

Wireless Sensors Networks (WSN)

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

L'efficienza energetica è una delle principali sfide per chi lavora con le WSN

Scopo principale di un sensore wireless è la **misurazione di una grandezza fisica (trasduzione)**, **l'elaborazione dell'informazione stessa** ed infine **la comunicazione dell'informazione** di misura.

Risulta quindi conveniente analizzare i consumi di uno smart-sensor dividendoli in questi tre domini temporali.

1) **Trasduzione**

dipende in maniera sostanziale dal tipo di applicazione e ciò si ripercuote anche sui consumi, la complessità derivante dal rilevare con il desiderato grado di precisione una grandezza fisica dipende oltre che dal tipo di grandezza fisica in gioco anche dal sistema di trasduzione, dal rumore di fondo che perturba la misura e dall'elettronica di condizionamento necessaria. Per questi motivi risulta difficile definire delle strategie generali che consentano la diminuzione dei consumi.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

2) Elaborazione

Visto il limitato carico computazione dei nodi e lo sviluppo dei μ P, il consumo imputabile all'unità di calcolo è trascurabile:

“la seconda generazione di processori per WSN consuma solo 600fJ/istruzione permettendo al processore di funzionare continuamente per 41 anni con l'energia immagazzinata con un batteria al litio di 1g”

Nota: Non esistono invece molti FPGA low-power

La trasmissione di un byte utilizza all'incirca la stessa potenza richiesta per eseguire 10000 istruzioni

Una comune batteria al Litio (3V – 500 mAh) è in grado di operare per 30 ore, a pieno carico, o anni, in caso di attività minima

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

3) Comunicazione

L'attività di comunicazione risulta essere sicuramente la più onerosa in termini di consumi.

Da cosa dipende la potenza consumata nella fase di comunicazione?

Vedremo che, al contrario dell'intuizione

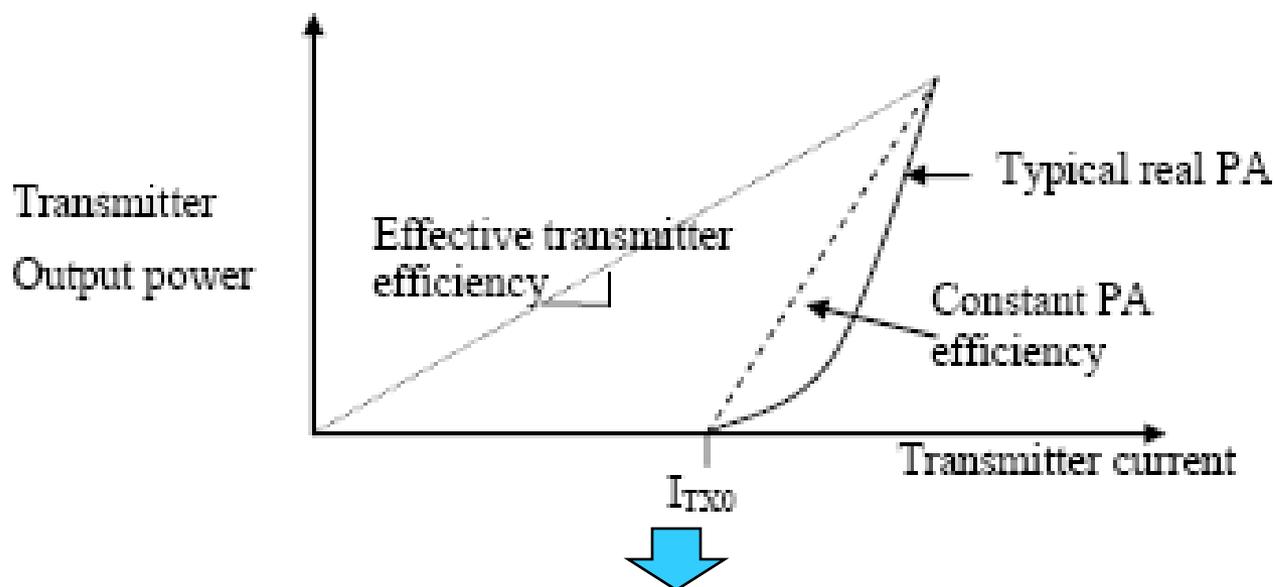
la potenza consumata dipende POCO dalla potenza in trasmissione (la potenza in uscita dall'antenna)

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Da cosa dipende la potenza consumata nella fase di comunicazione?

Potenza consumata = corrente assorbita x tensione



Una riduzione anche elevata della potenza trasmessa non si traduce in una altrettanto elevata riduzione della corrente assorbita (e quindi, della reale potenza consumata)

Wireless Sensors Networks (WSN)

Esempio: CHIPCON CC2420

PA_LEVEL	TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption [mA]
31	0xA0FF	0 = 1 mW	17.4 = 43.5 mW
27	0xA0FB	-1	16.5
23	0xA0F7	-3	15.2
19	0xA0F3	-5	13.9
15	0xA0EF	-7	12.5
11	0xA0EB	-10	11.2
7	0xA0E7	-15	9.9
3	0xA0E3	-25 = 0.003 mW	8.5 = 21.25 mW

e.g. CHIPCON CC2420 (risultati a cura del WiLAB del DEIS / UniBo)

Potenza in Output: 0 dBm \longrightarrow Potenza consumata: 43.5 mW

Potenza in Output: -25 dBm \longrightarrow Potenza consumata: 21 mW (!)



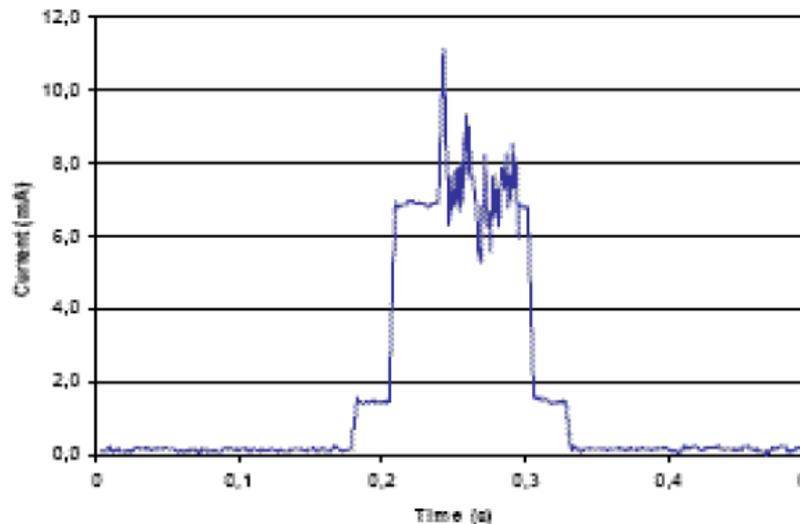
Il Power control non è particolarmente efficace nel massimizzare l'efficienza energetica (anche se spesso in letteratura viene assunto il contrario...)

Wireless Sensors Networks (WSN)

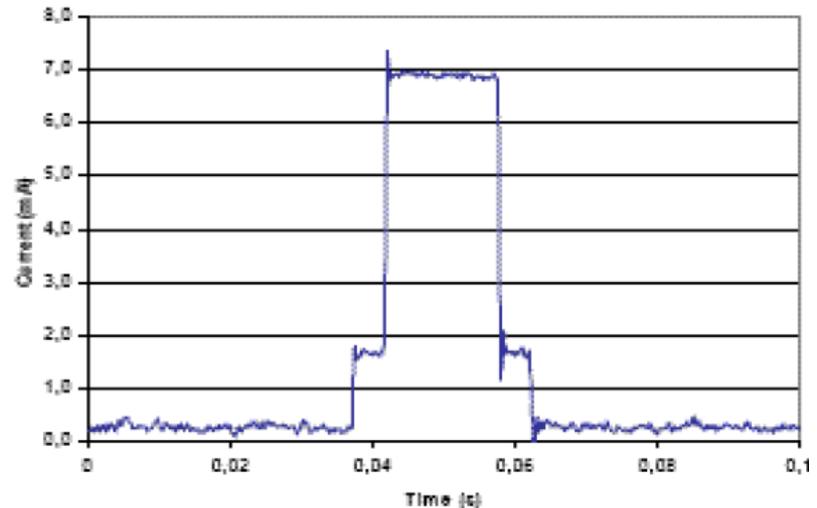
Efficienza energetica

Da cosa dipende la potenza consumata nella fase di comunicazione?

La potenza consumata (ossia la corrente assorbita) in trasmissione e in ricezione sono quasi equivalenti



trasmissione



ricezione

Wireless Sensors Networks (WSN)

Energia consumata per bit trasmesso

Q_{tx} = corrente assorbita per bit trasmesso

Q_{rx} = corrente assorbita per bit ricevuto

Lo standard IEEE802.15.4 specifica una massima bit rate di 250kbps a 2.4GHz.

Dal data sheet dei primi chip 802.15.4, si trova che la corrente assorbita sia in TX che RX è 20mA



Q_{tx} = Q_{rx} = 20mA / 250kbps = 80nC/bit

Siccome lavora con una tensione di uscita di 3V

L'energia consumata per bit trasmesso è: 240nJ/bit

Lo standard IEEE802.11g (WiFi) specifica una massima bit rate di 108Mbps a 2.4GHz.

Dal data sheet si trova che la corrente assorbita sia in TX che RX è 200mA



Q_{tx} = Q_{rx} = 200mA / 108Mbps = 2nC/bit

Siccome lavora con una tensione di uscita di 3V

L'energia consumata per bit trasmesso è: 6nJ/bit

Questo significa che lo standard WiFi è più appropriato dello standard 802.15.4 per applicazioni con bassi consumi? NO (vedi dopo xchè)

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Fase di start up dei dispositivi radio

Anche le fasi di accensione/spegnimento comportano assorbimento di corrente e potenza consumata, che in caso di pacchetti di informazione molto piccoli possono addirittura divenire la componente dominante dei consumi dovuti alla comunicazione.

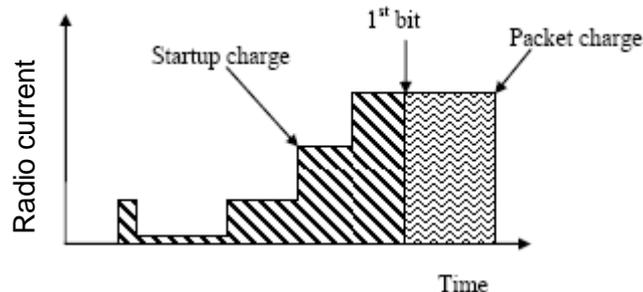
L'elettronica impiegata all'interno dei transceiver richiede infatti generalmente un tempo a partire dall'accensione non nullo per funzionare correttamente, ciò generalmente è dovuto alla presenza di oscillatori interni PLL (Phased Locked Loop), amplificatori di potenza ed altri componenti.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Fase di start-up dei dispositivi radio

Dallo stato di *deep sleep* si devono svolgere i seguenti eventi prima che il primo bit possa essere trasmesso:

- 1) Accendere il regolatore di tensione
- 2) aspettare che l'oscillatore al cristallo si stabilizzi
- 3) aspettare che l'oscillatore si sintonizzi sulla specifica frequenza portante



Questo comporta che parte della corrente è assorbita prima che il primo bit sia trasmesso. Se la indichiamo con Q_{tx0} , la totale corrente assorbita per la trasmissione di un pacchetto di n bit è pari a:

$$Q_{tx} = Q_{tx0} + nQ_{txbit}$$

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Tempi in cui sono on

Tempi di startup di TX e RX

$$P_e = N_{Tx} [P_{Tx} (T_{on} + T_{st}) + P_{out} T_{on}] + N_{Rx} [P_{Rx} (R_{on} + R_{st})]$$

Numero di volte in cui TX e RX vengono accesi

Potenze di funzionamento del TX e RX

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Energia consumata per ciclo

Trasmissione / Ricezione

1 μ J/bit per trasmettere a 1 kbps (100m)

Sensing del canale

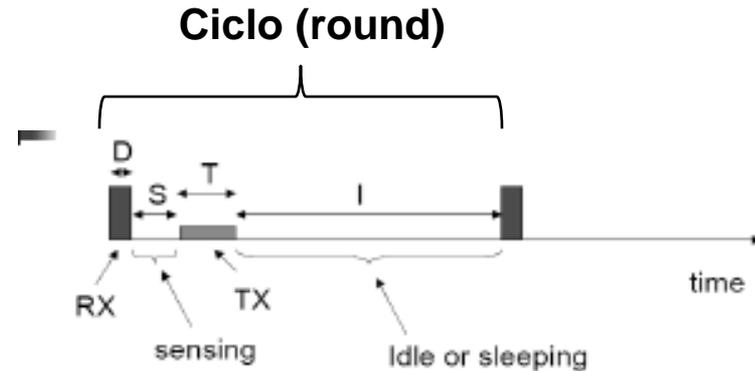
$10^{-7} - 10^{-8}$ J/bit

Computing / Idle

10^{-1} nJ/instruction

Sleeping

fJ (!)



$$E = p_{rx} D + p_{sens} S + p_{tx} T + p_{idle/sleep} I \text{ Joule/round}$$

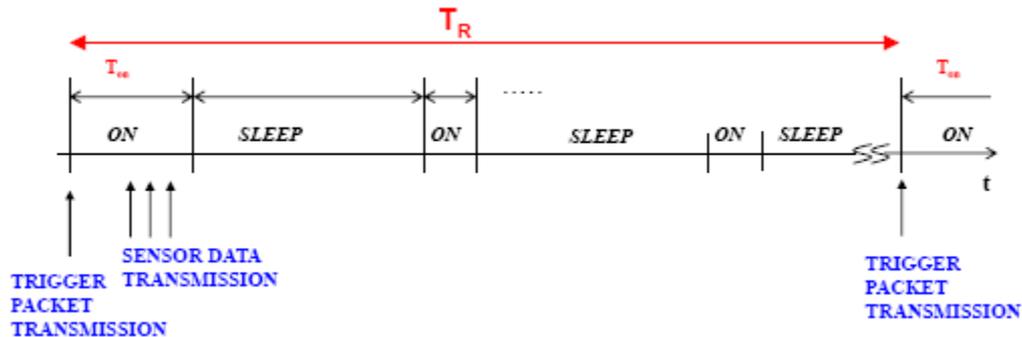
Modello che trascura l'energia dissipata durante i transienti

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Un ciclo comprende:

- 1) Il nodo sink manda il pacchetto TRIGGER (con cui richiede il dato al sensore)
- 2) Il nodo sensore fa il sensing del canale per verificare quando può trasmettere
- 3) Il nodo sensore trasmette i dati misurati
- 4) Tutti i sensori passano allo stato sleep dopo T_{on} secondi
- 5) I sensori periodicamente si svegliano per monitorare il canale finchè non arriva un nuovo pacchetto di TRIGGER dal nodo sink



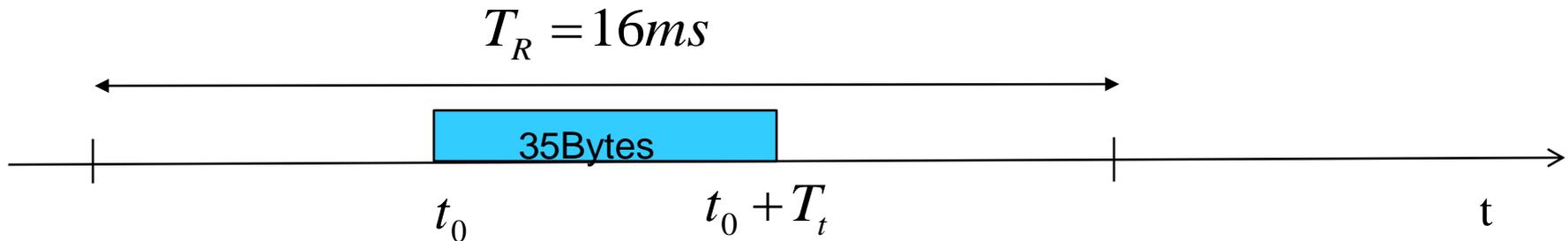
Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Esercizio:

Un nodo sensore genera 10Bytes ogni 16ms a livello di sensore. Il protocollo di comunicazione aggiunge 25 Bytes di overhead. La bit rate è di 250kbps. Il sensore si sveglia, trasmette il suo burst di dati e poi torna in modalità sleep. Quando trasmette consuma 50mW. La batteria è inizialmente caricata a 10^4 J.

Calcola il tempo di vita del sensore.



$$T_t = N_b / R_b = 35 \cdot 8 / 250 \cdot 10^3 = 1.12 \cdot 10^{-3} = 1.12ms$$

$$E = 50 \cdot 10^{-3} T_t = 56 \cdot 10^{-6} J$$

$$N_{round} = 10^4 / 56 \cdot 10^{-6} = 1.8 \cdot 10^8$$

$$\text{tempo di vita} = N_{round} T_R = 29 \cdot 10^5 s \approx 805 \text{ ore} \approx 33 \text{ giorni}$$

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

1) Il sottosistema di comunicazione consuma molta più energia del sistema di elaborazione dei segnali. E' stato dimostrato che per trasmettere un bit consuma l'energia equivalente per fare migliaia di istruzioni.

G. Pottie, W. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors, Communication of ACM, Vol. 43, N. 5, pp. 51-58, May 2000



E' utile fare "più conti" per magari trasmettere di meno

2) L'energia consumata è più o meno dello stesso ordine di grandezza sia che si riceva, si trasmetta o ci si trovi in idle. Il consumo diminuisce di almeno un ordine di grandezza nello stato sleep.



Si dovrebbe mettere la parte radio nello stato sleep ogni volta che è possibile

3) A secondo dell'applicazione, il sottosistema di sensing potrebbe essere una sorgente significativa di consumo



potrebbe essere importante anche ridurre la quantità di energia spesa per il sensing.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Modi per aumentare l'efficienza energetica nelle WSN:

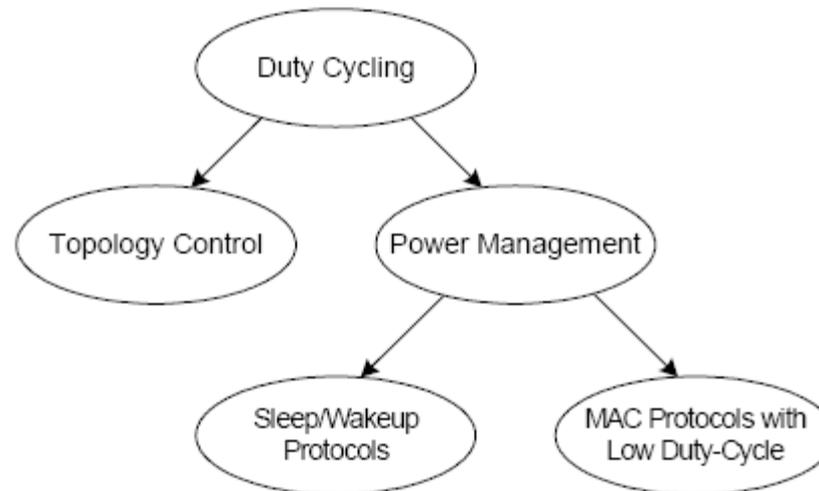
- Operazioni con low duty cycle (duty-cycling)
- Approcci Data-driven (ossia, processare parzialmente l'informazione nel nodo per ridurre il volume di dati da trasmettere)
- Approcci basati sulla mobilità

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

E' un approccio di alto livello, l'idea è di mettere il radio-trasmittitore in modalità di basso consumo (sleep) quando non è necessario comunicare. Il duty cycle è la frazione di tempo in cui sono in modalità active rispetto al tempo di vita totale.



Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Topology control

Si utilizza la presenza di nodi ridondanti (si devono sempre prevedere nodi ridondanti per garantire robustezza alla rete).

Ogni volta si selezionano adattivamente solo un sott'insieme di nodi attivi per mantenere la connettività della rete di sensori. I nodi non attivi possono andare in modalità sleep.

Il termine *topology control* si riferisce alla ricerca del sott'insieme ottimo di nodi per garantire la connettività (evitare che un gruppo di nodi sia isolato dal nodo sink).

Con questo metodo di può allungare la vita della rete di sensori da 2 a 3 volte rispetto al caso di avere tutti i sensori sempre attivi.

Power Management

Anche i nodi che devono rimanere attivi per mantenere la connettività della rete, non devono sempre trasmettere dati e quindi, possono essere messi in sleep mode quando non devono trasmettere nulla.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Topology control

Si distinguono due tipi fondamentali di criteri per decidere quali nodi attivare/disattivare:

- Location-driven:** la decisione si prende sulla base della posizione, supposta NOTA, dei nodi.
- Connectivity-driven:** attivano e disattivano i nodi mantenendo la connettività della rete o la completa copertura. Per fare questo, utilizzano solo informazioni “locali” dei nodi.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Topology control

Esempio di algoritmo location-driven: GAF (Geographical Adaptive Fidelity)

L'area da monitorare è suddivisa in piccole griglie virtuali. Una griglia virtuale è definita in modo tale che date due griglie adiacenti A e B, tutti i nodi in A sono capaci di comunicare con tutti i nodi in B e viceversa. Questo significa che dal punto di vista del routing, tutti i nodi nella griglia virtuale sono equivalenti e quindi, solo uno di essi deve rimanere attivo per ricevere i dati dalla griglia adiacente. I nodi quindi si coordinano tra loro per decidere quale nodo fa da leader e quindi rimane attivo e quali nodi possono dormire. Lo fanno mandando in broadcast un messaggio di discovery e rimanendo attivi finchè non rivelano che qualche altro nodo sta gestendo il routing. Dopo un po' si risvegliano e ricominciano a mandare messaggi di broadcast. Ogni volta, la selezione del nodo leader viene fatta sulla base di criteri di priorità che per esempio tengono conto di quanta è la batteria residua nel nodo.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Topology control

Esempio di algoritmo connectivity-driven: Span

Adattivamente seleziona dei coordinatori che sono svegli e realizzano il multi-hop routing. I nodi che dormono si svegliano periodicamente per controllare se è necessario che diventino coordinatori.

Regola per diventare un “potenziale” coordinatore: se due nodi vicini di un nodo che non è coordinatore non possono comunicare tra di loro, sia direttamente che attraverso altri nodi coordinatori, allora quel nodo non coordinatore ad essi vicino deve diventare coordinatore. Al contrario, se un nodo verifica che ogni coppia di nodi vicini può comunicare anche senza il proprio supporto, rinuncia ad essere coordinatore. Se più nodi si candidano ad essere coordinatori, allora ritardano il proprio annuncio con un ritardo di backoff, che tiene conto anche dell'energia residua del nodo in modo da far sì che siano i nodi con più energia a candidarsi a fare da coordinatori.

Per decidere se diventare coordinatori, i nodi hanno bisogno di informazioni che sono fornite dall'algoritmo di routing, quindi, questo algoritmo NON è indipendente dall'algoritmo di routing utilizzato. Esistono altri algoritmi di questo tipo che non dipendono dall'algoritmo di routing ma da misure fatte nel nodo localmente, legate alla connettività e alla perdita di pacchetti.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Topology control

Location-driven richiedono la conoscenza della posizione

Questo si fa in genere fornendo i nodi di un'unità GPS. Tuttavia, il ricevitore GPS è in genere costoso (rispetto ai tipici costi dei sensori) e consuma moltissimo e quindi, in genere non fattibile.

Altra possibilità: si mette il GPS solo su alcuni, pochi, nodi e gli altri nodi determinano la loro posizione o perché gli viene comunicata dai nodi con GPS o attraverso tecniche di triangolarizzazione. Tuttavia, le piattaforme più diffuse non sono equipaggiate per determinare la posizione



Connectivity-driven, che utilizzano solo informazioni locali, sono preferibili.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Power Management

Il power management si può realizzare:

- 1) con protocolli di sleep/awake indipendenti che lavorano a livello di rete o applicativo (per esempio, so che in certi periodi del giorno, la grandezza misurata non è affidabile per la presenza di interferenze, decido di mettere tutti i nodi in modalità sleep in quel periodo del giorno)
- 2) ottimizzando il protocollo MAC

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Power Management – protocolli sleep/wakeup

On-demand: l'idea è che il nodo si sveglia solo quando un altro nodo vuole comunicare con lui. Principale problema: come informare il nodo che dorme che c'è un nodo che vuole comunicare con lui? In genere, questi schemi, utilizzano dei nodi provvisti di due distinti radio-trasmittitori, una con bassi data rate e bassi consumi per la segnalazione (che rimane sveglia sempre) e uno con maggiori data rate e maggiori consumi per il trasferimento dei dati (la radio che viene “svegliata” solo quando serve)

Scheduled rendezvous: ogni nodo si sveglia contemporaneamente ai nodi vicini. Tipicamente, quando si usa questo approccio, i nodi si svegliano in base ad un algoritmo di schedule e rimangono attivi per un intervallo molto piccolo per comunicare con i nodi vicini. Dopodiché, tornano a dormire fino al prossimo evento di rendezvous.

Protocolli asincroni: un nodo si sveglia quando vuole. E' chiaro che è l'algoritmo più semplice da realizzare e che richiede pochi messaggi di segnalazione.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Duty Cycling

Power Management – protocolli sleep/wakeup

On-demand sono quelli ideali dal punto di vista dei consumi. Tuttavia, richiedono la presenza di due radio-trasmittitori e questo non sempre è possibile.

Gli schemi Scheduled rendezvous sono convenienti poichè permettono di supportare comunicazioni di tipo broadcast e aggregazione di dati (fare la media di una misura e trasmettere solo la media). Però richiedono la sincronizzazione di tutti i nodi, aumentando l'overhead e i consumi.

Gli schemi asincroni sono i più semplici e flessibili, ma sono meno efficienti energeticamente poichè i nodi, per avere una maggiore probabilità di svegliarsi contemporaneamente ad altri nodi in modo da garantire che quando si svegliano possono comunicare, devono svegliarsi più spesso del necessario. Inoltre, informazioni broadcast non possono essere supportate.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Protocolli MAC ottimizzati per comunicazioni low duty cycle

I motivi che determinano inefficienza energetica a livello MAC sono:

- Overhead (es. Scambio di dati per informazioni di controllo, sincronizzazione)
- Idle listening: prolungato ascolto del canale in attesa di pacchetti
- Collisioni di pacchetti (che possono determinare la ritrasmissione)
- Overhearing: ricezione e decodifica di pacchetti destinati ad altri nodi

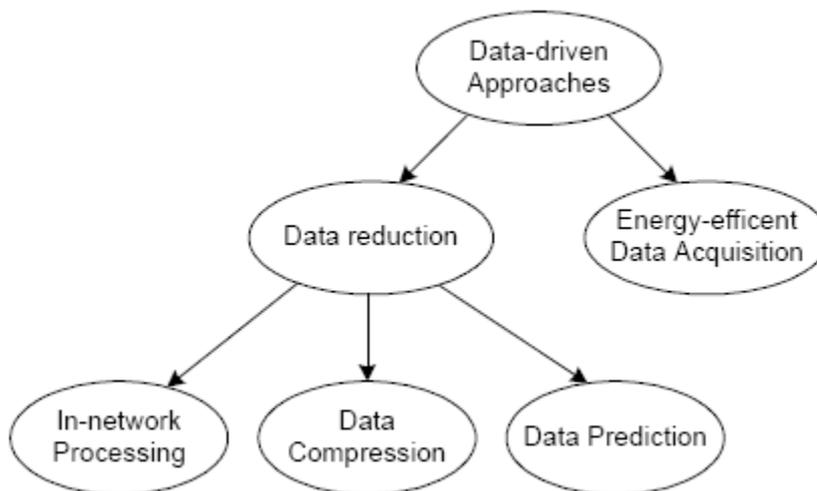
Obiettivo del MAC è di ridurre queste situazioni

Vedi slides su MAC per WSN

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Approcci Data-Driven



Data reduction: questi metodi hanno l'obiettivo di ridurre la trasmissione di campioni "inutili". I dati campionati sono in genere caratterizzati da forti correlazioni spaziali e/o temporali, e quindi, non è necessario trasmettere informazione ridondante al nodo sink (si fanno più conti per trasmettere di meno)

Energy-Efficient Data Acquisition: puntano a ridurre l'energia spesa dal sistema di sensing.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Approcci Data-Driven

Data reduction

In-network processing: consiste nel fare data-aggregation (per esempio, non trasmettere i dati grezzi ma dei valori medi direttamente) in nodi intermedi tra la sorgente e il sink.

Overview di queste tecniche si può trovare in:

E. Fasolo, M. Rossi, J. Widmer, M. Zorzi, "In-network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey", IEEE Wireless Communications, Volume: 14, Issue: 2, Pages: 70-87, April 2007.

Data compression: si applicano note tecniche per ridurre la ridondanza presente nell'informazione direttamente in uscita dalla sorgente (codifica di sorgente)

Si codifica l'informazione nel nodo sorgente e si decodifica nel nodo sink.

Data prediction: consiste nel creare un modello astratto del fenomeno da misurare, ossia un modello che descrive la sua evoluzione. Entro certi margini di errore il modello può predire alcuni valori dei dati da misurare e quindi, alcuni dati possono non essere mandati ma vengono "ricostruiti" nel sink tramite il modello (un esempio banale potrebbe essere qualche forma d'interpolazione)

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Approcci basati sulla mobilità

Se alcuni nodi sono mobili, la mobilità può essere usata per ridurre il consumo. In una rete statica, i pacchetti vanno dalla sorgente al nodo sink attraverso un cammino multi-hop.

Si può verificare il cosiddetto effetto “funneling”, ossia alcuni nodi, tipicamente quelli più vicini al sink, devono re-inoltrare più pacchetti e quindi possono essere soggetti ad una più veloce riduzione dell'energia disponibile (le batterie si scaricano prima)

Se alcuni nodi, (magari anche lo stesso sink) fossero mobili, il flusso di traffico può essere modificato ed eventualmene bilanciato tra i nodi.

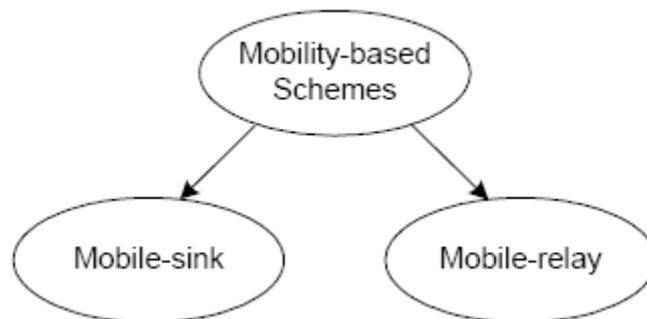
Si può pensare ad alcuni nodi mobili che raccolgono i dati dai nodi fissi.

I nodi ordinari attendono il passaggio dei nodi mobili nelle vicinanze e inoltrano verso di loro il messaggio. In questo modo, i nodi ordinari possono risparmiare energia poichè trasmettono verso un nodo più vicino e inoltre posso ridurre l'overhead legato al routing. Inoltre, il nodo mobile (che magari è il sink) può muoversi nella rete in modo da far si che siano sempre diversi i nodi più vicini che quindi devono inoltrare più pacchetti così da equilibrare il consumo di energia nella rete. Se il tempo di vita della rete (e non del singolo sensore) è cio' che importa, questa funzione di riequilibrio del consumo di energia puo' essere molto importante.

Wireless Sensors Networks (WSN)

Efficienza energetica

Approcci basati sulla mobilità



I nodi mobili si possono dividere in:

- Nodi progettati come parte di un'infrastruttura di rete (come gli AUV dei Underwater WSNs, vedi seminario) o
- Possono essere parte dell'ambiente (es. Animali)

Nel primo caso, la loro mobilità può essere controllata e sono in genere robotizzati. Nel secondo caso, potrebbero non essere controllabili. In alcuni casi, il loro moto è predicibile completamente (es. Shuttle in aeroporto), in altri, è completamente casuale. In alcuni casi, non è nè l'uno nè l'altro.

Per esempio, gli autobus del trasporto pubblico, seguono dei cammini noti, ma per via del traffico, i tempi di percorrenza non sono facilmente predicibili ma possono essere stimati sulla base dell'esperienza passata (misure passate).