



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip. TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**ANALISI DELLE VIBRAZIONI
PER SEMINATRICI DI PRECISIONE**

RELATORE:

Prof. Francesco Marinello

CORRELATORE:

Prof. Luigi Sartori

LAUREANDO:

Carraro Mattia

Matricola n. 1091648

ANNO ACCADEMICO 2016-2017

RIASSUNTO

Il tentativo di aumentare le capacità di lavoro delle macchine moderne, in particolar modo delle seminatrici di precisione, comporta un aumento delle velocità di avanzamento nella fase di lavoro. Contemporaneamente a quanto detto, l'agricoltura si sta spostando verso un'ottica di sostenibilità e riduzione degli input, per questo motivo le operazioni di preparazione del letto di semina tendono ad avvicinarsi a quella che è la minima lavorazione. Questo comporta una presenza maggiore di residui sul suolo e una zollosità più importante di quella corrispondente a un suolo perfettamente lavorato.

Le seminatrici di precisione, a causa di quanto detto, si trovano sollecitate da un insieme di vibrazioni ed oscillazioni che possono ridurre le prestazioni di semina, compromettendo il reddito finale dell'agricoltore.

La tecnologia inizia ad offrire soluzioni adatte a migliorare le prestazioni delle seminatrici in diverse condizioni di lavoro, contrastando o attenuando quelle che sono le sollecitazioni a cui viene sottoposto l'elemento di semina stesso. In questo studio viene analizzato l'insieme di vibrazioni a cui viene sottoposta una seminatrice in diverse condizioni di lavoro, in modo tale che sia anche possibile in seguito generare un modello che descrive le vibrazioni anche per collaudare eventuali soluzioni e tecnologie per la riduzione delle vibrazioni e l'aumento delle prestazioni di semina.

ABSTRACT

At present, farmers are demanding an increase of the working capacity of modern machines, especially with reference to precision seeders. As a consequence forward speeds are progressively increasing. At the same time, agriculture is moving toward sustainability and reduced inputs, with a consequent reduction on soil operations and seedbed preparation moving toward minimum tillage approaches. This results in a greater presence of soil residues and less smooth seedbed compared to a traditionally cultivated soils.

As a consequence, precision planters are solicited by a combination of vibrations and oscillations that can reduce sowing performance, compromising the farmer's final income.

The technology is now offering new solutions that can improve the performance of seeders in different working conditions, counteracting or attenuating those stresses arising during sowing operations. This study analyzes the set of vibrations that influence a seed drill under different working conditions, so that it is also possible to generate a vibration model to allow testing different solutions and technologies for vibration reduction and increased sowing performances.

SOMMARIO

RIASSUNTO.....	3
ABSTRACT	4
SOMMARIO.....	5
CAPITOLO 1	7
INTRODUZIONE	7
1.1 L'importanza della semina.....	7
CAPITOLO 2	11
LA SEMINA	11
2.1 L'operazione di semina	11
2.2 Seminatrici di precisione	12
2.3 Vibrazioni e conseguenze	13
2.5 Nuove tecnologie per la riduzione delle vibrazioni.....	18
CAPITOLO 3	21
3.1 Modalità sperimentale e tipo di dati	21
3.2 Matermacc MS 4230	23
3.3 Matermacc modello Twin	28
3.4 Mascar Maxi-5.....	31
3.5 Monosem 5 file	35
Capitolo 4	39
CONCLUSIONI.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41
RINGRAZIAMENTI.....	43

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 L'importanza della semina

Nel corso della storia e dello sviluppo dell'agricoltura la semina è sempre stata la fase più importante per l'ottenimento di un prodotto.

Nelle epoche più antiche, la semina avveniva immediatamente dopo l'aratura, e a volte l'interramento del seme dopo che era stato distribuito avveniva tramite il calpestio di animali appositamente fatti passeggiare, che nell'antico Egitto ad esempio potevano essere pecore o capre. Secondo Erodoto, a partire dal Nuovo Regno (1552-1069 a.C.) per pestare i semi venivano utilizzati i maiali, oppure si effettuava prima la semina e poi l'aratura o la dissodatura e anche i buoi stessi che azionavano l'aratro contribuivano col loro calpestio all'interramento del seme se era stato precedentemente distribuito. Nel caso di culture che non avevano a disposizione animali da lavoro, come ad esempio gli Inca, le sementi distribuite venivano interrate a mano, ed il mais veniva seminato interrando contemporaneamente del concime, che per le popolazioni più costiere era ad esempio del guano di uccelli marini o sardine e alici seppellite con tutoli di mais stesso.

Dalla metà del XVII secolo numerose scoperte portarono ad un aumento delle conoscenze e conseguentemente a numerose innovazioni tecniche nel settore agricolo. La prima seminatrice meccanica risale al 1701, inventata in Inghilterra da Jethro Tull, permise di incrementare le produzioni dell'800%. La seminatrice di Tull era trainabile da animali, dotata di diversi serbatoi, uno per ogni fila, e già disponeva di distributori azionati dalla rotazione di un cilindro incavato, un sistema simile alle seminatrici meccaniche moderne. Il solco veniva aperto tramite degli assolcatori e posteriormente un erpice a strigliatori di legno interrava i semi.

Dall'incremento di resa ottenuto tramite le innovazioni nel campo della semina ci si può rendere immediatamente conto di quanto sia rilevante la semina in quello che è l'obiettivo finale della miglior resa possibile. La semina infatti essendo l'azione preliminare per l'instaurarsi di una pianta nel terreno anticipa e condiziona anche il resto delle fasi vegetative della coltura.

La tendenza attuale è quella di progettare macchine con capacità di lavoro sempre più alte, e generalmente per quanto riguarda le seminatrici questo si vede con un aumento della velocità massima di semina. Contemporaneamente a quanto detto, lo spostamento da parte degli addetti al settore agricolo verso tecniche di agricoltura conservativa e lavorazioni ridotte porta ad avere terreni che si presentano con un letto di semina più irregolare, sia per la presenza di una maggior zollosità che per la presenza a volte molto consistente di residui colturali. Una seminatrice che quindi si trova ad avanzare su un terreno più irregolare e con una velocità tendenzialmente alta è sollecitata ad una serie di vibrazioni, le quali hanno diverse conseguenze sulle prestazioni di semina, precisamente sulla profondità, sulla regolarità di deposizione del seme.



Figura 1.1 Väderstad Tempo L16 durante il record mondiale di semina, ottenuto con una velocità di lavoro tra i 20 e i 24 km/h. L'efficienza di semina dichiarata è stata del 98,5%

La profondità di semina, ad esempio, può modificare consistentemente il tempo di emergenza della plantula e quindi il suo stadio di sviluppo, che può essere arretrato di diversi giorni rispetto a quello di una pianta nata da un seme seminato alla giusta profondità. La profondità di semina inoltre va a determinare anche la quantità di umidità con la quale sarà a contatto il seme, indispensabile per la sua germinazione: una semina troppo superficiale potrebbe significare che il seme si trova a contatto con una superficie arida e in caso di precipitazioni se dovesse germinare la plantula potrebbe morire se gli strati più superficiali del suolo dovessero seccarsi in fretta.

Allo stesso modo della profondità di semina anche le condizioni del terreno nella parte subito adiacente al seme possono influenzare pesantemente lo sviluppo della futura pianta: un terreno costipato dal passaggio della seminatrice può comportare difficoltà

allo sviluppo della prima radichetta della plantula, con conseguente difficoltà allo sviluppo successivo.

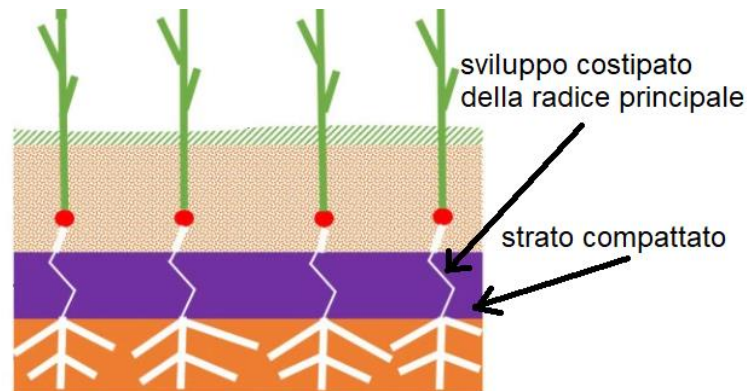


Figura 1.2 Rappresentazione dello sviluppo della radice con terreno compatto nei pressi del punto di deposito del seme

1.2 Il lavoro di tesi

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo quello di analizzare quali sono le caratteristiche delle vibrazioni a cui viene sottoposto un elemento di semina nella fase di lavoro normale. Consci del fatto che le vibrazioni sono molto variabili sia dal punto di vista dell'intensità e della frequenza, soprattutto per il fatto che sono condizionati da molti fattori in fase di lavoro, la rilevazione e l'elaborazione dei dati si è concentrata soprattutto sul definire gli aspetti generali delle vibrazioni durante la semina.

Il risultato voluto non era quindi quello di interpretare le rilevazioni di vibrazione con l'ottica di isolarne le varie fonti, o di capire con precisione come ogni fonte contribuisca a quello che è l'insieme delle vibrazioni, bensì raccogliere dati ed analisi degli stessi sufficienti a poter generare un modello di vibrazioni ipotetico. Modello che volendo, potrà essere implementato in simulazioni necessarie a collaudare sistemi creati per la riduzione delle vibrazioni o per l'aumento delle prestazioni di semina contrastando l'andamento oscillatorio ad elevate velocità di lavoro.

Si è andati quindi a rilevare le vibrazioni tramite accelerometri montati su elementi di semina, sia interni che esterni rispetto al telaio principale della seminatrice, a diverse velocità di avanzamento, su diverse seminatrici e in diverse condizioni del terreno.

CAPITOLO 2

LA SEMINA

2.1 L'operazione di semina

La semina consiste nell'imitazione della naturale modalità di riproduzione delle piante tramite distribuzione di sementi. Ciò però viene effettuato con metodo razionale in modo da disporre le sementi in maniera tale da favorire al massimo le successive fasi di sviluppo della pianta e le operazioni colturali. La razionalizzazione della semina si concretizza nella scelta dell'epoca, della profondità di semina e nel tipo di investimento per quel particolare tipo di coltura.

Per molti anni l'operazione di semina è stata effettuata a mano e ciò avviene tuttora per alcuni tipi particolari di colture che lo richiedono oppure da parte di certe popolazioni che non hanno la possibilità di convertire l'operazione da manuale a meccanizzata.

Attualmente tale operazione viene meccanizzata tramite tre principali modalità, ossia a spaglio, tramite seminatrici a righe e tramite seminatrici di precisione.

Nel primo caso si tratta di distributori costituiti da tramogge collegate tramite una bocca regolabile con palette rotanti sottostanti che lanciano tramite forza centrifuga il seme. Questi dispositivi, con elevata capacità di lavoro e semplicità costruttiva, sono oggi usati solo per semina di colture foraggere o destinate all'interramento (catch e cover crops), per l'impossibilità di interrare il seme e di regolare con precisione le dosi distribuite.

Le seminatrici a righe, dette anche a distribuzione meccanica invece consente una maggiore uniformità e regolarità di distribuzione, potendo intervenire sulle quantità e sulla profondità della semina. La macchina è costituita da una tramoggia che contiene il seme, un rullo distributore mosso da delle ruote esterne che poggiano a terra e prendono il moto dall'avanzamento della seminatrice; il rullo tramite delle cave regolabili determina le quantità di semente che si dirige verso gli assolcatori, i quali creano il solco e poi depositano il seme. Il solco verrà successivamente chiuso, generalmente da degli erpici strigliatori posti posteriormente. Il trasporto del seme dal regolatore agli assolcatori può avvenire tramite caduta oppure tramite distribuzione pneumatica, cioè i semi vengono portati da un flusso d'aria e indirizzati tramite organo smistatore (fungo).

Purtroppo le seminatrici a riga non permettono di regolare la spaziatura tra i semi sulla fila stessa.



Figura 2.1 Esempio di seminatrice a righe a distribuzione meccanica con trasporto per gravità (sinistra) e con trasporto pneumatico (destra)

2.2 Seminatrici di precisione

Le seminatrici di precisione, a differenza di quelle esposte precedentemente hanno la capacità di controllare ogni seme singolarmente, e questo permette anche il distanziamento sulla fila tra seme e seme. Per questo motivo è la macchina più usata per seminare colture in cui è opportuna una distanza regolare tra seme e seme e per le quali la precisione degli investimenti è molto importanti, essendo questi ultimi generalmente medio-bassi (es mais, soia, barbabietola, ecc).

Le seminatrici di precisione lavorano per depressione, in particolare un ventilatore centrifugo azionato dalla presa di potenza crea un risucchio, che applicato ad un lato di un disco metallico forato lungo il perimetro, permette l'adesione dei semi sui fori.

I fori sono più piccoli dei semi stessi e per ogni foro deve rimanere adeso un solo seme. Il disco ruotando preleva i semi direttamente da un vano collegato al serbatoio dell'elemento e poi lo rilascia per permettergli di uscire e adagiarsi nel solco di semina.

Le seminatrici di precisione vengono generalmente suddivise in base al sistema di apertura del solco di semina in due grandi categorie, quelle a falciatore e quelle a dischi. Nel primo caso un organo in metallo a forma di stivaletto (falciatore) si affonda progressivamente nel terreno formando il solco di deposizione mentre nel secondo caso invece due dischi disposti leggermente divaricati tagliando il terreno consentono l'apertura di un solco a V. Il sistema a dischi è ora quello più utilizzato in quanto consente di operare anche su terreno parzialmente lavorato o sodo e anche in presenza di residui colturali senza ingolfamenti e intralci.

Inoltre il sistema a dischi permette una deposizione a una profondità più regolare anche a velocità di avanzamento superiori sia grazie al minor sforzo di penetrazione dei dischi rispetto al falcione, sia grazie a un miglior sistema di regolazione della profondità di semina. Infatti nella seminatrice a falcioni la profondità è regolata da una o due ruote posteriori che oltre a questa funzione hanno anche la funzione di chiudi-solco e premi-solco; in quella a dischi vi sono due ruote solidali con i dischi che possono essere opportunamente spostate lungo l'asse verticale operando una maggiore o minore esposizione dei dischi e pertanto una maggiore o minore profondità del solco.



Figura 2.2 Esempio di un elemento di semina con doppio disco apri-solco (sinistra) e diversi tipi di dischi di semina (destra)

La distanza di deposizione tra un seme e l'altro dipende dalla velocità di rotazione del disco dosatore, la quale è regolata tramite un cambio a delle ruote che prendono il moto dall'avanzamento della seminatrice stessa. Per regolare la distanza tra i semi nella fila si può agire manualmente sul cambio oppure in alcuni modelli recenti, i cui distributori sono azionati da motorini elettrici, la regolazione viene impostata dal monitor.

2.3 Vibrazioni e conseguenze

Le vibrazioni non sono altro che oscillazioni non armoniche, cioè variazioni irregolari della posizione.

Le vibrazioni a cui viene sottoposta una seminatrice in fase di lavoro, ma in particolare un elemento singolo di semina hanno diverse sorgenti:

- il motore e la presa di potenza del trattore generano oscillazioni che si trasmettono tramite gli organi di aggancio al trattore stesso

- le parti in movimento azionate in modo attivo presenti sulla seminatrice, come ad esempio la ventola che crea la forza di suzione usata dal disco di semina
- le sollecitazioni generate in fase di avanzamento sul suolo, sono generalmente proporzionali sia alla velocità di avanzamento durante la semina che alle condizioni di zollosità del letto di semina, queste sono le vibrazioni che influenzano maggiormente le prestazioni di semina. La velocità di semina, appunto, come verrà mostrato in seguito nel capitolo 3, influenza in modo diretto la frequenza e l'intensità delle vibrazioni a cui viene sottoposta la seminatrice e più in particolare l'elemento di semina. Queste vibrazioni sono delle vere e proprie oscillazioni (orientate in particolare in direzione verticale), che vengono generate dal contatto delle ruote dell'elemento di semina col terreno. L'elemento di semina infatti non è solidale col telaio principale della seminatrice ed è relativamente libero di muoversi nel tentativo di seguire il profilo del terreno. Ciò significa che la natura del terreno stessa, quindi la sua rugosità, il tipo di lavorazioni che vi sono state fatte, la presenza o meno di residui, va a determinare quelle che sono le oscillazioni verticali dell'elemento.

Le oscillazioni generate in fase di lavoro hanno diverse conseguenze dirette nella semina. Per misurare le prestazioni di semina si usa l'indice di efficienza C_s , dato dal rapporto fra l'investimento effettivo e l'investimento teorico di semi. Quando C_s tende ad 1 si ha la massima efficienza della seminatrice, in quanto tutto l'input immesso come investimento si è convertito in investimento effettivo.

È inoltre stato evidenziato come la velocità di semina sia inversamente proporzionale alla percentuale di germinazione e al tempo medio di germinazione (de Souza, 2012).

Questo calo di prestazioni dipende probabilmente da una serie di fattori, ma l'aumento di oscillazioni causato dall'incremento di velocità ha un peso rilevante nel fenomeno, in quanto influenza il percorso del seme in diverse fasi.

Una delle tre fasi principali in cui si hanno perdite di efficienza è nel momento dell'adesione del seme al disco di semina, che risulta più difficoltosa in presenza di evidenti oscillazioni e richiede di conseguenza maggiori forze di depressione.

La seconda delle principali fasi è la discesa del seme nel tubo adduttore che collega il disco di semina alla bocca di deposito del seme nel solco: se il seme urta le pareti del tubo si trova ad iniziare una serie di rimbalzi che causano un ritardo nel deposito del seme nel solco di semina. Quanto descritto provoca quindi delle spaziatore non regolari tra i semi: semi non depositi (fallanze) e doppie deposizioni (due o più semi ravvicinati). Questi fenomeni causano uno sfruttamento non ottimale della superficie: semi troppo

ravvicinati favoriscono condizioni di stress e competizione, mentre contemporaneamente ci sono spazi vuoti dove manca proprio il seme. Può accadere anche che una pianta resti soffocata da una troppo vicina e concretamente non porti a nessuna produzione, diminuendo di fatto l'investimento finale di piante/metro quadro.

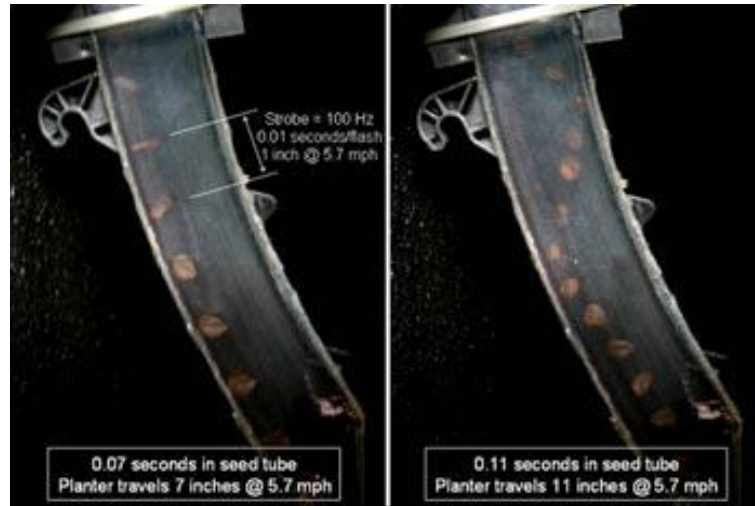


Figura 2.2 Discesa del seme lungo il tubo adduttore, a sinistra avviene in modo regolare e a destra subisce diversi rimbalzi lungo le pareti.

La terza fase principale è nel momento del rilascio del seme nel solco di semina, infatti se l'elemento si muove molto in senso verticale, seguendo in maniera imprecisa il profilo del terreno, risulta una profondità di semina molto variabile, con conseguenti casi in cui il seme fuoriesce dal terreno oppure si trova a eccessiva profondità.

La profondità di semina influenza in maniera diretta le prime fasi di sviluppo della pianta, e può avere conseguenze importanti sulla produzione finale. La profondità dovrebbe essere tale da permettere al seme di assorbire la quantità di umidità necessaria ad innescare la germinazione e una semina troppo superficiale consegue in una condizione spesso di eccessiva aridità. Al contrario una semina troppo profonda causa difficoltà a fuoriuscire dal terreno per la plantula, con conseguente ritardo nello sviluppo successivo o addirittura morte della plantula.

Una uniforme emergenza migliora notevolmente la competizione nei confronti delle malerbe. (Bozdogan, 2006).



Figura 2.3 Esempio di seme non interrato, il solco di semina non è stato chiuso o il seme non è stato depositato in maniera corretta dall'elemento di semina; la presenza dei residui colturali peggiora la situazione.

Può accadere infine che quando la spinta esercitata dall'elemento di semina sul terreno è troppo elevata, magari a causa di un'improvvisa accelerazione verticale, il seme oltre che essere depositato a profondità troppo elevata si trovi con un terreno eccessivamente compattato nei suoi immediati paraggi a causa del passaggio degli organi della seminatrice stessa.

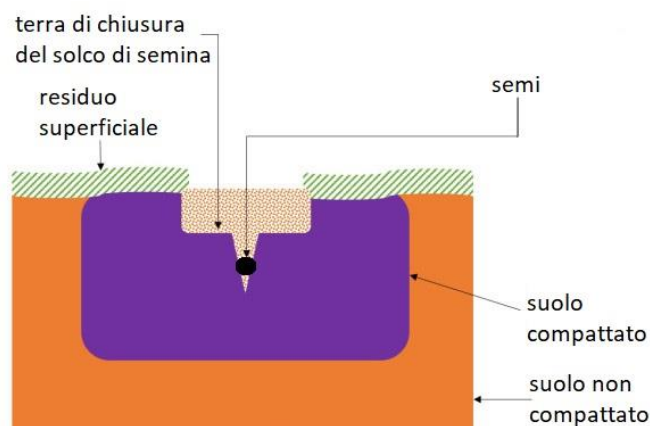


Figura 2.4 Vista frontale stilizzata del compattamento nel solco di semina.

2.4 Tecnologie per la riduzione delle vibrazioni dell'elemento di semina

Come detto in precedenza le vibrazioni maggiori in fase di movimento sono causate dal tentativo dell'elemento di semina di seguire il profilo del terreno. All'aumentare della velocità di semina diminuisce l'efficacia dell'elemento seminante a seguire in maniera

esatta il profilo del terreno. Per contrastare la tendenza dell'elemento di semina a saltellare e permettergli di seguire il profilo in maniera più efficace possibile all'aumentare consistente della velocità vengono implementati dei sistemi di carico che vanno ad intensificare la spinta verso il terreno dell'elemento di semina.

Il sistema più diffuso di attacco dell'elemento di semina al telaio è costituito da un parallelogramma al quale vengono applicate una o più molle che vanno a contrastare l'oscillamento verticale in quanto tendono a mantenere il parallelogramma più orizzontale possibile. Questo sistema è regolabile modificando il punto di azione della molla sul parallelogramma e quindi modulando la forza stessa che la molla esercita sul sistema.

Alcuni modelli più vecchi montavano parallelogrammi senza molle, in cui la funzione era solo quella di rendere l'elemento indipendente dal telaio principale della seminatrice e la spinta verso il suolo era unicamente quella derivante dalla forza peso dell'elemento stesso.

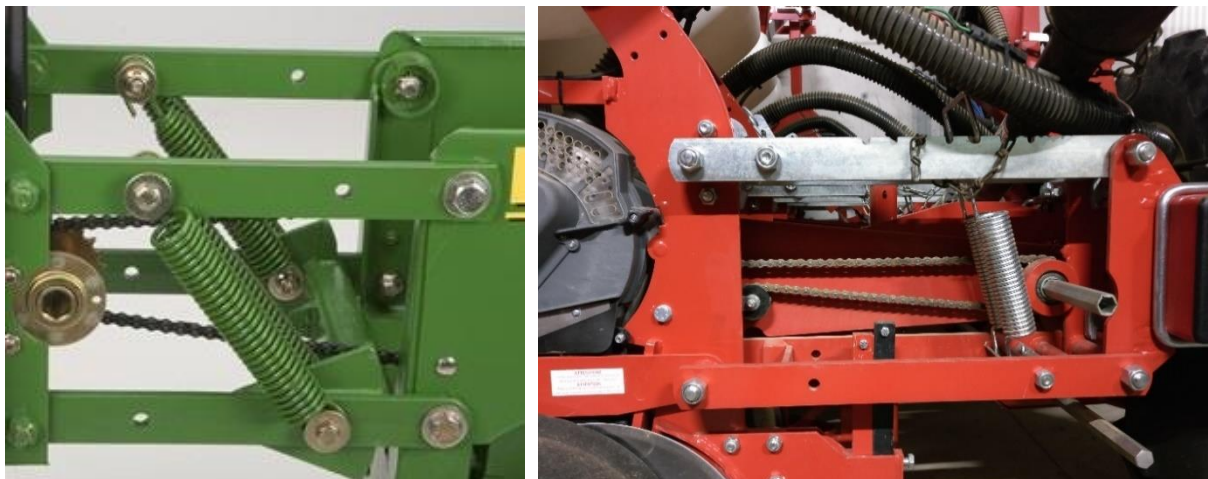


Figura 2.5 Esempi di sistema a parallelogramma con molle, a sinistra soluzione John Deere e a destra soluzione Mascar.

In generale un sistema a molle è relativamente economico e semplice da implementare, ma soffre di imprecisione nei terreni con grande variabilità perché non è in grado di auto-adattarsi alle diverse condizioni del terreno, come invece avviene nel caso dei sistemi di ultima generazione in seguito descritti.

Inoltre le molle riescono ad esercitare la spinta regolata dall'operatore solo in un range specifico di estensione, al di fuori del quale la molla è eccessivamente compressa o rilassata ed esercita una spinta diversa.

Infine la risposta di un sistema a molle alle vibrazioni che subisce un elemento di semina tende a creare un leggero effetto di rimbalzo, cosa che non avviene del tutto nei sistemi idraulici di ultima generazione.

2.5 Nuove tecnologie per la riduzione delle vibrazioni

Attualmente esistono sul mercato diverse aziende che propongono soluzioni in grado di regolare in maniera automatica la spinta verso il suolo (down force) dell'elemento di semina.

Tutte le soluzioni sono costituite da dispositivi in grado di esercitare una spinta che generalmente si applica direttamente al sistema di aggancio dell'elemento di semina, sia che questo sia il classico parallelogramma sia che questo sia progettato appositamente per ospitare un sistema di regolazione automatico.

Tipicamente l'obiettivo principale di questi sistemi è quello di adattare la regolazione in base alle condizioni variabili del suolo, quindi reagire nel momento in cui in fase di lavoro si incontrano zone di terreno più duro o più soffice impedendo che queste variazioni influenzino negativamente il deposito del seme nel solco di semina.

Accade quindi che il fenomeno di attenuazione delle vibrazioni sia una conseguenza indiretta, frutto delle caratteristiche costruttive del sistema di spinta stesso, cosa che come descritto prima già accade con il sistema a parallelogramma e molla, il cui scopo appunto principale è esercitare una spinta verso il suolo ma che permette anche di attenuare le oscillazioni verticali.

Ogni soluzione generalmente ha sistemi di rilevazione e posizione dei sensori diverse, alcune tecnologie sono in grado di regolare ogni elemento singolarmente mentre altre modificano in contemporanea la spinta di diversi elementi della seminatrice. Questo è il caso del sistema AutoForce applicato al modello Maestro della HORSCH, che regola idraulicamente i martinetti degli elementi a gruppi di 8 e dichiara che il sistema è stato implementato anche per il fatto che un solo elemento di semina pesa circa 300 kg.

L'azienda AG-Leader invece ha messo a punto un sistema a martinetto idraulico azionato per singolo elemento in grado di adattarsi in un secondo al variare delle condizioni del suolo. La riduzione delle vibrazioni avviene grazie ad un serbatoio ad azoto pressurizzato presente nel dispositivo che è in grado di assorbire le oscillazioni verticali della seminatrice. In generale l'effetto dei sistemi idraulici di spinta è quello di una vistosa riduzione dei rimbalzi verticali rispetto ai sistemi a molle. Inoltre un sistema di spinta idraulico si adatta anche al profilo del terreno, inteso come piccoli avvallamenti

o montagnole in modo più efficace di una molla, la quale se si trova troppo compressa o rilassata rispetto alla sua posizione di lavoro nel momento della regolazione da parte dell'operatore, rischia di esercitare una spinta che non è quella voluta.

Il sistema idraulico più avanzato disponibile attualmente è il DeltaForce della Precision Planting, in grado di fare 200 letture a secondo della pressione esercitata dall'elemento al suolo tramite un sensore di peso posizionato in modo solidale con le ruote di regolazione della profondità, modulando in modo quasi istantaneo la spinta del martinetto idraulico. Questo sistema oltre che modulare la spinta può anche esercitare una forza di tiro, riducendo quindi la spinta dell'elemento anche al di sotto di quella della sua stessa forza-peso. Una capacità di adattamento così repentina permette quindi anche di contrastare le oscillazioni e cambi di accelerazione subiti dall'elemento di semina nel tentativo di seguire il profilo del suolo soprattutto ad alte velocità di semina, eliminando di fatto le vibrazioni più ampie e a frequenza relativamente bassa.



Figura 2.6 Posizione del sensore di carico del sistema Delta Force, e rappresentazione di montaggio del martinetto su sistema a parallelogramma.

Sul mercato esistono anche soluzioni ad aria, che tramite dei cuscinetti che vengono riempiti ad alta pressione esercitano una spinta sull'elemento di semina analoga a quella ottenuta dai sistemi idraulici precedentemente descritti. I sistemi a cuscinetto d'aria però hanno tempi di risposta inferiori rispetto a quelli a martinetto idraulico ed inoltre reagiscono alle oscillazioni subite dall'elemento di semina in maniera più simile ai sistemi a molle che ai sistemi idraulici.

Un esempio degno di nota è la tecnologia Air Force sempre di proprietà di Precision Planting, che tramite due cuscinetti, uno superiore ed uno inferiore è in grado di creare anche una spinta verso l'alto, in maniera analoga a quella realizzata nel Delta Force.

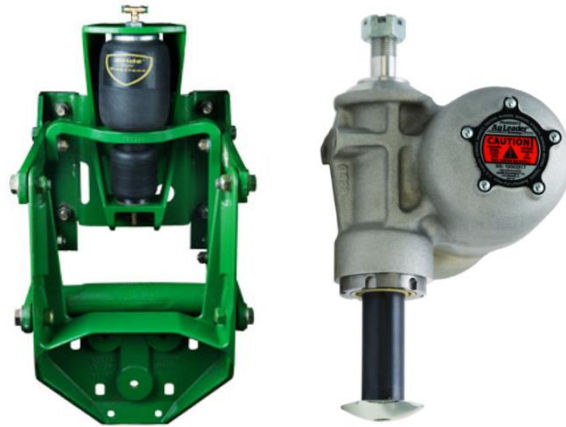


Figura 2.7 Sistema Air Force con doppio cuscono d'aria a sinistra e sistema idraulico della AG Leader a destra.

CAPITOLO 3

RACCOLTADATI

3.1 Modalità sperimentale e tipo di dati

Le misurazioni sono state effettuate su quattro cantieri diversi, con macchine diverse e in terreni diversi.

I sensori utilizzati sono degli accelerometri MSR165 in grado di rilevare, volendo, oltre che le accelerazioni sui 3 assi anche temperatura, umidità, luminosità, e pressione atmosferica. La scelta degli accelerometri è dettata dall'intenzione di misurare la frequenza delle vibrazioni e l'intensità. I sensori sono stati posizionati il più vicino possibile al disco di semina e fissati solidamente tramite delle fascette in modo che non fossero liberi di oscillare. Sono stati posizionati con l'asse Y rivolto in senso verticale. Su ogni seminatrice è stato montato un sensore su un elemento esterno ed un sensore su un elemento interno, più centrale possibile.



Figura 0.1 Esempio di posizionamento di uno dei sensori su un elemento esterno.

La frequenza di rilevazione a cui sono stati programmati i sensori è stata di 100 Hz: si ritiene che tale frequenza rappresenti un buon compromesso tra numero di dati raccolti nell'intervallo di tempo (e dunque di dimensione dei file generati) e il tentativo di rimanere in un range di frequenze comunque accettabile per quelle che sono le dinamiche delle macchine agricole (e più precisamente dei regimi di rotazione del

motore e delle ruote di trasmissione) tipicamente non superiori ai 50 Hz. C'è da dire inoltre che gli organi di semina non sono influenzati tanto dalle vibrazioni alle alte frequenze (e a bassa ampiezza/intensità) bensì da quelle a frequenze relativamente basse (sobbalzi e oscillazioni con ampiezze/intensità superiori).

Si può osservare anche dai grafici e dalle misure delle frequenze delle oscillazioni che la scelta dei 100 Hz è stata adeguata: infatti come verrà spiegato in seguito, dopo aver eliminato le vibrazioni trasmesse dal motore, si nota come sia riconoscibile un andamento sinusoidale delle oscillazioni generate in fase di semina, adeguatamente rappresentato con la frequenza dei 100 Hz.

Le vibrazioni a cui si è interessati in questo studio dipendono dal tipo di suolo, dal tipo di lavorazione effettuata precedentemente, dall'interazione tra la seminatrice ed il suolo stesso, dai sistemi di accoppiamento e azionamento tra trattore e seminatrice, dal gruppo di depressione nonché dai sistemi elastici della seminatrice stessa.

L'obiettivo di questo studio però non è descrivere in modo dettagliato come tutte queste variabili influenzino le vibrazioni a cui sono sottoposti gli elementi di semina, bensì quantificare sia l'intensità che le frequenze medie di un range tipico di vibrazioni in fase di lavoro. Ciò con lo scopo ulteriore di poter impostare le influenze su un eventuale banco di prova da costruire appositamente per simulare delle vibrazioni realistiche e tipiche sia per intensità che per frequenza in una condizione di laboratorio, eventualmente anche per collaudare prototipi di elementi di semina o di sistemi di ammortizzamento.

Anche lo spostamento fisico stesso, nonostante sia funzione della frequenza non ci interessa particolarmente perché riguarda altri fattori come la profondità di semina.

L'oscillazione singola, inoltre, con la sua rispettiva intensità correlata alla sua frequenza istantanea avrebbe un certo significato nell'analisi ma in questo studio non verranno presi in considerazione i picchi singoli ma la media delle intensità.

Tutte queste decisioni sono effettuate perché facilmente si osserva un andamento molto disturbato e la scelta migliore è considerare il tutto come una senoide relativamente regolare.

Per quanto riguarda la determinazione concreta della frequenza media di vibrazione per ogni velocità di avanzamento il procedimento è stato semplificare le varie oscillazioni considerandole come una senoide il cui asse delle ascisse è formato dalla media di tutti i valori, in particolare:

- è stato determinato il valore della media quadratica fra le accelerazioni sui tre assi per ogni istante;
- è stata determinata la media quadratica delle medie di tutti i valori sui tre assi, questo permette di ottenere il valore per posizionare la linea che va a costituire l'asse delle ascisse nell'ipotetica sinusoide delle vibrazioni;
- successivamente per simulare la sinusoide delle oscillazioni si sono analizzati i dati tramite una piccola funzione rilevando il numero di volte in cui un dato valore di accelerazione oltrepassava l'asse delle ascisse e contemporaneamente andava a costituire un picco della sinusoide, avendo un valore maggiore in senso assoluto sia del precedente che del successivo.

Per l'intensità vengono considerati il modulo dell'accelerazione sui tre assi per il fatto che le accelerazioni principali (verticali) hanno effetti anche sulle oscillazioni trasversali e longitudinali quindi per limitare problemi relativi a inclinazioni della macchina o errori di allineamento verticale del sensore stesso è stata considerata la media quadratica assoluta delle 3 accelerazioni lungo gli assi x y z.

Il dato che esprime l'intensità dell'accelerazione della vibrazione viene espresso tramite valore relativo rispetto all'accelerazione G.

Per ogni seminatrice è stata fatta un'acquisizione di almeno un minuto per ogni velocità, un tempo necessario ad ottenere un numero di punti sufficientemente alto per garantire una ripetibilità dei dati e dei valori sufficientemente adeguati.

3.2 Matermacc MS 4230

La prima delle rilevazioni analizzate è stata svolta con una seminatrice Matermacc a 12 file singole modello MS 4230 con un peso di 1630kg a vuoto accoppiata ad un John Deere 6430 premium con un peso di circa 4550kg.

Dalla Figura 3.3 si può osservare il posizionamento dei sensori rispetto all'elemento di semina ed il loro allineamento. Un sensore è stato montato su un elemento esterno e l'altro sensore su un elemento interno.



Figure 3.2 Seminatrice Matermacc MS4230 12 file e relativo posizionamento del sensore su uno degli elementi esterni

Il terreno è stato lavorato tramite coltivatore superficiale CLC Kverneland dopo la raccolta del frumento ed erano presenti dei residui colturali ed una zollosità medio-alta.



Figura 3.3 Zollosità e presenza di residui presso terreno seminato con Matermacc a 12 file singole MS4230, precedentemente lavorato con coltivatore superficiale.

I test sono stati eseguiti con velocità impostate a 6-9-12 km/h.

La seminatrice è dotata di dischi per l'apertura del solco di semina e il fissaggio dell'elemento di semina al telaio è effettuato tramite classico parallelogramma con spinta modulabile tramite spostamento del punto di aggancio della molla.

Inoltre sono state registrate anche le vibrazioni a macchina ferma appoggiata a terra ma con trattore acceso per vedere le oscillazioni trasmesse dal trattore stesso e dal sistema di depressione.

Nel grafico che segue sono riportate le vibrazioni calcolate come deviazioni medie quadratiche in valore relativo rispetto all'accelerazione di gravità al variare della

velocità. Sia per l'elemento interno che per quello esterno si vede come si abbia una tendenza ad un incremento tanto maggiore quanto maggiore è la velocità di lavoro, in particolare si può stimare un aumento di 0,03 1/G per ogni km/h di incremento di velocità. La bontà del modello è supportata da un indice di determinazione di R² elevato, pari a circa 0,97

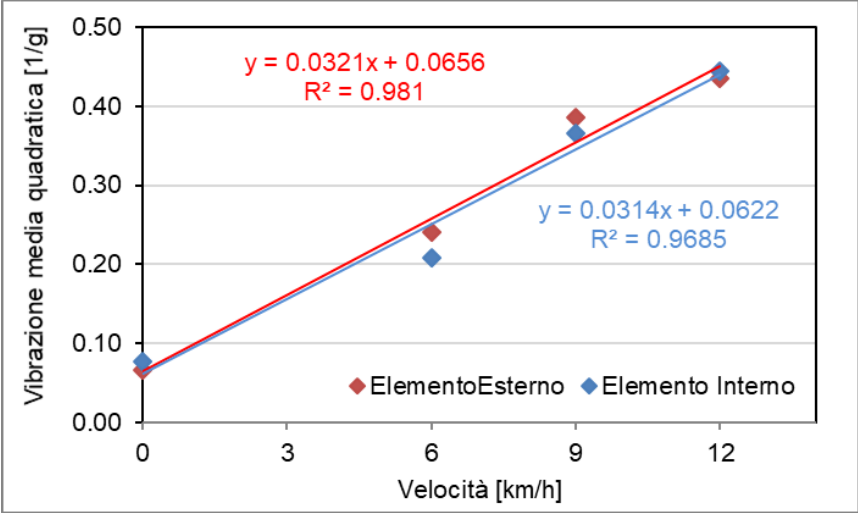


Figura 3.4 Variazione della vibrazione intesa come deviazione media quadratica in valore relativo a G rispetto al variare della velocità di lavoro.

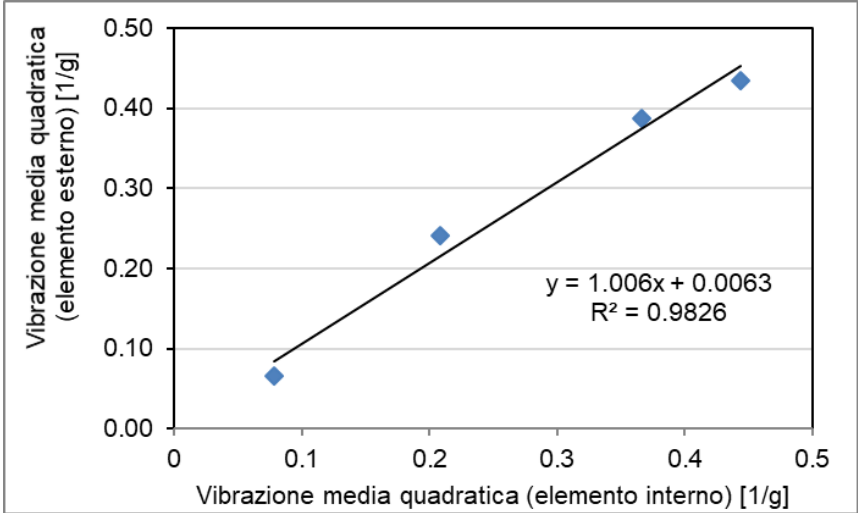


Figura 3.5 Vibrazioni medie quadratiche dell'elemento esterno in funzione di quelle dell'elemento interno.

L'elemento interno e quello esterno non hanno evidenziato differenze significative di intensità delle vibrazioni, come si vede anche nel grafico di Figura 3.5, in cui sono riportate le vibrazioni medie quadratiche dell'elemento esterno in funzione di quelle

dell'elemento interno. Si vede che quelle dell'elemento esterno tendono ad essere più alte di quelle dell'elemento interno di circa uno 0,6%.

Questo probabilmente accade a causa di una maggiore elasticità degli elementi più esterni, e quindi più soggetti a vibrazioni.

Per quanto riguarda le frequenze di vibrazioni, a macchina ferma si osservano vibrazioni da una parte ad intensità piuttosto bassa, dall'altra a frequenze relativamente alte.

Questo aspetto dipende dal fatto che queste vibrazioni derivano dalla presa di forza e vengono trasmesse attraverso la seminatrice. Si vede che a velocità nulla le frequenze sono attorno ai 50 Hz che corrispondono a circa 3000 oscillazioni/minuto. Questo valore è significativamente più alto rispetto alla frequenza tipica della presa di forza tuttavia è compatibile con le frequenze più alte presenti al gruppo ventilatore, che ha un regime di diverse migliaia di giri.

In seguito in fase di semina si vede come cambino in maniera evidente le frequenze di vibrazione, in particolar modo probabilmente l'azione di apertura del solco da parte degli assolcatori pone un vincolo alla seminatrice che tende ad attenuare le vibrazioni le quali si assestano tra i 20 e i 30 Hz. I valori sono leggermente più alti per gli elementi esterni e come detto precedentemente questo probabilmente dipende dal fatto che gli elementi esterni sono più liberi di muoversi e quindi tendono a trasmettere in modo più evidente le vibrazioni che derivano dal trattore e dal suolo.

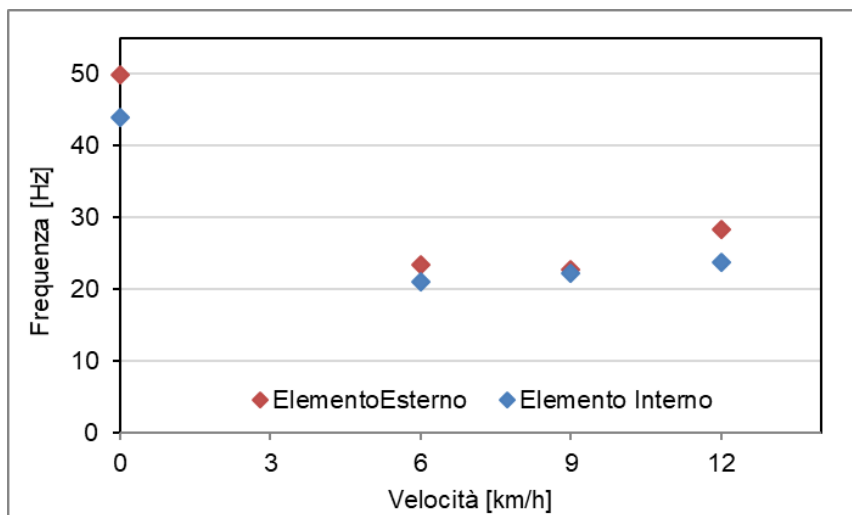


Figura 3.6 Andamento delle frequenze di vibrazione rispetto alla velocità di lavoro.

Come si può osservare dalla Figura 3.6 le frequenze sono molto maggiori quando la macchina è ferma, questo perché, nel metodo di determinazione della frequenza

esposto precedentemente nel paragrafo 3.1, viene tenuto conto del numero di volte in cui la sinusoide interseca l'asse delle ascisse. Essendo quelle rilevate a macchina ferma vibrazioni molto lievi, la sinusoide assume valori di picco bassi e contiene molte oscillazioni, probabilmente da ricondurre ai giri della presa di potenza o degli ingranaggi ad essa innestati.

Successivamente quando la macchina si mette in moto la frequenza tende a diminuire di quasi il 50% a causa del fatto che le vibrazioni più ampie causate dalla semina e dalle interazioni tra ruote di profondità e suolo vanno a diminuire l'influenza delle piccole oscillazioni che diventano solo un disturbo sulla sinusoide finale che è la somma dei vari modi di vibrare.

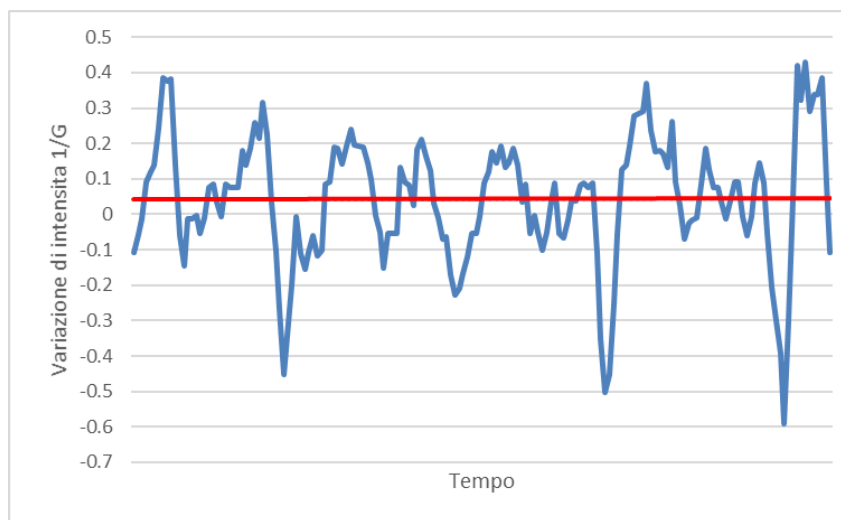


Figura 3.7 Rappresentazione semplificata della variazione di ampiezza della vibrazione nel corso del tempo.

Come si può vedere dal grafico in Figura 3.7 (che riporta uno spaccato di pochi centesimi di secondo in una fase di lavoro della macchina) il segnale raccolto è il risultato di molteplici onde con diverse ampiezze e frequenze. L'effetto principale che determina la frequenza primaria di vibrazione è dato dalla sinusoide principale (quella di ampiezza maggiore) che interseca in pochi punti ben distanziati l'asse delle ascisse determinando in questo modo la già citata riduzione di frequenza.

Nel confronto di Figura 3.8 infine si osserva, come già anticipato precedentemente, come le frequenze esterne tendano ad essere superiori rispetto a quelle del sensore interno di circa un 17%, a supporto di quanto già detto. L'effetto appare abbastanza chiaro, tuttavia in questa analisi c'è da precisare però che il coefficiente di correlazione

molto alto (0,985) non ha validità statistica in quanto troppo influenzato dalla presenza di un punto fuori tendenza e fuori intervallo rispetto agli altri tre ravvicinati tra loro.

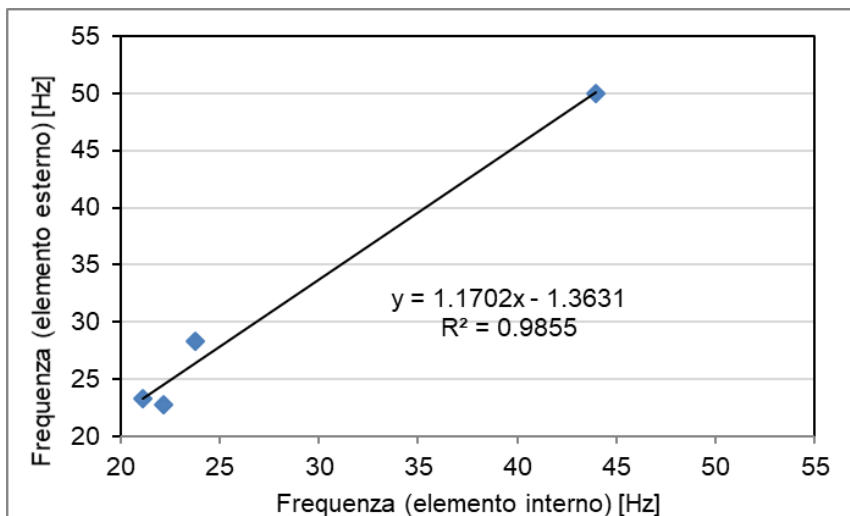


Figura 3.8 Rappresentazione delle frequenze di vibrazione dell'elemento esterno in funzione dell'elemento interno.

3.3 Matermacc modello Twin

La seconda rilevazione si è svolta con una seminatrice Matermacc modello twin 6x2 (file binate) con un peso a vuoto di 1480 kg azionata da un John Deere 6420s dal peso di circa 5040 kg.

Il terreno è stato, come nel caso precedente, lavorato tramite coltivatore superficiale CLC Kverneland dopo la raccolta del frumento il quale era stato seminato su sodo ed erano presenti dei residui colturali ed una zollosità medio-alta.



Figure 3.9 Matermacc modello Twin e relativa posizione del sensore sull'elemento esterno.



Figura 3.10 Zollosità e presenza di residui presso terreno seminato con Matermacc Twin 6x2, precedentemente lavorato con coltivatore superficiale.

Anche le velocità di semina sono state come nel caso precedente impostate a 6-9-12 km/h. L'elemento di semina a parte il fatto di essere doppio per il resto è simile al precedente dal punto di vista del fissaggio al telaio (sistema a parallelogramma e molla) e dal punto di vista dell'apertura del solco di semina (doppio disco).

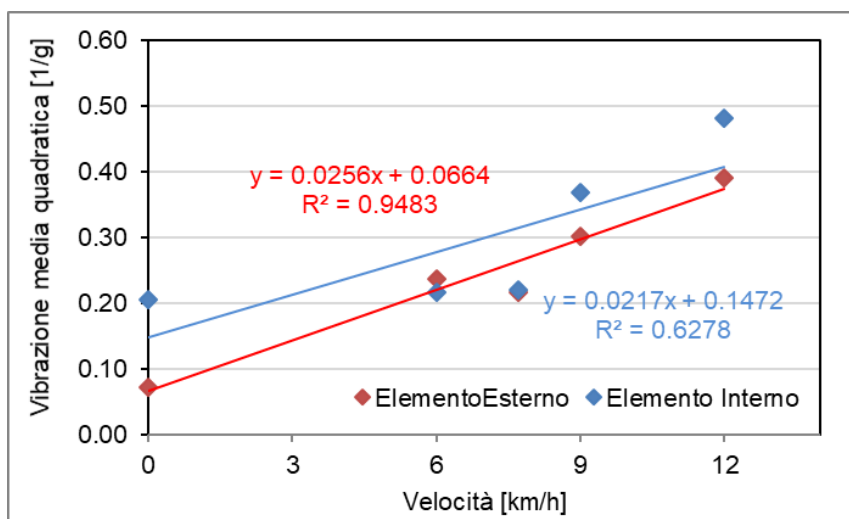


Figura 3.11 Variazione della vibrazione intesa come deviazione media quadratica in valore relativo a G rispetto al variare della velocità di lavoro.

Si vede dal grafico di Figura 3.11 che in generale c'è un comportamento un po' più variabile tra elemento esterno ed elemento interno, in particolare si vede un comportamento ben lineare per quello esterno, mentre un comportamento più disomogeneo nel caso dell'elemento interno. Questo può essere dovuto alla posizione specifica dell'elemento interno, al suo fissaggio al telaio della seminatrice oppure ad un eventuale disturbo arrecato da parte degli altri elementi subito adiacenti. In tutti i casi si

nota un aumento medio delle vibrazioni all'aumentare delle velocità, che si stima intorno agli 0.02 1/G per ogni km/h di incremento.

In generale quindi c'è una buona correlazione tra elemento esterno ed elemento interno ma con una variabilità più alta come testimonia un indice di determinazione R^2 più basso (pari a 0.74) rispetto a quanto visto nel paragrafo precedente, e mediamente più basso dei valori delle altre seminatrici (Figura 3.12).

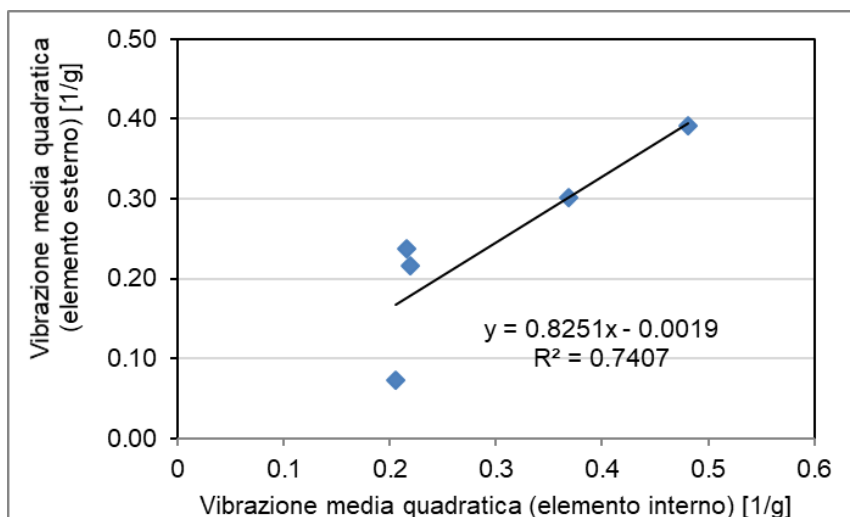


Figura 3.12 Vibrazioni medie quadratiche dell'elemento esterno in funzione di quelle dell'elemento interno.

Anche in questo caso sono state rilevate ed osservate le vibrazioni a macchina ferma ma con presa di potenza azionata.

Per quanto riguarda le frequenze, come si era visto nel caso della prima seminatrice, il valore rilevato a macchina ferma è vicino ai 50 Hz, compatibilmente con le vibrazioni trasmesse da motore e organi di depressione.

Le frequenze con macchina in movimento sono abbastanza costanti attorno ai 20-30 Hz e con valori non strettamente correlati alla velocità, senza grosse differenze tra sensore esterno ed interno (Figura 3.13 e 3.14).

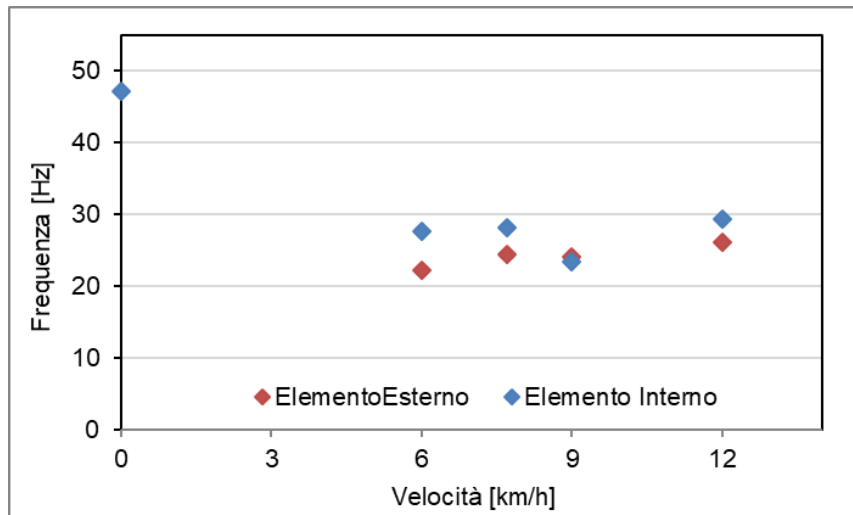


Figura 3.13 Andamento delle frequenze di vibrazione rispetto alla velocità di lavoro.

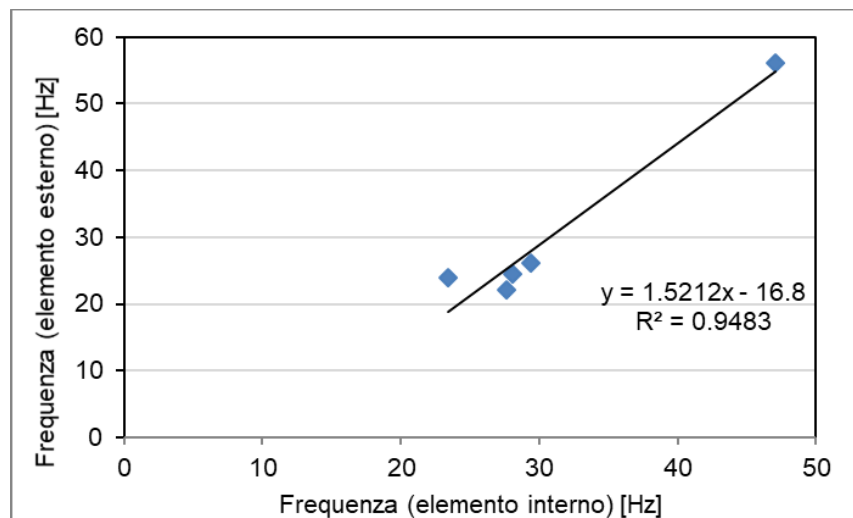


Figura 3.14 Rappresentazione delle frequenze di vibrazione dell'elemento esterno in funzione dell'elemento interno.

3.4 Mascar Maxi-5

La terza serie di test si è svolta con una seminatrice Mascar a 6 file modello a telaio fisso MAXI-5 con un peso a vuoto di 990kg accoppiata ad un trattore Same Explorer3 100 (100 cv) con motrice anteriore e con un peso di 4460kg.

Il terreno era di medio impasto, la cui preparazione è avvenuta tramite aratura a media profondità e due passaggi di erpice rotante, quindi con zollosità piuttosto ridotta.

Nonostante la velocità tipica di semina sia attorno ai 9-10 km/h sono state impostate 5 andature di prova: 2,5-5-7,5-10-12,5 km/h. Tale scelta, resa possibile dalla disponibilità

di potenza e dalla flessibilità di marcia del trattore adottato in questo caso, ha permesso di poter osservare al meglio il comportamento delle vibrazioni al variare dell'andatura. La seminatrice è dotata di dischi per l'apertura del solco di semina e gli elementi sono fissati tramite parallelogramma e molla regolabile.



Figura 3.15 Seminatrice Mascar 6 file, si possono notare anche la posizione del sensore della fila esterna e le condizioni del letto di semina.

In questo caso l'andamento delle vibrazioni è stato leggermente diverso dagli altri casi, infatti a fronte di un iniziale aumento lineare delle vibrazioni con l'aumento della velocità, fino a circa 5 km/h, poi le vibrazioni iniziano ad assestarsi su un valore che varia tra 0.35 e 0.45 1/G. L'assestamento si ha verso i 9 km/h e poi si osserva addirittura una riduzione delle vibrazioni. Tale comportamento, a differenza degli altri elementi di semina analizzati, più che un andamento lineare si può descrivere tramite un modello quadratico generato usando un polinomio di secondo grado, come si vede nel grafico di Figura 3.16 in cui sono rappresentate le relative parabole. In questo modo si vede un netto aumento dell'indice di correlazione, che passa da 0,69 a 0,98 circa.

Il motivo di un comportamento diverso dalle altre seminatrici non è facile da spiegare: probabilmente ad una velocità più alta si instaura un comportamento dinamico tale per cui l'inerzia della macchina tende in qualche modo a vincere e attenuare l'effetto delle vibrazioni dovute alla rugosità del terreno. In altre parole l'elemento di semina tende a galleggiare spianando il suolo invece che seguirne il profilo, e questo crea una riduzione delle vibrazioni.

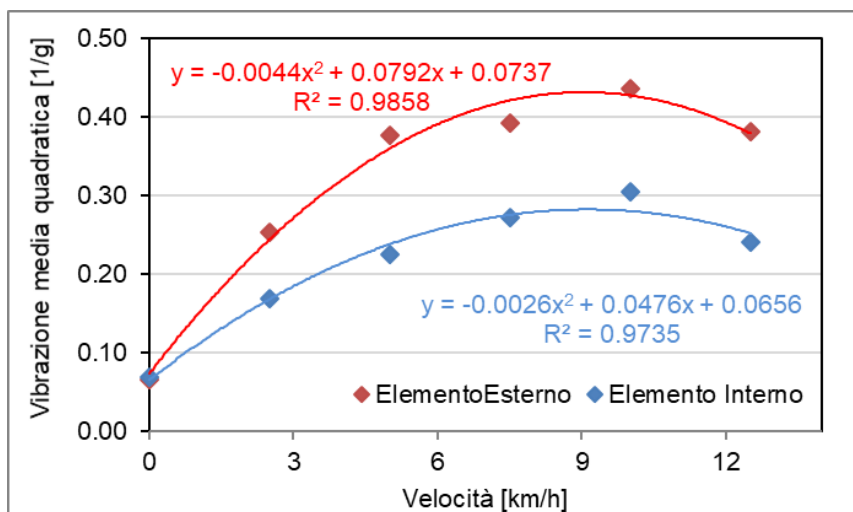


Figura 3.16 Variazione della vibrazione intesa come deviazione media quadratica in valore relativo a G rispetto al variare della velocità di lavoro.

In tutti i casi si vede comunque un notevole parallelismo tra elemento esterno ed elemento interno, ma con quello esterno che dimostra vibrazioni notevolmente più alte rispetto a quello interno (circa del 60% come mostrato in figura 3.17). Questa differenza probabilmente è da ricercarsi sulla presenza di un elemento più suscettibile alle vibrazioni magari a causa di un fissaggio meno rigido al telaio principale.

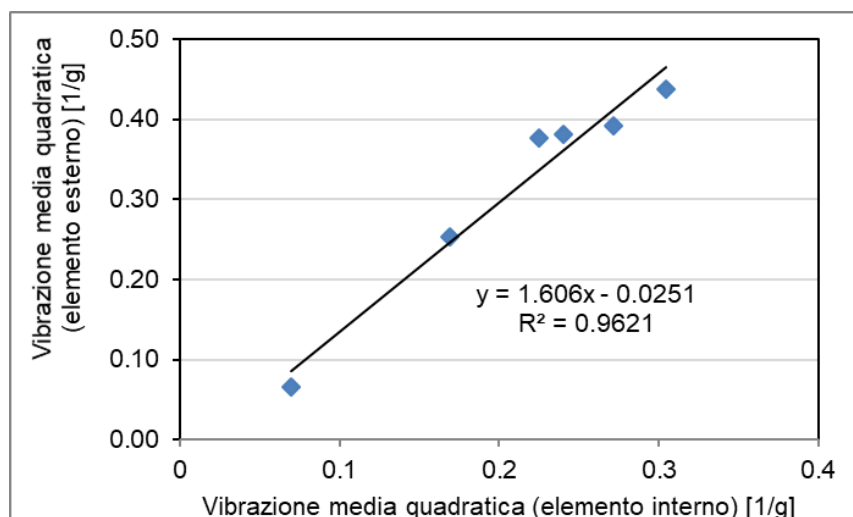


Figura 3.17 Rappresentazione delle frequenze di vibrazione dell'elemento esterno in funzione dell'elemento interno.

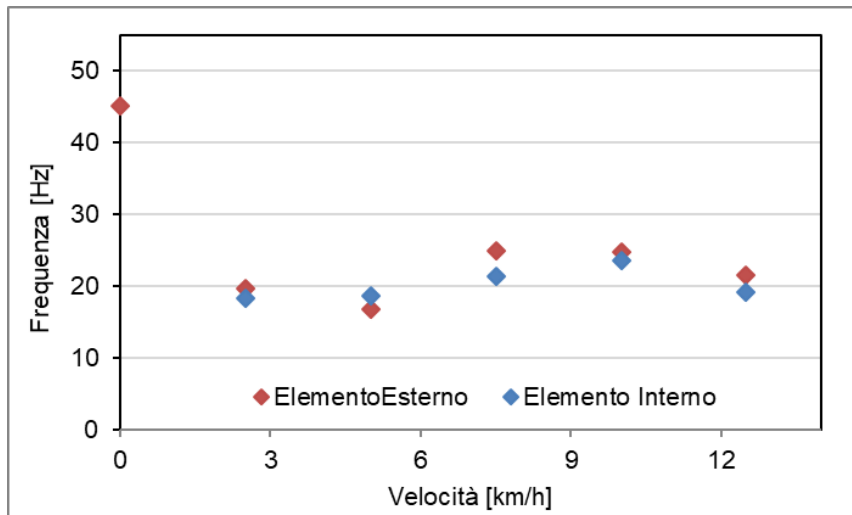


Figura 3.18 Andamento delle frequenze di vibrazione rispetto alla velocità di lavoro.

Anche ad una velocità multipla di quella iniziale le frequenze si assestano intorno ai 0.25 Hz, a conferma del fenomeno di galleggiamento osservato nella precedente analisi dell'ampiezza delle vibrazioni.

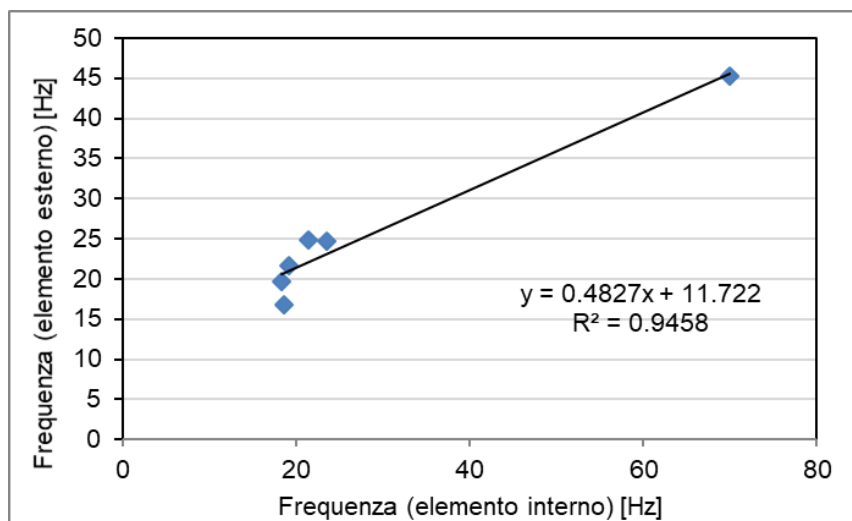


Figura 3.19 Rappresentazione delle frequenze di vibrazione dell'elemento esterno in funzione dell'elemento interno.

Anche qui come nei casi precedenti non bisogna farsi trarre in inganno dall' R^2 molto alto perché risulta essere influenzato da un punto fuori tendenza (quello ad alta frequenza/velocità nulla).

In realtà si vede come i valori siano tutti prossimi ai 20-25 Hz quindi i dati delle frequenze sono piuttosto costanti per le velocità con valori simili tra sensore esterno ed interno.

3.5 Monosem 5 file

Questa rilevazione è stata eseguita su una vecchia seminatrice Monosem BRN 502 del 1988 modificata a 5 file a partire da 8, azionata da un trattore Fiat 415 a trazione semplice e usata su un terreno tendenzialmente limoso. Le lavorazioni precedenti sono state una aratura superficiale e due passaggi di erpice a dischi, il terreno presentava una piccola quantità di residui della coltura di orzo precedente, ma la zollosità variava notevolmente sulla lunghezza del campo ed inoltre in alcune fasce affioravano frammenti di residui legnosi. La seminatrice è dotata di falcione per l'apertura del solco di semina ed inoltre il sistema ammortizzante e di fissaggio al telaio è a parallelogramma ma senza molla, quindi non viene esercitata una spinta verso il basso da parte dell'elemento di semina se non quella strettamente generata dal peso dell'elemento stesso.



Figura 3.20 Condizioni terreno a sinistra e particolare dell'elemento di semina della Monosem 5 file a destra, con posizione di montaggio del sensore.

La velocità di semina media per una seminatrice a falcione di questo tipo è a circa 7 km/h ma per le condizioni del terreno la semina è stata effettuata a velocità leggermente inferiori. Sono state rilevate anche le vibrazioni con macchina ferma ma trattore in moto, come per tutti i casi precedenti.

La presenza di un modello di trattore più vecchio con minore disponibilità di tempo e minore flessibilità di marcia ha determinato una limitazione nell'esecuzione delle prove contenute in un intervallo più ridotto di velocità. La velocità di avanzamento è stata calcolata tramite misura del tempo necessario a percorrere la lunghezza del campo e misura della lunghezza stessa. I valori ottenuti sono stati di 2.9-5.4-6.3-6.5 km/h.

In questo caso l'elemento interno ha avuto intensità delle vibrazioni leggermente più alte dell'elemento esterno. Questo è spiegabile trattandosi di una macchina più stretta, inoltre le differenze che si vedono sono probabilmente dovute alla posizione relativa dell'elemento di semina rispetto all'attacco a 3 punti, con l'elemento centrale che subisce maggiormente le vibrazioni trasmesse dal trattore. In generale si osserva un incremento di 0.012 1/G per ogni km/h di velocità aggiuntivo.

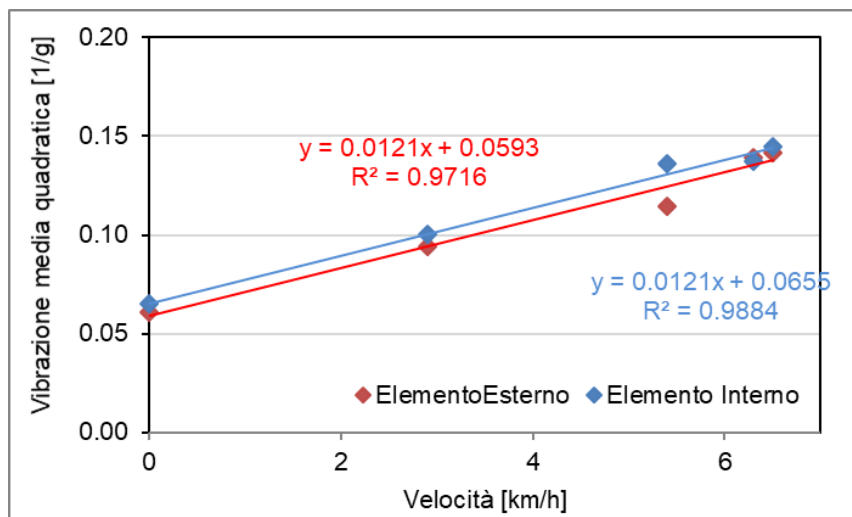


Figura 3.21 Variazione della vibrazione intesa come deviazione media quadratica in valore relativo a G rispetto al variare della velocità di lavoro.

Dal grafico delle vibrazioni esterne in funzione di quelle interne si vede come i dati siano effettivamente molto ben correlati.

Osservando le frequenze di vibrazione si vede un andamento molto più lineare rispetto a quello osservato nei casi precedenti e si nota come all'aumentare delle velocità si abbia in effetti una progressiva riduzione delle frequenze di vibrazione degli elementi di semina. Questo probabilmente sta ad indicare che per una macchina così piccola la maggior parte delle vibrazioni sono quelle prodotte dal trattore piuttosto che vibrazioni che vengono dal suolo, quindi dalle ruote di profondità e dagli assolcatori.

Quindi il fenomeno che evidentemente qui si nota non è tanto l'aumento di vibrazioni dovute all'interazione macchina-suolo ma è più l'effetto di attenuazione delle vibrazioni, intese come frequenza, che viene da un'interazione più forte tra seminatrice e suolo.

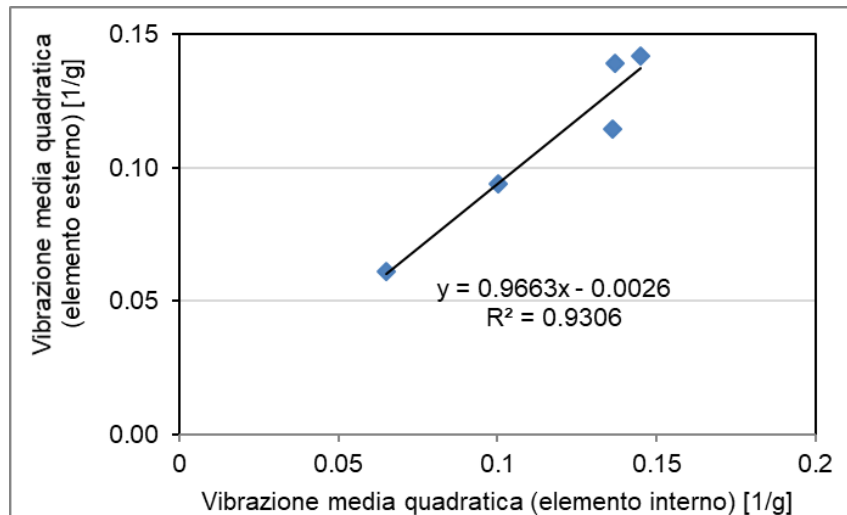


Figura 3.22 Rappresentazione delle frequenze di vibrazione dell'elemento esterno in funzione dell'elemento interno.

Questa interazione aumenta in maniera lineare con la velocità anche perché non è enfatizzata dalla presenza di molle sui parallelogrammi che aumentano la down-force dell'elemento. In altre parole aumentando la velocità la seminatrice vibra in modo più importante vista la pressione al suolo ma ciò va ad attenuare parte delle vibrazioni ad alta frequenza provenienti dal trattore.

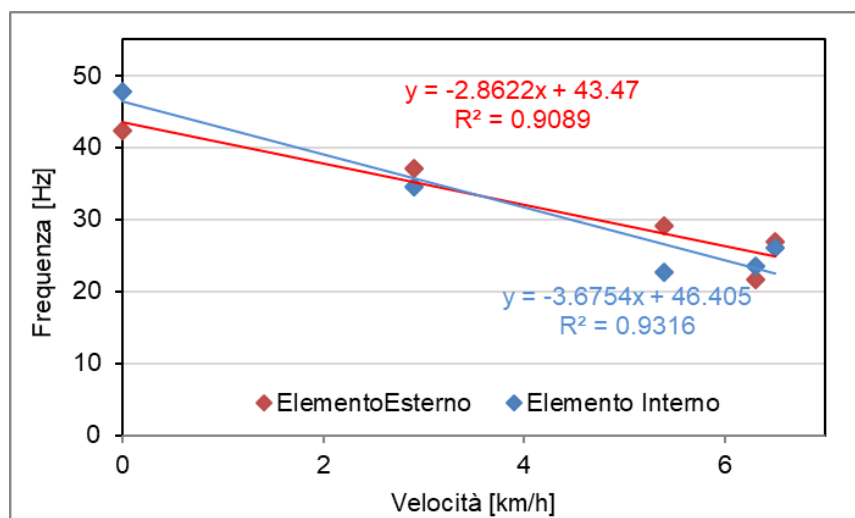


Figura 3.23 Andamento delle frequenze di vibrazione rispetto alla velocità di lavoro.

Anche in questo caso le frequenze sono ben correlate tra sensore esterno ed interno, l'aumento dell'una accompagna l'aumento dell'altra: comportamento normale per una macchina piuttosto stretta e soprattutto con un telaio nato per ospitare più elementi di semina di quelli effettivamente usati in questa rilevazione.

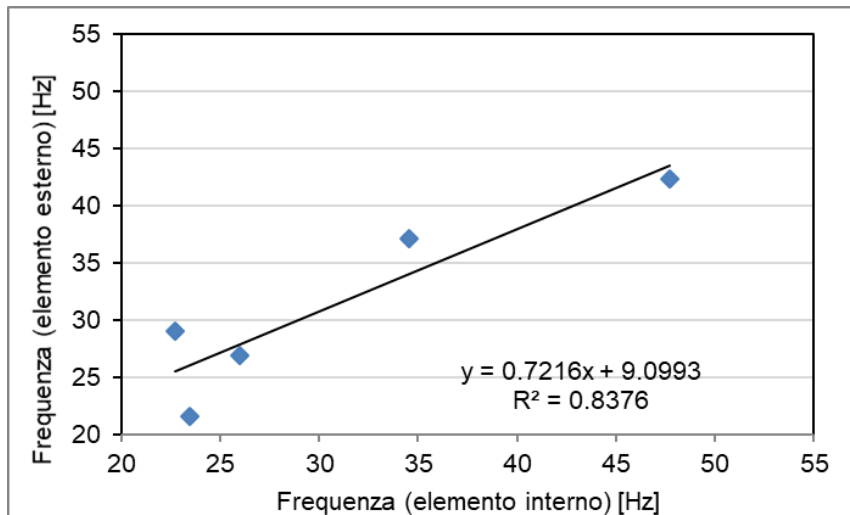


Figura 3.24 Rappresentazione delle frequenze di vibrazione dell'elemento esterno in funzione dell'elemento interno.

In generale è interessante notare come le ampiezze di vibrazione per tutte le macchine siano sotto i 0,10 1/G a macchina ferma e comprese tra i 0,20 e i 0,50 1/G in fase operativa. Quindi macchine diverse che in generale mostrano tendenze abbastanza confrontabili.

Allo stesso modo per quanto riguarda le frequenze si hanno valori attorno ai 20-30 Hz, che vengono superati solo nel caso della vecchia Monosem oppure a macchina ferma, in cui prevalgono le vibrazioni che provengono dal trattore.

Capitolo 4

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi si è analizzato l'insieme di vibrazioni a cui è sottoposto un elemento di semina di una seminatrice di precisione, considerando diverse seminatrici utilizzate ognuna su suolo diverso e a velocità diverse. I dati non sono stati incrociati in modo tale da capire l'influenza di una variabile rispetto ad un'altra nel generare l'insieme di vibrazioni, bensì sono stati osservati nel loro insieme per comprendere quali sono le caratteristiche generali di queste vibrazioni. In particolare è stato osservato l'andamento dell'intensità e della frequenza delle oscillazioni sia a macchina ferma ma con trattore e organo di depressione attivi sia con macchina in movimento e a diverse velocità di semina.

Dai dati rilevati si osserva che a macchina ferma l'elemento di semina subisce quelle che sono le vibrazioni trasmesse dal motore e dalla ventola di depressione mossa dalla pdp del trattore, queste vibrazioni sono quelle a frequenza più alta, attorno ai 50 Hz. In seguito in fase di lavoro la frequenza viene attenuata in quanto le lievi oscillazioni dovute agli organi azionati dal trattore diventano poco rilevanti in confronto alle ampie oscillazioni rilevate sull'elemento e generate dal tentativo dell'elemento stesso di seguire il profilo del terreno in fase di semina.

In alcuni casi all'aumentare consistente della velocità si osserva un assestamento delle vibrazioni sia per ampiezza che per velocità, probabilmente per l'inerzia che acquista la seminatrice, la quale invece che subire le increspature e la zollosità superficiale del letto di semina spiana le creste e tende a saltare i piccoli avvallamenti in una specie di saltellamento continuo simile ad una sorta di galleggiamento.

Infine si osserva anche una differenza di comportamento tra elementi esterni ed interni in base al tipo di seminatrice analizzato; nonostante un visibile parallelismo tra l'andamento degli elementi esterni e quelli interni in alcune rilevazioni i valori di un elemento esterno risultavano assumere una variabilità maggiore, in altre avevano maggiore variabilità i valori dell'elemento interno. Questo comportamento probabilmente dipende nello specifico dalle caratteristiche costruttive della seminatrice, dal sistema di

aggancio dell'elemento rispetto al telaio della seminatrice stessa, dal tipo di influenza che esercita l'attacco al trattore e dalla posizione della ventola di depressione rispetto al sensore utilizzato.

Per quanto riguarda le ampiezze delle vibrazioni, in tutte le macchine sono sotto i 0,10 1/G a macchina ferma e successivamente in fase di lavoro superano nella maggior parte dei casi i 0,20 1/G rimanendo a valori comunque inferiori ai 0,50 1/G.

Quindi si può dire che macchine diverse presentano comportamenti simili.

Dalle considerazioni precedenti si può inoltre affermare che il metodo operativo implementato può essere applicato in modo efficace per valutazioni di prestazioni delle seminatrici, anche se va evidenziato come un ruolo determinante sia giocato dalla posizione di installazione del sensore per la rilevazione della vibrazione, che va dunque decisa in funzione delle specifiche rilevazioni da fare.

Questo metodo di analisi potrebbe essere sfruttato per monitorare l'influenza specifica di diverse variabili nel generare le vibrazioni a cui sono sottoposti gli elementi di semina, quali ad esempio l'influenza del tipo di terreno o il diverso precarico, testando la stessa seminatrice con le stesse condizioni di utilizzo in suoli diversi o con precarichi diversi.

Inoltre sarebbe possibile ipotizzare anche l'implementazione di una procedura di osservazione delle vibrazioni sui prototipi di seminatrici da parte dei costruttori per effettuare, se necessario, modifiche alla struttura del telaio o ai sistemi di ammortizzamento in modo da contrastare eventuali comportamenti anomali in alcune condizioni. Questo risulta particolarmente interessante in macchine con elevate larghezze di lavoro, in cui vi può essere il rischio di comportamenti anomali o differenti tra elementi di semina interni ed elementi laterali. Infine sarebbe possibile, sempre tramite la misura delle vibrazioni, determinare le condizioni limite di semina in cui le prestazioni rimangono accettabili per una determinata seminatrice in base alle oscillazioni a cui è sottoposta: queste possono essere determinate anche istantaneamente in fase di lavoro, consentendo quindi di spingere la velocità di avanzamento fino ai limiti di vibrazioni massime prefissate per la macchina.

In ogni caso l'utilizzo più immediato dei dati ottenuti è quello di creare un modello in grado di simulare le vibrazioni percepite in fase di lavoro, realistico sia per intensità che per frequenze, da usare per collaudare progetti di elementi antivibranti. Il test si può effettuare sia tramite simulatori virtuali che tramite organi meccanici creati appositamente (martinetti pneumatici o idraulici) da applicare fisicamente ad un elemento di semina per prova da banco.

BIBLIOGRAFIA

- Baker C.J., Saxton K.E. & Ritchie W.R, 1996, No-tillage seeding, Cab International, ISBN 0851991033
- Brandelero E. M., Adami P. F., Modolo A. J., Baesso M. M. & Fabian A. J.. 2015. "Seeder Performance under Different Speeds and its Relation to Soybean Cultivars Yield". *Journal of Agronomy*, 14 (3)
- Gratton J., Chen Y., Tessier S.. 2003. "Design of a spring-loaded downforce system for a no-till seed opener" Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba. *Canadian Biosystems Engineering*, 45.
- Harker K. N., O'Donovan J. T., Blackshaw R. E., Johnson E. N., Lafond G. P., May W. E. 2012 "Seeding depth and seeding speed effects on no-till canola emergence, maturity, yield and seed quality". *Canadian Journal of Plant Science* 92 (4). 795-802.
- Jame, Y. W., and H. W. Cutforth. 2004. "Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat." *Agricultural and Forest Meteorology* 124 (3). 207-218.
- de Souza W. J. O., A. Elza, Ferrari S., Nardini E. G., de Jesus H. C., Tangerino T. 2012. "Influence of speed of seeding in the maize seedlings emergence in southwest region of São Paulo State/Brazil." *Power and Machinery. International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: agriculture and engineering for a healthier life*, Valencia, Spain, 8-12 July 2012
- Collins, B. A., & Fowler. D. B. 1996. "Effect of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding." *Soil and Tillage Research* 39 (3). 199-211.
- Değirmencioğlu, Adnan & Arzu Yazgi. 2011. "Trajectory Characteristics of Falling Seed Released from Vacuum Type Seeding Unit and Its Interpretation in View of Seed Spacing Accuracy." *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 7 (2).
- Bodria L.; Pellizzi G.; Piccarolo P. 2013. *Meccanica e meccanizzazione agricola; Edagricole;*
- Barut, Zeliha Bereket. 2004. "Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 28 (6). 435-441.

Busatto A., 2015, "Studio per il miglioramento del disco per elementi di semina di precisione". Relatore Marinello F. correlatore Sartori L., Pezzuol L., Dip. agronomia animali alimenti risorse naturali e ambiente, Scienze e tecnologie agrarie, Università di Padova, Legnaro.

TaccuiniStorici.it. 2002. Testo di Giorgio Orizio. Jethro Tull e la seminatrice meccanica. www.taccuinistorici.it/ita/news/moderna/personaggi/Jethro-Tull-e-la-seminatrice-meccanica.html

Wikimedia. 2007. https://it.wikiversity.org/wiki/Risorse_Jethro_Tull.

Thehistorylife. 2015. The universal impact of the seed drill

<https://thehistorylife.wordpress.com/2015/02/12/the-universal-impact-of-the-seed-drill/>

Precision Planting. 2017. DeltaForce. www.precisionplanting.com/#products/deltaforce/

Precision Planting. 2017. AirForce www.precisionplanting.com/#products/airforce/

Horsch. 2017. Maestro SW. www.horsch.com/us/products/seeding-technology/einzelkornsaemaschinen/maestro/maestro-sw/

Ag Leader. 2017. Hydraulic down force system www.agleader.com/products/seedcommand/hydraulic-down-force/

Bozdogan, Ali Musa. 2006. "Uniformity of Within-Row Distance in Precision Seeders: Laboratory Experiment." *Journal of Applied Sciences* 6. (10) 2281-2286.

RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento alla mia famiglia per avermi supportato e sopportato durante questo percorso.

Ringrazio poi Stefano Bovo e il dott. Franco Gasparini che sono stati disponibili a dedicarmi il loro tempo durante le rilevazioni.

Desidero ringraziare inoltre tutti coloro che mi hanno aiutato permettendomi di arrivare fino a qui.

Un pensiero infine lo dedico a tutti i docenti dell'università di Padova che ho conosciuto e che mi hanno accompagnato durante questi tre anni di percorso universitario.

