

PROGETTAZIONE REALIZZAZIONE E TEST PRELIMINARI DI PROTOTIPI DI NODI SENSORIALI PER GAS AMBIENTALI “TINYNOSE”

FABRIZIO FORMISANO, ETTORE MASSERA

ENEA - Dipartimento Tecnologie Energetiche

Divisione Fotovoltaico e Smart Network

Laboratorio Dispositivi Innovativi

Centro Ricerche di Portici, Napoli



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

PROGETTAZIONE REALIZZAZIONE E TEST PRELIMINARI DI PROTOTIPI DI NODI SENSORIALI PER GAS AMBIENTALI “TINYNOSE”

FABRIZIO FORMISANO, ETTORE MASSERA

ENEA - Dipartimento Tecnologie Energetiche

Divisione Fotovoltaico e Smart Network

Laboratorio Dispositivi Innovativi

Centro Ricerche di Portici, Napoli

I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
<http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

PROGETTAZIONE REALIZZAZIONE E TEST PRELIMINARI DI PROTOTIPI DI NODI SENSORIALI PER GAS AMBIENTALI “TINYNOSE”

FABRIZIO FORMISANO, ETTORE MASSERA

Sommario

Scopo del presente documento è quello di descrivere le attività nell'ambito dell'OR3 del progetto Industria 2015 denominato "Ortofrulog" finalizzato alla definizione delle specifiche definitive, progettazione, realizzazione e test di prototipi di nodi sensoriali (TinyNose) che integrino opportuni sensori per la stima, attraverso la misurazione di parametri fisici e chimici (impronta olfattiva), di un indice qualitativo di maturazione dei prodotti ortofrutticoli trasportati. Tale informazione è resa fruibile attraverso la piattaforma logistica innovativa prevista dal progetto mediante tecnologia RFID.

Parole chiave: tinynose, nodo sensoriale, indice qualitativo di maturazione, trasporto prodotti ortofrutticoli, rfid, impronta olfattiva.

Abstract

This document deals with the research activities performed in the OR3 of the 2015 Industry project called "Ortofrulog". The result is the definition of specifications, design, prototyping and testing of sensor nodes (TinyNose) able to calculate a qualitative ripening index of fruit and vegetables by means of chemical and physical sensors output elaboration(olfactive footprint). Ripening Index and other transport parameters are collected and released by an innovative logistic platform based on RFID technologies.

Keywords: tinynose, sensor node, qualitative ripening index, fruit and vegetables transport, rfid, olfactive footprint.

INDICE

INTRODUZIONE.....	7
1 SPECIFICHE DEFINITIVE DEL NODO SENSORIALE TINYNOSE	7
1.1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ.....	7
1.2 SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE SENSORISTICHE PER GAS AMBIENTALI	8
1.3 DEFINIZIONE E PREDISPOSIZIONE ALLA TECNOLOGIA DI COMUNICAZIONE SENZA FILI	9
1.4 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE PER IL SISTEMA DI CONTROLLO E CONDIZIONAMENTO	10
1.5 FUNZIONALITA' NODO SENSORIALE	10
1.6 CENTRALINA DI COLLEZIONE DATI E COMUNICAZIONE IN RETE DEI NODI SENSORIALI	11
2 REALIZZAZIONE E TEST DELL'ARCHITETTURA TINYNOSE/SVILUPPO	11
2.1 NODO SENSORIALE	12
2.1.1 SCELTA DEI SENSORI	12
2.1.2 SCHEDE DI CONTROLLO ED ALIMENTAZIONE	14
2.1.3 SCHEDE DI CONDIZIONAMENTO SENSORI.....	15
2.1.4 FIRMWARE DI GESTIONE	16
2.2 NODO DATALOGGING/GATEWAY	18
2.3 INFRASTRUTTURA TECNOLOGICA PER LA RIDONDANZA E FRUIZIONE DEI DATI COLLEZIONATI DAI TINYNOSE.....	20
3 TEST ARCHITETTURA TINYNOSE/SVILUPPO E TARATURA SENSORI.....	20
3.1 METODOLOGIA E RISULTATI TARATURA SENSORI	20
4 REALIZZAZIONE E TEST DEL PROTOTIPO FINALE DISPOSITIVO TINYNOSE.....	22
4.1 NODO SENSORIALE	23
4.1.1 CARATTERISTICHE HARDWARE ED INTERFACCIA TINYNOSE-TAG	23
4.1.2 FIRMWARE DI GESTIONE	25
4.1.3 MODELLO MATEMATICO SEMPLIFICATO PARAMETRO DI MATURAZIONE.....	27
4.2 TEST DI LABORATORIO DEL DISPOSITIVO COMPLETO	27
5 TEST SU STRADA	29
6 OTTIMIZZAZIONE E FEATURE AVANZATE.....	30
7 CONCLUSIONI.....	31
ALLEGATO 1 – SINTESI DEL PROGETTO ORTOFRULOG.....	32
ALLEGATO2 - SISTEMA DI CALIBRAZIONE SENSORI PER GAS AMBIENTALI (GSCS)	33
ALLEGATO3 – VERSIONE FINALE INTERFACCIA ABG245-3S PER TINYNOSE (FONTE: IDNOVA IN COLLABORAZIONE CON ENEA).....	34

INTRODUZIONE

Scopo del presente documento è descrivere le attività di definizione delle specifiche definitive, progettazione, realizzazione e test preliminari del nodo sensoriale “TinyNose”, sviluppato nell'ambito dell'OR3 del progetto Industria 2015 denominato “ORTOFRULOG” (per una sintesi del progetto vedi l'allegato 1).

Lo scenario tecnologico cui si fa riferimento è il monitoraggio innovativo di prodotti ortofrutticoli in camion frigo durante il trasporto. All'interno dei container frigo vengono disposti Pallett di Frutta o verdura confezionati. In tale scenario è prevista la realizzazione di un sistema embedded stand alone (tinynose), dotato di sensori gas a stato solido, da impiegare in più punti all'interno del vano di trasporto e capaci di interfacciarsi con TAG rfid inviando un parametro qualitativo dello stato di conservazione dei prodotti ortofrutticoli. Tali informazioni vengono veicolate dall'unità di lettura rfid verso il computer di bordo preposto all'elaborazione e la trasmissione ad un server centrale.

Il lavoro sin qui svolto è il risultato di competenze tecnologiche trasversali che spaziano dal campo della sensoristica dei gas ambientali, a quello dell'elettronica embedded open source, fino alle infrastrutture di rete come il cloud computing. Le competenze e le infrastrutture sviluppate in quest'ambito possono essere proficuamente impiegate in svariati ambiti applicativi.

1 SPECIFICHE DEFINITIVE DEL NODO SENSORIALE TINYNOSE

Di seguito saranno illustrati i passi che hanno portato alla definizione della piattaforma “tinynose”

1.1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ

Il contributo del laboratorio DTE-FSN-DIN di ENEA al progetto “Ortofrulog” è stato articolato nella specifica realizzazione dei seguenti punti, funzionali al raggiungimento dell'obiettivo:

- scelta dei Sensori di gas a stato solido da installare a bordo del nodo sensoriale;
- scelta della tecnologia trasmissiva wireless;
- scheda di condizionamento sensori: acquisto o progettazione;
- piattaforma elettronica di alimentazione e controllo;
- firmware di gestione del singolo TinyNose;
- collettore dei dati provenienti dai nodi sensoriali;
- algoritmo di calcolo dell'indice di maturazione dei prodotti ortofrutticoli;
- interfacciamento seriale con i TAG-IDNOVA;

L'architettura generale del sistema TinyNose ha due configurazioni possibili:

- Configurazione TinyNose/sviluppo (fig. 1a) che permette di studiare il comportamento dei sensori in laboratorio in ambienti simulanti lo scenario applicativo. In questa configurazione i nodi sensoriali dialogano senza fili con un server (datasink) che registra in un database le

risposte di tutti i sensori. I dati contenuti in tale archivio vengono serviti e elaborati per testare e correlare le risposte dei sensori alle variazioni dei gas analiti indotte in maniera sistematica e controllata.

- Configurazione Tag-IDNOVA/TinyNose (fig. 1b), in cui il nodo sensoriale sarà connesso fisicamente al TAG della IDNOVA (partner di progetto), conserva in locale gli output dei sensori e comunica al TAG un indice sintetico indicante lo stato di maturazione della frutta. Tale informazione è trasmessa dal Tag-IDNOVA al lettore e quindi ad un server che rende disponibile l'informazione nell'infrastruttura logica.

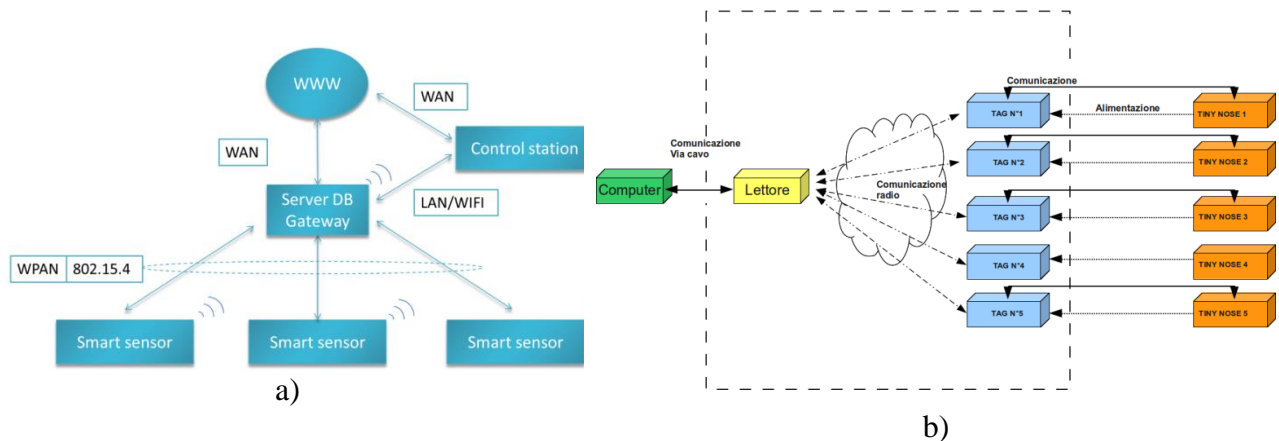


Figura 1: a) configurazione da sviluppo; b) configurazione con Tag-IDNOVA

1.2 SELEZIONE DELLE TECNOLOGIE SENSORISTICHE PER GAS AMBIENTALI.

Come abbiamo già accennato lo scenario di riferimento è il trasporto di prodotti ortofrutticoli in camion frigo. All'interno dei container frigo vengono disposti Pallett di Frutta o verdura. In tale contesto si vuole monitorare la maturazione dei prodotti durante il trasporto. Preliminarmente è necessario identificare quali composti organici volatili possono essere correlati alla maturazione dei prodotti ortofrutticoli (impronta olfattiva). La letteratura scientifica identifica come gas analiti di riferimento nella quasi totalità dei processi di maturazione di prodotti ortofrutticoli l'etilene o etene, un gas incolore, dal lieve odore dolciastro. L'etene è un fitoormone, ovvero un ormone delle piante ed è essenziale anche nel ruolo di "segnale d'allarme" chimico-fisico in caso di infestazioni della pianta da parte di parassiti nonché di rotture o storture. Insieme ad altre sostanze quali l'acido salicilico, l'etene marca la zona danneggiata e stimola la produzione di fitotossine. Essendo un gas, e quindi diffondendosi, l'etene "mette in allarme" stimolando reazioni a cascata anche le parti della pianta prossime e le piante vicine.

Studi sulla maturazione hanno mostrato che le quantità sprigionate di etilene sono tali che in ambiente difficilmente si superano le centinaia di ppm (parti per milione). Alla luce di questo si può ragionevolmente pensare che l'impronta olfattiva da individuare sia costituita da una componente data dal livello di etilene e che quindi uno dei requisiti fondamentali dei sensori impiegati e che essi siano in grado di rilevare basse concentrazioni di tale analita.

Incrociano tali informazioni con le tecnologie che il mercato mette a disposizione, considerando che i sensori devono essere montati su elettronica stand-alone all'interno dei vani frigo contenenti

ortofrutta e che siano in grado di rivelare Etilene, siamo giunti a selezionare tre tipologie di sensori disponibili:

- IR (ottici ad infrarosso);
- a pellistore (catalitici);
- a ossido metallico (MOX).

I sensori Ottici, miniaturizzati ed i pellistori vengono impiegati in applicazioni dove bisogna monitorare gas combustibili e quindi, grandi concentrazioni di etilene in intervallo che vanno da 0 a 50,000ppm con risoluzioni di centinaia di ppm. Quindi potrebbero non essere adatti allo scenario richiesto

I sensori ad ossido metallico (MOX) invece vengono impiegati da anni nell'elettronica portatile e oggi giorno trovano sempre più impiego in oggetti a batteria come gli etilometri o la domotica.

Questa tipologia di sensori quindi trova facilmente impiego per la rivelazione di Alcool, ma grazie alla sua natura aspecifica può essere impiegato anche con successo per l'etilene come mostrato da un'ampia rassegna di articoli in letteratura.

1.3 DEFINIZIONE E PREDISPOSIZIONE ALLA TECNOLOGIA DI COMUNICAZIONE SENZA FILI.

In entrambe le configurazioni architetture/funzionali in cui sarà realizzato il sistema, è necessario dotare i singoli nodi sensoriali di tecnologia trasmissiva wireless.

Infatti, nella configurazione TinyNose/sviluppo dovendo essere utilizzati in ambienti che simulano lo scenario applicativo (camere ad atmosfera condizionata), l'utilizzo di nodi sensoriali con capacità trasmissive wireless ci rende indipendenti dalla reale predisposizione alla cablatrice di tali ambienti che nella maggioranza dei casi non era compatibile con le nostre esigenze.

Nella configurazione Tag-IDNOVA/TinyNose i nodi dovranno interagire con l'infrastruttura di monitoraggio attraverso RFID, e risulta necessario dotarli di idonee interfacce di comunicazione (bus) e predisporre il relativo protocollo per dialogare con l'hardware del dispositivo TAG.

Per quanto riguarda l'infrastruttura sviluppo, i protocolli di comunicazione wireless presi in considerazione sono riferiti tutti a tecnologie commercialmente molto diffuse ed a basso costo, essi sono: zigbee ed il suo protocollo base (802.15.4), bluetooth, wi-fi.

La scelta è ricaduta sulla classe delle prime per i punti di forza tipici di questo tecnologia/protocollo nato proprio per la classe di applicazioni che andremo a realizzare.

Tale tecnologia si presta, più delle altre, nell'impiego in reti W-PAN (Wireless Personal Area Network) a basso bit rate (c.a. 250 Kbps) costituite da dispositivi alimentati a batteria che non possono essere sostituite frequentemente.

Inoltre esso è orientato alla realizzazione di reti di trasmissione ad alta affidabilità a diversa topologia (star, peer to peer, mesh)(fig. 2) con estensioni spaziali superiore ai dieci metri (10-100+m) e con un elevato numero di nodi.

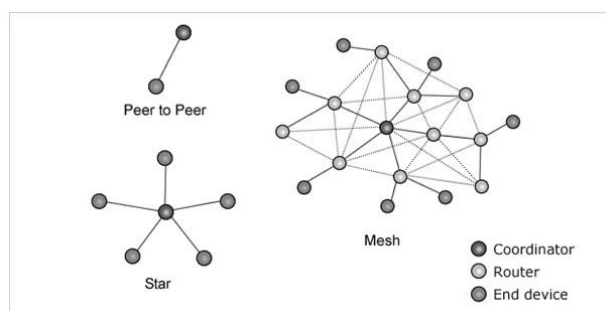


Figura. 2: Topologie realizzabili con protocollo bluetooth

E' risultata fondamentale nella scelta soprattutto la capacità dei singoli nodi di rimanere in uno stato di inattività (sleep mode) per lunghi periodi senza dover comunicare con la rete e con consumi bassissimi (c.a. 1 uA).

Per quanto riguarda la versione con Tag del nodo sensoriale è stato necessario individuare e definire, attraverso l'analisi delle caratteristiche tecniche del tag prodotto dal partner di progetto IDNOVA, un bus e un protocollo su cui basare il trasferimento dati tra i due dispositivi. Nei paragrafi successivi saranno riassunti gli aspetti salienti della scelta.

1.4 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE PER IL SISTEMA DI CONTROLLO E CONDIZIONAMENTO

Viste le richieste tecniche esplicitate nel capitolo precedente, il nostro lavoro è proseguito nel vagliare le tecnologie presenti sul mercato per scegliere quelle che più potessero assicurare concetti fondamentali per la nostra specifica applicazione elencati di seguito:

- Piattaforma elettronica "MCU based" con standard "Open source" modulare, flessibile e a basso costo, con la capacità di interfacciamento con bus seriali di tipo sincroni ed asincroni (Usb, I2C,UART), concepita anche per lo sviluppo di applicativi wireless predisposta alla programmazione OTA.
- Alimentazione mista wired e a Batteria per applicazioni "Stand Alone".
- Predisposizione ad accogliere elettronica di supporto a basso consumo e basso costo orientata ad applicazioni sensoristiche, compatibile con l'alimentazione e il condizionamento di segnale per sensori MOX.
- API specialistiche con licenza "Open Source" a supporto dell'hardware "application oriented".

1.5 FUNZIONALITA' NODO SENSORIALE

Le potenzialità hardware del nodo sensoriale deve essere gestita e personalizzata attraverso la corretta realizzazione di un firmware di gestione.

Esso deve sostanzialmente prevedere l'implementazione di una serie di funzionalità che vanno a soddisfare le attività previste per le singole fasi del progetto.

La prima fase in cui il nodo sensoriale è inserito in un'architettura generale con configurazione TinyNose/sviluppo per permettere di studiare il comportamento dei sensori in laboratorio in ambienti simulanti lo scenario applicativo. In questa configurazione il singolo nodo sensoriale dialoga senza fili con il server gateway/datalogger che registra in un database interno e/o esterno le risposte di tutti i sensori.

L'architettura di rete wireless da implementare è di tipo "Star" (fig.2) e deve implementare una comunicazione affidabile di dati tra più elementi sensoriali ed il singolo concentratore (server gateway).

Il singolo nodo deve quindi essere in grado di risolvere le seguenti specifiche funzionalità:

1. configurazione e gestione della dinamica dei sensori;
2. configurazione e gestione della trasmissione su rete wireless (802.15.4);
3. configurazione e gestione dei consumi;
4. impacchettamento dati compatibile con parser datalogger;
5. predisposizione e gestione della programmazione OTA.

La seconda fase in cui il nodo sensoriale dialoga attraverso il tag con l'infrastruttura logistica. In questa fase il singolo nodo deve essere in grado di implementare le seguenti funzionalità:

1. configurazione e gestione della dinamica dei sensori;
2. configurazione e gestione della comunicazione HW con il TagRFID;
3. configurazione e gestione dei consumi;
4. gestione del protocollo di comunicazione con il TAG;
5. analisi dei dati sensoriali(impronta olfattiva) e implementazione algoritmo per il calcolo del parametro di maturazione.

1.6 CENTRALINA DI COLLEZIONE DATI E COMUNICAZIONE IN RETE DEI NODI SENSORIALI

Nella configurazione da sviluppo dei nodi sensori TinyNose è necessario consultare l'output dei sensori e rendere fruibili tali informazioni per successive elaborazioni. Bisogna quindi approntare un computer server che possa:

- interrogare i nodi sensori da web;
- archiviare in un Database i segnali dei sensori provenienti da ogni nodo;
- essere consultato con una interfaccia grafica efficace;
- avere capacità di effettuare pre-elaborazioni su dati per una successiva analisi;
- avere una ridondanza per la protezione dei dati.

2 REALIZZAZIONE E TEST DELL'ARCHITETTURA TINYNOSE/SVILUPPO

In questo capitolo illustreremo più in dettaglio come sono stati realizzati i nodi sensoriali TinyNose e il nodo datalogging/gateway. Si partirà dalla descrizione tecnica dei sensori scelti ed utilizzati per la specifica applicazione e a seguire si passerà al dettaglio sull' hardware ed il software necessario.

2.1 NODO SENSORIALE

Di seguito si entrerà nella specifica descrizione delle caratteristiche tecniche dei sensori di gas, della scheda elettronica di controllo ed alimentazione, della scheda elettronica di condizionamento sensori e della struttura del firmware costituenti il nodo sensoriale Tinynose

2.1.1 SCELTA DEI SENSORI

Alla luce dell'analisi eseguite, la scelta dei sensori, da impiegare nella specifica applicazione, è stata eseguita sulla classe dei sensori di gas chemiresistivi.

Leader del mercato globale di questa tipologia di sensori è l'Azienda giapponese FIGARO ENGINEERING INC. che nel suo catalogo offre un ampio ventaglio di sensori MOX.

Altra Azienda in forte espansione è la E2V che mostra nel suo catalogo sensori MOX estremamente innovativi.

Esistono poi nel mercato, una moltitudine aziende distributrici di sensori MOX molto economici ma poco caratterizzati.

La Figaro, come la e2V, produce dei MOX per applicazioni di controllo della qualità dell'aria e quindi caratterizzati per rispondere all'esposizione di VOC come etanolo, ammoniaca etc...

Sono stati quindi acquistati e testati in etilene le seguenti classi di sensori: TGS2600, TGS2620, TGS2602.

I test sono stati eseguiti con l'impianto di caratterizzazione sensori in ambiente controllato (GSCS) le cui specifiche sono illustrate in appendice apposita.

Come si vede dalla tabella 1 e dalla figura 3, sono stati eseguiti test a due temperature e a due tassi d'umidità per avere indicazioni sull'interferenza di questi due parametri sulle risposte all'etilene. I test sono stati ripetuti per valutare la ripetibilità delle risposte. Sono state misurate le curve di sensibilità dei sensori nel intervallo di etilene 0-100ppm mostrando ottime capacità di distinguere pochi ppm di etilene in maniera affidabile.

I sensori tgs2600 e tgs2602 hanno risposte molto simili (fig 4) tra di loro e tra sensori gemelli dai 10ppm di etilene in poi, il sensore tgs2620 ha invece un comportamento ben diverso caratterizzato da una dinamica molto più piccola.

I test indicano anche che, in aria ambiente, i sensori possono essere "storditi" da analiti presenti che possono purtroppo alzare la soglia di minima concentrazione rilevabile.

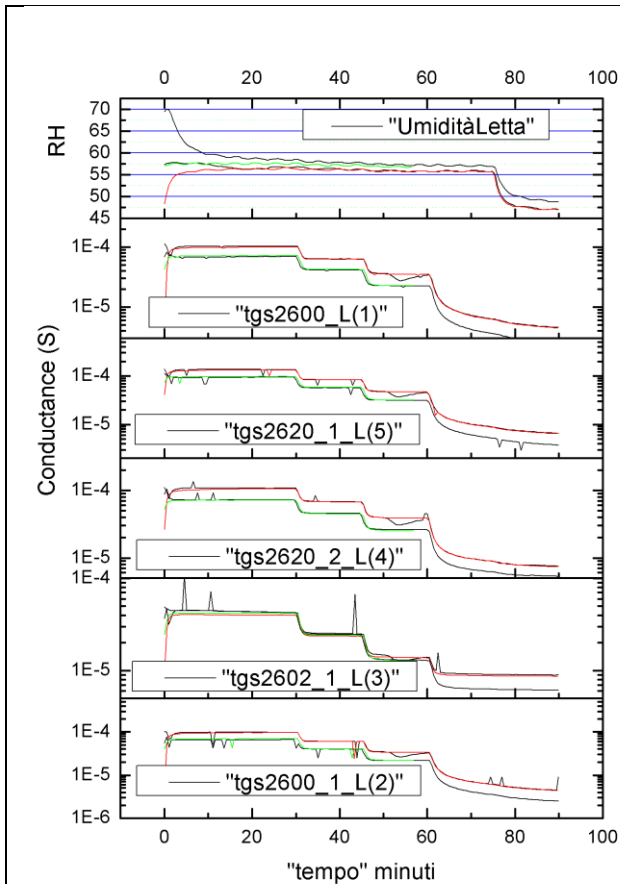


Figura 3: Comportamento della conduttanza dei sensori a temperature diverse (linea rossa 25°C, verde 8°C, in nero le misure ripetute) : i sensori sono esposti in umidità costante a 100ppm di etilene per i primi 30 minuti, 40ppm per i successivi 15min, poi 10ppm per altri 15 min

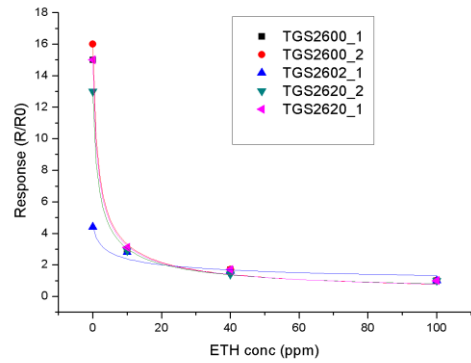


Figura 4: Curve di sensibilità della resistenza dei dispositivi all'etilene. R0 è la resistenza del dispositivo 100ppm di etilene

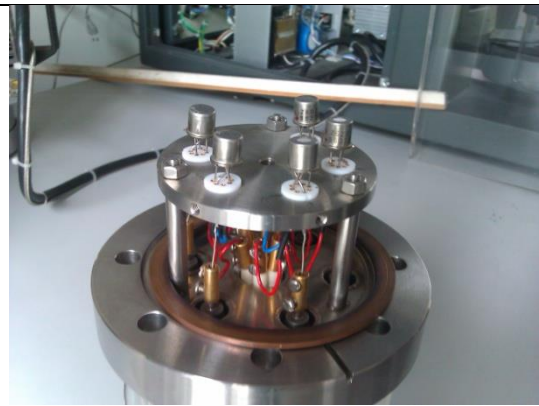


Figura 5: I sensori Figaro installati sulla flangia della camera di test dell'Impianto

run	note	ETH conc ppm	T °C	RH %	conductance SX10 ⁻⁴				
					TGS2600_1	TGS2602_1	TGS2620_2	TGS2620_1	TGS2600_2
			letto						
2562		100	26	56	1	0.41	1.1	1.3	1
2562		40	26	56	0.6	0.25	0.67	0.84	0.62
2562		10	26	56	0.33	0.14	0.4	0.47	0.36
2562		0	26	52	0.07	0.09	0.1	0.1	0.07
2562		0	26	47	0.04	0.09	0.07	0.06	0.04
2559		400	26	60	2	0.9	2	2.8	2
2559		40	26	60	0.6	0.25	0.7	0.8	0.63
2559	amb. air	0	26	60	0.1	0.12	0.17	0.15	0.11
2568		100	11	57	0.7	0.41	0.71	0.97	0.7
2568		40	11	57	0.4	0.24	0.45	0.58	0.4
2568		10	11	57	0.21	0.18	0.25	0.31	0.2
2568		0	11	57	0.035	0.06	0.06	0.05	0.04
2568		0	11	48	0.025	0.06	0.05	0.04	0.025

Tabella 1 riassuntiva dei test eseguiti sui sensori della figaro.

2.1.2 SCHEDA DI CONTROLLO ED ALIMENTAZIONE

Per la scheda di controllo è stato scelto il prodotto WASPMOTE della ditta ©Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. che ha i seguenti punti di forza:

- alimentazione mista Stand alone o wired a Basso consumo;
- strumenti per la gestione intelligente dei consumi;
- API con licenza Open Source derivate dalla piattaforma Hardware Arduino©;
- elettronica aggiuntiva orientata alle applicazioni sensoristiche con grande varietà di sensori installabili (compatibile con i sensori di nostro interesse) e con API dedicate sotto licenza “Open Source”;
- compatibilità con le più importanti linee di bus sincrone/asincrone (spi, I2C, UART, USB);
- possibilità di espansione modulare per progettazioni custom;
- compatibile con 8 tecnologie radio (tra cui ZigBee e 802.15.4);
- dispositivi programmabili da remoto e senza fili;
- librerie di criptazione.

Esso è una piattaforma elettronica con predisposizioni ad accogliere moduli wireless che utilizzano diverse tecnologie/protocolli. Essa è basata su di un'architettura modulare la cui progettazione è focalizzata sull'implementazione di moduli a basso consumo per realizzare dispositivi completamente autonomi funzionanti a batteria ad elevata autonomia. Il waspmote è un fork della piattaforma "Open Hardware"Arduino© e conserva la compatibilità con il suo ambiente di sviluppo. Da inoltre esso eredita la piena compatibilità con le API e la capacità di gestione, attraverso diverse tipologie di BUS, di espansioni e dispositivi più o meno standard (moduli radio, espansioni, ecc.). Un'altra caratteristica è la predisposizione alla gestione, tramite software, dei consumi basata su eventi sincroni ed asincroni in applicazioni sensoristiche. Di seguito, sono elencate alcune delle specifiche tecniche della piattaforma waspmote e le immagini illustranti la componentistica elettronica montata a bordo della scheda.

Wasp mote

General data:

Microcontroller:	ATmega1281
Frequency:	8MHz
SRAM:	8KB
EEPROM:	4KB
FLASH:	128KB
SD Card:	2GB
Weight:	20gr
Dimensions:	73.5 x 51 x 13 mm
Temperature Range:	[-20°C, +65°C]
Clock:	RTC (32KHz)



Consumption:

ON:	9mA
Sleep:	62µA
Deep Sleep:	62µA
Hibernate:	0.7µA

Operation without recharging: 1 year *

* Time obtained using the Hibernate mode as the energy saving mode

Inputs/Outputs:

7 Analog (I), 8 Digital (I/O), 1 PWM, 2 UART, 1 I2C, 1 USB

Electrical data:

Battery voltage:	3.3 V - 4.2V
USB charging:	5 V - 100mA
Solar panel charging:	6 - 12 V - 280mA
Auxiliary battery voltage:	3V

Built-in sensors on the board:

Temperature (+/-): -40°C, +85°C, Accuracy: 0.25°C
 Accelerometer: ±2g (1024 LSB/g) / ±6g (340LSB/g)
 40Hz/160Hz/640Hz/2560Hz

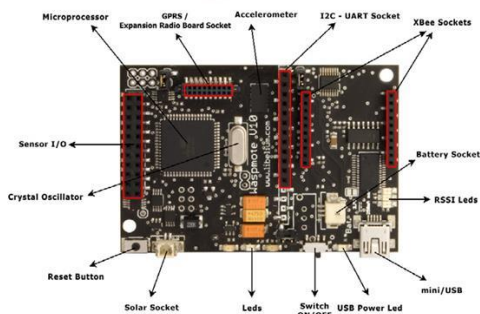


Figure 1: Wasp mote Board Top

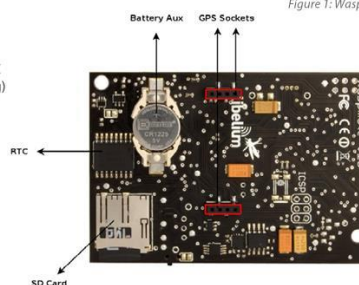


Figure 2: Wasp mote Board Bottom

Figura 6: Specifiche tecniche salienti della piattaforma waspmote(fonte: documentazione ufficiale dispositivo)

2.1.3 SCHEDA DI CONDIZIONAMENTO SENSORI

La scheda che dovrà alimentare e leggere l'output sensori della figura è un prodotto della stessa ©Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.

Essa permette la gestione contemporanea di 6 sensori gas di diverse tipologie (tra cui anche quelli di nostro interesse) oltre che di sensori di umidità, temperatura e pressione. Presenta la gestione on board dell'alimentazione e del condizionamento dei segnali pilotabili via software. La dotazione hardware sfrutta un sistema d'interruttori a stato solido, amplificatori a guadagno variabile e potenziometri digitali che permettono di realizzare via software una gestione intelligente sia dei consumi che del condizionamento e dell'acquisizione dei segnali di uscita.

In figura 7 sono illustrati gli alloggiamenti dei sensori che possono essere ospitati sulla scheda.

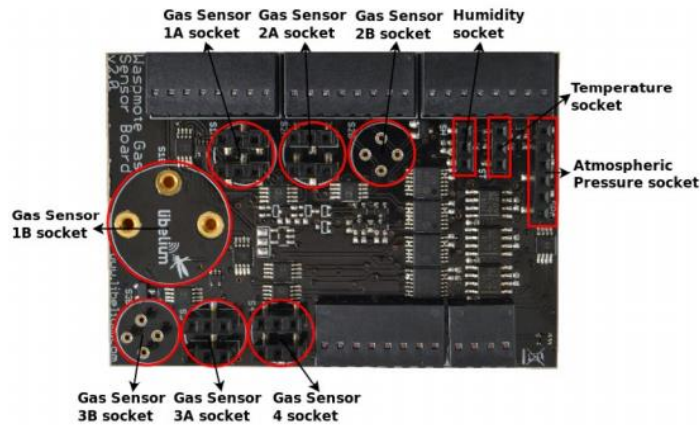


Figura 7: la scheda di condizionamento sensori(fonte: documentazione ufficiale dispositivo).

Le specifiche tecniche principali della scheda sono riassunte in tabella 2.

Peso	20gr
Dimensioni	73,5 X 51 X 1,3mm
Intervallo di temperatura d'utilizzo	[-20°C, 65°C]
Alimentazione della scheda	3,3V e 5V
Alimentazione dei Sensori	5V - 2,5V - 1,8V
Massima Corrente ammessa (in continuo)	200mA
Massima Corrente ammessa (picco)	400mA

Tabella 2: Dati generali della scheda di condizionamento sensori.

2.1.4 FIRMWARE DI GESTIONE

Come abbiamo avuto modo di accennare il nodo sensoriale è costituito da tre elementi fondamentali: la scheda di controllo, il modulo radio e la scheda di condizionamento e gestione sensori.

Il firmware deve farsi carico di gestire la loro interazione implementando le funzionalità sopracitate.

Per quanto riguarda la scheda sensori (gas sensor board), è stato fondamentale nel suo utilizzo la scelta e l'implementazione di una strategia di power management del singolo sensore e delle fasi di condizionamento e acquisizione del segnale di output. Si è pertanto assicurato il mantenimento del punto di lavoro del sensore in un corretto intervallo, con un livello elevato di S/N del segnale di uscita. Il sistema è stato predisposto oltre a trasmettere e collezionare dati aggregati anche a rendere disponibili quelli raw per analisi più approfondite sul comportamento dei sensori e sull'analisi degli

errori statistici. Gli elementi su cui si è agito sono: la strategia d'intervento degli interruttori di alimentazione a stato solido, la scelta dei corretti valori della resistenza di carico del sensore e la configurazione dell'amplificazione del segnale di uscita.

Questi ultime due sono state accuratamente tarate in base alle specifiche del particolare sensore scelto (anche dello stesso modello) e del valore e dell'intervallo di concentrazione del gas da monitorare.

Per il modulo radio ci si è soffermato preliminarmente a creare un'infrastruttura di rete di tipo "star" affidabile, basata su protocollo 802.15.4 e predisposta alla protezione dei dati. In questa fase si è curata la definizione ed il monitoraggio dei parametri di rete con la predisposizione di test specifici per la valutazione del miglior canale utilizzabile nei vari scenari trasmissivi e l'individuazione di anomalie o di rete fortemente disturbata.

Una particolare cura è stata destinata all'incapsulamento dei dati a livello applicazione per sfruttare un prototipo di applicativo parser già presente sul server e alla definizione di chiavi secondarie da associare ai dati sensoriali per consentirne una corretta post-elaborazione.

Di seguito è mostrato un diagramma di flusso generale del firmware realizzato per la scheda di controllo. Come si può notare oltre ai moduli per garantire le azioni menzionate si è implementata la gestione dell'aggiornamento firmware via OTA (OnTheAir) sfruttando le API messe a disposizione dal produttore. Nella fase di configurazione iniziale è stata mantenuta un'ampia flessibilità, consentendo di variare molti parametri essenziali sia per l'acquisizione che per la pre-elaborazione/trasmissione del dato. Come si vede dal diagramma, il sistema legge un eventuale file di configurazione precaricato nella memoria uSD in cui possono essere riportati i parametri che si desidera modificare rispetto ad una configurazione di default standard. I parametri in questione riguardano il condizionamento dei sensori (Tempo di warming, gain, resistenza di carico), il processo di acquisizione (numero di acquisizioni per singola misura, il fattore di copertura), la trasmissione wireless (canale di trasmissione, indirizzi di rete e SSid), la configurazione generale (parametri programmazione OTA, ecc.).

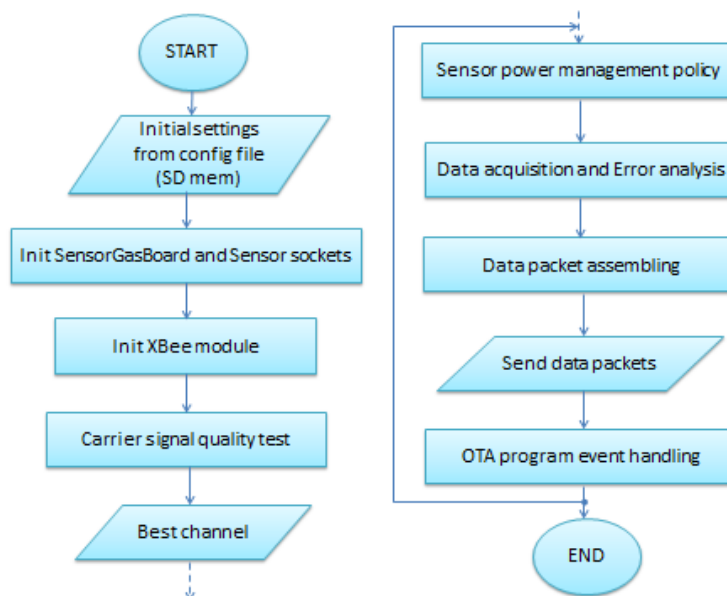
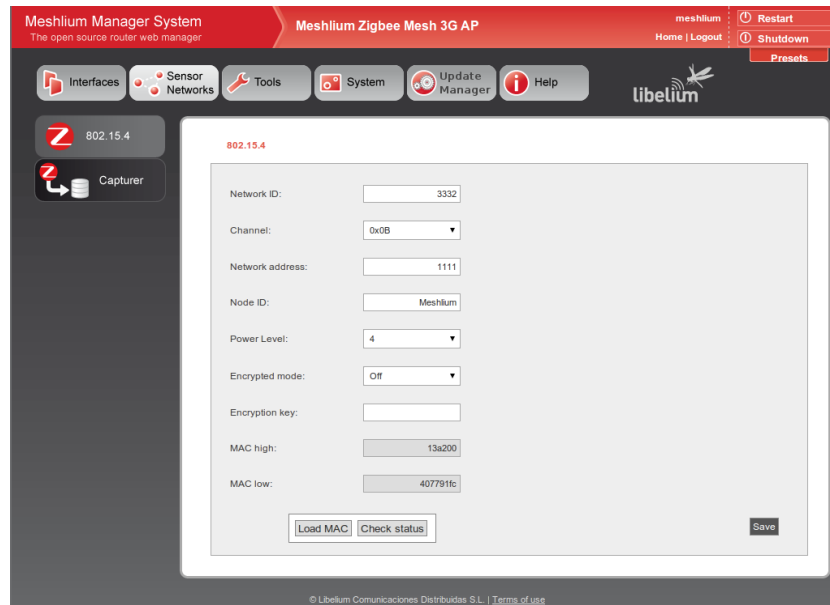


Figura 8 Flow diagram generale del firmware

2.2 NODO DATALOGGING/GATEWAY

Per quanto riguarda il nodo server, risulta rispondere a tutte le caratteristiche menzionate il dispositivo Meshlium della ©Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. Esso è un router basato su Linux equipaggiato con moduli radio (WiFi, ZigBee/802.15.4, ecc) ed interfacce ethernet, con la capacità di poter funzionare da gateway e da datalogger per la rete di nodi sensoriali, veicolando i dati della rete ZigBee sulla rete Ethernet o verso database interni/esterni. Inoltre sono presenti le funzionalità di Access Point per dispositivi Wi-fi. Sul Meshlium è inoltre implementata un'interfaccia web che permette di controllare tutti i parametri di configurazione di rete in modo semplice e sicuro alla stregua di un qualsiasi router per uso casalingo.



Processor	500MHz (x86)	
RAM memory	256MB (DDR)	
Disk memory	8GB / 16GB / 32GB *	
Power	3W (18V)	
Power Source	POE (Power Over Ethernet)	
Normal Current Consumption	270mA	
High Current Consumption	450mA	
Max Supply Current	1.5A	
Enclosure	Material	Aluminium
	Dimensions	210x175x50mm
	Weight	1,2Kg
	External protection	IP65
Temperature Range	-20°C / 50°C	
Response Time to ethernet ping	60s	
Time to have all the services running	90s	
Types of power supply ** for POE	AC-220V	
	Battery - solar panel (DC-12V)	
	Car lighter (DC-12V)	
System	Linux, Debian, OLSR Mesh communication protocol, Madwifi Drivers.	
Management software	Meshlium Manager System (open source)	
Security	Authentication WEP, WPA-PSK, HTTPS and SSH access.	

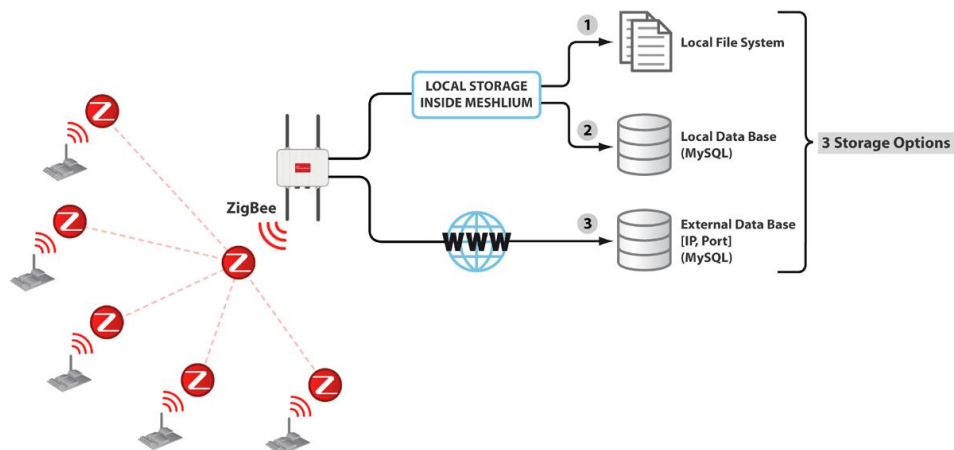


Figura 10: caratteristiche e funzionalità generali del Meshlium.

L'archiviazione dei dati interni avviene su un server database MySQL che può essere sincronizzato con un database remoto. Il Database, totalmente personalizzabile, può essere gestito tramite “sql commands” o attraverso l’interfaccia web.

Captured Data

Local DataBase External Database Show me NOW Advanced

Database: MeshliumDB
 Table: sensorParser
 IP: localhost
 Port: 3306
 User: root
 Password: ibelum2007

Store frames in the local data base Save

Show data Last 100 insertions.

ID	Date	Sync	ID Wasp	ID Secret	Frame Type	Frame Number	Se
73650	2013-01-30 18:57:18	0	N1	35690399	253	29	IN
73649	2013-01-30 18:57:18	0	N1	35690399	253	29	BF
73648	2013-01-30 18:57:18	0	N1	35690399	253	29	ST
73647	2013-01-30 18:57:07	0	N1	35690399	253	28	IN
73646	2013-01-30 18:57:07	0	N1	35690399	253	28	BF
73645	2013-01-30 18:57:07	0	N1	35690399	253	28	ST
73644	2013-01-30 18:56:57	0	N1	35690399	253	27	IN
73643	2013-01-30 18:56:57	0	N1	35690399	253	27	BF
73642	2013-01-30 18:56:57	0	N1	35690399	253	27	ST
73641	2013-01-30 18:56:46	0	N1	35690399	253	26	IN
73640	2013-01-30 18:56:46	0	N1	35690399	253	26	BF
73639	2013-01-30 18:56:46	0	N1	35690399	253	26	ST
73638	2013-01-30 18:56:36	0	N1	35690399	253	25	IN

Figura 11: Esempio di consultazione dell'archivio sensori

Tramite un collegamento SSH da un Pc remoto, è possibile gestire completamente l'intero sistema con la possibilità di configurare e predisporre software ad-hoc per la propria applicazione (inviare dati o comandi ai nodi sensori). E' possibile gestire inoltre da remoto le fasi di programmazione OTA (On the Air) per compilare ed inviare i firmware a bordo dei nodi sensoriali.

Scelto il dispositivo, in accordo con le funzionalità generali previste per l'architettura tinynose/sviluppo e i singoli nodi sensoriali, sono state curate le seguenti attività lato server:

1. configurazione e gestione infrastruttura di rete;
2. configurazione parser;
3. configurazione e personalizzazione della base dati;
4. configurazione gestione del Datalogging.

2.3 INFRASTRUTTURA TECNOLOGICA PER LA RIDONDANZA E FRUIZIONE DEI DATI COLLEZIONATI DAI TINYNOSE

Come specificato nel paragrafo precedente, il Datasink può sincronizzarsi via LAN con un archivio dati MYSQL. A tal proposito è stato approntato un virtual-server su tecnologia Cloud VMWARE che permette la sincronizzazione e backup dei dati provenienti dal Datasink e può essere interrogato con interfaccia web "phpmyadmin" da indirizzo pubblico. Tale infrastruttura è, per sua natura, altamente scalabile e modulabile. Ecco una tabella (tab.3) riassuntiva delle specifiche principali dell'infrastruttura tecnologica.

Infrastruttura Cloud	VMWARE cloud ENEA
Sistema Operativo Macchina virtuale	Ubuntu 12
Capacità di archiviazione	100 GB espandibili
Versione MYSQL	
Versione PHPMYADMIN	

Tab 3: caratteristiche infrastruttura cloud

3 TEST ARCHITETTURA TINYNOSE/SVILUPPO E TARATURA SENSORI

Il primi prototipi di TinyNose realizzati sono stati testati con la versione firmware 1.1 per la taratura in etilene dei sensori scelti. L'intera architettura nodi sensoriali-server (Figura 12) è stata testata in laboratorio in tutte le sue funzionalità.

3.1 METODOLOGIA E RISULTATI TARATURA SENSORI

I prototipi realizzati (figura 12) montano tre sensori gas della Figaro (Figaro mod. tgs2602, tgs2620, tgs2600) e due sensori (umidità mod. MCP9700A e temperatura mod. 808H5V5) per il costante monitoraggio microclimatico dell' area sensori nell'ambiente di taratura.

I test sono stati eseguiti con un sistema di calibrazione di sensori in ambiente controllato (GSCS), le cui specifiche sono illustrate in allegato.



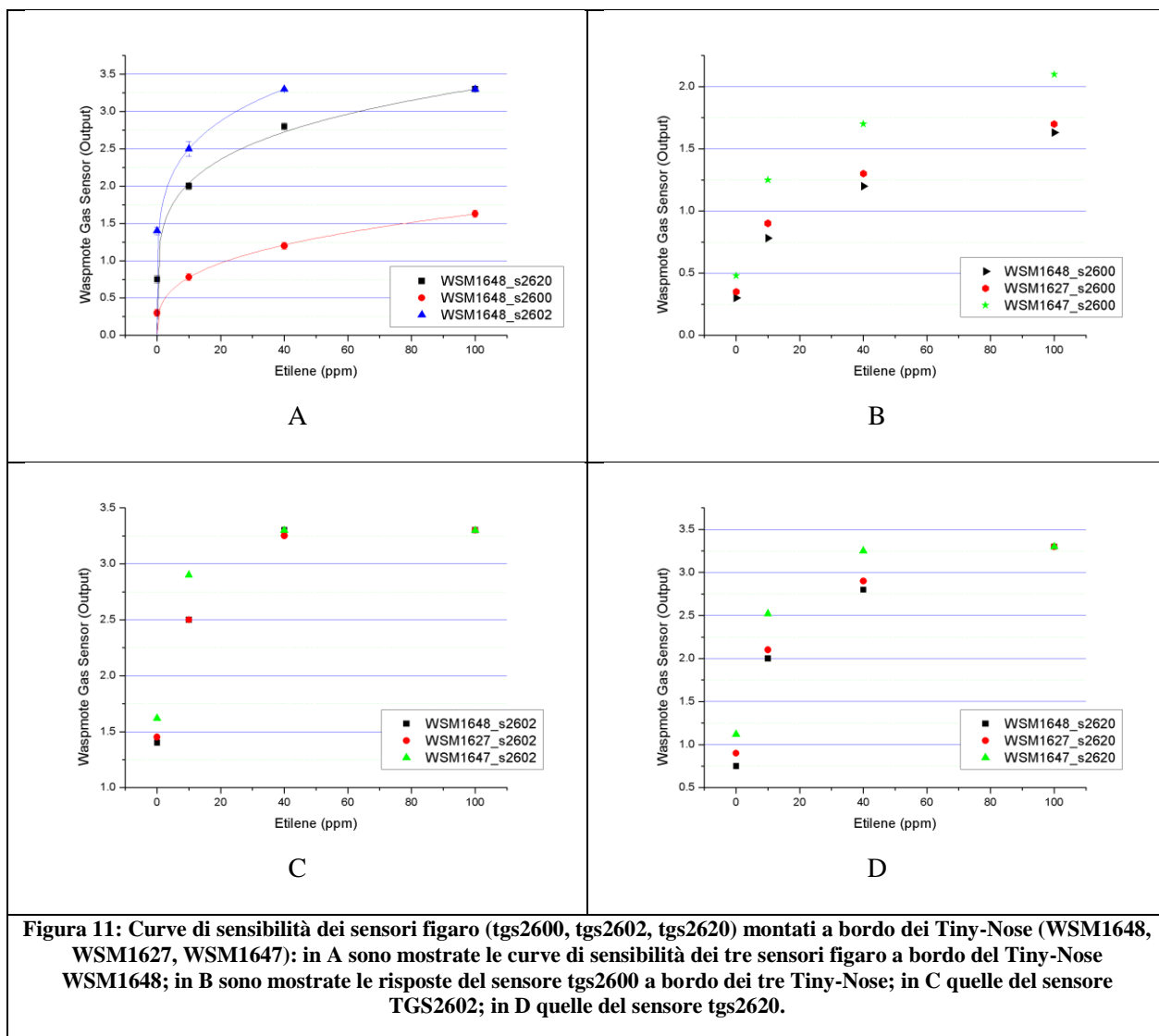
Figura. 12 Prototipo architettura TinyNose/Sviluppo

Per le misurazioni in ambiente controllato, i nodi TinyNose sono posti in un box di acciaio di 15Lt chiuso ermeticamente. I dispositivi sono sottoposti a dei cicli di misura in cui umidità e temperatura sono costanti mentre la concentrazione di etilene varia tra 100ppm, 40ppm, 10ppm e 0ppm. Gli output di tutti i sensori sono trasmessi al gateway e immagazzinati nella tabella del database mysql. In quest'ultima, oltre alle informazioni relative all'impacchettamento del dato, sono registrati i seguenti campi (Tab.4):

Valore campo "Sensor"	Descrizione	Unità di misura	Tipo sensore
BChannel	Risultato del test qualità del segnale	miglior canale hex	interno
HUMAerr	Errore assoluto dato HUMA	%	-
TCAerr	Errore assoluto dato TCA	°C	-
BAT	Livello Batteria	%	interno
IN_TEMP	Valore temperatura Chip Real Time Clock	°C	interno
HUMA	Valore Umidità	%	808H5V5
TCA	Valore Temperatura	°C	MCP9700A
S2620	Valore uscita sensore S2620	V	tgs2620
S2602	Valore uscita sensore S2602	V	tgs2602
S2600	Valore uscita sensore S2600	V	tgs2600
S2620err	Errore assoluto dato S2620	V	-
S2602err	Errore assoluto dato S2602	V	-
S2600err	Errore assoluto dato S2600	V	-

Tabella 4. Leggenda campi tabella sensori

Operando delle query sulla tabella contenente le misure è possibile elaborare i dati e fornire le curve di sensibilità dei sensori a bordo dei tre Tyni-Nose testati come illustrato nella figure seguenti.



Occorre sottolineare che 3,3 volt rappresenta il valore di saturazione dell'output dei sensori accoppiati all'elettronica di lettura del nodo sensoriale. Tali curve mostrano che, con i punti di lavoro scelti nella configurazione dei Tinynose, il sensore 2600 riesce a seguire bene le alte concentrazioni di etilene mentre il tgs2602 lavora fino a 10ppm di etilene. Comunque, tramite la modifica dei parametri nel file di configurazione è possibile aggiustare il punto di lavoro dei vari sensori in modo da garantire un corretto intervallo dei valori di uscita in funzione del livello di concentrazione dell'analita da misurare.

4 REALIZZAZIONE E TEST DEL PROTOTIPO FINALE DISPOSITIVO TINYNOSE

Partendo dalla fase progettuale precedente (versione sviluppo) in cui si è potuto studiare e realizzare un prototipo di modello analitico del fenomeno d'interesse ed individuare gli aspetti salienti dell'algoritmo, è stato realizzato il prototipo finale del sensore ausiliario da connettere al tag attivo RFID. Il prototipo finale che integra tali dispositivi è capace di comunicare con la rete RF/ICT della piattaforma logistica e trasmettere un indicatore qualitativo (parametro di

maturazione) dello stato dei prodotti vegetali durante il trasporto. In questo capitolo illustreremo più in dettaglio come sono stati realizzati i nodi sensoriali TinyNose in versione prototipali finali. Verranno illustrati test svolti per verificare il funzionamento del prototipo e della catena di misura installata su cargo.

4.1 NODO SENSORIALE

Come abbiamo già accennato i test effettuati e i feedback dell'esperienza d'uso sulla piattaforma sviluppo hanno permesso di ottenere una consistente conoscenza da utilizzare nella successiva fase progettuale del dispositivo TinyNose. Al fine di adattare il nodo sensoriale al nuovo scenario di utilizzo, sono state apportate modifiche all'architettura generale, all'hardware ed al firmware rispetto alla precedente fase progettuale.

4.1.1 Caratteristiche Hardware ed interfaccia TinyNose-Tag

L'hardware di base utilizzato è costituito da tre elementi fondamentali: la scheda di controllo e la scheda di condizionamento e gestione sensori ed il TagRFID (fig.12).

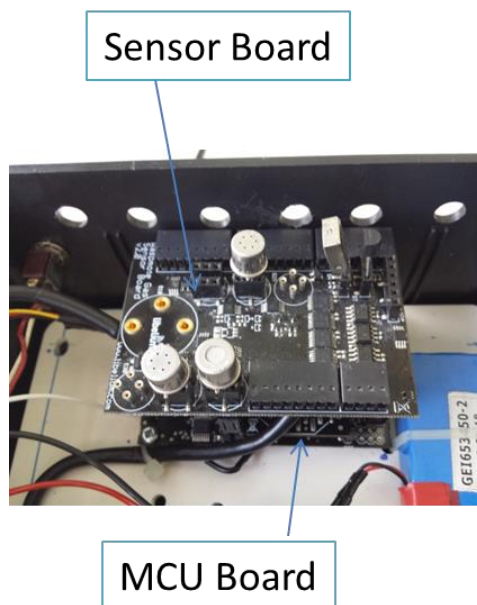


Figura 12 prototipo sensore ausiliario

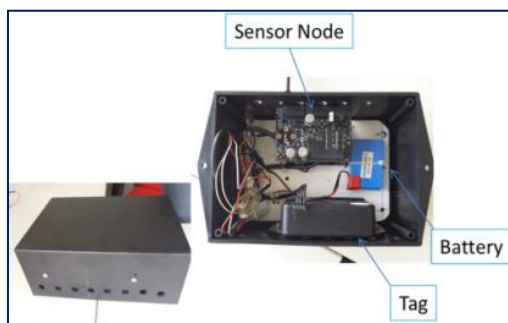


Figura 13 prototipo completo Tag-Tinynose

Per adattare il precedente dispositivo ai nuovi scenari di utilizzo è stato eliminato il modulo radio per predisporlo all'interazione con il tag ed è stata utilizzata la predisposizione del dispositivo alla gestione di supporti a memorie esterne. E' stata quindi implementata una funzione di logging su scheda SD utile nella fase di testing del dispositivo.

Naturalmente il firmware è stato riscritto per implementare tutte le funzioni necessarie, nel paragrafo a seguire sono mostrati i dettagli.

I sensori utilizzati sono rimasti invariati visti i feedback positivi nel sensing dell'etilene ma anche dai primi riscontri delle prove analitiche eseguite sulla frutta da altri partner di progetto.

Per questa versione del nodo sensoriale è stato necessario individuare e definire un bus e un protocollo su cui basare il trasferimento dati tra i due dispositivi partendo dalle caratteristiche tecniche del tag prodotto dal partner di progetto IDNOVA. Modifiche e adattamenti sono stati effettuati per rendere disponibili, nella modalità prevista dal protocollo scelto, le risorse hardware necessarie all'interazione.

Il prototipo di dispositivo IDNOVA modificato (ABG245-3S), è un tag attivo ed è stato fornito con alimentazione autonoma. Il nodo sensoriale è stato predisposto con una porta di alimentazione esterna per consentirne l'alimentazione nella versione definitiva.

In appendice 3 viene mostrato un estratto dal documento tecnico IDNOVA con successive modifiche concordate con ENEA per la definizione del bus/protocollo. In esso si definiscono le caratteristiche della linea di wake-up e seriale (USART) sia in termini di livelli logici ammessi che di timing dei segnali. Inoltre è definito il protocollo di alto livello per la comunicazione Tag-Tinynose.

Come si può notare il sensore ausiliario ha la capacità di interagire con il tag in due modi attraverso il risveglio su linea di wake-up o con fase di polling su linea seriale ad intervalli periodici.

La scelta della linea di wake-up si è resa necessaria per predisporre il dispositivo a diverse strategie di gestione dei consumi e per l'eventuale interazione con diverse tipologie di tag attivi.

Infatti, in uno scenario ad elevato rate di campionamento e con tag sprovvisti di linee separate di richiesta dati, il Tinynose, nella periodica fase di risveglio per l'acquisizione sensori, effettua un polling delle linee seriali per rispondere al comando di richiesta dati del tag. In questo caso la frequenza delle richieste dati del tag devono necessariamente rientrare nella finestra temporale di polling $f_{req_richiesta_tag} > 1/TPolling$. Da cui si evince che considerata la natura maggiormente energivora del tinynose, per mantenere basso $TPolling$, occorre un maggior dispendio energetico del tag aumentando la frequenza delle richieste. Nell'ipotesi invece in cui è necessario avere una politica di risparmio energetico più stringente, il tinynose è stato predisposto per essere risvegliato su una linea interrupt da un tag che ne abbia le capacità. In questo caso il tag può esso stesso adottare una politica di risparmio energetico in modo da abbassare i consumi complessivi tag-tinynose.

Particolare cura è stata riposta nella gestione temporale delle risorse hardware a disposizione.

Infatti alcune risorse del microcontrollore sono condivise su linee di collegamento comuni e non sono direttamente disponibili nella board semi-opensource (API opensource ma elettronica proprietaria in cui linee interrupt e multiplexing del bus seriale sono condivise sugli stessi connettori e molte risorse sono utilizzate esclusivamente per i segnali di pilotaggio della sensor board). Attraverso la corretta tempificazione e gestione delle linee comuni nelle fasi di risveglio, acquisizione e comunicazione si è assicurato l'aggiornamento del parametro di maturazione al tag, in entrambe le modalità di interazione (Diagrammi degli stati logici Fig.14).

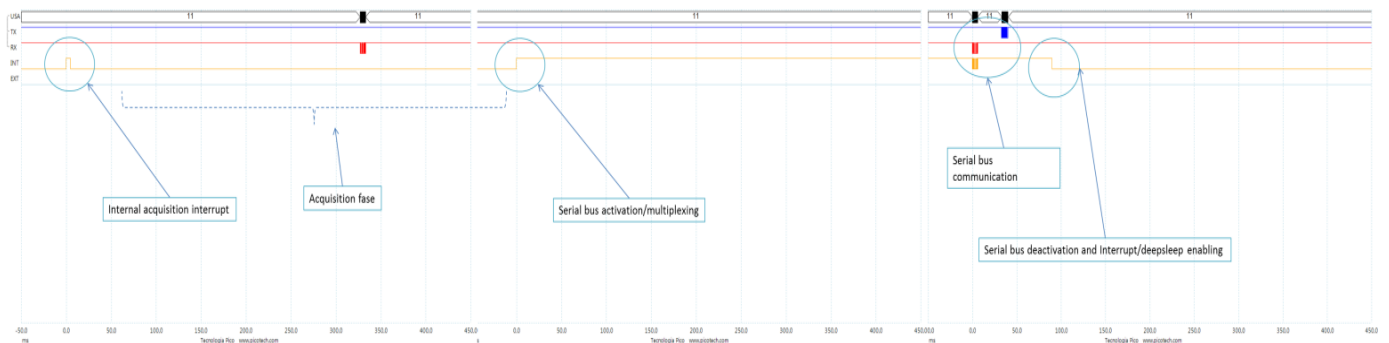
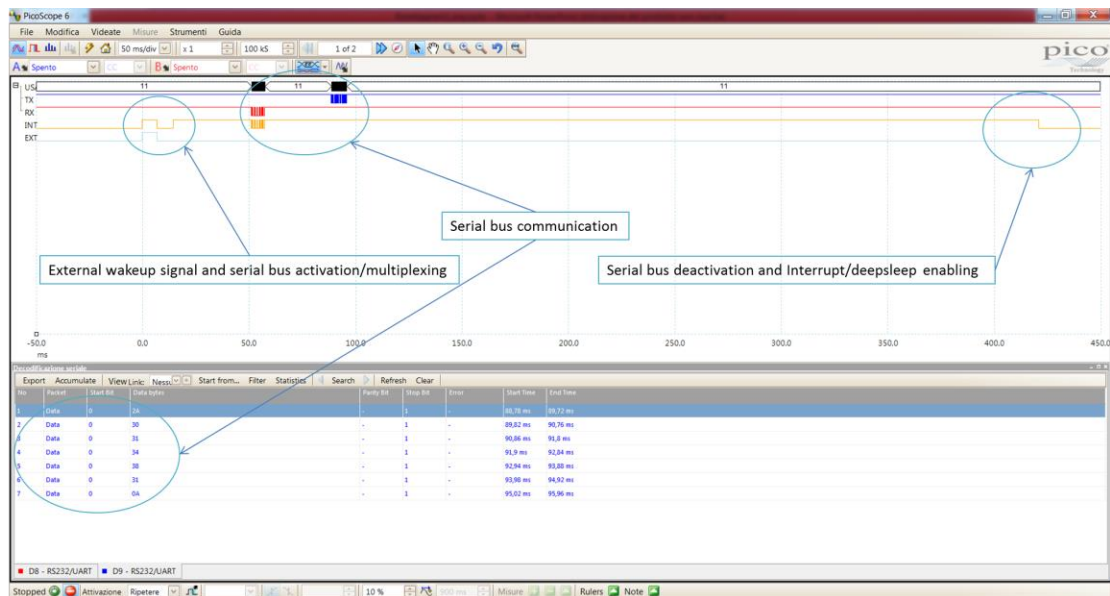


Figura 14 Diagrammi degli stati logici delle fasi e modalità di funzionamento (Tag external wakeup/acquisition-polling)

4.1.2 Firmware di gestione

Come abbiamo già accennato il firmware è stato riscritto per implementare tutte le funzioni necessarie al nuovo dispositivo.

Esso dovrà farsi carico di gestire interazione dei vari componenti implementando e gestendo le varie fasi dell' acquisizione, calcolo e storing dei dati, gestione comunicazione con il tag attraverso linee dati seriali e segnali di risveglio. Una principale specifica che è stata necessariamente tenuta in conto e che nell'interazione sensore ausiliario (tinynose) –tag, quest'ultimo deve essere sempre master del bus. Questa specifica è stata indicata da IDNOVA dettata da motivazioni tecniche derivanti dalla gestione dell'infrastruttura di lettura del tag.

In Figura 15 è mostrato il diagramma di flusso generale del firmware realizzato per la scheda di controllo. Data la natura prototipale del dispositivo, è stata prevista grande flessibilità nella scelta dei settaggi iniziali, consentendo di variare facilmente molti parametri essenziali delle varie fasi sia relative all'acquisizione sia all'elaborazione, memorizzazione e trasmissione del dato.

Come si vede dal diagramma, il sistema legge file di configurazione precaricati nella memoria uSD in cui possono essere riportati i parametri che si desidera modificare rispetto ad una configurazione di default standard. I parametri in questione riguardano il condizionamento dei sensori (Tempo di riscaldamento, guadagno, resistenza di carico), al processo di acquisizione (avvio prima acquisizione, numero di acquisizioni per singola misura), al calcolo del parametro di maturazione e caratteristiche del viaggio (parametri modello matematico, durata viaggio, ecc.).

Il sistema si pone, quando non operativo, in uno stato di minimo consumo (deep-sleep) e si risveglia da tale stato solo per il tempo necessario ad effettuare l'acquisizione e la trasmissione del parametro di maturazione o quando viene risvegliato tramite la linea di wake up.

All'accensione non effettua immediatamente acquisizioni ma si configura per un primo risveglio impostato da operatore. Tale funzionalità è stata implementata in modo da consentire l'avvio delle acquisizioni differito rispetto alla chiusura del vano di carico ad ambiente olfattivo stabilizzato. Le successive fasi di acquisizione poi vengono impostate con una frequenza calcolata in base ai parametri di viaggio in modo da assicurare, data la capacità della batteria (anch'essa impostata come parametro), il funzionamento per l'intero trasporto.

La doppia capacità di interazione con il tag RFID (polling, wake-up) è stata realizzata attraverso la gestione degli interrupt della MCU e la fase di polling su usart è gestita all'interno della fase di invio dati a valle dell'elaborazione dati.

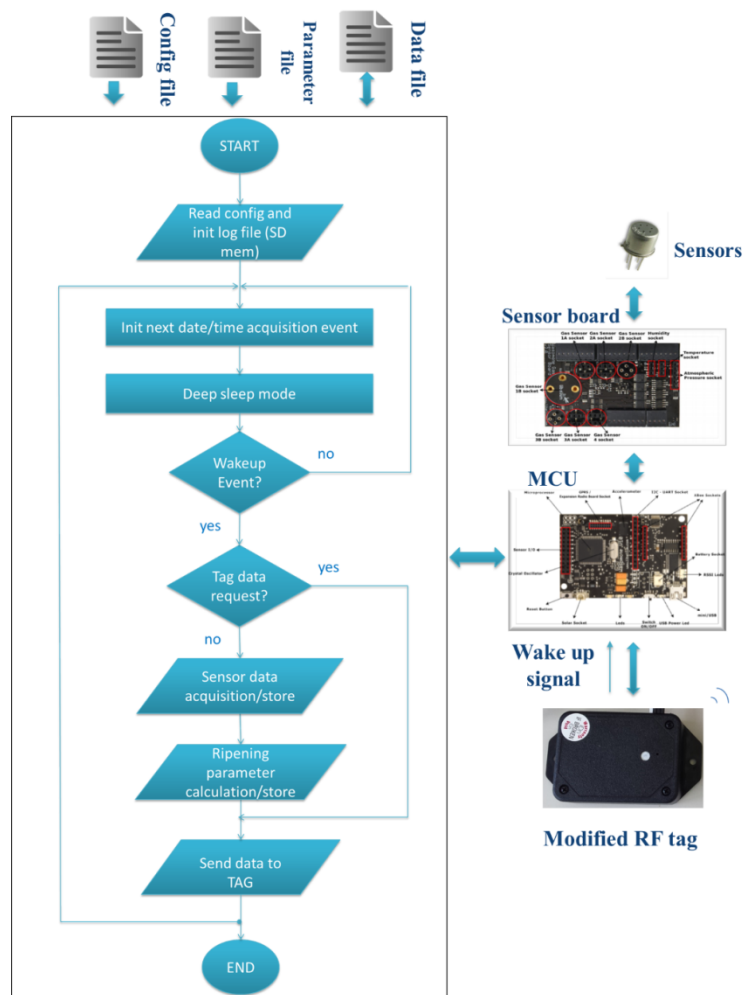


Figura 15: componenti Hw principali e Flow diagram generale del firmware

La funzione di logging (fase store) consente di memorizzare su scheda SD i dati relativi a: output dei sensori privi di elaborazione, etichette temporali, caratteristiche nominali del viaggio, parametro di maturazione. Questa funzione consente di effettuare agevolmente ricerche di malfunzionamenti in condizioni operative e analisi avanzate post-viaggio dei fenomeni monitorati.

Nella fase di calcolo del parametro di maturazione è stato implementato il modello matematico tempo integrale scelto per descrivere il fenomeno da monitorare. Nel paragrafo successivo è approfondito nelle sue caratteristiche essenziali.

4.1.3 Modello matematico semplificato parametro di maturazione

Per il calcolo del parametro di maturazione è stato sviluppato e proposto un modello matematico che potesse restituire un valore correlato con il grado di maturazione in un prefissato intervallo (0-99999) ove per 49999 si intende il valore di normale stato di maturazione. Come si può notare dalla scheda di figura 16 esso è un modello tempo-integrale in cui N è il numero di acquisizioni totali variabili in funzione della capacità della batteria e la durata del viaggio, T_n, H_n, S_n sono i valori di temperatura umidità (istante n) e output sensori VOC(impronta olfattiva) e i vari K_n^X rappresentano i termini di velocità di maturazione dipendenti dai vari fattori perturbativi (T,H,S) e pesati attraverso i parametri sperimentali.

Il modello quindi mette in conto, con pesi differenti, gli effetti perturbativi dei vari parametri di input che incrementano o decrementano una velocità standard di maturazione K_0 . Quest'ultima dipende dalla tipologia di prodotto ortofrutticolo e dalle sue condizioni standard di viaggio. Naturalmente essendo un parametro per sua natura crescente con il tempo, il peso dei parametri perturbativi deve essere tale da non alterarne tale natura o comunque occorre effettuare controlli di consistenza nell'algoritmo che lo implementa.

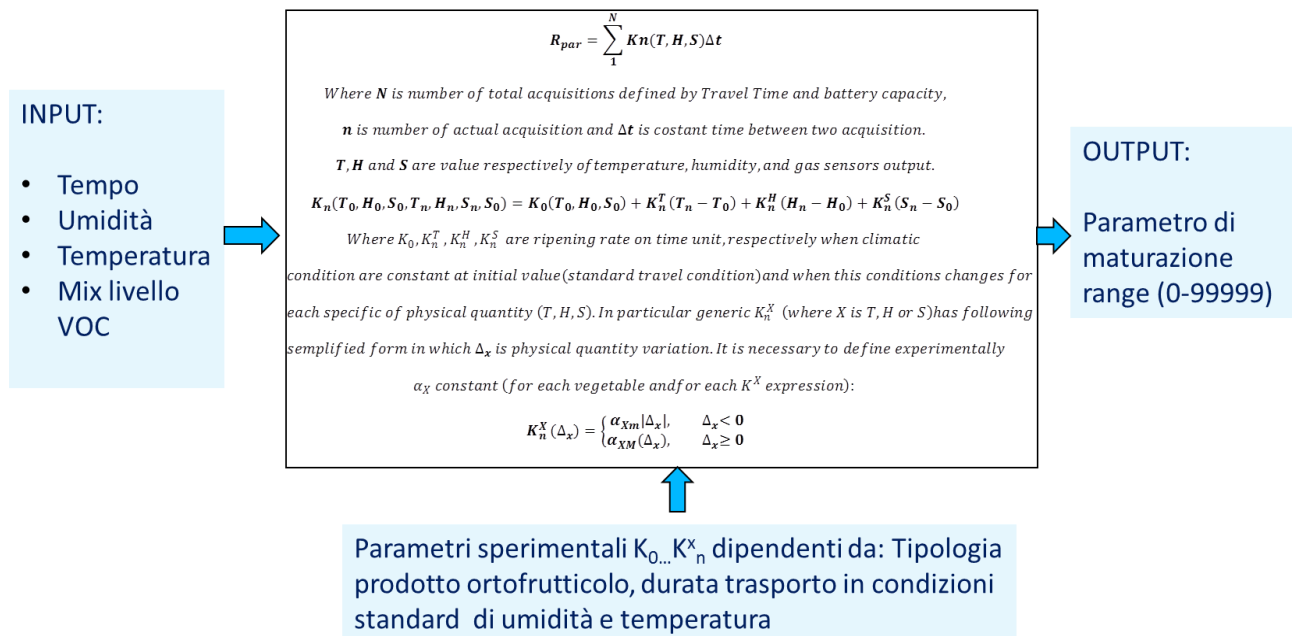


Figura 16 Modello matematico semplificato del parametro di maturazione

4.2 TEST DI LABORATORIO DEL DISPOSITIVO COMPLETO

Con il lettore RFID fornito dalla IDNOVA a corredo dei tag utilizzati si è potuto verificare il funzionamento del prototipo nella prima parte della catena di misura di cargo (lettore tag-tag-tinyose. Nella figura 17 un particolare della catena di acquisizione del dato attraverso il software di gestione del lettore.

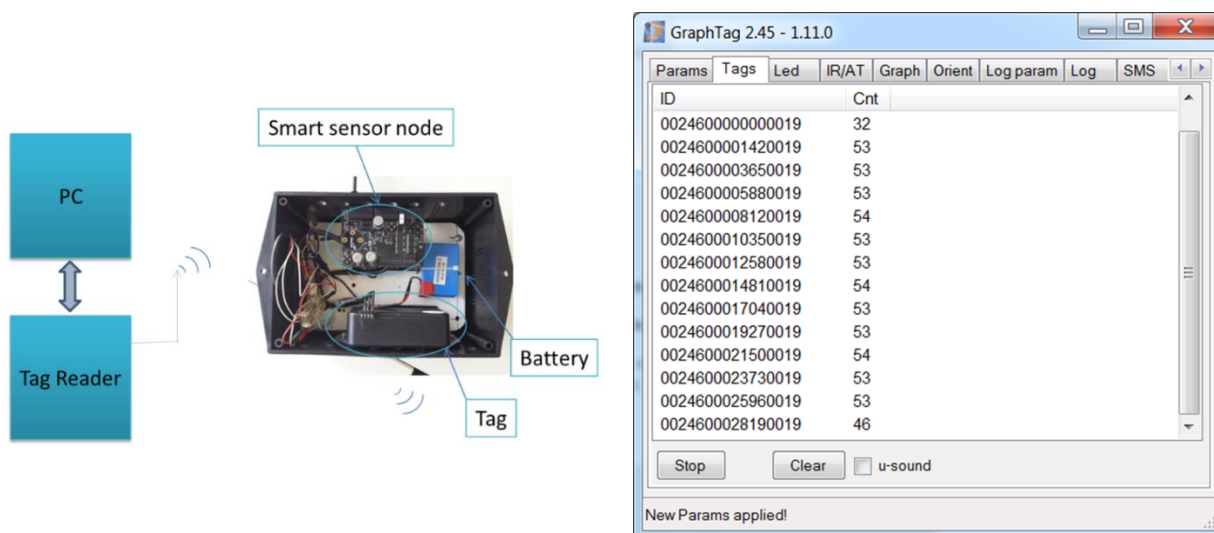


Figura 17 Esempio di lettura con reader RFID e relativo SW

Per testare il dispositivo in un ambiente molto simile allo scenario operativo finale è stato predisposto un test in ambiente controllato (GSCS), che riproducesse le varie fasi di un tipico trasporto con i possibili eventi di guasti o anomalie.

Il test è stato condotto esponendo il dispositivo a variazioni di temperatura e concentrazione di etilene così come riassunto nella tabella in figura 18. Come si può notare è stato simulato un trasporto vegetali con durata prevista di 8 ore e durata reale di 16 ore. Oltre all'anomala estensione della durata del trasporto è stato simulato un guasto al sistema di refrigerazione ed un aumento anomalo della concentrazione di etilene e umidità rispetto alle condizioni standard di viaggio, sia come eventi singoli che in combinazione. Nel grafico di figura 18 è mostrata la variazione del parametro di maturazione con i parametri nel modello matematico scelti da un set di prova. Le varie curve riguardano l'andamento del parametro prendendo in considerazione gli effetti individuali delle variazioni dei parametri d'input (temperatura, livello impronta olfattiva, ecc.) e il loro mix completo.

SIMULATED TRAVEL CONDITIONS

<i>Condition</i>	<i>Travel Time portion(%)</i>	<i>Humidity(%)</i>	<i>Temperature(*C)</i>	<i>Ethylene (ppm)</i>
Std travel condition	0	40	10	0
ethylene concentration	25	40	10	100
refrigerating system failure	30	40	20	100
Humidity high	50	70	20	0
End travel (expected)	100	70	20	0
End travel (real)	200	70	20	0

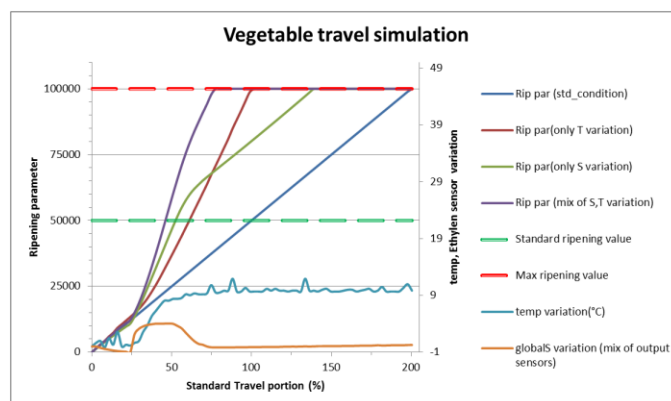


Figura 18 Condizioni di simulazione ed andamento parametro di maturazione

5 TEST SU STRADA

Sfruttando la funzione di datalogging implementata sono stati effettuate analisi post-viaggio dei primi test operativi del dispositivo nelle condizioni finali d'uso su cargo trasporto. L'analisi è stata focalizzata su uno di essi in cui il nodo è stato impiegato per la seguente tipologia di viaggio:

- durata viaggio 3 ore
- temperatura impostata 5°C, Umidità rel. 60%
- frutta trasportata: tipologie diverse e molti carichi/scarichi
- periodo di acquisizione 18 minuti circa

Dal grafico e dall'analisi dei dati raw (figura 19) è emerso che il dispositivo espleta correttamente la sua capacità di sensing del carico trasportato, inoltre è emersa la capacità di rilevare l'eventuale apertura dei portelloni del cargo. Infatti, dopo un periodo iniziale di stabilizzazione dei sensori, e nelle situazioni cerchiare in blu si rileva un aumento simultaneo di umidità e temperatura. Siccome in un ambiente chiuso, un aumento di temperatura si correla con un aumento della pressione di vapor saturo dell'acqua, l'umidità relativa $H\% = \frac{H_{assoluta}}{H_{saturazione}}$ tenderebbe a diminuire. L'aumento simultaneo dell'umidità relativa e della temperatura può essere spiegato solo con ingresso di aria esterna più umida e calda di quella interna che fa salire la quantità di umidità assoluta al numeratore e quindi quella relativa. Nelle situazione cerchiare in rosso invece riconosciamo una chiusura dei portelloni in quanto il sistema di refrigerazione abbassa la temperatura e nello stesso tempo espleta il suo potere deumidificante che rileviamo con un abbassamento dell'umidità relativa. Proprio in queste situazione (portellone chiuso) verificiamo che la curva di sensing (sensormix) subisce un forte incremento che sta a indicare la capacità dell'array di sensori di rilevare il segnale olfattivo del trasportato nell'ambiente stagno. Nel grafico è presente anche l'andamento calcolato del parametro di maturazione con un set di parametri sperimentali di test.

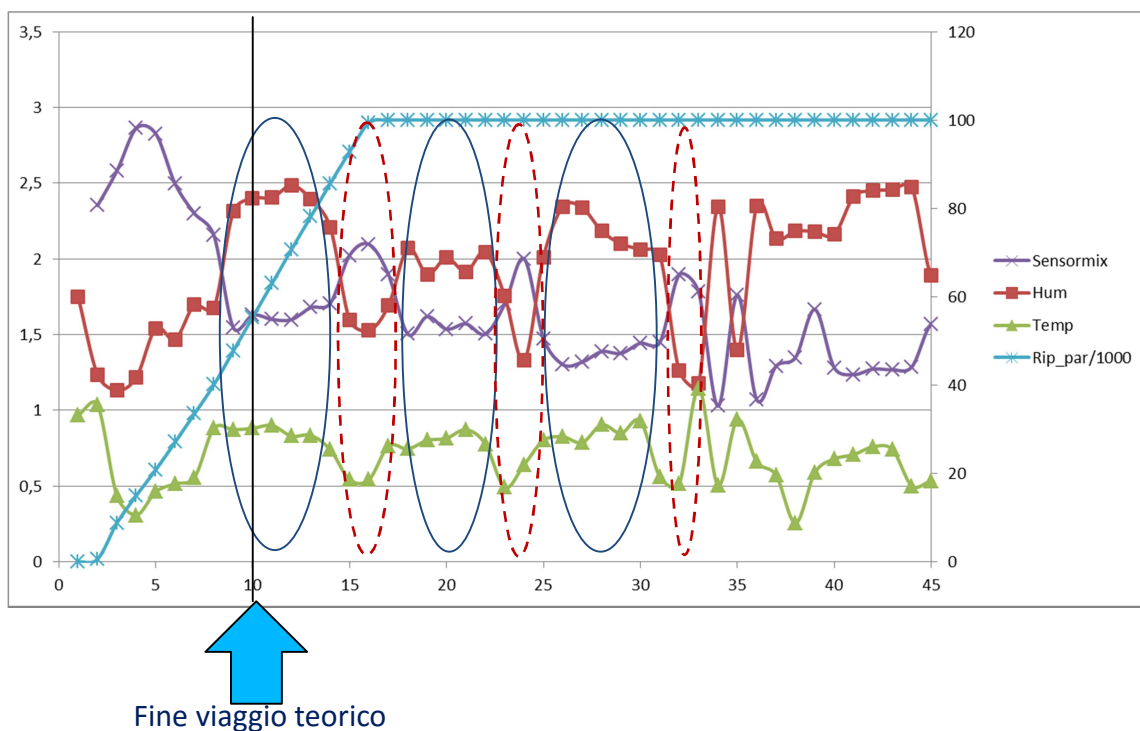


Figura 19 Grafico test on the road (in ascisse numero acquisizione eseguita ogni 18 min)

6 OTTIMIZZAZIONE E FEATURE AVANZATE

Dai vari test effettuati è stata dimostrata la piena funzionalità del dispositivo finale anche negli scenari operativi di funzionamento (carga). Pur tuttavia, dai vari feedback di progetto e dall'analisi approfondita dei dati raw messi a disposizione dalla funzione datalogging, si è potuto capire che il sistema ha ampi margini di miglioramento ed adattamento a scenari anche profondamente diversi da quello previsto. Esso infatti con poche modifiche potrebbe essere idoneo alla rilevazione dello stato di conservazione di diverse tipologie di prodotti deperibili. Di seguito sono riassunti i possibili interventi con la corrispondente ottimizzazione e/o estensione delle attuali capacità:

Intervento	Feature
Analisi mirate di statistica multivariata (PCA, ecc) su singole tipologie di prodotti ortofrutticoli al fine di ottimizzare la definizione dei parametri del modello	Miglioramento della correlazione tra parametro di maturazione e stato qualitativo del prodotto ortofrutticolo
Utilizzo di hardware (sensoristico ed elettronico) ottimizzato e di dimensioni ridotte	Miglioramento prestazioni, diminuzione consumi e dimensioni totali del sistema Tinynose-Tag
Ottimizzazione ed aggiornamento del firmware	Rilevazione di intrusioni al carico (carico scarico) e maggiore automatizzazione delle procedure di setup

Aggiornamento array sensori per impronte olfattive differenti ed implementazione di un sistema di condizionamento di sensori con autoranging	Adattamento del dispositivo a vari scenari (impronte olfattive) di rilevazione dello stato di merce deperibile anche diversa da quella di progetto
Aggiunta sensore ozono ed upgrade modello matematico	Adattamento a trasporto prodotti ortofrutticoli in presenza di ozono

7 CONCLUSIONI

Il progetto ORTOFRULOG si prefigge la realizzazione di un prototipo di piattaforma logistica innovativa, basata sull'utilizzo delle ICT, per le produzioni ortofrutticole nazionali di I[^] e di IV[^] gamma, destinate ai mercati interni ed internazionali. Tale prototipo di piattaforma logistica vuole costituire il nodo principale di una rete articolata sul territorio nazionale che sarà strettamente collegata con analoghe reti estere di interesse per il mercato dei prodotti ortofrutticoli.

Nell'ambito del progetto è stato realizzato un prototipo di nodo sensoriale per il monitoraggio dei parametri fisici di umidità, temperatura e chimici (impronte olfattive) indicativi del deperimento nello stoccaggio e trasporto dei prodotti ortofrutticoli.

Esso è stato testato con successo sia in configurazione TinyNose/Sviluppo permettendo di studiare il comportamento dei sensori in laboratorio e in ambienti simulanti lo scenario applicativo e sia nella versione finale Tinynose-Tag anche in scenari operativi. In definitiva possiamo riassumere che il dispositivo oggetto del presente rapporto tecnico:

- E' un dispositivo in grado di dialogare con l'infrastruttura logistica RFID/ICT prevista dal progetto per il monitoraggio innovativa e la geolocalizzazione del trasporto di prodotti ortofrutticoli;
- Fornisce un parametro sintetico utilizzato come indicatore della qualità del trasportato (indice qualitativo di maturazione del carico trasportato basato sull'analisi d'impronta olfattiva);
- Registra in locale i dati estesi degli output dei sensori per analisi avanzate offline
- E' predisposto per la rilevazione di anomalie ed intrusioni al carico attraverso analisi combinata dei dati raw disponibili;
- Ottimizza ed adatta gli autoconsumi energetici alle caratteristiche del viaggio (sistema interno di power management);
- Dispositivo modulare e flessibile adattabile ed ottimizzabile a scenari olfattivi complessi anche per tipologie diverse di prodotti deperibili.

ALLEGATO 1 – SINTESI DEL PROGETTO ORTOFRULOG

Il progetto ORTOFRULOG si prefigge la realizzazione di un prototipo di piattaforma logistica innovativa, basata sull'utilizzo delle ICT, per le produzioni ortofrutticole nazionali di I[^] e di IV[^] gamma, destinate ai mercati interni ed internazionali. Tale prototipo di piattaforma logistica vuole costituire il nodo principale di una rete articolata sul territorio nazionale che sarà strettamente collegata con analoghe reti estere di interesse per il mercato dei prodotti ortofrutticoli.

L'obiettivo generale del progetto consiste nel miglioramento della competitività del comparto ortofrutticolo nazionale ottenuto mediante la valorizzazione delle merci trasportate, la massimizzazione della soddisfazione del cliente e la tutela dell'ambiente.

La struttura delle attività di progetto è articolato in quattro specifici Obiettivi Realizzativi:

OR 1 - Piattaforma logistica ICT based. Sarà standardizzato per quanto possibile l'utilizzo delle tecnologie hardware e software, al fine di ridurre i tempi di consegna, consentire il controllo continuo ed in tempo reale delle grandezze critiche per la conservazione dei prodotti, garantire la conformità alle norme igieniche cogenti ed alla rintracciabilità di filiera, consentire l'abbattimento degli sprechi (consegne fallite) ed il raggiungimento ed accrescimento della soddisfazione del cliente e del consumatore.

OR 2 - Sistemi innovativi per il packaging. Saranno progettati nuovi imballaggi che, in relazione al prodotto trasportato: tengano in considerazione le destinazioni finali; aderiscano agli standard dimensionali già presenti sul mercato; abbiano caratteristiche tecnico-strutturali e microstrutturali tarate in funzione del prodotto; garantiscano la massima igiene allo stesso; offrano il minor impatto economico ed ambientale possibile.

OR 3 - Sistemi innovativi per la valutazione e gestione della qualità dei prodotti. Saranno realizzati prototipi di dispositivi (sensori) per la misurazione dei principali parametri di interesse ai fini del monitoraggio e della conservazione della qualità del prodotto trasportato e stoccato, oltre che utili per la rintracciabilità di filiera; saranno sviluppate tecnologie biologiche e fisiche innovative per la difesa dei prodotti in post-raccolta e durante il trasporto/stoccaggio.

OR 4 - Validazione del prototipo. Il progetto si concluderà con la realizzazione e la validazione di un prototipo di piattaforma logistica, che interiorizzerà tutti i risultati ottenuti, mediante approcci di tipo simulativo. Parallelamente verrà fornita una valutazione qualitativa e quantitativa dei vantaggi ottenibili, in termini di affidabilità, riproducibilità, sicurezza, efficacia ed efficienza (riduzione dei costi).

ALLEGATO2 - SISTEMA DI CALIBRAZIONE SENSORI PER GAS AMBIENTALI (GSCS)

L'impianto di test sensori utilizzato nasce per la caratterizzazione elettrica ma anche ottica di dispositivi sensori a stato solido per gas ambientali. Tale Impianto è adatto allo studio del comportamento elettrico e ottico di materiali potenzialmente adatti per la sensoristica ambientale. Parte fondamentale dell'impianto è la camera di test climatizzata dove viene installato il dispositivo da testare. Il dispositivo viene tenuto sotto flusso di un gas carrier (aria sintetica o azoto) e in tempi e modi stabiliti viene miscelato il gas analita a cui il dispositivo sensore è sensibile. Nella camera climatizzata è possibile variare umidità temperatura in maniera accurata ed è possibile miscelare fino a 4 gas contemporaneamente per studiare gli effetti di interferenza sui sensori. La camera di test è equipaggiata con sensori di temperatura, umidità e pressione. In mancanza di un sistema di alimentazione custom (come nel nostro caso), l'alimentazione a tensione continua e lettura delle correnti dei dispositivi viene realizzato tramite un elettrometro keithley 6517a ad alta sensibilità. La camera di test è dotata anche di finestra al quarzo per effettuare misure spettroscopiche di materiali perturbati con sorgenti EM. I flussi e la miscelazione dei gas vengono regolati da valvole pneumatiche controllate da una batteria di PLC; la regolazione dei flussi dei gas è ad opera di Mass Flow Controller della MKS programmabili e gestibili da una centralina sempre della MKS. Il tutto può essere gestito in manuale o programmato con interfaccia GPIB tramite un software Grafico che imposta cicli programmati e registra tutti i parametri dell'impianto durante i test. L'intero Impianto completo di software di gestione è assemblato e fornito dalla KENOSISTEC. La validazione della composizione e concentrazione dei gas a cui i dispositivi vengono esposti avviene tramite analisi spettroscopica FT-IR dei gas all'uscita dell'impianto.

DATI TECNICI Salienti:

Carrier disponibili: aria sintetica, azoto (disponibili entrambi selezionabili)

Linee di Gas Analiti: 6

Range di umidità programmabile: 5-95%

Range di temperatura camera climatica: da -10 a 50°C

Range di alimentazione programmabile: 0,005-100V (VC)

Dinamica di lettura della corrente:pA-mA

Maxcurrent: 10mA

Range dei Flussi dei gas: 5-500SCCM

Volume della cella di test: 40cl

Maxfreq di acquisizione dati: 1Hz

Num MAX di dispositivi testabili contemporaneamente: 5

Accessori a corredo: Generatore e detector di Ozono; spettrometro VIS-NIR; spettrometro FT-IR

Sorgenti di radiazione disponibili per eccitazione o

Invecchiamento: Laser HE-Cd, Laser HE-Ne, lampade alogene, Lampade al Deuterio, Led colorati.



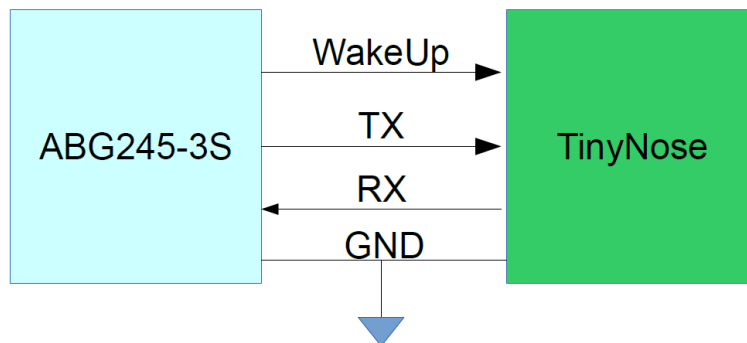
Camera di test dei sensori

ALLEGATO3 – VERSIONE FINALE INTERFACCIA ABG245-3S PER

TINYNOSE (FONTE: IDNOVA IN COLLABORAZIONE CON ENEA)

1. Collegamento ABG245-3S / TinyNose

Il collegamento prevede l'utilizzo di quattro connessioni, tre per l'interfaccia seriale (GND – TX – RX) ed uno per il pin di wakeup del TinyNose (input per TinyNose ed output per ABG245-3S). I segnali che sono uscite dell' ABG245-3S hanno livelli logici 0/Vbatt, dove con Vbatt si intende la tensione diretta della batteria di alimentazione. La tensione nominale e di 3,6V ma tale valore e destinato a diminuire nel corso della vita del dispositivo.



1.1 Linea di WakeUp

Il segnale che serve per attivare il TinyNose alla ricezione del comando seriale e una linea attiva alta. In

condizioni di riposto il livello del segnale e al livello logico basso e quando l'ABG245-3S deve richiedere un aggiornamento del valore letto dal TinyNose mette tale linea a livello logico alto per circa 5ms. Dopo questo l'ABG245-3S attende 50ms per dare tempo al TinyNose di attivare la ricezione del comando e poi invia la richiesta.

Se il TinyNose non invia una risposta entro un tempo massimo di circa 400ms, la trasmissione è considerata fallita.

La frequenza di richiesta è settabile attraverso il reader RFID con un apposito SW di controllo.

1.2 Linea seriale

La seriale e una link di comunicazione con i soli segnali di Tx ed Rx, non e previsto l'uso dei controlli di flusso.

La configurazione della porta seriale e la seguente: 9600, 8, N, 1

1.3 Protocollo di comunicazione

1.3.a Richiesta aggiornamento paramentro (ABG245-3S → TinyNose)

La struttura della richiesta di aggiornamento del parametro rilevato ha la seguente struttura dati:

SOF	COMANDO				EOF	
0x2A	0x30	0x30	0x30	0x31	0x0D	0x0A
'*'	'0'	'0'	'0'	'1'	<CR>	<LF>

Attualmente è implementata la richiesta del solo comando “0001”.

La struttura del comando permette una eventuale estensione ad altri comandi.

1.3.b) Ricezione parametro (TinyNose → ABG245-3S)

La risposta del TinyNose al comando di aggiornamento parametro ha la seguente struttura:

SOF	VALORE					EOF
0x2A	MSB	LSB	0x0A
'*'	-	-	-	-	-	<LF>

Il valore del parametro è espresso in caratteri ASCII e si suppone siano sempre presenti 5 caratteri numerici (in esadecimale si intende i caratteri da 0x30 a 0x39). È possibile quindi rappresentare valori in un intervallo compreso tra 0 e 99999.

L'ABG245-3S eseguirà una trasposizione di tale valore su tre byte dell'ID del tag (byte 3, 4 e 5).

Ad esempio se il tag ha un tagID di 002460000000001A

TAGID							
0	1	2	3	4	5	6	7
00	24	60	00	00	00	00	1A

Ed il valore trasmesso su seriale è di 25183 (decimale) il nuovo tagID sarà:

TAGID							
0	1	2	3	4	5	6	7
00	24	60	02	51	83	00	1A

Ai fini dell'indirizzamento della comunicazione radio, il tagID da usare è quello con i byte [3..5] a '0', mentre quello da fornire al lettore per identificare la corretta comunicazione è quello con il valore del parametro.

Edito dall'ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Pervenuto il 8.1.2016

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
Finito di stampare nel mese di gennaio 2016