

Progettazione di un sensore nanostrutturato per la misura della concentrazione ambientale di ammoniaca

**Stage A2A presso il Dipartimento di Matematica e Fisica
(Università Cattolica del Sacro Cuore - Brescia)**

Dr. Maria Paderno

Tutor Aziendale: Dr. Ing. Agostino Braga

Tutors Universitari: Prof. Luigi Sangaletti

Dr. Maria Chiesa

con la collaborazione del Prof. Lorenzo Schiavina

Periodo: Primo Semestre 2008

Obiettivo dello stage

- Progettazione di un sensore innovativo (materiali micro e nanostrutturati) a basso costo per la misura in continuo della concentrazione di ammoniaca (NH_3) in aria ambiente.

Fasi del lavoro

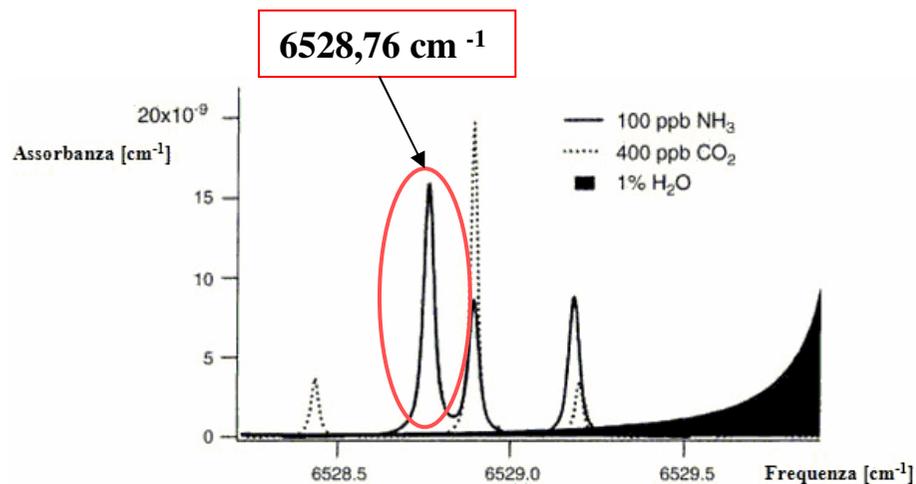
- Analisi bibliografica: stato dell'arte delle tecnologie esistenti per il monitoraggio in continuo delle concentrazioni ambientali di ammoniaca;
- Ricerca dei materiali innovativi micro o nanostrutturati per la caratterizzazione dello stato sensibile del sensore;
- Progettazione del sensore nanostrutturato che rispetti le caratteristiche di selettività, sensibilità e stabilità tipiche di un analizzatore in continuo tradizionale;
- Acquisizione dei segnali di output del sensore tramite l'utilizzo di reti neurali e logica fuzzy.

Stato dell'arte: tecnologie tradizionali per l' NH_3

1) Analizzatori ottici (es. NDIR, FTIR)

- Assorbimento ottico di bande specifiche di radiazione IR da parte delle molecole di NH_3 .
- Alta sensibilità (*ppb*) e stabilità nel tempo ma costosi e ingombranti.

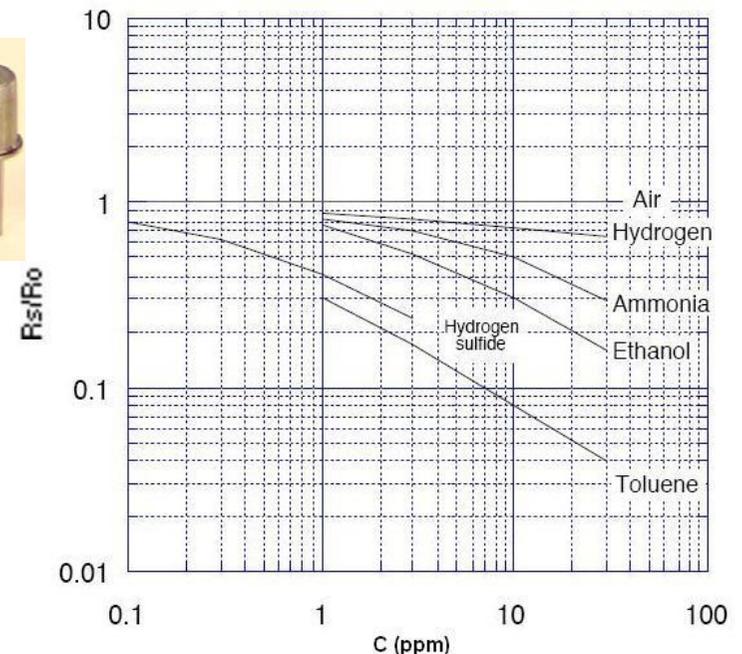
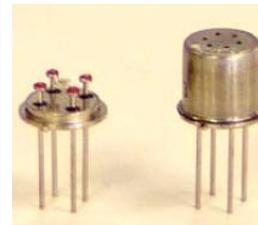
Spettroscopia: banda di assorbimento dell' NH_3 nell'IR



2) Sensori elettrochimici (basati su ossidi metallici semiconduttori o polimeri conduttori).

- Variazione di parametri circuitali (resistività) per la variazione di conducibilità dello strato sensibile esposto ad NH_3 .
- Pratici e poco costosi ma scarsamente selettivi, poco stabili e operanti ad alte T.

Variazione di resistività di un sensore tipo



Nanotecnologie applicate ai sensori di gas

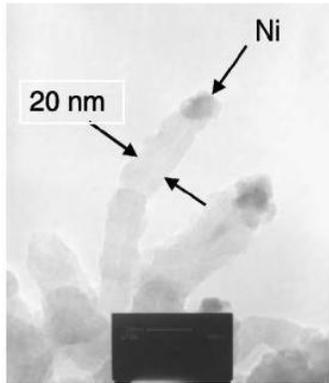
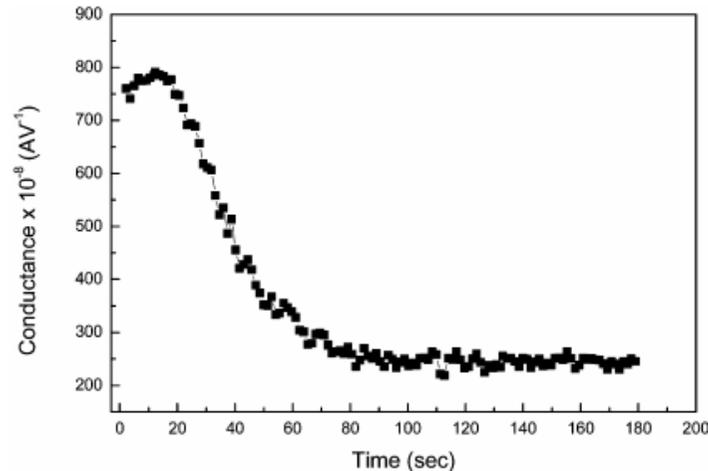


Immagine TEM di nanotubi di C con Ni come catalizzatore



Conduttanza nel MWNTs vs tempo

- Utilizzo di nanotubi di carbonio; SWNTs e MWNTs.
- Potenziali vantaggi di questi sensori nanostrutturati:
 - a) aumento della superficie di interazione molecole NH₃-sensore;
 - b) maggiore stabilità elettrochimica;
 - c) possibilità di funzionamento del sensore alla temperatura ambiente;
 - d) maggiore selettività con l'utilizzo di catalizzatori specifici per NH₃.

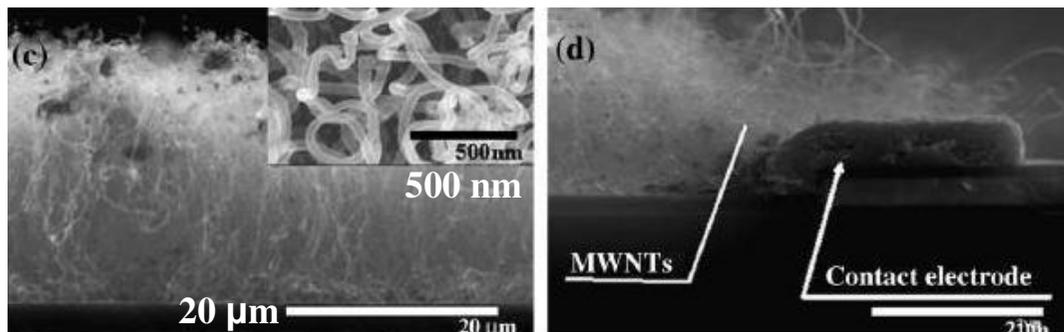


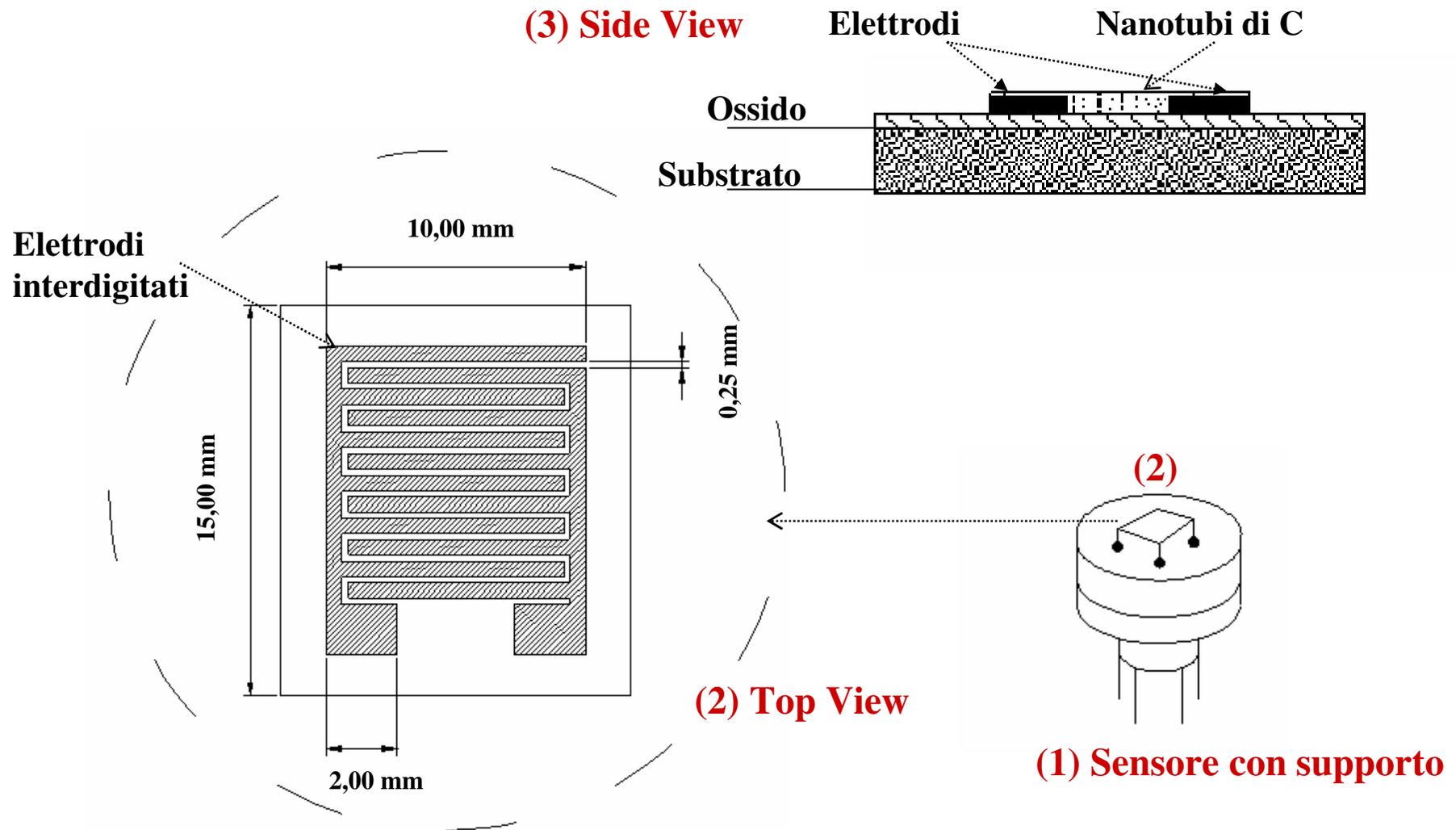
Immagine SEM del MWNTs (c), e contatto con l'elettrodo (d)

Materiali micro e nanostrutturati: sensori di NH₃

Strato sensibile	Nomi dei composti	Gas interferenti con NH ₃
TiO ₂ (M)	Biossido di titanio	H ₂ , CO, O ₂
In ₂ O ₃ (S)	Triossido di indio	NO ₂
ZnO (M)	Ossido di zinco	H ₂ S, CO, HCHO
ZnO (S)	Ossido di zinco	NO ₂
SnO ₂ (M)	Biossido di stagno	CO, NO ₂
MWNTs + Co	Nanotubi di C a parete multipla	-
MWNTs + Ti + Au	Nanotubi di C a parete multipla	-
SWNTs	Nanotubi di C a parete singola	N ₂
PPy (S)	Polipirrolo	NO ₂
WO ₃ + Au	Triossido di tungsteno	NO, NO ₂ , H ₂ S
IrO ₂	Biossido di iridio	H ₂ , CO, SO ₂ , NO ₂ , Cl ₂
PPy, PAni	Polipirrolo, Polianilina	NO ₂ , I ₂ , H ₂ S
PPy, PAni	Polipirrolo, Polianilina	-
RuPc	Ftalocianine con rutenio	-

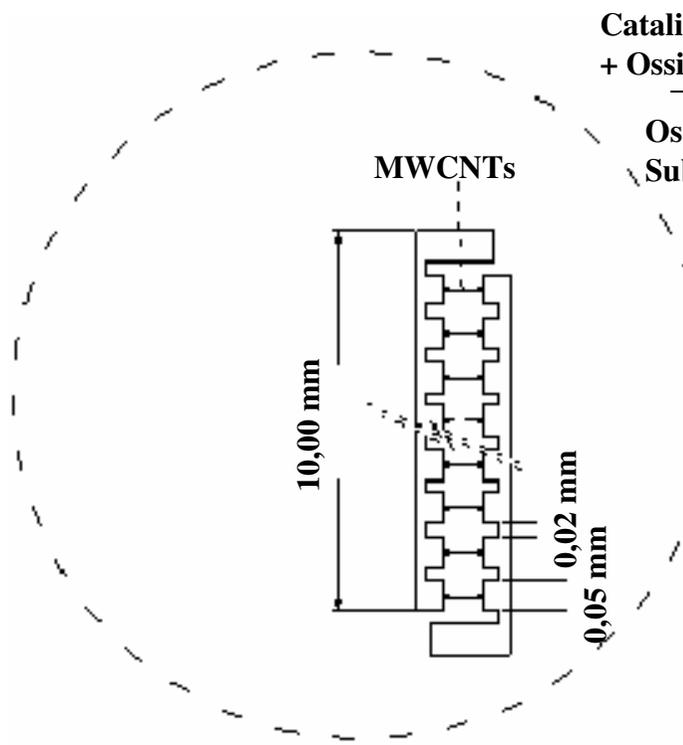
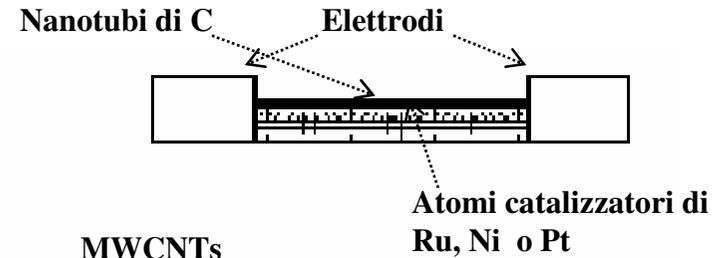
Legenda (M): nanofili multipli, (S): nanofili singoli; = Ossidi metallici e polimeri NANO-strutturati; = Ossidi metallici e polimeri MICRO-strutturati.

Progetto del sensore: versione preliminare

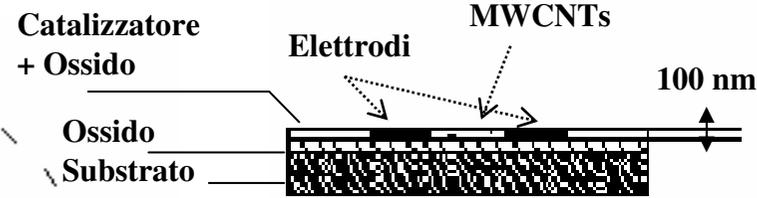


Progetto del sensore: versione avanzata

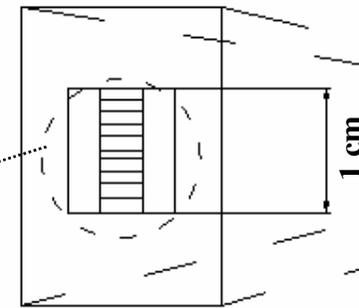
(8) Elettrodi interdigitati, side view



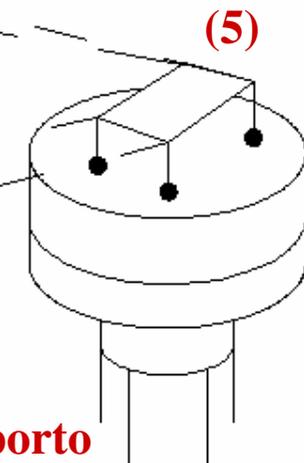
(6) Elettrodi interdigitati, top view



(7) Side view del sensore



(5) Top view

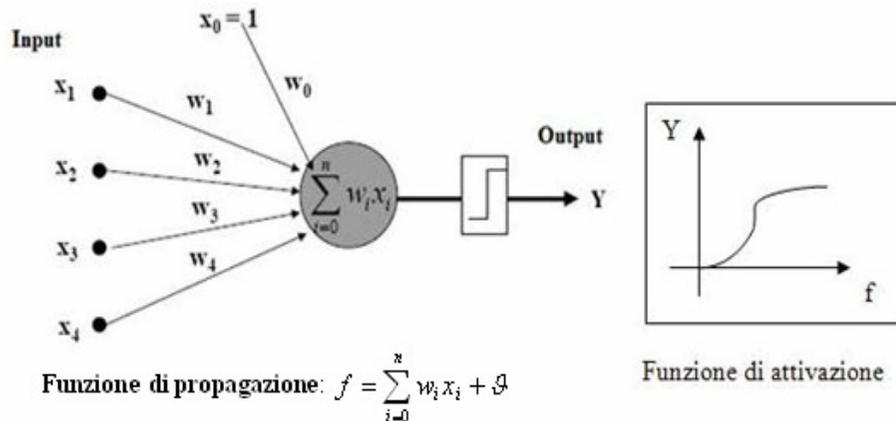


(4) Sensore con supporto

Acquisizione e gestione di segnali

Neural networks

- **Rete neurale artificiale:** struttura di calcolo che riproduce sul computer la logica di apprendimento del cervello (funzioni di attivazione e di propagazione).
- Tipologia “multistrato”: algoritmo di addestramento a retro-propagazione (minimizzare il gradiente dell’errore).



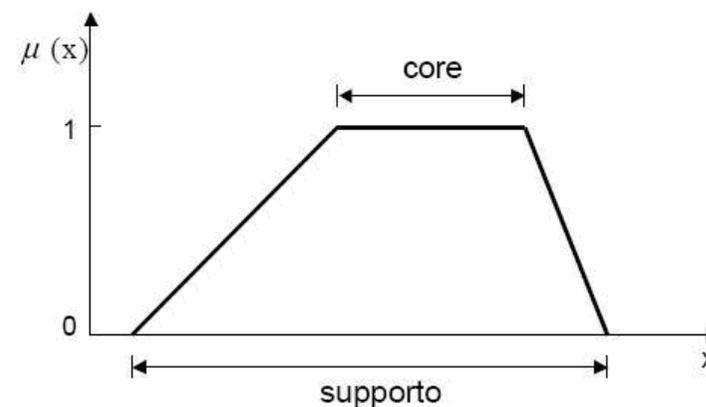
21/10/2008

Stage A2A 2008 Maria Paderno

Fuzzy Logic

- **Logica fuzzy:** teoria matematica per modellizzare problemi con incertezza presente; estensione della logica tradizionale.
- Fuzzy set F in U: insieme definito da una funzione di appartenenza μ_F .
- Si usano delle variabili letterali.

$$\mu_F : U \rightarrow [0,1]$$

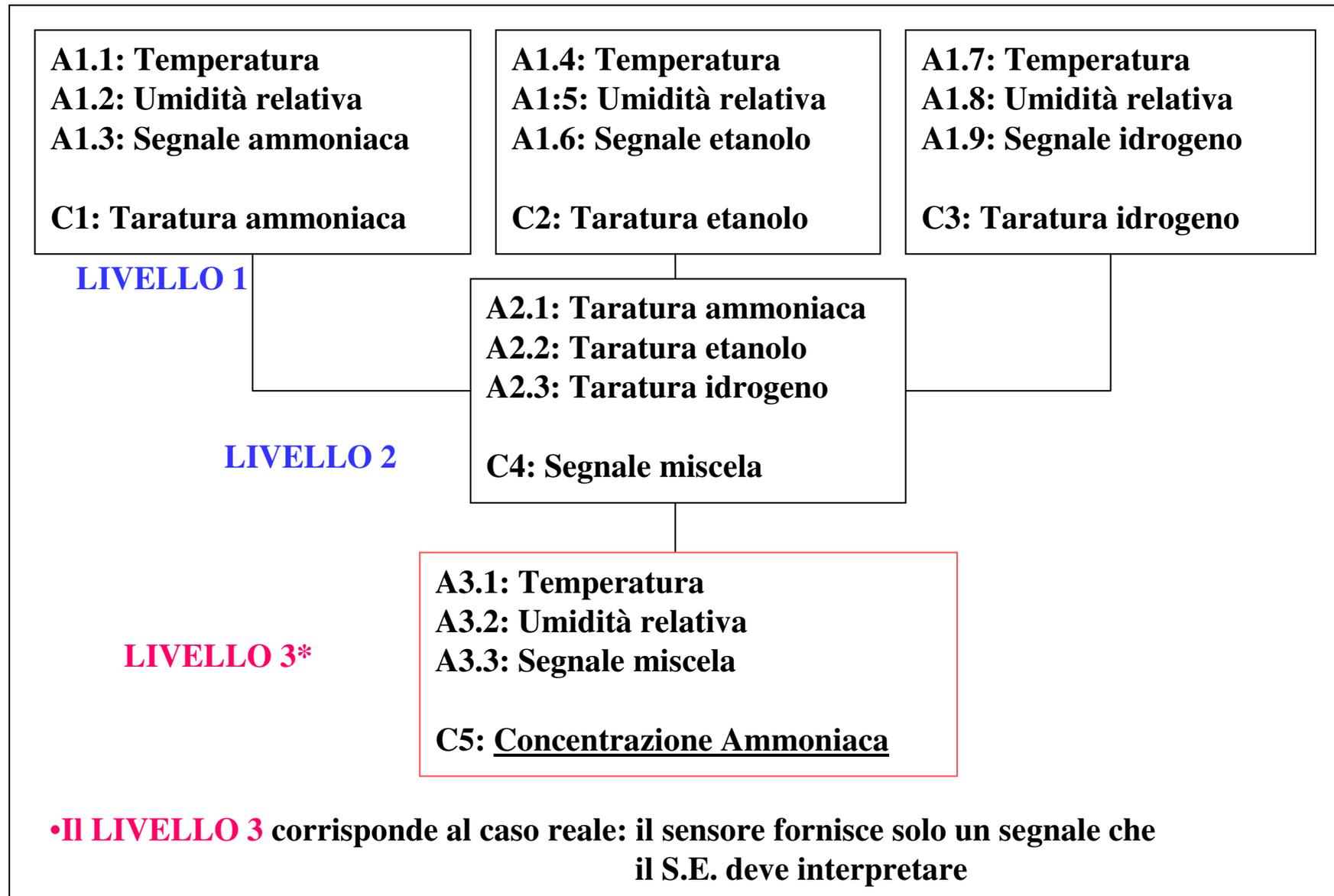


8

Tecnologia neuro-fuzzy applicata ai sensori di gas

- **Reti neurali e logica fuzzy per la selettività di un sensore rispetto ad un gas specifico e la misura della sua concentrazione ambientale.**
- **Potenziati vantaggi:**
 - a) **migliore efficienza nella gestione di serie storiche di dati;**
 - b) **addestramento di sistemi informatici per la selettività del sensore;**
 - c) **maggiore precisione nella determinazione della concentrazione.**
- **La tecnologia neuro-fuzzy combina i vantaggi di entrambi gli approcci:**
 1. **utilizzo di algoritmi di addestramento (reti neurali);**
 2. **rappresentazione esplicita, verificabile e ottimizzabile della conoscenza (logica fuzzy).**
- **Nel nostro caso: studio di un sistema esperto neuro-fuzzy (S.E.) con il software *FuzzyWorld*.**

Albero logico per la base di conoscenza del S.E.



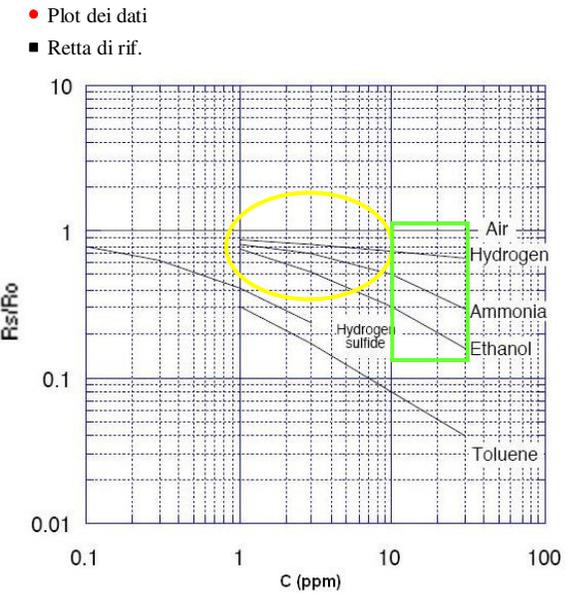
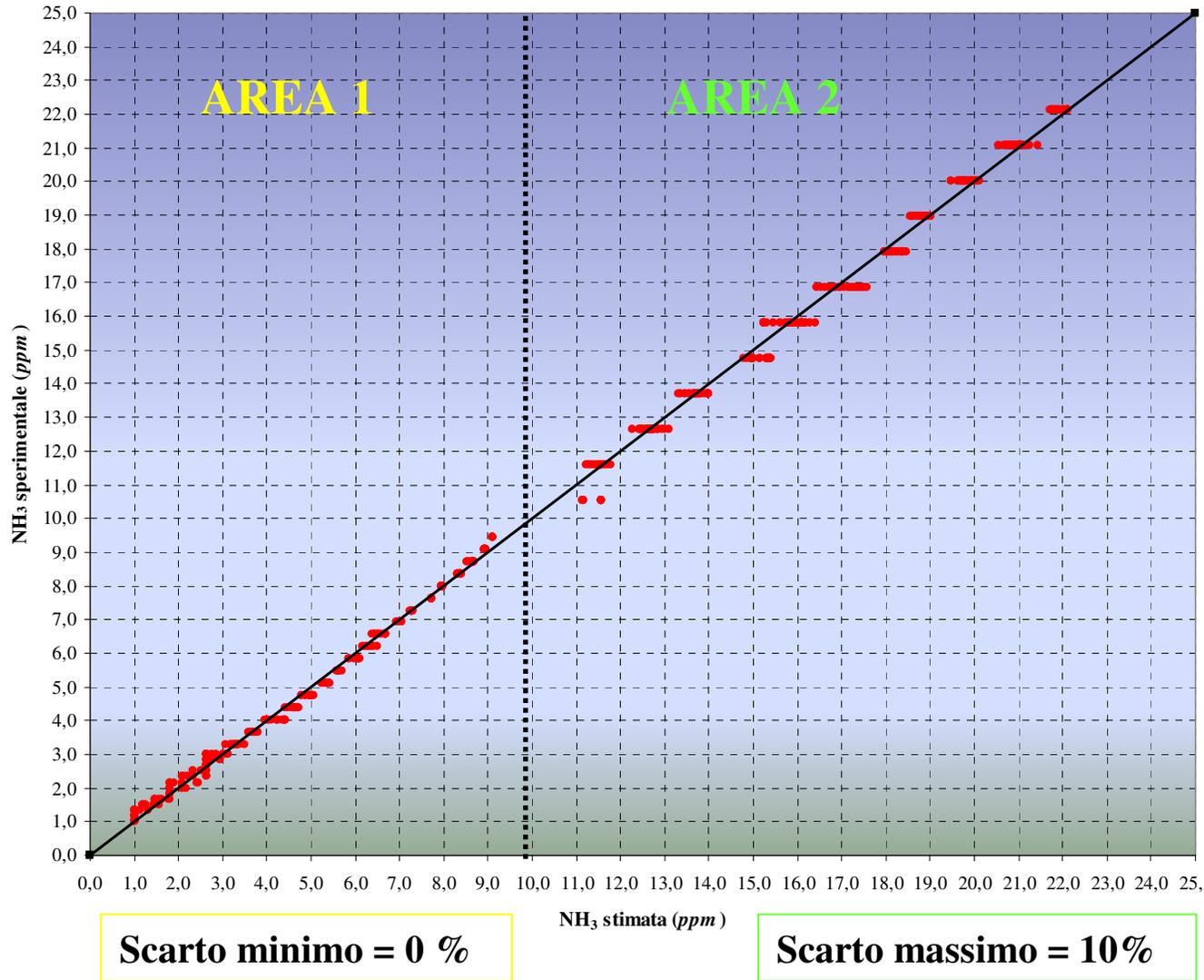
L'applicazione "Concentrazione ammoniacca" nel framework *FuzzyWorld*



Risultato del test di addestramento per l'applicazione “Concentrazione ammoniacca”

Id	Antecedents / Consequents				NH ₃ stimata	
	Segnale miscela	Umidità relativa	Temperatura	Concentrazione ammoniacca	Concentrazione ammoniacca	
1	0,82	40,00	29,11	1,00		1,00
1	0,82	65,00	27,22	1,00		1,00
1	0,82	85,00	25,58	1,00		1,00
1	0,82	40,00	29,35	1,00		1,00
1	0,82	65,00	27,46	1,00		1,00
1	0,82	85,00	25,84	1,00		1,00
1	0,81	40,00	29,58	1,17		1,00
1	0,81	65,00	27,71	1,17		1,00
1	0,81	85,00	26,10	1,17		1,00
1	0,80	40,00	29,81	1,33		1,00
1	0,80	65,00	27,95	1,33		1,15
1	0,80	85,00	26,36	1,33		1,00
1	0,80	40,00	30,04	1,33		1,00
1	0,80	65,00	28,19	1,33		1,31
1	0,80	85,00	26,62	1,33		1,00
1	0,79	40,00	30,27	1,50		1,21
1	0,79	65,00	28,44	1,50		1,43
1	0,79	85,00	26,88	1,50		1,19
1	0,79	40,00	30,50	1,50		1,26
1	0,79	65,00	28,68	1,50		1,56
1	0,79	85,00	27,14	1,50		1,26
1	0,78	40,00	30,73	1,67		1,47
1	0,78	65,00	28,92	1,67		1,78
1	0,78	85,00	27,40	1,67		1,48
1	0,78	40,00	30,97	1,67		1,58
1	0,78	65,00	29,17	1,67		1,81
1	0,78	85,00	27,66	1,67		1,62
1	0,77	40,00	31,20	1,83		1,83
1	0,77	65,00	29,41	1,83		1,81
1	0,77	85,00	27,92	1,83		1,81
1	0,76	40,00	31,43	2,00		2,08
1	0,76	65,00	29,65	2,00		1,81
1	0,76	85,00	28,19	2,00		1,81

Correlazione tra concentrazione “vera” e concentrazione “stimata” di NH₃



CONCLUSIONI

Risultati raggiunti al termine dell'attività di stage:

- Progettazione di un sensore ai nanotubi di carbonio per la misura della concentrazione ambientale di ammoniaca in due versioni (preliminare e avanzata).
- Analisi del possibile sistema di acquisizione dei segnali di output del sensore tramite un sistema esperto neurofuzzy.

Sviluppi futuri:

- realizzazione del sensore e verifica delle caratteristiche metrologiche: selettività, stabilità e sensibilità;
- taratura del dispositivo utilizzando serie storiche di dati reali;
- sviluppo e addestramento di un sistema esperto neurofuzzy per la misura reale della concentrazione ambientale di ammoniaca.