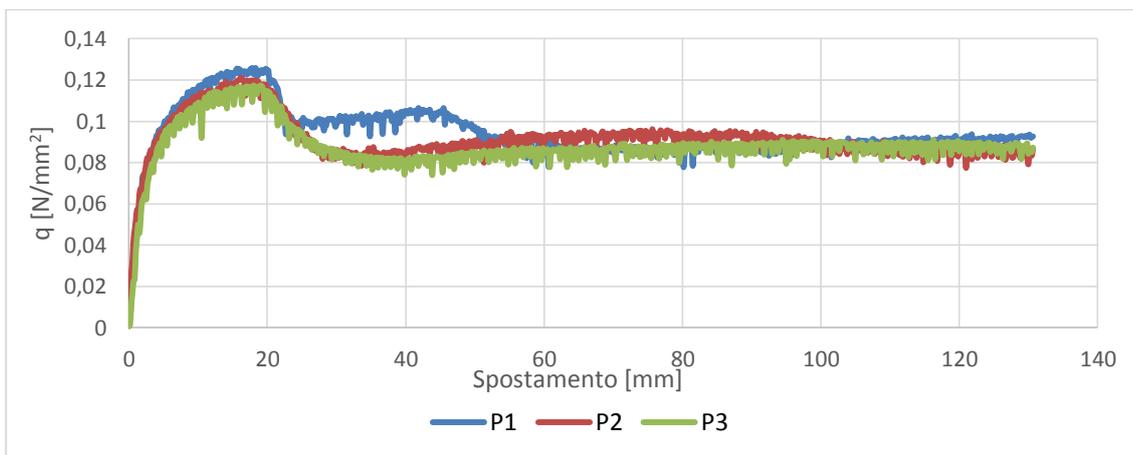


Grafico 7.66 Confronto della Capacità Portante a seconda della posizione

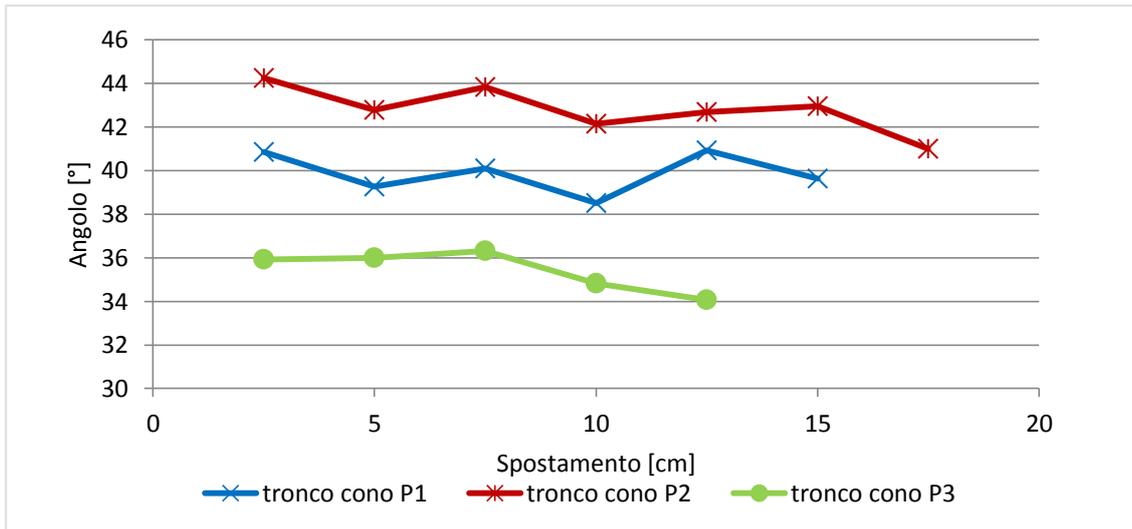


Grafico 7.67 Confronto degli andamenti dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

#### 7.1.4.5.Osservazioni

Dal grafico 7.66 del confronto della capacità portante per le tre posizioni si vede un comportamento praticamente identico, salvo per la posizione P1 dove sembra esserci un secondo picco attorno ai 40 mm di estrazione. Per la posizione P1 il picco è pari a  $0,128 \text{ N/mm}^2$ , per la posizione P2 è pari a  $0,121 \text{ N/mm}^2$  e per la posizione P3 pari a  $0,117 \text{ N/mm}^2$ . Rispetto al valore di picco in posizione P1 gli altri valori di picco per le altre due posizioni differiscono di un 3% P2 e di un 6% P3. Il valore a cui si assestano è pari circa a  $0,09 \text{ N/mm}^2$ , con una perdita rispetto al picco massimo tra i tre rilevamenti di un 10% circa.

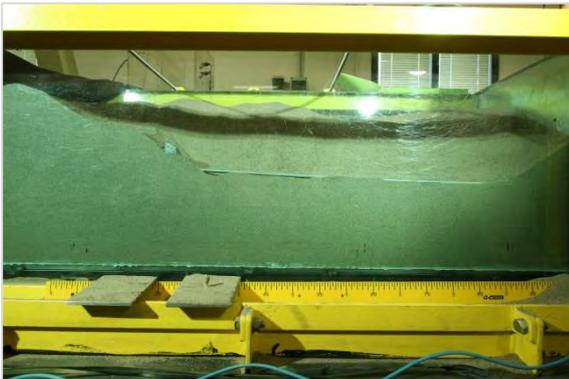
Per quanto riguarda la sigma di compressione riportata nel grafico 7.65 per tutte e tre le posizioni si ha un picco a 10mm di estrazione circa. Il picco delle sigma in posizione P1 è pari a  $0,00104 \text{ N/mm}^2$ , per la posizione P2 è di un 20% inferiore, cioè  $0,00082 \text{ N/mm}^2$ , mentre per la posizione P3 vale  $0,00099 \text{ N/mm}^2$ , inferiore del 4% rispetto a P1. Come andamento, il grafico dell'esperimento in posizione P1 mostra che le sigma sulla piastra rimovibile superato il picco a circa 8mm di spostamento, tende a diminuire fino ad arrivare quasi a zero a fine estrazione. Per la posizione P2 invece il comportamento è diverso, tra i 20 e i 60 mm di estrazione le sigma di compressione sono inferiori a quelle di partenza, superati i 60 mm, la piastra torna ad avere delle sigma di compressione via via crescenti. Questo è dovuto allo spostamento del terreno da parte della testa del chiodo e dell'asportazione a tergo della piastra stessa del terreno durante l'estrazione. Invece, il grafico riguardante l'esperimento in posizione P3, mostra un andamento simile a quello visto per la posizione P1 fino ad 80mm di estrazione. Superati gli 80mm viene registrato un ricarico della piastra rimovibile fino ad arrivare ad un valore di poco superiore a quello di picco. Questo comportamento è molto probabilmente dovuto al terreno nel vuoto lasciato dal passaggio del chiodo. La forte differenza tra i valori di sigma della P3 rispetto alle altre è da imputare alla posizione ravvicinata tra testa e piastra, la quale non permette al cuneo di spinta di interessare l'area della piastra completamente.

Nel confronto della sigma di taglio sulla piastrina riportate nel grafico 7.64 si vede la differenza tra le varie posizioni, per la posizione P1 il picco si ha con un'estrazione di 20mm ed è pari a  $0,00061 \text{ N/mm}^2$ ; per la posizione P2 il picco è pari a  $0,00055 \text{ N/mm}^2$ , cioè il 10% in meno rispetto a P1 e lo si ha attorno ai 18mm; mentre per la posizione P3 il comportamento è sensibilmente diverso, il picco è pari a  $0,00018 \text{ N/mm}^2$ , di ben il 70% in meno rispetto a P1. Il comportamento dopo il raggiungimento del picco è abbastanza simile per tutte e tre le posizioni. La sigma misurata nel picco ha la tendenza a diminuire leggermente al proseguire dell'esperimento.

Per quanto riguarda invece il confronto tra gli angoli, riportato nel grafico 7.67, si vede che

l'andamento è molto simile anche se con angoli che differiscono di  $4^\circ$  uno all'altro. La posizione P2 da un angolo medio di circa  $43^\circ$ , la posizione P1 di  $40^\circ$  e la posizione P3 di  $36^\circ$ . Va sempre ricordato che questa determinazione dei gradi dipende molto dalla sensibilità dell'operatore che effettua la misurazione. Sembrerebbe che l'angolo nelle misurazioni in posizione P2 e P3 all'aumentare dell'estrazione diminuisca di ampiezza mentre per la posizione P1 questo andamento non si riscontra.

Si è anche notato durante lo svolgimento delle prove che durante l'estrazione il chiodo oltre che a spostarsi orizzontalmente, tendeva anche a spostarsi verticalmente. Al termine dell'estrazione infatti, come si nota dalle figure 7.90, 7.91 e 7.92 che il chiodo non rimane in posizione orizzontale ma la testa si sposta verso l'alto, in linea con l'idea di ancoraggio flottante.



*Figura 7.90 Posizione chiodo a fine estrazione Tronco Cono posizione P1*



*Figura 7.92 Posizione chiodo a fine estrazione Tronco Cono posizione P3*



*Figura 7.91 Posizione chiodo a fine estrazione Tronco Cono posizione P2*

7.1.5. Piastra Piatta Spessa

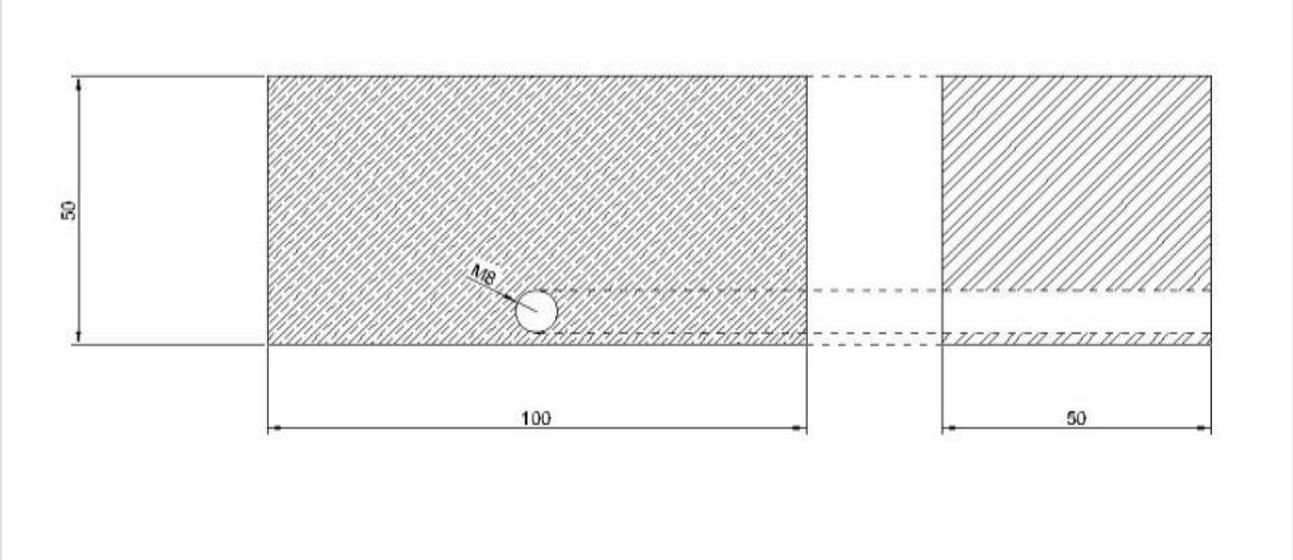


Figura 7.93 Geometria Piastra Piatta Spessa

### 7.1.5.1. Piastra Piatta Spessa Posizione P1

Prova svolta il 13-05-2014

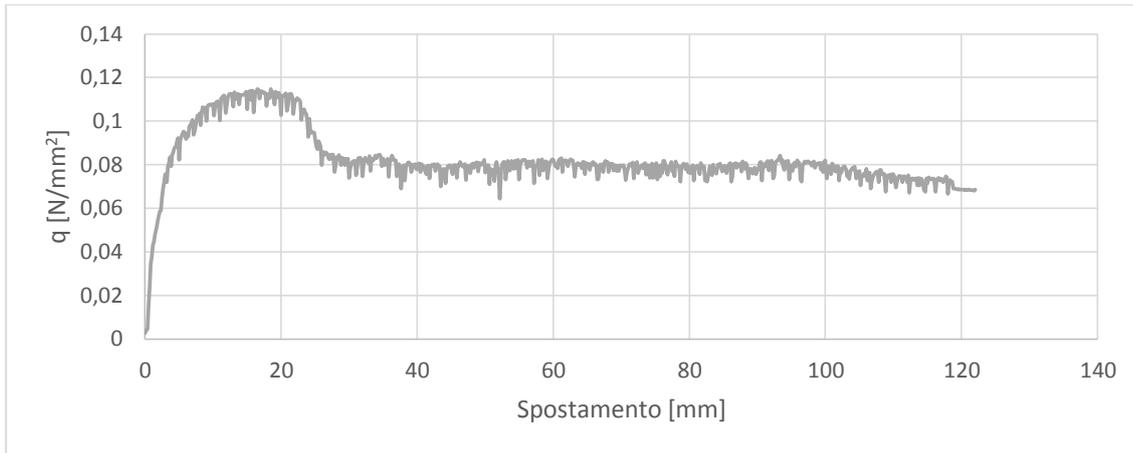


Grafico 7.68 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta Spessa in posizione P1

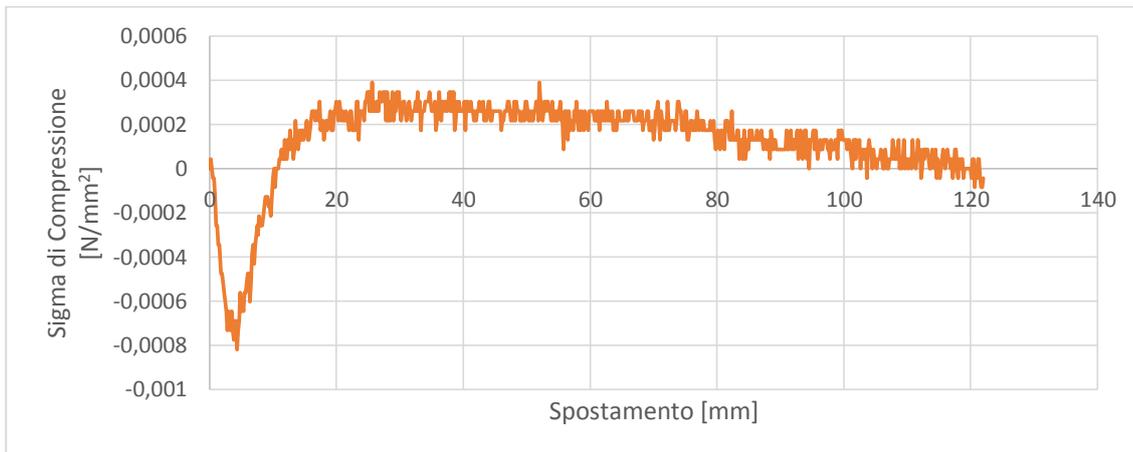


Grafico 7.69 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta Spessa in posizione P1

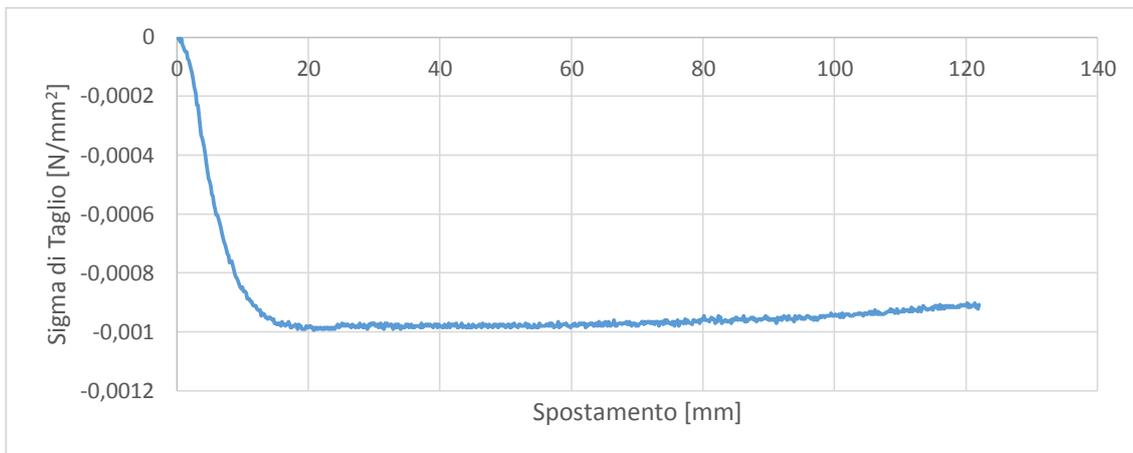


Grafico 7.70 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta Spessa in posizione P1

**Analisi dei Risultati del software geoPIV**

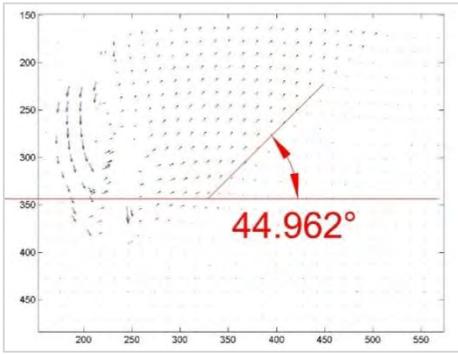


Figura 7.94 Spostamento pari a 2,5 cm

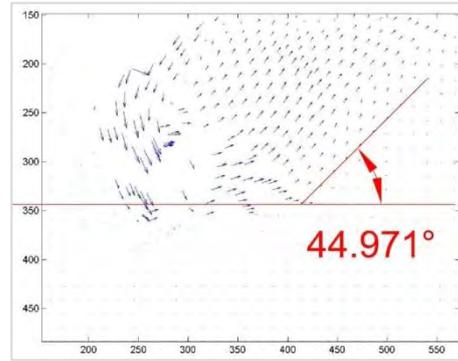


Figura 7.97 Spostamento pari a 10 cm

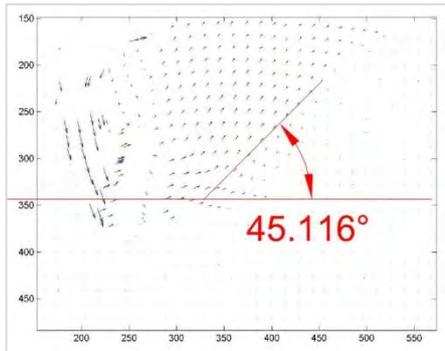


Figura 7.95 Spostamento pari a 5 cm

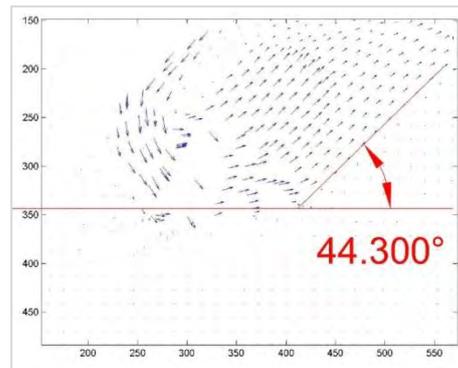


Figura 7.98 Spostamento pari a 12,5 cm

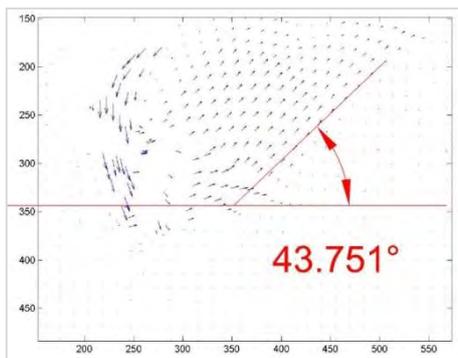


Figura 7.96 Spostamento pari a 7,5 cm

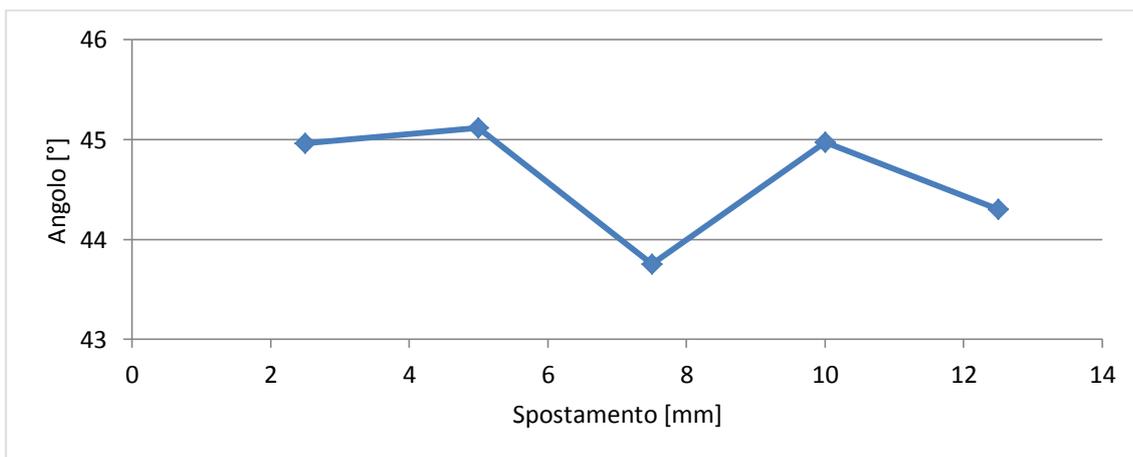


Grafico 7.71 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.5.2. Piastra Piatta Spessa Posizione P2

Prova svolta il 14-05-2014

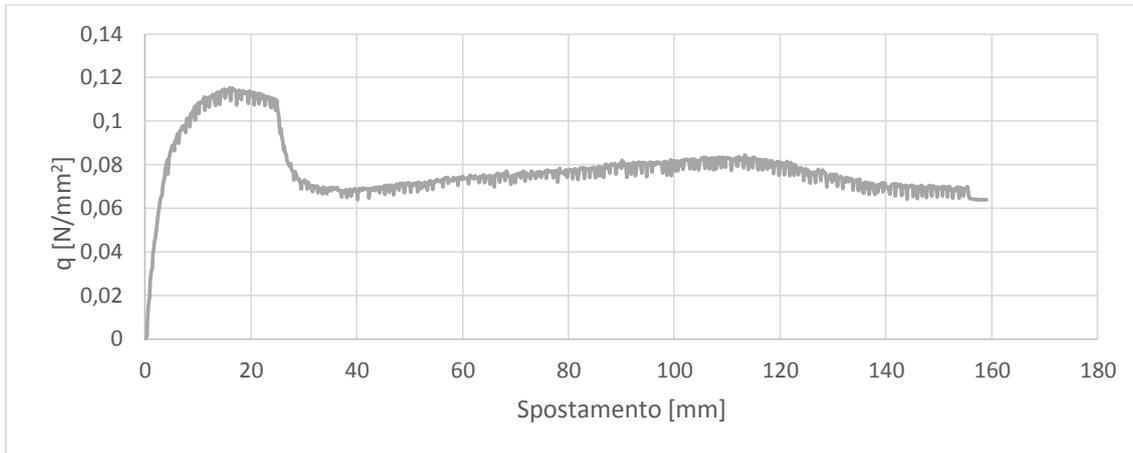


Grafico 7.72 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta Spessa in posizione P2

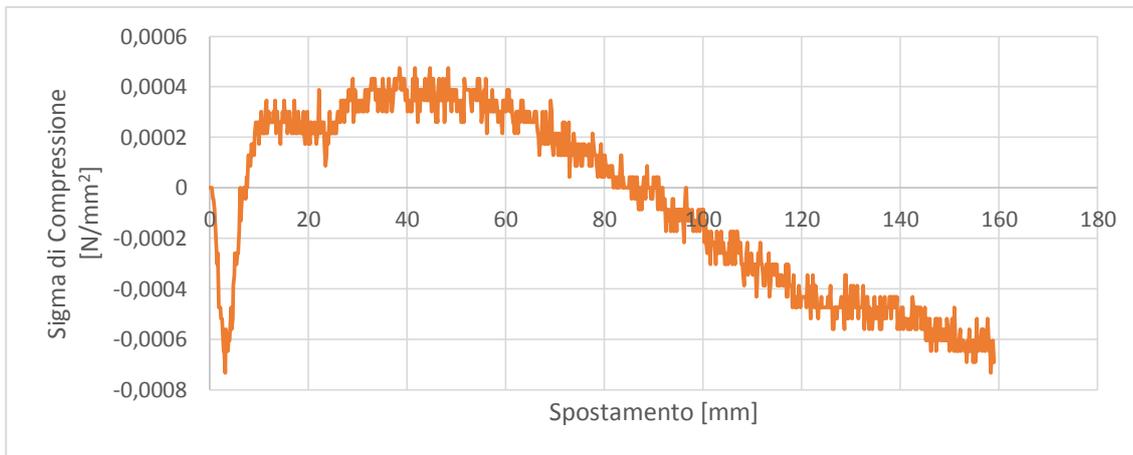


Grafico 7.73 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta Spessa in posizione P2

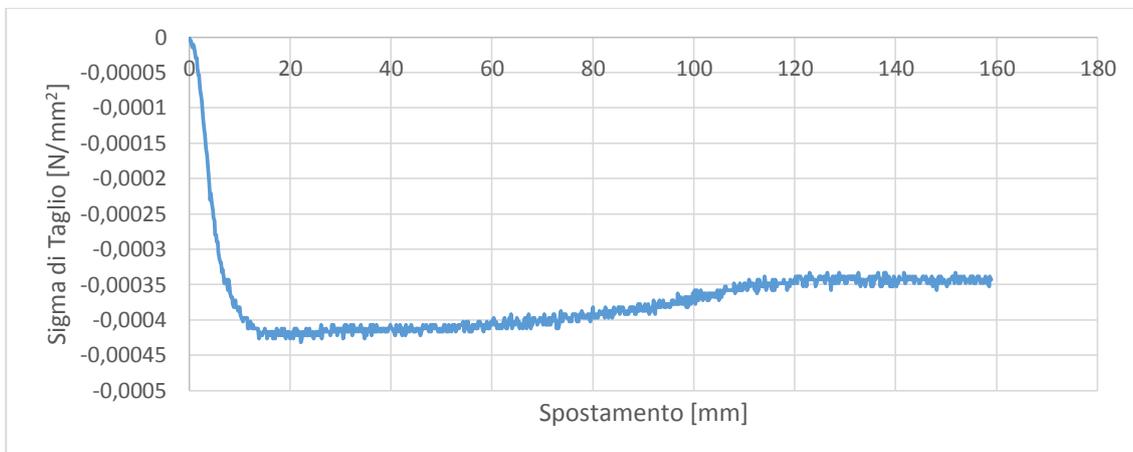


Grafico 7.74 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta Spessa in posizione P2

**Analisi dei Risultati del software geoPIV**

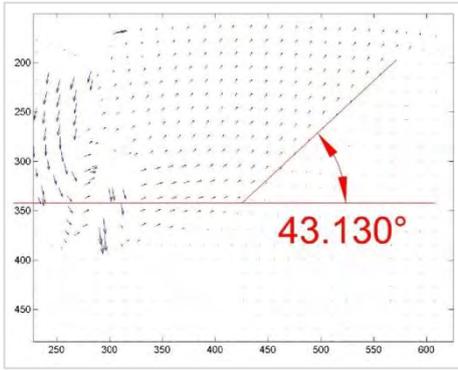


Figura 7.99 Spostamento pari a 2,5 cm

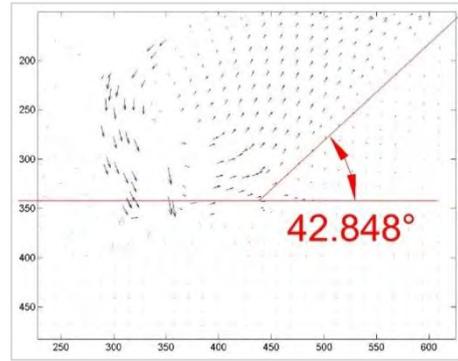


Figura 7.102 Spostamento pari a 10 cm

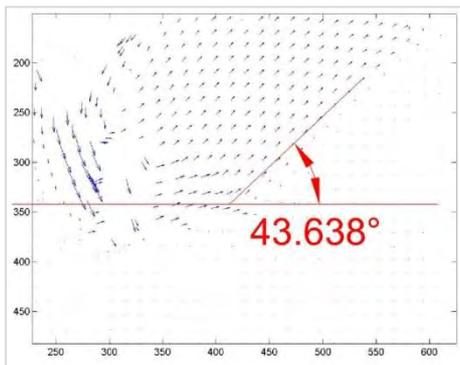


Figura 7.100 Spostamento pari a 5 cm

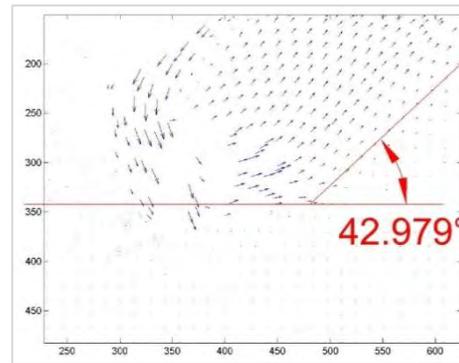


Figura 7.103 Spostamento pari a 12,5 cm

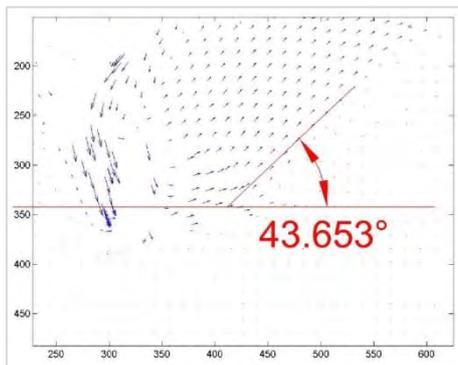


Figura 7.101 Spostamento pari a 7,5 cm

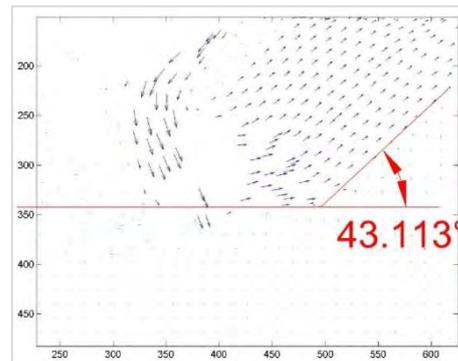


Figura 7.104 Spostamento pari a 15 cm

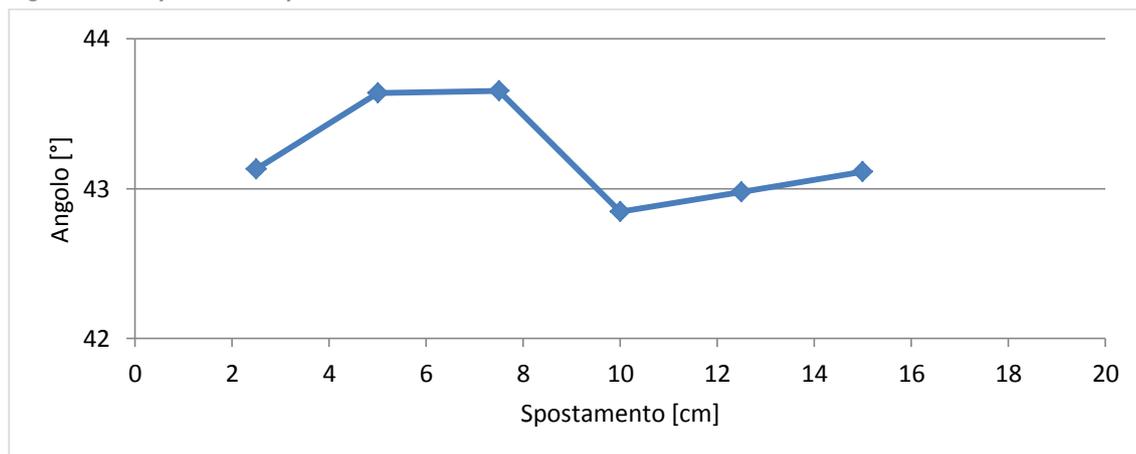


Grafico 7.75 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.5.3. Piastra Piatta Spessa Posizione P3

Prova svolta il 16-05-2014

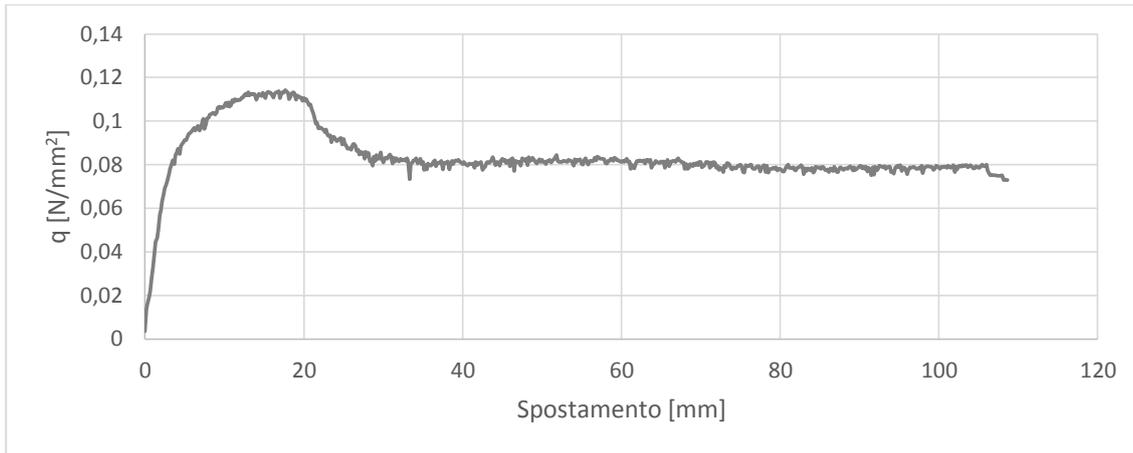


Grafico 7.76 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta Spessa in posizione P3

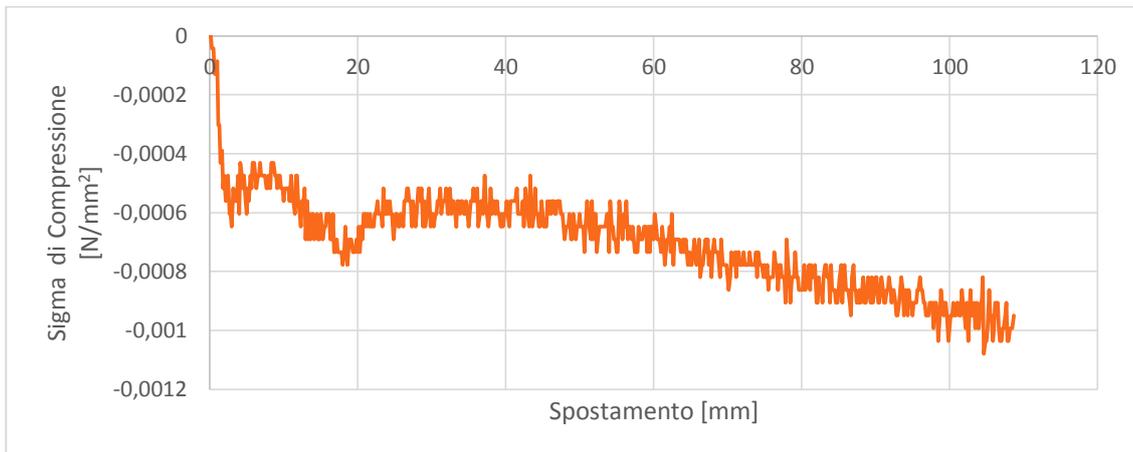


Grafico 7.77 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta Spessa in posizione P3

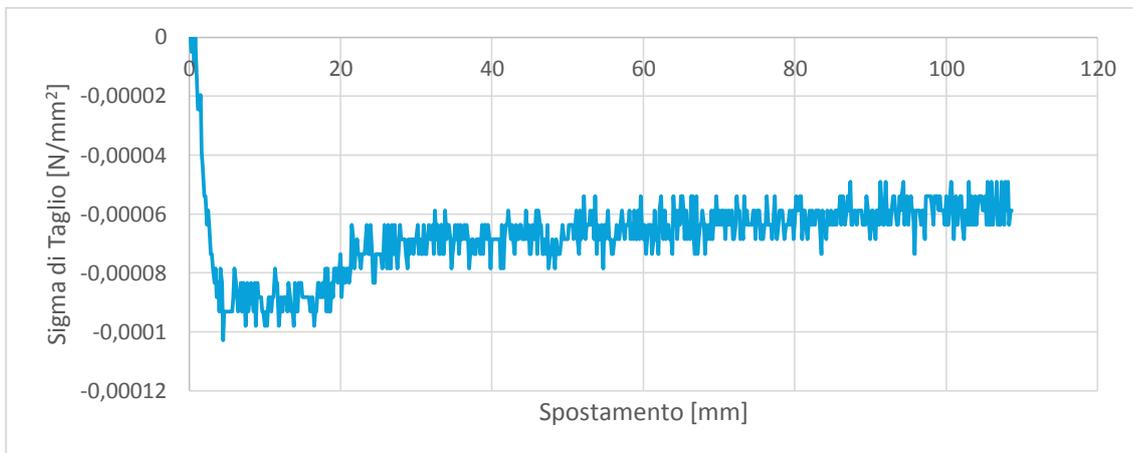
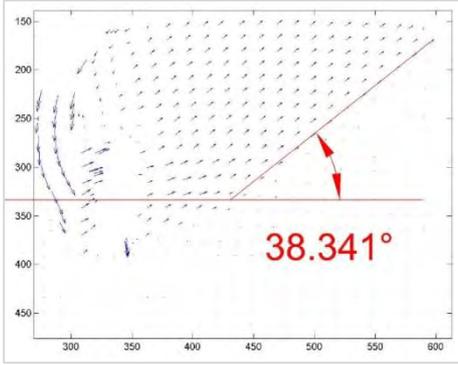
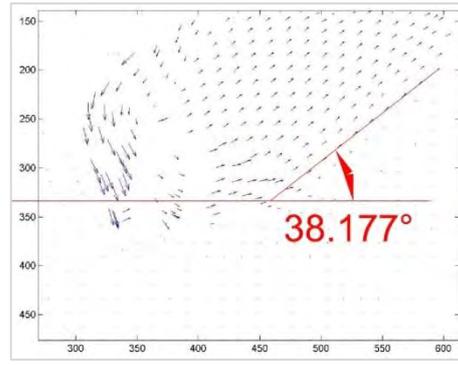


Grafico 7.78 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta Spessa in posizione P3

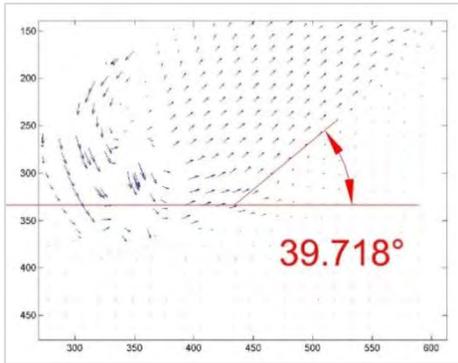
**Analisi dei Risultati del software geoPIV**



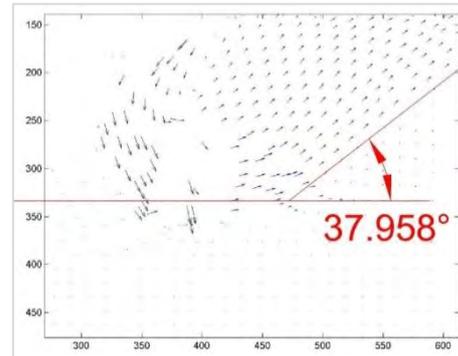
*Figura 7.105 Spostamento pari a 2,5 cm*



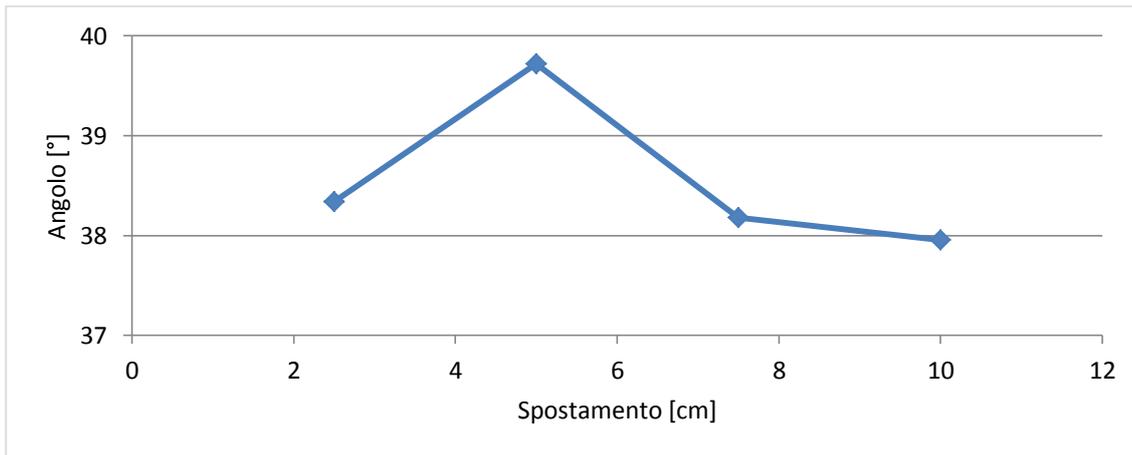
*Figura 7.107 Spostamento pari a 7,5 cm*



*Figura 7.106 Spostamento pari a 5 cm*



*Figura 7.108 Spostamento pari a 10 cm*



*Grafico 7.79 Andamento dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo*

#### 7.1.5.4. Confronti tra le Diverse Posizioni per la Piastra Piatta Spessa

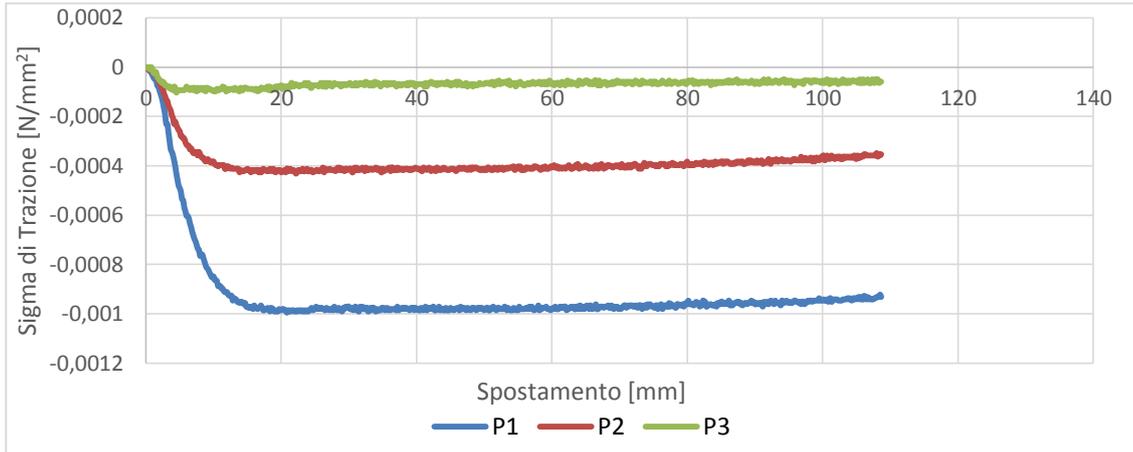


Grafico 7.80 Confronto delle Sigma di Taglio a seconda della posizione

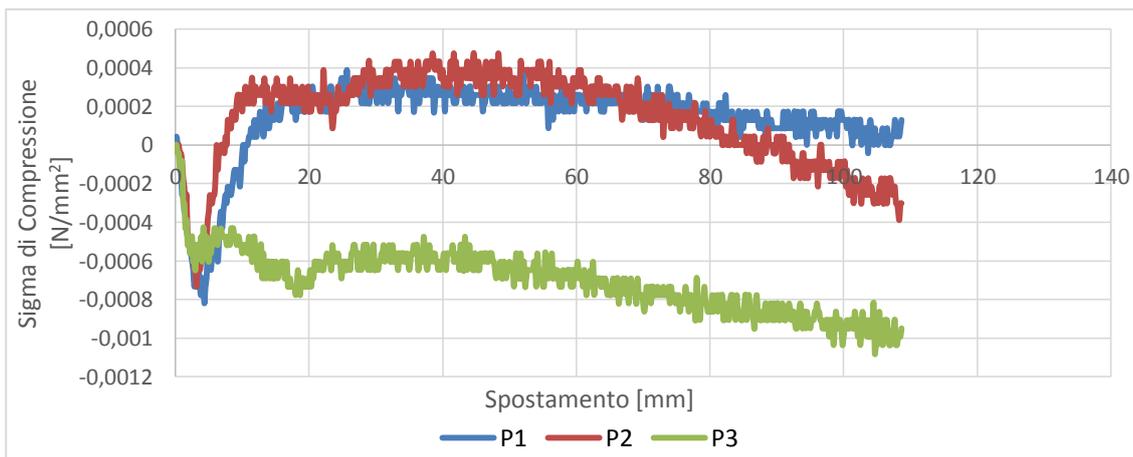


Grafico 7.81 Confronto delle Sigma di Compressione a seconda della posizione

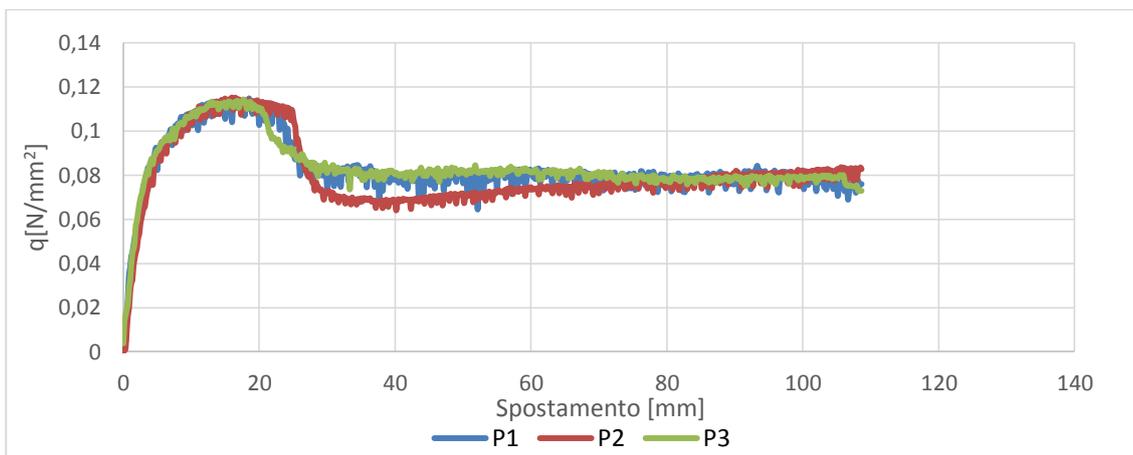


Grafico 7.82 Confronto della Capacità Portante a seconda della posizione

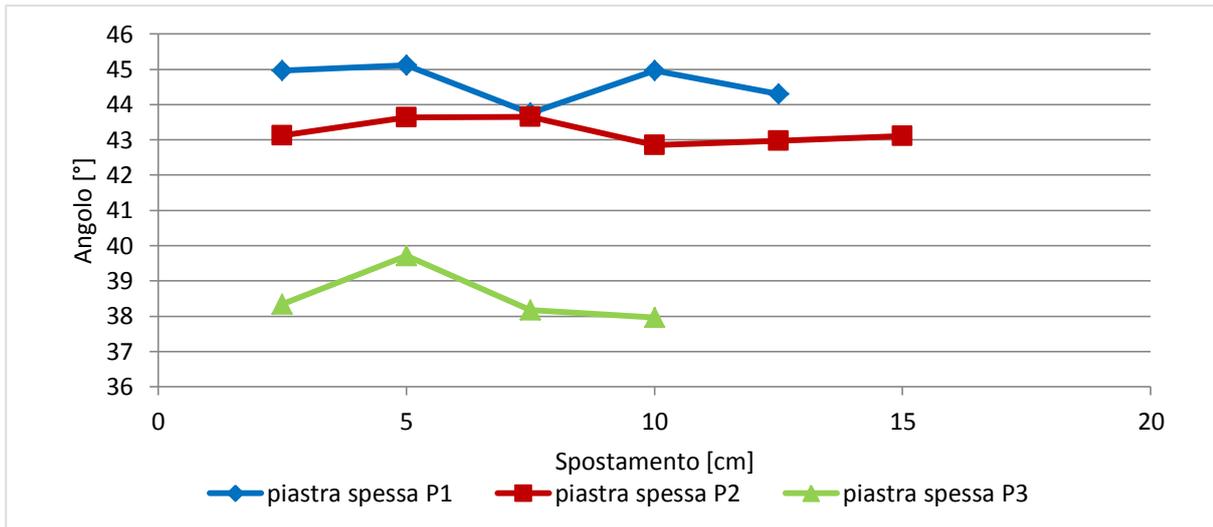


Grafico 7.83 Confronto degli andamenti dell'angolo del cuneo di spinta durante l'estrazione del chiodo

### 7.1.5.5.Osservazioni

Dal grafico 7.82 dove si confronta la capacità portante nelle varie posizioni, l'andamento è pressoché identico per tutte le posizioni, fatto salvo per la posizione P2, l'andamento dopo il picco dove si ha un valore leggermente più basso rispetto alle altre due posizioni. Per quanto riguarda il valore massimo di capacità portante registrato è pari a  $0,115 \text{ N/mm}^2$  per la posizione P1, per la posizione P2 è di  $0,115 \text{ N/mm}^2$  e per la posizione P3 è di  $0,114 \text{ N/mm}^2$ . Per quanto riguarda il valore residuo della capacità portante si nota che per la posizione P1 e P3 si ha un valore molto simile intorno allo  $0,008 \text{ N/mm}^2$ , mentre per la posizione P2 questo valore viene raggiunto solo ad 80mm di estrazione, mentre prima si mantiene più basso.

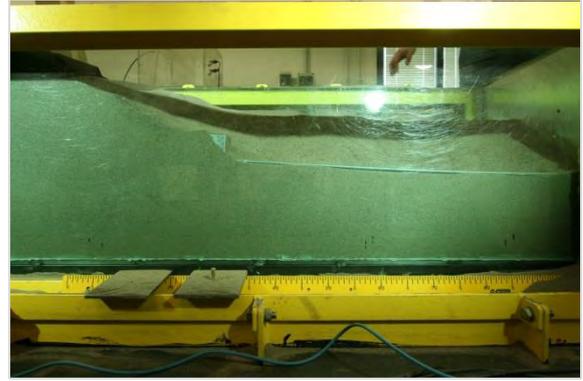
Il confronto della sigma di compressione sulla piastrina riportato nel grafico 7.81 mostra per la posizione P1 un picco pari a  $0,00082 \text{ N/mm}^2$  e per la posizione P2 pari a  $0,00073 \text{ N/mm}^2$  per entrambe attorno ai 5mm di spostamento. Poi una parte in cui il valore risulta essere minore di quello di partenza, sicuramente causato dall'asportazione del terreno da parte della piastra stessa. L'andamento della prova in posizione P3 è molto diverso dagli altri. L'andamento della sigma di compressione sembra avere due picchi successivi, uno a 5mm di estrazione e uno intorno ai 18mm, poi un lieve scarico tra i 20mm e i 60 mm dove la sigma torna ad essere pari a quella del secondo picco, e dai 60mm di estrazione in poi un aumento della sigma fino al termine dell'esperimento.

Per quanto riguarda invece il confronto della sigma di taglio mostrato del grafico 7.80, si nota che il valore di picco maggiore si ha per la posizione P1 pari a  $0,001 \text{ N/mm}^2$  invece che per la posizione P2 pari a  $0,00043 \text{ N/mm}^2$ , quindi inferiore del 57%. Per la posizione P3 il valore di picco è pari a  $0,0001 \text{ N/mm}^2$  inferiore a P1 del 90%. Per tutte e tre le posizioni si vede che una volta raggiunto il picco, le sigma non subiscono grandi diminuzioni.

Passando all'analisi sugli angoli del cuneo di spinta riportati nel grafico 7.83 si può notare dal confronto che per la posizione P1 e P2 l'angolo rilevato è abbastanza simile, tra i  $44^\circ$  e i  $45^\circ$  per P1 e tra i  $43^\circ$  e i  $44^\circ$  per P2, mentre per la posizione P3 gli angoli rilevati sono minori vanno dai  $38^\circ$  a un massimo di  $40^\circ$ . Questa ampia differenza può essere causata da una non perfetta ripetizione delle condizioni di partenza dell'esperimento. Si è anche notato durante lo svolgimento delle prove che durante l'estrazione il chiodo oltre che a spostarsi orizzontalmente, tendeva anche a spostarsi verticalmente. Al termine dell'estrazione infatti, come si nota dalle figure 7.109, 7.110 e 7.111, che il chiodo non rimane in posizione orizzontale ma la testa si sposta verso l'alto, in linea con l'idea di ancoraggio flottante.



*Figura 7.109 Posizione chiodo a fine estrazione Piastra Piatta Spessa posizione P1*



*Figura 7.111 Posizione chiodo a fine estrazione Piastra Piatta Spessa posizione P3*



*Figura 7.110 Posizione chiodo a fine estrazione Piastra Piatta Spessa posizione P2*

### 7.1.6. Confronti tra le Varie Forme delle Piastre per Posizione

Di seguito sono riportati, distinti per ogni posizione in cui sono state effettuate le varie prove (P1, P2, P3), i grafici riferiti a capacità portante, sigma di compressione e sigma di taglio impresse alla piastra rimovibile, con i confronti tra le diverse teste utilizzate.

Questi confronti hanno l'obiettivo di evidenziare quale posizione sia ottimale tra quelle usate da utilizzare poi per effettuare la sperimentazione in posizione centrale.

#### 7.1.6.1. Posizione P1

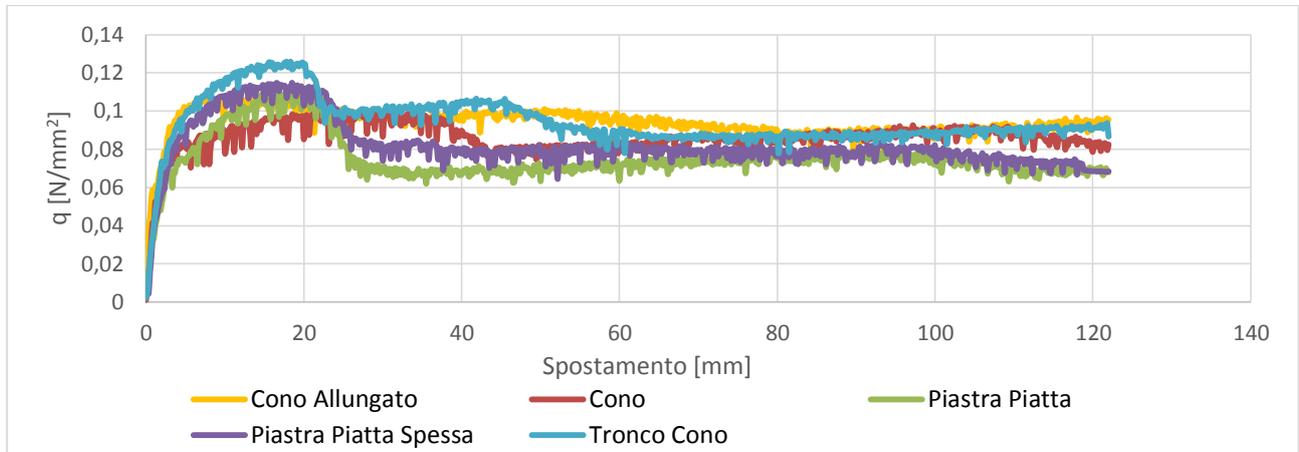


Grafico 7.84 Confronto Capacità Portante per le diverse geometrie di piastra in posizione P1

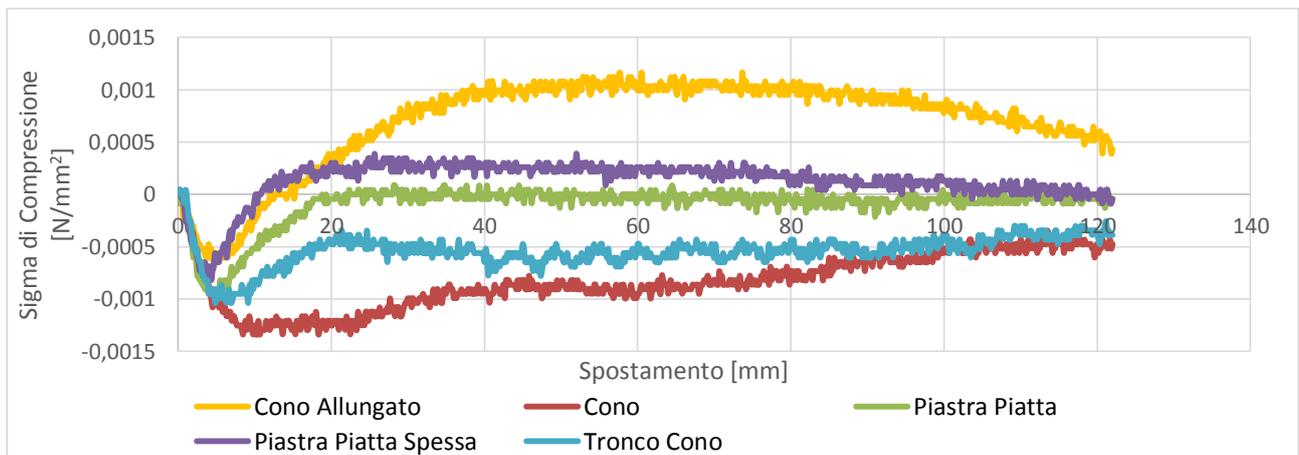


Grafico 7.85 Confronto Sigma di Compressione per le diverse geometrie di piastra in posizione P1

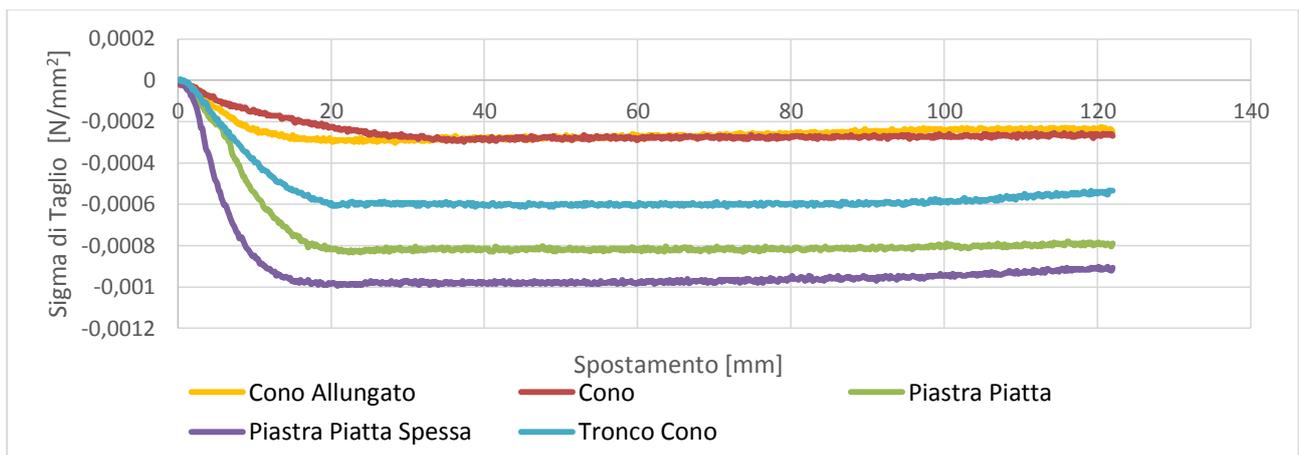


Grafico 7.86 Confronto Sigma di Taglio per le diverse geometrie di piastra in posizione P1

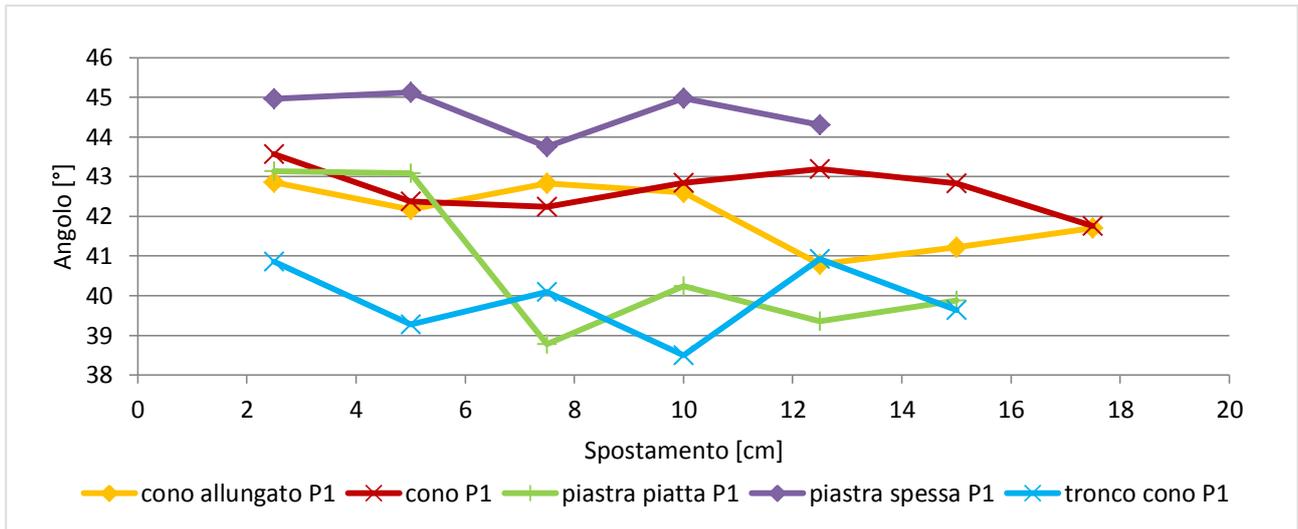


Grafico 7.87 Confronto tra l'andamento degli angoli dei cunei di spinta per le prove in posizione P1

### 7.1.6.2. Posizione P2

#### Forza Assiale di Trazione

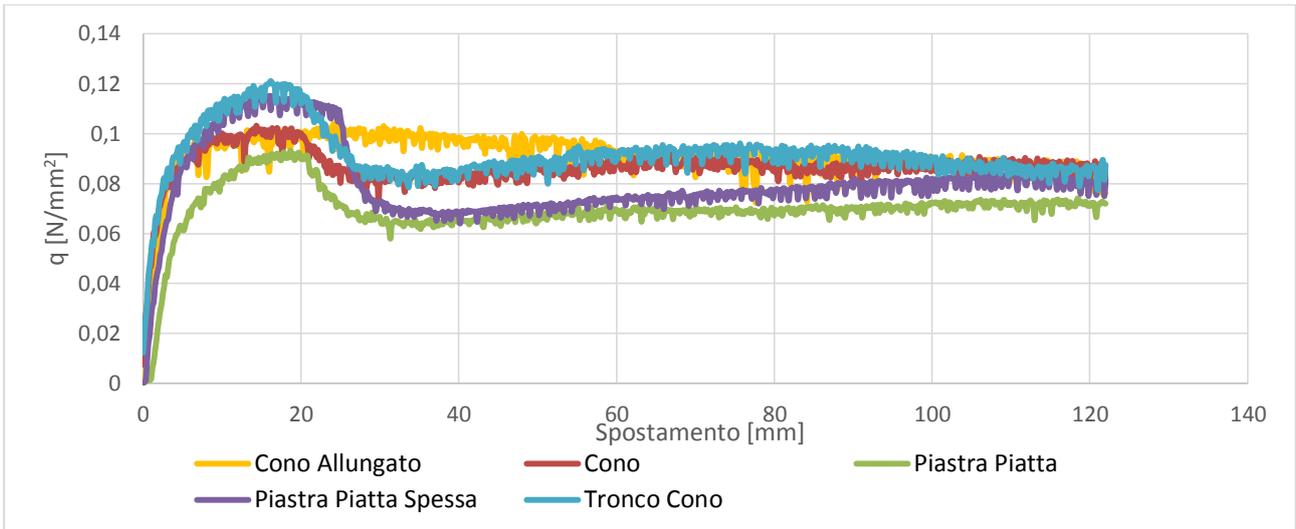


Grafico 7.88 Confronto Capacità Portante per le diverse geometrie di piastra in posizione P2

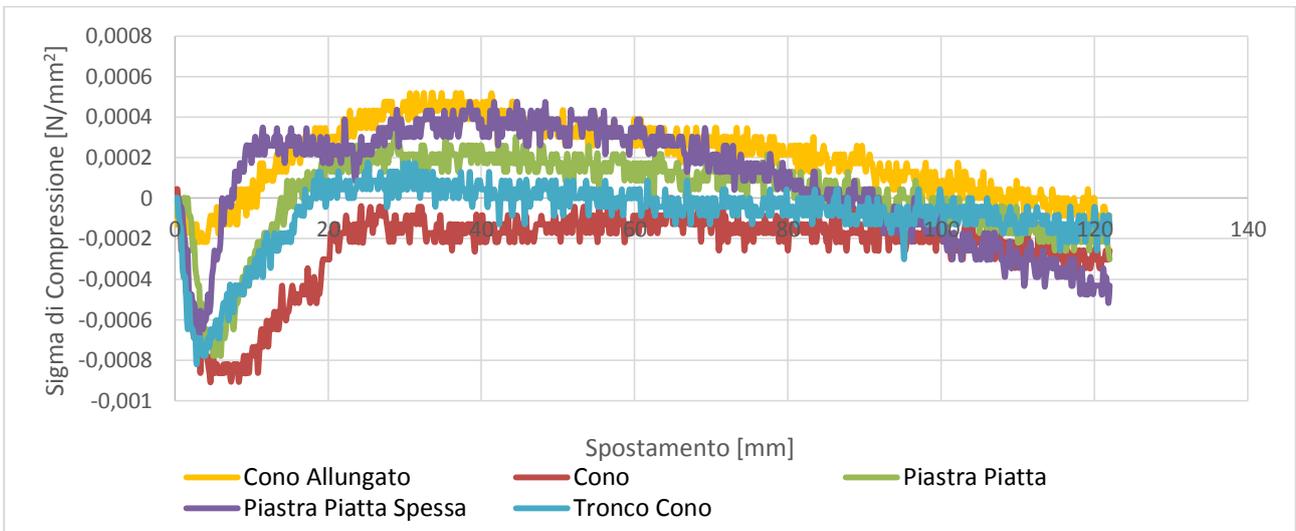


Grafico 7.89 Confronto Sigma di Compressione per le diverse geometrie di piastra in posizione P2

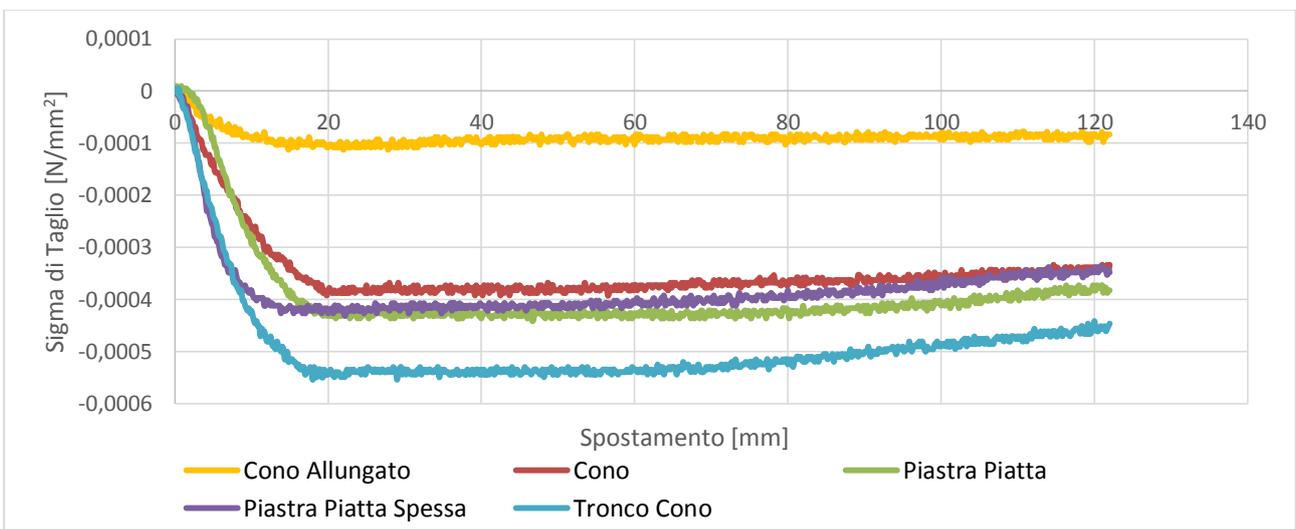


Grafico 7.90 Confronto Sigma di Taglio per le diverse geometrie di piastra in posizione P2

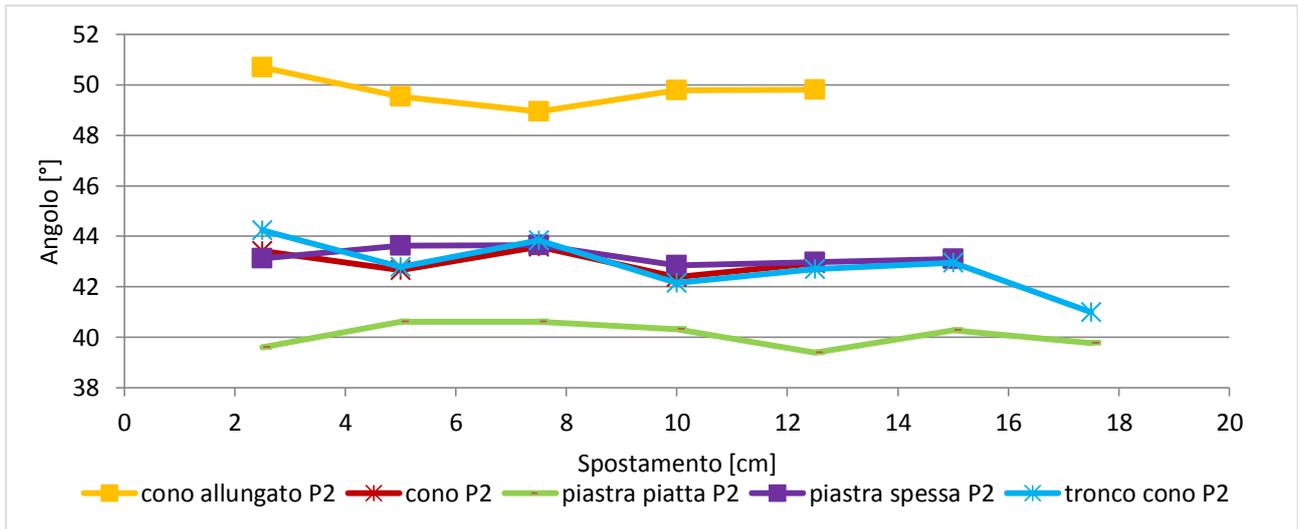


Grafico 7.91 Confronto tra l'andamento degli angoli dei cunei di spinta per le prove in posizione P2

### 7.1.6.3. Posizione P3

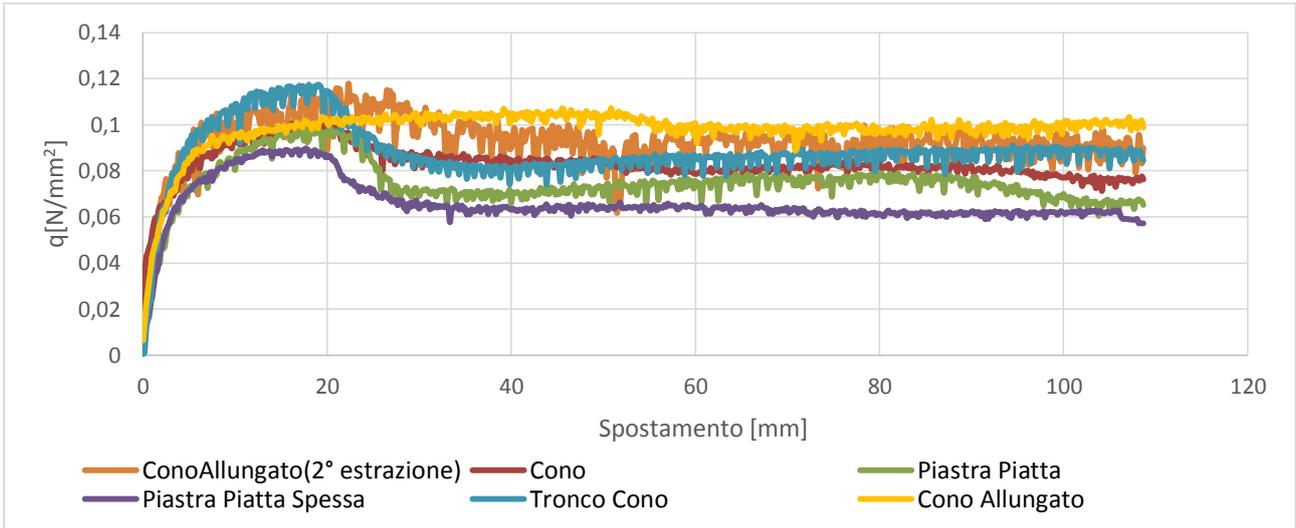


Grafico 7.92 Confronto Capacità Portante per le diverse geometrie di piastra in posizione P3

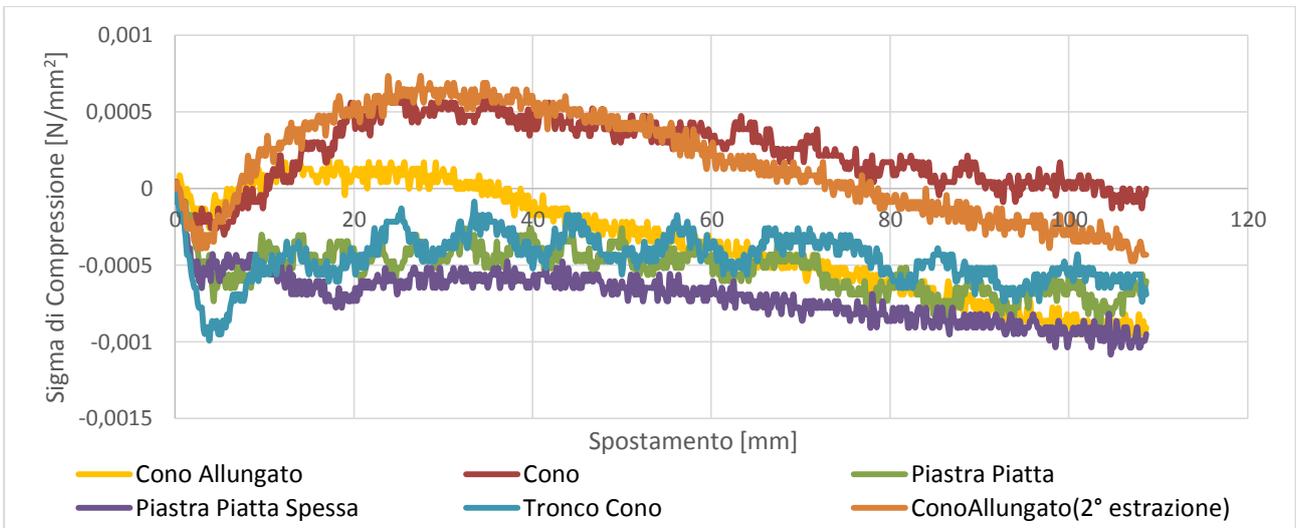


Grafico 7.93 Confronto Sigma di Compressione per le diverse geometrie di piastra in posizione P3

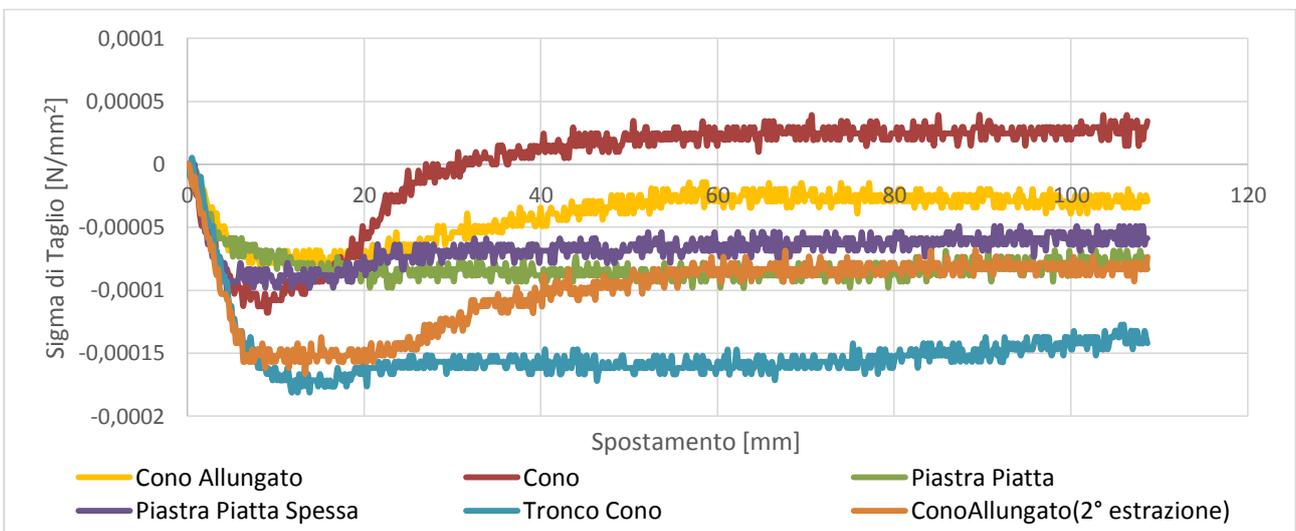


Grafico 7.94 Confronto Sigma di Taglio per le diverse geometrie di piastra in posizione P3

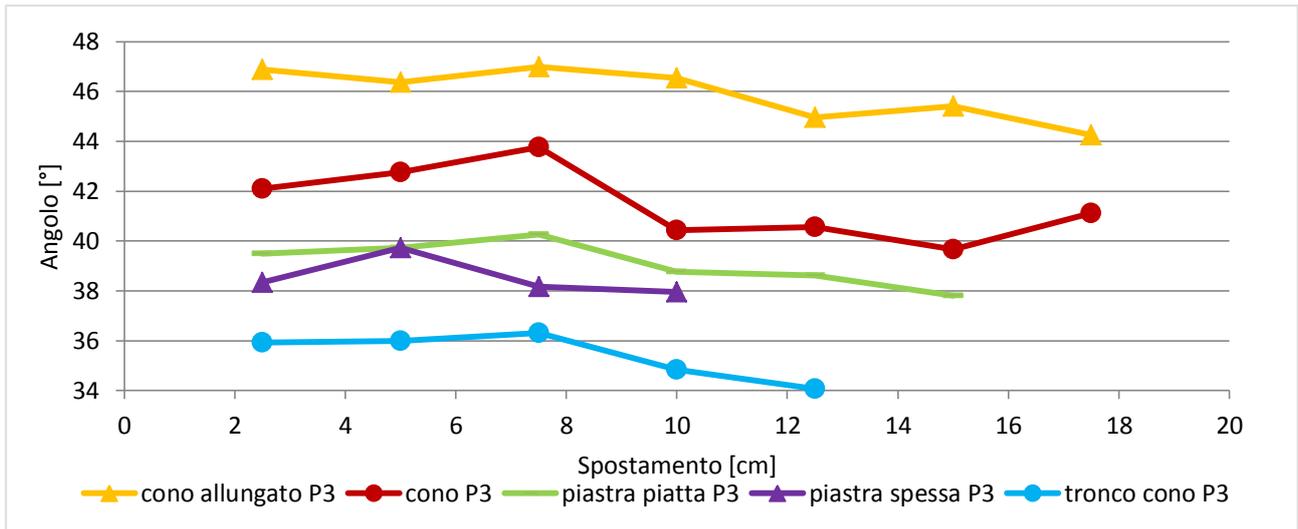


Grafico 7.95 Confronto tra l'andamento degli angoli dei cunei di spinta per le prove in posizione P3

### 7.1.6.4. Considerazioni

Tabella 7.1 Riassunto dei confronti tra le varie teste per le varie posizioni

	Geometria Testa	Capacità Portante					Sigma Di Compressione		Sigma Di Taglio	
		Massimo		Residuo Minimo		Perdita	Picco N/mm <sup>2</sup>	Perdita rispetto al picco maggiore	Picco N/mm <sup>2</sup>	Perdita rispetto al picco maggiore
		N/mm <sup>2</sup>	-	N/mm <sup>2</sup>	-					
P1	Cono Allungato	0,1066	18,01%	0,0769	1,30%	27,86%	-0,00065	51,61%	-0,0003	69,46%
	Cono	0,0996	26,31%	0,074	5,27%	<b>25,67%</b>	<b>-0,00134</b>	0,00%	-0,0003	69,95%
	Piastra Piatta	0,1096	14,78%	0,062	25,65%	43,46%	-0,00099	25,81%	-0,00083	16,26%
	Piastra Piatta Spessa	0,1148	9,58%	0,0644	20,96%	43,88%	-0,0006	54,84%	<b>-0,001</b>	0,00%
	Tronco Cono	<b>0,1258</b>	0,00%	<b>0,0779</b>	0,00%	38,06%	-0,00104	22,58%	-0,00061	38,42%
P2	Cono Allungato	0,1038	16,67%	0,0765	1,18%	<b>26,31%</b>	-0,00022	76,19%	-0,00011	79,65%
	Cono	0,1032	17,34%	0,0731	5,88%	29,14%	<b>-0,00091</b>	0,00%	-0,00039	29,20%
	Piastra Piatta	0,0932	29,94%	0,0529	46,31%	43,20%	-0,00078	14,29%	-0,00044	20,35%
	Piastra Piatta Spessa	0,1151	5,21%	0,0656	17,99%	43,00%	-0,00073	19,05%	-0,00043	22,12%
	Tronco Cono	<b>0,1211</b>	0,00%	<b>0,0774</b>	0,00%	36,10%	-0,00082	9,52%	<b>-0,00055</b>	0,00%
P3	Cono Allungato	0,1072	9,98%	<b>0,0833</b>	0,00%	<b>22,32%</b>	-0,00026	73,91%	-0,00009	51,35%
	Cono	0,1006	17,20%	0,0713	16,83%	29,15%	-0,0003	69,57%	-0,0001	43,24%
	Piastra Piatta	0,0983	19,94%	0,0665	25,26%	32,34%	-0,00073	26,09%	-0,0001	45,95%
	Piastra Piatta Spessa	0,1143	3,15%	0,0735	13,33%	35,72%	-0,00078	21,74%	-0,0001	43,24%
	Tronco Cono	0,1174	0,43%	0,0739	12,72%	37,04%	<b>-0,00099</b>	0,00%	<b>-0,00018</b>	0,00%
	Cono Allungato 2	<b>0,1179</b>	0,00%	0,0617	35,01%	47,62%	-0,00039	60,87%	-0,00017	8,11%

Nella tabella 7.1 i valori in grassetto sono i valori più alti a seconda della posizione a seconda del tipo di grandezza misurata.

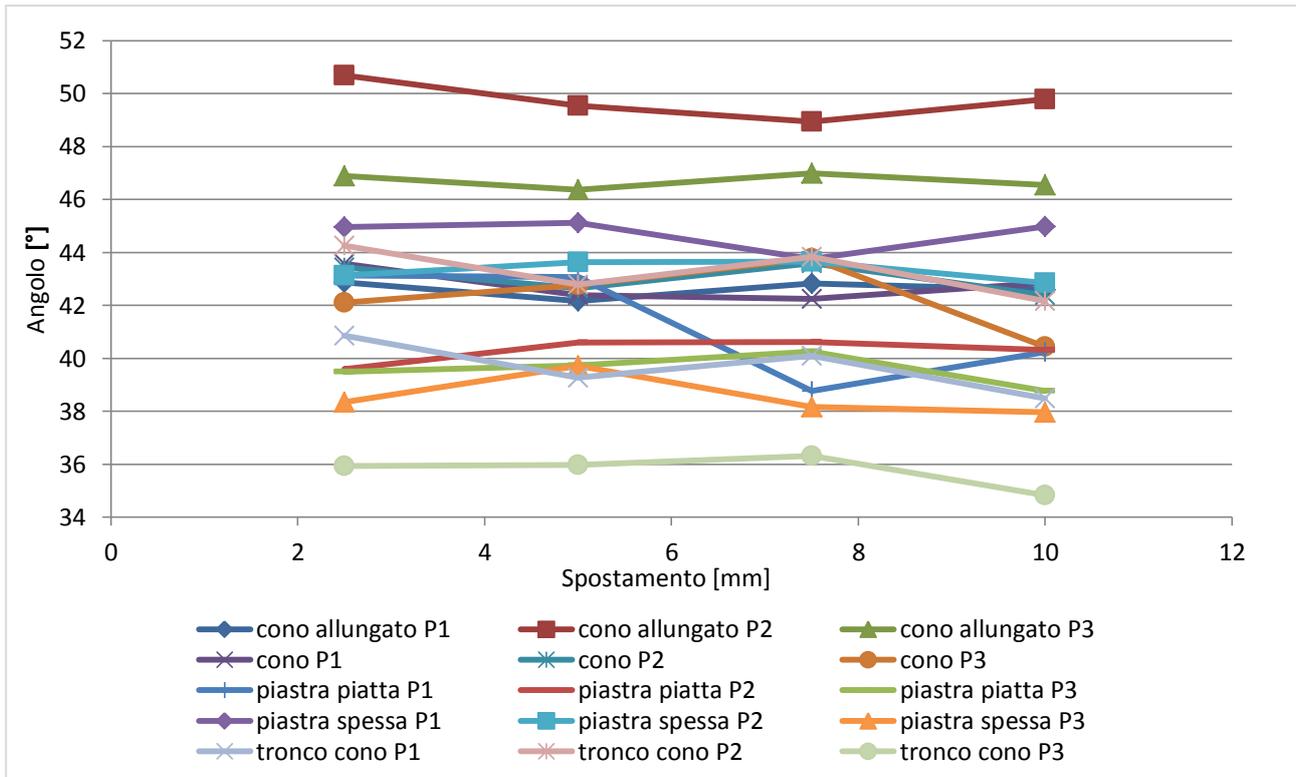


Grafico 7.96 Confronti angolo del cono di spinta in funzione del tipo e della posizione della testa

Come si evince dalla tabella 7.1, si può affermare che la posizione migliore per effettuare la sperimentazione è la posizione P1. Questo è stato dedotto dal fatto che i valori relativi alla sigma di compressione e alla sigma di taglio sono mediamente più alti per tutte le geometrie di testa. Quindi questa posizione è stata scelta per lo svolgimento delle prove in posizione centrale.

Altra interessante osservazione si può fare sulla perdita della capacità portante che sembra essere indifferente dalla posizione in cui viene effettuato l'esperimento per ogni tipologia di testa. Fatto salvo per la prova bis del cono allungato in posizione P3 dove si ha una perdita quasi doppia rispetto all'altra prova in posizione P3 con il cono allungato; forse causato dal non perfetto posizionamento della testa all'interno del modello.

Dal grafico 7.96 che confronta gli angoli del cono di spinta per le varie posizioni e per le varie geometrie di testa, e anche dai grafici 7.95, 7.94, 7.93 dove i vari angoli vengono riportati suddivisi per le varie posizioni, si nota un angolo del cono di spinta mediamente maggiore del cono allungato rispetto alle altre geometrie utilizzate. Si nota anche una concentrazione che va dai 40° ai 44°.

## 7.2. Prove in Posizione Centrale

### 7.2.1. Cono Allungato

Prova svolta il 29-06-2014

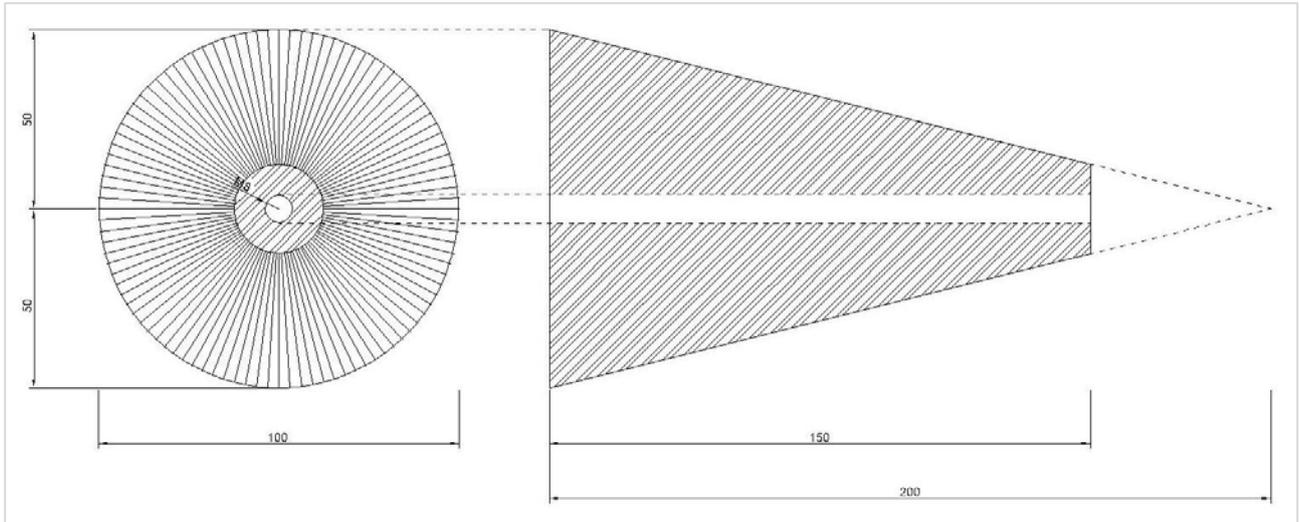


Figura 7.112 Geometria Cono Allungato

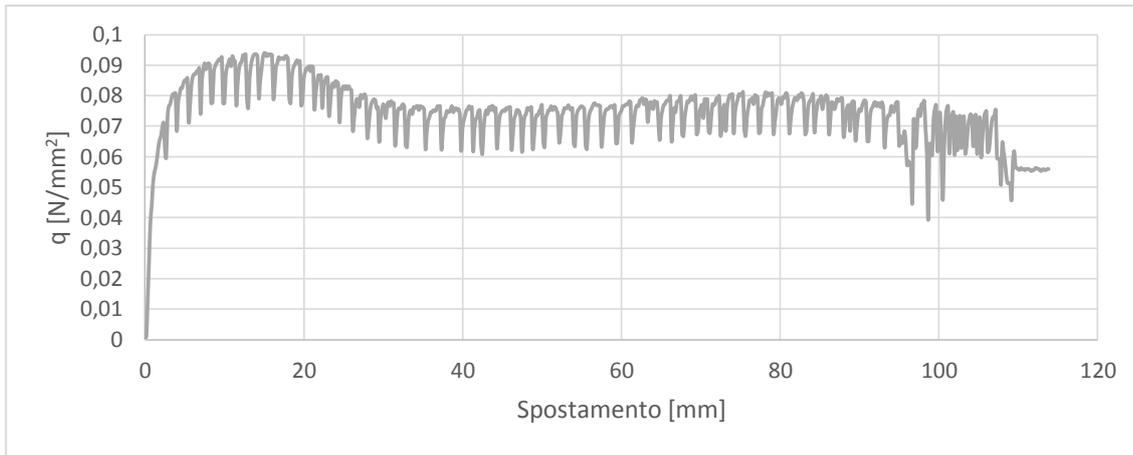


Grafico 7.97 Andamento Capacità Portante per il Cono Allungato in posizione centrale

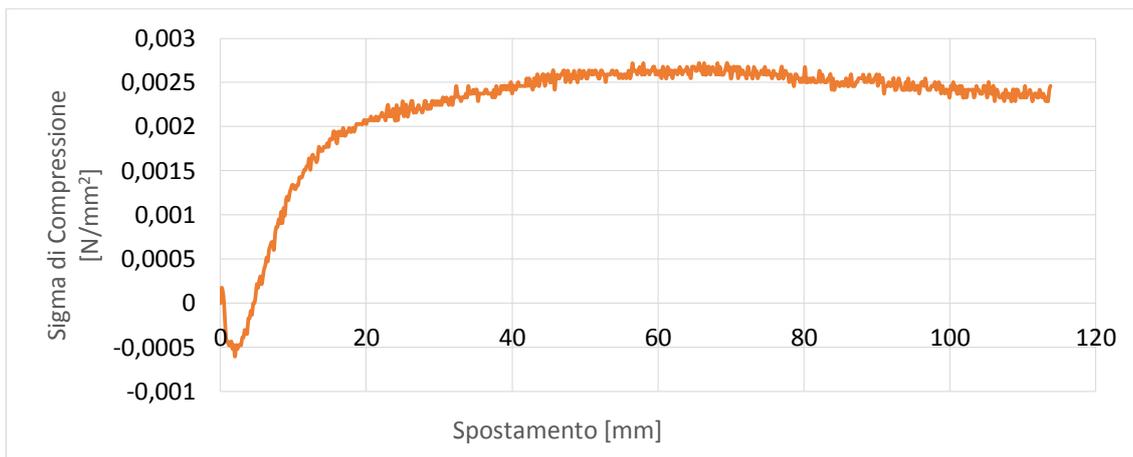


Grafico 7.98 Andamento Sigma di Compressione per il Cono Allungato in posizione centrale

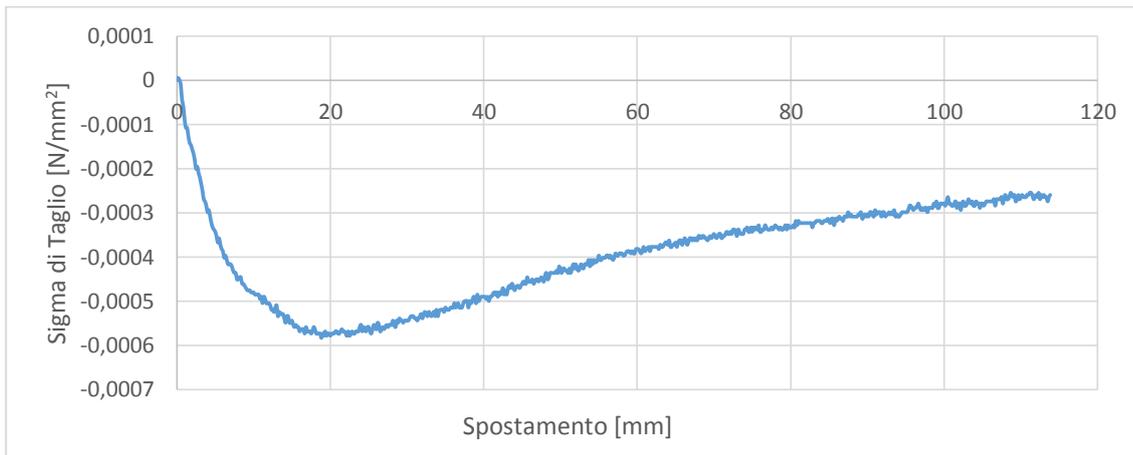


Grafico 7.99 Andamento Sigma di Taglio per il Cono Allungato in posizione centrale

### 7.2.2. Cono

Prova svolta il 20-06-2014

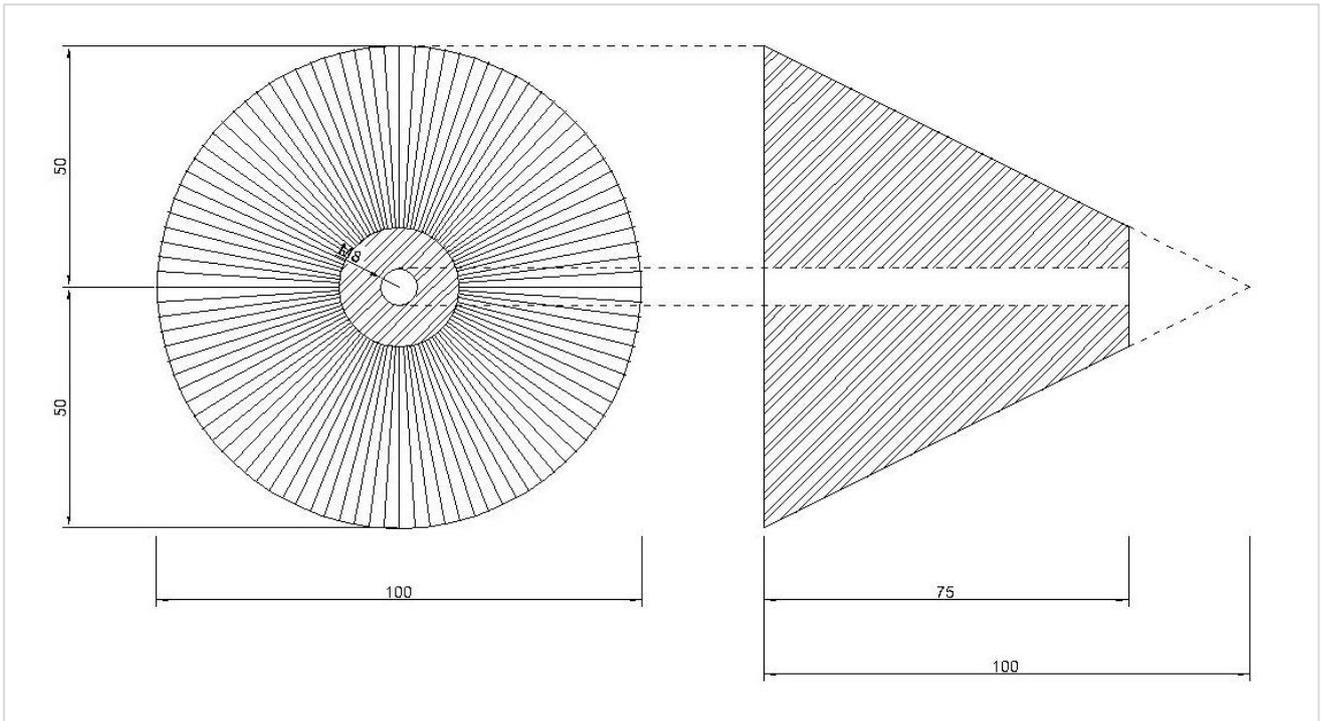


Figura 7.113 Geometria Cono

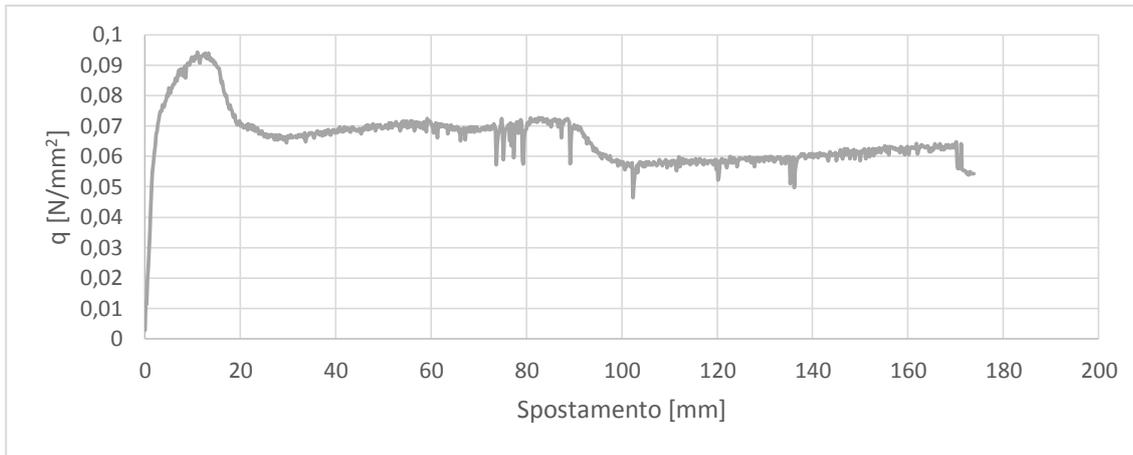


Grafico 7.100 Andamento Capacità Portante per il Cono in posizione centrale

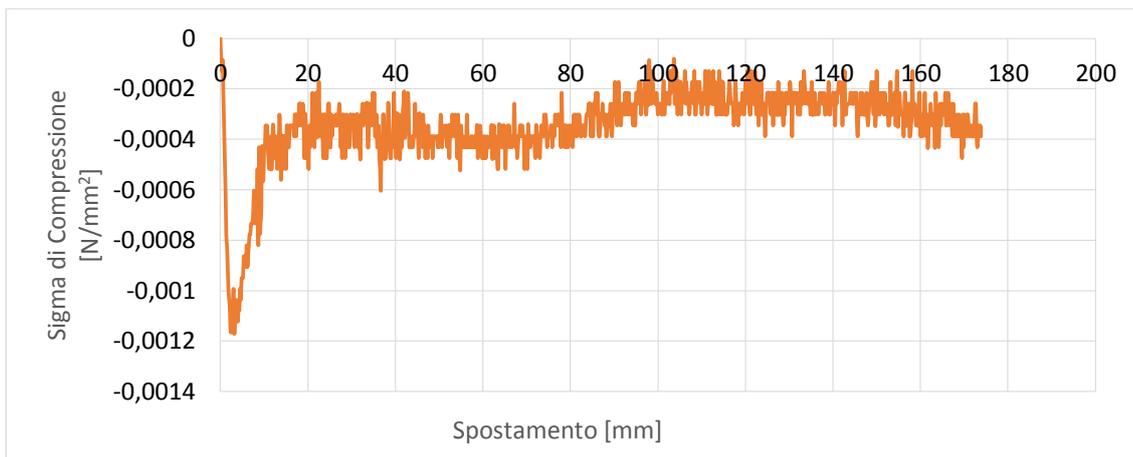


Grafico 7.101 Andamento Sigma di Compressione per il Cono in posizione centrale

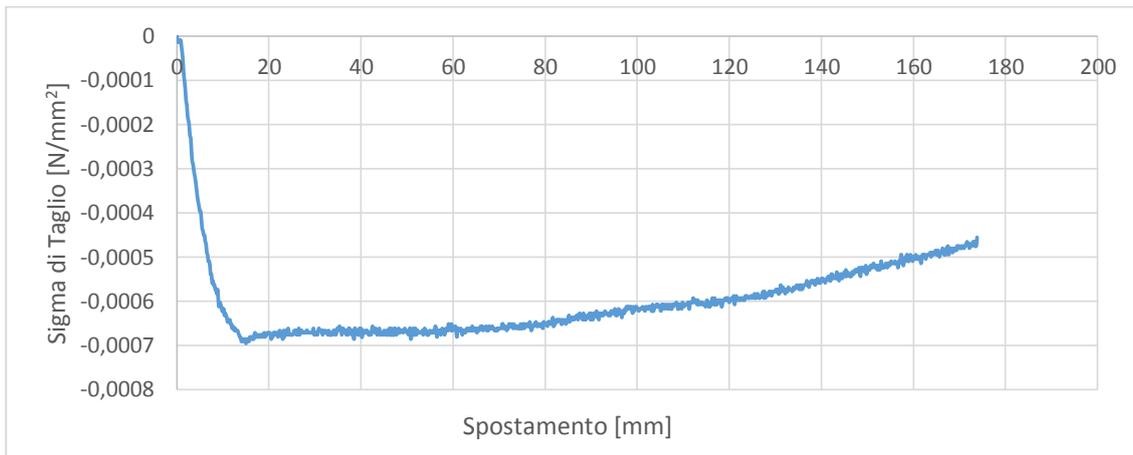


Grafico 7.102 Andamento Sigma di Taglio per il Cono in posizione centrale

### 7.2.3. Piastra Piatta

Prova svolta il 23-06-2014

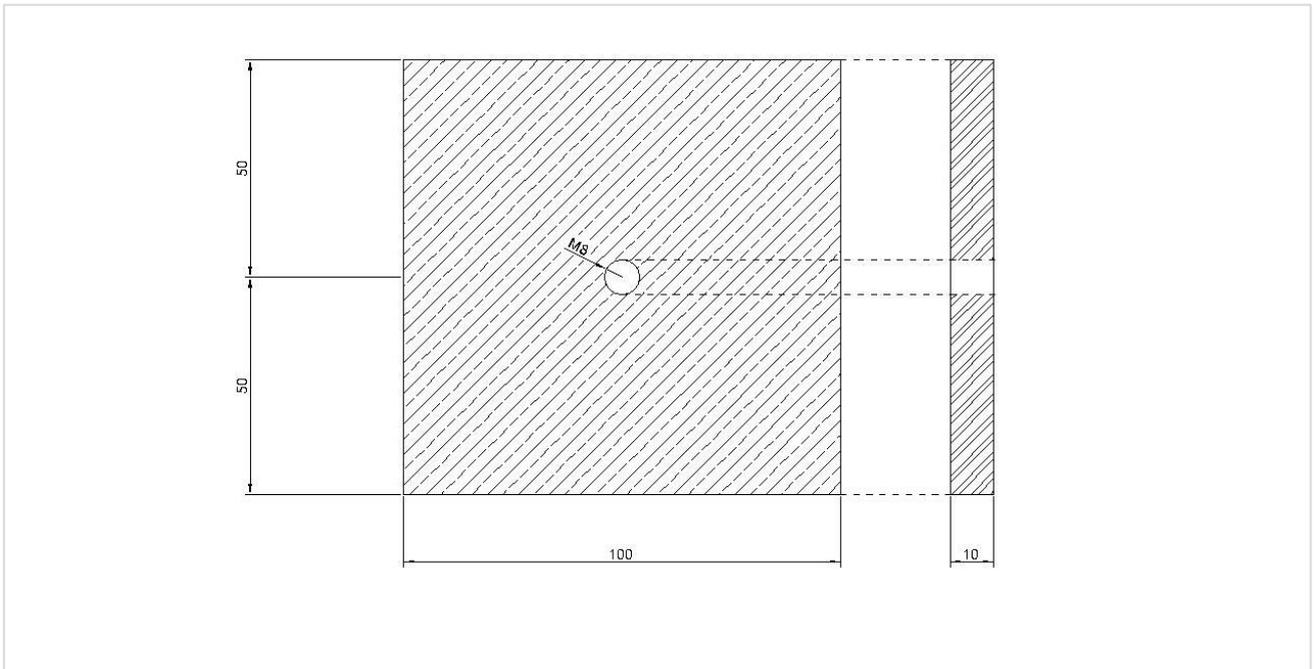


Figura 7.114 Geometria Piastra Piatta

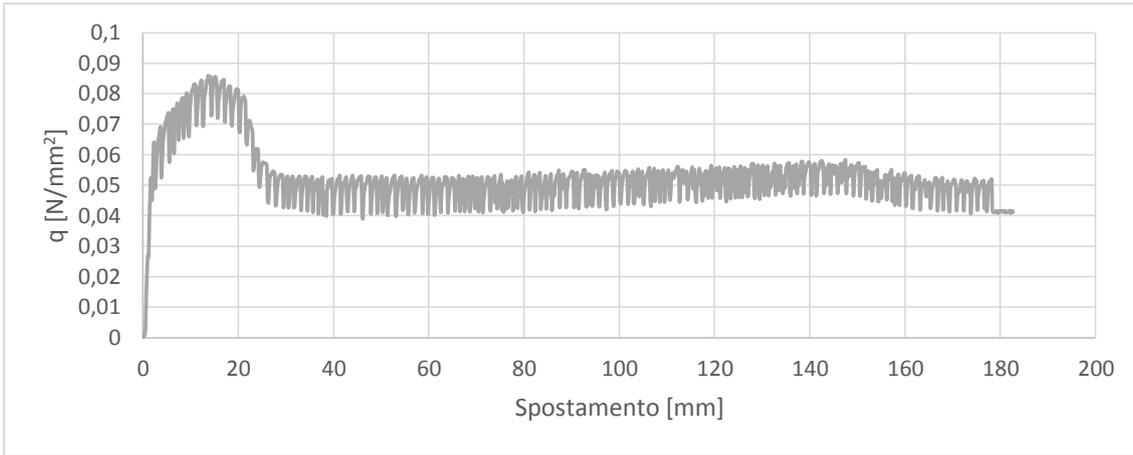


Grafico 7.103 Andamento Capacità Portante per la Piastra Piatta in posizione centrale

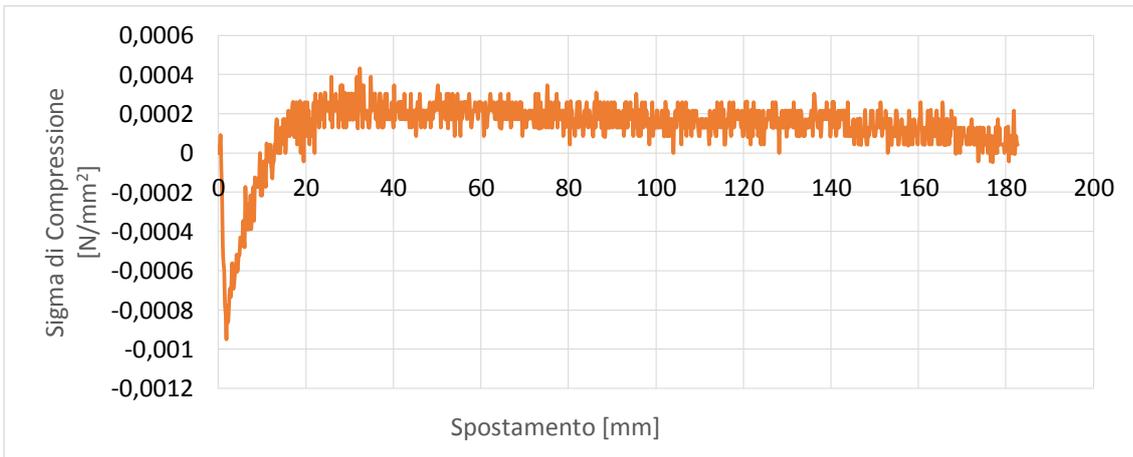


Grafico 7.104 Andamento Sigma di Compressione per la Piastra Piatta in posizione centrale

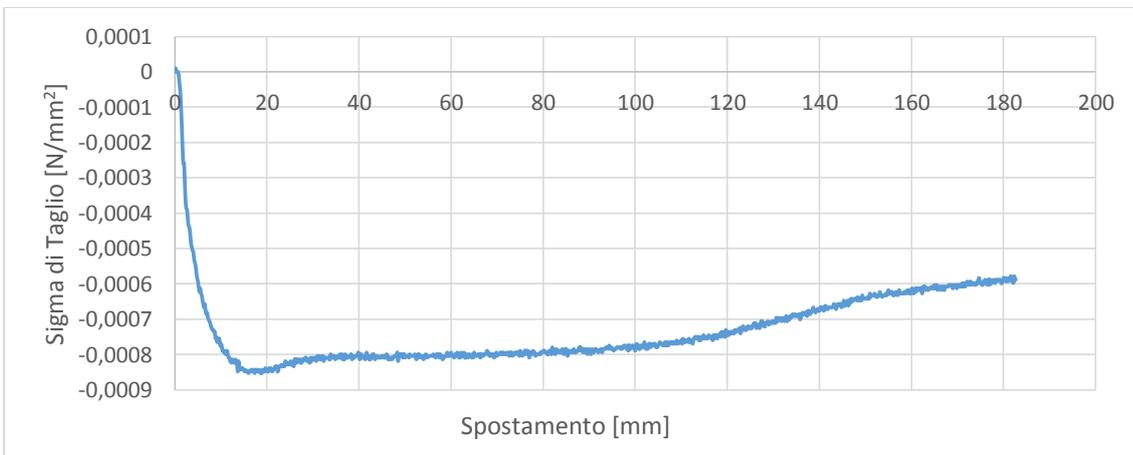


Grafico 7.105 Andamento Sigma di Taglio per la Piastra Piatta in posizione centrale

### 7.2.4. Tronco Cono

Prova svolta il 24-06-2014

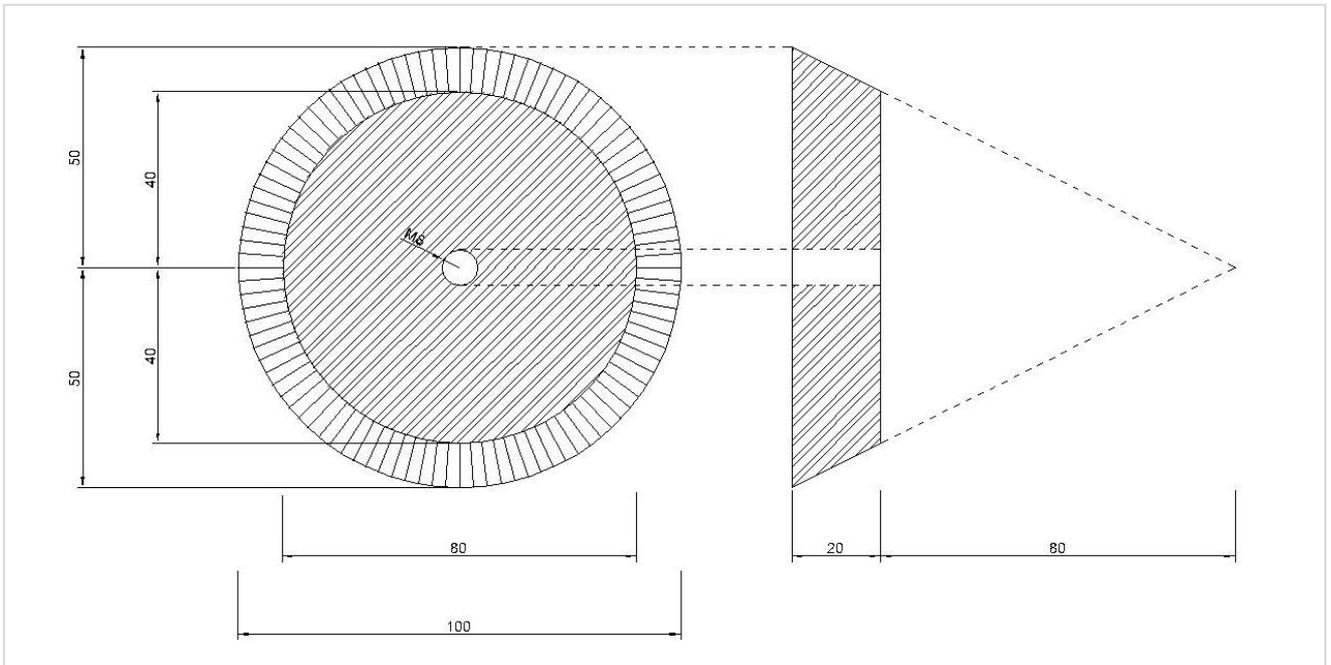


Figura 7.115 Geometria Tronco Cono

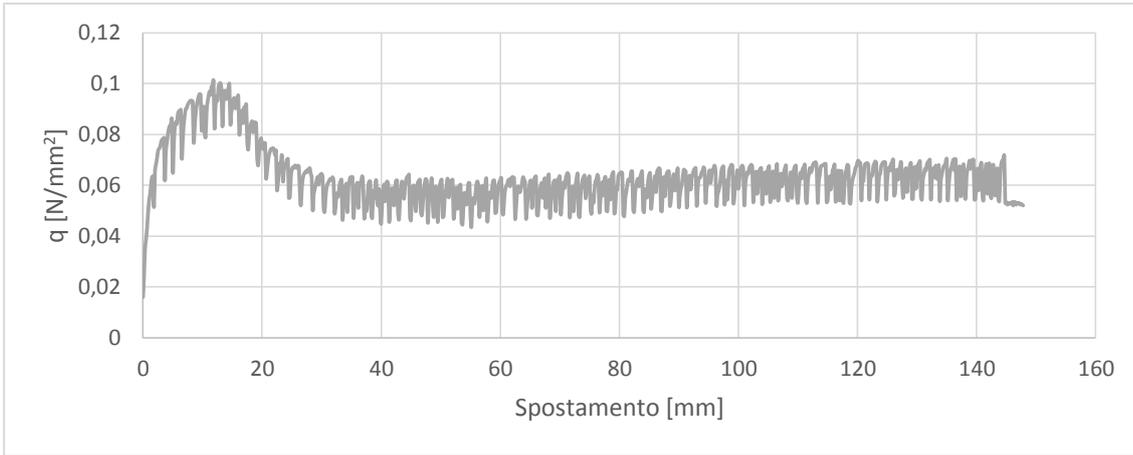


Grafico 7.106 Andamento Capacità Portante per il Tronco Cono in posizione centrale

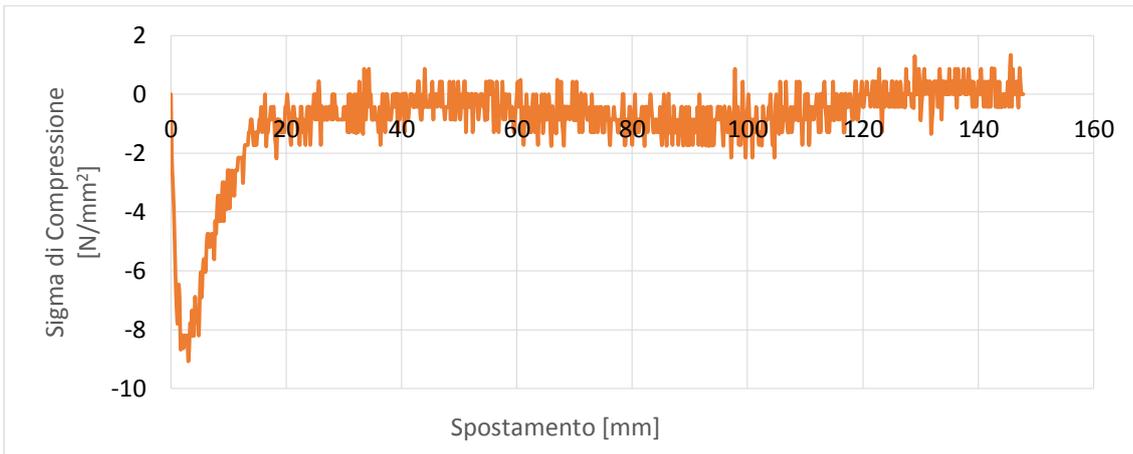


Grafico 7.107 Andamento Sigma di Compressione per il Tronco Cono in posizione centrale

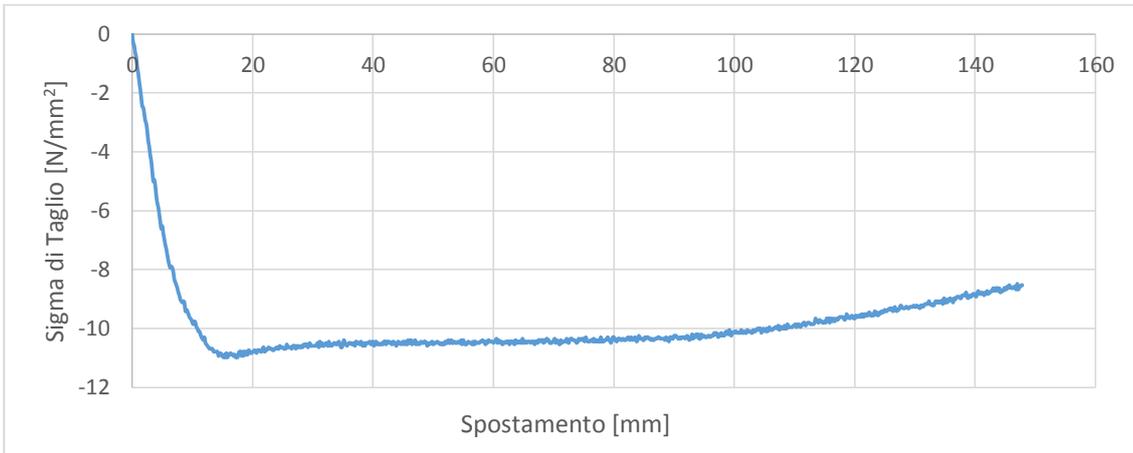


Grafico 7.108 Andamento Sigma di Taglio per il Tronco Cono in posizione centrale

### 7.2.5. Confronti tra le Varie Forme delle Piastre

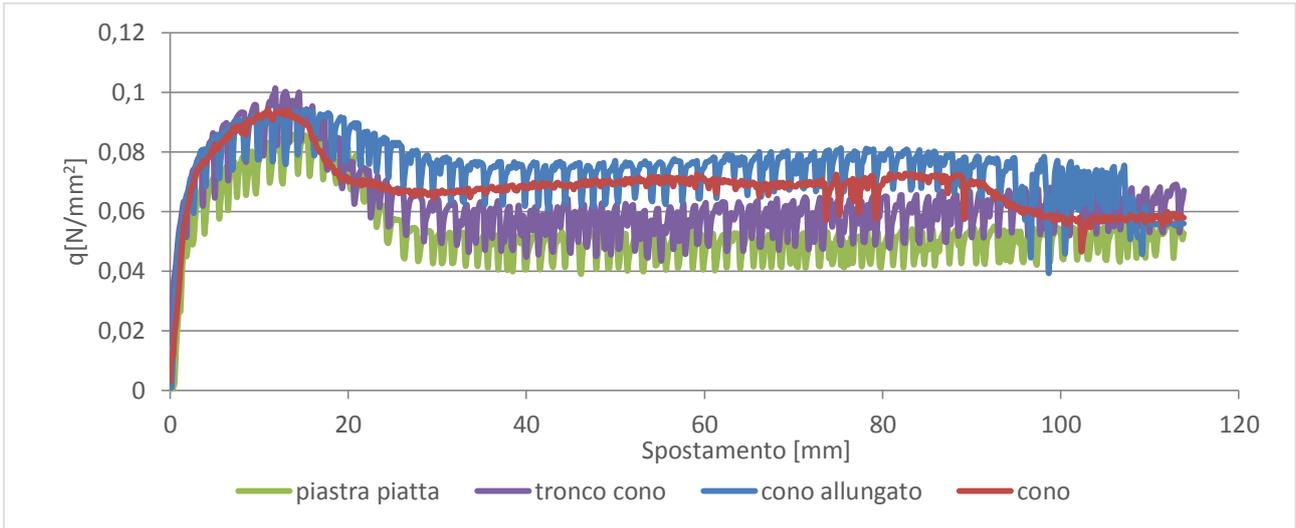


Grafico 7.109 Confronto Capacità Portante per le diverse geometrie di piastra in posizione centrale

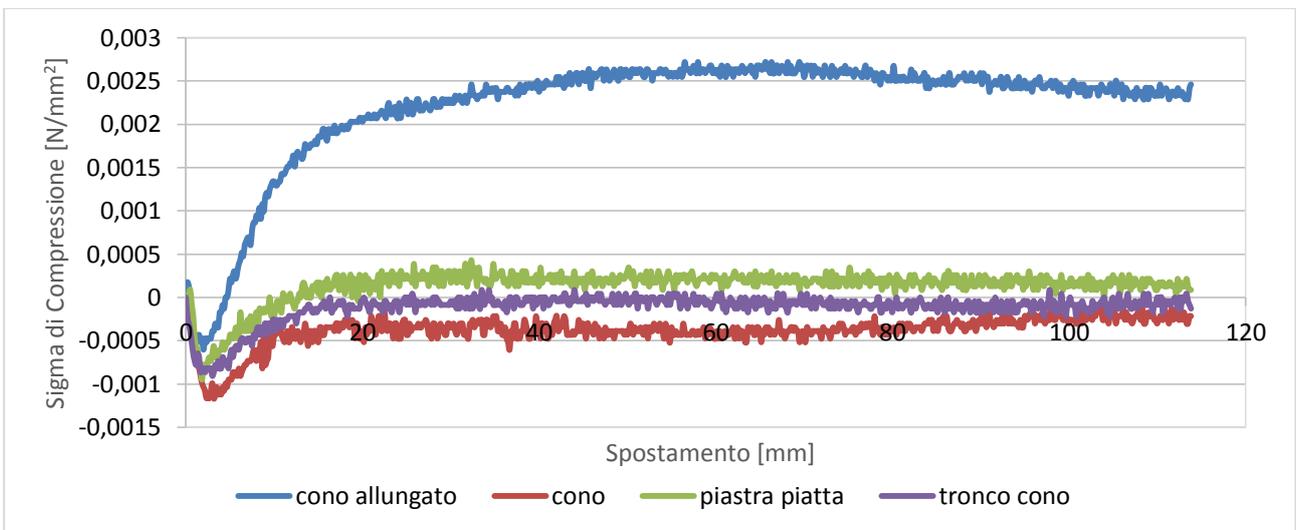


Grafico 7.110 Confronto Sigma di Compressione per le diverse geometrie di piastra in posizione P3

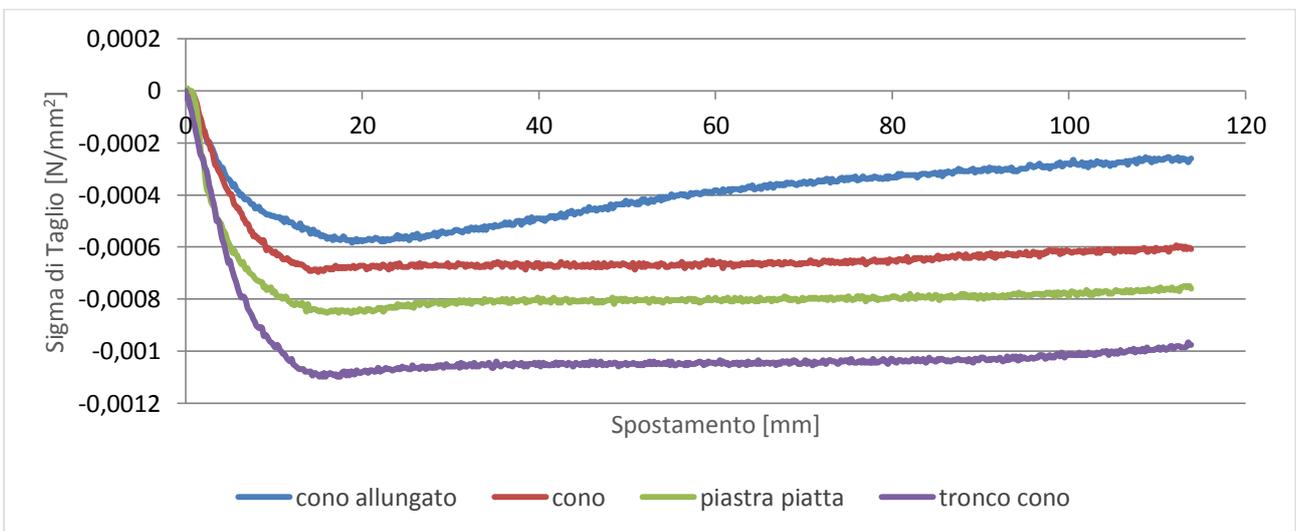


Grafico 7.111 Confronto Sigma di Taglio per le diverse geometrie di piastra in posizione centrale

### 7.2.6. Considerazioni

Dal confronto della capacità portante, riportato nel grafico 7.109, si può notare che l'acquisizione del valore della cella è saltellante, fatto salvo per la prova con il cono allungato; questo è da imputarsi all'alta forza registrata e quindi necessaria per l'estrazione stessa oltre che ad una lieve usura degli strumenti utilizzati, soprattutto i cuscinetti dell'estrattore che avevano creato del gioco. Confrontando i picchi massimi di capacità portante, il tronco cono risulta avere il picco più alto pari a  $0,101 \text{ N/mm}^2$ , mentre il cono e il cono allungato hanno registrato un valore leggermente minore. Per il cono si ha un valore pari a  $0,0942 \text{ N/mm}^2$ , mentre per il cono allungato si registra un picco di  $0,0939 \text{ N/mm}^2$ , entrambi inferiori rispetto al tronco cono di circa un 7%. Facendo però ora un'analisi dei valori residui della capacità portante, valutata come il valore minimo registrato dopo il raggiungimento del picco, il cono risulta avere il valore più alto, pari a  $0,0608 \text{ N/mm}^2$ , con una perdita rispetto al valore di picco del 35% circa. Per il cono invece il residuo è pari a  $0,0468 \text{ N/mm}^2$ , per il tronco cono è pari a  $0,0435 \text{ N/mm}^2$  e per la piastra piatta risulta essere pari a  $0,0391 \text{ N/mm}^2$ . Queste ultime tre geometrie di testa hanno una perdita rispetto al picco massimo circa del 50%.

Osservando ora il grafico 7.110 che riporta la sigma di compressione si nota che fatta eccezione per il cono allungato, gli andamenti per altre tre geometrie di testa sono molto simili.

Facendo un'analisi dei picchi, la geometria che risulta avere il valore più elevato è il cono pari a  $0,0012 \text{ N/mm}^2$ . La piastra piatta e il tronco cono fanno registrare un valore inferiore circa del 20%, mentre il cono allungato ha un picco di  $0,0006 \text{ N/mm}^2$  che risulta inferiore del 48% circa.

Nel grafico 7.111, per quanto riguarda la sigma di taglio, si osserva che il tronco cono risulta imprimere alla piastrina rimovibile la sigma di taglio di picco più alta pari a  $0,0011 \text{ N/mm}^2$ . La piastra piatta invece fa registrare un picco di  $0,0009 \text{ N/mm}^2$ , inferiore del 22% rispetto al tronco cono. Il picco per il cono è pari a  $0,0007 \text{ N/mm}^2$  mentre per il cono allungato il valore di picco è pari a  $0,0006 \text{ N/mm}^2$ ; ciò significa che il picco del cono è inferiore del 37% e il cono allungato invece del 47% rispetto al tronco cono.

Tabella 7.2 Tabella riassuntiva dei confronti tra gli esperimenti in Posizione Centrale

Geometria Testa	Capacità Portante					Sigma di Compressione		Sigma di Taglio	
	Massimo		Residuo Minimo		Perdita	Picco	Differenza rispetto al Picco maggiore	Picco	Differenza rispetto al Picco maggiore
	$\text{N/mm}^2$	-	$\text{N/mm}^2$	-	-	$\text{N/mm}^2$	-	$\text{N/mm}^2$	-
<b>Cono Allungato</b>	0,0939	7,66%	0,0608	0,00%	35,20%	-0,00060	48,15%	-0,00058	46,88%
<b>Cono</b>	0,0942	7,32%	0,0468	29,91%	50,36%	-0,00117	0,00%	-0,00070	36,61%
<b>Piastra Piatta</b>	0,0858	17,83%	0,0391	55,50%	54,50%	-0,00095	18,52%	-0,00085	22,32%
<b>Tronco Cono</b>	0,1011	0,00%	0,0435	39,77%	56,97%	-0,00091	22,22%	-0,00110	0,00%

Dalla Tabella 7.2 si nota che il cono allungato ha una perdita del 35% circa tra valore di picco e valore minimo residuo, dove le altre geometrie di testa hanno una perdita intorno al 50% circa.

### 7.3. Confronti Capacità Portante in Posizione Centrale e Laterale

#### 7.3.1. Cono Allungato

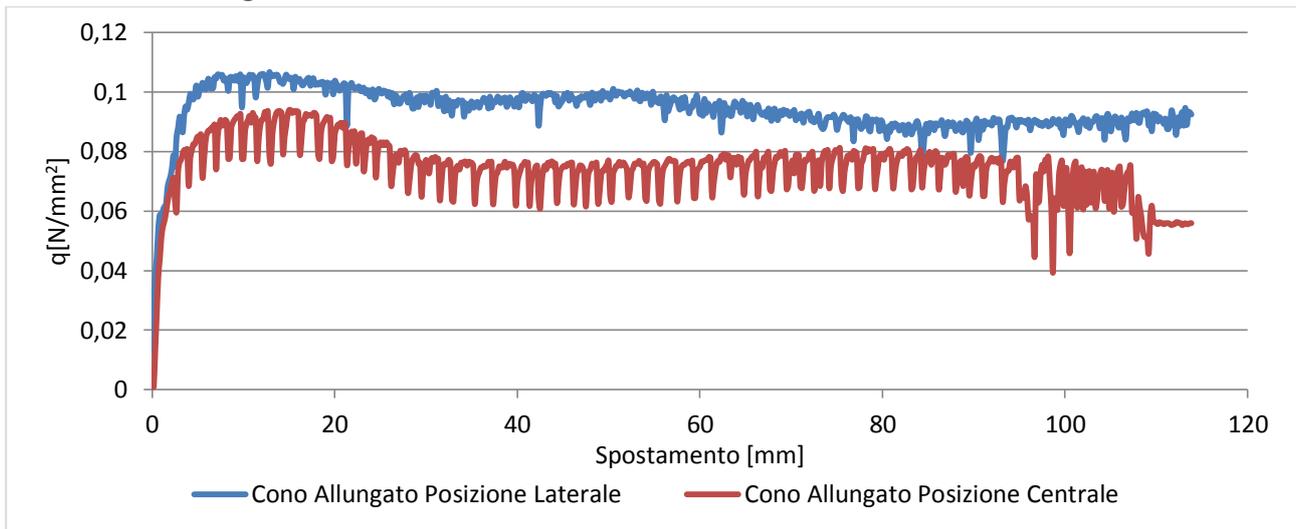


Grafico 7.112 Confronto Capacità Portante tra posizione centrale e laterale

#### 7.3.2. Cono

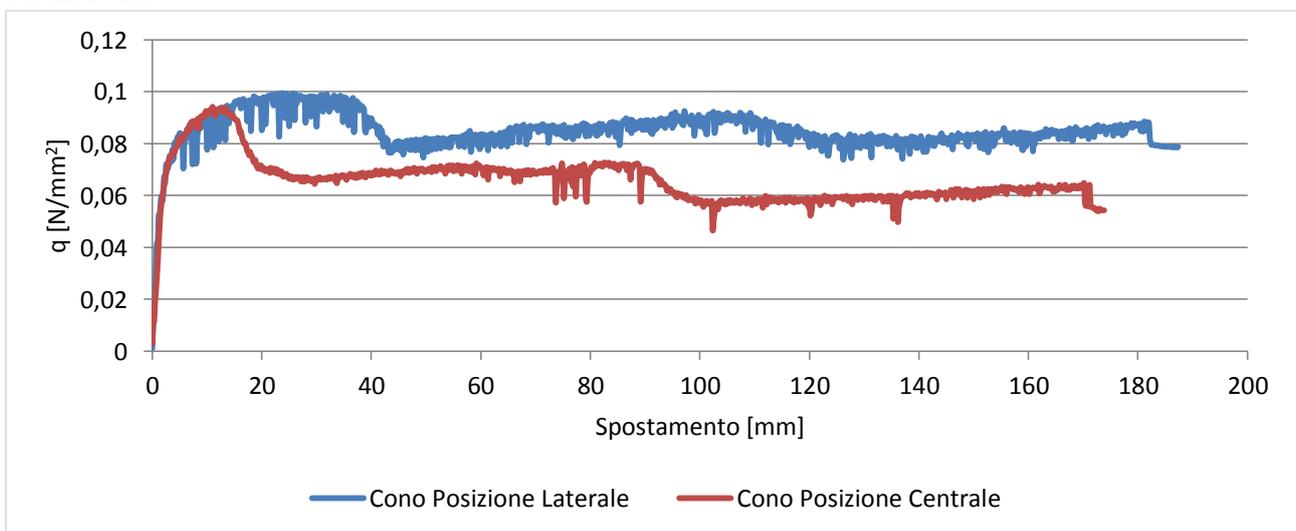


Grafico 7.113 Confronto Capacità Portante tra posizione centrale e laterale

### 7.3.3. Piastra Piatta

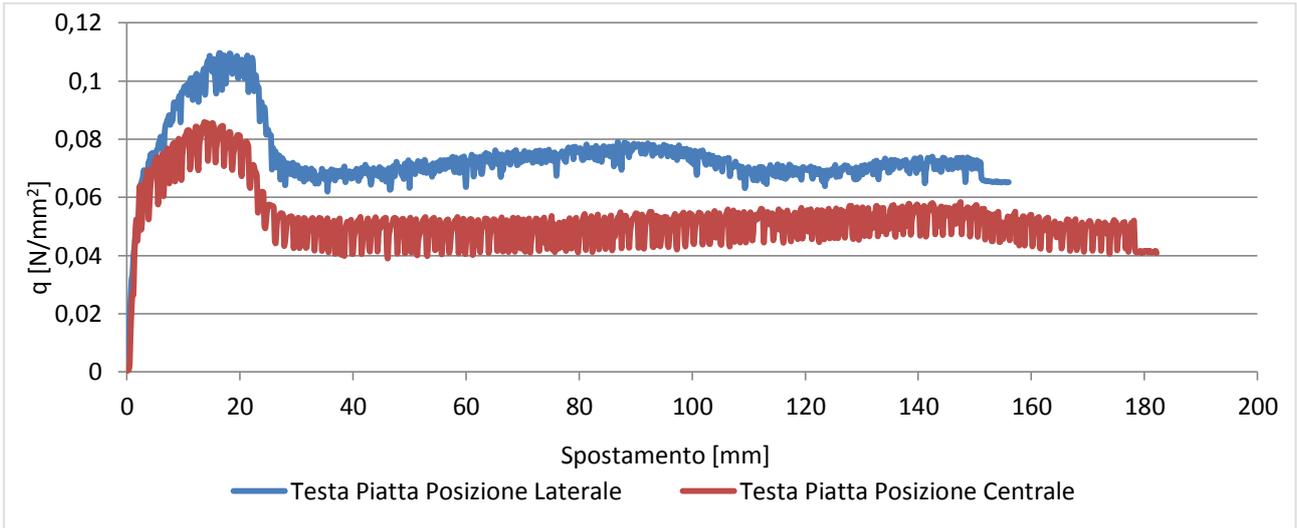


Grafico 7.114 Confronto Capacità Portante tra posizione centrale e laterale

### 7.3.4. Tronco Cono

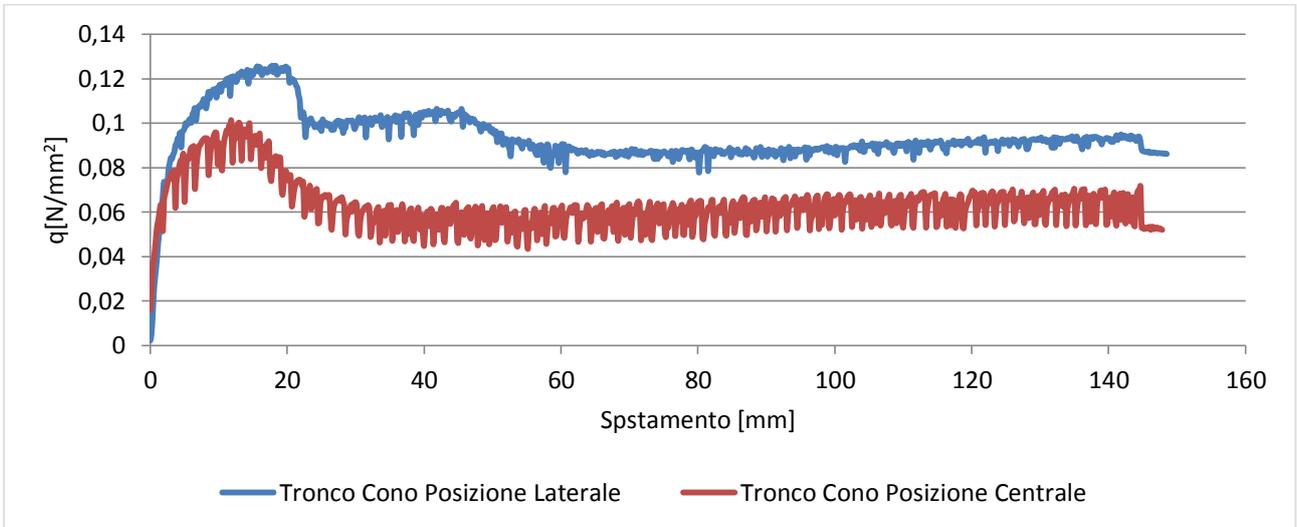


Grafico 7.115 Confronto Capacità Portante tra posizione centrale e laterale

### 7.3.5. Considerazioni

Come già detto in precedenza, non si è potuto inserire preventivamente nell'acquisitore un filtro sul segnale in uscita dalla cella di carico che permettesse una lettura migliore dei dati perché non si aveva la possibilità di prevedere l'andamento dei valori registrati. Quindi come si vede dai grafici 7.112, 7.114, 7.115, la misurazione ha un andamento oscillatorio, imputabile con molta probabilità, all'usura dell'estrattore che creando del gioco si è reso più sensibile alla movimentazione della manovella. La manovella essendo messa in rotazione manualmente ho aveva un movimento perfettamente continuo, ma intermittente, benché da parte dell'operatore si sia cercato di avere un movimento il più possibile fluido e continuo. Si è comunque deciso di prendere come valore residuo minimo, il valore minimo registrato successivamente al picco, con un evidente stima al ripasso della capacità portante stessa.

Osservando il grafico 7.113 si nota che il cono in posizione centrale ha un picco più pronunciato rispetto alla posizione laterale. L'andamento invece, salvo le differenze in valore assoluto, sono molto simile, con entrambi i grafici che presentano poi un altro picco di capacità portante. Questo andamento

Tabella 7.3 Confronti capacità portante tra posizione centrale e laterale

	Capacità Portante			
	Massimo		Residuo Minimo	
Cono Allungato Posizione Centrale	0,0939	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0609	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Cono Allungato Posizione Laterale	0,1066	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0769	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Centrale/Laterale	0,8810	-	0,7913	-
	88,10%	-	79,13%	-
Cono Posizione Centrale	0,0942	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0468	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Cono Posizione Laterale	0,0996	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0740	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Centrale/Laterale	0,9464	-	0,6320	-
	94,64%	-	63,20%	-
Tronco Cono Posizione Centrale	0,1011	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0435	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Tronco Cono Posizione Laterale	0,1258	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0779	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Centrale/Laterale	0,8040	-	0,5585	-
	80,40%	-	55,85%	-
Piastra Piatta Posizione Centrale	0,0858	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0391	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Piastra Piatta Posizione Laterale	0,1096	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0644	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo	
Centrale/Laterale	0,7832	-	0,6061	-
	78,32%	-	60,61%	-

Dall'osservazione dei grafici e della tabella 7.3, si nota che la cosa che accomuna i quattro confronti, benché la geometria delle teste usate sia diversa, è la maggiore capacità portante registrata per la posizione laterale rispetto alla posizione centrale.

La differenza sul massimo di capacità portante registrata è di circa il 20% per il tronco cono e per la piastra piatta, per il cono allungato è pari al 12% e invece per il cono e la minore e risulta pari al 3% circa. Differenze maggiori si hanno valutando il residuo minimo, dove per il cono allungato la differenza è del 21% circa, 37% invece per il cono; mentre per tronco cono e piastra piatta rispettivamente il 40% e il 44%.

Queste differenze potrebbero derivare dal fatto che la piastra in posizione centrale, oltre ad avere il doppio del volume, e quindi il doppio del peso, deve anche contrastare una forza di attrito causata dal terreno su un'area doppia rispetto alla piastra in posizione laterale. Di contro, le piastre in posizione laterale hanno una porzione di area a contatto con il vetro costituente le pareti laterali del modello. Il coefficiente di attrito tra testa di alluminio e vetro è diverso dall'attrito che si ha tra la superficie della testa ricoperta dalla frazione grossa del terreno usato per l'esperimento e il terreno stesso. Anche questo fattore interviene nel modificare il rapporto tra la capacità portante rilevata per la posizione centrale e per la posizione laterale. L'aumento di perdita di capacità portante nella posizione di residuo minimo rispetto alla posizione di picco può essere anche causato dal fatto che, durante l'estrazione, il terreno tendeva ad infiltrarsi tra piastra e vetro modificando di conseguenza l'attrito a cui era sottoposta la testa.

## 7.4. Confronti Sforzo di Compressione in Posizione Centrale e Laterale

### 7.4.1. Cono Allungato

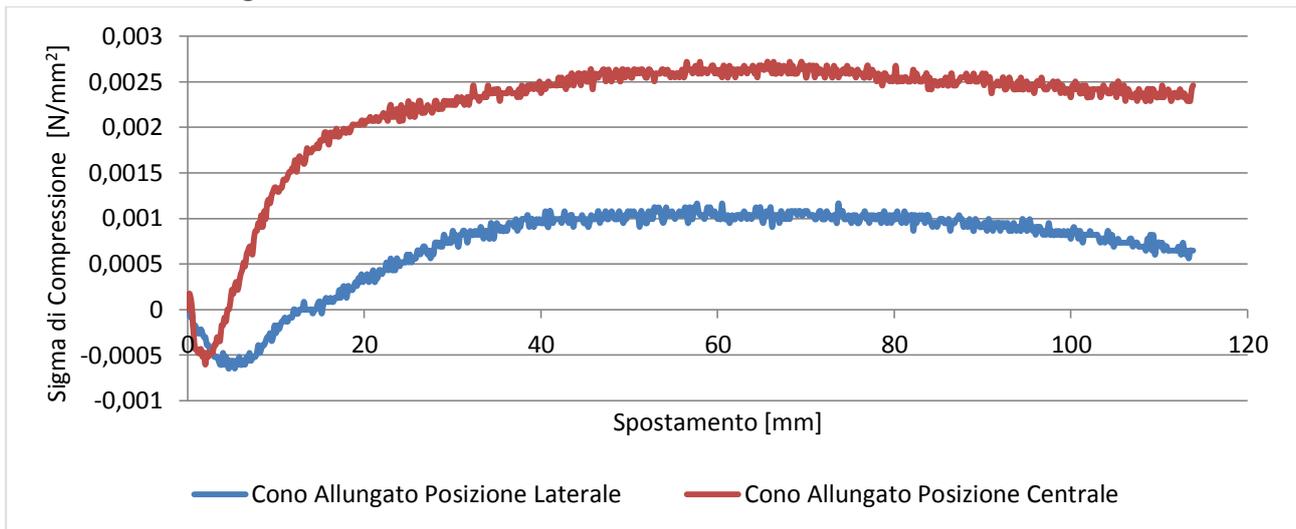


Grafico 7.116 Confronto Sigma di Compressione tra posizione centrale e laterale

### 7.4.2. Cono

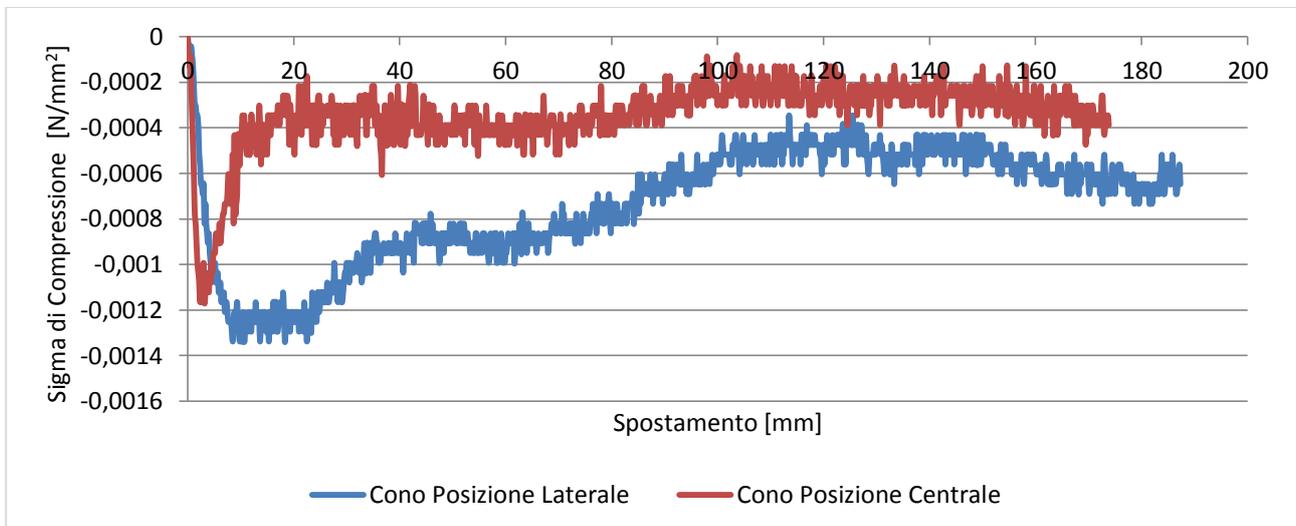


Grafico 7.117 Confronto Sigma di Compressione tra posizione centrale e laterale

### 7.4.3. Piastra Piatta

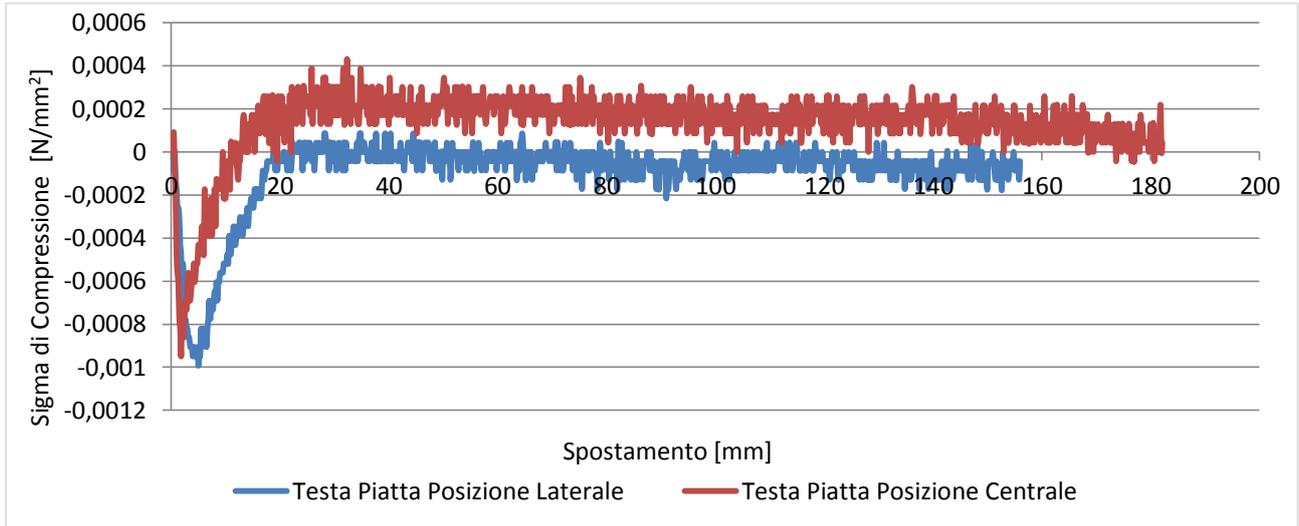


Grafico 7.118 Confronto Sigma di Compressione tra posizione centrale e laterale

### 7.4.4. Tronco Cono

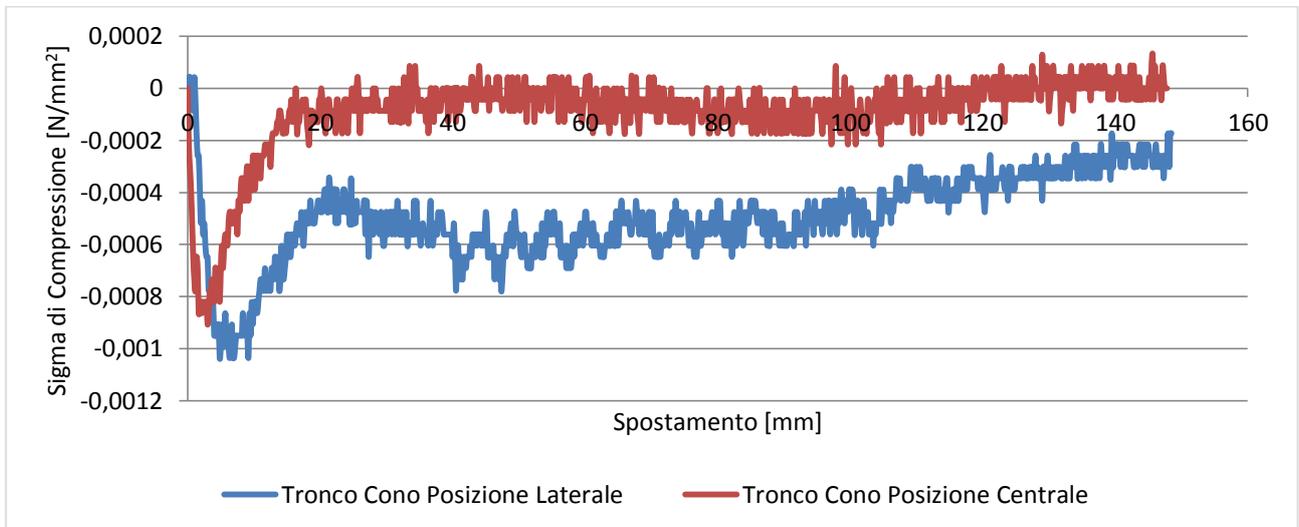


Grafico 7.119 Confronto Sigma di Compressione tra posizione centrale e laterale

## 7.4.5. Considerazioni

Tabella 7.4 Confronto sigma di compressione posizione centrale e laterale

	Sigma di Compressione	
Cono Allungato Posizione Centrale	Picco	
	-0,00060	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cono Allungato Posizione Laterale	Picco	
	-0,0006	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,9333	-
	93,33%	-
Cono Posizione Centrale	Picco	
	-0,00117	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cono Posizione Laterale	Picco	
	-0,00134	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,8710	-
	87,10%	-
Tronco Cono Posizione Centrale	Picco	
	-0,00091	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tronco Cono Posizione Laterale	Picco	
	-0,00104	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,8750	-
	87,50%	-
Piastra Piatta Posizione Centrale	Picco	
	-0,00095	[N/mm <sup>2</sup> ]
Piastra Piatta Posizione Laterale	Picco	
	-0,00099	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,9565	-
	95,65%	-

Come si può notare dalla tabella 7.4, la differenza tra il picco registrato durante l'esperimento in posizione laterale e quello in posizione centrale differiscono al massimo di un 13% circa nel caso del cono. Sapendo che nella posizione laterale il volume testa della testa è metà rispetto alla testa utilizzata nella posizione centrale, può dire che questa differenza non influisce molto sulla sigma di compressione di picco.

La cosa che invece varia è la quantità di spostamento che deve essere maturata per avere il picco. Nel caso della cono allungato, il picco riferito alla posizione centrale corrisponde ad uno spostamento di 2mm, mentre per la posizione laterale serve uno spostamento di 5mm circa. Anche per il cono il picco in posizione centrale viene registrato con uno spostamento di 2mm circa, mentre in posizione laterale lo spostamento è pari 9mm. Nel caso del tronco cono, il picco in posizione centrale corrisponde ad uno spostamento di 3mm, a differenza di quello in posizione laterale che corrisponde a circa 5mm. Per la piastra piatta il picco si registra per la posizione centrale a 1,8mm circa di spostamento e per al posizione laterale a 5mm.

## 7.5. Confronti Sforzo di Taglio in Posizione Centrale e Laterale

### 7.5.1. Cono Allungato

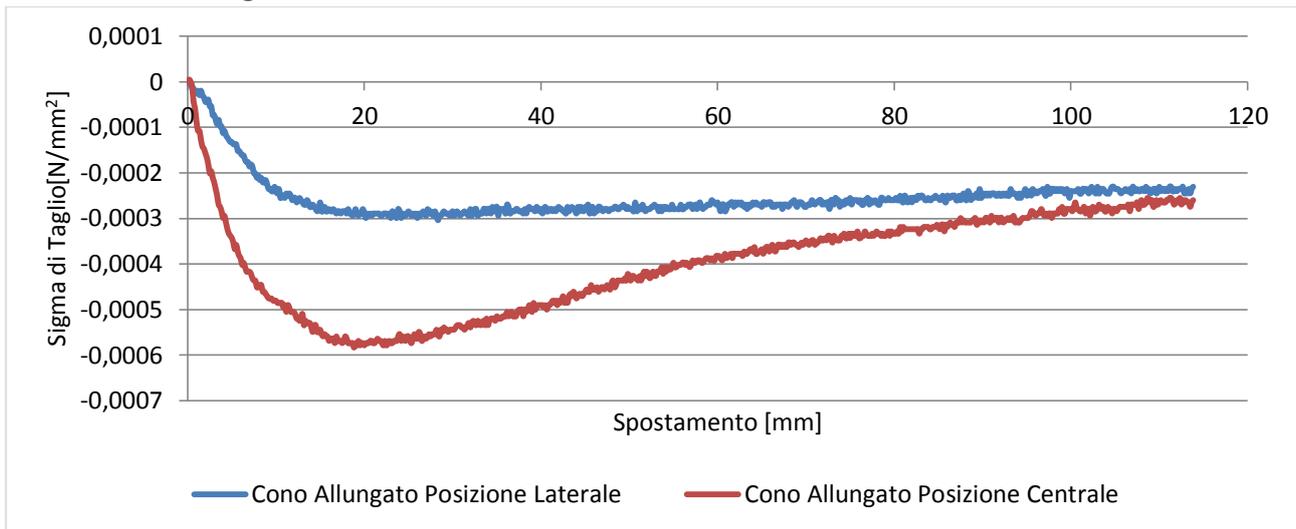


Grafico 7.120 Confronto Sigma di Taglio tra posizione centrale e laterale

### 7.5.2. Cono

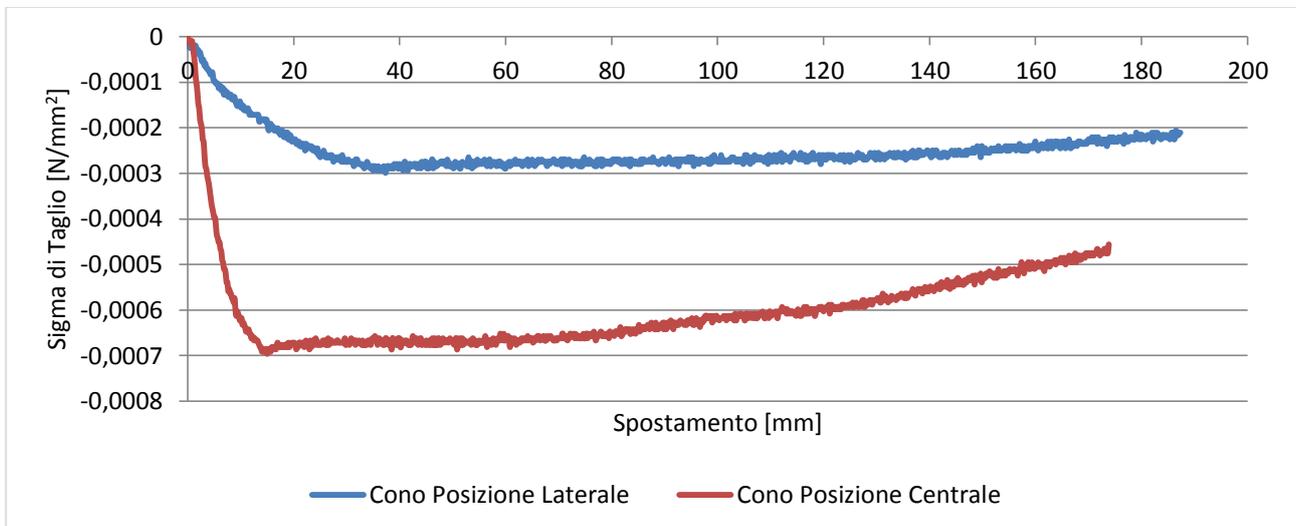


Grafico 7.121 Confronto Sigma di Taglio tra posizione centrale e laterale

### 7.5.3. Piastra Piatta

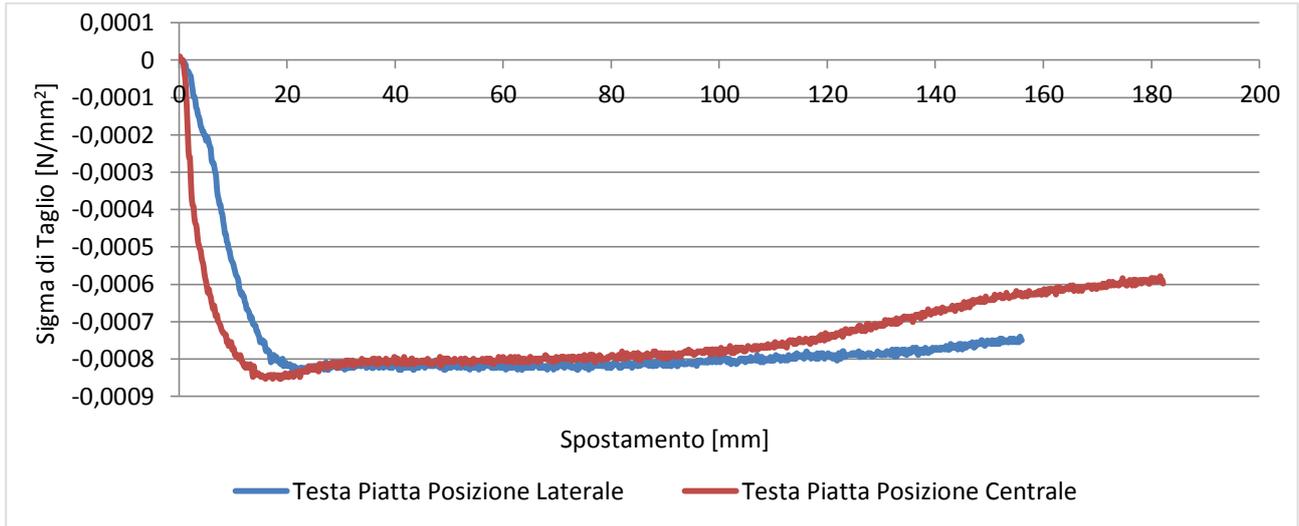


Grafico 7.122 Confronto Sigma di Taglio tra posizione centrale e laterale

### 7.5.4. Tronco Cono

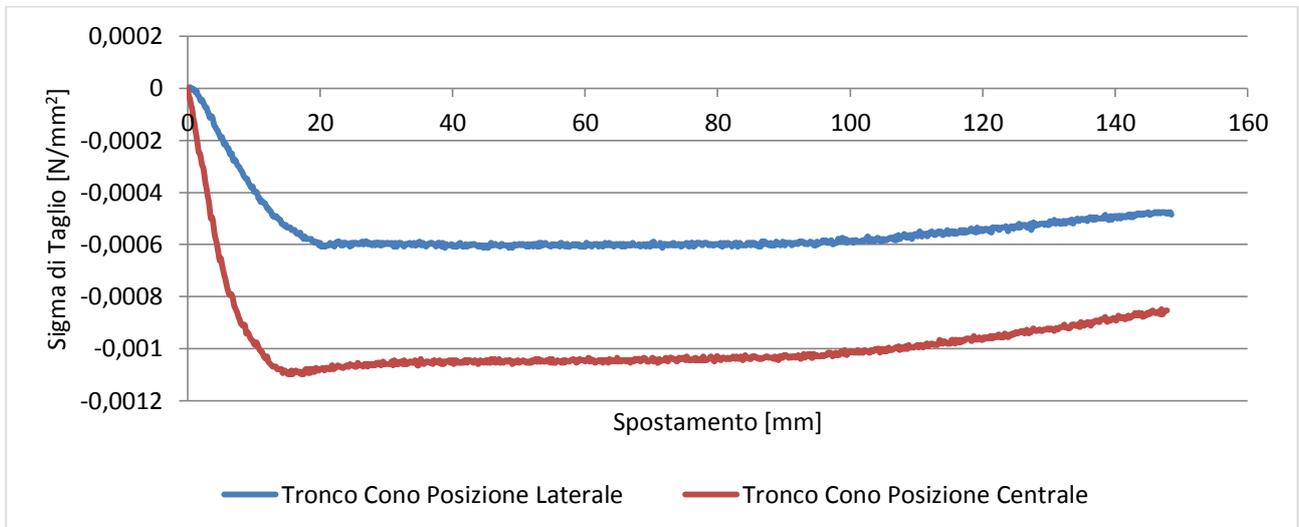


Grafico 7.123 Confronto Sigma di Taglio tra posizione centrale e laterale

### 7.5.5. Considerazioni

	Sigma di Taglio	
Cono Allungato Posizione Centrale	Picco	
	-0,00058	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cono Allungato Posizione Laterale	Picco	
	-0,0003	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	1,9194	-
	191,94%	-
Cono Posizione Centrale	Picco	
	-0,00070	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cono Posizione Laterale	Picco	
	-0,00030	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	2,3279	-
	232,79%	-
Tronco Cono Posizione Centrale	Picco	
	-0,00110	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tronco Cono Posizione Laterale	Picco	
	-0,00061	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	1,7920	-
	179,20%	-
Piastra Piatta Posizione Centrale	Picco	
	-0,00085	[N/mm <sup>2</sup> ]
Piastra Piatta Posizione Laterale	Picco	
	-0,00083	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	1,0235	-
	102,35%	-

Al contrario della misurazione della capacità portante e della sigma di compressione, dove il valore corrispondente alla posizione laterale era minore di quella in posizione centrale. Questo non vale per la sigma di taglio dove il valore maggiore lo si ha con la testa in posizione centrale. La sigma di taglio risulta molto diversa come valore di picco tra le due posizioni, una differenza minima si ha nel caso della piastra piatta, mentre la differenza più ampia si ha per il cono. Oltre alle differenze sul valore di picco, dai grafici si nota che il picco avviene in corrispondenza a spostamenti diversi. Per il cono allungato, il picco riferito alla posizione centrale si ha a circa 18mm di spostamento, mentre per la posizione laterale lo si ha a circa 28mm. Per il cono, a circa 15mm in posizione centrale, invece in posizione laterale a 35mm. Nel caso del tronco cono, il picco in posizione centrale viene registrato con uno spostamento di circa 15mm, mentre quello in posizione laterale con circa 20mm. Per la piastra piatta, in posizione centrale il picco è in corrispondenza di uno spostamento di 18mm circa, invece per la posizione laterale il picco corrisponde a circa 22mm. Questo implica che l'angolo del cono di spinta è più ampio in posizione centrale, dal momento che la piastrina rimovibile viene caricata con uno spostamento minore della testa. Queste differenze potrebbero essere causate dal fatto che l'asse longitudinale di simmetria della piastra rimovibile non si trova sullo stesso piano dell'asse del chiodo. Infatti nella prova in posizione centrale asse longitudinale di simmetria della piastra rimovibile e asse longitudinale della testa si trovano sullo stesso piano verticale, mentre per la posizione laterale i due assi sono su due piani diversi, sfalsati di circa 50mm.

## 7.6. Osservazioni

Tabella 7.5 Tabella riassuntiva dei confronti tra posizione centrale e laterale

	Capacità Portante				Sigma di Compressione		Sigma di Taglio	
	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
Cono Allungato Posizione Centrale	0,0939	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0609	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00060	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00058	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
Cono Allungato Posizione Laterale	0,1066	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0769	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00065	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00003	[N/mm <sup>2</sup> ]
	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
Centrale/Laterale	0,8810	-	0,7913	-	0,9333	-	1,9194	-
	88,10%	-	79,13%	-	93,33%	-	191,94%	-
Cono Posizione Centrale	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
	0,0942	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0468	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00117	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00070	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cono Posizione Laterale	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
	0,0996	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0740	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00134	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00030	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,9464	-	0,6320	-	0,8710	-	2,3279	-
	94,64%	-	63,20%	-	87,10%	-	232,79%	-
Tronco Cono Posizione Centrale	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
	0,1011	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0435	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00091	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00110	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tronco Cono Posizione Laterale	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
	0,1258	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0779	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00104	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00061	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,8040	-	0,5585	-	0,8750	-	1,7920	-
	80,40%	-	55,85%	-	87,50%	-	179,20%	-
Piastra Piatta Posizione Centrale	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
	0,0858	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0391	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00095	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00085	[N/mm <sup>2</sup> ]
Piastra Piatta Posizione Laterale	Massimo		Residuo Minimo		Picco		Picco	
	0,1096	[N/mm <sup>2</sup> ]	0,0644	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00099	[N/mm <sup>2</sup> ]	-0,00083	[N/mm <sup>2</sup> ]
Centrale/Laterale	0,7832	-	0,6061	-	0,9565	-	1,0235	-
	78,32%	-	60,61%	-	95,65%	-	102,35%	-

La tabella 7.5, riassume i dati principali di confronto tra posizione centrale e laterale a seconda della forma della testa.

## 8. Conclusioni

Gli obiettivi prefissati all'inizio del lavoro di tesi erano la valutazione di quale potesse essere la forma migliore da utilizzare per il plinto di un Ancoraggio Flottante SIRIVE®. Si è quindi eseguita una modellazione fisica per riprodurre il comportamento di questo tipo di ancoraggio riadattando, per le nuove esigenze, un modello fisico, precedentemente utilizzato per esperimenti su pareti di scavo rinforzate con Soil Nailing o geosintetici.

All'interno del modello sono state sottoposti a prova di trazione orizzontale degli ancoraggi con applicata all'estremità interna un plinto avente diverse geometrie. Durante la prova sono state valutate sia la forza di picco che la forza residua a grandi deformazioni e successivamente si è eseguita una stima dell'angolo del cuneo di spinta impresso dal chiodo al terreno.

Dal momento che le varie tipologie di testa utilizzate avevano area di impronta diverse, per poter confrontare il loro comportamento si è optato per una normalizzazione della forza di trazione in funzione dell'area di impronta. Si è quindi valutata la capacità portante di picco (valore massimo della forza di trazione raggiunto a spostamenti di circa 20mm) e residua (valore raggiunto a grandi spostamenti). Il valore più alto di capacità portante massima si registra con la piastra denominata tronco cono. Il valore residuo massimo, invece viene registrato con il tronco cono e il cono allungato.

Valutando invece la perdita di capacità portante, cioè la differenza tra valore massimo e valore residuo, la geometria che minimizza tale perdita è il cono allungato. Nel caso, ad esempio, delle prove in posizione centrale, dove l'esperimento per caratteristiche è più simile alla condizione reale, la perdita in termini di capacità portante registrata con il cono allungato è pari al 35% mentre con il tronco cono si attesta al 56%. Va precisato però che il picco massimo di capacità portante del tronco cono è l'8% maggiore rispetto a quello del cono allungato. Quest'ultima geometria risulta essere anche quella che genera l'angolo massimo con cui si propaga il cuneo di spinta nel terreno. Il cono allungato infatti produce un angolo di spinta mediamente pari a 45°, il cono e la piastra spesso presentano coni con angoli prossimi ai 42°, mentre invece per la piastra piatta e il tronco cono l'angolo è di circa 39°.

Si sottolinea però che l'angolo di inclinazione del cuneo di spinta presenta valori molto variabili nelle diverse prove eseguite con la stessa testa, senza che questo aspetti infici l'andamento della capacità portante in funzione dello spostamento.

Da questi risultati sembrerebbe quindi che nelle applicazioni dell'ancoraggio flottante per la stabilizzazione o il rallentamento di movimenti franosi lenti, il plinto a cono allungato offre la capacità di mantenere una forza applicata poco variabile e un raggio d'azione maggiore, grazie all'angolo maggiore nel cuneo di spinta.

Possibili valutazioni e sperimentazioni future potrebbero essere eseguite per lo studio dell'effetto di gruppo, al fine di determinare l'interasse a cui gli ancoraggi generano un'interazione tra loro, con una valutazione più approfondita delle aree di influenza coinvolte.

## 9. Bibliografia

Bisson A. e Cola S. (2014), "Ancoraggio flottanti per la stabilizzazione di movimenti franosi lenti"

Bisson A., Cola S. e Dalla Gassa G. (2013), " Comportamento elastoplastico di ancoraggi compositi", Incontro Annuale Ricercatori di Geotecnica, Perugia 2013.

Davide Pilotto (2010) " Il ruolo del rivestimento sulla stabilità delle pareti sostenute con il Soil Nailing: analisi sperimentale", Tesi di Laurea, Corso di Ingegneria Civile, Dipartimento Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova.

Elena Gallo (2012) "Misura di spostamenti in modello 2D analogico di materiale granulare", Tesi di Laurea Triennale, Corso di Ingegneria Civile, Dipartimento Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova.

Nicola Zecchin (2012) "Prove di sfilamento di un chiodo in materiali granulari", Tesi di Laurea Triennale, Corso di Ingegneria Civile, Dipartimento Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova.

Regione Piemonte, Tiranti di Ancoraggio ,

[http://www.regione.piemonte.it/ambiente/tutela\\_amb/dwd/tesi\\_ing\\_nat/CAP\\_02%20TIRANTI%20DI%20ANCORAGGIO.pdf](http://www.regione.piemonte.it/ambiente/tutela_amb/dwd/tesi_ing_nat/CAP_02%20TIRANTI%20DI%20ANCORAGGIO.pdf) (consultato 29-07-2014)