

Wireless Sensors Networks and Environmental Monitoring

Ing. Filippo Zanella
- Ph.D. Candidate -

University of Padova
Department of Information Engineering
filippo.zanella@dei.unipd.it

Nov 03, 2010



Team di ricerca



Angelo Cenedese

Assistant Professor presso il Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali dell'Università degli Studi di Padova.



Luca Schenato

Associate Professor presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Padova.

Outline

- 1 WSNs
 - Definizione
 - Storia
 - Motivazioni e Applicazioni
- 2 Research
 - Problematiche di ricerca
 - WP 1.2.1: stima distribuita
 - WP 1.2.2: fault detection
- 3 Software
 - NesC
 - C#
- 4 Experiments
 - I campagna
 - II campagna

Outline

- 1 WSNs
 - Definizione
 - Storia
 - Motivazioni e Applicazioni
- 2 Research
 - Problematiche di ricerca
 - WP 1.2.1: stima distribuita
 - WP 1.2.2: fault detection
- 3 Software
 - NesC
 - C#
- 4 Experiments
 - I campagna
 - II campagna

Definizione

Rete di sensori

Una WSN è una rete costituita da nodi sensori **distribuiti** nello **spazio** che **cooperano** per **rilevare** (e analizzare) **condizioni** fisiche e ambientali.

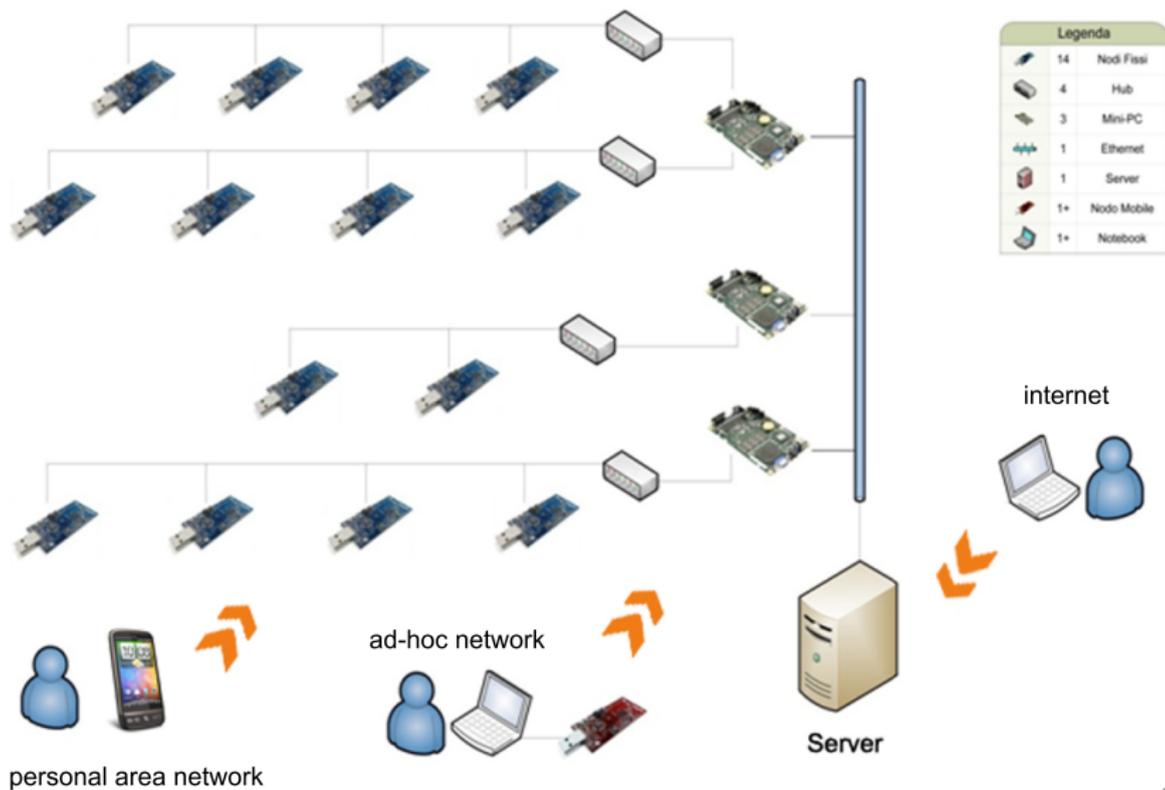
Sensore

Un **nodo sensore** (mote) è un dispositivo programmabile di dimensione ridotta facente parte di una WSN che è in grado di **elaborare** informazioni **recepite** dall'ambiente e **comunicare** con altri nodi presenti nella rete.

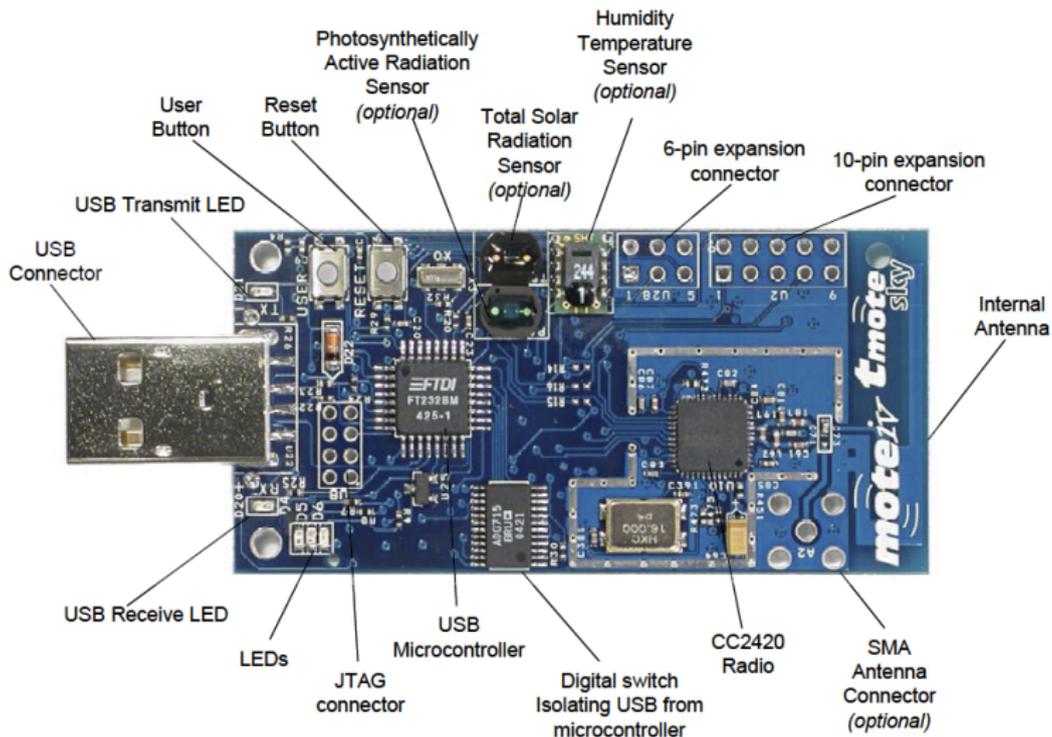
Ogni nodo in una WSN è solitamente dotato di:

- un trasmettitore radio (o una generica periferica wireless);
- un microcontrollore;
- una memoria di massa;
- una alimentazione (batteria);
- sensoristica varia (temperatura, umidità, pressione, CO₂, ...).

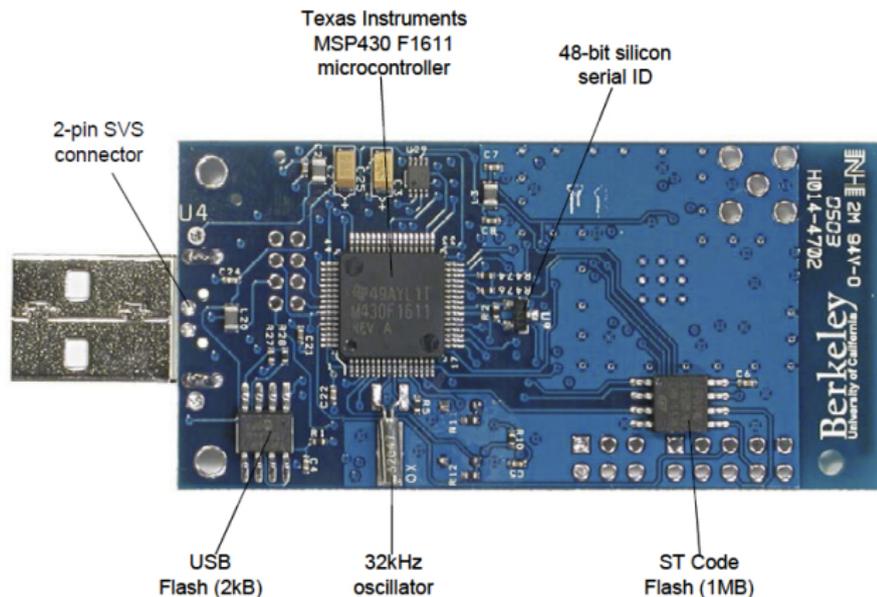
Definizione - Schema di una WSN



Definizione - Schema di un sensore (A side)



Definizione - Schema di un sensore (B side)

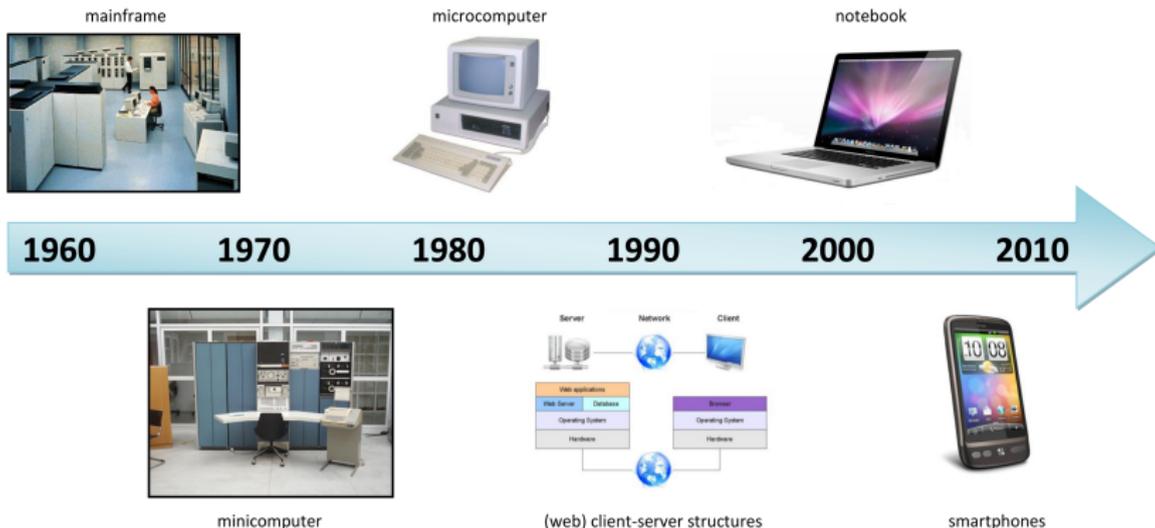


Storia

Bell's Law (1972)

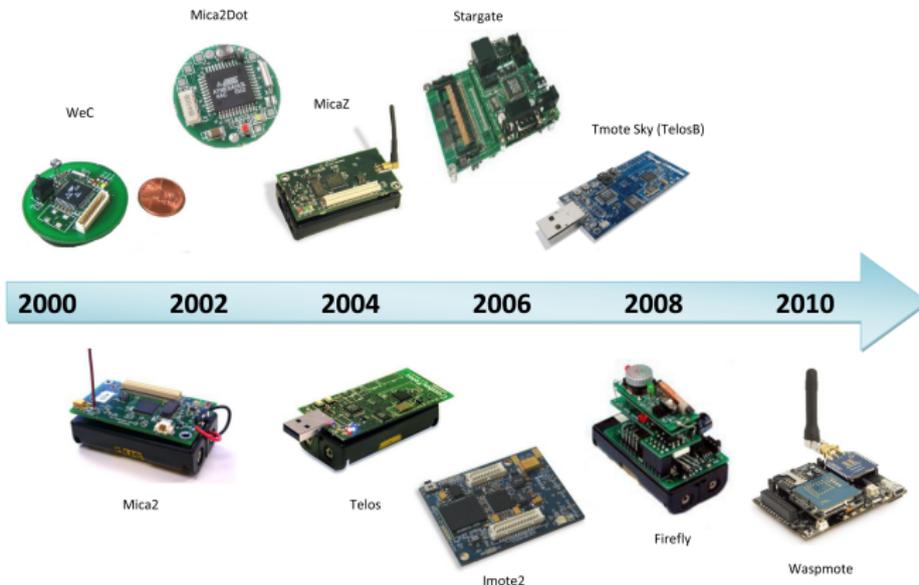
Tale legge definisce come si formino le classi di computer, come evolvano e (eventualmente) spariscono.

Nuove classi creano nuove applicazioni che confluiscono in nuovi mercati ed industrie.



Storia

Approssimativamente ogni decade, la tecnologia avanza nella progettazione di semiconduttori, memorie, reti ed interfacce, rendendo possibile l'avvenire di nuove piattaforme più ridotte, prestanti, e meno costose.



Motivazioni e Applicazioni

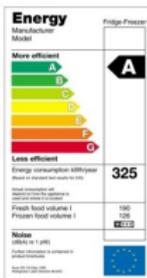
I punti di forza delle WSN sono la loro scalabilità e flessibilità, poiché lo stesso hardware e software può essere riconfigurato e adattato rapidamente per gestire applicazioni differenti.

Le WSN sono impiegate in molti ambiti civili, industriali (e militari).

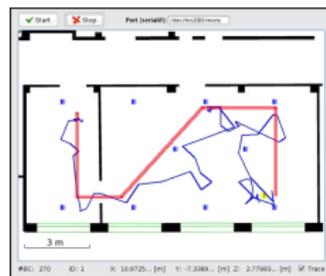
Nella fattispecie si evidenziano:

- la localizzazione e l'autolocalizzazione (ambienti indoor o a rischio);
- gli edifici intelligenti (domotica, riduzione dei consumi energetici);
- il mapping delle biodiversità (osservazione dei comportamenti animali);
- l'agricoltura di precisione (distribuzione di pesticidi, fertilizzanti, acqua);
- la medicina e l'health care (sorveglianza di pazienti cronici o anziani);
- la gestione di facilities (intrusion detection, controllo di perdite).

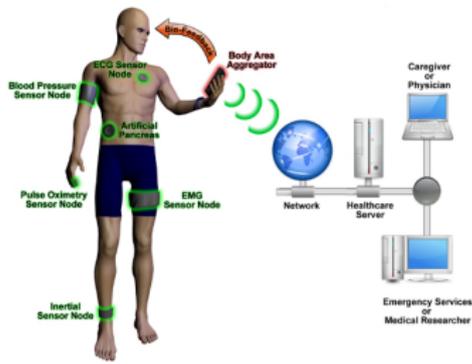
Motivazioni e Applicazioni



energetic auditing & energy management



localizzazione e tracking



health care



agricoltura di precisione (serra)

Outline

- 1 WSNs
 - Definizione
 - Storia
 - Motivazioni e Applicazioni
- 2 **Research**
 - Problematiche di ricerca
 - WP 1.2.1: stima distribuita
 - WP 1.2.2: fault detection
- 3 Software
 - NesC
 - C#
- 4 Experiments
 - I campagna
 - II campagna

Problematiche di ricerca

- stima e controllo distribuito;
- controllo con perdita di pacchetto e ritardi aleatori;
- sensor fusion;
- sincronizzazione dei clock;
- Coordinazione e cooperazione;
- identificazione di modelli complessi;
- selezione e posizionamento ottimo dei sensori.

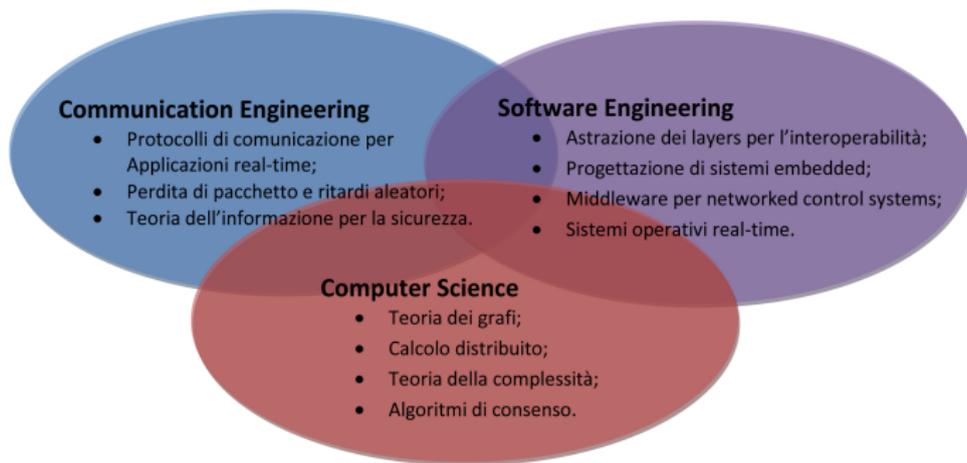
Control Engineering

sensor network + control systems

nodes are sensors (monitoring) and/or actuators (control).

Problematiche di ricerca

- stima e controllo distribuito;
- controllo con perdita di pacchetto e ritardi aleatori;
- sensor fusion;
- sincronizzazione dei clock;
- Coordinazione e cooperazione;
- identificazione di modelli complessi;
- selezione e posizionamento ottimo dei sensori.



WP 1.2.1: stima distribuita - Introduction

L'**elevata dimensionalità**, i **vincoli di comunicazione** dei sensori e la **capacità computazionale** di una WSN pongono questioni non banali relative al bisogno di distribuire nella rete le operazioni di calcolo.

La ricerca in tale ambito è stata indirizzata negli anni nell'individuare strumenti e algoritmi per poter elaborare dati in maniera decentralizzata cercando di ridurre il carico di comunicazione tra i sensori e mantenendo una certa robustezza rispetto ai guasti o alla sostituzione degli stessi.

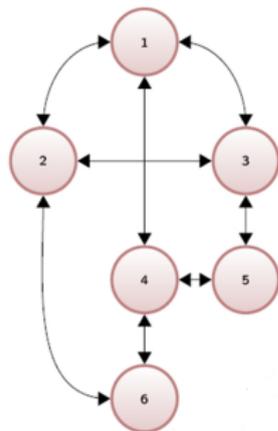
Numerose ricerche hanno dimostrato che gli **algoritmi di consenso** sono strumenti efficienti per affrontare problemi di stima distribuita.

Un algoritmo di consenso consente ad un gruppo di sensori (agenti) di **convergere** ad uno **specifico valore** utilizzando solamente uno **scambio di informazioni locale**.

WP 1.2.1: stima distribuita - Consensus

Consideriamo una WSN composta da:

- un insieme \mathcal{N} di N agenti;
- un grafo di comunicazione $\mathcal{G} = \{\mathcal{N}, \mathcal{E}\}$;
- gli insiemi $\mathcal{N}(i)$, $i = 1, \dots, N$ dei vicini degli agenti;
- le variabili x_i memorizzate dagli agenti.



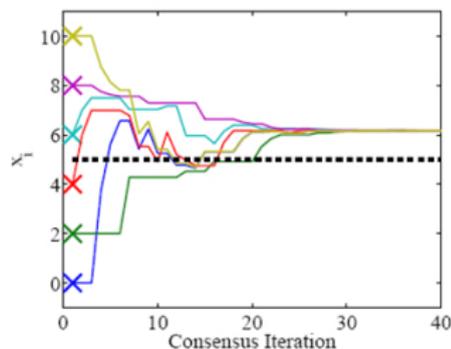
Si definisce algoritmo ricorsivo distribuito adattato al grafo \mathcal{G} ogni algoritmo dove la legge di aggiornamento del nodo i -esimo dipende unicamente dallo stato del nodo i e dei suoi vicini $j \in \mathcal{N}(i)$:

$$x_i(t+1) = f(x_i(t), x_{j_1}(t), \dots, x_{j_{N_i}}(t)) \quad j_1, \dots, j_{N_i} \in \mathcal{N}(i)$$

WP 1.2.1: stima distribuita - Consensus

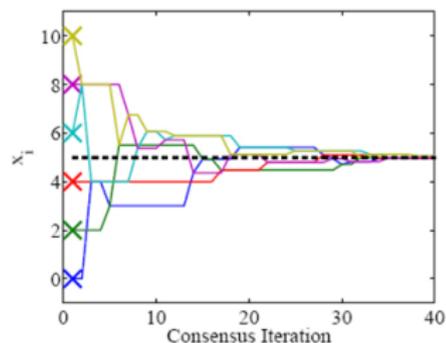
Un algoritmo ricorsivo distribuito adattato al grafo \mathcal{G} si dice che **raggiunge il consensus asintoticamente** se

$$x_i(t) \rightarrow \alpha, \quad \forall i \in \mathcal{N}, \alpha \in \mathbb{R}$$



Un algoritmo ricorsivo distribuito adattato al grafo \mathcal{G} si dice che **raggiunge l'average consensus asintoticamente** se

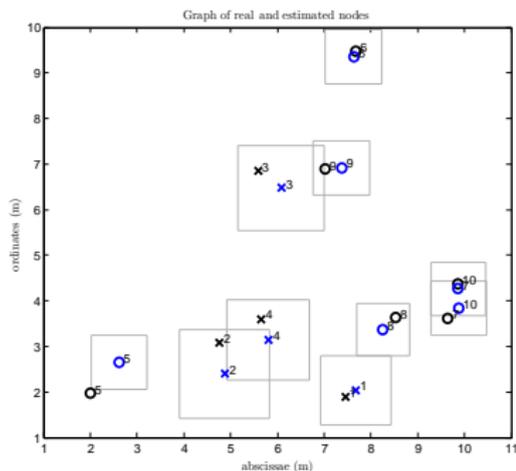
$$x_i(t) \rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathcal{N}} x_i(0), \quad \forall i \in \mathcal{N}.$$



WP 1.2.1: stima distribuita - Problema 1

- L. Schenato, A. Cenedese, F. Zanella *Unbiased Minimum-Variance Estimation of Fixed Sensors Positions Using Consensus Algorithms*

Consideriamo un insieme di sensori fissi di posizioni sconosciute e $p := (p_\alpha; p_\beta) \in \mathbb{R}^2$ un punto generico del piano dove α e β sono le ascisse e ordinate. Il nostro scopo è trovare la coordinate scalari dei sensori fissi, utilizzando come informazioni le distanze scalari reciproche tra i sensori fissi e le distanze da un sensore mobile che si sposta in posizioni note.

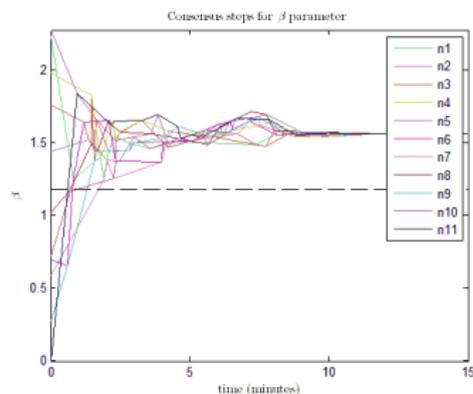
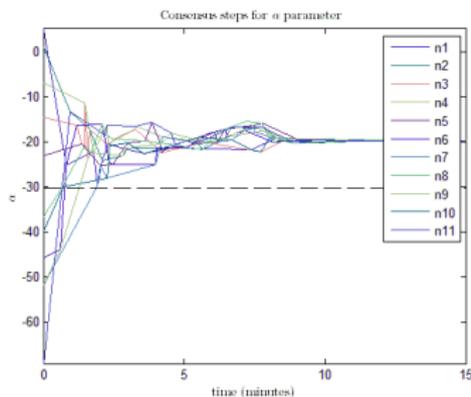


WP 1.2.1: stima distribuita - Problema 2

- A. Cenedese, F. Zanella *Distributed Consensus Based Channel Model Identification for Wireless Sensor Networks*

L'obiettivo è di implementare un algoritmo di consenso con strategia di tipo symmetric random gossip sui sensori Tmote Sky per la stima dei parametri α e β del canale di comunicazione wireless:

$$\hat{P}_{rx}^{ij} = \beta - 10\alpha \log_{10}(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|)$$



WP 1.2.2: fault detection - Introduction

La **sicurezza** e il **rilevamento di guasti** sono termini fondamentali per aumentare la robustezza di una WSN.

In presenza di possibili **eventi distruttivi** nella rete è di somma importanza progettare algoritmi che possano da un lato **prevedere** queste situazioni e dall'altro adattare il comportamento della rete per **minimizzare** gli **effetti negativi**. Diviene inoltre particolarmente significativo poter **rilevare** e **isolare comportamenti malevoli** di uno o più agenti, e allo stesso tempo **compensare** per essi.

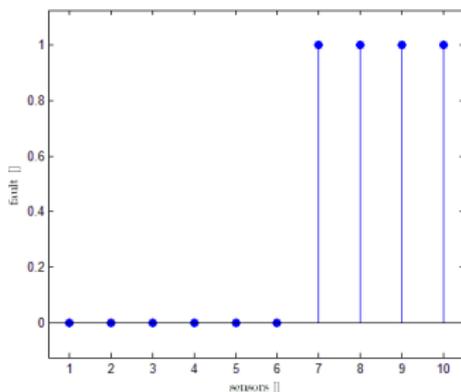
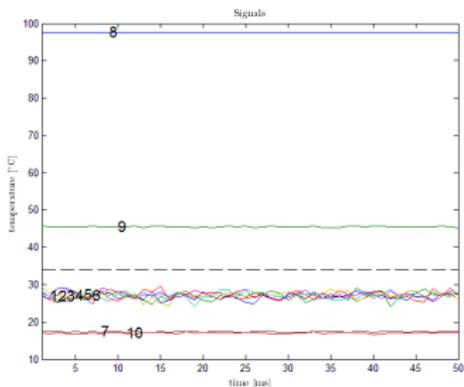
Questi aspetti hanno un impatto naturale e diretto in applicazioni di monitoraggio, di identificazione e di stima, dove la bontà della ricostruzione globale dipende dalla fiducia attribuita a ogni singola informazione.

WP 1.2.2.B: fault detection - Problema 1

- A. Cenedese, F. Zanella *Iterative Outliers Detection using Consensus Algorithms*

Consideriamo un i -esimo sensore come una successione di variabili gaussiane aleatorie $S_i^{k+1} \sim \mathcal{N}(\mu_i^{k+1}, \sigma_i^{2,k+1})$, $k \in \mathbb{N}$.

L'obiettivo è di individuare un algoritmo di clusterizzazione dei dati per consentire ai sensori di identificare, utilizzando una procedura di consenso e di clustering nella WSN, un proprio stato di fault.



Outline

- 1 WSNs
 - Definizione
 - Storia
 - Motivazioni e Applicazioni
- 2 Research
 - Problematiche di ricerca
 - WP 1.2.1: stima distribuita
 - WP 1.2.2: fault detection
- 3 Software
 - NesC
 - C#
- 4 Experiments
 - I campagna
 - II campagna

NesC - Overview

Il NesC è una **estensione** del linguaggio C, progettato per incarnare i concetti strutturali e i modelli di esecuzione del TinyOS, un sistema operativo **open-source** ad **eventi** predisposto per WSNs.



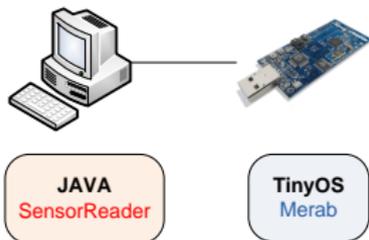
Una applicazione NesC:

- è costituita da **componenti** collegati tra loro tramite **interfacce**;
- è individuata da
 - **moduli** che implementano eventi e comandi;
 - **configurazioni** che implementano componenti dichiarando sotto-componenti e definendo i collegamenti tra le interfacce.

NesC: nesc.sourceforge.net TinyOS: www.tinyos.net

NesC - Merab “abundant”

Merab consente di acquisire e monitorare i dati ambientali di un Tmote Sky con un tempo di campionamento specifico. sourceforge.net/projects/merab/



Nella fattispecie i dati ambientali riguardano:

- temperatura ($^{\circ}\text{C}$);
- umidità (%RH);
- radiazione solare totale (A/W);

con l'aggiunta del controllo dell'alimentazione:

- tensione (V).

NesC - Lael *“belonging to God”*

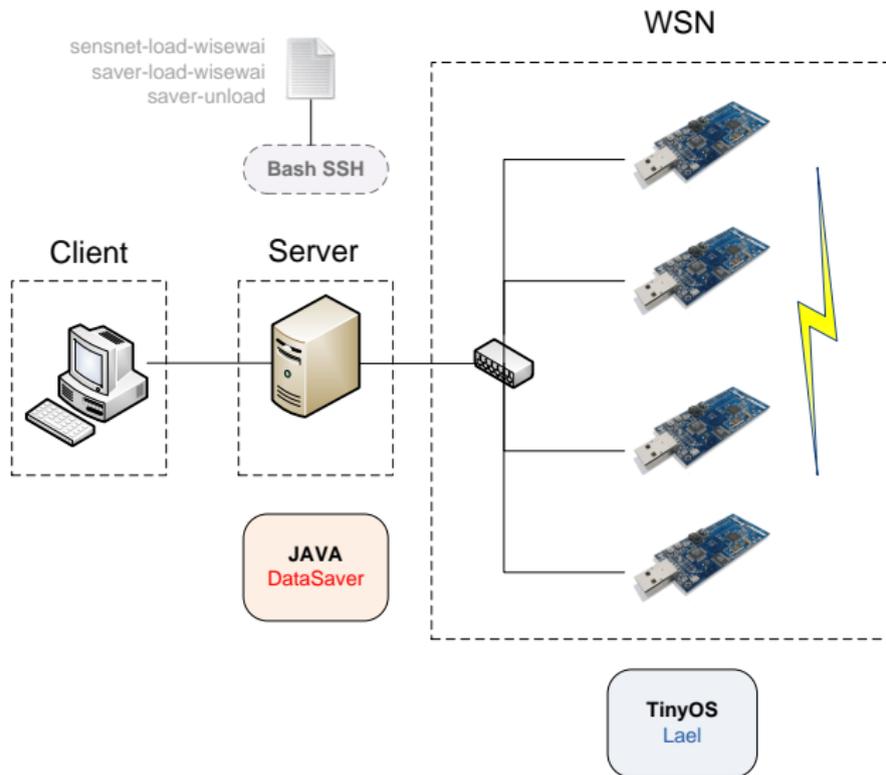
Lael consente ad un utente di acquisire e di monitorare i dati ambientali e di trasmissione misurati da una WSN di Tmote Sky collegata via USB-VSP^a ad un client (o server) centrale. sourceforge.net/projects/lael/

^aUniversal Serial Bus - Virtual Serial Port

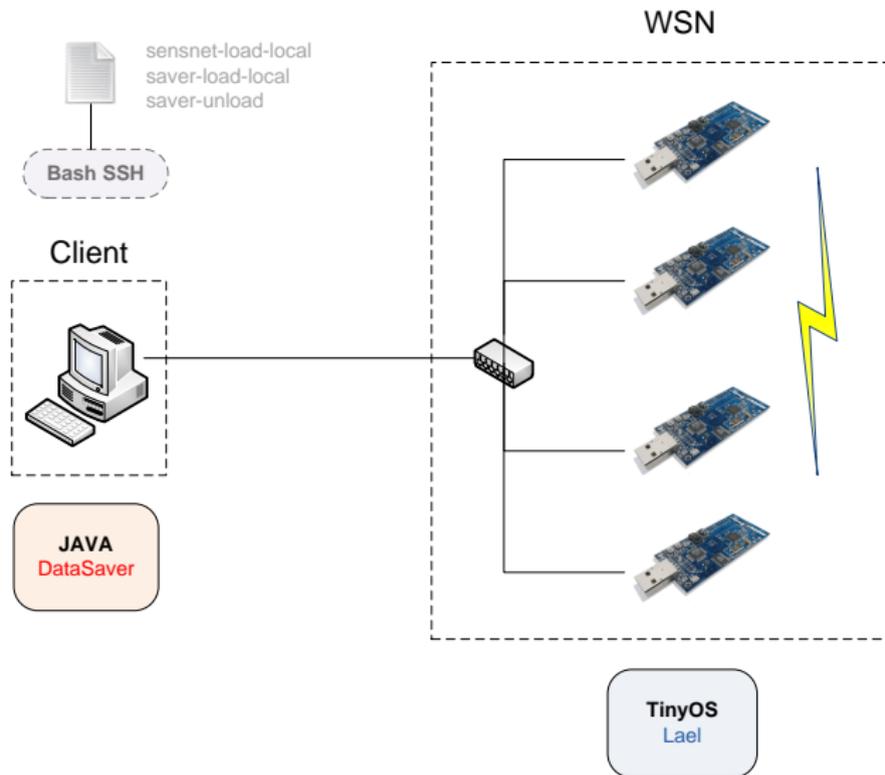
Nella fattispecie i dati di trasmissione riguardano:

- RSSI, received signal strength indicator (dB);
- RSS, received signal strength (dB);
- LQI, link quality indicator;
- identificativo del canale;
- identificativo della potenza.

NesC - Lael *"belonging to God"*



NesC - Lael *"belonging to God"*



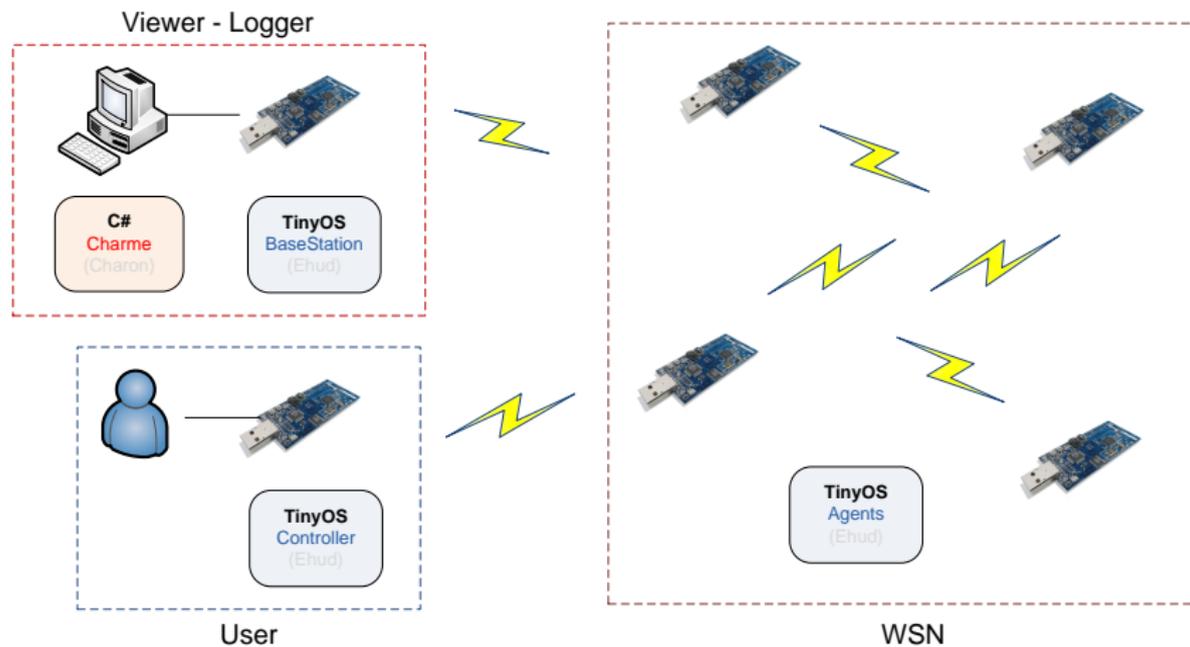
NesC - Ehud “united”

Ehud consente ad un utente sia di monitorare i dati ambientali misurati da una WSN di Tmote Sky sia di far eseguire alla WSN un algoritmo di consensus sui medesimi dati. sourceforge.net/projects/ehud/

Ehud consta di tre applicativi:

- **Agents**, eseguito dai sensori costituenti la WSN che trasmettono via wireless i dati misurati;
- **BaseStation**, eseguito da un sensore che raccoglie i dati della WSN e li trasmette via RS232 ad un terminale;
- **Controller**, eseguito da un sensore comandato da un utente per switchare le operazioni della WSN.

NesC - Ehud “united”



C# - Overview

Il C# (.NET) è un linguaggio di programmazione orientato agli oggetti sviluppato da Microsoft. La sintassi del C# prende spunto da quella del Delphi, del C++, da quella di Java e da Visual Basic.



(Alcune) caratteristiche del C#:

- i **puntatori** possono essere utilizzati solo in specifici blocchi di codice;
- gli oggetti dinamici vengono deallocati dal **garbage-collector**;
- è possibile **ereditare** da una **sola classe** ma è possibile implementare un **numero indefinito di interfacce**;
- **non obbliga** la **gestione delle eccezioni** (handle or declare);
- supporta le strutture.

C#: www.microsoft.com/express/

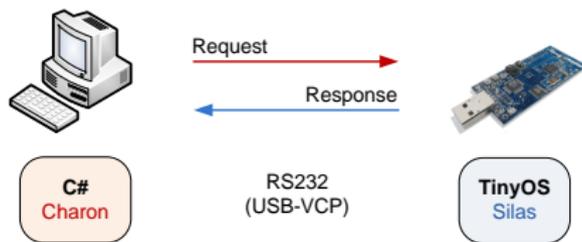
C# - Charon “caronte”

Charon è un applicativo desktop che consente di interrogare una periferica connessa via (USB-V)SP per graficarne e memorizzarne in tempo reale i dati ambientali da essa misurati.

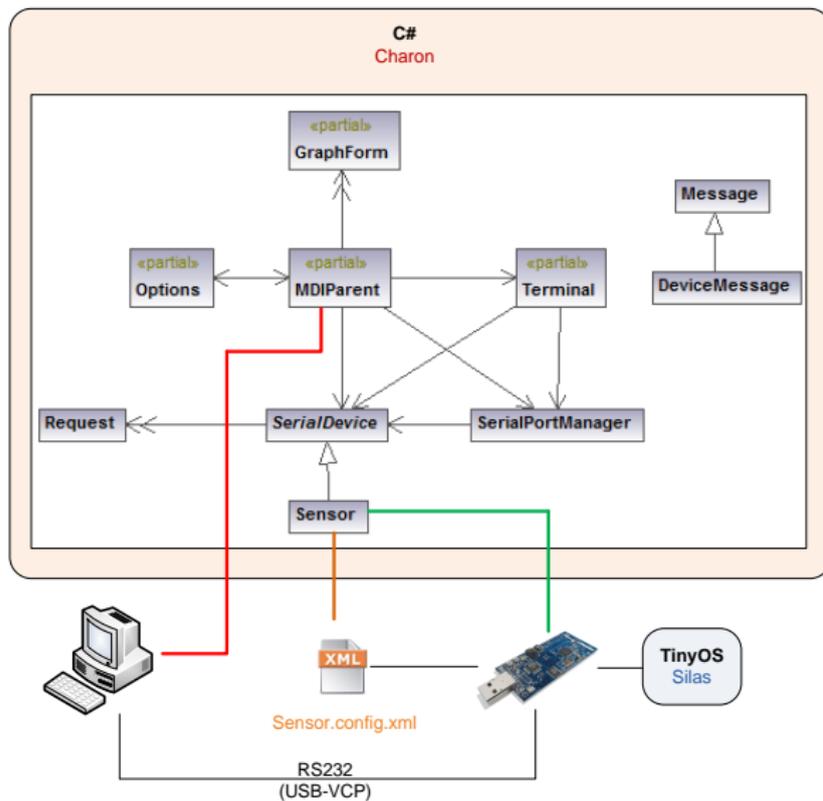
Charon è stato sviluppato in collaborazione con l'Ing. Fabio Maran (Ph.D. Candidate @ DEI) ed è attualmente un work in progress.

Example

Un Tmote Sky equipaggiato con un applicativo atto all'interrogazione dei dati (Silas) risponde alle richieste di Charon.



C# - Charon "caronte"

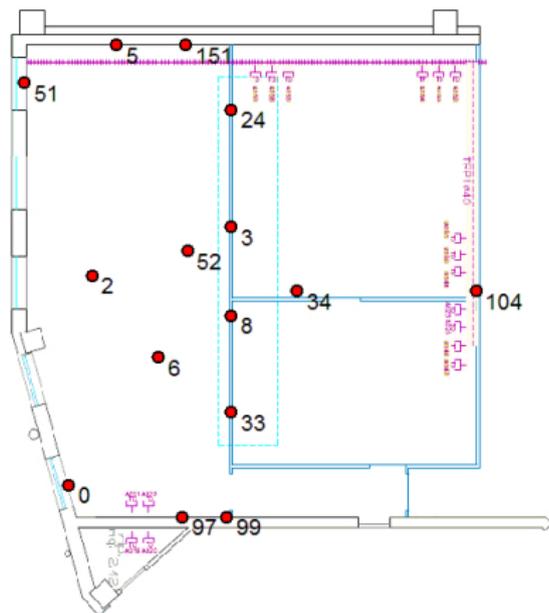


Outline

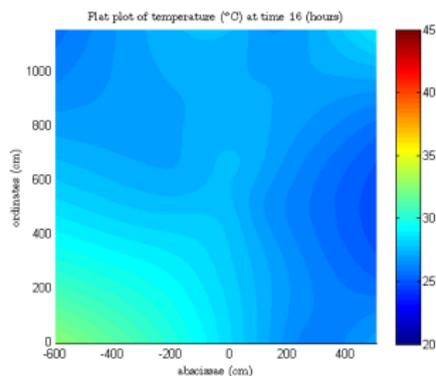
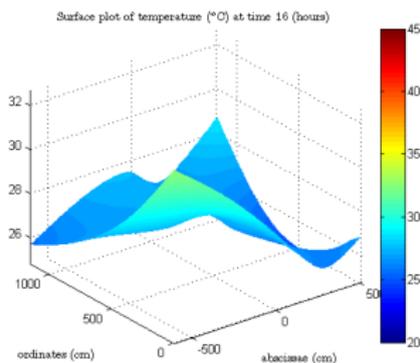
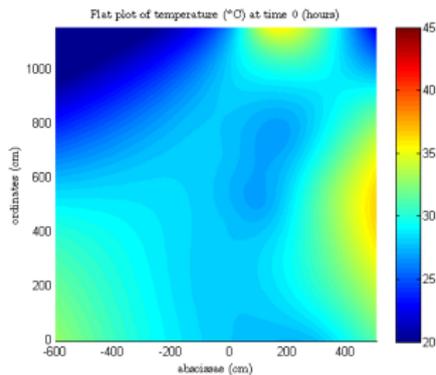
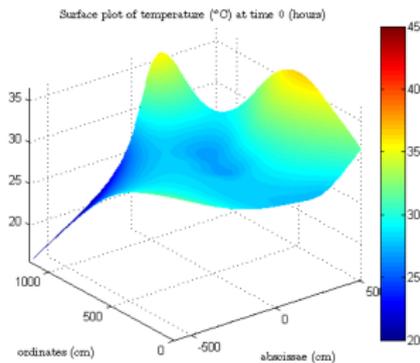
- 1 WSNs
 - Definizione
 - Storia
 - Motivazioni e Applicazioni
- 2 Research
 - Problematiche di ricerca
 - WP 1.2.1: stima distribuita
 - WP 1.2.2: fault detection
- 3 Software
 - NesC
 - C#
- 4 Experiments
 - I campagna
 - II campagna

I campagna - testbed

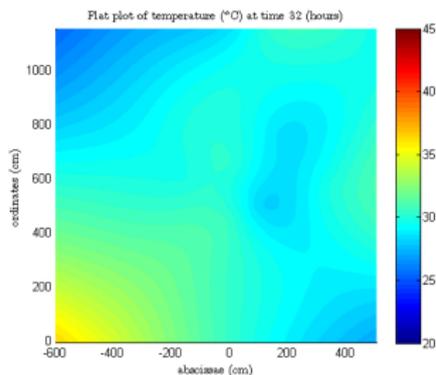
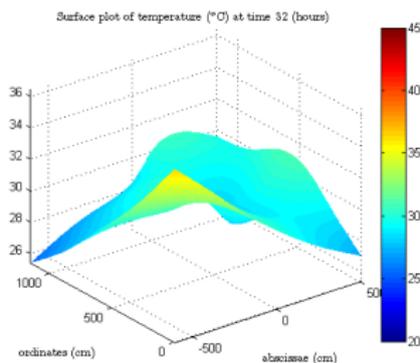
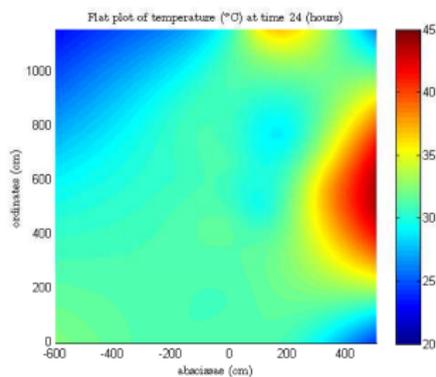
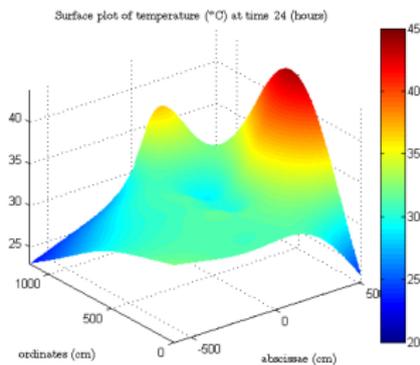
Sala conferenze e laboratori adiacenti al primo piano della ditta RiCert.
Acquisizioni dal **04 giugno 2010** ore 11:35 per **5 giorni** consecutivi su **17** sensori con tempo di **campionamento** di **8 minuti**.



I campagna - risultati



I campagna - risultati

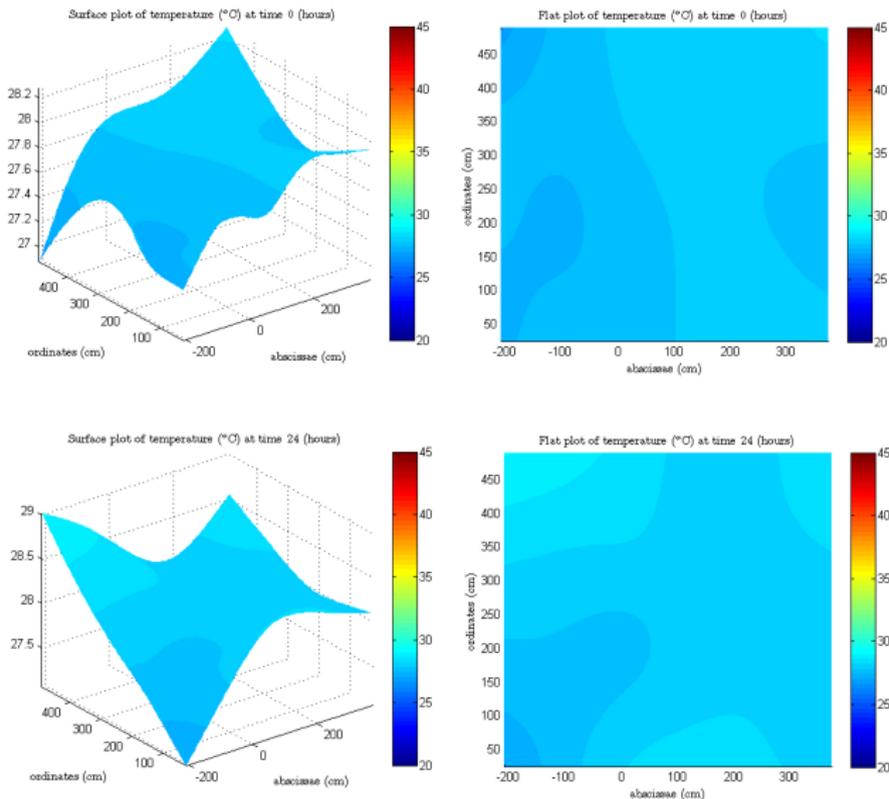


Il campagna - testbed

Uffici al primo piano della ditta RiCert. Acquisizioni dal **13 agosto 2010** ore 12:35 per **9 giorni** consecutivi su **17 sensori** con tempo di campionamento di **8 minuti**.



Il campagna - risultati



Il campagna - risultati

