

## Accordo di Programma MiSE-ENEA 2012-2014

### EFFICIENZA ENERGETICA NEI SETTORI RESIDENZIALE, TERZIARIO, INDUSTRIALE

Roma, 8 luglio 2015

ENEA Sede

#### Luigi Quercia

Domenico Palumbo

Paolo Di Lorenzo

Federico Lazzaroni

Angelo Tati

Tiziana Beltrani

Salvatore Chiavarini

- Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche
- Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Elettronica
- Dipartimento di Chimica, Università Sapienza di Roma

# Tecnologie per l'industria del freddo



	PAR 2012	PAR 2013	PAR 2014
<b>D1</b>	<p>Caratterizzazione mediante naso elettronico della conservazione di ortofrutta in cella frigorifero per l'allestimento di un laboratorio progettato per lo sviluppo di array di sensori a basso costo al fine di contenere i consumi energetici mediante il monitoraggio e controllo dell'atmosfera all'interno delle celle refrigerate.</p>	<p>Caratterizzazione, mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca al fine dello sviluppo di un naso elettronico innovativo finalizzato al risparmio energetico.</p>	<p>Sviluppo di un sistema automatico di monitoraggio dei prodotti alimentari freschi nelle celle frigorifero usate per lo stoccaggio ed il trasporto al fine di ottimizzarne consumi e prestazioni energetiche.</p>
<b>D2</b>	<p>Realizzazione di strutture multistrato contenenti Materiali a Cambiamento di Fase (PCM) per la realizzazione di celle frigorifere.</p>	<p>Sviluppo di strutture multistrato contenenti materiali a cambiamento di fase (PCM) per la realizzazione di celle frigorifere per trasporto su vagoni ferroviari</p>	<p>Utilizzo dei materiali a cambiamento di fase (PCM) per l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche e qualitative delle celle frigorifero usate per lo stoccaggio e trasporto di prodotti alimentari freschi.</p>

# D1-Tecnologie per l'industria del freddo

## Campagne sperimentali

- Uva
- Susine
- Pere
- Fragole
- Albicocche
- Ciliegie
- Pesche



## Setup sperimentale

Campionamento automatico

Camera di test refrigerante MISA

Enose PEN3

Enose Libelium all'interno della camera

Software di gestione

Analizzatore NDIR di CO<sub>2</sub>

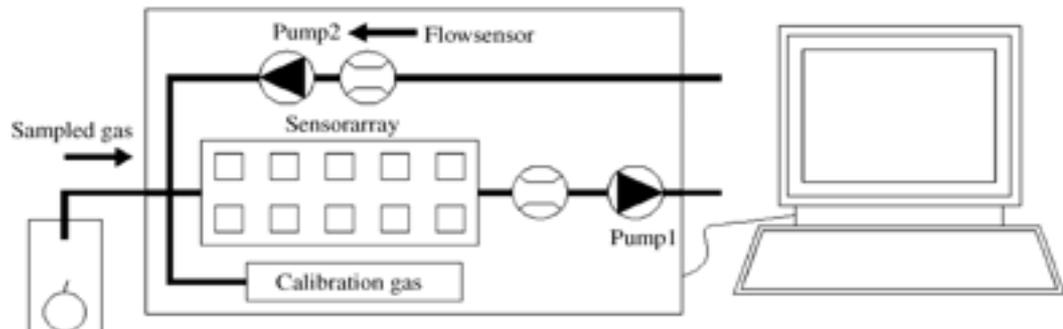
Ricevitore ZigBee per Libelium

Miscelatore di flussi

FTIR

Ethylene detector

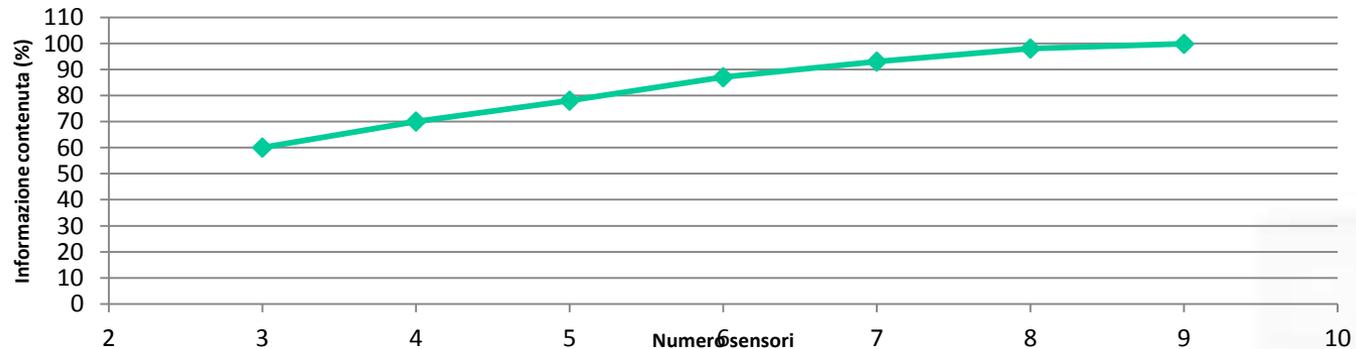
# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo



Il naso elettronico commerciale PEN3 della Airtense è stato utilizzato come “benchmark” per guidare lo sviluppo e la configurazione dei nodi sensoriali a basso costo e consumo da utilizzare nelle celle frigorifero.

Frutto	Sensori più significativi
Albicocche	6 8 3 1 9
Ciliege	1 3 6 8 9
Uva	9 7 6 8 1
Arance	3 6 9 8 2
Pesche	2 6 8 3 9
Clementine “Mandarino tardivo di Ciaculli”	2 9 7 6 3
Clementine di origine spagnola	1 9 2 3 7
Fragole	2 6 8 1 3
Banane	2 3 1 6 9

Number in array	Sensor name	General description	Reference
1	W1C	Aromatic compounds	Toluene, 10ng/kg
2	W1S	Very sensitive, broad range sensitivity, react on nitrogen oxides, very sensitive with impure signal	NO <sub>2</sub> , 1ng/kg
3	W1C	Aromatic, used as sensor for aromatic compounds	Benzene 10ng/kg
4	W1S	Mainly hydrogen, selectively, (breath gases)	H <sub>2</sub> , 0.1ng/kg
5	W1C	Alkanes, aromatic compounds, less polar compounds	Propane 1ng/kg
6	W1S	Sensitive to methane (environment) ca. 10ng/kg, broad range, similar to No. 8	CH <sub>4</sub> , 10ng/kg
7	W1W	Reacts on sulfur compounds, H <sub>2</sub> S 0.1ng/kg. Otherwise sensitive to many terpenes and sulfur organic compounds, which are important for smell, limonene, pycnane	H <sub>2</sub> S, 1ng/kg
8	W2S	Detects alcohol's, partially aromatic compounds, broad range	CO, 100ng/kg
9	W2W	Aromatics compounds, sulfur organic compounds	H <sub>2</sub> S, 1ng/kg
10	W1S	Reacts on high concentrations > 100ng/kg, sometime very selective (methane)	CH <sub>4</sub> , 10 CH <sub>4</sub> , 100ng/kg



# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo



**Configurazione sperimentale per valutazione preliminare risposta sensori.**

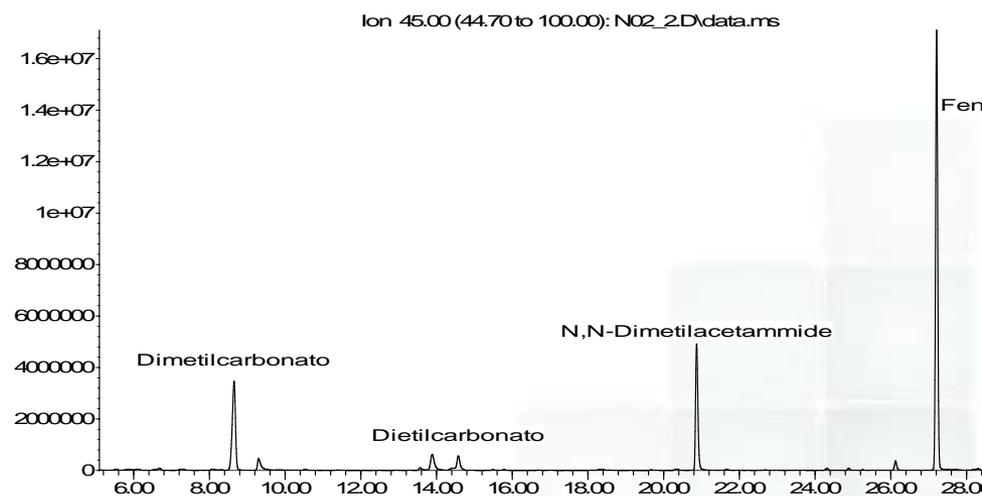


**Campionamento dei VOCs emessi dalle pesche mediante Solid Phase Micro-Extraction, SPME.**



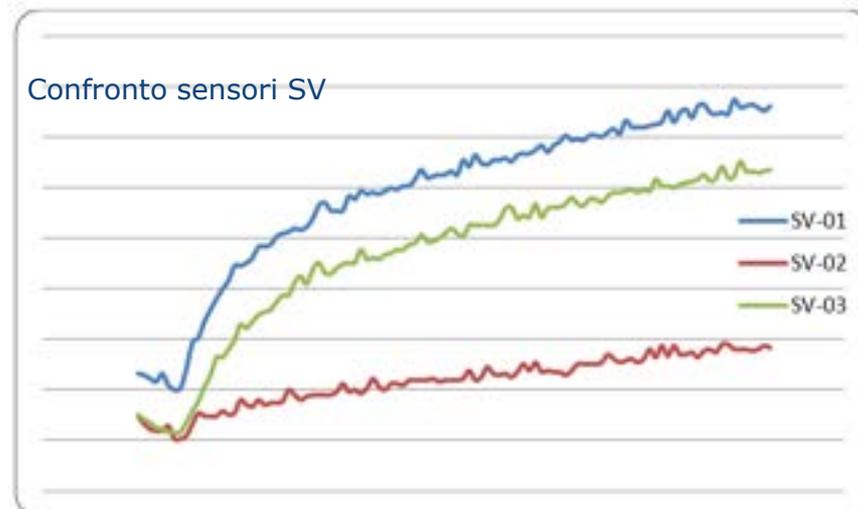
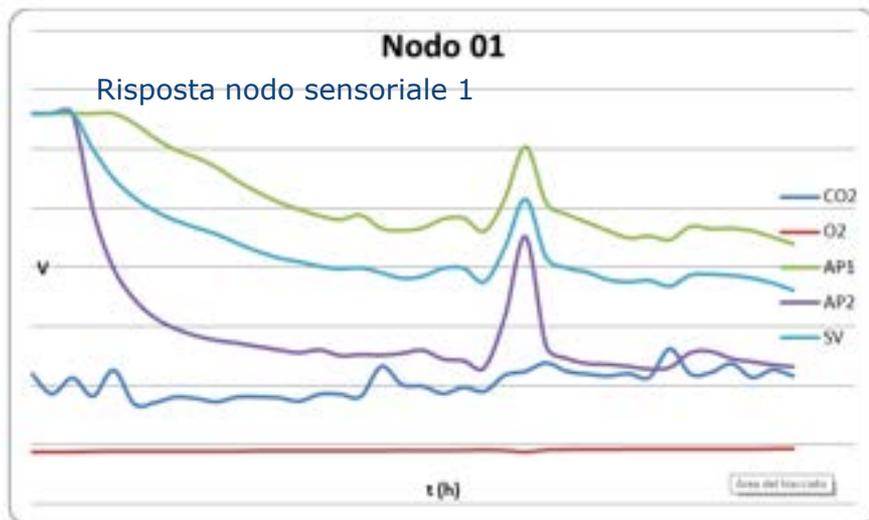
**Spettrometro di massa accoppiato al Gascromatografo.**

Abundance



Time-->

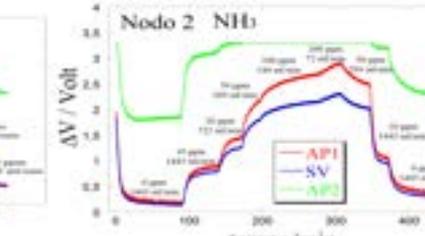
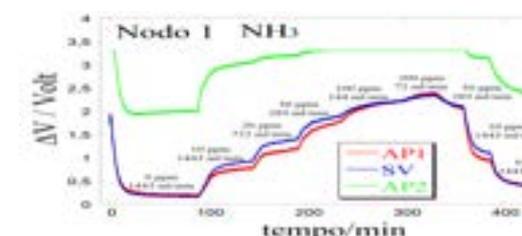
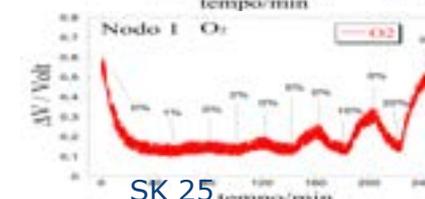
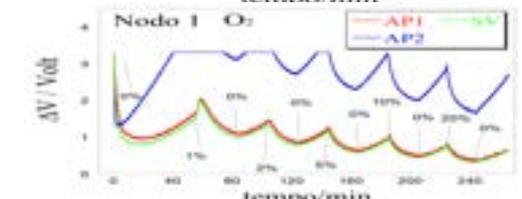
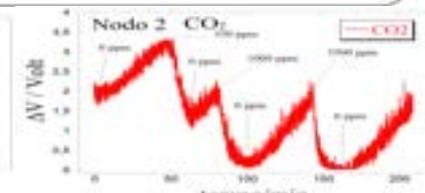
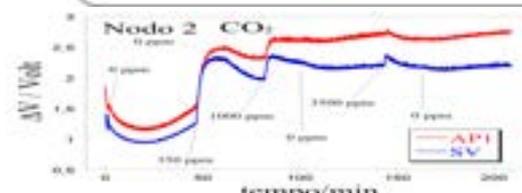
# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo



Calibratore  
CALG100

ETG

Alloggiamento dei nodi  
libelium durante la loro  
calibrazione con CO<sub>2</sub>,  
NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub> e (+)- Limonene



SK 25

# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo

## Efficienza Energetica Wireless Sensor Node

Frutti analizzati	Sensori PEN3 più significativi
Albicocche	6 8 3 1 9
Ciliege	1 3 6 8 9
Uva	9 7 6 8 1
Uva (altra varietà)	6 8 2 3 5
Arance	3 6 9 8 2
Pesche	2 6 8 3 9
Clementine "Mandarino tardivo di Ciaculli"	2 9 7 6 3
Clementine di origine spagnola	1 9 2 3 7
Banane	2 3 1 6 9
Fragole inoculate	2 8 6 3 5
Fragole non inoculate	2 8 6 9 3
Susine a 5 °C	6 8 3 5 7
Susine a 15 °C	6 8 4 2 5

Sensori	Sigla
Figaro TGS 2602	AP1
Figaro TGS 2600	AP2
Figaro TGS 2620	SV
Figaro SK25	O <sub>2</sub>
Figaro TGS 4161	CO <sub>2</sub>
	RH
	T



N sensore PEN3	Nome sensore PEN3	Caratteristiche sensibilità	Sensori commerciali	Caratteristiche principali
2	W5S	Largo spettro, sensibile a ossidi di azoto (NO <sub>2</sub> )	e2v Mics 5521	Composti volatili organici (VOC ++), monossido di carbonio (+)
1	W1C	composti aromatici (Toluene)	<b>Figaro TGS 2602</b>	AP2: toluene, idrogeno solforato, etanolo, ammoniaca(++)
3	W3C	Composti aromatici (Benzene), ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	Figaro TGS 2602	Come sopra
6	W1S	Largo spettro, sensibile al metano (CH <sub>4</sub> )	<b>Figaro TGS 2600</b>	AP1: etanolo, isobutano (++) monossido di carbonio, metano(+) idrogeno(-)
9	W2W	Composti organici, composto aromatici solforosi (H <sub>2</sub> S)	Figaro TGS 2602	Come sopra
8	W2S	Largo spettro(CO), alcool	<b>Figaro TGS 4161</b> Figaro TGS 2442 <b>Figaro TGS 2620</b>	Anidride carbonica (++) monossido di carbonio (-) Monossido di carbonio (++) SV: etanolo, monossido di carbonio, metano, isobutano, idrogeno (+)
7	W1W	Composti solforosi (H <sub>2</sub> S)	Figaro TGS 2602	Come sopra
Senza corrispondenza		O <sub>2</sub>	<b>Figaro SK25</b>	Ossigeno(+++) virtualmente selettivo

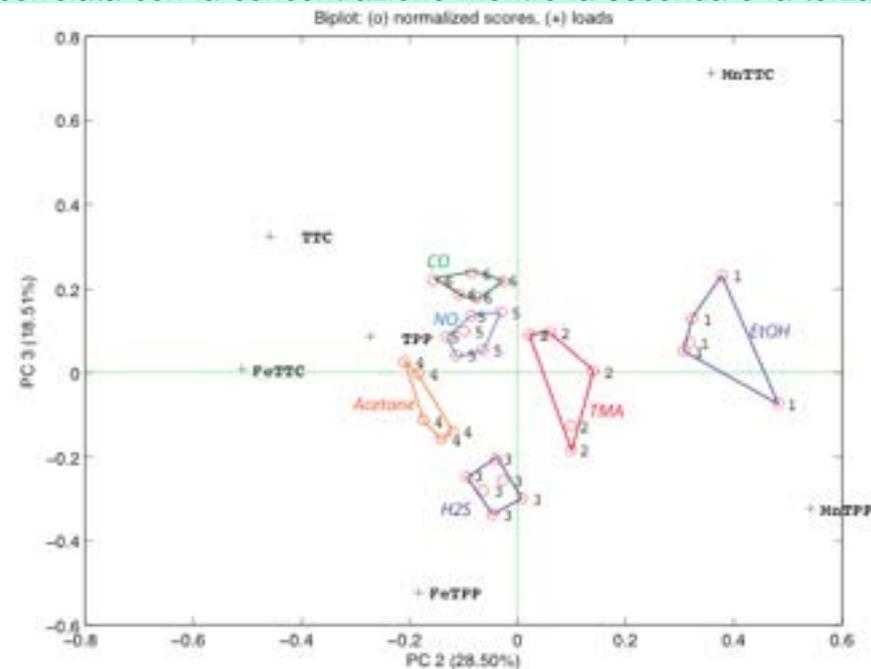
# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo

Progetto e realizzazione di un sistema sensoriale composto da 12 microbilance al quarzo con la relativa elettronica di condizionamento e misuratore di frequenza integrato. Il sistema sensoriale sarà inoltre integrato con un sistema di gestione dei fluidi in modo da controllare l'esposizione dei sensori al campione gassoso da analizzare. Il sistema sensoriale sarà interfacciato via USB ad un computer che gestirà via software le fasi della misura. Le microbilance al quarzo verranno funzionalizzate con un set di metalloporfirine scelte tra quelle maggiormente adatte alla misura.



**Naso Tor Vergata a microbilancia al quarzo funzionalizzati con strati a stato solido di metalloporfirine e metallocorrolli.**

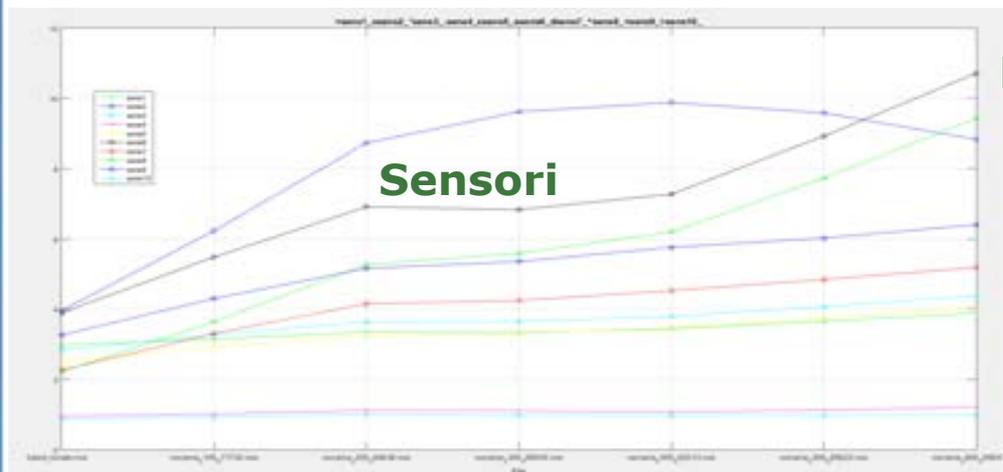
Biplot della seconda e terza componente principale (totale di circa 50% di varianza totale spiegata). La prima componente principale è correlata con la concentrazione mentre la seconda e la terza sono



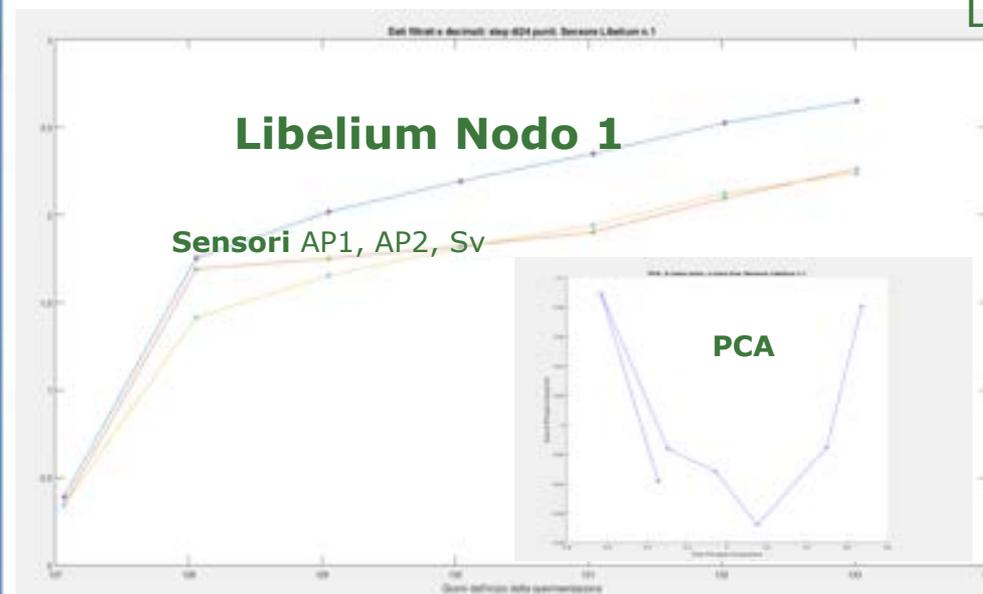
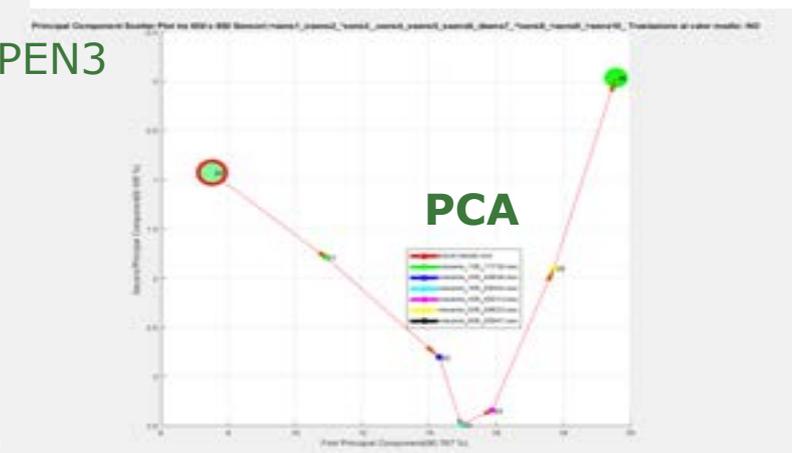
# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo



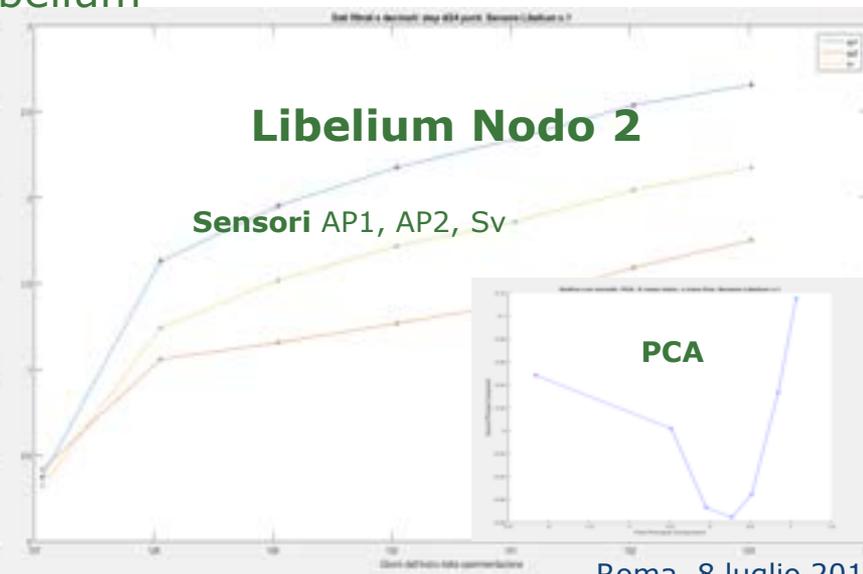
## Fragole: PCA



PEN3



Libelium



# D1 - Tecnologie per l'industria del freddo



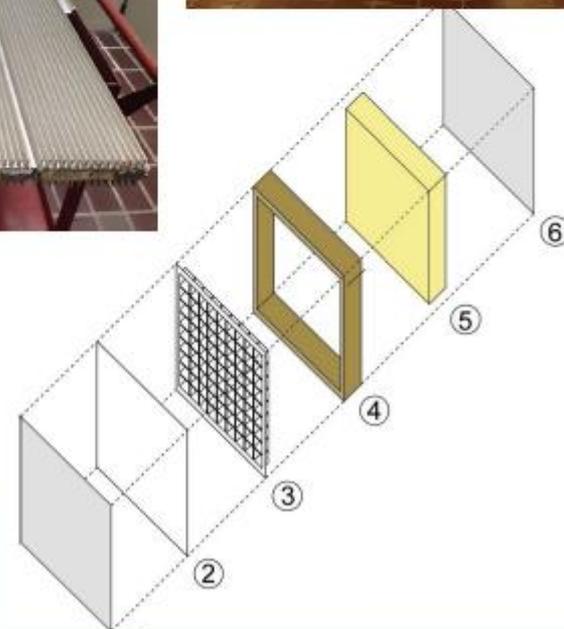
- Consumo di energia: accensioni sensori, step trasmissione dati (1 h).
  - ✓ Durata sistema maggiore di 30 giorni.
- Efficienza di comunicazione:
  - ✓ non vi sono perdite di dati.
- Configurazione: multipunto.
- Numero di sensori utili: SV, AP1, AP2, RH, T, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.
  - ✓ 3 sensori, AP1, AP2 e SV, sono sufficienti per discriminare lo stato di maturazione (utilizzando la PCA).
- Problemi: frutti differenti (parametri di configurazione dipendenti dalla tipologia di frutto), sensori differenti costruttivamente, invecchiamento, metodologia di campionamento.
  - ✓ Sistema maneggevole, costi ridotti, consumi ridotti, affidabile, no sistemi meccanici (pompa).

# D2 - Tecnologie per l'industria del freddo

## PROVE OUTDOOR



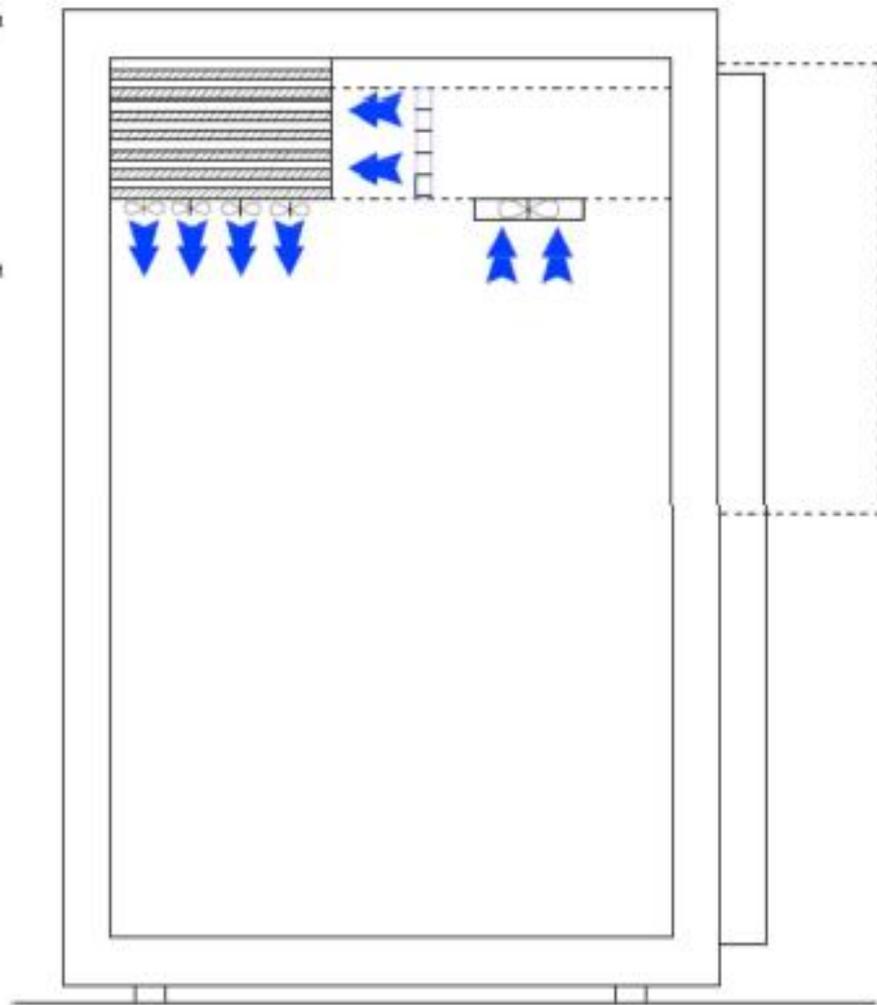
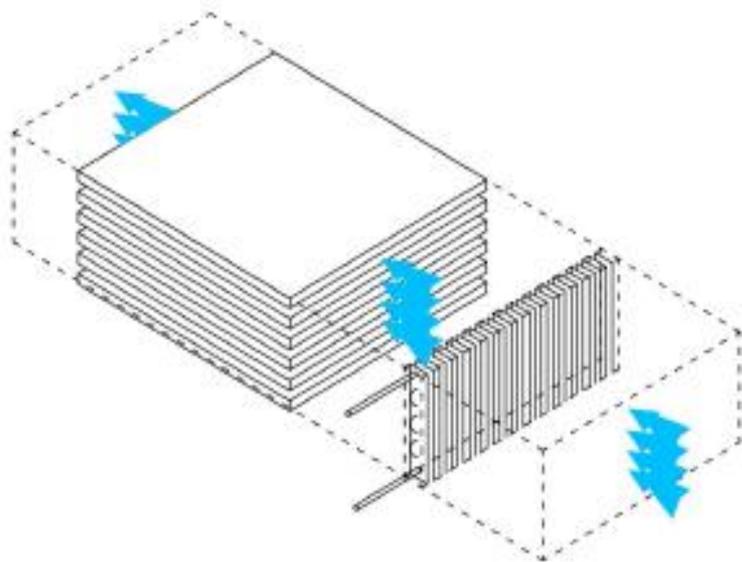
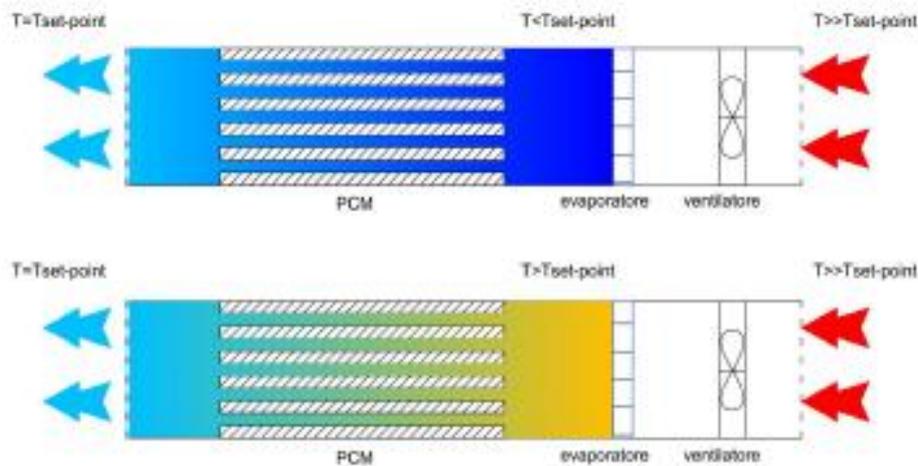
## PROTOTIPAZIONE





# D2 - Tecnologie per l'industria del freddo

## SCAMBIATORE DI CALORE



# D2 - Tecnologie per l'industria del freddo

## Ottimizzazione energetica delle celle refrigerate per lo stoccaggio e il trasporto di prodotti alimentari freschi con uso di PCM

**ENEA** **TOOL DI CALCOLO CELLE FRIGORIFERE** **UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

**Geometria e involucro**

DIMENSIONI ESTERNE	
B	(m)
L	(m)
H	(m)
DIMENSIONI PORTA	
I	(m)
h	(m)

spessore parete	
s	(m)

trasmissione parete	
S	(m)

emissività esterna parete	
e	

**Dati climatici**

fascia climatica:  mese:

ora di partenza:  durata prevista:

temperatura interna:

**Carico e viaggio**

n.	prodotto	kg	[°C]
1			
2			
3			
4			
5			

n.	prodotto	kg	[°C]
6			
7			
8			
9			
10			

**PCM**

TIPO:

messaggio di errore o conferma del PCM scelto:

QUANTITÀ CONSIGLIATA:

QUANTITÀ INSERITA:

autonomia per ore:  calore assorbito:

**RISULTATI**

carico termico involucro	100	J
infiltrazioni	50	J
respirazione frutta	20	J
calore sensibile merce	180	J
TOTALE termico	350	J

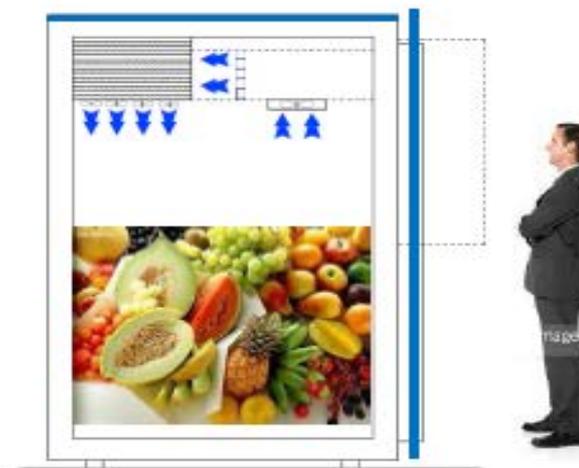
peso PCM	<input type="text"/>
volume PCM	<input type="text"/>
% in volume	<input type="text"/>

rendimento macchina frigorifera:  1

consumo elettrico previsto:  1

emissioni CO<sub>2</sub> previste:

Strumento di calcolo per facilitare gli operatori del settore nella scelta del PCM da utilizzare in funzione delle condizioni climatiche, della durata del trasporto e del tipo di merce refrigerata.



## D2 - Tecnologie per l'industria del freddo



- Implementazione e sperimentazione soluzioni tecnologiche applicabili alle celle, container, camion frigo per la riduzione del consumo energetico e le emissioni di gas serra in atmosfera.
- Realizzazione prototipi innovativi contenenti PCMs (Phase Change Materials) di prodotti finalizzati all'applicazione in celle, container, camion frigoriferi, sia esistenti che di nuova produzione.
- Sviluppo di un «tool» di calcolo semplificato per la scelta rapida di materiali e delle quantità per gli operatori della catena del freddo, nelle condizioni ambientali di utilizzo.

Grazie per l'attenzione

