

# Wireless Sensor Network

---

## Introduzione alle reti di sensori (ed attuatori) radio

---

Vantaggi, svantaggi,  
applicazioni e problematiche  
tipiche delle WSN

# Wireless Sensor Network

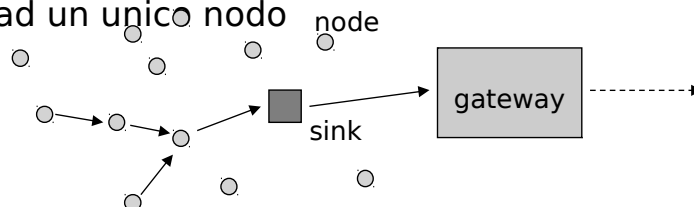
## WSN

- *“A Wireless Sensor Network consists of a large number of node deployed in the environment being sensed and controlled through wireless communication”*

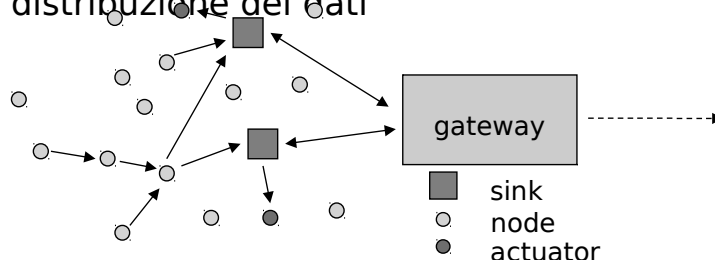
3

## La rete di sensori (1)

- Il caso più semplice potrebbe consistere in una rete di più sensori distribuiti nell'ambiente, dove le misurazioni vengono inviate ad un unico nodo



- La situazione può essere complicata maggiormente, introducendo attuatori ed ulteriori nodi (bidirezionali) di raccolta e distribuzione dei dati



4



# Le peculiarità di una WSN

---

- Limiti di potenza, memoria e calcolo
- Costituita da decine a migliaia di nodi
- Densamente distribuita
- Collegamento e nodi inaffidabili
- Topologia di rete variabile frequentemente (batterie esauste, aggiunta di nuovi nodi...)
- Dinamica fortemente legata alle esigenze degli utenti e all'ambiente monitorato
- Data-centric e application-centric

8



# Applicazioni delle WSN (1)

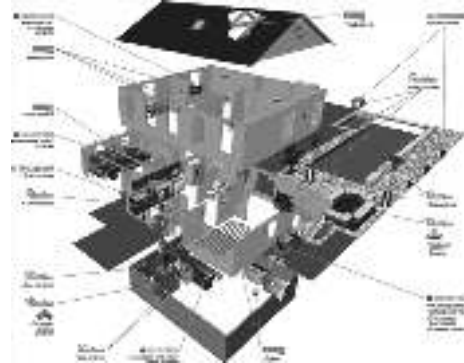
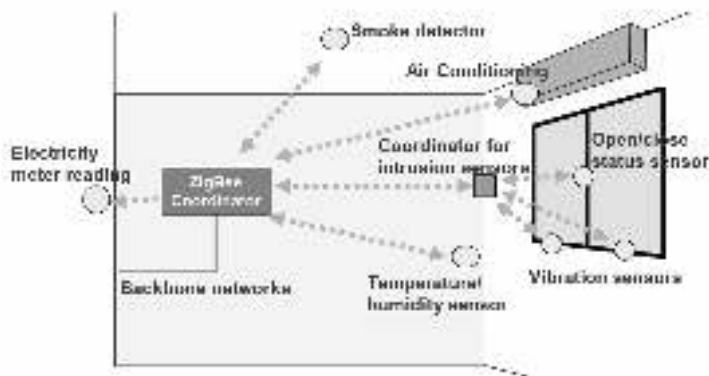
---

- Applicazioni e utilizzi nei più disparati settori:
  - Militare
    - Sorveglianza dei campi di battaglia
  - Civile
    - Monitoraggio ambientale
    - Home automation (Domotica)
    - Controllo all'interno di veicoli
    - Geolocalizzazione e tracking
    - Biomedicina
    - HCI (riconoscimento dei gesti, tracking)

9

## Applicazioni delle WSN (2)

- Rilevamento di intrusioni all'interno di aree estese o edifici
- Controllo qualità dell'aria o acqua ed eventuale segnalazione in caso di pericolo per l'uomo
- Regolazione automatica dell'illuminazione o della temperatura



10

## Applicazioni delle WSN (3)

- Monitoraggio dell'ambiente in seguito a disastri (frane, inondazioni)
  - Più sensori disseminati sul territorio che si riorganizzano e rimappano il territorio
- Controllo continuo parametri vitali
- Monitoraggio temperatura e segnalazioni di valori fuori scala (incendio)
- Sensori di presenza in un parcheggio coperto per mappare i posti liberi e quelli occupati

11

## Applicazioni delle WSN (4)

- Le modalità di segnalazione, la tempistica e la quantità di informazioni dipendono dal tipo di sensore e dalla specifica applicazione
  - Rilevamento di eventi o verificarsi di condizioni
    - Reporting guidato dagli eventi
  - Stima spaziale o temporale di processi casuali
    - Reporting periodico "lasco"
  - Monitoring/ Tracking
    - Reporting periodici frequenti
- Lo stesso dicasi per i requisiti di latenza, throughput o goodput

12

## I nodi (1)

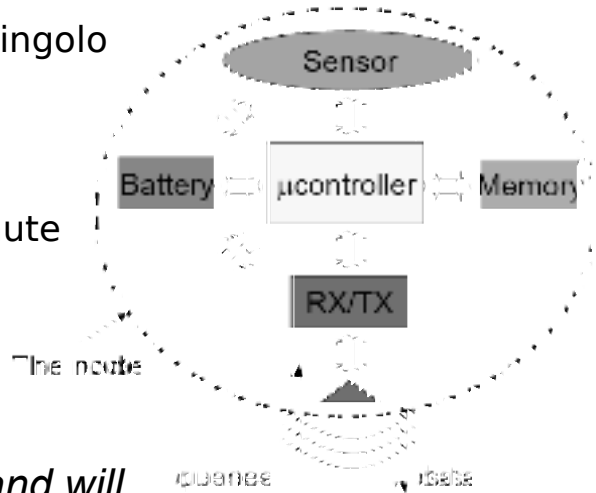
- Un sensore wireless (*nodo*) è quindi un dispositivo in grado di misurare
  - Temperatura
  - Accelerazione
  - Umidità
  - Inquinamento
  - ...
- Allargando la nozione di sensore, possiamo includere anche videocamere, ricevitori GPS, lettori Rfid (o sostituirlo con un attuatore)



13

## I nodi (2)

- Sistema completo su un singolo chip
- Trasduttori integrati low-power
- Dimensioni globali contenute
- Modulo di comunicazione integrato low-power



- *"Power consumption is and will be the primary metric to design a Sensor Node"*

14

## I nodi (3)

- Caratteristiche tipiche
  - Dimensioni (10 → 0.1 cm<sup>2</sup>)
  - Consumi (giorni TX → anni *idle*)
  - Costo (100\$ → 1\$)
  - Codice (10KB → 100KB)
  - Copertura (1m → 100m)
  - Velocità (1bps → 100kbps)

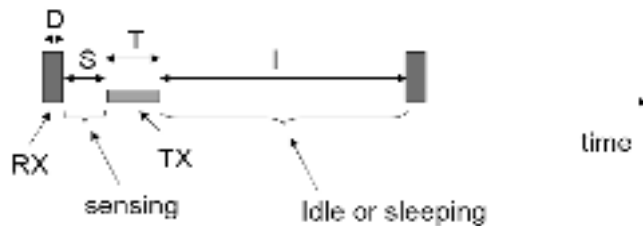
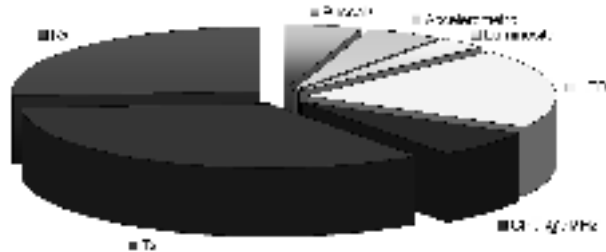


15

# L'efficienza energetica (1)

- Nelle wsn l'efficienza energetica è una delle principali sfide

- Trasmissione / Ricezione
  - $1 \mu\text{J/bit}$  per trasmettere a 1 kbps (100m)
- Sensing del canale
  - $10^{-7} - 10^{-8} \text{ J/bit}$
- Computing / Idle
  - $10^{-1} \text{ nJ/instruction}$
- Sleeping
  - fJ (!)



16

# L'efficienza energetica (2)

- La trasmissione di un byte utilizza all'incirca la stessa potenza richiesta per eseguire 10000 istruzioni
- Es. *ESB Embedded Sensor Board* (Freie Universität Berlin)

- Alimentazione (3 AA da 2300mA)
- Micro TI MSP430 @ 8MHz
  - 30 giorni se:
    - Sempre operativo
  - 5 (!) giorni se:
    - Sempre operativo
    - Sempre in ascolto sul canale



17

# WPAN, BAN e WSN

---

Protocolli, standard e  
applicazioni delle reti wireless  
*personal, body & sensor*

## Bluetooth (1)

---



- Inizialmente concepito da Ericsson (1994), è stato poi sviluppato come standard da uno speciale gruppo di interesse (SIG) composto da moltissime aziende ed enti.
- Vengono considerate 3 applicazioni:
  - Sostituzione di cavi
  - Reti ad hoc per utenti su aree limitate
  - Utilizzo del sistema come punto d'accesso verso un'area più grande



## Bluetooth (2)



- Banda ISM (2.4 – 2.4835) in canali da 1 MHz (79 o 23)
- FH con 1600 h/s
- Frequenza di trasmissione determinata dal master
- Potenze di 1-100 mw (10-100 m)
- Link asimetrici master-slave (732,2 Kbps – 57,6 Kbps) o simmetrici (64 o 433,9 Kbit/s)

## Bluetooth (3)

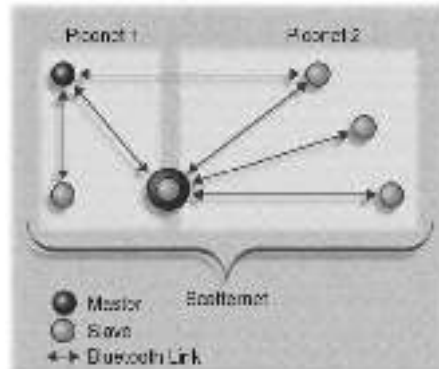


- Si basa su una relazione master-slave
- Il master concorda la sincronizzazione
- Lo slave può essere attivo (max 7) o “parcheggiato” (max 255) in una piconet
- Un dispositivo può trovarsi in stadi intermedi, meno reattivi, ed è utilizzata la trasmissione adattiva (risparmio!)

# Bluetooth (4)



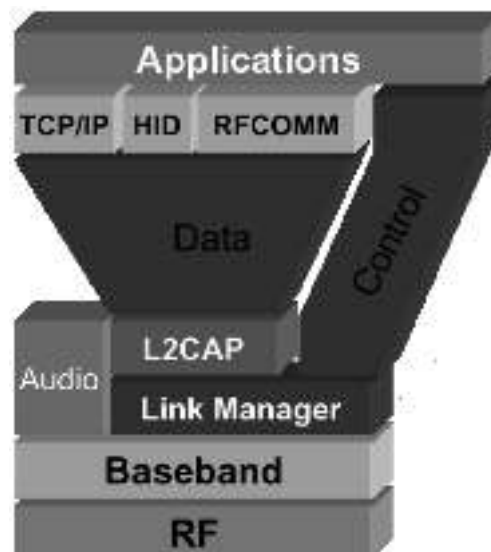
- Piconet
  - Un master ed più slave, tutti sincronizzati
  - Al massimo 1 master e 7 slave attivi
  - Il master di una piconet può essere slave di un'altra
- Scatternet
  - Due piconet che si sovrappongono parzialmente



# Bluetooth (5)



- Un collegamento può trasportare sia voce che dati
  - SCO (Synchronous Connection Oriented)
  - ACL (Asynchronous ConnectionLess)



# Bluetooth (6)



- Link SCO (audio)
  - 64 Kbit/s per direzione
  - Massimo tre per PAN
  - Trasmissione periodica e con ritardi garantiti (alta priorità)
  - Assenza di flessibilità
  - Limitata capacità di rilevazione e correzione degli errori

# Bluetooth (7)



- Link ACL (dati)
  - Asimmetrici: il master ottiene la velocità maggiore e sono intercambiabili
    - 732,2 Kbps - 57,6 Kbps
  - Simmetrici
    - 433,9 Kbps
  - Solo un master ACL per piconet (ma può essere slave in un'altra piconet)
  - Banda determinata dalla tipologia di pacchetto e dalla frequenza di interrogazione
  - Robustezza al rumore utilizzando FEC e ARQ

# Bluetooth: evoluzione

---

- Standard:
  - 1.1, ratified as IEEE Standard 802.15.1-2002
  - 1.2 (11 + AFH), ratified ad IEEE Standard 802.15.1-2005
  - 2.0 (max 3 Mbps con Enhanced Data Rate), SIG spec. Bluetooth 2.0 + EDR
  - Bluetooth 3.0 + HS, Bluetooth LE ...

## Bluetooth 3.0

---

- 3.0 + HS specification (Aprile 2009)
  - Massimo data rate teorico fino a 24 Mbit/s con l'inclusione di un Protocol Adaptation Layer (PAL) per 802.11
    - AMP (Alternate MAC/PHY) per 802.11 (previsto) e UWB (non incluso nelle specifiche finali)
  - Maggior risparmio energetico con un nuovo controllo di potenza ad anello chiuso

- WiBree (Nokia)
  - Standard per la creazione di reti wireless di sensori con consumi contenuti e velocità elevate (1 Mbps), proponendosi come alternativa a ZigBee (v. Lezione *Le WSN - Wireless Sensor Network*)
    - Applicazioni tipiche a brevi distanze (tastiere, cellulare, sensori medicali...)
  - Facilmente interoperabile con Bluetooth
    - Opera anche nella stessa banda (2.4GHz ISM)
  - Da giugno il WiBree Forum è entrato a far parte del Bluetooth SIG (nuova tecnologia Ultra-low-power Bluetooth)

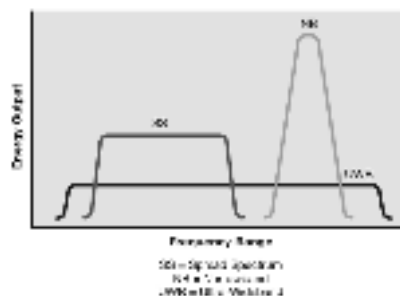
## Bluetooth 4.0 LE

- Modulazione GMSK
- 40 canali
  - 3 Advertising Channels for Discoverability and Connectability
  - 37 Data Channels using Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Maggior semplicità: meno formati dei pacchetti, messaggi di controllo e protocolli
- No canali connection-oriented

# Ultra Wide Band (1)



- Distribuisce le informazioni su una banda molto estesa (>500 MHz)
- Al momento il limite della densità spettrale di potenza per un trasmettitore UWB che opera nella banda consentita è di  $-41.3$  dB/MHz
  - Range di frequenze: 3.1 - 8.5 GHz (Europa)



# Ultra Wide Band (2)



- Ideale per un utilizzo indoor o a breve raggio, visti i limiti attuali sulle emissioni. È in grado di determinare il "tempo di volo" tra due nodi con estrema precisione
- Protocollo per la costruzione di PAN in grado di offrire prestazioni di gran lunga superiori a Bluetooth (10-100x) con consumi contenuti
  - IEEE 802.15.4a propone UWB come livello Fisico alternativo
  - Esistono già dispositivi WirelessUSB UWB
  - Anche Bluetooth supporterà UWB (velocità fino a 480 Mbit/s)

# Z-Wave

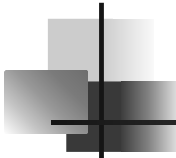


- Promosso da Z-Wave Alliance e ZenSys
  - Incompatibile con lo standard IEEE 802.15.4 e i protocolli concorrenti
- Opera nelle bande 868/908 MHz
  - Dovrebbe essere meno soggetto alle interferenze presenti invece nella "trafficata" ISM 2.4 GHz
- Distanza: 10-100 m @ 9,6 kbps (40 kbps)
- Massimo 232 nodi (solo mesh network)

# IEEE 802.15.4



- Lo standard definisce i livelli PHY e MAC per la creazione di una LowRate-PAN
  - Versioni 802.15.4-2003 e 802.15.4-2006 (retrocompatibile, introduce nuove modulazioni, rate di trasmissione maggiori etc..)
- Topologie di rete
  - a stella
  - peer-to-peer (tree o mesh)
- Meccanismo di accesso al canale
  - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CD)
- Tipi di nodi previsti:
  - reduced-function device (RFD)
  - full-function device (FFD)
- Due modalità di indirizzamento:
  - Short (16-bit)
  - IEEE (64-bit)
- Area di copertura prevista:
  - nell'ordine dei 10 - 75 m



## IEEE 802.15.4: PHY

---

- Attiva/disattiva i trasmettitori (duty cycle variabile per risparmiare energia)
- Stima la potenza del segnale (parte del meccanismo CSMA)
- Ascolta il canale per valutare se è disponibile
- Sintonizza il trasmettere sui canali supportati
- Trasmette e riceve i dati (modulazione)
- Regola la potenza di trasmissione
- Opera nelle bande radio
  - 2.45GHz: 250Kbps - 16 canali
  - 868MHz: 20Kbps - 1 (2003) / 100Kbps - 3 (2006)
  - 915MHz: 40Kbps - 10 (2003) / 250Kbps - 30 (2006)



## IEEE 802.15.4: MAC

---

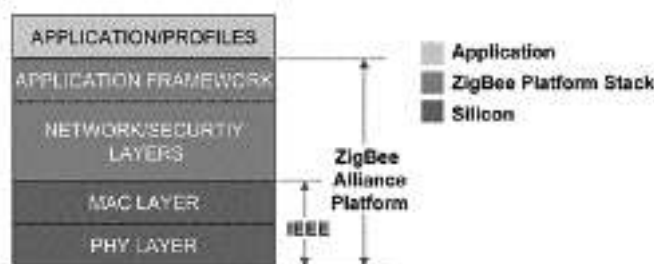
- Supporta l'associazione/dissociazione di un nodo dalla rete, fornendo inoltre un collegamento diretto affidabile tra due dispositivi adiacenti della PAN (*single-hop data communication between neighboring devices*)
- Sui coordinatori genera i *beacon* e sincronizza quindi tutta la rete in base ad essi
- Fornisce accesso al canale in base alle informazioni del livello sottostante (CSMA)
- Garantisce i time slot ottenuti
- Gestisce le frame di acknowledgement, ARQ, CRC
- Fornisce meccanismi di sicurezza a livello MAC



# ZigBee (1)



- ZigBee (ZigBee Alliance)
  - Suite di protocolli di comunicazione di alto livello per dispositivi compatti, a basso consumo e a bassa velocità di trasmissione (20 kbps - 250 kbps) basata sullo standard IEEE 802.15.4



# ZigBee (2)

- Punta ad essere una soluzione più semplice ed economica di Bluetooth, pur garantendo comunicazioni sicure
- Opera nelle bande radio ISM

Frequency Band	License Required?	Geographic Region	Data Rate	Channel Number(s)
868.3 MHz	No	Europe	20kbps	0
902-928 MHz	No	Americas	40kbps	1-10
2405-2480 MHz	No	Worldwide	250kbps	11-26



## ZigBee (3)

---

- Aziende promotrici di grosso calibro
  - Chipcon, Ember, Freescale, Honeywell, Mitsubishi, Motorola, Philips e Samsung
- La ZigBee Alliance garantisce la conformità alle specifiche e, quindi, l'interoperabilità tra i diversi dispositivi



## ZigBee (4)

---

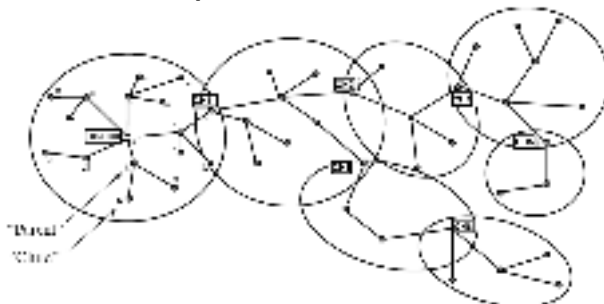
- Specifiche ZigBee 1.0 (12/2004)
- Specifiche ZigBee 2006 (12/2006)
  - Incompatibili con la versione precedente
  - Group addressing, miglior supporto alla mobilità dei nodi e gestione dei dispositivi sleeping.
- ZigBee PRO (2007)
  - Retrocompatibilità con la versione precedente delle specifiche, in modo da garantire la convivenza di dispositivi diversi nella stessa rete
    - Zigbee Feature Set (=ZigBee 2006)
    - **Zigbee PRO Feature Set**

## ZigBee (5)

- Caratteristiche generali (**teoriche**)
  - Fino a 65,536 nodi di rete
  - Ottimizzato per applicazioni timing-critical e per la gestione della potenza
    - Time to Join Network: <30ms
    - Sleeping to active: <15ms
    - Channel access time: <15ms
  - Full Mesh Networking Support

## ZigBee (6)

- Multi-hop routing
  - Ad-hoc On-demand Distance Vector, neuRFon..
- Generazione automatica della rete
  - Mesh o singolo cluster
  - Cluster di clusters (minimizza l'overhead per gestire



# ZigBee: i tipi di dispositivi

## (1)

---

- La specifica ZigBee prevede tre diversi tipi di dispositivi:
  - *ZigBee coordinator (ZC)*: Il dispositivo più avanzato, è alla base dell'albero di rete e può fungere da bridge verso altre reti. C'è esattamente un coordinator ZigBee in ogni rete, dal momento che è colui da cui parte la rete. E' in grado di memorizzare informazioni circa la rete e può fungere da Trust Centre & repository per le chiavi
  - *ZigBee Router (ZR)*: Non solo può fungere da nodo applicativo, ma è in grado anche di fungere da route, inoltrando i pacchetti provenienti da altri

26

# ZigBee: i tipi di dispositivi

## (2)

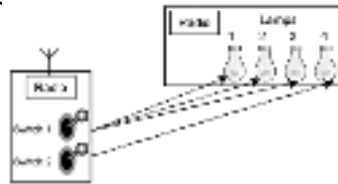
---

- *ZigBee End Device (ZED)*: Contiene solamente le funzionalità di base per comunicare con il proprio nodo padre (un coordinator o un router); non è invece in grado di inoltrare dati di altri dispositivi. Questo rapporto permette al nodo di rimanere a riposo una gran parte del tempo, consentendo di ottimizzare la durata della batteria. Poiché un ZED richiede meno memoria ed implementa meno funzionalità, può essere meno costoso da produrre e sviluppare di un ZR o ZC.

27

# ZigBee: il livello applicativo (1)

- Per garantire interoperabilità tra i prodotti di vendor differenti che operano nello stesso contesto applicativo, la ZigBee alliance ha definito diversi Profili
  - Un Profile (o Application Profile) non è un software, bensì un accordo sull'insieme di messaggi, incluso il formato e le azioni da intraprendere alla ricezioni, che permettono ad applicazioni residenti su dispositivi separati di comunicare tra loro. Esistono diversi Profili, pensati per realtà differenti
  - Per esempio, in una casa (o altro edificio residenziale) un interruttore dovrebbe essere in grado di accendere e spegnere un luce indipendentemente



28

# ZigBee: il livello applicativo (2)

- ZigBee pubblica una serie di profili pubblici, ma i vendor possono creare profili specifici (l'ID del profilo è però sempre assegnato dalla ZigBee Alliance)
  - Home Automation [HA]
    - Definisce il set di dispositivi utilizzati nella domotica: Interruttori della luce, termostati, sensori delle finestre, unità di riscaldamento
  - Industrial Plant Monitoring [IPM]
    - Riguarda i sensori impiegati nel controllo industriale
- Molti profili sono in fase di definizione
  - Commercial Building Automation
    - Building control, management, and monitoring
  - Advanced Metering Initiative
  - Telecom Services-Mcommerce
  - Personal Home and Hospital Care

29

# Zigbee PRO

- Molte caratteristiche opzionali delle specifiche 2006 diventano vincolanti
  - Le incompatibilità riguardano i router
    - E' possibile inserire un dispositivo ZigBee 2006 in una rete 2007 e viceversa. Non è invece possibile utilizzare contemporaneamente router 2006 e PRO all'interno della stessa rete.
- Utilizzo di schemi di assegnazione degli indirizzi stocastici
  - Riduce la complessità del processo di formazione della rete ed elimina il rischio di esaurimento degli indirizzi
- Supporto di link asimmetrici, permettendo di avere instradamenti più affidabili e un minor traffico di servizio per il routing discovery
- Adozione di tecniche di routing many-to-one routing and source routing per minimizzare il traffico
- Introduzione della Frequency Agility, per minimizzare l'effetto di disturbi sul canale radio, la frammentazione dei messaggi e la possibilità di ottimizzare il flusso di dati nella rete (Centralized Data Collection)

# 6lowPAN



- 6LowPAN è un nuovo (2007, RFC 4919 e 4944) standard che mira ad impiegare IPv6 - *rendendo così possibile l'impiego di tutti i protocolli e gli standard già sviluppati per le reti IP* - nelle Wireless Sensor Network 802.15.4
  - building the Wireless "Internet of Things".

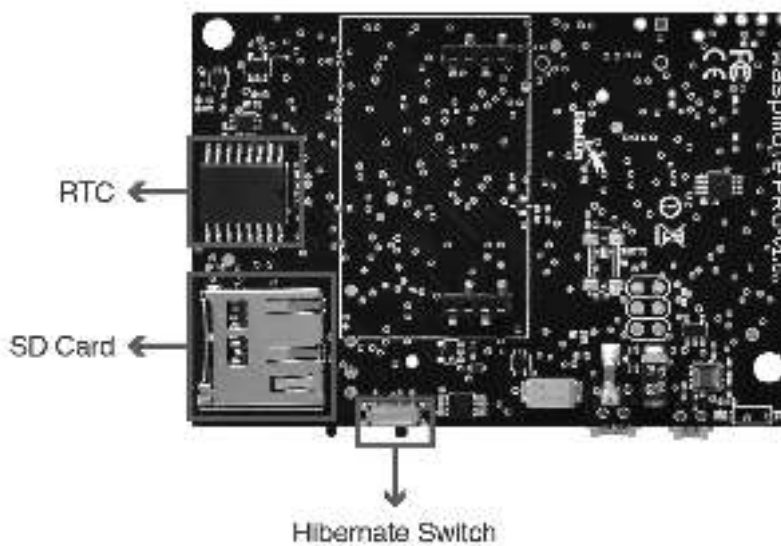
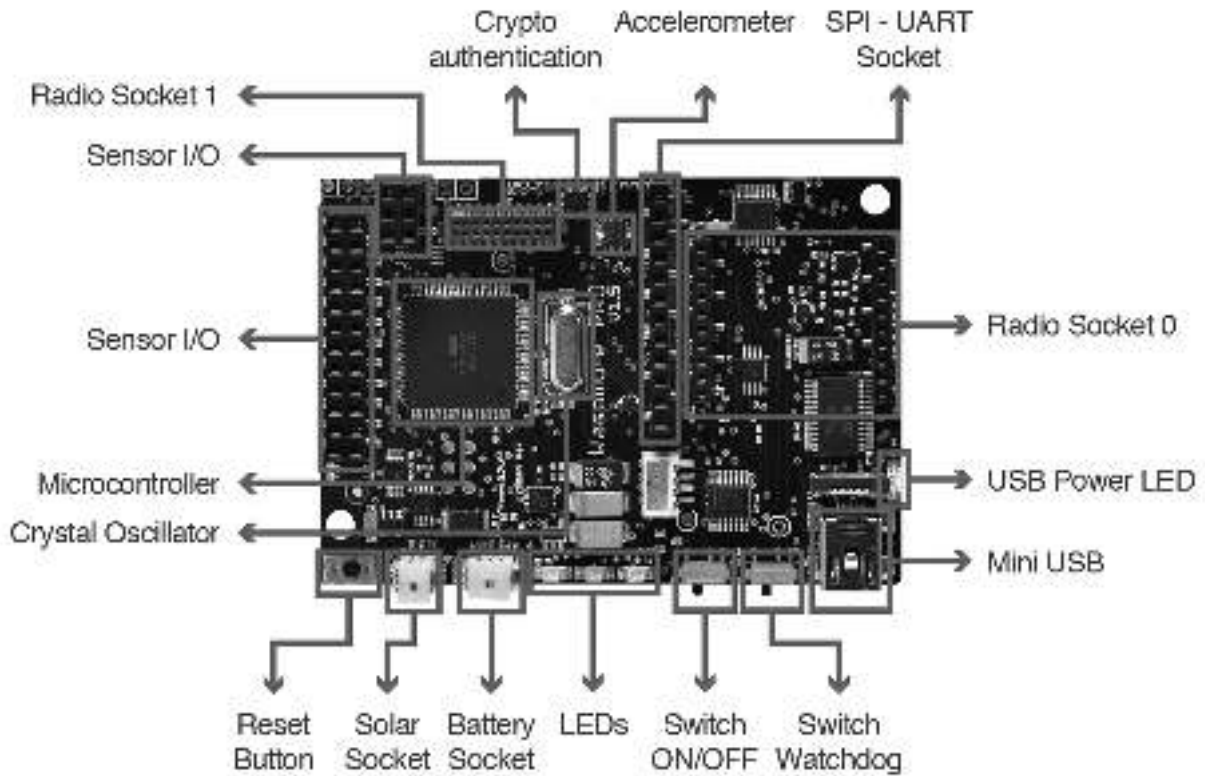




\* **Waspote** is a wireless sensor device for the IOT

\* Features:

- 110+ sensors available
- Several radio technologies:
  - Long range: 4G / 3G / GPRS / LoRaWAN / Sigfox / 868 / 900 MHz
  - Medium range: ZigBee / 802.15.4
  - Short range: WiFi / RFID / NFC / Bluetooth 4.0
- Over the Air Programming (OTA)
- Encryption libraries (AES)
- Certified encapsulated line (Plug & Sense!)
- Industrial protocols: RS-232, RS-485, Modbus, CAN Bus, 4-20mA







# 1.3. Technical Features: Input / Output

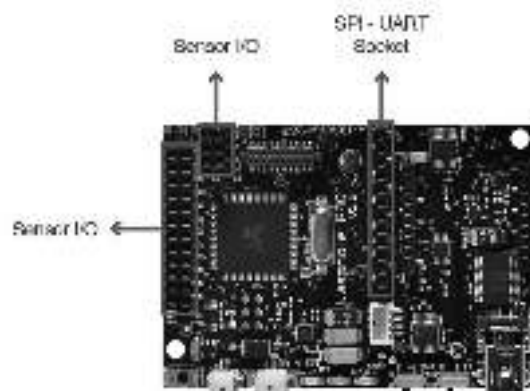
**\* Analog pins (read only)**

- 10 bit ADC → [0,1023]
- GND: 0V
- MAX: 3.3V

**\* Digital pins (r/w)**

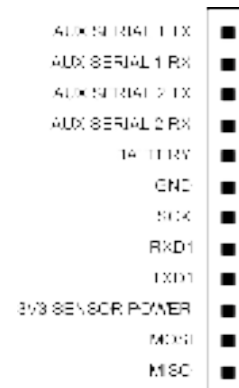
- 0V → logic 0
- 3.3V → logic 1

ANALOG0	■ ■	5V SENSOR POWER			
DIGITAL3	■ ■	GND			
DIGITAL5	■ ■	DIGITAL0			
DIGITAL4	■ ■	DIGITAL5			
DIGITAL2	■ ■	DIGITAL6			
RESERVED	■ ■	DIGITAL4			
ANALOG1	■ ■	ANA_0G0			
ANALOG4	■ ■	ANA_0G0			
ANALOG2	■ ■	ANA_0G0			
5V SENSOR POWER	■ ■	ANALOG1			
DIGITAL0	■ ■	5V SENSOR POWER	■ ■	GND	■ ■
DIGITAL1	■ ■	GND	ANA_0G0	■ ■	GND
DIGITAL6	■ ■	5V	5V SENSOR	■ ■	ANA_0G0
DIGITAL7	■ ■	SDI	SDI	■ ■	5V SENSOR



## \* UART bus

- UART0 → Multiplexer with 2 inputs
  - USB
  - Radio Socket 0
- UART1 → Multiplexer with 4 inputs
  - Radio Socket 1
  - GPS
  - AUX1
  - AUX2

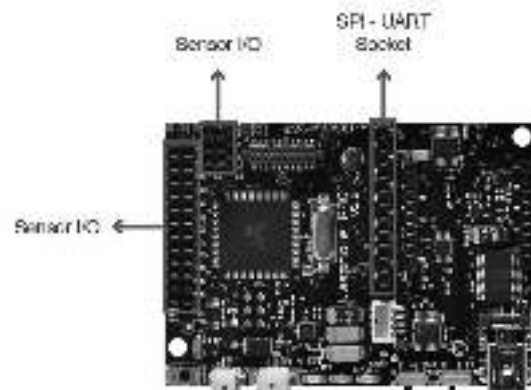


## \* I2C bus

- RTC
- ACC

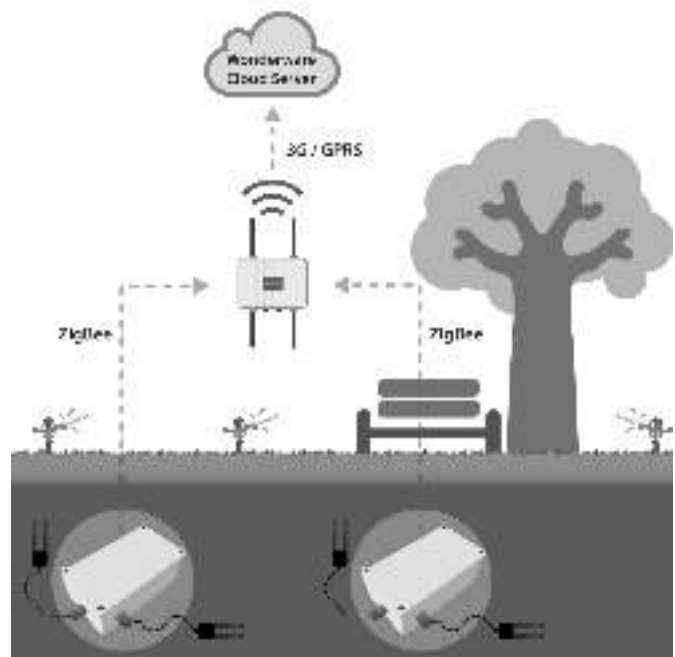
## \* SPI bus

- SD card

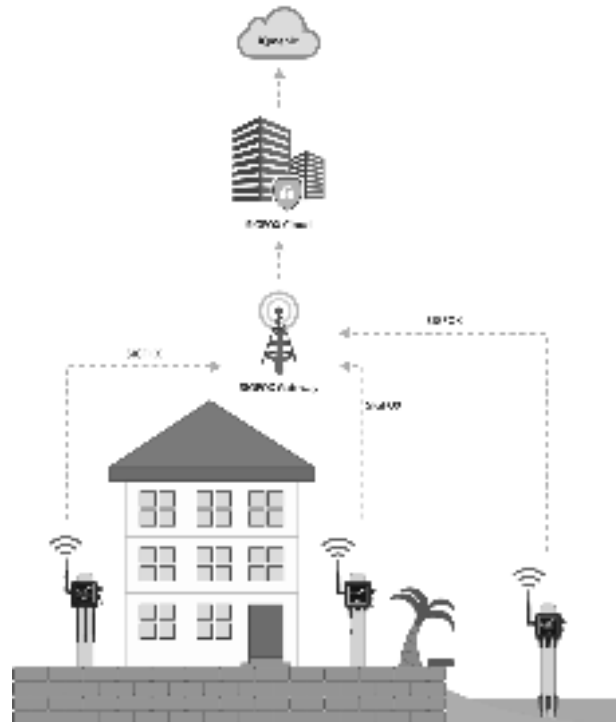


# 1.6. IoT applications – Case study 1

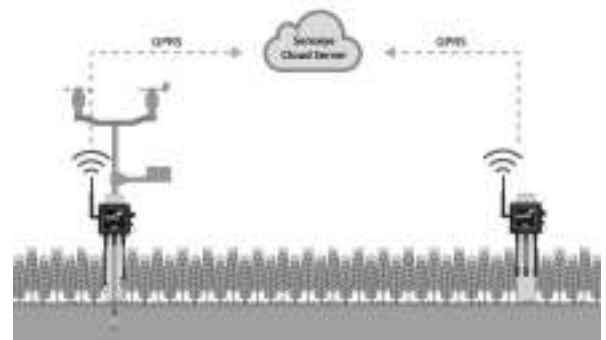
## \* Water irrigation system (Barcelona)



\* Ambient control (Getaria)



\* Smart Agriculture project for Organic Farms (UK)

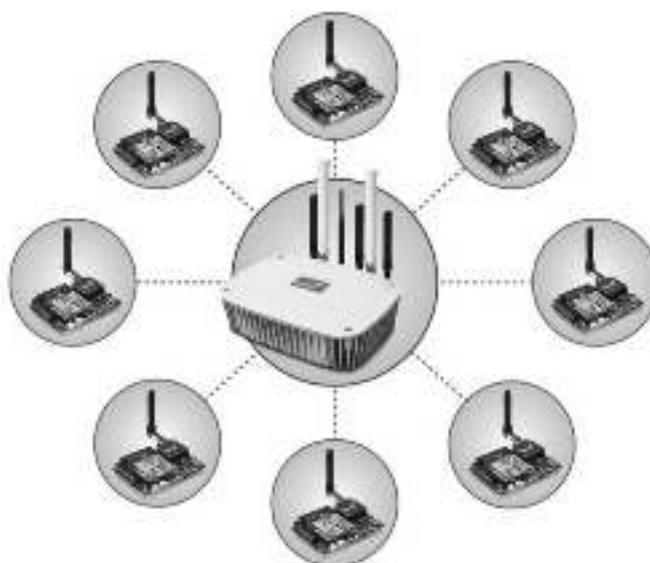


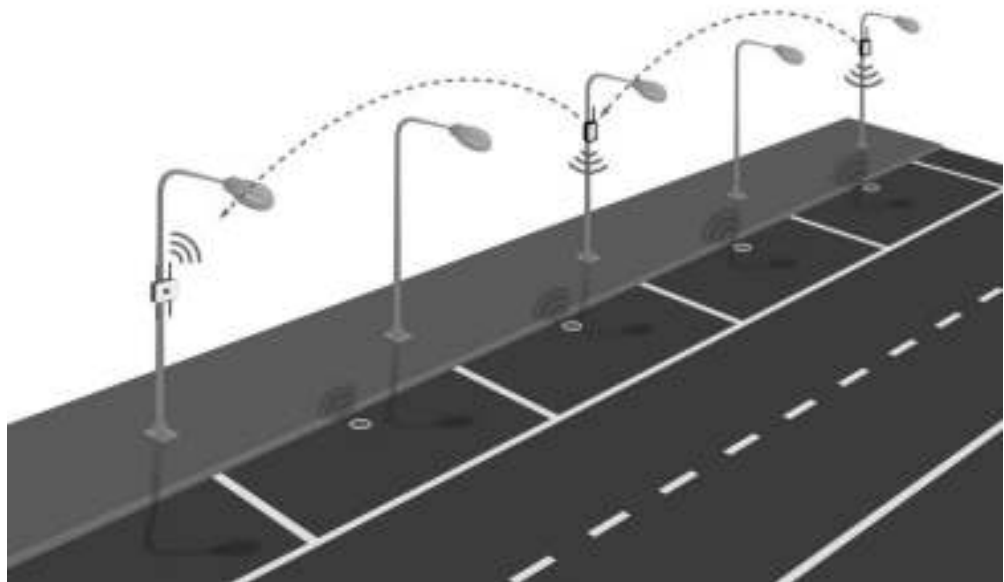
\* Networking protocols:

- XBee modules
- WiFi modules
- LoRa modules
- LoRaWAN modules
- Sigfox modules
- Cellular comm modules
- RFID modules
- Bluetooth modules
- Industrial protocols



\* XBee modules:





\* Sigfox modules:





\* LoRaWAN modules:



