

COMBINAZIONE DI TECNICHE TERMOGRAFICHE E AD ULTRASUONI "AIR COUPLED" PER ISPEZIONE DI PRODOTTI ALIMENTARI DA FORNO

Pietro Burrascano, Marco Ricci, Luca Senni

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Polo Scientifico Didattico di Terni
Università degli Studi di Perugia
Strada di Pentima 4, Terni 05100

Lo stretto legame che negli anni ha avvicinato sempre più l'Unità alle aziende Umbre, ha determinato il crescente interesse delle stesse allo sviluppo di sistemi non distruttivi per il controllo di qualità dei prodotti finiti. In particolar modo nel settore dei prodotti alimentari da forno la possibilità di incrementare con nuove tecniche non distruttive l'efficacia dei controlli di qualità, rappresenta per le aziende un traguardo importante e valorizzante. Grazie all'utilizzo di tecniche avanzate per NDT, infatti, possono essere raggiunti target quali l'individuazione di inquinanti solidi in prodotti da forno, e la conseguente espulsione del prodotto non idoneo dalla linea di produzione. A tale scopo devono essere elaborate procedure di controllo on-line che si basano su una serie di misurazioni e su decisioni automatiche.

In questo contesto l'Unità di Terni è impegnata con Colussi S.p.A. nel progetto di ricerca dal titolo '*Studio nuove metodiche e tecnologie avanzate per intercettazione inquinanti fisici e ottenimento di prodotti da forno di alta qualità*', che coinvolge più aziende e si prefigge come obiettivo finale l'individuazione della tecnologia più consona all'impiego in linea, la automatizzazione del controllo stesso e l'espulsione dalla linea del prodotto difettato. Tra le varie metodologie di NDT, sono state prese in considerazione per il problema specifico le tecniche ultrasonore Air-Coupled e la termografia ad infrarossi, che rappresentano le due tecniche più promettenti ed innovative nel settore alimentare [1-5].

Per quanto riguarda le tecniche ad ultrasuoni, l'Unità ha sviluppato negli anni precedenti un protocollo di imaging 2-D basato sull'utilizzo di sequenze Pseudo Noise e Pseudo Ortogonali [6] che consente, oltre alla possibilità di eseguire misure simultanee, di incrementare notevolmente il SNR sulle singole misure.

Tale protocollo è stato impiegato per realizzare la tomografia di prodotti da forno, utilizzando opportune sonde *air-coupled* (si sfrutta l'aria come mezzo accoppiante). In generale l'utilizzo di sonde *air-coupled* riduce di molto la sensibilità in generazione e acquisizione ma permette di eseguire dei test automatici diminuendo notevolmente le difficoltà di misura connesse alla necessità di accoppiare trasduttori e campioni in esame nei test tradizionali; nel caso specifico dell'industria alimentare, l'accoppiamento in aria si rende necessario nei casi, come il presente, dove altri mezzi accoppianti (acqua, gel, olio..) altererebbero i campioni da analizzare.

Per ottimizzare le immagini ottenute:

- 1) la procedura è stata estesa a diverse tecniche di compressione di impulso. Oltre alle sequenze cosiddette MLS - Maximum Length Sequences - e alle famiglie da esse derivate, tutte basate sull'utilizzo di codici lineari con registro a scorrimento - Linear Feedback Shift Register [7-8], si è provata l'efficacia dell'utilizzo di eccitazioni di tipo chirp, nonché di sequenze provenienti dalla binarizzazione di traiettorie generate utilizzando opportune mappe caotiche [9-10].
- 2) Sono stati realizzati e sviluppati specifici dispositivi elettronici per generare le sequenze binarie di eccitazione necessari per pilotare i trasduttori.
- 3) Sono stati utilizzati diversi algoritmi di analisi al fine di individuare il parametro ottimale per l'individuazione degli inquinanti tra cui: tecniche di deconvoluzione, filtri digitali, tecniche di analisi congiunte nel dominio del tempo e della frequenza.

Gli algoritmi descritti sono stati sviluppati per aumentare il rapporto segnale-rumore e la risoluzione delle misure ultrasonore. Una volta ricostruite le immagini (Fig.1), sono stati utilizzati altri algoritmi di elaborazione di immagine per aumentare la risoluzione delle stesse tenendo conto della dimensione dello spot delle sonde.

Inoltre al fine di individuare il parametro ottimo per la ricostruzione delle immagini è stata effettuata anche una analisi tempo-frequenza tramite la trasformata di Wigner-Ville.

Le mappe tempo-frequenza permettono infatti la caratterizzazione ultrasonora dei materiali, come mostrato in Fig.2 per la plastica. Le immagini sulla destra mostrano come sia possibile identificare un materiale in base alle sue caratteristiche di risposta in frequenza, la caratterizzazione di un materiale permette poi il

riconoscimento dell' o stesso all'interno di un campione.

Dalle sperimentazioni effettuate fino ad ora risulta evidente che la tecnica ad ultrasuoni 'air-coupled' è utilizzabile ed ha notevoli potenzialità al fine di individuare e soprattutto caratterizzare un difetto volumico all'interno di un biscotto.

Un'altra soluzione possibile è l'analisi diretta della risposta del campione ad una eccitazione termica a gradino. Tale eccitazione può essere rappresentata dall'uscita dal forno da cui escono i campioni per la cottura. L'acquisizione avviene per mezzo di una termocamera con rilevatore infrarossi ad alta definizione.

Inoltre si può ipotizzare che i campioni e gli eventuali difetti escano alla stessa temperatura dal forno e che, dati i differenti coefficienti di raffreddamento degli inquinanti rispetto al biscotto, i difetti siano caratterizzati da differenti andamenti in temperatura nella fase di raffreddamento rispetto al biscotto stesso.

Mediante l'elaborazione di algoritmi di analisi dell'immagine (software Matlab) è possibile individuare il prodotto con difetto in modo più rapido ed economico. Sono stati implementati due principali tipi di analisi: uno che permette di seguire l'andamento della temperatura nel tempo (raffreddamento) su un'area definita in pixels (Fig.3), l'altro che individua il difetto mediante elaborazione della singola immagine Jpg-IR contenente i dati di temperatura.

Bibliografia

- [1] E. H-ggstrom, M. Luukkala, Air-coupled ultrasonic evaluation of food materials, *Food Control* **12**, 37-45 (2001)
- [2] P. Pallav, D. A. Hutchins, T. H Gan, Air-coupled ultrasonic evaluation of food materials, *Ultrasonics* **49**, (2), 244–253 (2009)
- [3] D. Knorr, M. Zenker, V. Heinz, Dong-Un Lee, Applications and potential of ultrasonics in food processing, *Trends in Food Science and Technology* **15**, 261–266 (2004).
- [4] P. Pallav, G.G. Diamond, D.A. Hutchins, R.J. Green, and T.H. Gan, A Near-Infrared (NIR) Technique for Imaging Food Materials, *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* **74**, (1), (2009)
- [5] A.A. Gowen, B.K. Tiwari, P.J. Cullen, K. McDonnell and C.P. O'Donnell, Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment, *Trends in Food Science & Technology* **20**, 1-11 (2010).
- [6] Burrascano P, Pirani A, Ricci M, Exploiting Pseudo Orthogonal PN-Sequences for Ultrasonic Imaging System, *Proceedings of the 2009 WRI World Congress on CSIE 07*, 181-185 (2009)
- [7] S.W. Golomb, *Shift Register Sequences*, Holden-Day, San Francisco ,1967.
- [8] D.V. Sarwate, M.B. Pursley, *Proc. IEEE* **68** (5), 593-619, (1980).
- [9] P. Pallav, T.H. Gan, and D.A. Hutchins, Elliptical-Tukey Chirp Signal for High-Resolution, Air-Coupled, *Ultrasonic ImagingIEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control* **54**, (8), (2007).
- [10] G. Mazzini, G. Setti, R. Rovatti, Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA. Part I: System modeling and results *IEEE TRANS. ON CIRCUITS AND SYSTEMS I* **44**, (10), 937-947 (1997)

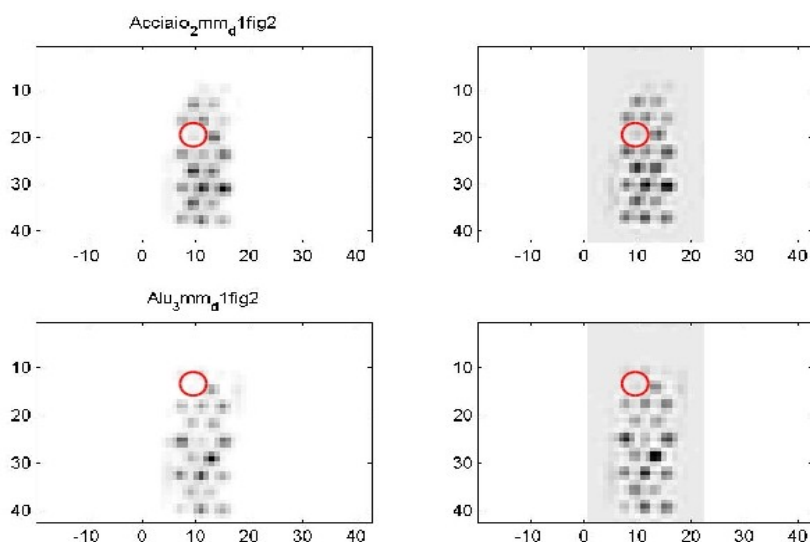


Fig.1: Immagini ultrasonore di campioni con difetti rispettivamente di: Acciaio (sopra) e Alluminio (sotto)

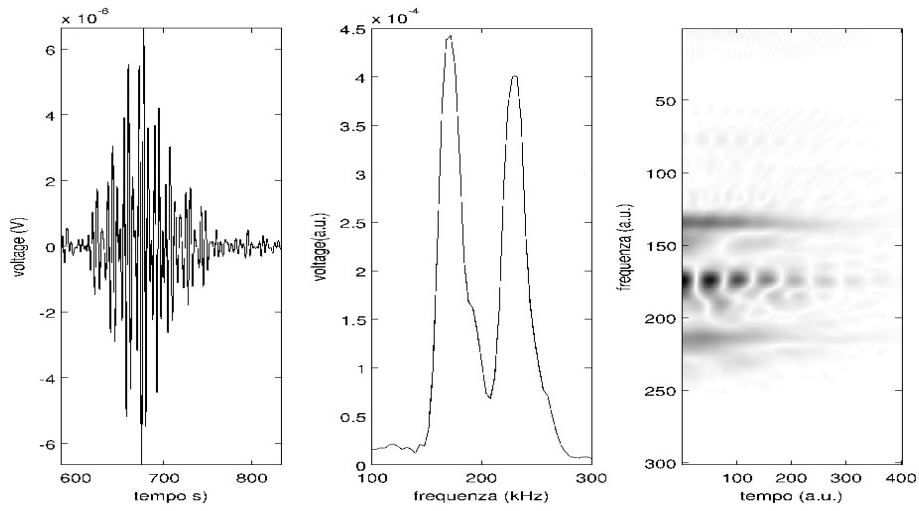


Fig.2: Plastica: segnali nel dominio del tempo, della frequenza, e nel piano tempo-frequenza. Nelle tre immagini da destra verso sinistra sono mostrate: - la risposta impulsiva, - la risposta in frequenza (trasformata di Fourier), - la mappa tempo frequenza

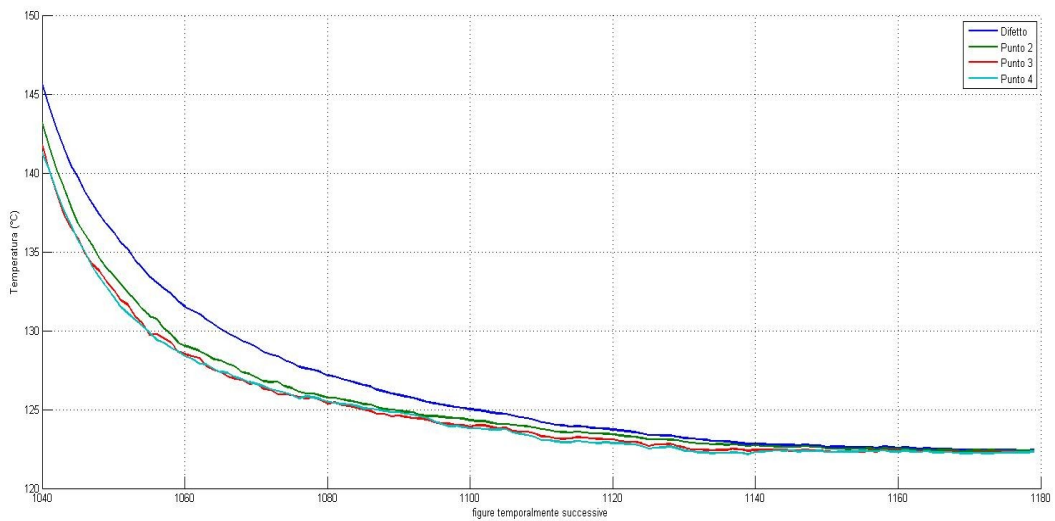


Fig.3: Andamento nel tempo della temperatura in quattro piccole aree selezionate, in blu l'andamento in corrispondenza del difetto.