

# Wireless sensor network (WSN)

Filippo Rossi

*rossif@dii.unisi.it*

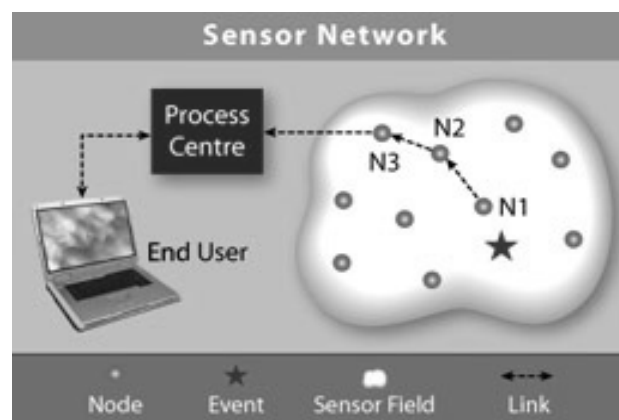


*Corso di Laurea in Ingegneria Informatica  
Università degli Studi di Siena*

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Wireless sensor network

Una rete di sensori wireless (WSN) è una rete costituita da un numero variabile di nodi autonomi (mote), distribuiti nello spazio, che cooperano tra di loro per monitorare delle variabili di interesse.

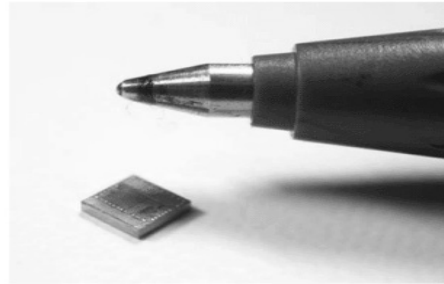


I nodi con a bordo i sensori rilevano i dati d'interesse che vengono trasmessi alla **base station**, dove vengono processati.

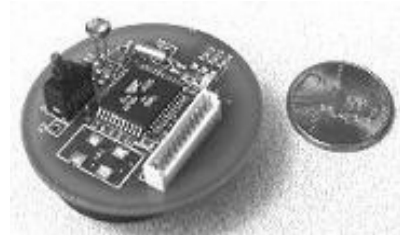
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Caratteristiche WSN

- Disposizione: random, ad hoc.
- Dimensione: dai mm ai cm.
- Costo: da pochi centesimi a centinaia di €.
- Eterogenità: piattaforme e sensori diversi.
- Comunicazione: wireless.
- Topologia: struttura a stella (single hop) o ad albero (multi hop).
- Copertura: sparsa, densa o ridondante.
- Durata: ore - anni
- Alimentazione: batterie, celle solari etc.



Tiny motes, or "smart dust," will enable monitoring of even more places and things.



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Caratteristiche WSN

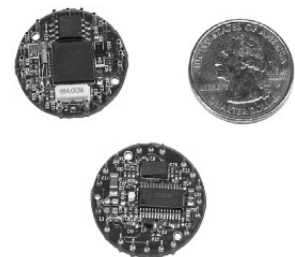
I nodi wireless sono equipaggiati:

- Trasmettitore radio
- Microcontrollore
- Alimentazione (batterie)
- Sensori










L'utilizzo delle WSN è molto vasto, si va da applicazioni in campo industriale, agricolo, ambientale, militare e in ambito di sicurezza.

Al diminuire delle dimensioni e dei costi, aumentano le potenzialità del loro impiego.



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Evoluzione dei motes

Mote Type Year	<i>WeC</i> 1998	<i>René</i> 1999	<i>René 2</i> 2000	<i>Dot</i> 2000	<i>Mica</i> 2001	<i>Mica2Dot</i> 2002	<i>Mica 2</i> 2002	<i>Telos</i> 2004
								
<b>Microcontroller</b>								
Type	AT90LS8535		ATmega163		ATmega128		TI MSP430	
Program memory (KB)	8		16		128		60	
RAM (KB)	0.5		1		4		2	
Active Power (mW)	15		15		8		33	
Sleep Power ( $\mu$ W)	45		45		75		75	
Wakeup Time ( $\mu$ s)	1000		36		180		180	
<b>Nonvolatile storage</b>								
Chip	24LC256				AT45DB041B		ST M24M01S	
Connection type	I <sup>2</sup> C				SPI		I <sup>2</sup> C	
Size (KB)	32				512		128	
<b>Communication</b>								
Radio	TR1000		TR1000		CC1000		CC2420	
Data rate (kbps)	10		40		38.4		250	
Modulation type	OOK		ASK		FSK		O-QPSK	
Receive Power (mW)	9		12		29		38	
Transmit Power at 0dBm (mW)	36		36		42		35	
<b>Power Consumption</b>								
Minimum Operation (V)	2.7		2.7		2.7		1.8	
Total Active Power (mW)	24		27		44		89	
<b>Programming and Sensor Interface</b>								
Expansion	none	51-pin	51-pin	none	51-pin	19-pin	51-pin	10-pin
Communication	IEEE 1284 (programming) and RS232 (requires additional hardware)							USB
Integrated Sensors	no	no	no	yes	no	no	no	yes

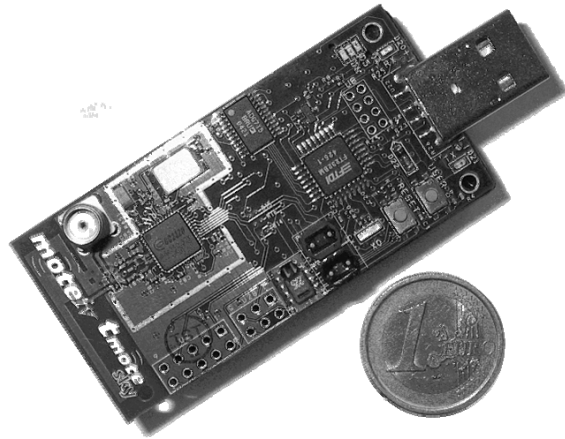
## Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

### Motes – parametri operazionali

- Dimensione della memoria
- Consumo di potenza
- Caratteristiche radio
- Velocità nel cambiare lo stato da sleep-mode ad active-mode (importante per il consumo energetico)
- Integrazione di interfacce e sensori

*Telos rev. B* è un modulo (“mote”) per WSN a bassa potenza, sviluppati dalla UC Berkeley / Intel.

- Consumo minimo di potenza
- Facilità d’uso
- Robustezza SW & HW



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

---

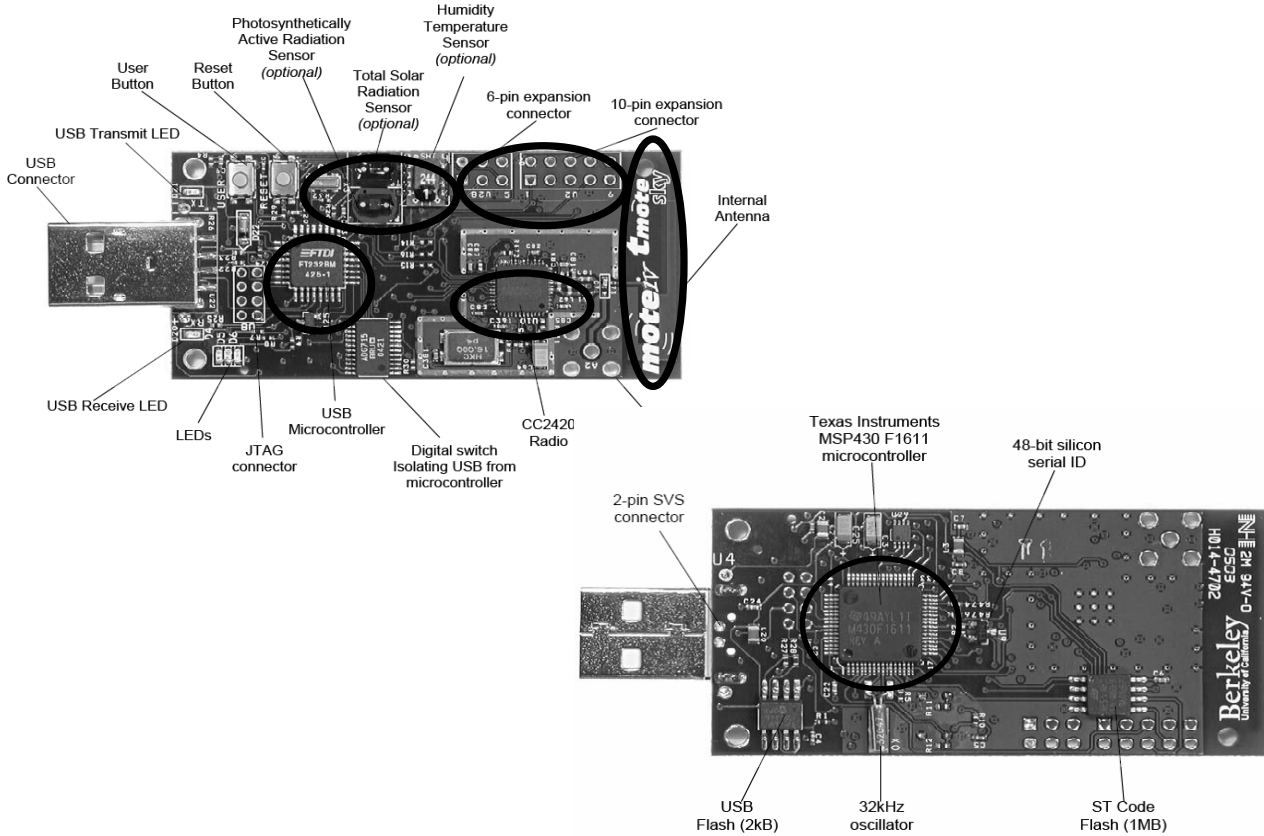
## Telos - Caratteristiche

---

- 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Wireless Transceiver
- Interoperability with other IEEE 802.15.4 devices
- 8MHz Texas Instruments MSP430 microcontroller (10k RAM, 48k Flash)
- Integrated ADC, DAC, Supply Voltage Supervisor, and DMA Controller
- Integrated onboard antenna with 50m range indoors / 125m range outdoors
- Integrated Humidity, Temperature, and Light sensors
- Ultra low current consumption
- Fast wakeup from sleep ( $\approx 6\mu\text{s}$ )
- Hardware link-layer encryption and authentication
- Programming and data collection via USB
- 16-pin expansion support and optional SMA antenna connector

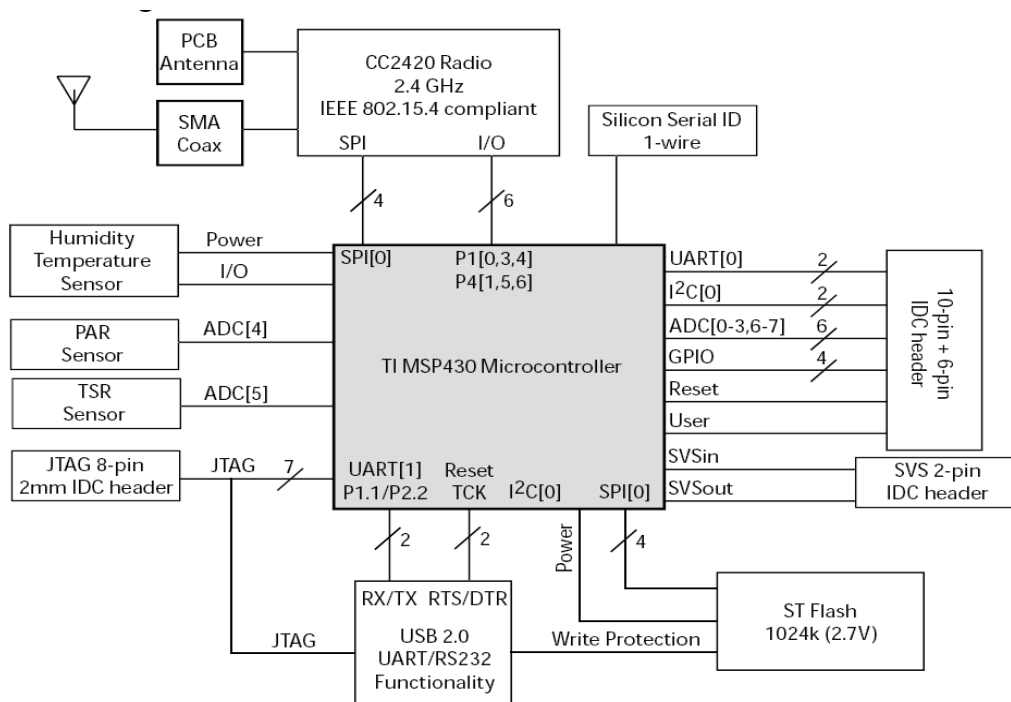
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Telos – Vista fronte retro



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Telos - Diagramma a blocchi



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Telos – Chipcon CC2420

---

Rispetta lo standard di trasmissione IEEE 802.15.4

## DATA RATE VELOCE

- 250 kbps
- 2.4 Ghz
- 16 canali
- Sensibilità

## OPERAZIONI A BASSA POTENZA

- 1.8 V minimum voltage supply

## ASSISTENZA SOFTWARE PER MCU A BASSA POTENZA

- 128byte TX/RX buffers
- Decodifica automatica dell'indirizzo e ack automatico
- Hardware encryption/authentication
- Link quality indicator (assist software link estimation)
- RSSI indicator



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Telos – Texas Instruments MSP430

---

- 16-bit core - RISC (*Reduced Instruction Set Computer*)

- 12-bit ADC
  - 16 conversion store registers
  - Sequence and repeat sequence programma
- □ 50nA port leakage (vs. 1μA for Atmels)
- Double buffered data buses
- Interrupt priorities
- Buffers and Transistors
  - Switch on/off each sensor and component subsystem



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Telos – Caratteristiche di funzionamento

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage	2.1		3.6	Volt
Supply voltage during flash memory programming	2.7		3.6	Volt
Operating free air temperature	-40		85	°C
Current consumption: MCU ON, Radio RX		21.8	23	mA
Current consumption: MCU ON, Radio TX		19.5	21	mA
Current consumption: MCU ON, Radio OFF		1800	2400	µA
Current consumption: MCU idle, Radio OFF		54.5	1200	µA
Current consumption: MCU standby		5.1	21.0	µA

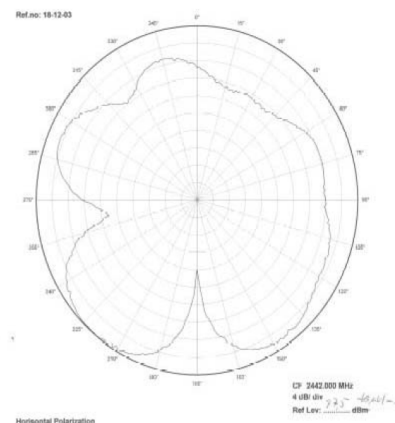
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Telos – Integrated antenna

- Inverted-F

- Pseudo Omnidirectional
- 50m range indoors
- 125m range outdoors
- Optimum at 2400 - 2460

Radiation Pattern



- SMA Connector

- Enabled by moving a capacitor
- □ 125m range
- Optimum at 2430 - 2483MHz

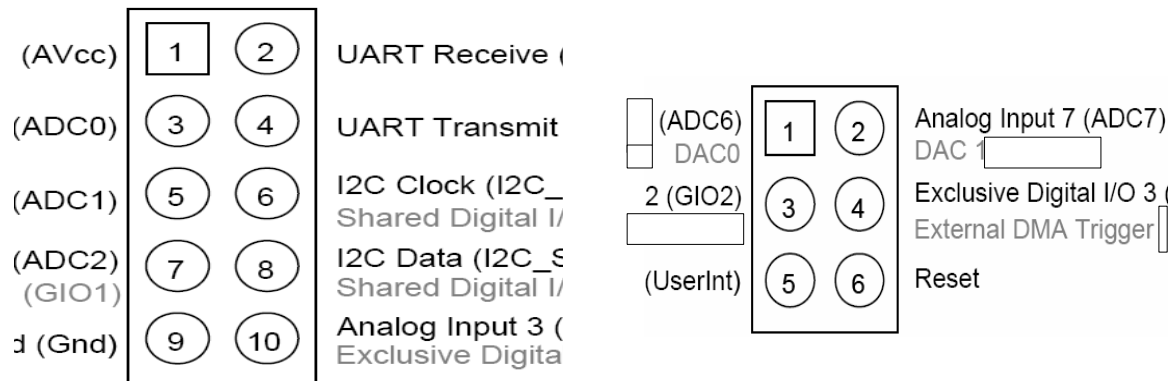
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Telos – 16 Pin expansion connector

Ci sono 6 canali ADC liberi per l'aggiunta di sensori.

Possibilità di alimentazione alternativa.

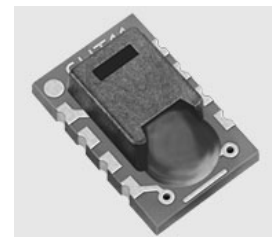
Possibilità di canali DAC.



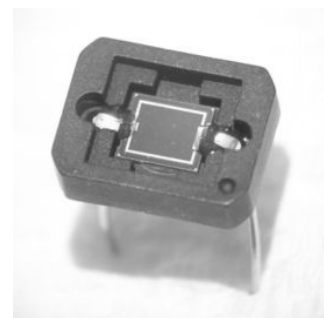
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Telos – Sensori a bordo

- Sensirion STH11 e STH15 per temperatura e umidità



- Hamamatsu S1087 e S1087-01 per PIR and TSR (Luce)



Possibilità di connessione con tutti i sensori esistenti

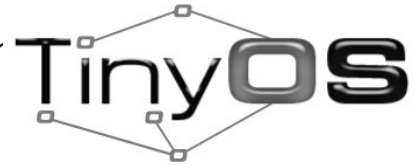
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**



# Sistema operativo - TinyOS

---

Sviluppato da UC Berkeley & Intel Resear



- Open Source
- Linguaggio NesC
- Obiettivo: ridurre al minimo il codice caricato sui motes (limiti di memoria)
- Sistema component based:
  - Fornisce interfacce, e moduli, che possono essere usate dal programatore.
  - I componenti interagiscono scambiandosi eventi asincroni.
  - I componenti necessari ad una applicazione vengono collegati tra di loro tramite una procedura di wiring.

More info: [www.tinyos.net](http://www.tinyos.net)

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## I inyOS – Sviluppo applicazioni in TinyOS

---

- Programmazione NesC
- Compilazione tramite linux/emulatore linux (Cygwin)
- Collegamento del mote al PC
- Caricamento dell'applicazione sui motes
- Accensione della rete
- Interfacciamento a Matlab o altri programmi di sviluppo.

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

Il gruppo di ricerca è attivo nei seguenti ambiti applicativi:

- Monitoraggio di parametri ambientali (agricoltura)
- Localizzazione e tracking mediante PIR di persone (teleassistenza medica, sicurezza)
- Monitoraggio di flussi veicolistici (trasporti)
- Automazione wireless (produzione industriale)
- Monitoraggio di edifici e beni culturali (architettura)
- Monitoraggio di parametri vitali (medicina)



Università Ricerca e Impresa

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Applicazioni WSN - Agricoltura

Possibilità di monitorare parametri ambientali tramite sensori di:

- Umidità
- Temperatura
- Luce
- Bagnatura fogliare
- Piovosità
- Vento



Si riesce ad intervenire in modo tempestivo nell'eventualità di periodi di siccità, insetti, funghi, parassiti e altre malattie delle piante.

Automazione dell'irrigazione e dei fertilizzanti.

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Sensore - Contenuto Volumetrico H<sub>2</sub>O

- Valutazione dello stress idrico
- Automazione dell'irrigazione

Un oscillatore genera un campo AC che viene applicato al suolo per rilevare le variazioni della costante dielettrica (K).



Il K dell'acqua è molto maggiore (81,5 a 20°C) rispetto a quella del terreno secco (2-3). I valori misurati sono proporzionali al contenuto di acqua all'interno del suolo.

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

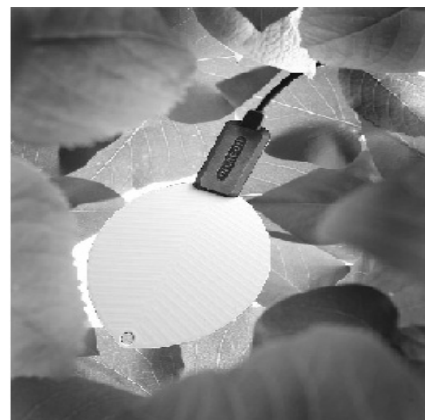
## Sensore - Bagnatura fogliare

- Prevenzione malattie fitopatologiche
- Automazione agenti antiparassitari

Si basa sulla misura della conducibilità elettrica fra due elettrodi costituiti da circuiti stampati "incollati" fra loro.

L'elemento sensibile simula lo stato della vegetazione sotto l'effetto della pioggia o a seguito della condensazione del vapore acqueo o al formarsi di ghiaccio.

- No calibrazione
- Basso consumo (2mA @ 2.5V)
- Alta risoluzione sia per acqua sia per ghiaccio
- Bassa manutenzione



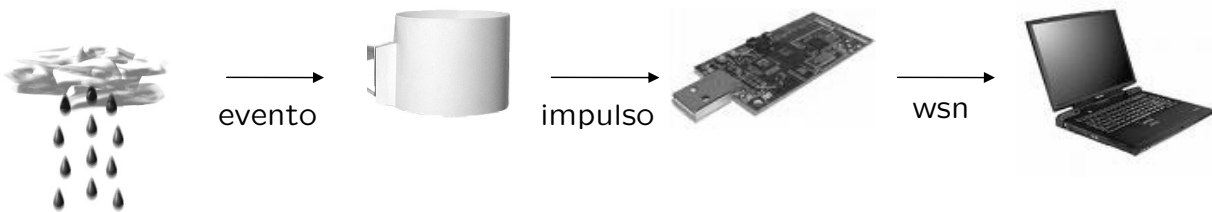
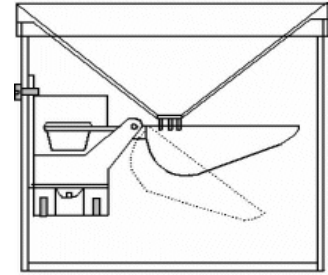
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Sensore - Pluviometro

- Controllo delle precipitazioni piovose
- Dati per la gestione dell'irrigazione

E' costituito da un imbuto posto sopra ad un "cucchiaino" che genera un impulso elettrico ogni qualvolta che viene riempito.

Ogni scatto equivale in genere ad una quantita' di 0.2 mm di acqua.



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Sensore - Anemometro

Il sensore misura:

- la velocità, tramite un interruttore magnetico che genera un impulso ogni rotazione delle coppe.
- la direzione è data da un potenziometro posto sulla banderuola.
- No calibrazione
- Basso consumo
- Alta risoluzione (1 km/h)
- Alto range (5 @ 282 km/h)

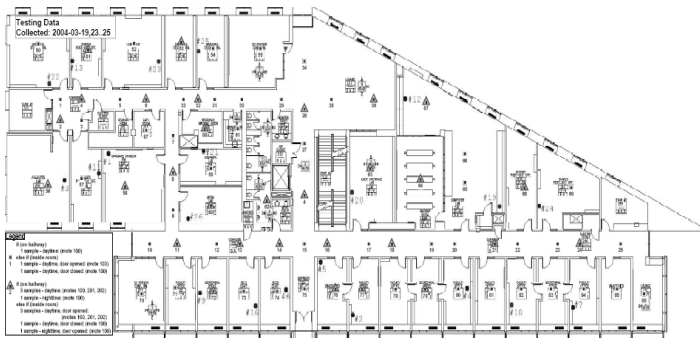
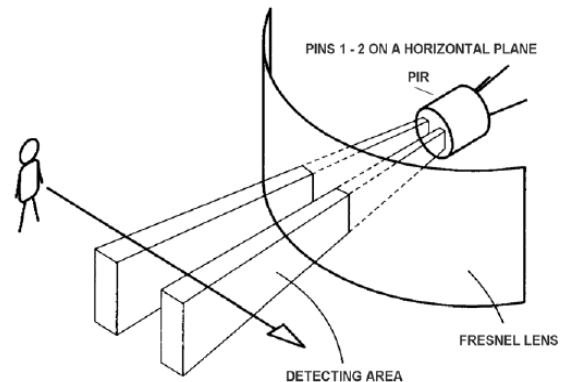


**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Applicazioni WSN - Human Tracking

Si utilizzano accelerometri e sensori PIR (sensibili all'infrarosso umano) per conoscere in tempo reale la posizione di un soggetto rispetto una mappa (es. anziani autosufficienti, detenuti ...)

- Localizzazione umana
- Allarme in caso di caduta o di bisogno
- Sicurezza



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Sensore - PIR

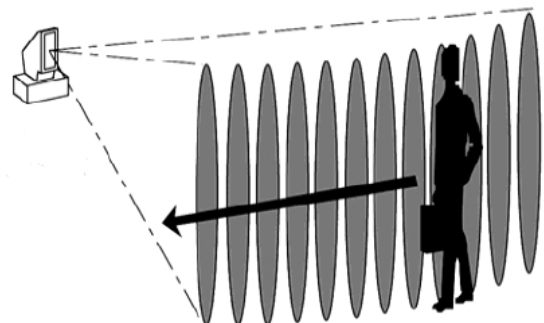
Il PIR è un ottimo sensore per rilevare il movimento di oggetti "caldi" come le persone.

**Attivi:** invia un'onda IR e, se riflessa, rileva la presenza del corpo

**Passivi:** in ascolto su una particolare onda IR nel loro campo di sensibilità

**Caratteristiche:**

- Sensibilità alta ( $7 - 14 \mu\text{m}$ )
- Basso consumo ( $\approx 1\text{mA}$ )
- Range alimentazione ampio
- Basso rumore
- Insensibilità a temperatura e umidità



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Sensore - PIR

Il PIR è composto da un opportuno JFET sensibile alla radiazione IR e da un filtro ottico in uscita.

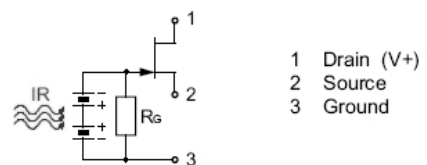
Esso ha bisogno di una opportuna rete di polarizzazione per funzionare, simile a quella del MOSFET.

La rete di polarizzazione è fondamentale per il corretto funzionamento del PIR e per la stabilità verso:

- temperatura
- radiazione solare
- umidità
- disturbi ambientali



Internal circuit and pinout:



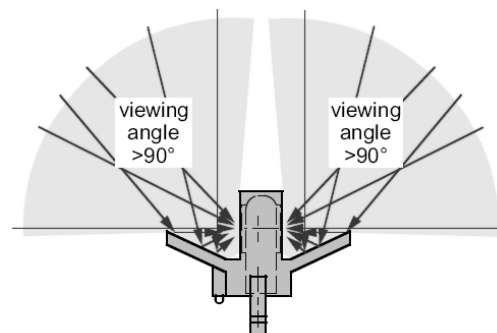
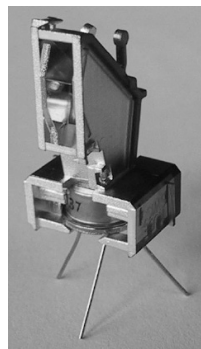
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Sensore – PIR lens

Lenti di Fresnel



Coni ottici

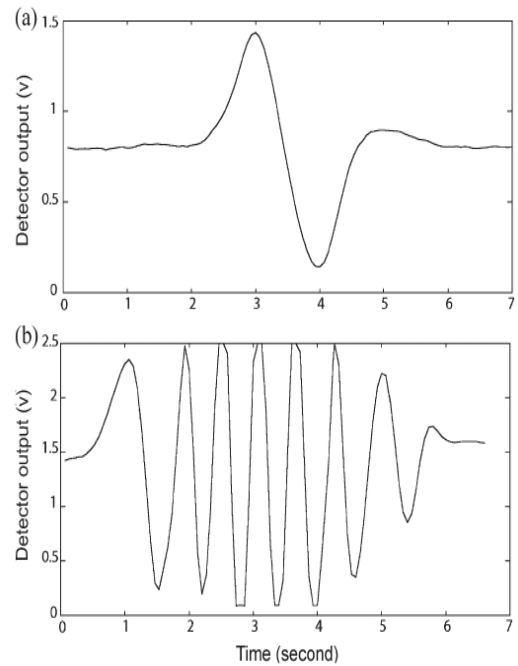


**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

Un buon PIR deve anche avere:

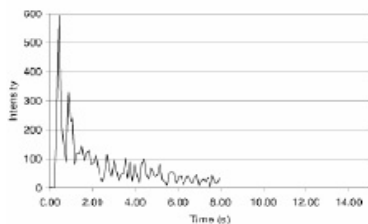
- Dinamica veloce.
- Immunità alle Radio Frequenze (RF).
- Immunità dalla luce solare.

Per questo motivo va fatto un opportuno filtraggio al sensore.

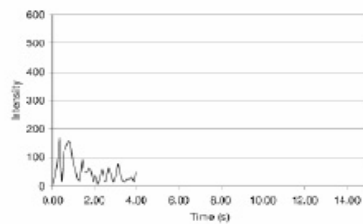


Response signals of a dual element pyroelectric detector to a passing thermal source (a) without visibility modulation and (b) with multiplex visibilities produced by a Fresnel lens array.

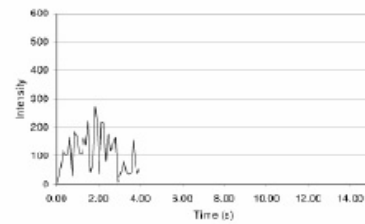
## Applicazioni WSN – Fence Monitoring



Kick event



Lean event



Shake (short) event

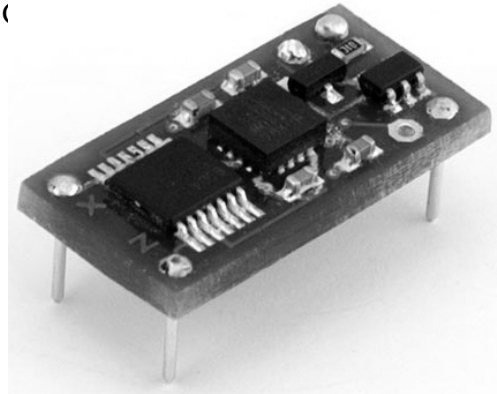
# Sensore - Accelerometro

L'accelerometro (per queste applicazioni) è sensore a basso costo.

Permette di rilevare con ottima precisione l'accelerazione di un qualsiasi oggetto.

## Caratteristiche:

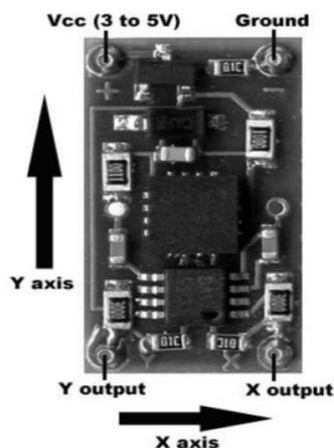
- Dimensione ridotta
- Sensibilità alta
- Basso consumo
- Basso rumore
- Insensibilità alle variazioni di temperatura e umidità



Accelerometro a tre assi X,Y,Z

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Sensore - Accelerometro



Possibile applicazione come *Tilt sensor*

- Due assi di sensibilità.
- Rileva l'accelerazione rispetto alla *costante gravitazionale terrestre*  $g$ .

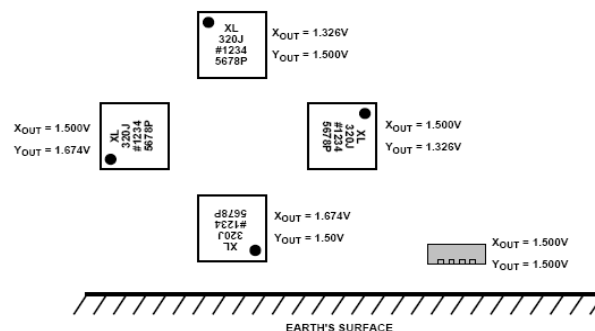
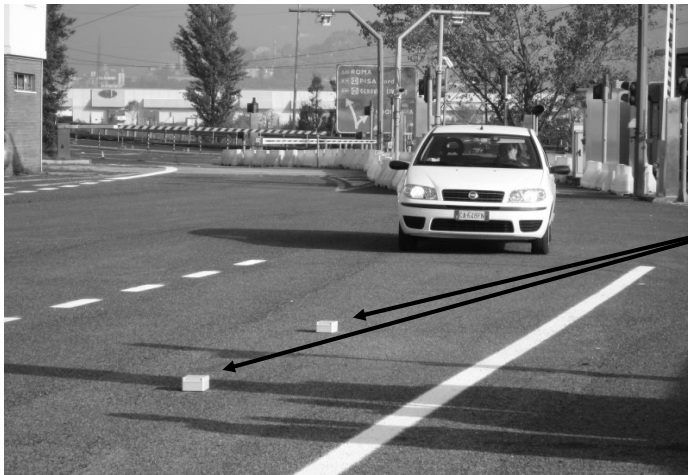


Figure 20. Output Response vs. Orientation

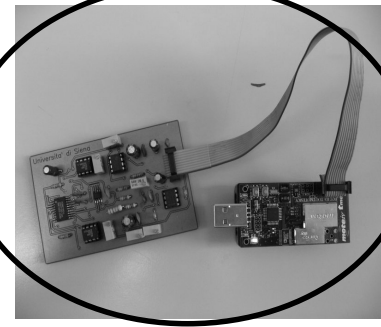
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**



# Applicazioni WSN – Vehicle Detection

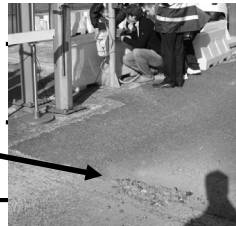


Telos + sensor board



- Estimation algorithm provide vehicle detection and vehicle velocity

- Magnetic field sampled at 64Hz
- Packets received in Matlab through Java interface

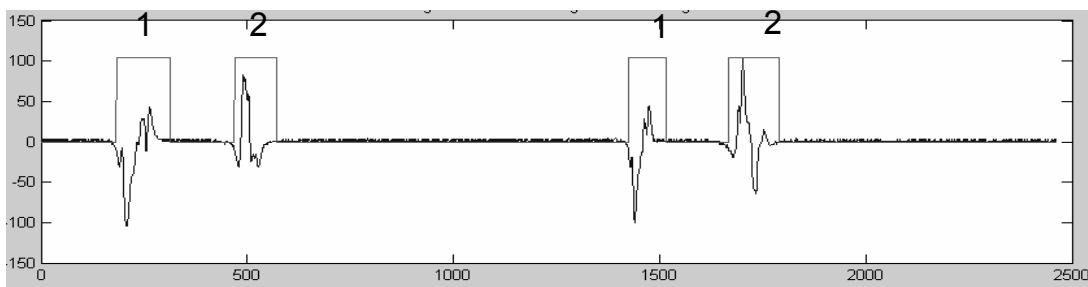


- Sensor board developed at the Automatic Control Lab (Siena) based on Honeywell magnetoresistive sensors

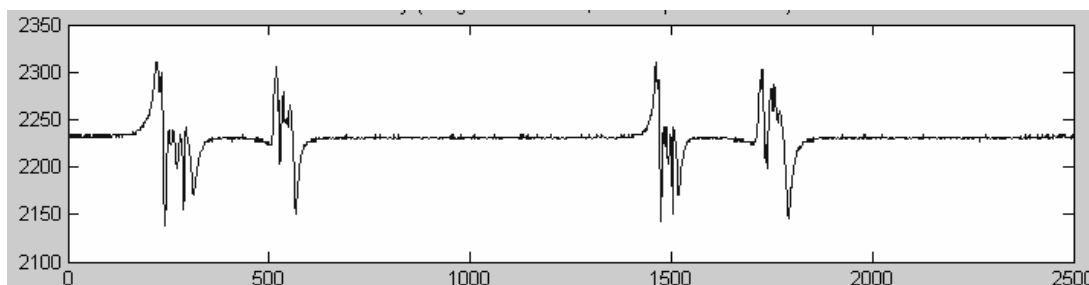
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Applicazioni WSN – Vehicle Detection

$x$ -axis (=direction of vehicle motion)



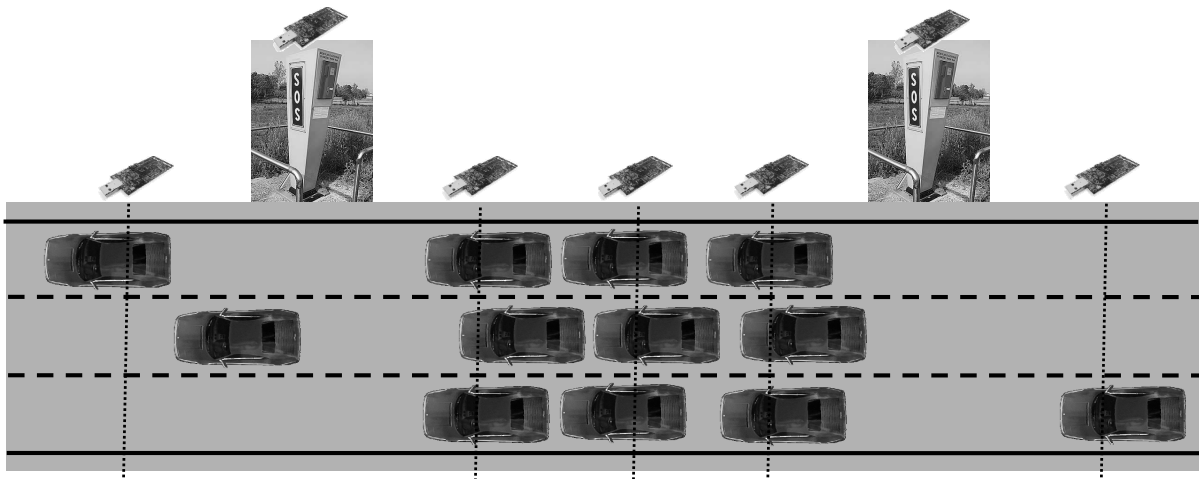
$y$ -axis (=direction orthogonal to vehicle motion, motion plane)



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

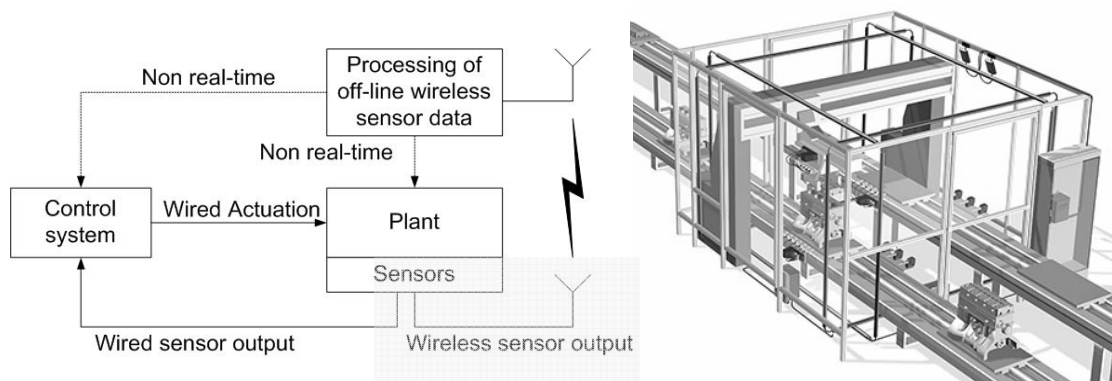
# Applicazioni WSN – Controllo del traffico

S.O.S. Intelligente: Controllo dei parametri ambientali e localizzazione di code tramite posizionamento di nodi wireless tra le colonnine SOS.



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Applicazioni WSN – Wireless Automation



Major research and technological challenges:

- Security and reliability of data communication
- Control strategies: Energy aware, robust w.r.t. data loss/delay

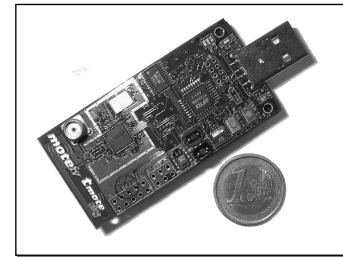
Funding: European Network of Excellence HYCON, 6<sup>th</sup> FP  
(hot research topic in 7<sup>th</sup> FP)

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Applicazioni WSN – Wireless Automation



Telos mote

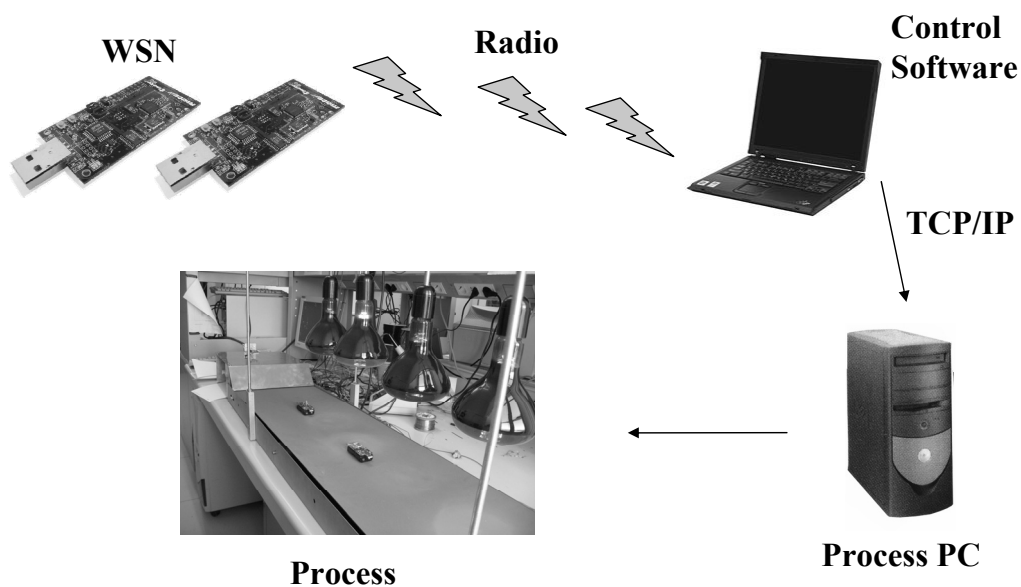


TinyOS → Java → Matlab  
interface developed at UNISI

- Hybrid model predictive control algorithm adjusts belt speed and turns lamps on/off
- Telos motes provide wireless temperature feedback

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Applicazioni WSN – Wireless Automation

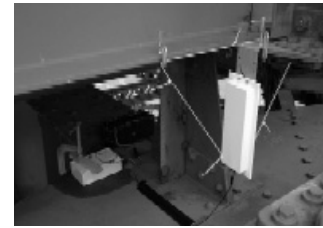


- 8 Hz sampling frequency
- Rapid prototyping through Matlab/Simulink/xPC-Target

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Applicazioni WSN – Beni culturali

- Capacità di acquisire dati di diversa natura (umidità, pressione, temperatura, vibrazioni) e di fonderli tra loro attivando eventuali messaggistiche di allarme.



- Possibilità di utilizzare la rete di sensori per scopi di sorveglianza e per la fornitura di informazioni turistiche ai visitatori (in edifici aperti al pubblico).

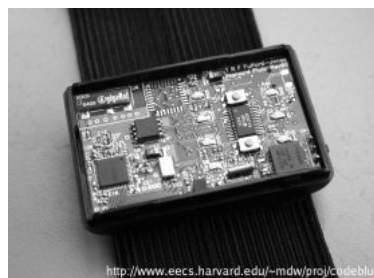
- Generazione di report che segnalino il discostarsi da condizioni di riferimento (eventuali danni già esistenti, crepe, etc..).

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

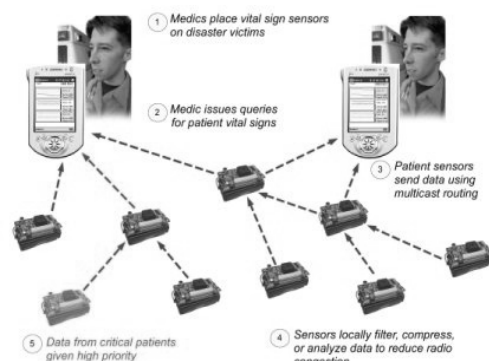
# Applicazioni WSN – Medicina

Monitoraggio dei parametri vitali del paziente tramite sensori non intrusivi in grado di leggere:

- Ossigenazione del sangue
- Elettrocardiogramma
- Quantità di glucosio
- Pressione arteriosa



Il medico conosce in tempo reale le condizioni del paziente e viene avvertito tempestivamente dalla rete di sensori che genera un allarme sul suo palmare.



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

- Le WSN sono una nuova tecnologia per interagire con l'ambiente che ci circonda.
- I nodi devono evitare sprechi di energia
  - . Tempo di wake-up basso
  - . Basso duty-cycle
- Tradeoffs tra complessità/robustezza e applicazioni low-power.
- Attenzione nell'integrare nuovi hardware.
- Possibilità di sviluppare applicazioni da personalizzare a seconda delle necessità.