

Cristiano Vergani

Responsabile R & D

Deparia Engineering S.r.l.

E-mail: cristiano.vergani@deparia.com

L'olfatto artificiale

L'olfatto artificiale rappresenta allo stesso tempo una delle sfide tecnologiche affascinante ed un affare economico ragguardevole. innumerevoli applicazioni si vanno delineando per nuovi dispositivi capaci di individuare in pochi secondi l'identità olfattiva delle sostanze disperse nell'aria.

Da qualche tempo si è aperta una nuova frontiera nel campo dei sensori hi-tech: la realizzazione di un dispositivo elettronico commerciale in grado di eguagliare in sensibilità e precisione i più raffinati esperti "annusatori" impiegati nell'industria agroalimentare. Formaggi, prosciutti, vini, aromi, essenze, caffè, tabacco sono alcuni esempi di prodotti la cui qualità è controllata e tutelata da professionisti dell'olfatto, selezionati ed addestrati secondo standard rigorosi. Anche in altri settori l'olfatto riveste una importanza fondamentale, come nel controllo della qualità dell'aria, sia nell'ambiente esterno (inquinamento industriale o da attività del terziario come ristoranti, fast food ecc.) che negli ambienti confinati (Indoor Air Quality); in questi casi sono attualmente impiegate le tecniche olfattometriche basate sull'impiego di platee di annusatori. Un altro settore strategico è quello della sicurezza: stupefacenti, esplosivi e merci di contrabbando possono essere individuati a colpo sicuro solo attraverso l'impiego di cani dall'olfatto finissimo, risorsa insostituibile anche nella ricerca di persone sepolte sotto le valanghe, oppure travolte da macerie in seguito a terremoti ed attentati terroristici. In tutti i campi

considerati, la domanda di sensori capaci di simulare il senso dell'olfatto è estremamente alta; non a caso, la maggior parte dei principali centri di ricerca pubblici e privati nazionali ed internazionali possiedono un gruppo di lavoro destinato alla realizzazione del "naso artificiale".

L'identificazione degli odori richiede l'utilizzo di più sensori per coprire un larghissimo spettro, poiché innumerevoli molecole diverse concorrono alla composizione degli aromi.

Ad esempio, l'odore di caffè, facilmente identificabile dall'olfatto, è composto da 79 pirazine, 108 furani, 28 ossazoli, 27 tiazoli, 44 fenoli, 70 chetoni, 74 pirroli, 28 aldeidi, 30 esteri, 20 acidi, 26 tiofeni, nonché tracce di altre centinaia di sostanze, diverse a seconda del luogo di provenienza e del metodo di lavorazione. Comunque, la percezione degli odori dipende dalle mutue interazioni tra i diversi composti (effetti additivo, sinergico, antagonista e compensativo). Attualmente, i cosiddetti "nasi artificiali" hanno prestazioni ancora lontane da quelle degli annusatori umani professionisti o dei cani addestrati: nonostante ciò, sono già impiegati con successo per applicazioni di routine su grandi volumi di prodotto (ad esempio per identificare e scartare automaticamente i pomodori ammuffiti). Si prevede l'impiego a breve termine di nasi artificiali estremamente specializzati per compiti specifici nel settore del condizionamento dell'aria, dell'antincendio e nella diagnosi di particolari malattie attraverso l'identificazione di particolari metaboliti nell'aria espirata dai pazienti.

Nuove tecnologie per i sensori

Dopo un lungo periodo di ricerca e sperimentazione, sono state selezionate cinque diverse tecnologie: storicamente, i primi sensori utilizzati sono stati del tipo semiconduttore ad ossido metallico (MOS – Fig.1). Questi sensori si basano sulle variazioni di conduttività di una superficie catalitica in presenza di gas, a temperature

relativamente alte. I sensori MOS sono particolarmente adatti alla rilevazione di piccole molecole inorganiche. Un altro tipo di sensore è rappresentato dai semiconduttori ad ossido metallico costituiti da transistor ad effetto di campo (MOSFET). Vi sono inoltre altri dispositivi sensibili alle variazioni di massa, formati da un cristallo di quarzo (QCM – Fig.2) ed i sensori basati sulla propagazione superficiale di onde acustiche (SAW – Fig.3): fondamentalmente, essi reagiscono all'aumento di massa dovuto all'adsorbimento di molecole di gas variando la propria frequenza di risonanza. Sensori di tipo ottico sono invece rappresentati dalle fibre di vetro (GF), ricoperte da film sottili che reagiscono variando la propria fluorescenza in presenza di molecole attive. Ultimi arrivati sono i polimeri conduttivi (CP), dalle grandi potenzialità e tuttora in pieno sviluppo. Alcuni sensori utilizzano più tecnologie diverse combinate, come gli array di cristalli ricoperti da film di polimeri selettivi.

La struttura di un organo olfattivo artificiale

Esattamente come il suo omologo biologico, il "naso" artificiale (Fig.4) non è costituito solo dalla parte sensibile: il senso dell'olfatto (semplificando in modo estremo) è costituito dalle cellule olfattive che reagiscono alla presenza delle molecole nell'aria, dai nervi olfattivi che portano gli stimoli al cervello e dalle strutture cerebrali che li analizzano e li interpretano in base ad una logica innata ed all'esperienza dell'individuo. Esistono diverse varianti, basate comunque su due schemi principali: il primo impiega, come già accennato, un insieme di sensori, uguali nella struttura ma differenti per selettività (negli apparecchi più moderni, decine di microsensori sono integrati in un unico dispositivo), i cui segnali sono pre-processati per eliminare, per quanto possibile, il rumore e le derive (Fig.5); vengono quindi amplificati per aumentare sensibilità e selettività del sistema, raccolti ed interpretati in modo da delineare una sorta di "impronta digitale" della miscela di gas che costituisce

un determinato odore. Il risultato dell'integrazione dei segnali può essere rappresentato graficamente sotto forma di mappa (Figg.6 e 7). Il cuore del sistema è rappresentato dal sistema di riconoscimento delle mappe, che funziona confrontando il responso dei sensori con una libreria precostituita o memorizzata durante un periodo di "apprendimento". Questa operazione di confronto viene effettuata per mezzo di reti neurali artificiali, cercando, per quanto possibile, di emulare il funzionamento fisiologico dell'olfatto. Il secondo schema, più lento ma molto più preciso e sensibile, è usato in apparecchi più complessi ed ingombranti (Fig.8). Deriva dalle classiche tecniche gascromatografiche: invece di usare più sensori, se ne usa uno solo, in genere del tipo SAW, non selettivo, ma estremamente sensibile alle variazioni di massa. I vari componenti dell'aroma vengono separati uno ad uno e portati singolarmente al sensore per l'analisi. La separazione avviene in genere per mezzo di una colonna gascromatografica. I dati raccolti vengono poi processati secondo le modalità viste nel metodo precedente.

Nonostante le prestazioni complessive ancora inferiori, il naso artificiale possiede un non trascurabile vantaggio sul suo omologo naturale, cioè la sensibilità a sostanze non percepibili dal naso umano, come CO e CO₂.

Materiale attivo	Tipo di sensore	Spettro di sensibilità
Film spesso di ossidi metallici	chemioresistori	Alcoli, chetoni, sostanze infiammabili
Film sottile di ossidi metallici	Chemioresistori a basso consumo	Idem
Elettrodi	Celle elettrochimiche	NH ₃ , CO, etanolo ecc.
Polimeri conduttivi	Chemioresistori, chemiodiodi	Molecole polari, vapori organici
Ftalocianine	Chemioresistori	NO _x , H ₂ , NH ₃
Film lipidici	Chemioresistori	Vapori organici

Tabella 1

Sensori di comune impiego nei nasi elettronici multi-sensore

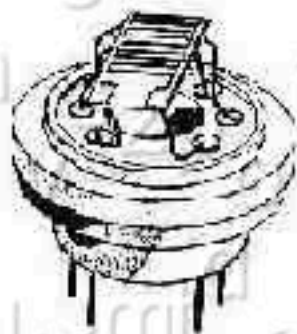


Figura 1

Rappresentazione schematica di un sensore ad ossidi metallici (MOS)

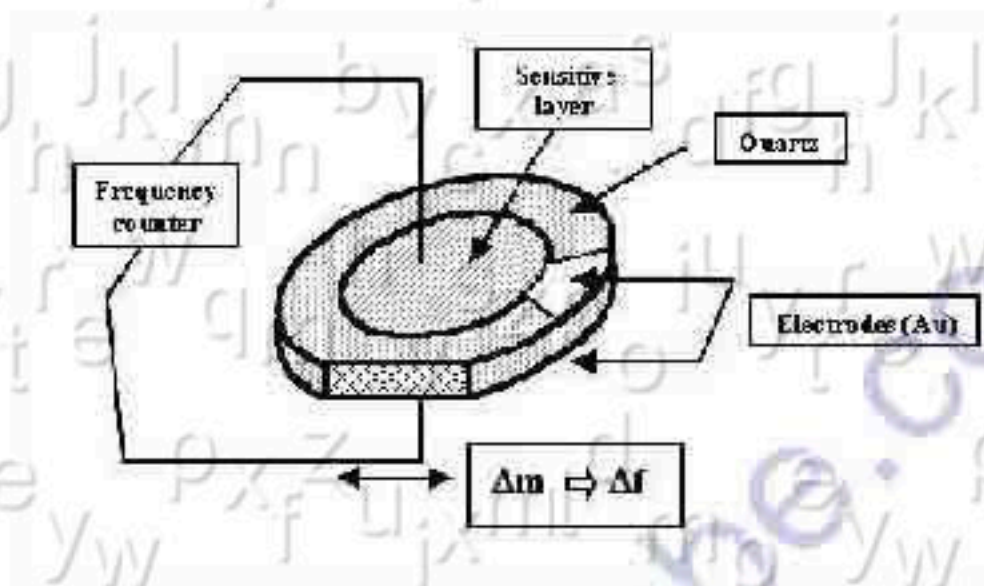


Figura 2

Rappresentazione schematica di un sensore a variazione di massa (QCM)



Figura 3

Rappresentazione schematica di un sensore ad onde acustiche superficiali (SAW)

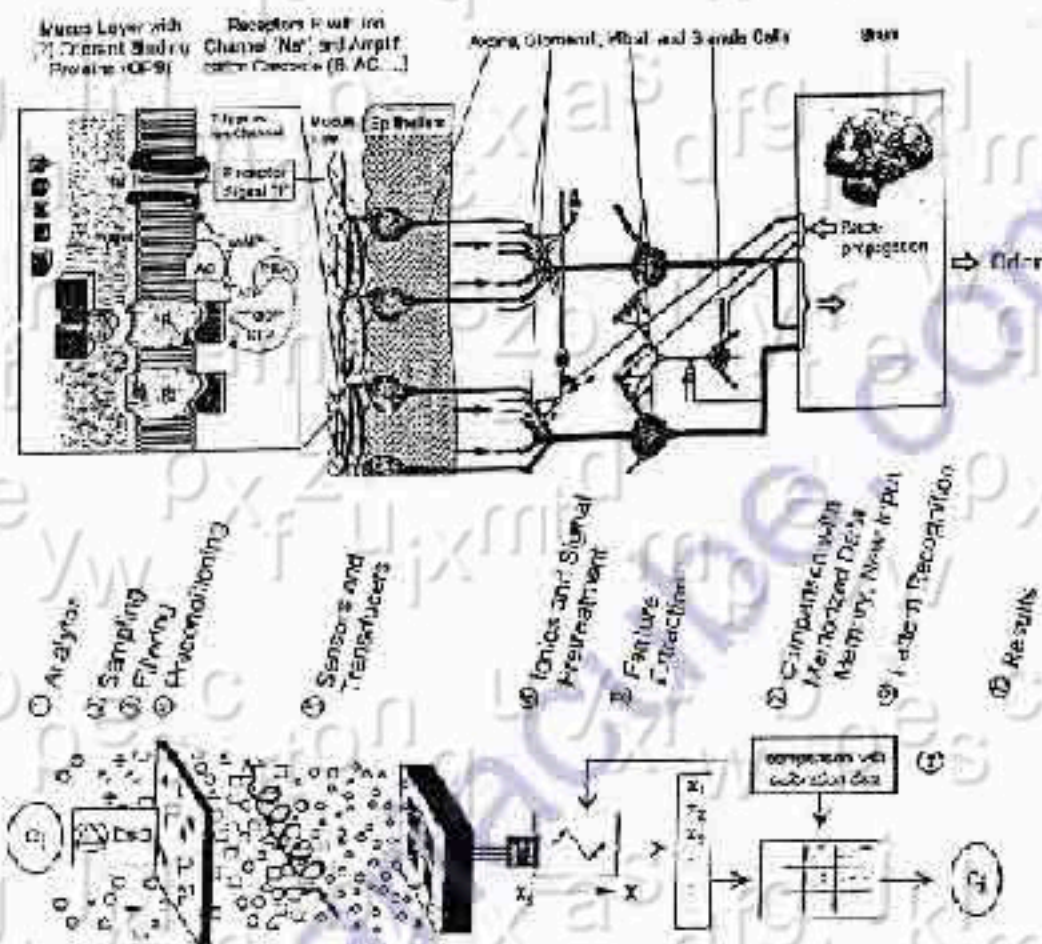


Figura 4

Schema di funzionamento di naso naturale e naso artificiale a confronto.

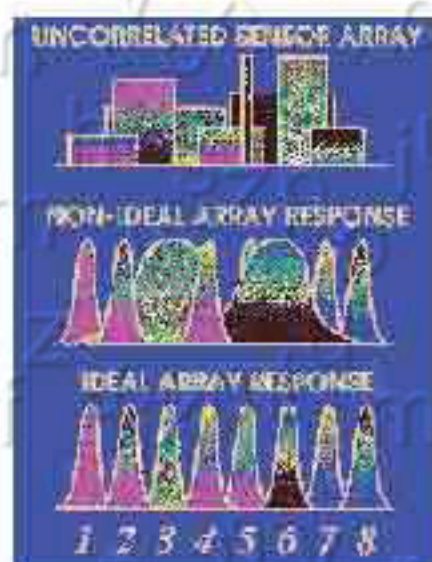


Figura 1

I sensori impiegati in un naso elettronico dovrebbero avere una risposta molto selettiva per composti diversi, con picchi ben distinti ed equalizzati.



Figura 2

I picchi relativi all'analisi di un odore possono essere trasformati in una mappa interpretabile da un sistema di riconoscimento basato su reti neurali.

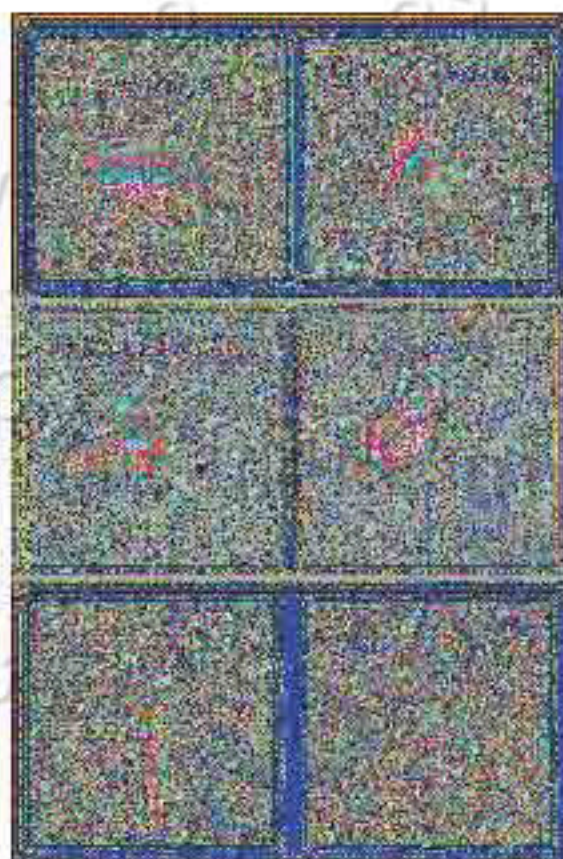


Figura 3

Alcune impronte caratteristiche di odori (più o meno gradevoli) rilevate da un naso artificiale.



Figura 4

Cicli di campionamento ed analisi in un naso elettronico di tipo gascromatografico/SAW:

- 1- durante la fase di campionamento, una valvola a due vie permette ad una pompa di aspirare il campione e di farlo condensare in una trappola refrigerata; nel frattempo, una corrente di gas Elio viene fatta scorrere nella colonna gascromatografica e nel sensore, per effettuare la calibrazione;
- 2- nella fase di analisi, la valvola indirizza la corrente di Elio all'interno della trappola, dove i vapori condensati vengono fatti evaporare da un impulso di calore; durante il tragitto nella colonna, i vari componenti vengono separati e condotti l'uno dopo l'altro al sensore.

Bibliografia

H.T. Nagle et al. Sept. 1998. "The How and Why of Electronic Noses," *IEEE Spectrum* : 22-33.

E.J. Staples. Oct. 1998. "Dioxin/Furan Detection and Analysis Using a SAW-Based Electronic Nose," *Proc 1998 IEEE International Ultrasonics Symposium*, Sendai, Japan.

R.L Grob. 1985. *Modern Practice of Gas Chromatography* , Wiley & Sons.

E.J. Staples. "Method and Apparatus for Analyzing Vapor Elements," U.S. Patent Pending.

P. Keller et al. 1012 May 1994. "Three Neural Network Based Sensor Systems for Environmental Monitoring," *Proc IEEE Electro94 Conference*, Boston, MA.

J. Gardner and P. Bartlett. Nov. 1998. *Electronic Noses: Principles and Applications* , Oxford University Press.

Siti di consultazione su Internet

www.sensorsmag.com/articles/0599/index.shtml

la descrizione di uno dei più avanzati nasi elettronici in commercio, del tipo gascromatografico/SAW;

news.pharmaceuticalonline.com/feature-articles/19990224-6814.html

un naso elettronico multi-sensore, tascabile ma molto sofisticato;

www.technobiochip.com/nose_it.htm

Il naso elettronico messo a punto all'università di Tor Vergata a Roma, basato su quarzi rivestiti da metallo-porfirine.