



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**Analisi degli urti di olive per l'ottimizzazione
della raccolta meccanizzata**

Impact analysis of olives for the optimization of
mechanized harvesting

Relatore:

Prof. Milena Martarelli

Candidato:

Vincenzo Gesualdo

Correlatore:

Dott. Alessandro Annessi

Indice

1	Introduzione	1
2	Prove di caduta	3
2.1	Introduzione	3
2.1.1	Raccolta meccanizzata di oliva ascolana tenera	3
2.1.2	Raccolta meccanizzata di arance e mandarini	4
2.2	Prova sperimentale	5
3	Analisi d’impatto	9
3.1	Introduzione	9
3.2	Calibrazione	11
3.3	Analisi di immagine	12
3.3.1	Computer Vision	12
3.3.2	Thresholding	13
3.3.3	Blob Detection	13
3.3.4	Kalman filter	15
3.4	Teoria degli urti	16
4	Risultati	18
4.1	Immagini traiettoria e velocità	18
4.1.1	Estrapolazione di dati tramite curve fitting	29
4.2	Calcolo dell’energia dissipata da un’oliva in caduta	31
4.2.1	Analisi dei risultati sul primo materiale	32
4.3	Confronto tra i materiali	34
5	Conclusioni	35
6	Bibliografia e sitografia	36

Indice delle figure

Figura 1: Vibro-scuotitore	1
Figura 2: Bacchiatrice	2
Figura 3: Danneggiamento dei frutti in relazione al sistema di raccolta	2
Figura 4: Olive utilizzate durante le prove di caduta	5
Figura 5: Set-up prova sperimentale dall'alto	5
Figura 6: Set-up prova sperimentale durante la calibrazione.....	6
Figura 7: Prova sperimentale eseguita con telo	6
Figura 8: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma grigia	6
Figura 9: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma gialla.....	6
Figura 10: Prova sperimentale eseguita con molla rossa.....	6
Figura 11: Prova sperimentale eseguita con tappeto	6
Figura 12: Prova sperimentale eseguita con spugna	7
Figura 13: Prova sperimentale eseguita con molla bianca.....	7
Figura 14: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma nera.....	7
Figura 15: Prova sperimentale eseguita con materiale rosso	7
Figura 16: Prova sperimentale eseguita con tappeto blu	7
Figura 17: Prova sperimentale eseguita con tappeto grigio	7
Figura 18: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma	7
Figura 19: Prova sperimentale eseguita con materiale per imballaggio	7
Figura 20: Prova sperimentale eseguita con spugna memory	8
Figura 21: Diagramma a blocchi “pre-processing”.....	10
Figura 22: Diagramma a blocchi codice energia	11
Figura 23: Scacchiera a maglie quadrate	11
Figura 24: Frame iniziale e applicazione della maschera.....	13
Figura 25: Blob detection applicata ad un video di caduta dell'oliva	14
Figura 26: Tracciamento della traiettoria di una palla	15
Figura 27: Utilizzo del filtro Kalman per stimare la posizione di un velivolo	16
Figura 28: Traiettoria prova telo	18
Figura 29: Velocità prova telo	18
Figura 30: Traiettoria prova gomma piuma grigia.....	19
Figura 31: Velocità gomma piuma grigia	19

Figura 32: Traiettoria prova gomma piuma gialla.....	19
Figura 33: Velocità prova gomma piuma gialla	20
Figura 34: Traiettoria prova molla rossa.....	20
Figura 35: Velocità prova molla rossa.....	20
Figura 36: Traiettoria prova tappeto.....	21
Figura 37: Velocità prova tappeto	21
Figura 38: Traiettoria prova spugna	21
Figura 39: Velocità prova spugna	22
Figura 40: Traiettoria prova molla bianca.....	22
Figura 41: Velocità prova molla bianca.....	22
Figura 42: Traiettoria prova gomma piuma nera.....	23
Figura 43: Velocità prova gomma piuma nera	23
Figura 44: Traiettoria prova materiale rosso	23
Figura 45: Velocità prova materiale rosso	24
Figura 46: Traiettoria prova tappeto blu	24
Figura 47: Velocità prova tappeto blu	24
Figura 48: Traiettoria prova tappeto grigio	25
Figura 49: Velocità prova tappeto grigio	25
Figura 50: Traiettoria prova gomma piuma	25
Figura 51: Velocità prova gomma piuma	26
Figura 52: Traiettoria prova materiale per imballaggio	26
Figura 53: Velocità prova materiale per imballaggio.....	26
Figura 54: Traiettoria prova spugna memory.....	27
Figura 55: Velocità prova spugna memory.....	27
Figura 56: Traiettoria prova pavimento.....	27
Figura 57: Velocità prova pavimento	28
Figura 58: Fit polinomiale del secondo ordine traiettoria	30
Figura 59: Fit polinomiale del primo ordine velocità	30
Figura 60: Grafico energia potenziale e cinetica telo.....	32
Figura 61: Grafico deviazione dell'energia cinetica massima	33
Figura 62: Error bar della variazione di energia	33
Figura 63: Istogramma di confronto energia dissipata percentuale calcolata con la prima formula	34

Figura 64: Istogramma di confronto energia dissipata percentuale calcolata con la seconda formula

.....34

1 Introduzione

Le olive da mensa devono presentarsi integre e prive di abrasioni, ferite o macchie che le deprezzino o le rendano incommerciabili, di conseguenza una delle tecniche più utilizzate al giorno d'oggi è quella della raccolta a mano che tuttavia richiede una grande manodopera e costi molto elevati.

La tecnica della raccolta meccanizzata rappresenta un'ottima alternativa che consente di risparmiare sui costi e sui tempi di raccolta e adattarsi a tutti i tipi di impianti ma riduce la qualità del prodotto finale a causa degli urti del frutto con il cestello del sistema di raccolta, con le foglie e i rami adiacenti. Al fine di mitigare il danno da urti, è possibile installare nel cestello di raccolta un materiale che possa attutire la caduta del frutto e quindi eventuali urti. Degli esempi di macchinari utilizzati per la raccolta meccanizzata sono raffigurati in Figura 1 e Figura 2.

Al fine di scegliere il materiale migliore, sono state effettuate delle prove di caduta dell'oliva su materiali di differente tipologia. Lo scopo principale di questo studio è quello di analizzare i video ottenuti dalle prove di caduta delle olive definendo un criterio per la scelta del materiale migliore per ridurre il danno durante la raccolta.



Figura 1: Vibro-scuotitore



Figura 2: Bacchiatrice

Lo svantaggio principale legato alla raccolta meccanizzata, come possiamo anche vedere in Figura 3, è la riduzione della qualità del prodotto finale poiché vi è un progressivo incremento dei danni ai frutti all'aumentare del grado di meccanizzazione. I danni al frutto possono essere divisi in:

- Danni causati ai frutti prima della raccolta, dovuti a grandine, insetti o malattie
- Danni dovuti alla raccolta meccanizzata, dovuti all'urto con rami e foglie, tra le olive stesse e con il sistema di raccolta

I danni da urto possono essere ridotti utilizzando opportuni materiali smorzanti e assorbenti. L'obiettivo di questa tesi è capire, attraverso l'elaborazione di varie prove di caduta con diversi materiali, quale permetta all'oliva di danneggiarsi il meno possibile durante la raccolta.

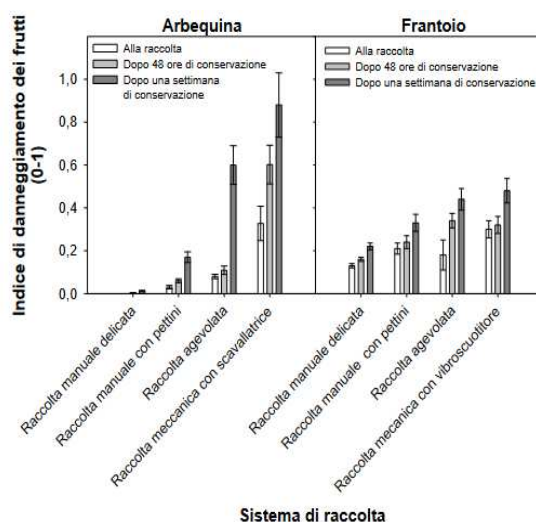


Figura 3: Danneggiamento dei frutti in relazione al sistema di raccolta

2 Prove di caduta

2.1 Introduzione

2.1.1 Raccolta meccanizzata di oliva ascolana tenera

L'università degli studi di Perugia, in collaborazione con l'università Politecnica della Marche, ha svolto uno studio sulla raccolta meccanizzata dell'oliva ascolana del Piceno.

Entità dei danni provocati dalla raccolta meccanica su olive da mensa				
Varietà	Peso frutti g	% di raccolta a macchina	Olive integre o con lievi difetti %	
			A mano	A macchina
Ascolana tenera	4,74	89	54,5	37,3
Carolea	3,59	99	75,7	59,4
Hojiblanca	2,86	100	74,7	64,6
Manzanilla	3,07	89	50,2	42,8

Tabella 1: Entità dei danni provocati dalla raccolta meccanica

La percentuale di olive integre o con lievi danni alla fine della raccolta si riduce rispetto alla raccolta manuale. La prova è stata fatta nella prima decade di ottobre quando le olive sono più "lente". La resa di raccolta e i danni andrebbero valutati anche a settembre.

Si è studiato anche come migliorare l'efficienza e ridurre i danni sui frutti meccanizzando la raccolta con vibro-scuotitori del tronco, i risultati sono stati i seguenti:

- Regolazione della durata delle vibrazioni della macchina
- Regolazione della frequenza e dell'ampiezza delle vibrazioni
- Ottimizzare la struttura degli alberi per favorire la trasmissione delle vibrazioni
- Protezione delle parti rigide del telaio intercettatore con gomma piuma
- Utilizzare reti sollevate da terra durante la vibro-scuotitura delle piante

Le considerazioni finali di questo studio sono:

- La meccanizzazione delle olive conciate in verde è molto più difficoltosa di quella delle olive conciate in nero a causa della maggiore visibilità dei danni
- La meccanizzazione delle olive dell'ascolana tenera è particolarmente difficile a causa della morbidezza della polpa
- Necessità di ottimizzare la raccolta meccanizzata dell'ascolana tenera attraverso la conduzione di studi che consentono di acquisire le indicazioni necessarie per massimizzare l'efficienza del distacco e minimizzare i danni sui frutti

- Importanza di un approccio integrato che fa riferimento anche all'applicazione di trattamenti di post-raccolta in campo per ridurre la visibilità dei danni

2.1.2 Raccolta meccanizzata di arance e mandarini

Con una produzione totale di 6,5 milioni di tonnellate all'anno, la Spagna è il quinto produttore di agrumi al mondo e il primo nel Mediterraneo. Tuttavia, il settore agrumicolo ha subito una crisi prolungata a causa dei prezzi bassi che gli agricoltori ricevevano per i loro prodotti. Per mantenere la redditività del raccolto è necessario ridurre i costi di coltivazione, in particolare i costi di raccolta, questo è possibile attraverso l'uso della raccolta meccanica di agrumi. La raccolta meccanica degli agrumi per il succo è comune in paesi come l'Australia e gli Stati Uniti, ma non è comune in Spagna perché la produzione di agrumi è principalmente destinata al mercato fresco, tanto che lo studio di queste tecnologie fu inizialmente abbandonato negli anni 90.

Successivamente si studiò diverse opzioni per la raccolta meccanica nelle condizioni spagnole. È stato studiato l'effetto della forza di trazione, dei parametri di scuotimento e della varietà sull'efficienza del distacco. Inoltre, è stata valutata la qualità del frutto staccato in base al suo punto di distacco, così come i danni agli alberi e ai frutti.

I test sono stati eseguiti in otto frutteti in una tipica zona di produzione di agrumi situata in un raggio di 50 km intorno alla città di Valencia (Spagna) dal 2006 al 2009. Sono stati utilizzati due tipi di scuotitori: uno scuotitore montato su trattore e uno scuotitore portatile con motore a gas. Lo scuotitore di tronchi è stato utilizzato per la raccolta di tre varietà di arance (Salustiana, Valencia e Navelina) e una varietà di mandarino (Orogrande).

La forza di trazione media variava tra 35 e 88 N, a seconda della varietà e della data di raccolta, con valori massimi compresi tra 54 e 138 N. In termini di varietà, Navelina è stata misurata solo durante il mese di febbraio quando i frutti cambiavano colore e la forza era abbastanza uniforme, rispettivamente 88 e 85 N dall'inizio alla fine del mese.

Alla fine di questo studio gli agrumi sono stati classificati in 3 gruppi a seconda della loro forza di distacco: Clemenules, Orogrande, NavelFoios e Salustiana erano nell'ordine di 44–47 N; Fortune, Navelina e Valencia erano dell'ordine di 59–65 N e Navelate aveva un valore di 87 N.

La percentuale di distacco complessiva è stata del 65% per tutte le prove. Lo scuotitore trattore è risultato più efficace (distacco 72%) rispetto agli scuotitori manuali (57%). Con lo scuotitore del tronco può essere considerata adeguata una frequenza intorno ai 15 Hz. Nei primi 5 s di scuotimento i frutti sono caduti quasi tutti; sono state sufficienti 2 scosse da 4–5 s ciascuna per ottenere una percentuale di distacco accettabile.

2.2 Prova sperimentale

Lo scopo fondamentale della prova è quello di valutare il danno sull'oliva usando diversi materiali e determinare l'energia dissipata durante le prove per capire il più efficiente da utilizzare durante la raccolta meccanizzata.

La prova, come raffigurato in Figura 5 e Figura 6, consiste nella caduta libera dell'oliva da un sostegno metallico posto ad un'altezza di 275 cm rispetto al materiale su cui impatta. Nel frattempo, una GoPro Hero è impiegata per acquisire il video della caduta con qualità 4k a 240 fps, dopo aver effettuato un video di calibrazione per ogni materiale di prova.

In totale sono state eseguite 15 prove, una per ogni materiale. Per ogni materiale, sono stati acquisiti più video al fine di ottenere una statistica sufficiente, ognuno dei quali è stato registrato dalla camera. Successivamente, i video ottenuti sono stati elaborati attraverso l'utilizzo di Matlab con lo scopo di riconoscere la posizione dell'oliva frame per frame durante la caduta, ottenendo quindi la traiettoria della stessa.



Figura 4: Olive utilizzate durante le prove di caduta

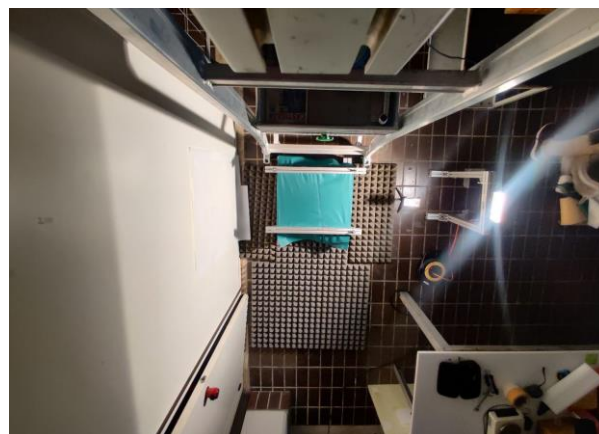


Figura 5: Set-up prova sperimentale dall'alto



Figura 6: Set-up prova sperimentale durante la calibrazione

Le prove di caduta sono state eseguite usando i materiali nel seguente ordine:



Figura 7: Prova sperimentale eseguita con telo



Figura 8: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma grigia



Figura 9: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma gialla



Figura 10: Prova sperimentale eseguita con molla rossa



Figura 11: Prova sperimentale eseguita con tappeto



Figura 12: Prova sperimentale eseguita con spugna



Figura 13: Prova sperimentale eseguita con molla bianca



Figura 14: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma nera



Figura 15: Prova sperimentale eseguita con materiale rosso



Figura 16: Prova sperimentale eseguita con tappeto blu



Figura 17: Prova sperimentale eseguita con tappeto grigio



Figura 18: Prova sperimentale eseguita con gomma piuma



Figura 19: Prova sperimentale eseguita con materiale per imballaggio



Figura 20: Prova sperimentale eseguita con spugna memory

Come ultima prova, sono state fatte delle acquisizioni in cui viene valutato l'impatto dell'oliva con il pavimento e il relativo danno, al fine di ottenere lo scenario peggiore.

3 Analisi d'impatto

3.1 Introduzione

L'analisi d'impatto mira a comprendere e prevedere il comportamento degli oggetti in caduta libera e a sviluppare strategie per mitigare i danni o per garantire la sicurezza in determinate circostanze, nel caso studiato vengono considerati i seguenti aspetti al fine di valutare l'energia dissipata all'impatto:

- Velocità dell'oliva in caduta
- Altezza da cui l'oliva cade dal sostegno metallico
- Traiettoria dell'oliva
- Impatto con la superficie di atterraggio
- Peso

Per l'elaborazione di tutti i video delle prove e per l'analisi degli urti sono stati scritti due codici. Il primo permette di determinare ed organizzare le informazioni necessarie alle successive elaborazioni per ogni video considerato mentre il secondo codice si occupa di identificare l'oliva e analizzare l'urto. Le informazioni necessarie per l'elaborazione del video sono: durata temporale del video da analizzare, filtro L^*ab , dimensioni crop, fattore correttivo di calibrazione, nome video e nome materiale.

Le acquisizioni video sono state divise in cartelle per ogni prova.

Nel primo codice chiamato "pre-processing", come viene anche raffigurato in Figura 21, attraverso un ciclo for vengono svolte le seguenti operazioni:

- Apertura cartelle
- Lettura dei video
- Nomenclatura del materiale
- Lettura durata temporale del video
- Calibrazione
- Definizione dell'area di crop
- Lettura del filtro L^*ab
- Organizzazione dati in una "struttura"

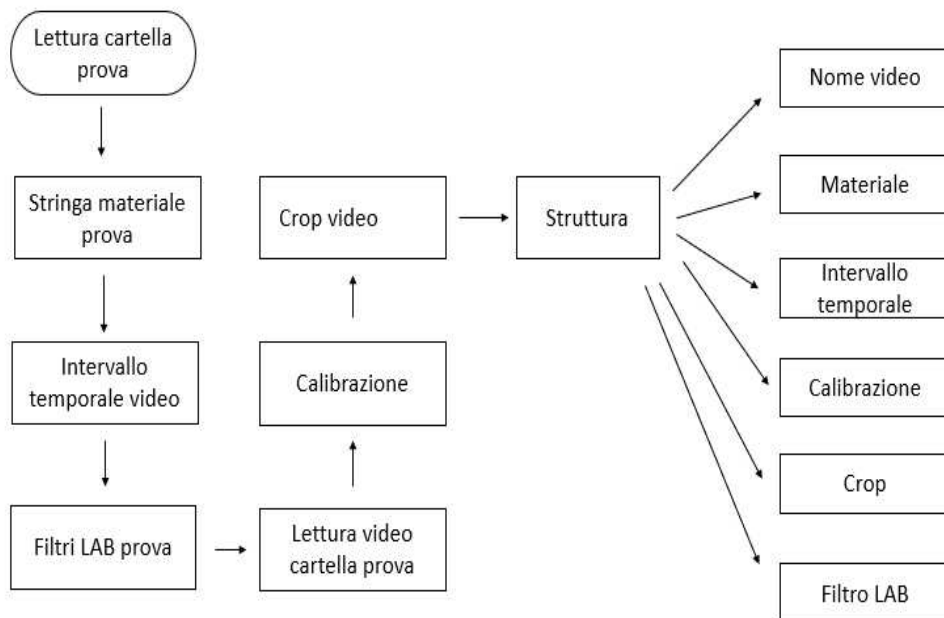


Figura 21: Diagramma a blocchi "pre-processing"

I dati raccolti al termine del primo codice vengono organizzati in una "struttura", ovvero un contenitore che ci permette di raggruppare ed organizzare le informazioni che successivamente vengono utilizzate per l'identificazione dell'oliva e l'analisi dell'urto. Nel secondo codice, come viene anche raffigurato in Figura 22, per ogni video vengono eseguite le seguenti operazioni:

- Blob Detection, che permette di identificare l'oliva e i suoi centroidi frame per frame
- Determinazione della traiettoria
- Individuazione del massimo della traiettoria
- Determinazione della velocità, attraverso la derivata della traiettoria
- Individuazione velocità prima dell'urto
- Calcolo dell'energia potenziale e cinetica massima
- Calcolo dell'energia dissipata durante l'impatto

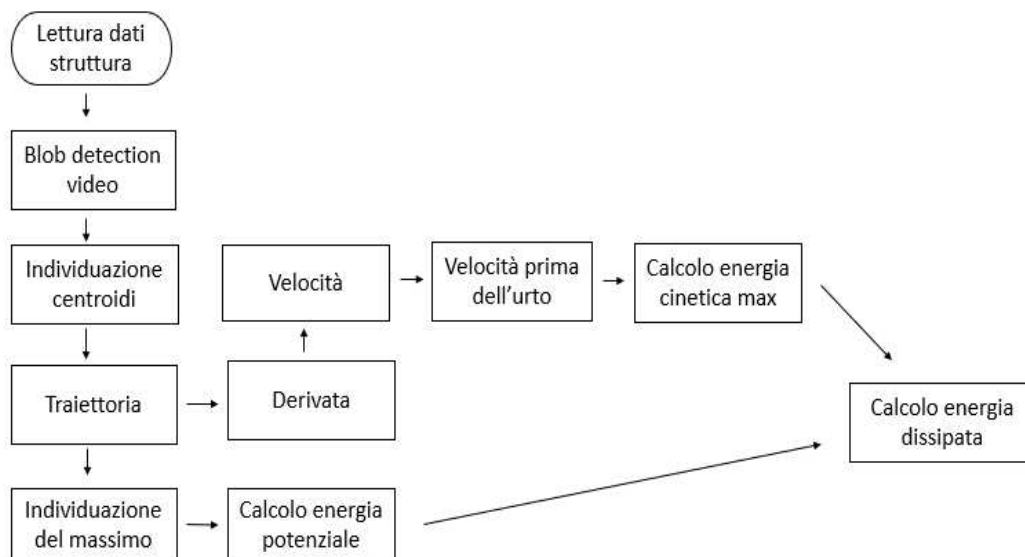


Figura 22: Diagramma a blocchi codice energia

3.2 Calibrazione

È stata eseguita una calibrazione con una scacchiera a maglie quadrate, raffigurata in Figura 23, la scelta della scacchiera è dovuta al fatto che le sue linee e i suoi angoli forniscono punti di riferimento chiari e facili da identificare nelle immagini. L'ipotesi alla base della calibrazione durante le nostre prove è stata considerare il piano su cui giace la scacchiera parallelo al piano del sensore della camera.

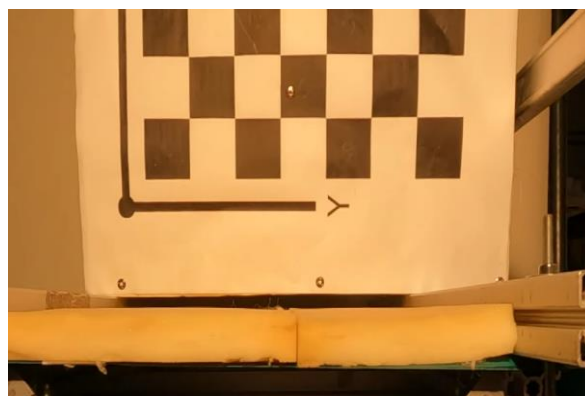


Figura 23: Scacchiera a maglie quadrate

Per ogni prova è stata acquisita un'immagine della scacchiera e sono state identificate 5 coppie per un totale di 10 punti lungo i lati dei quadrati, per concludere è stato calcolato il fattore medio di calibrazione e la deviazione standard.

La calibrazione è un'operazione importante nell'elaborazione di immagini, permette di determinare i parametri interni ed esterni di una fotocamera al fine di correggere le distorsioni geometriche e ottenere misure accurate delle immagini catturate.

In questo studio, il fattore di calibrazione medio è stato utilizzato per convertire i pixel in un'unità di misura reale e calcolato attraverso il rapporto tra la distanza sulla griglia reale 6.26 cm e il numero di pixel corrispondente.

3.3 Analisi di immagine

3.3.1 Computer Vision

La vista è forse il senso più importante che l'uomo possiede; l'occhio raccoglie una banda di radiazioni elettromagnetiche rimbaltate su diverse superfici, e provenienti da fonti luminose diverse. Il cervello poi, elabora queste informazioni formando il quadro della scena come noi lo percepiamo.

Per Computer Vision (o Visione Artificiale) si intende l'insieme di processi che mirano a creare un modello approssimato del mondo reale, partendo da immagini bidimensionali. La disciplina studia come abilitare i computer alla comprensione e all'interpretazione delle informazioni visuali presenti in immagini o video. Possiamo quindi dire che, la Visione Artificiale, si occupa dell'analisi di immagini digitali. L'analisi è finalizzata a scoprire cosa è presente nella scena e dove si trova. Da questa definizione possiamo distinguere due principali filoni all'interno della Visione Artificiale: Object Classification e Object Detection.

Per Object Classification (o Object Recognition) si intende l'abilità del calcolatore nel classificare le immagini, ovvero nel riconoscere all'interno delle immagini la presenza o assenza di determinati oggetti.

Per Object Detection, invece, oltre alla classificazione, il calcolatore si deve occupare anche della localizzazione dell'oggetto all'interno della scena.

Gli algoritmi di Object Detection hanno diverse applicazioni, come ad esempio: face detection, pedestrian detection, eye detection ed altri.

Il primo e più diffuso approccio all'object tracking consiste nell'utilizzare caratteristiche cromatiche nell'aspetto del target, che lo distinguono dallo sfondo. La tecnica si avvale dell'identificazione di un colore o di un istogramma colore caratteristico da confrontare con l'immagine. Il confronto isola i pixel corrispondenti al modello, che sono enfatizzati in base al loro grado di corrispondenza. I primi lavori in questa direzione consideravano un singolo colore sulla base del quale segmentare l'immagine. Approcci più moderni invece prevedono di calcolare un completo istogramma colore e di confrontarlo con l'immagine, in questo modo la classificazione risulta più precisa, in grado

di apprezzare diverse sfumature di colore e non solo una singola tinta. Dopo il confronto il risultato è solitamente sottoposto ad algoritmi di clustering in modo da identificare le zone a massima densità di pixel corrispondenti al colore.

3.3.2 Thresholding

L'operazione di sogliatura (in inglese chiamata *thresholding*) è uno dei più semplici metodi per segmentare un'immagine. Il metodo prende come input un'immagine a livelli di grigio e restituisce come output un'immagine binaria. Per immagine binaria, si intende un'immagine che ha due possibili valori per ogni pixel (di solito bianco o nero). Durante il processo di *thresholding*, i singoli pixel all'interno dell'immagine sono catalogati come "pixel oggetto" se il valore è maggiore di una certa soglia (*threshold*) o come "pixel di sfondo" se il valore è al di sotto della soglia:

$$g(x, y) = 1 \text{ se } f(x, y) > T$$
$$0 \text{ se } f(x, y) \leq T$$

Il concetto chiave all'interno degli algoritmi di *thresholding* è la scelta del valore di soglia. È possibile impostare un valore manualmente o utilizzare algoritmi che calcolano automaticamente il valore.

In Matlab è possibile eseguire un'operazione di sogliatura attraverso l'app "Color Thresholding" che ci permette di filtrare tutto ciò che non corrisponde all'oggetto da identificare. In questo specifico caso, come possiamo vedere in Figura 24, è risultato ideale l'utilizzo del filtro L*ab che rappresenta un modo per descrivere la luminosità (L) e due componenti di colore: l'A e B che catturano differenze di colore tra il rosso/verde (A) e il giallo/blu (B).

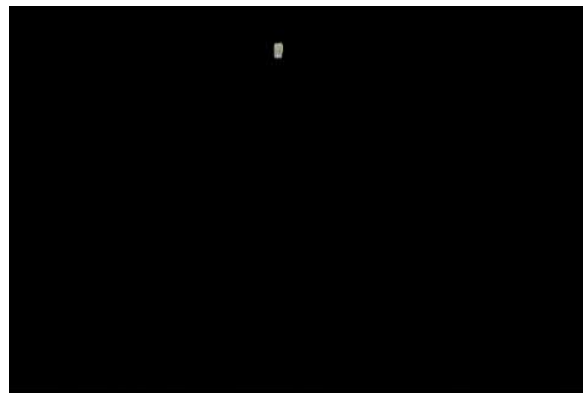


Figura 24: Frame iniziale e applicazione della maschera

3.3.3 Blob Detection

Nella visione artificiale, il Blob detection o riconoscimento di regioni è una tecnica che ha come obiettivo rilevare punti e/o regioni in una immagine che differisce in proprietà, come luminosità o colore, comparata con l'ambiente. Ci sono due classici rilevatori di blob: metodi differenziali basati

su espressioni derivate e metodi basati sugli estremi locali nell'intensità del paesaggio. La recente terminologia li definisce come operatori puntuali e operatori regionali.

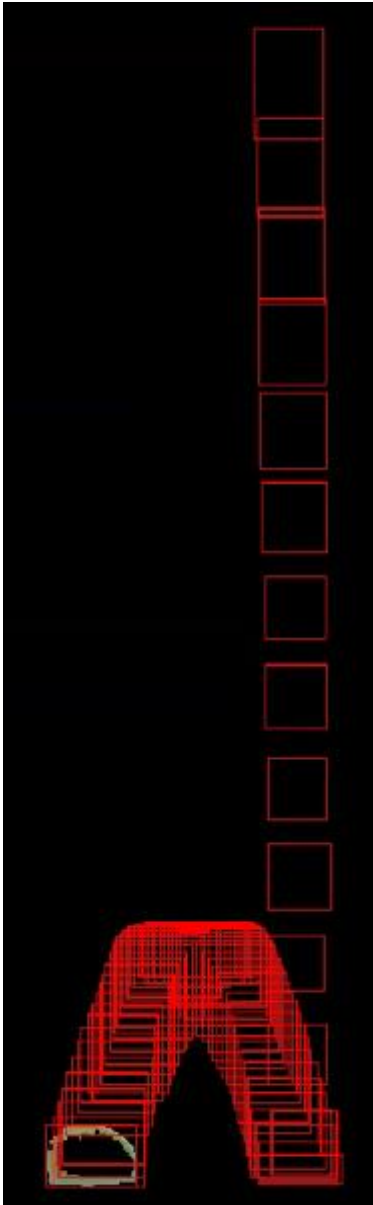


Figura 25: Blob detection applicata ad un video di caduta dell'oliva

I rilevatori blob si studiano e sviluppano per fornire informazione complementare sulle regioni, che non è possibile ottenere dal riconoscimento di contorni o riconoscimento degli angoli. Nel lavoro di preparazione il rilevamento blob è usato per ottenere regioni di interesse per ulteriori processi di lavoro. Queste regioni possono segnalare la presenza di oggetti o parti di oggetti nel dominio dell'immagine con l'applicazione di riconoscimento di oggetti e/o tracciamento di oggetti. In altri domini, come nell'analisi dell'istogramma, i descrittori blob possono essere usati per il rilevamento di picchi con applicazione nella segmentazione. Un altro uso si trova come primitive principali nell'analisi e riconoscimento di texture.

In questo studio, prima di utilizzare il blob detection, il frame viene ulteriormente filtrato da una maschera L^*ab per irrobustire ulteriormente la ricerca, eliminando a priori dall'immagine ciò che non sarà l'oggetto da riconoscere e inseguire. Con l'applicazione del blob detection, come raffigurato in Figura 25, siamo in grado di riconoscere i centroidi e il box dell'oggetto per tutti i frame del video.

3.3.4 Kalman filter

Il filtro di Kalman è un algoritmo che consente di stimare lo stato di un sistema a partire dai dati misurati. Fu sviluppato originariamente dal progettista ungherese Rudolf Kalman, da cui il filtro prende il nome. L'algoritmo del filtro consiste in un processo a due fasi: la prima fase esegue una previsione sullo stato del sistema, mentre la seconda utilizza le misurazioni del rumore per perfezionare la stima sullo stato del sistema.

Oggi esistono diverse varianti del filtro di Kalman originale. Questi filtri vengono utilizzati diffusamente dalle applicazioni che si basano su una stima, tra cui la visione artificiale, sistemi di guida e navigazione, econometria ed elaborazione di segnali. Un esempio è il tracciamento della traiettoria di una palla raffigurato in Figura 26 oppure la stima della posizione di un velivolo in Figura 27.

Nelle applicazioni relative alla visione artificiale, i filtri di Kalman vengono impiegati per il tracciamento di oggetti per prevedere la posizione futura di un oggetto, tenere conto del rumore nella posizione rilevata di un oggetto e contribuire ad associare oggetti multipli con le tracce corrispondenti.

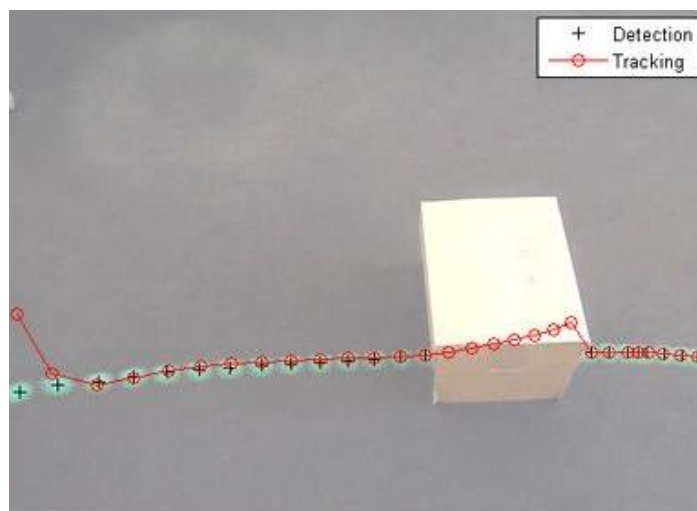


Figura 26: Tracciamento della traiettoria di una palla

I filtri di Kalman vengono comunemente utilizzati nei sistemi GNC, come nella fusione di sensori, dove consentono di sintetizzare i segnali di posizione e velocità unendo insieme le misurazioni GPS e IMU (unità di misura inerziale). Spesso i filtri vengono utilizzati per stimare il valore di un segnale che non può essere misurato, come la temperatura all'interno della turbina del motore di un velivolo, che un qualsiasi sensore di temperatura non è in grado di rilevare. I filtri vengono inoltre utilizzati in combinazione con i compensatori LQR (regolatore lineare quadratico) per il controllo LQG (lineare quadratico gaussiano).

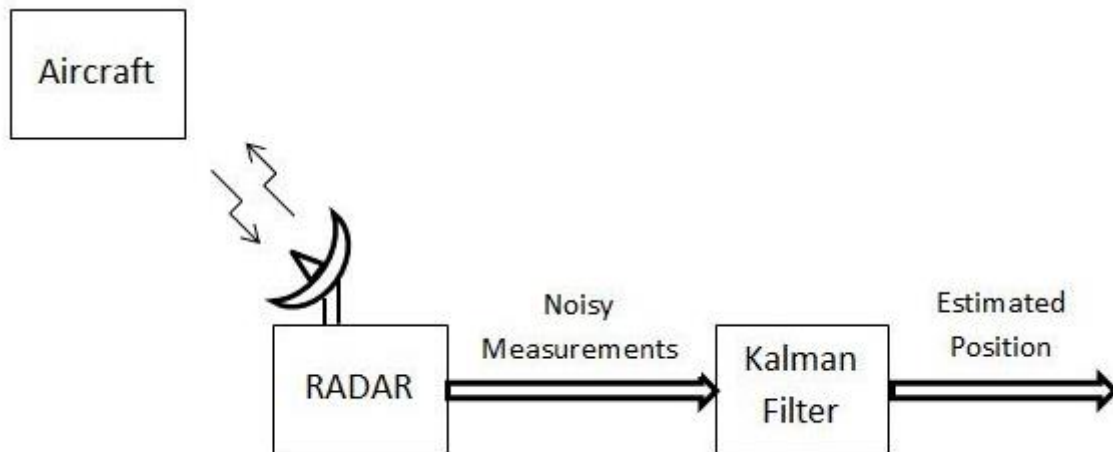


Figura 27: Utilizzo del filtro Kalman per stimare la posizione di un velivolo

3.4 Teoria degli urti

Il punto di partenza per lo studio degli urti tra punti materiali e corpi rigidi o degli urti tra corpi rigidi è la determinazione delle leggi di conservazione valide. La costanza della quantità di moto si ha se sul sistema agiscono solo forze interne o quelle esterne non sono di tipo impulsivo. In particolare, se esiste un vincolo che tiene fermo un punto del corpo rigido, non si verifica la conservazione della quantità di moto poiché durante l'urto il vincolo sviluppa una forza di tipo impulsivo. La costanza dell'energia cinetica del sistema si ha soltanto se è noto a priori che l'urto è di tipo elastico. La costanza del momento angolare si ha qualora, rispetto ad un certo polo fisso nel sistema di laboratorio o coincidente col centro di massa, il momento della risultante delle forze esterne, comprese quelle vincolari, è nullo; si ha la conservazione del momento angolare se agiscono solo forze interne, indipendentemente dalla scelta del polo. In particolare, per un corpo vincolato, durante l'urto i vincoli esplicano delle forze tali che l'impulso I della forza risultante F_v e l'impulso angolare I del momento risultante τ_v rispettivamente pari a:

$$I = \int_{t_0}^{t_f} F_v dt \quad (3.4.1)$$

$$I_\tau = \int_{t_0}^{t_f} \tau_v dt \quad (3.4.2)$$

sono uguali, rispettivamente, alla variazione della quantità di moto ed alla variazione del momento

angolare del sistema. Essendo grandezze vettoriali, può aversi la conservazione della quantità di moto o del momento angolare solo limitatamente ad alcune loro componenti.

Nel caso affrontato durante le prove, le olive nel momento iniziale prima della caduta, ovvero all'altezza massima di 275 cm, hanno un'energia potenziale massima che durante la caduta si converte in energia cinetica raggiungendo il valore massimo in corrispondenza dell'istante prima dell'urto con il materiale. L'energia cinetica durante il moto è variabile, quindi possiamo parlare di urto anelastico in quanto subito dopo di esso l'energia viene dissipata in parte sul materiale ed in parte provocando danni all'oliva.

4 Risultati

4.1 Immagini traiettoria e velocità

Per ogni prova sono state ottenute le traiettorie che descrivono l'oliva in un determinato intervallo di tempo con la rispettiva velocità. Questi grafici ci permettono di analizzare il moto nei diversi casi, determinare l'altezza massima del rimbalzo e la velocità prima e dopo dell'urto.

Notiamo che durante le elaborazioni attraverso Matlab, alcuni grafici risultano parzialmente completi a causa di bug del codice che possono essere dovuti ad un'errata specifica dei parametri di visualizzazione.

Prova 1, telo:

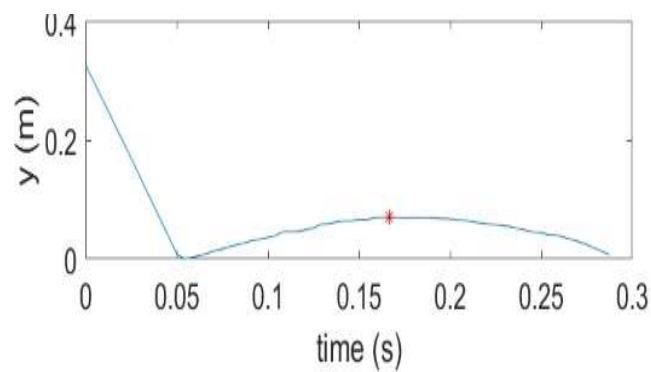


Figura 28: Traiettoria prova telo

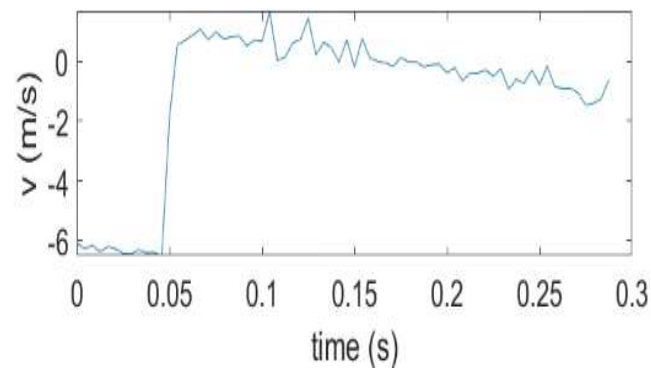


Figura 29: Velocità prova telo

Prova 2, gomma piuma grigia:

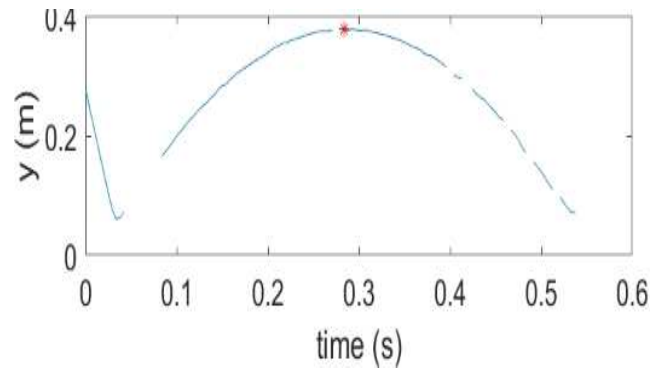


Figura 30: Traiettorie prova gomma piuma grigia

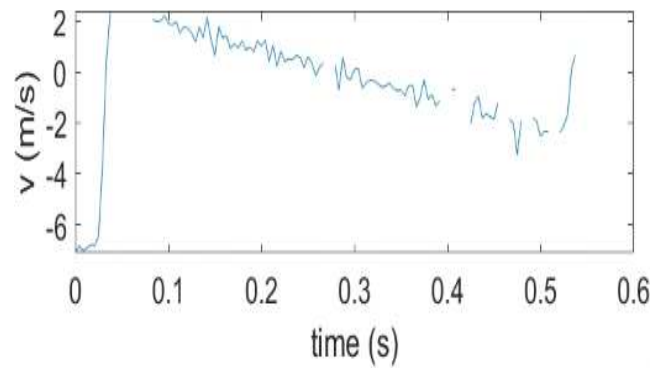


Figura 31: Velocità gomma piuma grigia

Prova 3, gomma piuma gialla:

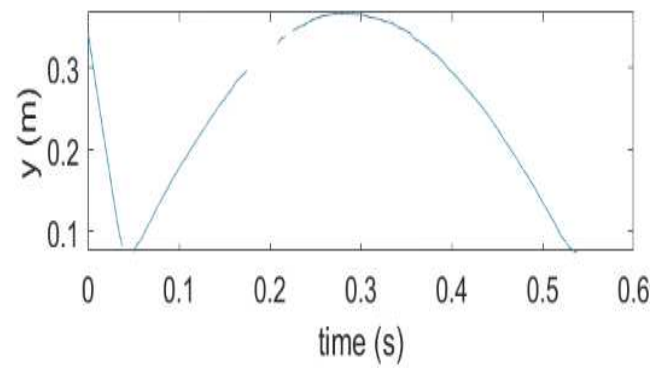


Figura 32: Traiettorie prova gomma piuma gialla

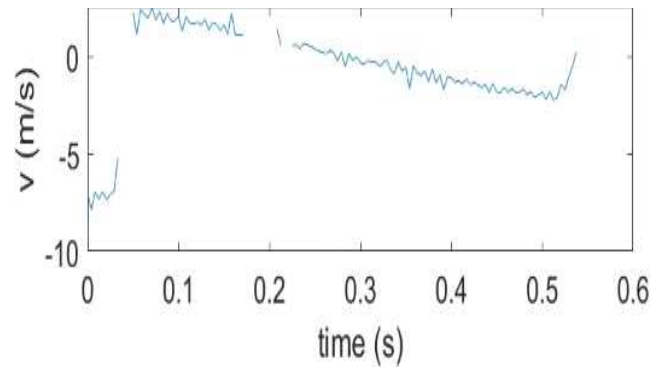


Figura 33: Velocità prova gomma piuma gialla

Prova 4, molla rossa:

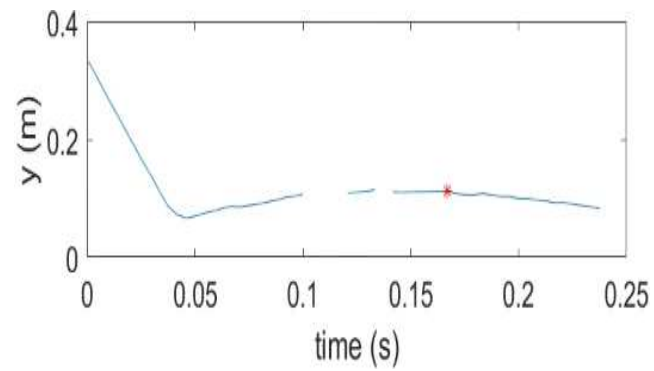


Figura 34: Traiettoria prova molla rossa

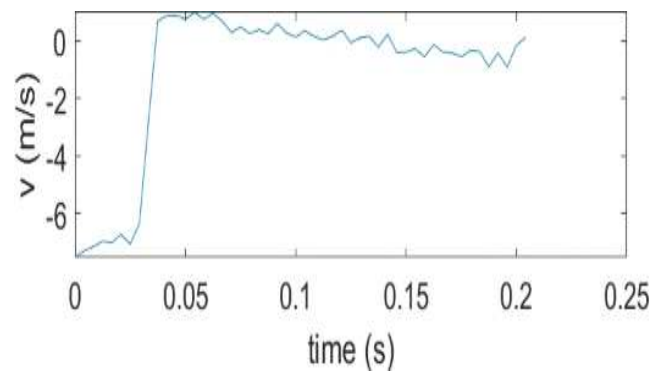


Figura 35: Velocità prova molla rossa

Prova 5, tappeto:

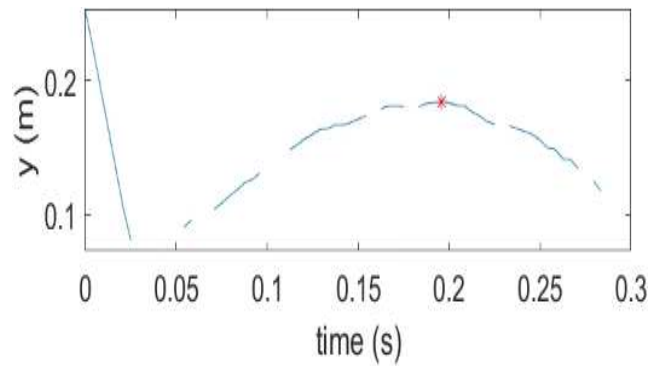


Figura 36: Traiettorie prova tappeto

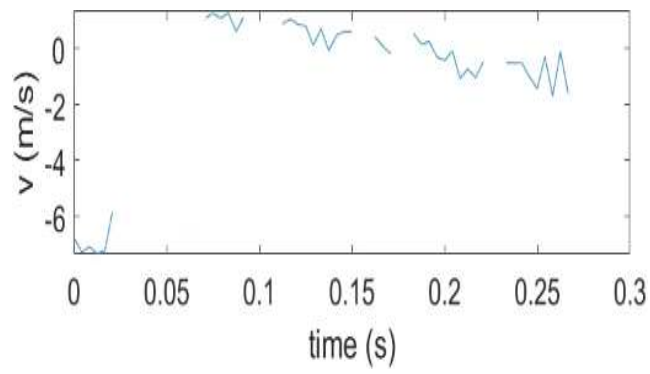


Figura 37: Velocità prova tappeto

Prova 6, spugna:

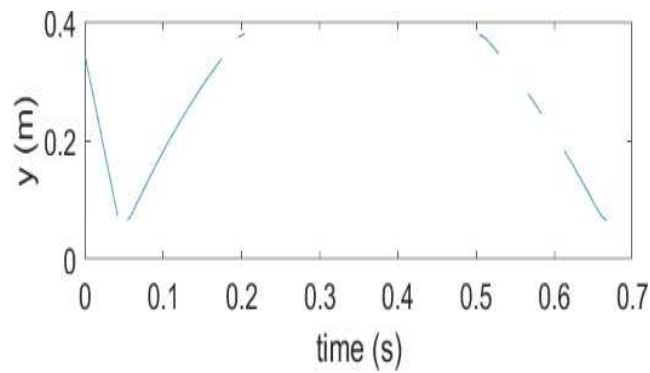


Figura 38: Traiettorie prova spugna

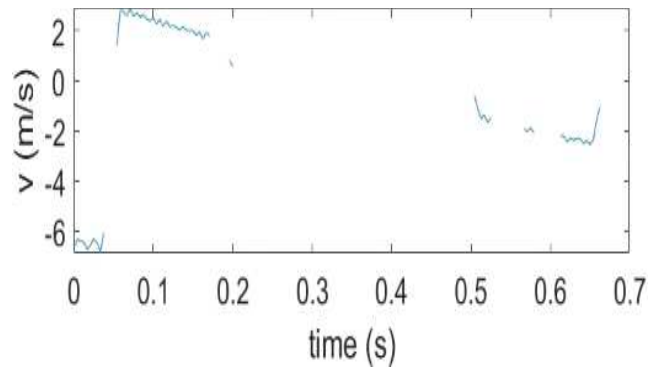


Figura 39: Velocità prova spugna

Prova 7, molla bianca:

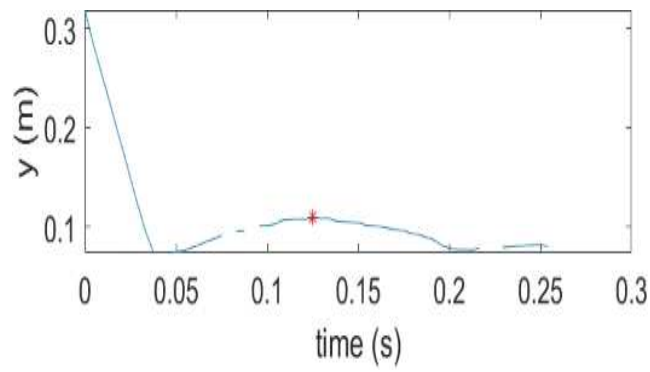


Figura 40: Traiettorie prova molla bianca

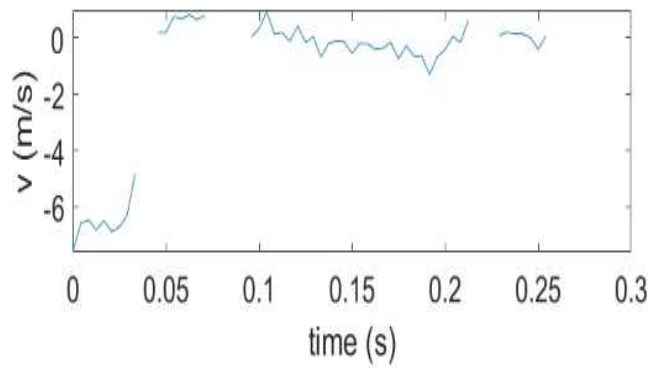


Figura 41: Velocità prova molla bianca

Prova 8, gomma piuma nera:

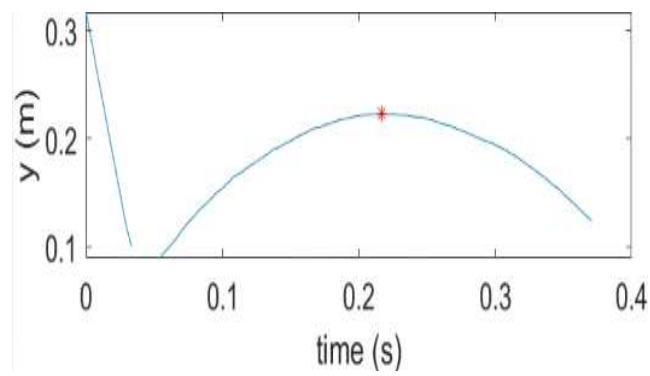


Figura 42: Traiettoria prova gomma piuma nera

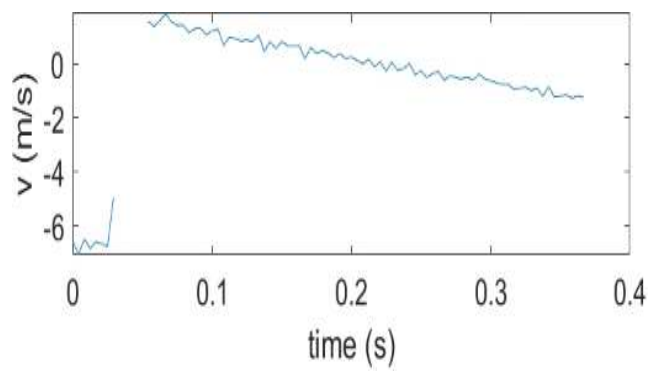


Figura 43: Velocità prova gomma piuma nera

Prova 9, materiale rosso:

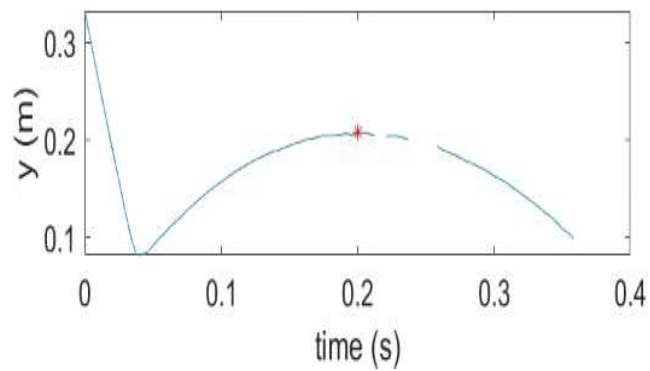


Figura 44: Traiettoria prova materiale rosso

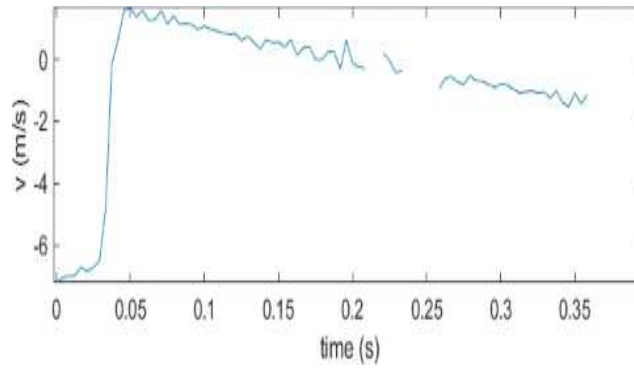


Figura 45: Velocità prova materiale rosso

Prova 10, tappeto blu:

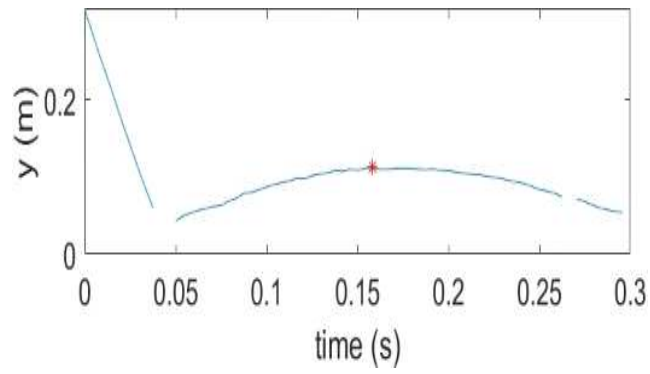


Figura 46: Traiettorie prova tappeto blu

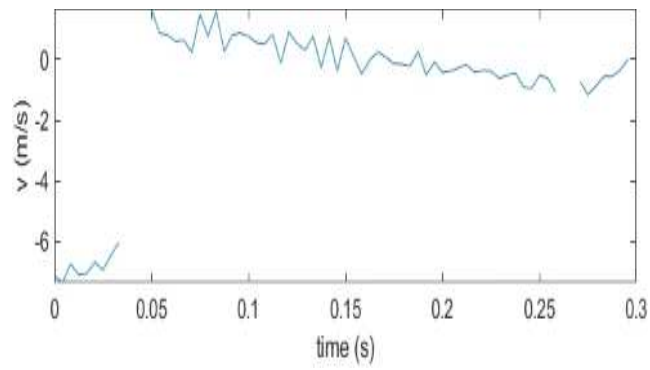


Figura 47: Velocità prova tappeto blu

Prova 11, tappeto grigio:

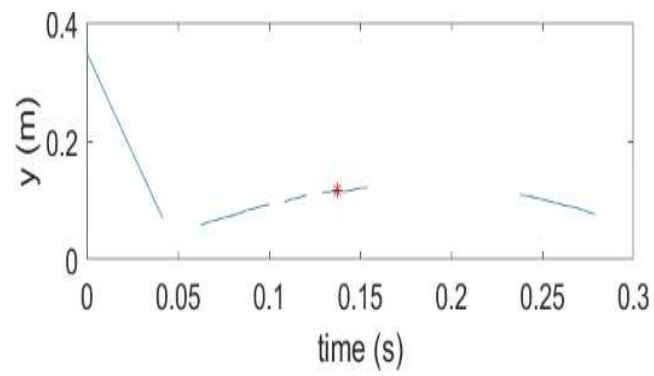


Figura 48: Traiettoria prova tappeto grigio

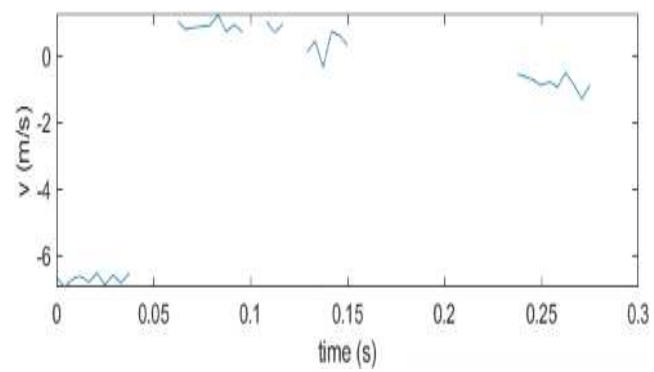


Figura 49: Velocità prova tappeto grigio

Prova 12, gomma piuma:

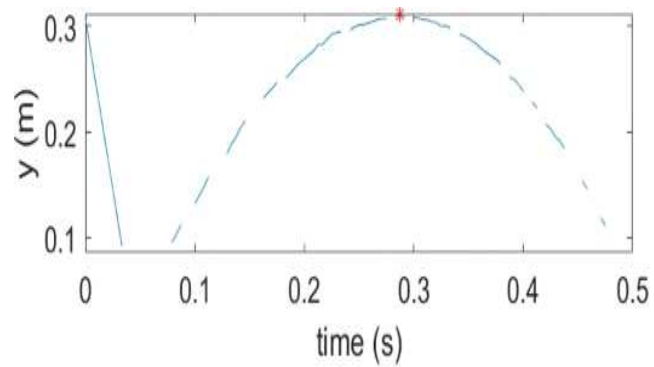


Figura 50: Traiettoria prova gomma piuma

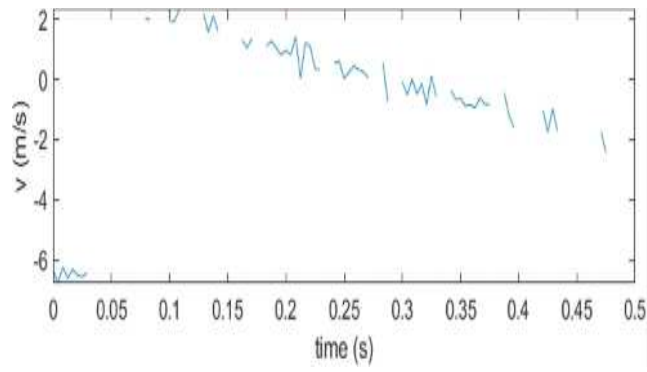


Figura 51: Velocità prova gomma piuma

Prova 13, prova materiale per imballaggio:

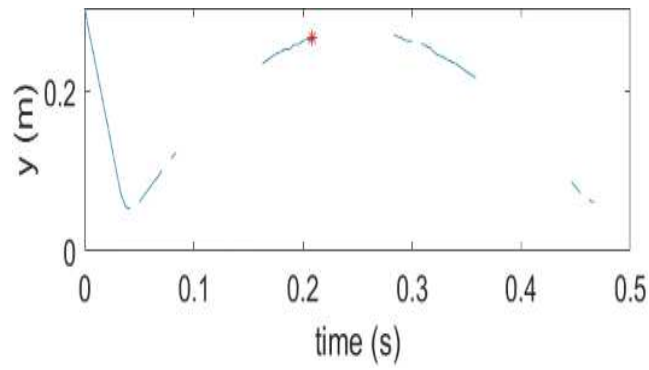


Figura 52: Traiettoria prova materiale per imballaggio

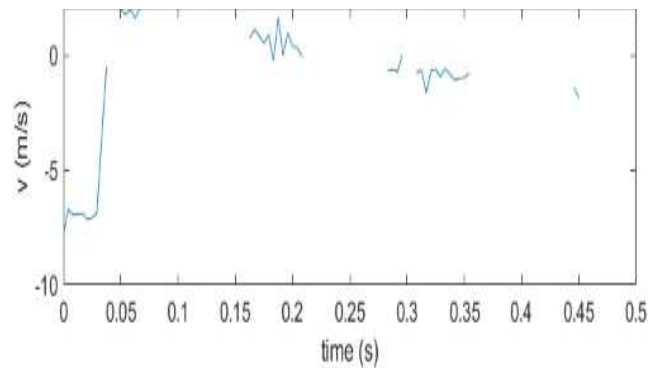


Figura 53: Velocità prova materiale per imballaggio

Prova 14, spugna memory:

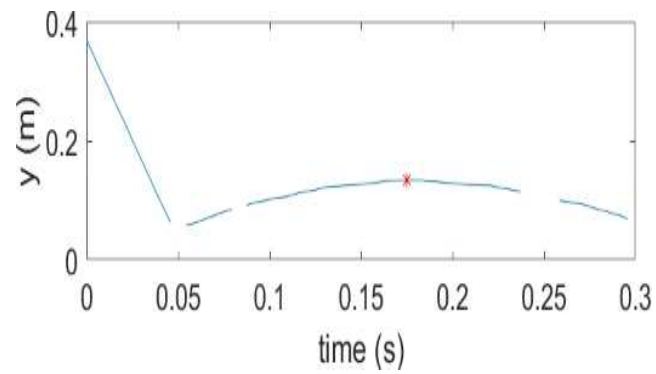


Figura 54: Traiettorie prova spugna memory

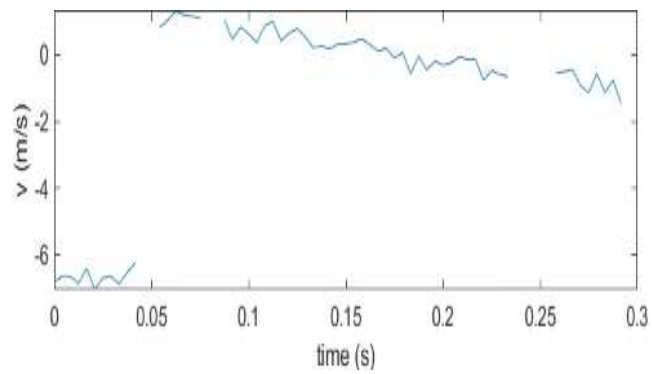


Figura 55: Velocità prova spugna memory

Prova 15, pavimento:

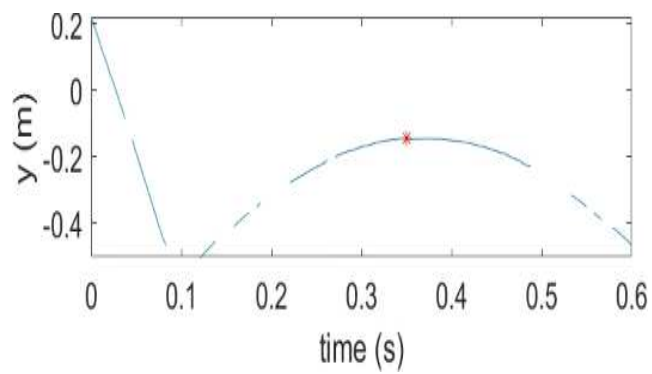


Figura 56: Traiettorie prova pavimento

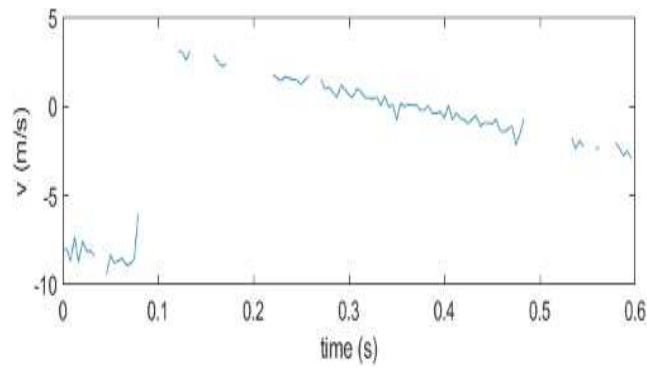


Figura 57: Velocità prova pavimento

Dai seguenti grafici è possibile notare, proprio come osservato durante le acquisizioni delle prove, che la gomma piuma e la spugna sono i materiali che permettono all'oliva di raggiungere con il rimbalzo un'altezza maggiore. Questo dato è significativo nella raccolta meccanizzata in quanto si cerca di avere dei rimbalzi minimi per evitare urti tra le olive che possano causare danneggiamenti.

4.1.1 Estrapolazione di dati tramite curve fitting

Notiamo che nei grafici sopra riportati, in alcuni casi, c'è una valutazione non corretta del massimo delle traiettorie, lo stesso avviene nella valutazione della velocità dopo l'urto. Il motivo, nella maggior parte dei casi in cui non c'è una corretta valutazione, è dovuto alla mancanza di dati e viene risolto con l'utilizzo di un fitting parabolico della traiettoria (Figura 58) ed un fit lineare della velocità (Figura 59). Nel caso della prova sei invece, l'urto con la spugna causa un rimbalzo tale da far uscire l'oliva dal campo di vista della camera.

Anche in questo caso, per correggere l'errore e garantire quindi i dati corretti per il calcolo dell'energia andiamo ad eseguire un fitting della traiettoria e della velocità attraverso Matlab che ci permette di approssimare in modo molto accurato queste curve e di sopperire alla mancanza di dati. Quando si utilizzano polinomi, si tratta di un tipo di regressione polinomiale. L'obiettivo della regressione polinomiale è trovare la migliore curva che si adatti ai dati osservati. La differenza principale tra l'utilizzo di polinomi diversi sta nella complessità e nella flessibilità del modello nel rappresentare i dati. Infatti, per la traiettoria è stato utilizzato un fit polinomiale del secondo ordine proprio perché le sue caratteristiche descrivono il moto di un grave consentendo un miglior adattamento ai dati e una flessibilità che permettono di ottenere un fit parabolico ben fatto.

In ambito statistico, il concetto di "fit" si riferisce alla misura di quanto bene un'equazione rappresenti bene i dati osservati. La valutazione di un fit avviene attraverso i seguenti parametri:

- Validazione incrociata (Cross-Validation), capacità del modello di generalizzare bene i dati non visti
- Compromesso bias-varianza, un buon fit cerca di ottenere un equilibrio ottimale tra il bias (errore introdotto dalla semplificazione del modello) e la varianza (sensibilità del modello alla fluttuazione dei dati)
- Coefficiente di determinazione R^2 , fornisce una misura della variazione dei dati dipendenti che è spiegata dal modello di regressione rispetto alla variazione totale dei dati, maggiore è il suo valore migliore è il modello nella spiegazione della variabilità dei dati
- Robustezza e stabilità, un buon modello dovrebbe essere robusto rispetto a piccole variazioni nei dati di input.

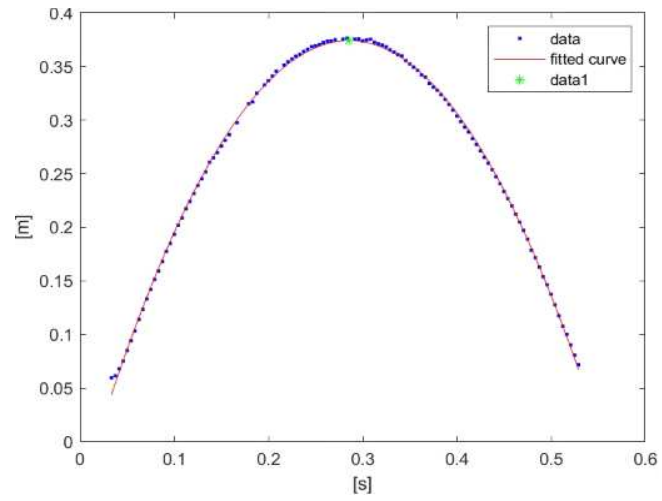


Figura 58: Fit polinomiale del secondo ordine sulla traiettoria

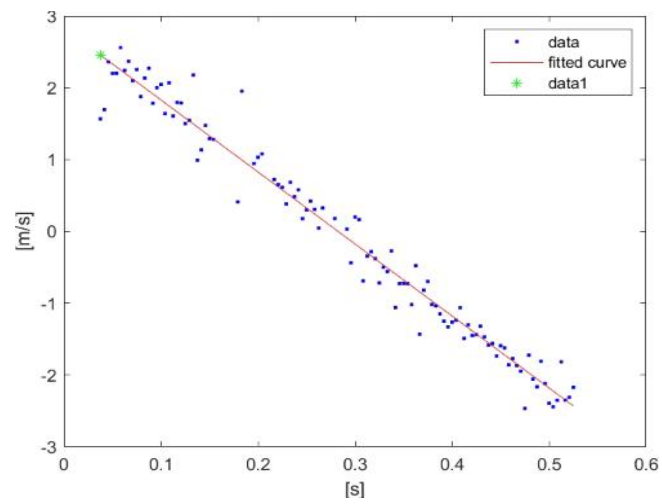


Figura 59: Fit polinomiale del primo ordine sulla velocità

4.2 Calcolo dell'energia dissipata da un'oliva in caduta

Come già detto precedentemente, l'urto dell'oliva è anelastico, questo comporta una dissipazione di energia che, una volta calcolata ci permette di determinare quale materiale sia il più efficiente al fine di essere installato nel cestello di raccolta. Attraverso i dati ricavati dai fit siamo in grado di calcolare questa energia in due modi differenti:

$$E_{Diss1} = E_{CinMax} - E_{PotBounce} \quad (4.2.1)$$

$$E_{Diss2} = E_{CinMax} - E_{CinMin} \quad (4.2.2)$$

Con i termini che corrispondono rispettivamente a:

- E_{CinMax} = Energia cinetica massima, raggiunta dall'oliva prima dell'urto
- $E_{PotBounce}$ = Energia potenziale in corrispondenza del massimo del rimbalzo
- E_{CinMin} = Energia cinetica subito dopo l'urto

4.2.1 Analisi dei risultati sul primo materiale

La massa utilizzata per i calcoli è stata approssimata ad un valore medio di 7,45 g misurato da venti olive durante le prove di caduta; tuttavia, questo dato è variabile quindi non permette di determinare un valore preciso dell'energia dissipata bensì una stima. Per capire di quanto la stima si avvicini alla realtà è stata verificata la conservazione dell'energia meccanica prima dell'urto, verificando che:

$$E_{PotMax} = E_{CinMax} \quad (4.2.1.1)$$

Sono stati analizzati i dati relativi ai video della prima prova, ovvero l'urto dell'oliva con il telo, attraverso un grafico raffigurato in Figura 60.

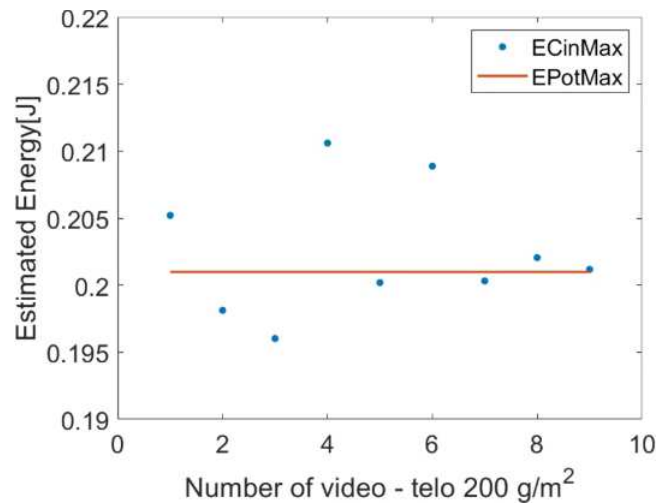


Figura 60: Grafico energia potenziale e cinetica telo

Come possiamo notare l'energia potenziale massima ha un valore costante perché le prove di caduta sono state eseguite sempre dalla stessa altezza mentre l'energia cinetica massima varia a seconda delle elaborazioni.

Lo scostamento tra le due energie è minimo ed è stato studiato attraverso la Figura 61 che rappresenta la deviazione percentuale dell'energia cinetica rispetto alla potenziale.

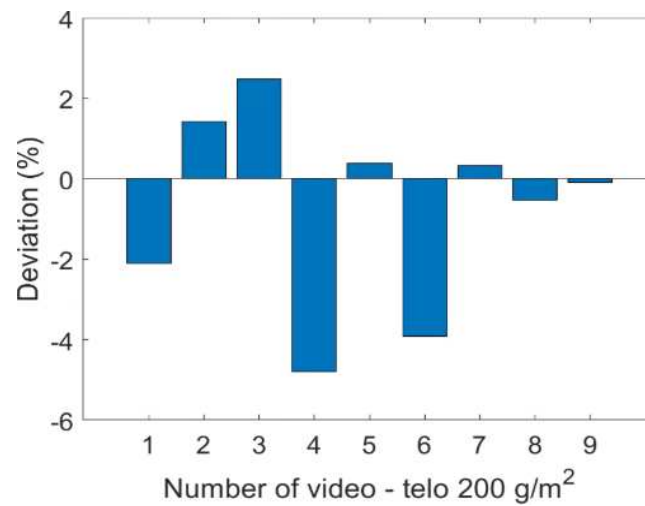


Figura 61: Grafico deviazione dell'energia cinetica massima

Inoltre, è stata calcolata media e deviazione standard della variazione tra l'energia potenziale massima e l'energia cinetica massima con il fine di costruire un error bar, raffigurato in Figura 62, per rappresentare la variabilità e l'incertezza dei dati.

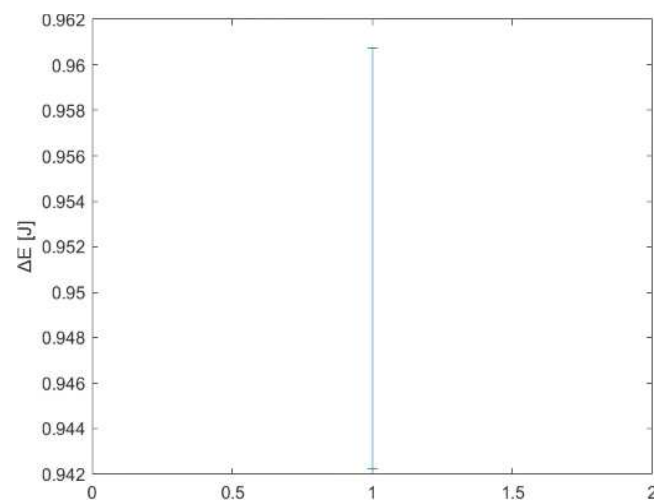


Figura 62: Error bar della variazione di energia

4.3 Confronto tra i materiali

Per il confronto tra i materiali è stato scelto e analizzato un solo video per ogni materiale, da cui sono stati ottenuti tutti i dati necessari per il calcolo dell'energia dissipata con le formule.

Per ogni prova il valore dell'energia dissipata è stato normalizzato dividendo per E_{CinMax} in modo tale da ottenere una percentuale comparabile tenendo conto delle diverse caratteristiche. I risultati sono raffigurati dagli istogrammi in Figura 63 e Figura 64.

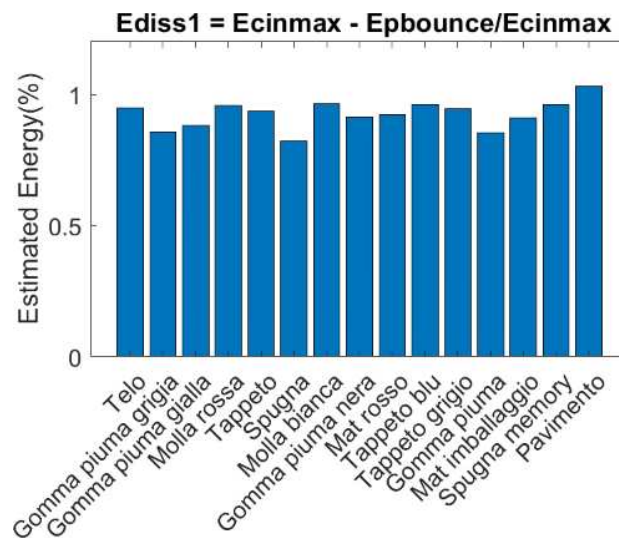


Figura 63: Istogramma di confronto energia dissipata percentuale calcolata con la prima formula

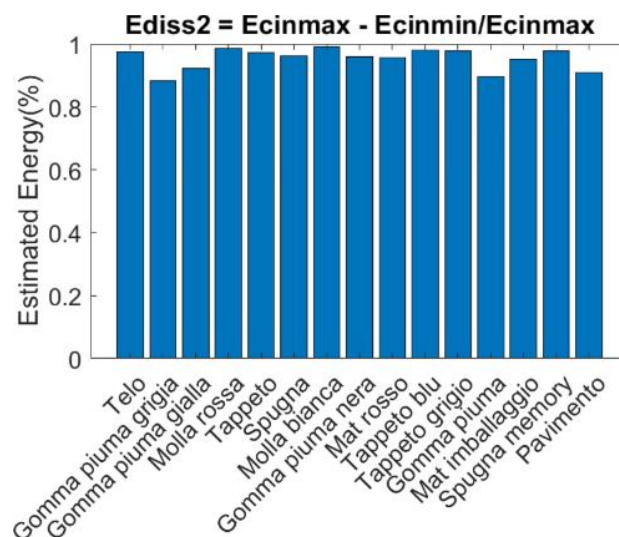


Figura 64: Istogramma di confronto energia dissipata percentuale calcolata con la seconda formula

Gli istogrammi mostrano che i materiali più morbidi come gomma piuma e spugna garantiscono un maggior rimbalzo e quindi una minore dissipazione di energia, come già detto precedentemente la condizione ideale durante la raccolta meccanizzata sarebbe quella di utilizzare un materiale che non faccia rimbalzare tanto le olive in modo tale da evitare urti tra di esse all'interno del cestello.

Al contrario, nei materiali più rigidi c'è una maggior dissipazione proprio dovuta al minor rimbalzo dopo l'impatto. Questi materiali, escludendo il pavimento che risulta essere un caso estremo, possono essere valutati per capire quale risulta più efficiente nella raccolta meccanizzata.

5 Conclusioni

In conclusione, si può affermare che lo studio condotto attraverso l'elaborazione in Matlab dei video acquisiti durante le prove ha fornito importanti risultati riguardo all'efficienza dei materiali nella raccolta meccanizzata delle olive, tuttavia ci sono delle criticità che non permettono di avere dei risultati affidabili. In particolare, le elaborazioni sono state eseguite utilizzando un solo video per ogni materiale e i risultati sono stati calcolati considerando una massa media dell'oliva. L'algoritmo scritto in Matlab ha permesso di analizzare dettagliatamente i dati delle prove di caduta da cui è emerso che i materiali come la gomma piuma e la spugna risultano dissipare meno energia mentre i materiali più "rigidi" come la molla bianca, il telo, il tappeto e la spugna memory dissipano una quantità maggiore di energia. I materiali con una maggiore dissipazione verranno in futuro ulteriormente analizzati dagli agronomi per determinare quale tra di essi provoca un minor danneggiamento durante la raccolta. Pertanto, questo studio fornisce una solida base di conoscenza che deve però essere approfondita risolvendo le sue criticità ed indicando il materiale più efficiente da utilizzare per la raccolta meccanizzata delle olive, con prospettive interessanti per migliorare l'efficienza e la sostenibilità della raccolta in futuro. Ulteriori ricerche potrebbero approfondire altri materiali o considerare scenari specifici per ampliare l'utilità dello studio ed ottimizzare ulteriormente il processo di raccolta delle olive

6 Bibliografia e sitografia

[1] **La raccolta meccanizzata delle olive da mensa**

[Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio](#)

<https://www.accademiaolivoelilio.com>

[2] **Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain**

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.005>

[3] <https://www.aisdet.it/documenti/tesi-laurea/Tesi-Luigi-Baldari.pdf>

[4] https://it.wikipedia.org/wiki/Visione_artificiale

[5] https://it.wikipedia.org/wiki/Riconoscimento_di_regioni

[6] <https://it.mathworks.com/discovery/kalman-filter.html>

[7] http://www.dmf.unisalento.it/~panareo/Dispense_di_Fisica/Urti.pdf