

IoT per l'agri-food: gestione e analisi di dati multisensoriali per il monitoraggio e controllo della filiera alimentare

Luca Vollero⁽¹⁾, Marco Santonico⁽²⁾, Giorgio Pennazza⁽²⁾, e Giulio Iannello⁽¹⁾

⁽¹⁾ Università Campus Bio-Medico di Roma, Unità di Sistemi di Elaborazione e Bioinformatica

⁽²⁾ Università Campus Bio-Medico di Roma, Unità di elettronica per Sistemi Sensoriali

Abstract

Le tecnologie legate all'*Internet of Things* (IoT) permettono la generazione, la condivisione e il trattamento dei dati in diversi contesti applicativi: industriale, medicale e alimentare. La disponibilità di piattaforme programmabili con prestazioni sempre più elevate e l'evoluzione delle tecnologie di comunicazione consentono lo sviluppo di nuovi paradigmi pervasivi di distribuzione dell'intelligenza, che abilitano modelli innovativi per il monitoraggio, l'ottimizzazione, la gestione e il controllo dei processi industriali. Nell'agri-food l'IoT può trovare diversi campi applicativi: dal monitoraggio e ottimizzazione di processo al tracciamento del prodotto di qualità. In questo lavoro vengono presentati alcuni approcci di sistemi sensoriali e piattaforme per il settore agroalimentare.

1 Introduzione

L'*Internet of things*, intesa come la capacità di far dialogare dispositivi diversi in un contesto di estensione al mondo reale dei sistemi di elaborazione dei dati, sta contribuendo a cambiare i paradigmi di progettazione e utilizzo anche dei dispositivi che interagiscono con l'ambiente. Il termine sensore nella sua accezione più rigorosa identifica un dispositivo elettronico in grado di interagire con una grandezza chimica, fisica o biologica modificando una delle sue proprietà. Attualmente, esso, acquisisce un significato diverso e più ampio, come dispositivo di trasduzione integrato in sistemi per l'immagazzinamento, l'elaborazione e la trasmissione dei dati. Inoltre, il sensore singolo, ha sempre meno senso come unità di misura, mentre è vincente il paradigma che vede più sensori dialoganti tra loro, orchestrati e con informazioni collezionate da unità centralizzate, tipicamente in *cloud*. Il compito di tali network di sensori consiste non solo nel gestire le informazioni ma di estrarne quello che viene detto "valore", ovvero informazioni utili a comprendere meglio e intervenire sui sistemi e processi monitorati. Molto spesso il *sensing* e il *processing* si distribuiscono in un processo che include l'*edge*-, il *fog*- e il *cloud-computing*, trasformando l'intera catena IoT, da una semplice catena di acquisizione e

distribuzione delle informazioni a una di elaborazione distribuita.

Secondo questo modello, un sensore integrato in un sistema IoT può essere modellizzato come un filtro dati, i cui compiti di condizionamento delle informazioni dipendono dalla complessità del "sistema" sensore. Il sensore non trasmette più il dato grezzo, ma qualcosa di più intellegibile e vicino al risultato finale, il che consentirebbe di parlare di "*Internet of Think*". Questo modello di sensoristica IoT è stato considerato in questo lavoro in riferimento a sistemi multisensoriale sviluppati presso il Campus Bio-Medico di Roma e applicati alla gestione della filiera produttiva dell'olio extravergine di oliva e del vino.

2 Materiali e metodi

2.1 Descrizione del Sistema multisensoriale

I dispositivi sensoriali descritti in questo lavoro integrano un principio di trasduzione che può essere di tipo elettrochimico o di tipo ottico, e sono stati realizzati secondo un modello a due componenti, una specifica della parte di trasduzione e una comune di comunicazione, per facilitare la loro integrazione, anche contemporanea, nella stessa piattaforma IoT. Il primo componente si occupa di (i) trasduzione fisica, (ii) di condizionamento elettronico dei segnali e (iii) di primo condizionamento digitale del dato. Il secondo componente permette la semplice integrazione del dispositivo all'interno di piattaforme IoT, provvedendo a funzionalità di elaborazione *on-board* e di trasmissione, unificata in termini di codifica dei dati, verso il *cloud*.

Nel caso del primo principio di trasduzione il dispositivo gestisce le informazioni che provengono da elettrodi immersi in soluzione. L'interazione elettrodo-soluzione è modellizzata mediante l'applicazione di potenziali variabili, fornendo in uscita un pattern di risposte in corrente (μA) (Santonico *et al*, 2013). Le caratteristiche dei pattern sono tipiche della soluzione analizzata e possono essere elaborate sul dispositivo o da remoto tramite modelli statistici o mediante tecniche di *machine learning* e *pattern recognition*.

Una strategia analoga viene adottata nel caso del secondo principio di trasduzione. In questo caso il dispositivo, composto da un emettitore e un ricevitore, può interagire

con il campione a differenti lunghezze d'onda ottenendo pattern multispettrali caratteristici. Anche in questo caso i pattern sono tipici del composto analizzato e possono essere elaborati mediante tecniche di classificazione.

La componente comune di trattamento digitale e di comunicazione del dato segue il modello modulare presentato in (Cordelli *et al.*, 2018). Il nodo IoT presenta una logica di elaborazione *edge* che consente di produrre una prima analisi del pattern basata su un database locale e una logica di caricamento del pattern in un database in *cloud*.

I sistemi precedentemente descritti richiedono dal punto di vista elettronico circuiti stabili e ad elevata risoluzione, mentre per il processo di elaborazione e trasmissione dei dati sistemi hardware veloci e programmati con firmware ottimizzati. La gestione centralizzata del dato permette di ottenere un riferimento sulla dinamica produttiva (Figura 1).

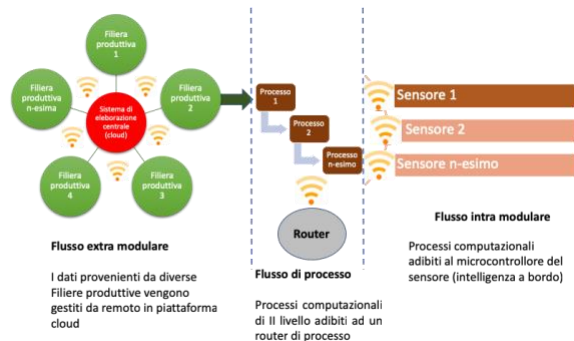


Figura 1: architettura IoT per trasferimento dati in applicazione Agri- Food.

2.2 IoT e data processing distribuito per la filiera

I sistemi IoT introdotti nella precedente sezione possono essere integrati facilmente all'interno di una tipica filiera produttiva agroalimentare. Tali filiere sono caratterizzate da diversi punti di realizzazione di prodotti parziali (semilavorati) o definitivi (prodotto finale), collegati attraverso fasi di trasformazione, secondo una struttura a grafo in cui i punti di prodotto sono dei nodi e le fasi di trasformazione degli archi. Facendo riferimento al modello di Figura 2, diverse materie prime vengono combinate per produrre semilavorati, che a loro volta sono combinati per produrre altri semilavorati in una successione che porta al prodotto finale. Le materie prime, i semilavorati e i prodotti finali possono essere oggetto di monitoraggio, isolato o integrato. In caso di monitoraggio isolato, i soli parametri del nodo sono utilizzati per la valutazione del prodotto/semilavorato/materia, mentre nel secondo caso tali parametri sono arricchiti con quelli provenienti dai nodi precedenti e sono comunicati ai nodi successivi in filiera. La scelta del modello o di una variante di quelli presentati dipende dall'applicazione e dalle reali necessità della filiera. I sensori presentati in questo lavoro sono pensati per inserirsi in tutti i punti di monitoraggio e per poter lavorare sia in modo isolato che in modo integrato. In entrambi i casi, i dati raccolti sono comunque comunicati in un database in *cloud*.

3 Risultati e conclusioni

L'architettura multisensoriale proposta è stata applicata alla caratterizzazione dell'olio extravergine di oliva e in campo enologico per la caratterizzazione del vino.

Nel primo caso il sensore è stato calibrato per essere inserito all'interno di una cuvetta di 4 mL contenente il campione d'olio. L'analisi mediante il sensore ha permesso di estrapolare una serie di *fingerprint* caratteristici dei campioni in termini di parametri chimico-fisici (polifenoli, acidi grassi, acidità totale etc). Tali *fingerprint* sono stati di volta in volta confrontati con un modello interno presente nel μC per la predizione del dato di interesse (Santonico *et al.* 2015). Il dato del sensore viene inviato in *cloud*, gestito e confrontato con altri generati da produttori di aree geografiche differenti. La gestione centralizzata del dato permette di ottenere un riferimento sulla dinamica produttiva.

Nel secondo caso, in cui è stata utilizzata la trasduzione ottica, il sistema è stato calibrato su campioni di vino a differenti gradazioni alcoliche. Il vantaggio di tale sistema è che il vino, nella visione industrializzata, potrà essere monitorato in modalità continua senza aprire la bottiglia ma interrogando il sensore posizionato sul tappo. L'intelligenza a bordo del sistema potrà interagire con App opportunamente progettate per fornire informazioni direttamente sul prodotto imbottigliato.

Il vantaggio dei sistemi descritti è il loro elevato potere risolutivo per le analisi di interesse e la standardizzazione dei moduli utilizzati. Questo permette una generalizzazione della modalità di analisi e una ridotta complessità computazionale dell'architettura software.

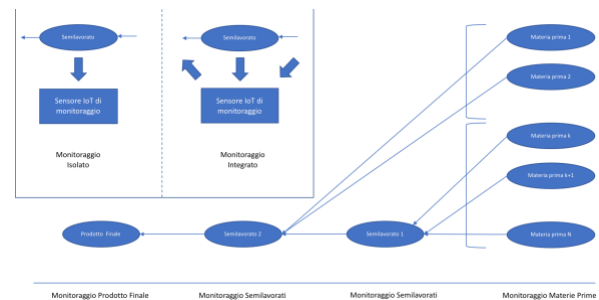


Figura 2: Integrazione di un sistema di IoT di monitoraggio in filiera agri-food.

Riferimenti bibliografici

- [Santonico *et al.* 2015] Santonico, M., et al. "Unmasking of olive oil adulteration via a multi-sensor platform." *Sensors* 15.9 (2015): 21660-21672.
- [Cordelli *et al.* 2018] Cordelli, E., et al. An Open-Source Smart Sensor Architecture for Edge Computing in IoT Applications. *Proceedings of Eurosensors 2018*, 2, 955.
- [Santonico *et al.* 2013] Santonico, M., et al. "Design and test of a biosensor-based multisensorial system: a proof of concept study." *Sensors* 13.12 (2013): 16625-16640.