



## Reti di sensori applicate al monitoraggio e al controllo di edifici

Angelo Cenedese



[angelo.cenedese@unipd.it](mailto:angelo.cenedese@unipd.it)



+39 049 827 7677

*Joint work with:*

*Luca Schenato*

*Alessandro Chiuso*

*Alessandro Beghi*

*Massimo Marra*

*Filippo Zanella*





- Le motivazioni e gli obiettivi del monitoraggio ambientale
- Le reti di sensori per il monitoraggio
- Le problematiche aperte e gli aspetti di ricerca
  - ▣ L'identificazione termodinamica degli edifici
  - ▣ Il controllo del comfort
- I progetti
  - ▣ Cromoterapia
  - ▣ Smart Greenhouse
  - ▣ SIMEA
  - ▣ Ri\*Creazione ovvero Scuole Sostenibili
  - ▣ Monitoraggio delle strutture sportive
- References



# Le motivazioni del monitoraggio ambientale ed energetico – “in globale”

## Energia

- 20-20-20 targets, which include a 20% cut in greenhouse gas emissions, a 20% improvement in energy efficiency and 20% of energy to come from renewable sources, all by 2020...
- From [www.bnegroup.org](http://www.bnegroup.org) (Business for New Europe):
  - *“A Climate Mission for Europe”*: senior business leaders from 20 companies highlight the EU’s achievements on environmental policy, and the priorities for the EU ...

## Salute e comfort

- From [www.epa.gov](http://www.epa.gov) (US Environmental Protection Agency):
  - *The term “sick building syndrome” is used to describe situations in which building occupants experience acute health and comfort effects that appear to be linked to time spent in a building, but no specific illness or cause can be identified...*
  - *Causes of or contributing factors are Inadequate ventilation, Chemical contaminants from indoor/outdoor sources.*



# Le motivazioni del monitoraggio ambientale ed energetico – in “locale”

## Energia

- I consumi legati agli usi civili rappresentano circa il 50% dei consumi elettrici e il 33% dei consumi energetici totali in Italia (fonte: Ministero dello Sviluppo Economico, 2005).
- Diventa fondamentale intervenire sugli edifici ma anche un ottimo edificio può avere come punto debole una “cattiva” gestione.

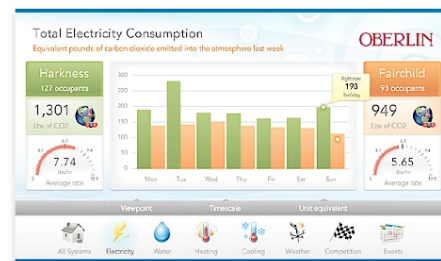
## Salute e comfort

- La concentrazione di anidride carbonica è un indice di inquinamento negli ambienti chiusi e può causare sonnolenza e mal di testa.
  - ▣ Sono desiderabili livelli di CO<sub>2</sub> inferiori a 600 ppm.
  - ▣ Livelli superiori a 1000 ppm sono considerati indice di una ventilazione inadeguata.
  - ▣ Livelli di 2500 ppm o superiori possono causare mal di testa
  - ▣ Aula II E - scuola media Coletti 14/02/2009 - Concentrazione di CO<sub>2</sub>
    - Aula occupata per 30 min → 1950 ppm
    - Aula dopo aver tenuto la finestra aperta per 5 min → 800 ppm
    - All'esterno ( sensore appoggiato sul davanzale) → 600 ppm

- Permettere la certificazione (energetica, sanitaria)
- Suggestire modifiche di ambienti/materiali
- Incentivare l'energy awareness e l'utilizzo ottimizzato delle risorse
- Favorire il controllo automatico intelligente e la preventive/predictive maintenance

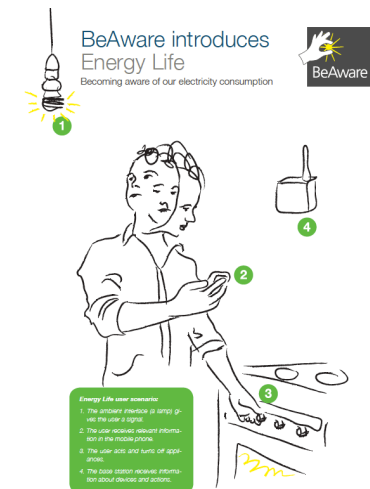
## Prius Effect: [www.luciddesigngroup.com](http://www.luciddesigngroup.com)

- "Prius Effect": vedere la performance per entrare in competizione virtuosa
- Energy Building Dashboard: fornire informazioni in tempo reale permette di ridurre i consumi degli edifici tra il 10% e il 56%.



## BeAware: [www.energyawareness.eu](http://www.energyawareness.eu)

- Progetto di ricerca europeo per l'energy awareness
- Sviluppo interfacce mobili e ubique





- Le motivazioni e gli obiettivi del monitoraggio ambientale
- **Le reti di sensori per il monitoraggio**
- Le problematiche aperte e gli aspetti di ricerca
  - ▣ L'identificazione termodinamica degli edifici
  - ▣ Il controllo del comfort
- I progetti
  - ▣ Cromoterapia
  - ▣ Smart Greenhouse
  - ▣ SIMEA
  - ▣ Ri\*Creazione ovvero Scuole Sostenibili
  - ▣ Monitoraggio delle strutture sportive
- References

- **Pervasive not invasive information!**
- Ruolo strutturale dell'edificio come involucro...  
e ruolo funzionale dell'edificio come scuola, ospedale,  
ufficio, residenza...
- Reti eterogenee di sensori e attuatori



- Ricerca scientifica
  - Modellistica edificio-impianto e simulazione attraverso codici numerici
  - Metodologie di identificazione termodinamica degli edifici
  - Algoritmi di consensus e gossip per la stima distribuita di variabili e parametri
  - Algoritmi di fault detection: robustezza come sicurezza e rilevamento di guasti
  - Algoritmi di ottimizzazione e di data selection/model reduction
  
- Sviluppo tecnologico
  - Sviluppo prototipale di dispositivi e interfacce
  - Scalabilità e complessità rispetto alle soluzioni algoritmiche e alla gestione del flusso di dati
  - Requisiti di tempo-reale e ridondanza/consistenza dei dati nella soluzione distribuita
  - Robustezza d'impianto e preferenza verso soluzioni standard e componentistica off-the-shelf
  - Semplicità d'installazione e di gestione





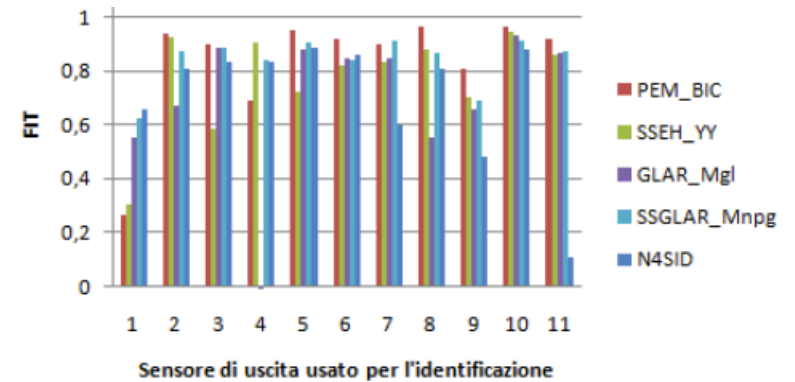
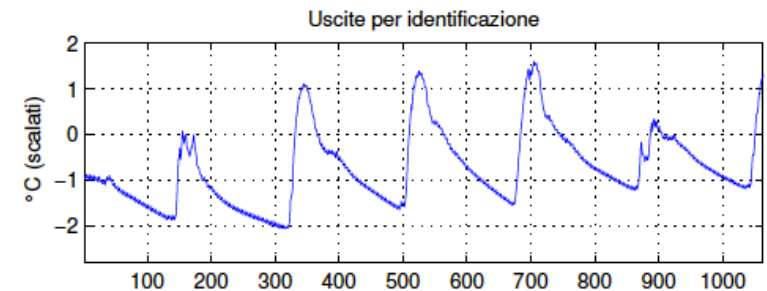
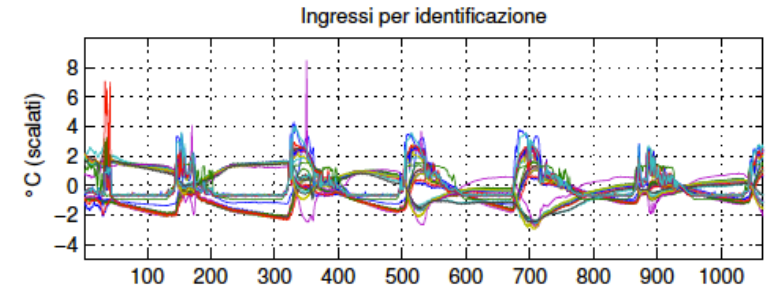
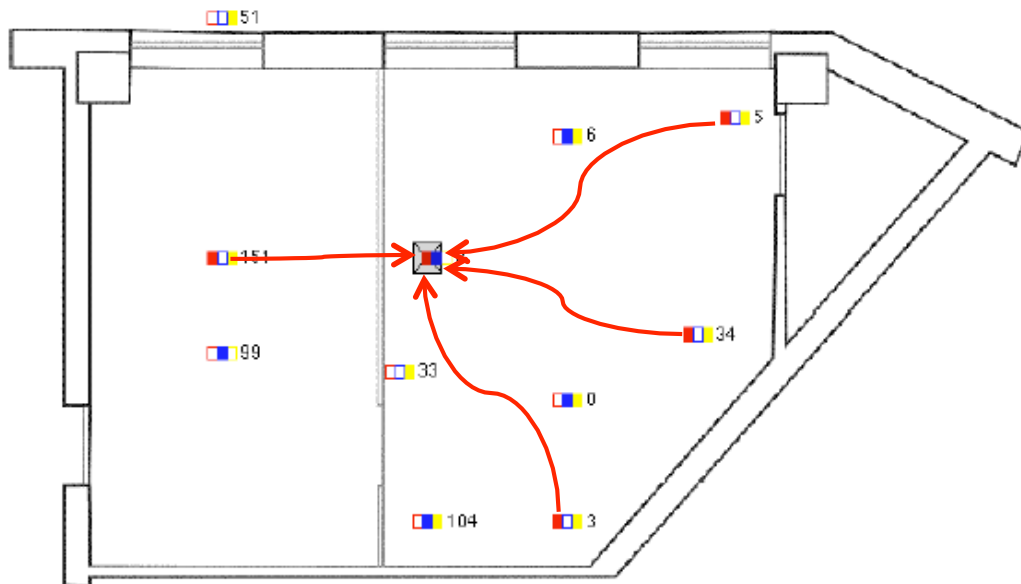
- Le motivazioni e gli obiettivi del monitoraggio ambientale
- Le reti di sensori per il monitoraggio
- Le problematiche aperte e gli aspetti di ricerca
  - ▣ L'identificazione termodinamica degli edifici
  - ▣ Il controllo del comfort
- I progetti
  - ▣ Cromoterapia
  - ▣ Smart Greenhouse
  - ▣ SIMEA
  - ▣ Ri\*Creazione ovvero Scuole Sostenibili
  - ▣ Monitoraggio delle strutture sportive
- References



- **Necessità di modelli accurati degli edifici:**
  - ▣ Introdurre accorgimenti migliorativi dell'involucro
  - ▣ Favorire un controllo termico di maggiore efficienza
  
- **Identificazione tramite rete di sensori:**
  - ▣ Edifici vecchi: mancanza di info o interventi invasivi per recuperarle
  - ▣ Edifici nuovi: sistema di aggiornamento del modello
  
- **Obiettivo:**
  - ▣ Rete “minima” di sensori
  - ▣ Posizionamento ottimo dei sensori



- Diverse tecniche di identificazione:
  - ▣ Accurata ricostruzione delle misure
  - ▣ Buon fitting dei sensori
  - ▣ Importanza delle misure dei vicini nella ricostruzione



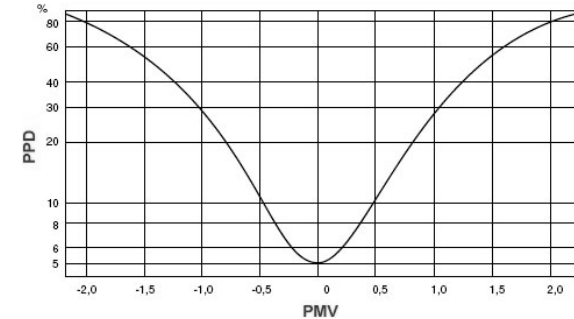


## □ Comfort termico:

- Temperatura dell'aria
- Umidità relativa o assoluta dell'aria

## □ Indice analitico di benessere termico:

- $PMV$  (*Predicted Mean Vote*) =  $f(T,h)$  : sensazione termica globale prevista, come sensazione media di un gruppo di individui in buona salute, esposti in ambienti termici moderati
- $PPD$  (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) =  $f(PMV)$  : percentuale prevista di insoddisfatti

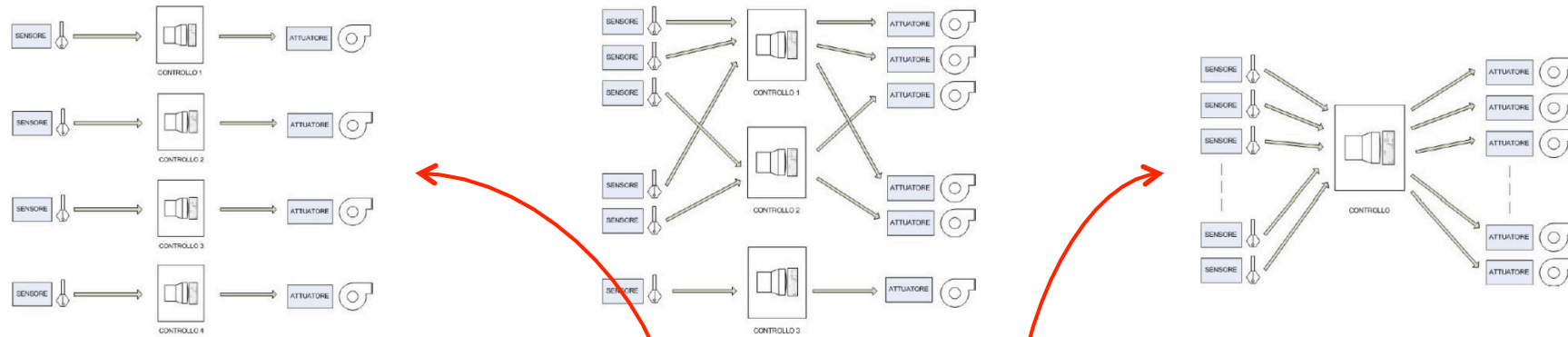


## □ Modello termoigrometrico dell'edificio:

- Disturbi interni (persone, dispositivi elettrici, apertura finestre)
- Disturbi esterni (temperatura esterna, irraggiamento solare, umidità esterna)

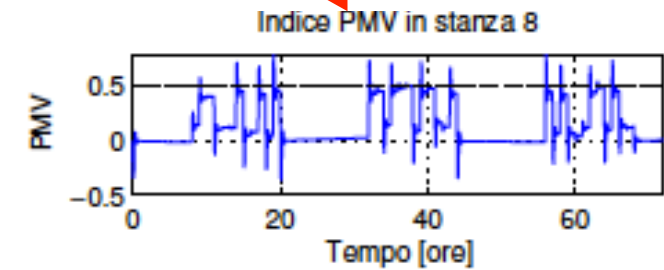
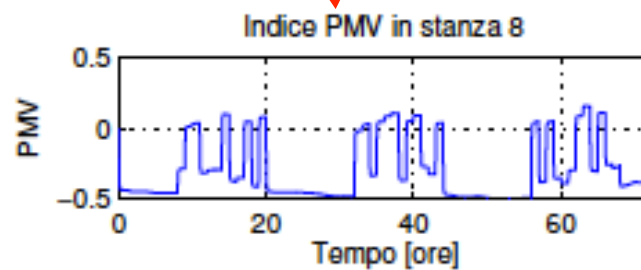
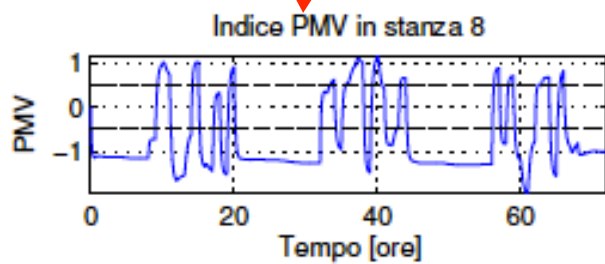
## □ Tecniche di controllo:

- Controllo attivo: controllo PI, controllo ottimo LQR, controllo predittivo MPC
- Tipologie di controllo: locale, regionale, centralizzato



Confronto delle energie espresse in kWh

	C. locale	C. regionale	C. centralizzato
PI	/	294.5	/
LQR	308.9	308.0	301.3
LQR stati	313.8	314.3	314.7
MPC	338.3	338.1	338.0





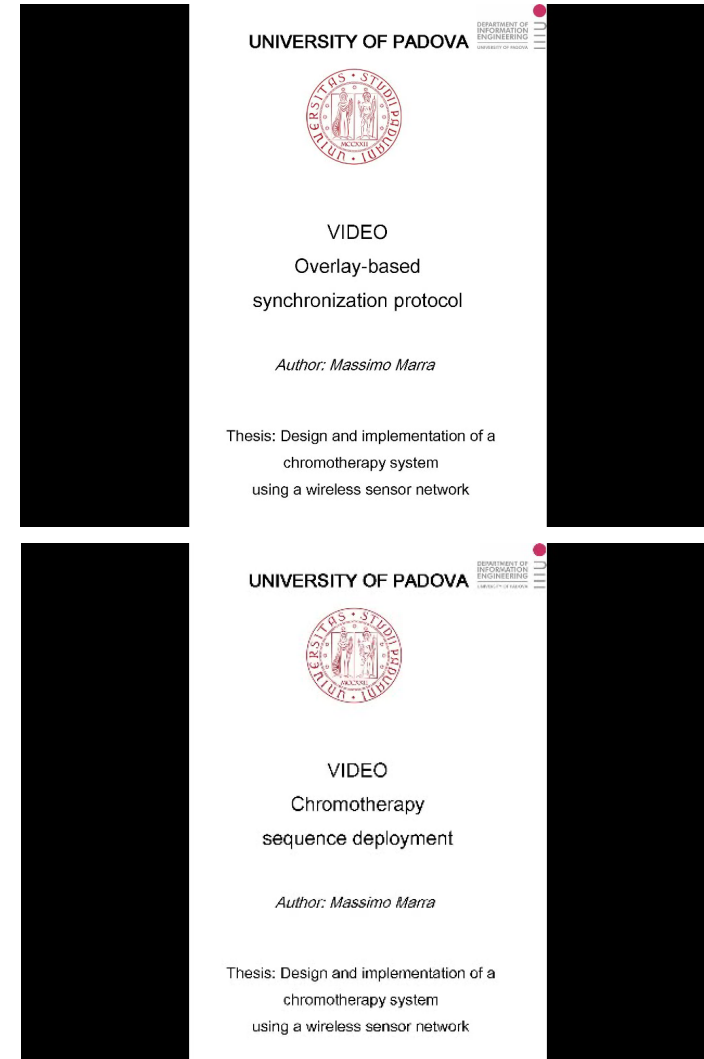
- Le motivazioni e gli obiettivi del monitoraggio ambientale
- Le reti di sensori per il monitoraggio
- Le problematiche aperte e gli aspetti di ricerca
  - ▣ L'identificazione termodinamica degli edifici
  - ▣ Il controllo del comfort
- I progetti
  - ▣ Cromoterapia
  - ▣ Smart Greenhouse
  - ▣ SIMEA
  - ▣ Ri\*Creazione ovvero Scuole Sostenibili
  - ▣ Monitoraggio delle strutture sportive
- References



- **Obiettivi:**
  - Applicazione di cromoterapia in soft real-time
  - Generazione in tempo reale della sequenza
  - Interazione con l'utente
  
- **Problematiche**
  - Coordinazione dei nodi
  - Sincronizzazione semplice tra i nodi
  - Comunicazione della sequenza attraverso la rete
  - Precisione di esecuzione
  - Rapidità della sequenza e del cambio sequenza



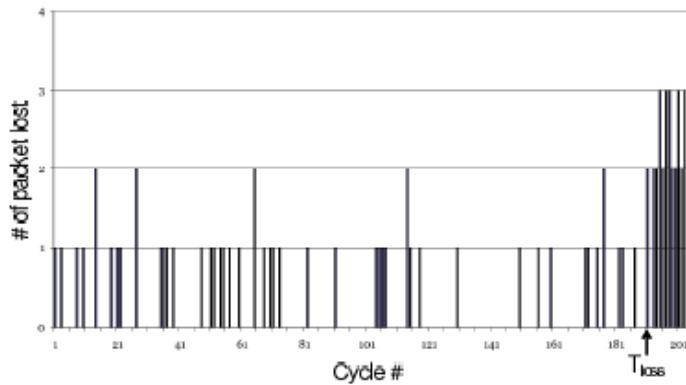
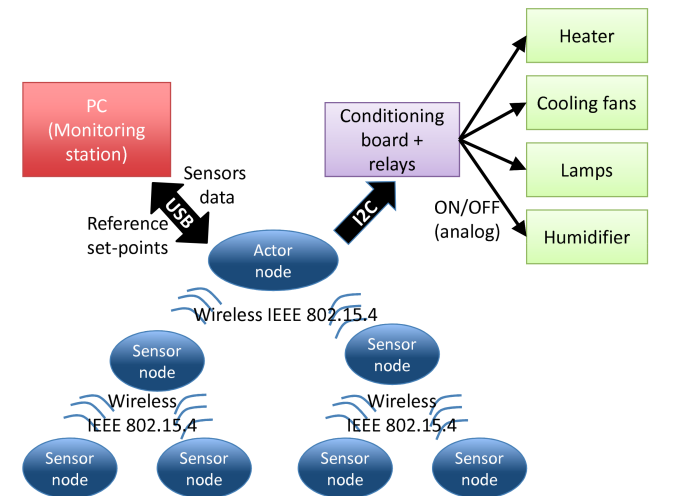
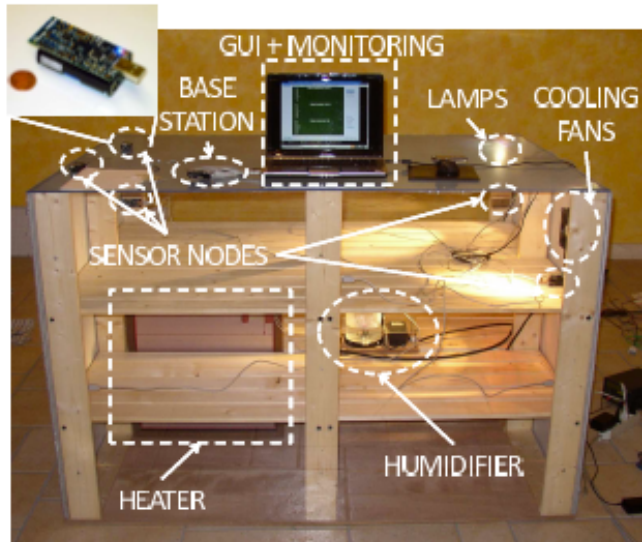
- Protocollo di sincronizzazione adattativo
  - errore  $< 1$  ms
  - 100 nodi
  - periodo sincronizzazione: 30s
  
- High fidelity Chromotherapy system
  - 4/5 hops ( $\sim 50/100$ m indoor)
  - $r_c = 5$ Hz
  - Cambio sequenza in 2s





- **WSAN per monitoraggio e controllo:**
  - Azioni cicliche (controllo) → tempi ~ decine di secondi
  - Azioni acicliche (allarmi) → tempi ~ secondi
  - Alto numero di ingressi/uscite
  - Vasta distribuzione spaziale
  
- **Problematiche:**
  - **Coordinazione distribuita fra nodi**
    - Correlazione e ridondanza di informazione per la compressione dati
    - Comunicazione multihop e perdita di pacchetto
    - Gestione di eventi durante il funzionamento di routine
  - **Consumo e risparmio energetico**
    - Protocolli di comunicazione TDMA (Time Division Multiple Access)
  - **Requisiti di real time**
    - Soft real-time: si possono tollerare alcune perdite di task ma l'azione di controllo si degrada
    - Hard real-time: comunicazioni e azioni sporadiche di emergenza







## SIMEA: Sistema Integrato/distribuito di Monitoraggio Energetico ed Ambientale

Finanziamento dalla Regione Veneto relativo alla L.R 18/05/2007 n.9

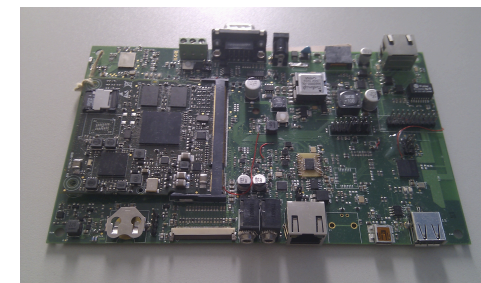
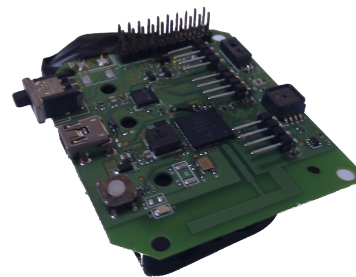
"Piano strategico per la ricerca scientifica, lo sviluppo tecnologico e l'innovazione 2008-2010"



- Sistema innovativo di sensori e relativi algoritmi di elaborazione dei dati, per una rilevazione e una valutazione quantitativa di **parametri ambientali ed energetici**
- **Sistema distribuito:** natura distribuita della rete, che sfrutta informazione e comunicazioni locali; intelligenza distribuita per l'ottimizzazione dell'uso delle risorse e la robustezza
- **Sistema integrato:** infrastruttura integrata e integrabile con dispositivi attuatori e con reti informatiche attive e multi agente

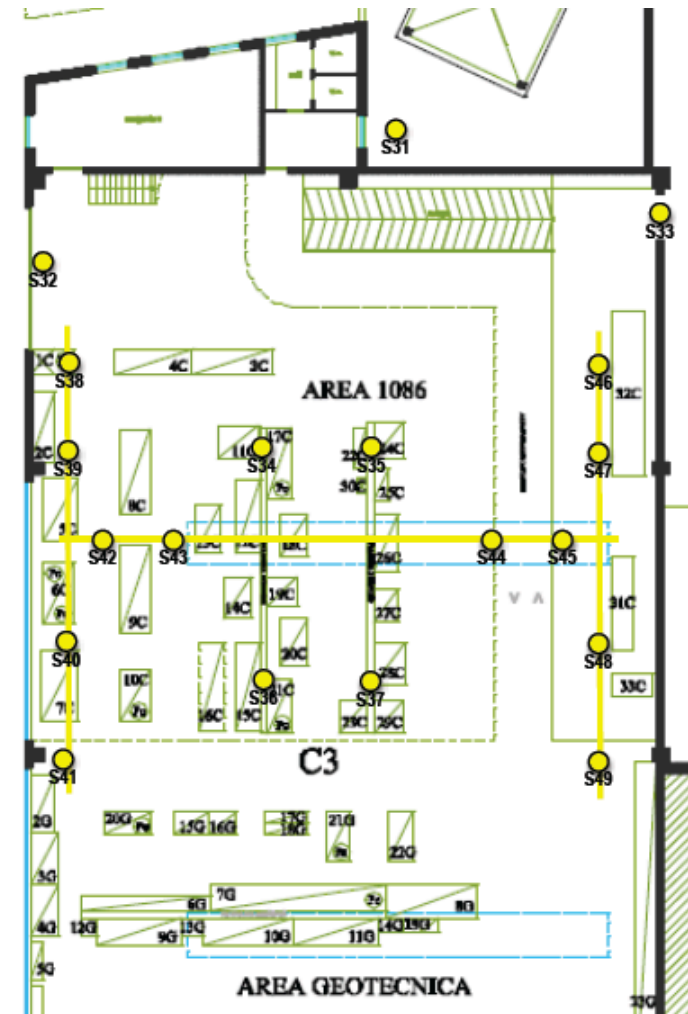
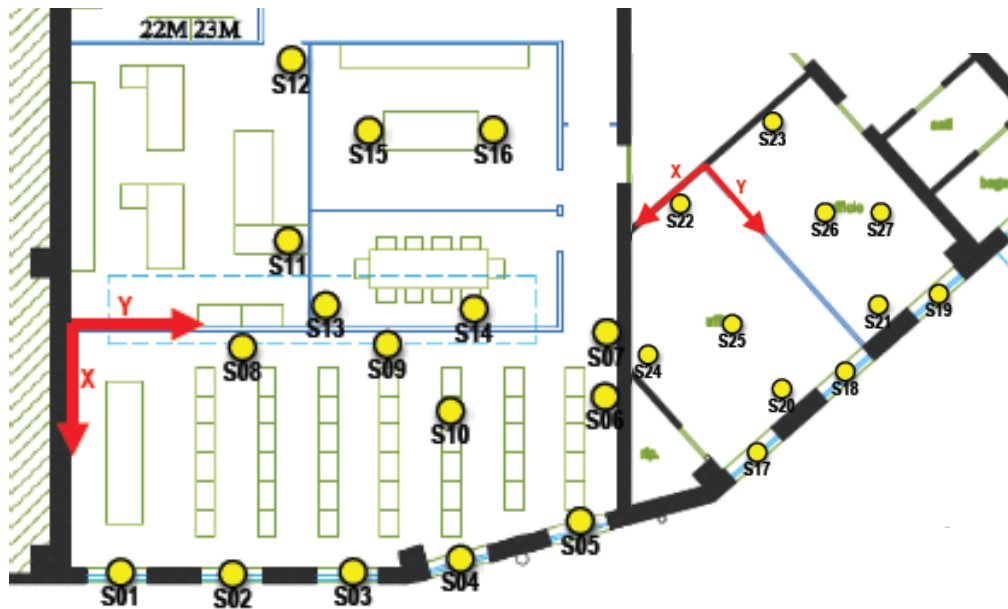


- Progettazione e implementazione di due sistemi prototipali:
  - ▣ **Rete mobile:** rete di sensori mobile per il monitoraggio ad-hoc e temporaneo: si basa su tecnologia wireless ed è costituita da una grande quantità di sensori
    - monitoraggio di edifici esistenti,
    - analisi preventiva in fase di progetto/costruzione,
    - suggerire l'ottimizzazione del sistema
  
  - ▣ **Rete fissa:** rete di dispositivi fissi per il monitoraggio continuo; integrata e integrabile con altri dispositivi/reti esistenti, è costituita da un numero limitato di sensori
    - consentire un monitoraggio continuo dei parametri di interesse





□ Ambienti dimostrativi:



# ri\*Creazione

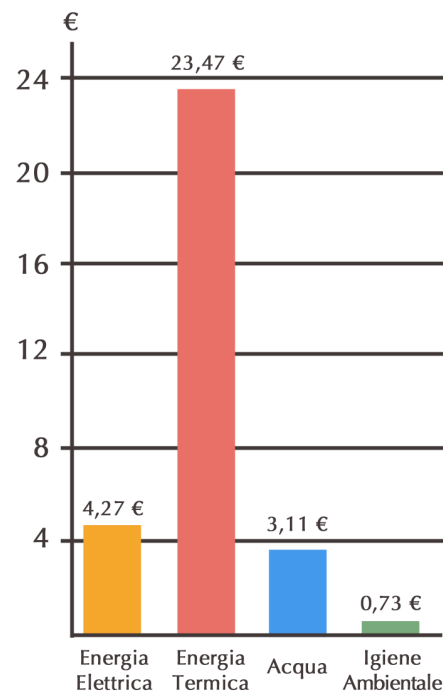


- **Attività Tecnologica:**
  - ▣ Sensori, unità computazionali, e dispositivi di interfaccia per consentire il monitoraggio dell'ambiente e una trasmissione efficace dell'informazione.
  
- **Attività Formativa:**
  - ▣ educazione all'ecosostenibilità (TNS)
  - ▣ utilizzo del sistema e interazione con i dispositivi installati (sensori e interfacce): funzionalità della rete, componentistica, procedure di manutenzione

# ri\*Creazione

Progetto Pilota Scuola Sostenibile  
Risparmio Annuale ad Alunno

ISTITUTO PRIMARIO P. LIOY di LAPIO (VI)



- Monitoraggio energetico ed ambientale (NB: CO<sub>2</sub>!!)
- Scuola Pilota di Malo:
  - ~ 450 alunni
  - ~ 5000mq su 3 piani
  - 24 aule + uffici + mensa + sala teatro
  - controllata da remoto su indicazione del personale
- Comuni interessati:
  - Vicenza (~57 scuole)
  - Padova (~70 scuole)
  - Torri di Quartesolo (~9 scuole)



- Strutture sportive:
  - Grandi dimensioni
  - Ambienti eterogenei
    - piscina, sauna, palestra, ristorante, sala relax, sala lettura
  - Utilizzo discontinuo e “prevedibile” degli ambienti
  - Alti costi di gestione: comfort!







- Le motivazioni e gli obiettivi del monitoraggio ambientale
- Le reti di sensori per il monitoraggio
- Le problematiche aperte e gli aspetti di ricerca
  - ▣ L'identificazione termodinamica degli edifici
  - ▣ Il controllo del comfort
- I progetti
  - ▣ Cromoterapia
  - ▣ Smart Greenhouse
  - ▣ SIMEA
  - ▣ Ri\*Creazione ovvero Scuole Sostenibili
  - ▣ Monitoraggio delle strutture sportive
- References



- R. Alberton, M. Ausserer, A. Barazzuol, A. Beghi, A. Cenedese, A. Chiuso, G. Pillonetto. Sparse dynamical models for thermodynamic identification of buildings. IEEE CDC 2011 (Submitted).
  - [[http://automatica.dei.unipd.it/tl\\_files/utenti/alessandrochiuso/CDCECC11\\_1780\\_MS.pdf](http://automatica.dei.unipd.it/tl_files/utenti/alessandrochiuso/CDCECC11_1780_MS.pdf)]
- E. Toffoli, G. Baldan, G. Albertin, L. Schenato, A. Chiuso, A. Beghi. Thermodynamic Identification of Buildings using Wireless Sensor Networks. IFAC World Congress on Automatic Control (IFAC 08), 2008.
  - [[http://automatica.dei.unipd.it/tl\\_files/utenti/lucaschenato/Papers/Conference/Theromodynamic\\_Identification\\_IFAC08.pdf](http://automatica.dei.unipd.it/tl_files/utenti/lucaschenato/Papers/Conference/Theromodynamic_Identification_IFAC08.pdf)]
- F. Baro, A. Favero, C. Spitaler. Controllo del comfort termoigrometrico in ambienti lavorativi moderati. 2011.
  - [[http://automatica.dei.unipd.it/tl\\_files/utenti/lucaschenato/Classes/PSC10\\_11/PSC11\\_Gruppo3\\_relazione.pdf](http://automatica.dei.unipd.it/tl_files/utenti/lucaschenato/Classes/PSC10_11/PSC11_Gruppo3_relazione.pdf)]
- M. Marra. Design and implementation of a chromotherapy system using a wireless sensor network. Laurea thesis, 2010
  - [[http://automatica.dei.unipd.it/tl\\_files/utenti/lucaschenato/Tesi/Marra\\_2011\\_tesi.pdf](http://automatica.dei.unipd.it/tl_files/utenti/lucaschenato/Tesi/Marra_2011_tesi.pdf)]
- A. Cenedese, L. Schenato, S. Vitturi. Wireless Sensor/Actor Networks for Real-Time Climate Control and Monitoring of Greenhouses. 2008
  - [<http://paduaresearch.cab.unipd.it/1045/>]
- The SIMEA Project. 2010-2011.
  - [<http://automatica.dei.unipd.it/people/cenedese/research/simea.html>]