

Giovanni Carlo Di Renzo - Giuseppe Altieri

Dipartimento tecnico-economico, Università degli studi della Basilicata - Potenza

**ATTREZZATURA PER IL
MONITORAGGIO DELLE
SOLLECITAZIONI MECCANICHE
SUBITE DAI FRUTTI DURANTE
LE OPERAZIONI POST-RACCOLTA**

ATTREZZATURA PER IL MONITORAGGIO DELLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE SUBITE DAI FRUTTI DURANTE LE OPERAZIONI POST-RACCOLTA

Giovanni Carlo Di Renzo - Giuseppe Altieri

Dipartimento tecnico-economico, Università degli studi della Basilicata - Potenza

Riassunto. Nella presente nota è descritto lo studio e la realizzazione di un'attrezzatura per il monitoraggio delle sollecitazioni meccaniche subite dai frutti durante le operazioni post-raccolta. Per tale attrezzatura l'innovazione, rispetto ai simulatori di frutto attualmente disponibili, è costituita dalla continuità dell'acquisizione delle sollecitazioni meccaniche, dalla possibilità di correlare le sollecitazioni misurate con la posizione dell'attrezzatura, dall'elevata sensibilità dei sensori impiegati e dal basso costo. L'attuale prototipo può acquisire in tempo reale e continuamente l'accelerazione che subisce il frutto durante il passaggio sulla linea di lavorazione o nel corso di brevi trasporti, la limitazione relativa alla durata del tempo di acquisizione è dovuta esclusivamente all'elevata richiesta di energia del trasmettitore che scarica le batterie di cui è dotato in 1 ora circa.

Per superare i limiti delle precedenti esperienze basate sulla telemetria, determinati dall'elevata rumorosità elettromagnetica dell'ambiente industriale in cui si opera, il ponte radio tra sistema di acquisizione e sistema di elaborazione e memorizzazione è stato realizzato in modulazione di frequenza (FM), che è meno sensibile ai disturbi, in particolare nella trasmissione a corto raggio.

Parole chiave: frutti, impatti, misura, danni meccanici, operazioni post-raccolta.

EQUIPMENT FOR MONITORING MECHANICAL STRESSES ON FRUITS DURING POST-HARVEST OPERATIONS

Abstract. In the present paper a prototype device for monitoring fruits mechanical stresses during post-harvest operations is described. Compared with the currently available Instrumented Sphere simulators, this device has the following innovative features: continuous monitoring of mechanical stresses, synchronization of measured stresses and device position, higher sensitivity of sensors and lower cost.

Preliminary tests have been carried out in order to define the full scale range of sensors to be installed, the related frequency band and the maximum sampling rate. On the base of these results the following parameters have been selected: full scale range of 500 m/s^2 ($\approx 50 \text{ g}$), maximum useful frequency for describing the phenomenon of velocity change equal to 500 Hz , and sam-

pling rate of 5 KHz (in relation of the chosen accelerometers).

The experimental device consist of an acquisition system mounted on a fiber glass frame covered with a sphere-shaped siliconic-rubber jacket.

The sensitive element of the acquisition system is constituted by three monoaxial accelerometers orthogonally disposed on a steel cube of 10 mm side.

In order to obtain the modulus of acceleration vector measured by the sensor, the electric signal produced by each accelerometer is conditioned through a wide band (8 MHz) Gilbert's cell analog multiplier (MLT04G), producing an output which is equal to the entry-signal elevated by 2.

The electric signal is converted from voltage to frequency and is used to modulate in frequency, with a FSK technique (Frequency Shifting Keys), a radio frequency oscillator tuned to $433,92 \text{ MHz}$. The transmitter emits 10 mW on 50Ω antenna with a broadcasting coverage area of 30 m radius. The maximum frequency band of the modulating signal must be of 9600 Hz .

The receiving apparatus consist of a receiver-demodulator (AST215) that convert the signal from frequency to voltage. Using a PLL FM demodulator stadium (Phase Locked Loop of the type HEF4046), it is possible to recover the signal in the matching voltage. Then, with an operational amplifier (TL082), the signal is amplified and conditioned again in a range of $0 \div +5\text{V}$.

The acquisition system is based on a notebook computer with full-size slots and a input/output analog/digital card (Keithley mod. DAS-1801ST-DA) equipped with a sample-and-hold circuit (SSH) for 8 channel simultaneous acquisition. The software collects data with a 5 KHz sampling rate and a 12 bits no-sign resolution, while samples are recorded in a 16 bit with-sign format. Considering the sampling rate and the number of used channels, an hour of continuous acquisition at 5000 samples/s , yields a single file of about 36 MB which is memorized on the hard-disk. The prototype evolution consist of a new circuit capable of reducing the power requirement in order to decrease the battery dimensions and/or increase the acquisition system autonomy.

Key words: fruits, impact, measure, mechanical damage, quality, postharvest handling.

1. Introduzione

I danni meccanici sono una delle maggiori cause di perdite (di qualità e/o di prodotto) nella post-raccolta dei prodotti ortofrutticoli. Infatti, sin dal momento del distacco dalla pianta, i frutti sono soggetti a sollecitazioni meccaniche dovute a impatti o semplici vibrazioni che possono provocare lesioni superficiali o deformazioni permanenti della struttura cellulare dei tessuti.

A tal proposito va considerato che i prodotti ortofrutticoli generalmente presentano dimensioni medio-grandi e resistenza meccanica della

struttura tanto più bassa quanto maggiore è il livello di maturazione. Per cui, l'attuale tendenza a diminuire la distanza temporale tra maturazione di raccolta e quella di consumo, al fine di ottenere prodotti ortofrutticoli di elevato livello qualitativo, rende indispensabile la massima cura nella manipolazione del prodotto per preservarlo da sollecitazioni meccaniche che potrebbero danneggiarne la struttura.

La suscettibilità ai danni meccanici dipende dalla cultivar, dalle condizioni di stoccaggio, dallo stadio di maturazione e dalla temperatura dei tessuti vegetali. Tali danni sono generalmente prodotti da forze esterne (urti od a ripetuti cicli

di vibrazione), come ad esempio nel caso di urti frutto-contenitore o frutto-frutto, tuttavia possono anche essere causati da forze, per lo più tensionali, che agiscono all'interno del frutto, come nel caso di una repentina variazione di temperatura.

Pertanto, la verifica delle modalità con cui vengono eseguite le operazioni di preparazione e trasporto, attraverso il monitoraggio in continuo delle sollecitazioni meccaniche subite dai frutti e della relativa temperatura può consentire di individuare i punti critici della filiera post-raccolta e di ridurre sensibilmente le perdite di qualità e di prodotto.

In tal senso, i primi studi sono stati eseguiti con accelerometri mono o triassiali, vincolati alla superficie di frutti reali, collegati via cavo a un registratore. Tale sistema ha consentito di ottenere discreti risultati nel caso di monitoraggio di sollecitazioni meccaniche subite dai frutti durante il trasporto su automezzi. Tuttavia, questo metodo di monitoraggio non è risultato di pratico impiego nel caso di monitoraggio dei danni nelle fasi in cui i frutti si muovono singolarmente e cioè nelle operazioni di scarico (dalle ceste di raccolta nel bin, dal bin sulla tramoggia ecc.). Inoltre, l'impiego di misure eseguite con il collegamento via cavo tra il frutto e il sistema di acquisizione risulta inapplicabile nel caso di monitoraggio dei danni subiti dai frutti sulle linee di lavorazione.

In alternativa a tali sistemi è stato proposto l'impiego di uno pseudo-frutto, in grado di poter rilevare le sollecitazioni meccaniche, non collegato via cavo con l'unità di acquisizione (O'Brien *et al.*, 1973; Rider *et al.*, 1973). Per la telemetria del vettore di accelerazione sono stati impiegati tre trasmettitori in modulazione di ampiezza (AM), con una tecnica di trasmissione «on-off» per trasferire il segnale di accelerazione proveniente da ciascuno dei tre canali, preventivamente convertito in una onda quadra con frequenza dipendente dal livello di tensione (FM).

Sfruttando questi risultati altri ricercatori (Aldred e Burch, 1977; Halderson *et al.*, 1983) hanno tentato di mettere a punto sistemi che fossero in grado di rendere compatibile l'affidabilità nella misura, il costo di costruzione, i problemi di calibrazione e la sensibilità e il campo di misura richiesti. Tuttavia, a causa dei modesti risultati ottenuti con la telemetria, e con la disponibilità a basso costo di microprocessori e integrati di grande precisione e affidabilità, è stata sviluppata una strumentazione sferica dotata sia del sistema di misura che di quello di acquisizione e memorizzazione dei dati. Da questa sfera ha avuto origine l'attuale generazione delle «sfere attrezzate» (IS) (Klug *et al.*, 1987; Tennes *et al.*, 1988).

Attualmente esistono sul mercato svariate IS il cui limite principale consiste nell'acquisizione dei dati a bordo del simulatore stesso, con una limitazione nel numero massimo di campioni memorizzabili (tipicamente 650 impatti con durata di 10 ms) con un limitato tempo di acquisizione (Zapp *et al.*, 1990). Per superare queste limitazioni è possibile impostare un valore di soglia dell'accelerazione oltre il quale il simulatore inizia il campionamento (Zapp *et al.*, l.c.). Inoltre con queste sfere non è possibile correlare immediatamente i dati acquisiti con la posizione della IS sulla linea di lavorazione.

Nella presente nota è descritto lo studio e la realizzazione di un'attrezzatura per il monitoraggio delle sollecitazioni meccaniche subite dai frutti durante le operazioni post-raccolta. Per tale attrezzatura l'innovazione, rispetto ai simulatori di frutto attualmente disponibili, è costituita dalla continuità dell'acquisizione delle sollecitazioni meccaniche, dalla possibilità di correlare le sollecitazioni misurate con la posizione dell'attrezzatura, dall'elevata sensibilità dei sensori impiegati e dal basso costo.

L'attuale prototipo può acquisire in tempo reale e continuamente l'accelerazione che su-

Tab. 1 - Schema delle prove eseguite su frutti di actinidia, con indicazione del materiale delle superfici di caduta e delle relative altezze

Tab. 1 - Surface materials and drop heights of the tests carried out on kiwifruits

Superficie d'impatto	Altezze di caduta (cm)			
	Legenda delle prove			
	A	B	C	D
Piano rigido d'acciaio	2	4	8	-
Foglio di neoprene di spessore 6 mm (m.v. 100 kg/m ³)	2	4	8	16
Lastra di formica di spessore 0,5 mm	2	4	8	-
Strato di spugna di spessore 50 mm (m.v. 40 kg/m ³)	10	20	40	-

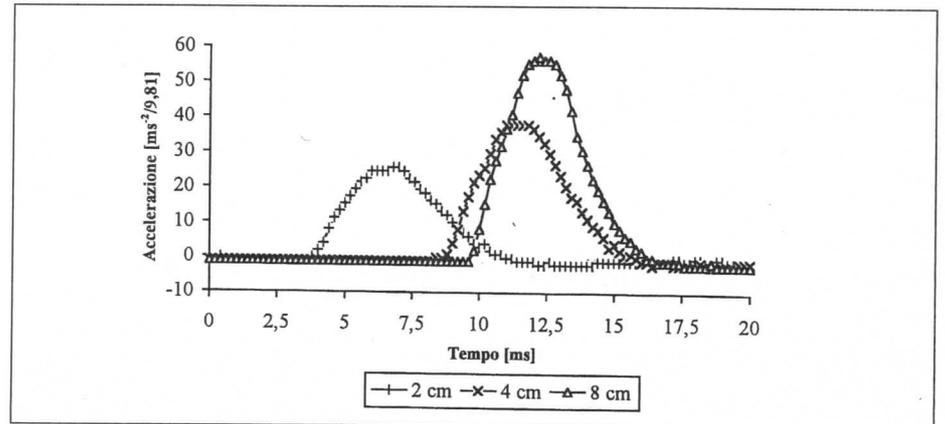


Fig. 1 - Curves dell'accelerazione nel tempo all'impatto di frutti di actinidia su un foglio di neoprene (spessore 6 mm) per cadute da diverse altezze.

Fig. 1 - Acceleration change with time of kiwifruits dropped from different heights on neoprene surface (6 mm thickness).

bisce il frutto durante il passaggio sulla linea di lavorazione o nel corso di brevi trasporti, la limitazione relativa alla durata del tempo di acquisizione è dovuta esclusivamente all'elevata richiesta di energia del trasmettitore che scarica le batterie di cui è dotato in 1 ora circa.

Per superare i limiti delle precedenti esperienze basate sulla telemetria (Rider *et al.*, l.c.), determinati dall'elevata rumorosità elettromagnetica dell'ambiente industriale in cui si opera, il ponte radio tra sistema di acquisizione e sistema di elaborazione e memorizzazione è stato realizzato in modulazione di frequenza (FM), che è meno sensibile ai disturbi, in particolare nella trasmissione a corto raggio.

2. Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura

Per definire le caratteristiche tecniche della strumentazione e dei sensori, sono state eseguite una serie di prove preliminari attraverso le quali sono stati misurati i valori del fondo scala degli accelerometri da utilizzare, la relativa banda di misura e la frequenza massima di campionamento. Le prove sono state eseguite monitorando la caduta di frutti di actinidia su superfici di diversi materiali e da varie altezze (tab. 1).

I materiali e le altezze sono state scelte considerando le tipologie costruttive delle linee di lavorazione e dei contenitori normalmente utilizzati per la lavorazione dei frutti utilizzati per le prove. Prima di eseguire le prove ogni frutto è stato sottoposto a misure volte ad accertare la massa e le dimensioni, mentre dopo ogni prova sono state determinate la durezza, i solidi solubili e l'acidità.

Dalle prove eseguite, solo nel caso della caduta sul piano di acciaio rigido è stata rilevata una correlazione altamente significativa tra durezza del frutto e picco di accelerazione.

2.1. Fondo scala

La caduta del frutto, anche da basse altezze (2 cm) e su un materiale relativamente soffice (neoprene), provoca nei tessuti una deformazione permanente; infatti, come si evince dalla figura 1, il grafico dell'accelerazione in funzione del tempo presenta un andamento non simmetrico, che è indice di un urto di tipo elasto-plastico (Mohsenin, 1980). Ciò significa che una quota parte dell'energia viene assorbita dal materiale come deformazione permanente e, quindi, il tessuto vegetale del frutto subisce un danno meccanico a causa dell'impatto. In alcuni casi, questo danno può essere agevolmente rilevato nell'immediatezza dell'evento, poiché si manifesta come una zona appiattita, con perimetro circolare, mentre in altri casi il danno appare durante la fase di conservazione a diverse ore dall'evento traumatico.

Nel corso delle prove, i valori di accelerazione misurati sono stati compresi tra i 147 m/s² (15 g) nel caso di caduta da 0,1 m di altezza su strato di spugna, fino a raggiungere un massimo di 1.128 m/s² (115 g) nel caso della caduta da 0,08 m su piano di acciaio rigido (tab. 2). Tuttavia, è stato scelto per gli accelerometri un fondo scala di 500 m/s² (≈50 g), considerando che il comportamento elastico dei tessuti è stato verificato in urti con accelerazioni inferiori ai 250 m/s² (≈25 g). Il campo di accelerazioni da 250 a 500 m/s² sembra corrispondere ad urti di tipo

Tab. 2 - Accelerazioni misurate durante le prove di caduta di frutti di actinidia su diverse superfici e da diverse altezze

Tab. 2 - Accelerations measured during the test on kiwifruits dropped on different materials and heights

Materiale	Picco di accelerazione misurata(m/s ²)			
	Prova A	Prova B	Prova C	Prova D
Piano rigido d'acciaio	706 (72 g)	932 (95 g)	1.128 (115 g)	-
Neoprene	225 (26 g)	373 (38 g)	569 (58 g)	883 (90 g)
Formica	167 (17 g)	196 (20 g)	422 (43 g)	-
Spugna	147 (15 g)	196 (20 g)	304 (31 g)	-

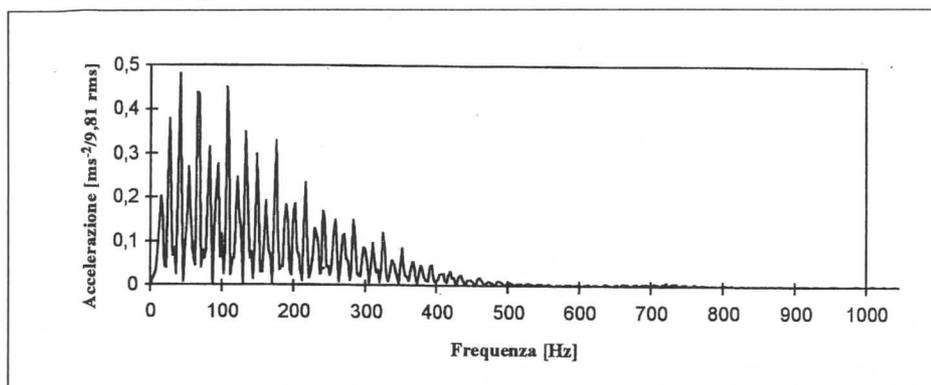


Fig. 2 - Spettro della distribuzione delle ampiezze in valore efficace (RMS) per Hertz di un tipico urto su superficie di acciaio

Fig. 2 - Steel surface impact vibration spectrum (RMS).

elasto-plastico, che tuttavia non provocano deformazioni immediatamente evidenti nella struttura del frutto (fig. 1).

2.2. Banda di misura

Come si evince dal grafico di figura 2, la massima frequenza utile, per descrivere il fenomeno della variazione della velocità durante l'impatto, è stata misurata prossima ai 500 Hz, pertanto la banda del segnale misurato è compresa tra 0 Hz e 500 Hz. Tale risultato, appare legato alle caratteristiche dei tessuti vegetali che compongono il frutto.

2.3. Frequenza di campionamento

In relazione alla sensibilità e al fondo scala desiderati è stato definito il modello commerciale di accelerometri da installare sull'attrezzatura sperimentale (Analog Device mod. ADXL50JH). Come si evince dalla scheda tecnica per tali accelerometri il valore della banda di misura è di 1 KHz, pertanto, per garantire un'elevata qualità dell'acquisizione del segnale e, anche per consentire che l'accelerometro possa tagliare sufficientemente ogni frequenza fuori banda (>2.500 Hz), è stata utilizzata una frequenza di campionamento pari a 5 KHz.

3. Attrezzatura per il monitoraggio delle sollecitazioni meccaniche

L'attrezzatura sperimentale è costituita da:

- un sistema di acquisizione autoalimentato e dotato di radiotrasmettitore da impiegare sulla linea di lavorazione;
- una stazione di ricezione, elaborazione e memorizzazione dei dati.

3.1. Sistema di acquisizione autoalimentato dotato di radiotrasmettitore da impiegare sulla linea di lavorazione

Il sistema di acquisizione è montato su un telaio di fibra di vetro ed è ricoperto da una guaina di gomma siliconica sagomata a forma di sfera.

L'elemento sensibile del sistema di acquisizione è costituito da tre accelerometri monoassiali montati ortogonalmente in un cubo di acciaio di lato 10 mm, sul quale sono stati praticati fori passanti di diametro $8 \pm 0,1$ mm sulle facce (fig. 3).

Ciascun accelerometro monoassiale misura la componente dell'accelerazione lungo il proprio asse e fornisce in uscita un valore equivalente di tensione; gli accelerometri sono tarati per un fondo scala di ≈ 50 g, con una risoluzione limitata dal rumore dell'accelerometro relativamente alla banda passante scelta (256 mg efficaci per 1 KHz, 81 mg efficaci per 100 Hz) ed una banda passante massima da 0 Hz ad 1 KHz.

Al fine di ottenere il modulo del vettore accelerazione misurato dal sensore, il segnale in uscita da ogni accelerometro viene condizionato attraverso un moltiplicatore analogico (MLT04G) a larga banda (8 MHz) a cella di Gilbert, che consente di ottenere in uscita, il quadrato del segnale in ingresso. Inoltre, per la necessità di mantenere il segnale entro il limite imposto dai circuiti a valle, con l'impiego di tre resistori di precisione, i segnali sono convertiti in un valore di tensione pari alla loro media matematica.

Il segnale elettrico così ottenuto è inviato a un convertitore tensione-frequenza di precisione (Analog Device AD537JH), il cui segnale in uscita va a modulare in frequenza, con una tecnica FSK (Frequency Shifting Keys) un oscilla-

tore a radio frequenza oscillante a 433,92 MHz. Il trasmettitore eroga 10 mW su 50Ω ed con un'area di copertura nella trasmissione di raggio pari a 30 m circa.

La banda massima del segnale modulante è di 9.600 Hz, ma attualmente è in fase di sperimentazione la trasmissione con segnali fino a 32 KHz (fig. 4).

3.2. Stazione di ricezione, elaborazione e memorizzazione dei dati

L'apparato ricevente è costituito da un ricevitore-demodulatore (AST215) che restituisce il segnale in frequenza prodotto dal convertitore tensione-frequenza. Ricodizionando questo segnale con l'impiego di uno stadio demodulatore FM a PLL (Phase Locked Loop del tipo HEF4046) è possibile riottenere il segnale in tensione, corrispondente alla media delle tre componenti del vettore di accelerazione elevate al quadrato. Quindi, con un amplificatore operazionale (TL082), il segnale viene amplificato e riportato in un intervallo di tensioni fra $0V \pm +5V$.

Per l'acquisizione del segnale viene impiegato un sistema costituito da un computer notebook con slots full-size e una scheda di input/output analogico/digitale (Keithley mod DAS-1801ST-DA) dotata di campionatore «sample and hold» (SSH) per l'acquisizione simultanea su 8 canali analogici. Il software di gestione della scheda campiona il segnale a 5 KHz ed acquisisce i dati con una risoluzione di 12 bit senza segno. Invece i campioni vengono memorizzati in formato a 16 bit con segno. Considerando la frequenza di campionamento e il numero di canali sui quali viene eseguita l'acquisizione simultanea, un'ora di acquisizione in continuo a 5.000 campioni al secondo corrisponde ad un singolo file memorizzato su hard-disk di dimensione pari a 36 MB ($60 \times 60 \times 5.000 \times 2$).

Il software di gestione prevede che l'acquisizione sia iniziata con un segnale esterno di «trigger» sulla linea digitale della scheda di campionamento dati, questo segnale è sincrono con la partenza del «sistema di acquisizione» sulla linea di lavorazione.

Poiché i campioni sono acquisiti ad intervalli di tempo prestabiliti dalla frequenza di campionamento (200 μ s per 5 KHz), una volta sincronizzato l'avvio della scheda di acquisizione con la partenza del simulatore di frutto, si è in grado di ricostruire temporalmente la sollecitazione meccanica subita dal sistema di rilievo.

Nel caso in cui si desidera elaborare e visualizzare in tempo reale i dati acquisiti è stato messo a punto un software che viene eseguito su due computer collegati in rete locale. Sul primo computer, ove è montata la scheda, il software provvede all'acquisizione e all'archiviazione dei dati nella memoria di massa aggiornando il file di memorizzazione dei dati acquisiti con blocchi da 32.767 dati, corrispondenti a 6,55 secondi ($32.767 \times 0,2$ ms). Sul secondo computer, collegato in rete con il primo, viene eseguito il programma che accede in condivisione al file dei dati ed appena ne sono disponibili di nuovi calcola il valore del modulo del vettore di accelerazione, moltiplicando per la costante di taratura i dati acquisiti e quindi estraendone la radice quadrata.

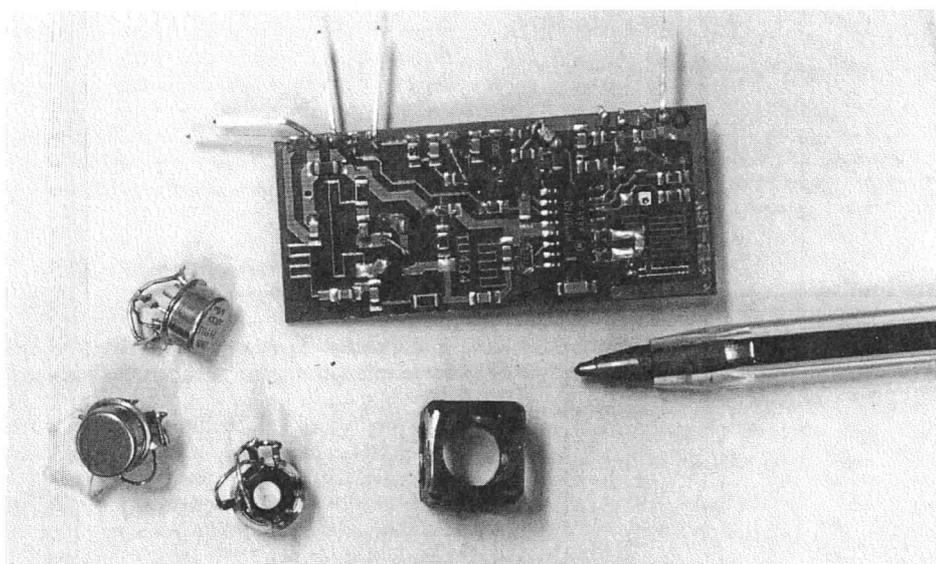


Fig. 3 - Gli accelerometri e la scheda dei circuiti utilizzati nell'attrezzatura sperimentale.
Fig. 3 - Experimental equipment accelerometers and circuit board view.

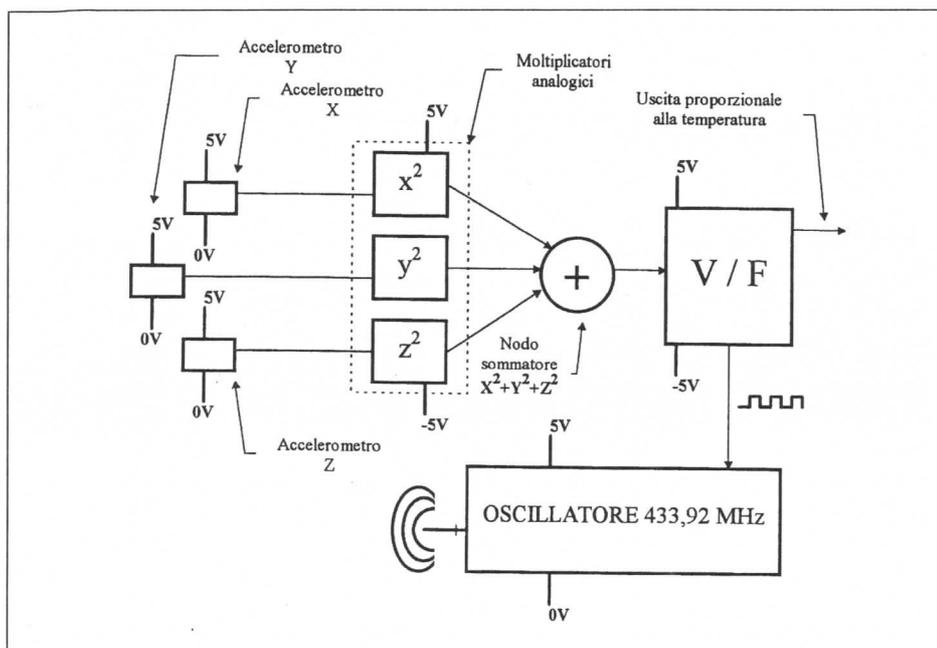


Fig. 4 - Schema a blocchi dell'attrezzatura utilizzata per l'acquisizione delle sollecitazioni meccaniche.
Fig. 4 - Schematic lay-out of the equipment use for monitoring mechanical stresses.

3. Miglioramenti futuri

Il prototipo realizzato è ancora in fase di evoluzione, poiché è in fase di progetto un nuovo rivestimento esterno e un circuito per ridurre la potenza assorbita e quindi diminuire le dimensioni delle batterie e/o aumentare l'autonomia del «sistema di acquisizione».

Tale circuito, che andrà a sostituire il circuito moltiplicatore, è costituito da un microcontrollore della famiglia ST6 della SGS-THOMSON che verrà programmato per svolgere le seguenti funzioni: acquisire i dati dai tre accelerometri; leggere il livello di tensione da un sensore di temperatura; combinare queste quattro informazioni in un segnale a frequenza variabile

che verrà utilizzato per pilotare con una tecnica FSK (Frequency Shifting Keys) l'apparato di trasmissione. È previsto che il dato riguardante la temperatura venga introdotto nel segnale ad onda quadra come una variazione del suo «duty cycle» (il rapporto fra il tempo durante il quale il segnale è a livello 1, con il tempo durante il quale il segnale è a livello logico 0). Per mantenere su bassi livelli il rumore del segnale, l'ampiezza dell'onda quadra non verrà modulata.

5. Conclusioni

Le prove preliminari hanno consentito di definire le caratteristiche tecniche degli accelero-

metri e del sistema di misura. Il primo prototipo di attrezzatura è stato realizzato e consente di acquisire con continuità le sollecitazioni meccaniche subite e di correlare le sollecitazioni misurate con la relativa posizione. Inoltre, presenta un'elevata sensibilità dei sensori impiegati e un basso costo.

L'attrezzatura è allo stato attuale in fase di collaudo, al fine di verificare sia dal punto di vista elettronico che meccanico l'affidabilità della misura eseguita. Allo stato attuale si sta operando per ridurre il fabbisogno di energia dei circuiti impiegati, che limita l'impiego dell'attrezzatura a 1 ora di uso continuativo. Per questo l'attrezzatura è ancora in fase di evoluzione, poiché si intende modificare il materiale del rivestimento esterno e ridurre i circuiti attualmente presenti in un unico integrato, che consentirebbe di diminuire drasticamente le dimensioni, i problemi di cablaggio ed il consumo di energia, con la possibilità di mettere a punto un'attrezzatura standard per il controllo delle linee di lavorazione.

BIBLIOGRAFIA

- ALDRED W.H., BURCH J.J., 1977. *Telemetry and microcomputer system aids investigation of forces on peaches during mechanical harvesting*. ASAE Paper No. 77-1527. St. Joseph, MI: ASAE.
- HALDERSON J.L., PETERSON C.L., DAIGH R.C., 1983. *A telemetry device for impact detection*. In Proceedings of the National Conference on Agricultural Electronics Application, Agricultural Electronics - 1983 and Beyond. ASAE SP # 9-84: 773-780.
- KLUG B.A., TENNES B.R., ZAPP H.R., SIYAMI S., CLEMENS J.R., 1987. *Software for a miniature data acquisition device*. Transactions of the ASAE 30(6): 1818-1821.
- MOHSEIN N.N., 1970. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, Second Updated and Revised Edition 1986: 8.5-Detection and Evaluation of Mechanical Damage 493-498, 8.6-Impact Damage 498-549.
- O'BRIEN M., FRIDLEY R.B., GOSS J.R., SCHUBERT J.F., 1973. *Telemetry for investigating forces on fruits during handling*. Transactions of the ASAE 16(2): 245-247.
- RIDER R.C., FRIDLEY R.B., O'BRIEN M., 1973. *Elastic behavior of a pseudo-fruit for determining bruise damage to fruit during mechanized handling*. Transactions of the ASAE 16(2): 241-244.
- TENNES B.R., ZAPP H.R., BROWN G.K., EHLERT S.H., 1988. *Self-contained impact detection device: calibration and accuracy*. Transactions of the ASAE 31(6): 1869-1874.
- ZAPP H.R., ELHERT S.H., BROWN G.K., ARMSTRONG P.R., SOBER S.S., 1990. *Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements*. Transactions of the ASAE 33(3): 955-960.

Ricerca svolta con finanziamento MURST ex 40% nell'ambito del progetto «Miglioramento della qualità dei prodotti ortofrutticoli nella post-raccolta. Metodologie innovative di valutazione e riduzione dei danni».