

Sensori chimici:

INTRODUZIONE AI SENSORI:

Le grandezze fisiche da rilevare nei processi industriali sono di varia natura; generalmente queste quantità sono difficili da trasmettere ed elaborare nella forma originaria. L'obiettivo di un sensore è quello di convertire una grandezza fisica o biologica in ingresso, in un'altra più facile da manipolare di tipo elettrico (tensione, corrente, resistenza, capacità). In pratica un sensore prende in ingresso un valore nella grandezza fisica del dominio di interesse e fornisce in uscita una grandezza fisica nel dominio dell'unità di controllo.

I sensori hanno diverse caratteristiche che li differenziano: una di queste è l'ordine di grandezza della misura fornita in uscita; si parla allora di sensori attivi e passivi. I primi richiedono potenza dall'esterno per fornire la misura in uscita e solitamente hanno un sistema di amplificazione a valle di essi; i secondi invece non richiedono potenza esterna e forniscono un segnale immediatamente utilizzabile.

Un'altra caratterizzazione dei sensori può essere fatta in base alle caratteristiche matematiche dell'uscita: se tutta l'informazione viene acquisita e processata, allora si parla di sensori ad uscita continua, altrimenti, se in uscita viene passato un segnale campionato allora si parla di sensori ad uscita logica.

I sensori sono costituiti da una catena di quattro elementi: il rilevatore, il trasduttore, il sistema di acquisizione e il sistema di elaborazione. Il rilevatore è l'organo che ha il compito di misurare la grandezza di interesse; una volta rilevato il segnale questo deve essere trasmesso al sistema di controllo tramite un trasduttore, che realizza la trasmissione dei dati. Poiché la grandezza misurata può essere analogica o digitale, il sistema di acquisizione provvede a trasformare i segnali per renderli compatibili con l'unità di controllo. Se il segnale è analogico, realizza la trasformazione A/D ed invia il segnale campionato al sistema di elaborazione che aggiunge l'informazione necessaria, affinché la codifica in bit sia significativa per il controllore.

Vi sono diverse categorie di sensori e diverse classificazioni sono possibili; un sensore viene infatti classificato in base al principio fisico, che può essere ottico, meccanico, pneumatico o elettrico; questa classificazione è molto usata dai progettisti poiché fornisce una visione integrata dei processi usati nella realizzazione.

Un'altra classificazione si può avere considerando la grandezza da misurare: lunghezza, pressione, temperatura, vibrazione ecc. Questa è adatta per la presentazione del sensore agli utenti dato che

evidenzia il fine per cui è stato realizzato il dispositivo. Infine è possibile una classificazione in base al settore operativo che permette di comprendere a quale uso si presti un determinato sensore.

I parametri fondamentali di un sensore sono la sensibilità, che viene ottenuta dal rapporto tra una variazione del segnale di uscita al trasduttore e la corrispondente variazione dell'ingresso, la risoluzione, ovvero la più piccola quantità che può essere misurata, la taratura, che consiste nella misurazione dell'uscita a partire da valori noti degli ingressi, il tempo di risposta, cioè il tempo impiegato per andare a regime e la vita utile, che indica il tempo per cui il sensore opera senza modificare le sue prestazioni. E' molto importante anche avere stabilità, accuratezza e affidabilità, per avere un sensore che mantiene inalterate le sue caratteristiche nel tempo.

Il modo di operare di un sensore è strettamente legato alla grandezza fisica che esso deve misurare. Di conseguenza una loro classificazione generale si basa sui principi fisici che realizzano la conversione da una forma ad un'altra. Noi ci occuperemo della misura di grandezze chimiche al fine di convertirle in misure elettriche. I sensori chimici sono progettati con questo scopo e permettono di ottenere informazioni reagendo alla presenza di determinate sostanze. In alcuni casi questi sono montati su robot in grado di fare le rilevazioni in modo autonomo e cooperativo, specie se l'ambiente in cui si vuole operare risulta nocivo per l'essere umano.

GENERALITA' DEI SENSORI CHIMICI:

Come detto questo tipo di sensori consente di convertire grandezze chimiche in grandezze meglio trattabili, come sono quelle elettriche. I sensori chimici si possono classificare in base all'applicazione considerata in: sensori chimici per sostanze volatili, per il controllo dei liquidi e sensori a DNA, per il riconoscimento di molecole di acidi nucleici (DNA, RNA, PNA). Possono essere impiegati per il rilevamento delle sostanze inquinanti o per il riconoscimento di particolari gas, per il controllo delle sostanze disciolte nelle acque minerali e marine e per rivelare mutazioni genetiche nei microrganismi. Questo genere di sensori deve poter riconoscere un singolo composto all'interno di un mezzo complesso, deve avere un tempo di analisi sufficientemente breve ed elevata affidabilità, inoltre deve dipendere in modo minimo da variazioni di umidità e di temperatura e deve essere di dimensioni ridotte.

SENSORI CHIMICI MONTATI SU ROBOTS:

Un caso di studio atto a soddisfare questi requisiti è un robot progettato dal prof. Andrew Russel della Monash University in Australia, basato sul riconoscimento di un oggetto a partire da informazioni olfattive. Per ideare questo robot si è partiti dalla considerazione che certe categorie di animali, come ad esempio gli insetti, marcano il loro territorio con tracce di sostanze chimiche riconoscibili dai propri simili che percorrono lo stesso tragitto. Questo meccanismo è stato usato per costruire un robot miniaturizzato equipaggiato con un sensore che riconoscesse le tracce di un odore prestabilito lasciate sul terreno. L'applicazione di questo prototipo vuole essere quella di eseguire dei compiti di riconoscimento dell'odore di una certa sostanza, che solitamente vengono assegnati a segugi e cani da fiuto, come per esempio la localizzazione di sostanze stupefacenti o fughe di gas e il ritrovamento di mine e bombe inesplose o di superstiti di calamità naturali.

Gli studi del prof. Russel, iniziati già nel 1995, sono ancora oggi in pieno sviluppo a causa della difficoltà nel riconoscimento di determinati odori dovuta sia alla elevata precisione richiesta ai sensori, sia alla necessità di eseguire gli esperimenti in ambienti strutturati e densi di ostacoli. Per questo motivo i robot progettati per questi compiti sono equipaggiati con un sensore che eviti le collisioni frontali e con un sonar per la misurazione della distanza, oltre che con un sensore olfattivo e un rilevatore degli spostamenti d'aria.

Un'equipe di scienziati guidati da Achim Lilienthal della University of Tuebingen, in Germania, si è occupata di ricerche analoghe, concentrandosi sul riconoscimento di una sorgente emanante un certo odore in ambienti chiusi. Il risultato è stato presentato alla conferenza internazionale di Robotica e Automazione nel Maggio 2001 ed è un robot mobile chiamato ARTHUR, equipaggiato con una serie di sensori olfattivi. Scopo di ARTHUR è quello di rilevare una sorgente di gas non solo in condizioni ottimali, ma in ambienti complessi e densi di ostacoli. Per questo esperimento, si è dato più peso al rilevamento della sostanza gassosa che al riconoscimento preciso della sostanza stessa; infatti i disturbi dovuti alla mobilità della

piattaforma su cui è inserito il sensore, rende difficile il riconoscimento preciso dell'elemento in esame. Ciononostante, avere un robot mobile dà la possibilità di localizzare la sorgente di gas, cosa impossibile per un sensore immobile. L'importante risultato a cui ha condotto l'esperimento è stato quello di poter riconoscere una sorgente a debole emissione; questo è stato ottenuto facendo esplorare al robot l'ambiente in esame con una velocità costante che va dai 5 ai 20 cm/s. Il riconoscimento della sorgente era basato sul fatto che il sensore olfattivo usato presentava dei picchi di concentrazione quando il robot passava nei pressi della sorgente. Con un ambiente scarsamente riempito da oggetti, i migliori risultati sono stati ottenuti facendo procedere il robot lungo linee dritte durante l'esplorazione.

I sensori chimici trovano una loro applicazione anche nei robot umanoidi; questi robot, infatti, non sono dotati solamente di dispositivi per applicazioni ad hoc, ma coinvolgono diverse categorie di sensori (visivi, tattili, chimici e uditivi) per ottenere un buon modello del mondo che li circonda. Un robot di questo tipo è WE-3RV, ideato da Hiroyasu Miwa, Atsuo Takanishi e Hideaki Takanobu. WE-3RV è stato presentato durante l'International Conference on Intelligent Robots and Systems del 2001 ed è stato progettato per interagire con l'essere umano e per percepire i cambiamenti nell'ambiente circostante. Per questo motivo è dotato di due telecamere digitali montate negli occhi, di due microfoni per percepire i suoni, di sensori cutanei e olfattivi per analizzare se nell'aria sono presenti alcuni tipi di sostanze; al momento attuale WE-3RV è in grado di riconoscere tre odori diversi: ammoniacca, alcool e fumo di sigaretta. Le informazioni provenienti dai sensori vengono assemblate e rielaborate da due pc collegati al robot mediante un sistema Ethernet; il robot, a partire dalle informazioni sensoriali, può modificare l'espressione facciale e interagire con un eventuale interlocutore. La progettazione di questo robot si è sviluppata per passi successivi a partire dal 1995 con WE-2 ed ha portato all'ultima versione che comprende un miglioramento delle espressioni facciali, un modello psicologico, un sensore olfattivo e la definizione di nuove personalità.

SENSORI CHIMICI STATICI: il naso elettronico

Non tutti i sensori olfattivi però sono necessariamente montati su robot; in molti casi l'elemento da analizzare, può essere sottoposto direttamente al sensore per l'analisi. Un'applicazione di questo tipo è il naso elettronico. Il naso elettronico può essere definito come uno strumento che comprende una serie di sensori chimici con un appropriato modello di riconoscimento, in grado di identificare odori semplici e complessi. Esso si basa sull'emulazione del sistema olfattivo umano, in quanto la sensibilità dei sensori di cui è costituito è simile a quella dei recettori olfattivi umani. Il sistema di elaborazione dei dati è analogo al processo che accade nel bulbo olfattivo e la classificazione finale è eseguita da una rete neurale o da un tipo di analisi statistica che ricalca i meccanismi di identificazione del cervello. Il naso artificiale necessita anche di una prima fase di apprendimento in cui associa i risultati ottenuti alle categorie di riferimento.

I nasi elettronici fin'ora prodotti possono essere classificati in tre categorie a seconda dell'approccio progettuale e in base ai sensori su cui si appoggia: sensori a ossidi di metalli semiconduttori, sensori a polimeri organici conduttori e sensori piezoelettrici.

Il principio di funzionamento dei primi due tipi di sensori si basa sul trasferimento di elettroni tra la superficie di un semiconduttore e le molecole di gas assorbite. Il trasferimento di carica si traduce in un cambiamento delle cariche superficiali del semiconduttore, misurabile come un cambiamento di conducibilità. Il funzionamento del terzo si basa sulla diminuzione di frequenza d'oscillazione di cristalli piezoelettrici in funzione dell'aumento di massa, dovuto all'assorbimento delle molecole del gas in esame sullo strato sensibile del sensore.

La NASA e il California Institute of Technology hanno messo a punto un naso artificiale denominato ENose (Electronic Nose), in grado di identificare determinati componenti presenti nell'aria. La necessità di misurare la composizione dell'aria è particolarmente importante in ambienti chiusi quali lo Space Shuttle o la International Space Station. Il primo test dell' ENose è stato infatti effettuato nel 1999 a bordo dello Space Shuttle con l'astronauta John Glenn, per testare la qualità dell'aria durante il volo. L'utilizzo di ENose però non si limita ad applicazioni aerospaziali; infatti è possibile impiegarlo in tutte quelle applicazioni in cui si devono esaminare componenti volatili e rilevare odori di certe sostanze come nei controlli di qualità, nell'analisi del cibo (aroma del caffè) e negli ambienti industriali per evitare la presenza di sostanze tossiche nell'aria.

Il naso artificiale contiene un gran numero di sensori, i quali non sono specifici per una determinata sostanza ma rispondono a cambiamenti nella composizione dell'aria. I sensori di ENose sono

fatti da 16 strati di polimeri. Ogni strato è addizionato con particelle di carbonio che lo rendono elettricamente conduttivo. I polimeri si dilatano e si restringono a seconda del cambiamento della composizione dell'aria esaminata; queste alterazioni negli strati polimerici si traducono in un cambiamento nella resistenza elettrica dello strato stesso. ENose misura i cambiamenti resistivi e determina la natura della sostanza in esame. La portabilità dell'applicazione è ottenuta grazie alla generalità dei sensori utilizzati nella realizzazione del dispositivo. Il riconoscimento infatti si basa su esempi rilevati in laboratorio che vengono confrontati con la miscela di gas che si vuole classificare. La rilevanza del progetto ENose è dovuta al fatto che sia in grado di riconoscere una quantità di gas, minore di una soglia detta SMAC (Spacecraft Maximum Allowable Concentration), misurata in parti per milione e fissata dai tossicologi della NASA, per garantire la qualità dell'aria nelle missioni spaziali.

La NASA e il California Institute of Technology non sono stati gli unici enti ad occuparsi della progettazione di un dispositivo olfattivo di precisione. Il prof. David Walt della Tufts University e il suo staff hanno messo a punto, già nel 1997, un altro tipo di naso elettronico ma adatto alle medesime applicazioni. Inerti fluorescenti sono stati incorporati in strati polimerici di diversa natura fisica e chimica, in modo da formare un unico strato di sensori. Questi reagiscono al contatto con il gas mediante variazioni luminose e inviando dei segnali ad un sistema basato su reti neurali mediante dei sensori ottici ed una camera digitale. Il sistema è in grado di classificare correttamente 40 diverse sostanze tra cui complesse miscele. Il prof. Walt afferma che applicazioni commerciali basate su questo prototipo di naso elettronico saranno possibili tra breve.

Anche in questo caso il corretto riconoscimento della sostanza in esame è ottenuto grazie ad una serie di esempi con cui è stato allenato il sistema di reti neurali per i riconoscimenti successivi.

CONCLUSIONI: l'importanza dei dati:

In questo tipo di dispositivi, il periodo di classificazione di sostanze semplici e note a priori è fondamentale per formare una solida base di conoscenza atta a riconoscere correttamente i nuovi casi in esame, sia che venga ottenuta con sistemi intelligenti come le reti neurali o gli algoritmi di decisione che con un sistema di basi di dati. Oltre a ciò è stato fondamentale progettare sensori innovativi in grado di tradurre informazioni visive e reazioni chimiche in informazioni oggettive comprensibili da un elaboratore per poterle immagazzinare e riutilizzare successivamente per nuove classificazioni.

