

Progetto Compostino: monitoraggio e controllo del processo di compostaggio

Con il Progetto Compostino l'ENEA sperimenta l'opportunità di dotare, anche nelle attrezzature più semplici ed economiche di compostaggio, sistemi di monitoraggio e controllo basati sulla piattaforma Arduino e sulla relativa sensoristica

DOI 10.12910/EAI2017-071

di **Fabio Musmeci**, ENEA

Il Progetto Compostino è finanziato dalle linee di attività del Piano Triennale della Ricerca e Sviluppo di interesse generale per il Sistema Elettrico Nazionale e, più in particolare, dal Piano Annuale di Realizzazione 2016, per quanto attiene all'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", Tema di Ricerca "Smart cities e smart communities", Progetto D.6 "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano".

Questo progetto si basa su due distinte constatazioni.

La prima è che il compostaggio a piccola scala dovrebbe avere nel

futuro una larga diffusione. Oggi vi sono opportunità per installazioni fino a 80 t/anno (con conferimento da parte del sistema di raccolta differenziata e uso qualsiasi del compost) e fino a 130 t/anno per il compostaggio di comunità (conferimento diretto dei cittadini e uso in proprio del compost prodotto). Al contrario non vi è un limite di legge per l'autocompostaggio di una singola utenza. Resta aperto, in questo settore, il problema di attrezzature per il monitoraggio e il controllo di processo adottato, invece, in alcune delle scale industriali più grandi e sofisticate.

La seconda riguarda l'elettronica e

la diffusione di Arduino e delle sue applicazioni.

Arduino è una piattaforma hardware composta da una serie di schede elettroniche dotate di un microcontrollore. È basato su un'idea sviluppata in Italia come strumento per la prototipazione rapida e per scopi hobbistici, didattici e professionali.

Arduino è un progetto *open source*: chiunque può accedere liberamente agli schemi elettrici della scheda e al software di programmazione. Questo ha permesso la nascita di molte altre schede, dette "cloni", con caratteristiche aggiuntive o più minimali. Grazie all'*open source*, la comunità degli utilizzatori di Arduino

e in generale dei *makers*, o artigiani digitali, è cresciuta in modo esponenziale negli ultimi anni. I *makers* costituiscono un movimento culturale contemporaneo che rappresenta un'estensione su base tecnologica del tradizionale mondo del bricolage. Massimo Banzi, fra gli inventori di Arduino, sostiene¹ che "Arduino continuerà ad applicare la sua ricetta vincente per la democratizzazione dell'Internet of Things per le persone, gli insegnanti, i liberi professionisti e le aziende".

Insieme ad Arduino sono stati sviluppati, da numerose aziende elettroniche, sensori a basso costo che permettono l'acquisizione di dati di varia natura. I prezzi di seguito indicati sono quelli relativi a quelli trovati sulle principali piattaforme di *e-commerce*.

Il processo di compostaggio

Si può sinteticamente suddividere il processo di compostaggio in due fasi:

- una prima fase, detta attiva, la cui durata è di poche settimane; durante questa fase i batteri producono calore e la massa aumenta di temperatura e l'umidità diminuisce;
- una seconda fase, detta di maturazione, con una durata superiore anche ai 2-3 mesi. In questa fase la temperatura scende arrivando a quella ambientale e l'umidità diminuisce.

Nella fase attiva, vengono facilmente raggiunte temperature superiori ai 55 °C. Questo permette la igienizzazione naturale della massa.

La respirazione dei microorganismi consuma ossigeno e produce anidride carbonica.

L'aumento di temperatura produce emissione di vapore e una diminuzione di peso, essenzialmente dovuta alla perdita d'acqua, che arriva a circa il 30% del peso dell'immesso.

Tra le varie attrezzature che si possono menzionare per attuare il compostaggio a piccola scala si stanno sperimentando sistemi di monitoraggio e controllo per compostiere elettromeccaniche. Queste macchine, della capacità da poche a centinaia tonnellate/anno, sono composte da (Figura 1):

- una zona di conferimento rifiuti organici + strutturante con un tri-

e spesso ricoperte da un isolatore termico (tipo neoprene);

- da un sistema di areazione forzata tipicamente composto da una ventola che estrae l'aria;
- da un sistema di abbattimento degli odori (biofiltro) che potrebbero generarsi nel caso di una cattiva gestione del macchinario;
- un'area dove terminare la maturazione (seconda fase), per esempio in cumulo.

Il sistema proposto, per il monitoraggio e il controllo del compostaggio, è basato su una rete di sensori che inviano via radio le misure ad



- turatore (opzionale) che sminuzza gli scarti;
- una o più camere (tipicamente di forma cilindrica) ove gli scarti di cucina e lo strutturante subiscono la prima fase di compostaggio. L'avanzamento della massa è assicurato dalla presenza di braccia meccaniche (aspi) o dalla rotazione dell'intera camera. Le camere sono tipicamente in acciaio inossidabile

un nodo centrale che poi le invia ad un server web. Esistono vari modelli di Arduino. L'Arduino nano è stato selezionato per le sue piccole dimensioni e per la porta seriale integrata. La Arduino Nano 3.3 è una scheda basata sul microcontrollore ATmega328. La scheda Arduino è dotata di 14 pin di input/output digitali, 8 input analogici, un quarzo a 16 MHz, un connettore Mini-B USB,

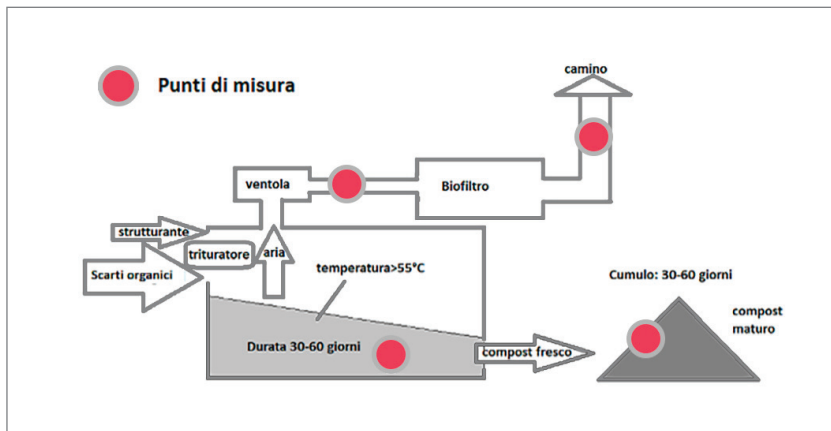


Fig. 1 Schema di un compostatore elettromeccanico e punti di misura suggeriti

un connettore per la programmazione ICSP ed un pulsantino per il reset della scheda.

Per cominciare ad utilizzare la Arduino Nano 3.3 è semplicemente necessario connettere la scheda ad un PC tramite un cavo mini-USB oppure fornire una tensione di alimentazione esterna non regolata compresa fra 6 V e 20 V collegandola al pin 30 oppure fornire una tensione di alimentazione regolata a 5V collegandola al pin 27. La sorgente di alimentazione viene selezionata automaticamente scegliendo quella che fornisce il valore di tensione maggiore.

La scheda Arduino Nano 3.3 è compatibile con molte schede (*shield*) progettate per la Arduino Duemilanove o Diecimila. Il costo di un Arduino nano (clone) è di circa 2 euro cadauno. Per le trasmissioni interne alla rete si è scelto il modulo nRF24L01 a 2,4 GHz preferendolo alle trasmissioni *bluetooth*. Il costo è di circa 2 euro a modulo. Sono necessari però resistenze e condensatori per essere utilizzati con Arduino. È consigliabile quindi l'acquisto di adattatori (costo 1,5 euro). Per la trasmissione dati al server web si stanno sperimentando i moduli GSM/GPRS/SMS tipo SIM800L e i

SIM900 (circa 15/20 euro) dotati di schede M2M (Machine to Machine). La SIM800L ha un'alimentazione da 3,4 V a 4,5 V e richiede quindi uno *stepdown* per ridurla da quella disponibile su Arduino. Fortunatamente la SIM800L versione 2 fornisce la possibilità di essere alimentata a 5 V ed è quindi compatibile con un'alimentazione di Arduino.

Per quanto attiene alla misurazione sono stati identificati quattro punti:

- Nel materiale interno al corpo della macchina ove rilevare temperatura ed umidità. Il collegamento con il corpo macchina cilindrico, qualora esso ruoti, rappresenta un problema (se si esclude la soluzione con contatti striscianti) che è stato affrontato con un'alimentazione wireless o con un rilevamento della sola temperatura con un sensore ad infrarosso. La Figura 2 presenta un prototipo dove un apparato composto dal sensore, da Arduino e da un trasmettitore radio che rileva la temperatura e la trasmette ad un altro Arduino che, nell'esempio, è collegato al display LCD (6 euro). L'alimentazione è presente solo in posizione di riposo e non durante la rotazione (che

avviene raramente, per esempio una volta all'ora) in quanto il dato sarebbe privo d'interesse. Mentre questa soluzione può essere adottata anche per l'umidità, lo stesso non si può dire per l'infrarosso che, oltre ad essere limitato alla sola temperatura, dovrebbe correlare la temperatura esterna a quella interna, magari rimuovendo l'isolamento termico. I sensori di temperatura e umidità hanno costi inferiori ai 5 euro. I sensori che fornivano l'umidità relativa hanno fornito quasi sempre valori limite al 100%.

- All'uscita della ventola e prima del biofiltro. In questo caso può essere anche utile rilevare la CO₂ (che è complementare all'ossigeno e il cui rilevamento possiamo omettere), il metano (per evidenziare processi anaerobici) e l'ammoniaca. Non sono stati trovati sensori economici per l'ammoniaca che può qui raggiungere concentrazioni anche superiori ai 3000 ppm prima del biofiltro. In questa posizione e nella successiva è utile effettuare delle misure di portata d'aria (diverse decine di m³/ora) in funzione del regime della ventola in modo da trasformare le concentrazioni in portate. A titolo d'esempio per una macchina con un m³ di materiale, in tipica lavorazione, si hanno concentrazioni di CO₂ intorno al 2% (in atmosfera si hanno concentrazioni di 0,04%) e portate inferiori ai 200 g/h emesse in atmosfera.
- Dopo il biofiltro prima dell'immissione in atmosfera. Qui è possibile rilevare anche l'ammoniaca con sensori di costo non troppo elevato (esempio TGS2444 a circa 75 euro/cad) con risoluzioni che arrivano ai 300 ppm; questi sensori sono utilizzati negli al-

levamenti. Le misure hanno evidenziato la quasi totale cattura dell'ammoniaca dal biofiltro. Si ritiene che l'ammoniaca sia un buon indicatore *proxy* del cattivo odore percepito.

- Nel cumulo di maturazione. Per il cumulo si sono utilizzate aste in alluminio con punte realizzate in PLA (acido polilattico) con la stampante 3D che ospitano i sensori (Figura 3). Al fine di trovare sperimentalmente l'angolo (alla punta del cono) ottimale per la penetrazione nel cumulo si sono realizzate diverse punte e trovato l'ottimo sperimentalmente su cumuli di diversa consistenza. I risultati mostrano un ottimo intorno ai 60°. Risultato, questo, adottato anche nei penetrometri in uso nella geotecnica.

Data l'eterogeneità intrinseca nella massa processata, che porta i parametri (es. la temperatura) a variare di alcuni gradi anche in materiali limitrofi, non sono richieste particolari accuratizzazioni nelle misure. In altre parole errori dell'ordine del grado sono ampiamente tollerabili. Per la temperatura, che rappresenta forse il più importante parametro di processo, sono disponibili varie soluzioni per il *range* desiderato: 0-80 °C per il corpo macchina e 0-60 °C per l'aria e i cumuli. Tra queste vi sono:

- Le termocoppie: in un circuito formato da due conduttori di natura differente, sottoposto a un gradiente di temperatura, s'instaura una differenza di potenziale. Questo fenomeno è sfruttato dalle termocoppie. Esiste una grande varietà di termocoppie, distinguibili in base ai due conduttori elettrici che compongono la giunzione e al campo di applicazione. Nel pro-

getto si stanno sperimentando le termocoppie di tipo K, che sono di uso generale, economiche e disponibili in una grande varietà di formati. La termocoppia acquistata ha un *range* da 0 °C a 800 °C. La sensibilità è di circa 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Il segnale va quindi amplificato. Una termocoppia con il modulo di amplificazione MAX6675 può essere acquistata a circa 4 euro.

- La termoresistenza: un sensore

cializzato in due classi di diversa tolleranza. Il TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*) di una termoresistenza indica la variazione media per grado celsius del valore della resistenza fra gli 0 °C e i 100 °C. Il PT100 ha un TCR molto basso e la lettura da parte di Arduino ha bisogno di amplificazione, per esempio con un MAX31865, acquistabile per circa 5 euro. Il PT100 può essere acquistato per circa 1 euro. *Ran-*

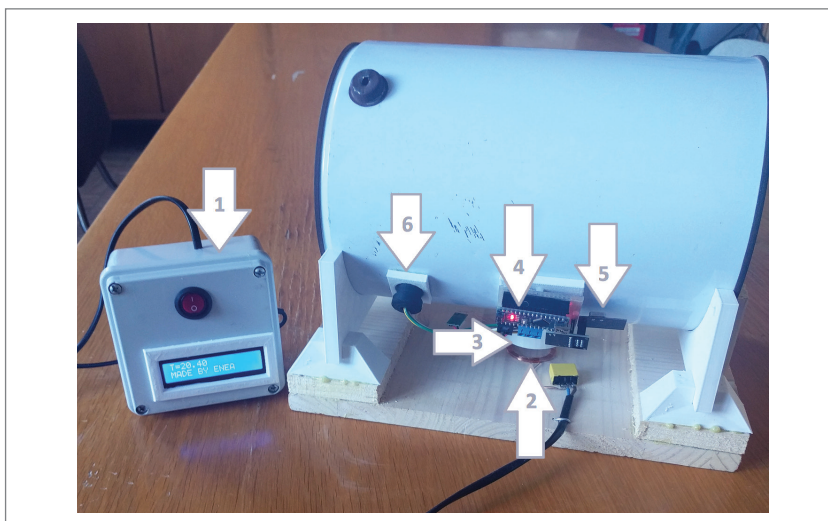


Fig. 2 Modello per il test dell'alimentazione wireless di Arduino e trasmissione dati
 Note: 1. Ricevitore dotato di Arduino nano, radio e LCD; 2. Spira per la generazione del campo magnetico; 3. Spira (all'interno del corpo realizzato in PLA) per la ricezione del campo magnetico; 4. Arduino nano; 5. Modulo radio; 6. Sensore di temperatura

di temperatura che sfrutta la variazione della resistività di alcuni materiali al variare della temperatura. Ne esistono in commercio diversi tipi che possono misurare temperature in un buon intervallo di temperatura (anche se inferiore a quello delle termocoppie). Molto diffuse sono le cosiddette Pt100, ovvero termoresistenze in platino (Pt), in cui la resistenza alla temperatura di 0 °C è pari a 100 Ω . Il PT100 viene commer-

ge di temperatura da -30 °C a 200 °C.

- Termometri ad infrarossi: deducano la temperatura da una parte della radiazione termica (radiazione di un corpo nero) emessa dall'oggetto da misurare. Sono quindi termometri senza contatto. Il MLX90614ESF è stato acquistato a 6 euro. *Range* da -40 °C a 125 °C.
- Termometri basati sulla fisica dello stato solido: si tratta essenzialmente di diodi e/o transistor che



Fig. 3 Test di un sensore (DHT22 per umidità e temperatura, meno di 3 euro) e studio della forma ottimale delle punte

hanno comportamenti dipendenti dalla temperatura. Tra di essi si sono sperimentati i DS18B20, range -55 °C-125 °C, (versione impermeabile a 2 euro); l'LM35DZ con range da -55°C a 150 °C; il TMP36, range -40 °C a 150 °C (2 euro); il DHT22, range da -40 °C a 80°, misura anche l'umidità relativa, acquistato a 2,5 euro.

Il *feedback* al processo, a fronte dei dati rilevati, può essere attuato regolando automaticamente la velocità della ventola, il numero di rotazioni degli aspi o del cilindro con l'uso di potenziometri digitali e di relè. Su questo le sperimentazioni devono essere effettuate.

In conclusione, il compostaggio a piccola scala può rappresentare,

quindi, un interessante terreno di sfida per i *Makers* e le singole aziende del settore interessate agli sviluppi dell'*Internet of Things* (IoT) e/o allo sviluppo di compostatori *smart* anche a basso costo.

Per saperne di più:
fabio.musmeci@enea.it

¹ Il Sole 24 Ore: 3 agosto 2017