

Cristiano Vergani

Responsabile R &amp; D

Deparia Engineering S.r.l

## **“Sensori elettronici di inquinamento dell'aria nel controllo della IAQ”**

*Di recente introduzione sul nostro mercato, i sensori elettronici di inquinamento vengono utilizzati per il controllo automatico di apparecchi ed impianti per la purificazione ed il ricambio dell'aria negli ambienti confinati*

Il primo sensore di gas utilizzato commercialmente risale al 1923: era costituito da un filo di platino mantenuto ad alta temperatura per mezzo di una corrente elettrica, in grado di rilevare gas combustibili attraverso una reazione catalitica. Nel '59 si riuscì a migliorarne la sensibilità usando catalizzatori più efficienti (allumina addizionata con Palladio), mentre nel '61 si introdusse la misura della temperatura del sensore tramite termistore. La versione attuale di questo sensore (Pellistore) è stata ampiamente usata nelle più svariate applicazioni. Tuttavia, l'impiego su larga scala dei sensori di gas si deve ad un'altra tecnologia, il sensore a semiconduttore.

Sviluppati nei primi anni '60 dal ricercatore giapponese Taguchi (personaggio eclettico e un po' stravagante, come molti inventori di razza), dopo anni e anni di ricerca solitaria ed estenuante, i sensori di gas a semiconduttore si sono nel tempo evoluti notevolmente. Dopo un primo periodo di utilizzo esclusivo nei rilevatori di fughe di gas, attualmente versioni speciali di questi sensori hanno trovato largo impiego nel settore della purificazione dell'aria indoor.

Si tratta di dispositivi che sfruttano le proprietà di un minuscolo elemento composto da  $\text{SnO}_2$  (biossido di stagno) sinterizzato, la cui conduttività elettrica aumenta in presenza di gas come idrogeno, monossido di carbonio, metano, propano; oppure di vapori organici come alcoli, chetoni, esteri, composti del benzene ecc.

Questi dispositivi non possiedono attualmente una riproducibilità tale da essere usati in sistemi di analisi quantitativa da laboratorio. Tuttavia, per il loro costo relativamente basso e la buona affidabilità nel tempo, hanno trovato impiego in numerosi apparecchi ed impianti per applicazioni residenziali, in-

abbinamento a controlli dotati di microprocessore, per il controllo automatico della ventilazione e della purificazione dell'aria.

La conducibilità di questi sensori, quando esposti a sostanze riducenti, è fino a 20 volte quella in aria pulita. Ad esempio, è sufficiente una percentuale dello 0,1% in volume (circa un ventesimo della soglia di esplosività) di propano, per avere il massimo di conducibilità. Se utilizzati con un idoneo circuito elettronico di amplificazione, possono facilmente rilevare concentrazioni dell'ordine delle decine di ppm.

Ma la caratteristica più interessante dei sensori inventati da Taguchi è quella che, a prima vista, potrebbe sembrare un difetto, cioè la scarsa selettività. Infatti, pur avendo un picco di sensibilità per alcuni gas (idrogeno), questi elementi sono in grado di reagire alla presenza di innumerevoli sostanze diverse, facoltà preziosa per essere utilizzati negli ambienti indoor, dove è presente una miscela complessa di inquinanti. Se necessario, però, è possibile restringere la finestra di sensibilità solo a determinati gas, per mezzo di accorgimenti costruttivi (es. drogaggio con sostanze particolari, filtri selettivi a monte del sensore).

Gli ultimi due anni hanno visto un notevole sviluppo della domanda e conseguentemente dell'offerta di sensori sempre più affidabili e specializzati: attualmente è possibile trovare in commercio numerosi modelli specifici per l'impiego nel settore della *indoor air quality*, sia residenziale che ad esempio, nell'abitacolo delle automobili o degli aerei. La Tab. 1 mostra le applicazioni più comuni.

#### Principio di funzionamento

Questi sensori sono costituiti praticamente da un supporto in materiale ceramico, da una resistenza riscaldante e da un blocchetto di materiale sensibile collegato ad una coppia di elettrodi (fig. 1). A temperatura ambiente, il passaggio di corrente fra i due elettrodi è praticamente inesistente, poiché la resistività del materiale è molto elevata: alimentando la resistenza riscaldante, la temperatura del sensore viene portata intorno ai 400°C. A questa temperatura, la resistività si stabilizza su valori di qualche k $\Omega$ , in assenza di contaminanti. Ciò avviene in seguito ad una reazione elettrochimica sulla superficie del sensore, tra l'ossigeno atmosferico e i granuli di biossido di stagno sinterizzato che formano il rivestimento sensibile. In presenza di piccolissime quantità di catalizzatore (Palladio), sulla superficie dei granuli si forma una strato di molecole di ossigeno ionizzate negativamente ( $O_2^-$ ). Tra questo strato ed il biossido di stagno esiste un continuo scambio di elettroni che influenza la conducibilità elettrica fra granulo e granulo. In presenza di gas riducenti, parte delle molecole di ossigeno superficiali reagiscono col gas, liberando elettroni che abbassano

la resistività tra i granuli (fig. 2). Il valore di resistività è inversamente proporzionale alla concentrazione del gas: collegando al sensore un opportuno circuito elettronico, è possibile ottenere un valore di tensione che possiamo utilizzare per attivare allarmi o dispositivi di ricambio e purificazione dell'aria (fig. 3). La risposta del sensore può essere influenzata dalle variazioni dell'umidità e della temperatura ambientali. Queste variazioni devono essere compensate elettronicamente, in modo da avere segnalazioni attendibili.

Applicazioni pratiche: purificatori d'aria

Apparsi di recente sul mercato in forma perfezionata, i purificatori d'aria automatici (o "intelligent") hanno messo a disposizione degli addetti ai lavori un nuovo strumento per combattere efficacemente l'inquinamento dell'aria negli ambienti confinati. Più precisamente, per purificatore d'aria automatico si intende un apparecchio in grado di aspirare aria inquinata da un ambiente chiuso e di reimmetterla dopo un adeguato processo di filtrazione; l'attivazione e la regolazione della portata d'aria dell'apparecchio sono governate da un sistema elettronico in base ai segnali provenienti da un idoneo sensore a semiconduttore. È possibile utilizzare sensori di caratteristiche diverse a seconda dell'utilizzo del purificatore: sono disponibili sensori per uso generale e sensori specifici per il fumo di tabacco (fig. 4). A volte viene utilizzato il sensore per fumo di tabacco anche quando si vogliono evitare azionamenti da parte di profumi e dopobarba, ma in genere è preferibile utilizzare sensori a largo spettro. Il processo di filtrazione avviene per mezzo di più sezioni filtranti in serie, in grado di intervenire su frazioni differenti degli inquinanti: tipicamente si utilizza un prefiltro in grado di fermare la polvere grossolana e di distribuire in modo omogeneo il flusso d'aria a tutto vantaggio del filtro successivo, di tipo elettrostatico ad alta efficienza in grado di abbattere efficacemente il particolato più minuto; un ulteriore filtro a carboni attivi serve all'adsorbimento delle sostanze chimiche gassose.

Questi purificatori sono dotati di un controllo elettronico a microprocessore, che svolge le seguenti funzioni:

1. elimina l'influenza delle variazioni di temperatura ed umidità sulla risposta del sensore;
2. permette il posizionamento del sensore all'interno dell'apparecchio, posizione non ideale ma conveniente, correggendone la risposta in base ad un algoritmo di ottimizzazione;
3. equalizza, per quanto possibile, la risposta del sensore rispetto ad inquinanti estremamente diversi (es. particolato, solventi, CO ecc.);

4. aziona il ventilatore di movimentazione dell'aria alla velocità necessaria, minimizzando l'inquinamento acustico;
6. può consentire, se necessario, di intervenire sul corretto ricambio dell'aria, sia direttamente controllando un sistema di immissione d'aria esterna, sia "dialogando" con un impianto già esistente di condizionamento.

#### Software di gestione

Il valore del livello di base del segnale emesso dalla sonda sensibile agli inquinanti varia lentamente nel tempo a seconda dell'umidità e della temperatura dell'ambiente: nei sistemi di controllo della *indoor air quality* è importante che l'apparecchio reagisca a variazioni dinamiche della concentrazione di inquinanti in grado di degradare il benessere degli occupanti. Un esempio tipico è la liberazione in ambiente di fumo di tabacco, solventi, odori. La fig. 5 mostra come il microcomputer reagisce alle variazioni del sensore con il metodo della correzione del livello di base. Questo metodo permette di eliminare l'influenza di variazioni che agiscono lentamente nel tempo (temperatura, umidità), rilevando solamente variazioni brusche di concentrazione degli inquinanti: si tratta di un metodo efficace quando siamo in presenza di fonti inquinanti massicce e ben localizzate (fumatori, emissioni di solventi per uso di pennarelli ecc.). In presenza di fonti a lento e quantitativamente modesto rilascio (esalazioni da superfici impregnate, da conglomerati ecc.), è necessario compensare elettronicamente la risposta del sensore per mezzo di sensori ausiliari di temperatura ed umidità. Alcuni modelli di sensore molto recenti alloggiavano nello stesso contenitore più elementi sensibili ai vari parametri, semplificando così il lavoro del progettista. La fig. 6 mostra il diagramma di flusso del software impiegato, le cui funzioni principali sono, qui di seguito indicate:

- il programma legge il valore del sensore ogni 200 msec per 10 volte di seguito e calcola il valore medio escludendo il dato più alto ed il più basso tra quelli rilevati;
- il valore di base viene determinato secondo le seguenti condizioni:
  - subito dopo il tempo di preriscaldamento del sensore ( $T_{pr} = 2 \text{ min}$ ), viene letto il valore di base attuale;
  - durante la normale attività, in assenza di inquinanti, come valore di base viene usato il valore medio rilevato in 20 minuti, aggiornando il dato precedente;
  - in presenza di inquinanti, dopo l'attivazione della ventola, quando il programma ha terminato le operazioni di pulizia ( $T_p = 10 \text{ min}$ ), il livello di base viene resettato ed inizia un nuovo periodo di campionamento;

- quando lo stato di attivazione della ventola cambia, il flusso d'aria potrebbe perturbare la risposta del sensore. Per evitare questo inconveniente, la lettura dello stato della sonda viene sospesa per 20 secondi dopo l'accensione della ventola, per 10 secondi dopo un cambiamento di velocità;
- l'alimentazione elettrica al filtro elettrostatico viene erogata contemporaneamente all'attivazione della ventola;
- se il purificatore è dotato di un generatore di anioni (ioni negativi), questo deve essere attivato durante un ciclo di ionizzazione ventilata ( $T_i = 10$  min alla 1<sup>a</sup> velocità) una volta concluse le operazioni di pulizia (segnale della sonda ritornato al valore di base e/o tempo minimo di pulizia  $T_p$  finito). Il generatore di anioni rimane in funzione durante i periodi di stand-by, senza ventilazione, ma viene fermato al primo segno di presenza di inquinanti: è importante evitare la diffusione di anioni in ambiente se non in aria perfettamente pulita;
- è possibile configurare le soglie interne di regolazione, i tempi minimi di attivazione, la sensibilità del sensore, tramite una serie di microswitch da azionare in sede di installazione. Ciò è necessario per ottimizzare le prestazioni del purificatore in base al volume dell'ambiente e alla quota effettiva di ricambio d'aria disponibile;
- per evitare il più possibile fenomeni di inquinamento acustico, il software privilegia attivazioni prolungate alla bassa ed alla media velocità; solo in presenza di variazioni dinamiche del sensore eccezionalmente intense viene attivata la terza velocità.

#### Sistemi di controllo della ventilazione

In molti casi, il controllo della ventilazione per mezzo di un dispositivo elettronico dotato di sensore a semiconduttore può risolvere efficacemente il problema della *indoor air quality* in ambienti molto problematici, dall'abitacolo dell'automobile alla sala riunioni, secondo metodologie di intervento diverse. Nell'auto si utilizzano sistemi dotati di più sensori, sensibili alle emissioni dei veicoli a benzina e dei veicoli diesel. In presenza di concentrazioni eccessive di inquinanti, il sistema provvede ad inserire automaticamente il ricircolo per mezzo di una serranda mobile. Nelle applicazioni residenziali, invece, si utilizzano sensori in grado di quantificare l'affollamento dei locali rilevando la concentrazione di anidride carbonica, permettendo in questo modo di immettere aria fresca dall'esterno in quantità appropriata. I sensori capaci di rilevare la  $CO_2$  possiedono una struttura particolare, che consente di ottenere elevate

sensibilità e selettività: l'elemento sensibile non è esposto direttamente all'atmosfera, ma tramite un filtro contenente zeoliti attivate che elimina i gas interferenti (fig. 7). Inoltre, la variabile elettrica di misura non è la resistività, come nel caso dei sensori a semiconduttore veri e propri, ma la differenza di potenziale in mV emessa da una cella elettrolitica differenziale allo stato solido. In pratica si tratta di una sorta di "micropila" che emette una tensione proporzionale alla concentrazione della  $CO_2$  (fig. 8). In commercio sono disponibili dei servocomandi in grado di aprire lucernari o regolare serrande di ventilazione in base al livello assoluto di anidride carbonica presente nell'ambiente, comandati da apposite centraline dotate di sensore e microprocessore.

Nei locali dove sono installati sistemi di riscaldamento a fiamma diretta di gas (stufe, scaldabagni ecc.), si utilizzano sensori di monossido di carbonio, capaci di segnalare tempestivamente situazioni di cattiva combustione o di ostruzione degli scarichi, attivando contemporaneamente l'impianto di ventilazione. E' possibile anche l'utilizzo di speciali sensori che riuniscono nello stesso contenitore elementi sensibili al monossido di carbonio ed al gas combustibile, per ottenere un grado di sicurezza particolarmente elevato.

Attualmente, i sensori di gas qui descritti vengono utilizzati all'interno di dispositivi di allarme a sé stanti, oppure in centraline di controllo direttamente connesse alle periferiche comandate (purificatori d'aria, ventilatori, serrande, condizionatori ecc.). Sviluppi futuri prevedono invece l'impiego di questi sensori all'interno degli impianti cablati dei cosiddetti "edifici intelligenti", ovvero un sistema formato da sensori distribuiti, in grado di rilevare tutti i parametri legati al benessere ambientale. I dati provenienti dai sensori viaggiano tramite un bus di comunicazione fino ad un elaboratore centrale. Quest'ultimo provvede a comandare, sempre tramite lo stesso bus, una serie di apparecchiature periferiche in grado di mantenere un elevato livello di benessere e di sicurezza.

Applicazione	Spettro d'uso	Impiego
riv. gas combustibili	metano, propano, butano 500 - 10000 ppm idrogeno 50 - 1000 ppm	segnalatori di fughe di gas combustibili per uso domestico, allarmi superamento soglie di sicurezza
riv. gas tossici	monossido di carbonio 30 - 1000 ppm solfuro di idrogeno 5 - 100 ppm ammoniaca 30 - 300 ppm	allarmi di superamento soglie di sicurezza
riv. vapori solventi organici	alcool, toluolo, xilolo ecc. 50 - 5000 ppm	alcolometri in dotazione alla polizia stradale, allarmi superamento soglie di sicurezza
riv. gas alogenocarbonati	R113, R134a, R21, R22 30 - 3000 ppm	controllo tenuta impianti refrigerazione
riv. odori	composti solforati 0,1 - 10 ppm	controlli automatici per purificatori d'aria, serrande per immissione aria esterna, sistemi di controllo IAQ in genere
riv. inquinanti ambientali	fumo di tabacco 1 - 10 ppm	
riv. affollamento amb.	anidride carbonica 300 - 3000 ppm	

Tab. 1, impiego dei sensori di gas a semiconduttore

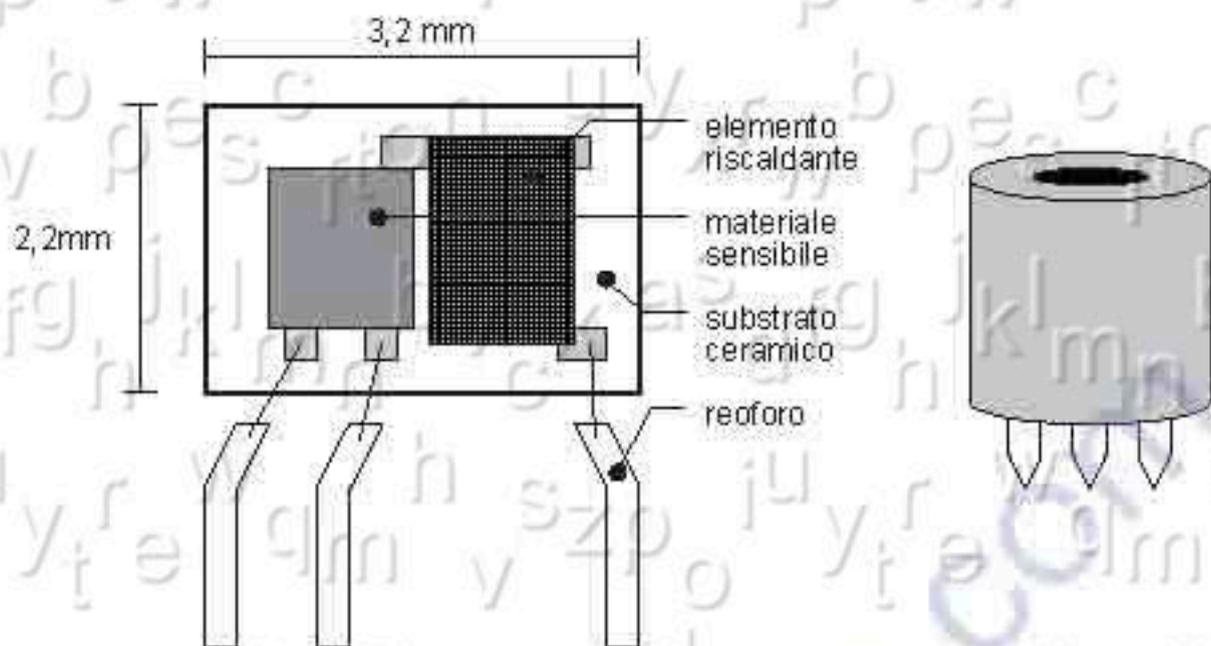


Fig. 1, sensore di gas a semiconduttore

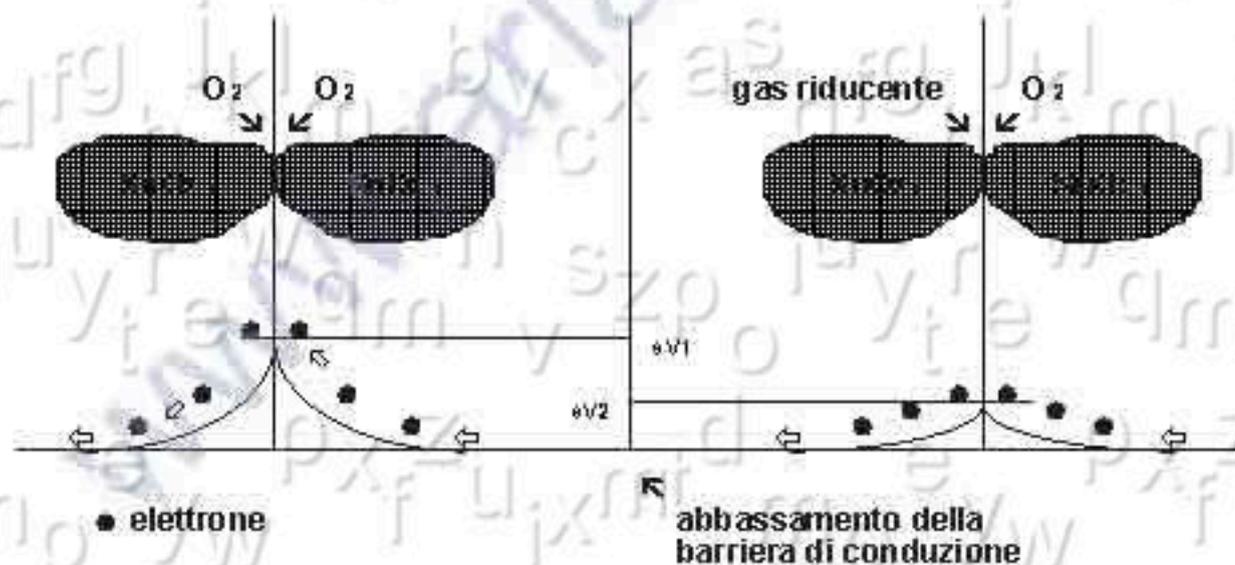


Fig. 2, funzionamento basilare del sensore di gas a semiconduttore

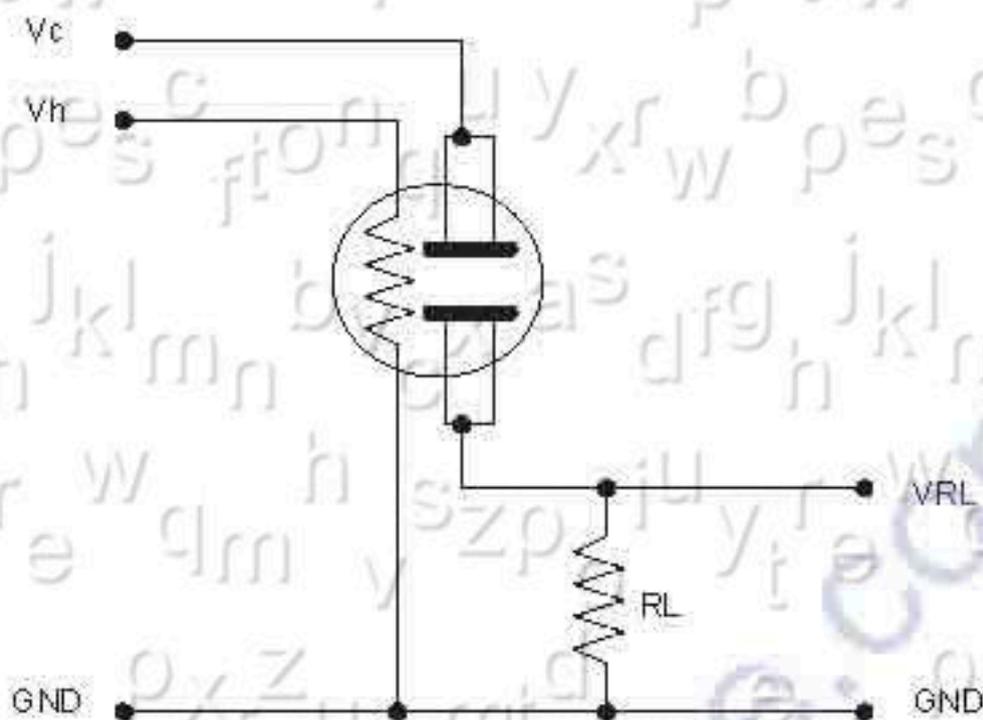


Fig. 3, tipico circuito di prova di un sensore di gas a semiconduttore

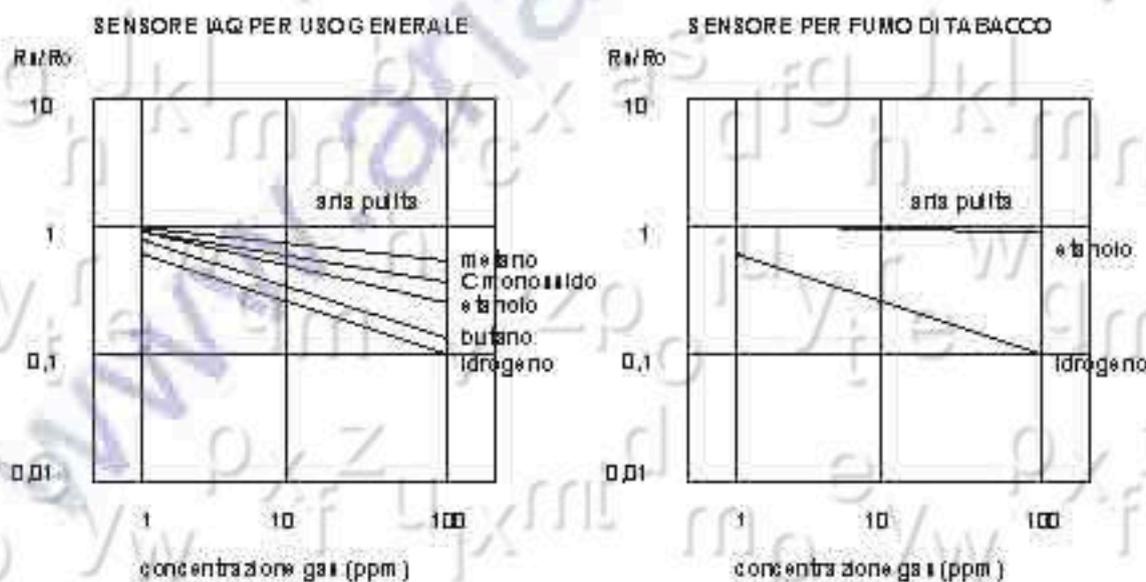
Fig. 4, sensibilità dei sensori per IAQ ( $R_s/R_o$  = rapporto tra resistenza misurata e resistenza in aria pulita)



Fig. 5. attivazione del purificatore con il metodo della correzione di base ( $R_s$  = resistenza sensore)

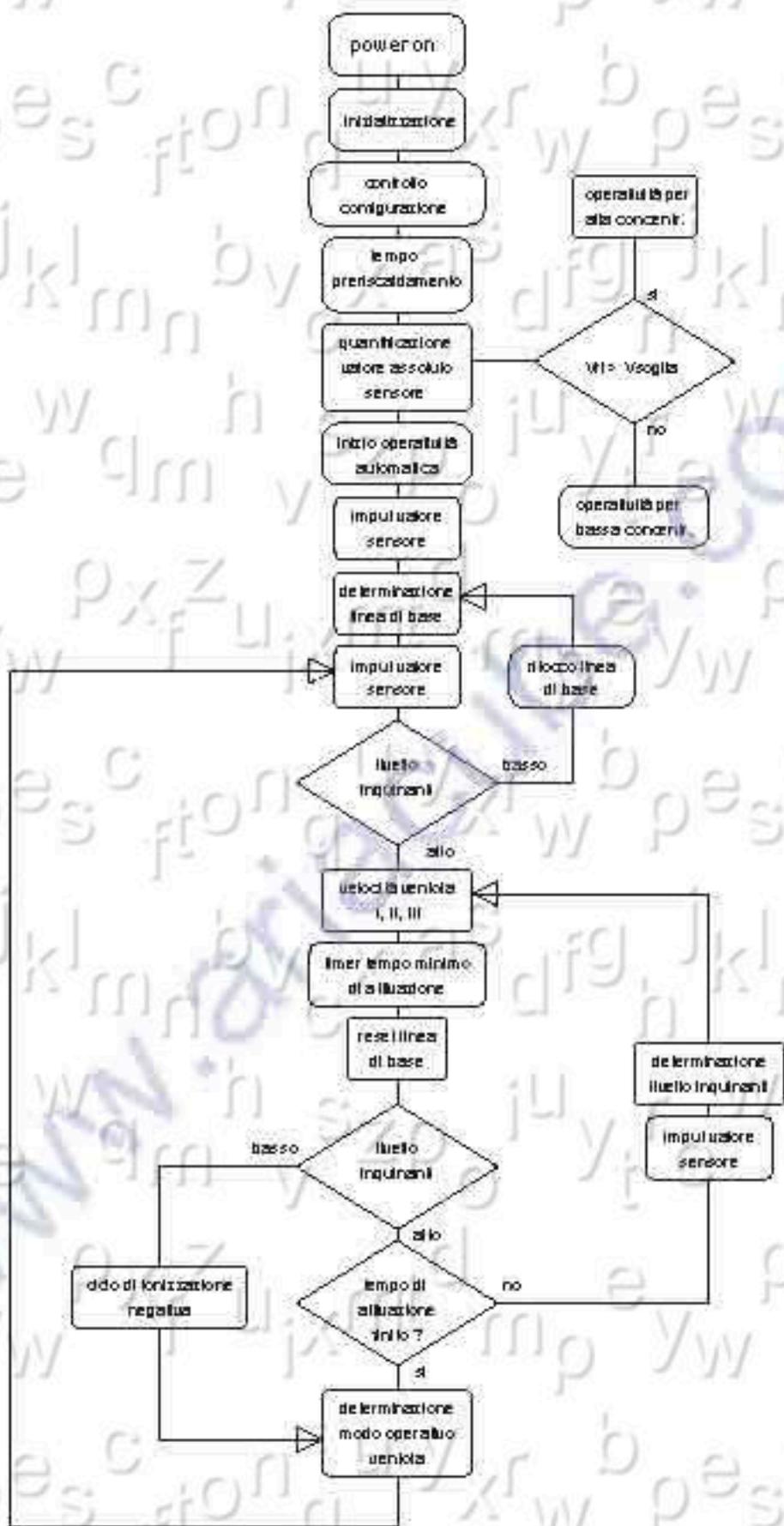


Fig. 6, flow chart software di gestione di un purificatore d'aria "intelligente" dotato di sensore

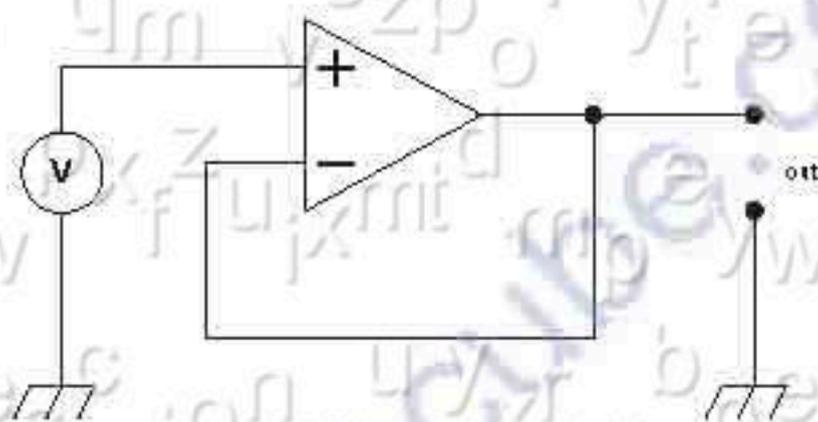
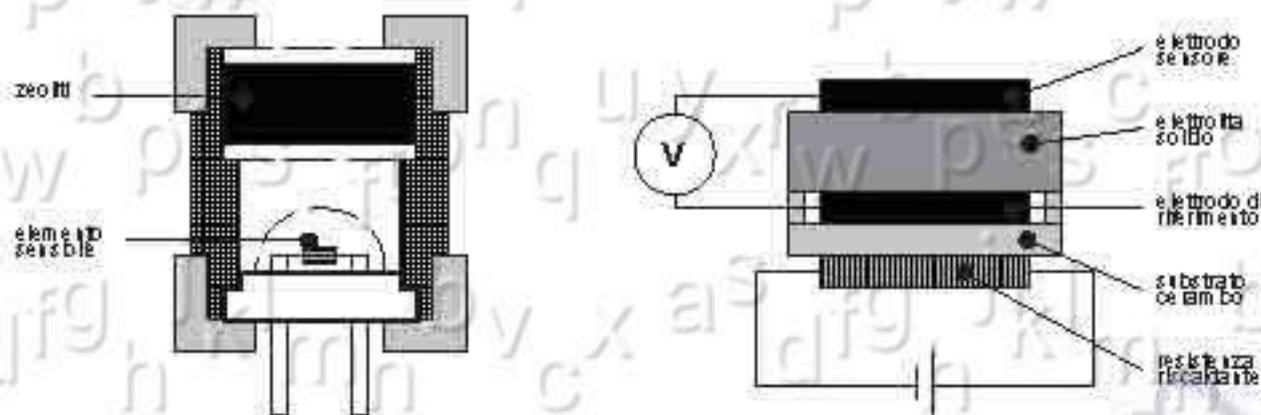


Fig. 7, sensore di CO<sub>2</sub> ad elettrolita solido, struttura e circuito di prova

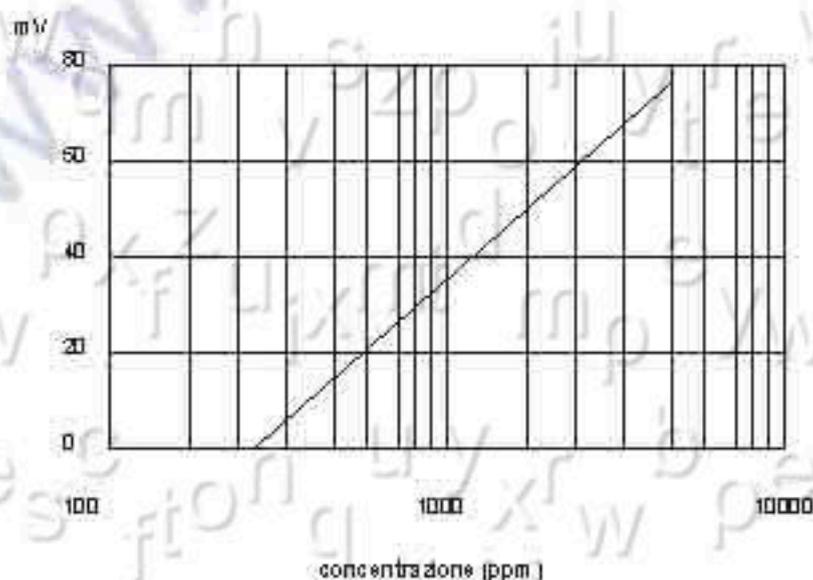


Fig. 8, sensibilità sensore CO<sub>2</sub>

## Bibliografia

AA.VV., *Chemical sensor technology*, vol.4, a cura di S. Yamauchi, Kodansha Ltd, Tokyo, Japan, 1992

M. Hanada, H. Koda, *Development of CO2 sensor using La doped tin-dioxide semiconductor gas sensor*, Fis. Inc., Osaka, Japan, 1995

K. Ihokura, J. Watson, *The stannic oxide gas sensor*, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA, 1994

H. Matoba, K. Unno, *A solid-state gas sensor and its applications*, Figaro USA Inc., Wilmette, Illinois

C. Vergani, *Impiego di purificatori d'aria automatici negli ambienti confinati*, Atti del 3° convegno ARIA 94, ARIA-ISPESL, Roma, 1994

J. Watson, G. Davies, *A low-level carbon monoxide monitor*, Sensors and Actuators B, 2-1990, Elsevier B.V., Amsterdam, The Netherlands