



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



***Tecniche per il risparmio energetico  
nella trasmissione***





- I dispositivi portatili hanno bisogno di sorgenti esterne di energia (batterie, celle solari) per poter operare
- Il tempo di vita delle batterie rimane limitato.
- Aumentano le richieste di energia dei dispositivi portatili (e le aspettative di autonomia energetica dei dispositivi da parte degli utenti)
- Occorre quindi evitare il piu' possibile sprechi di energia per massimizzare il tempo in cui i dispositivi possono essere operativi



- Le componenti di un laptop con consumo energetico significativo sono il microprocessore (CPU), il liquid crystal display (LCD), l'hard disk, system memory (DRAM), keyboard/mouse, CDROM drive, I/O subsystem, e la **wireless network interface card**
- L'interfaccia radio è una delle componenti più significative (dopo il display) del consumo energetico
  - Toshiba 410 CDT (dati 2001): 36% del consumo energetico era dovuto al display, 21% CPU+memoria, 18% interfaccia radio, 18% hard drive
- **Per questo motivo alla metà degli anni '90 è nata un'area di ricerca dedicata allo sviluppo di tecniche per abbassare il consumo energetico dell'interfaccia radio**

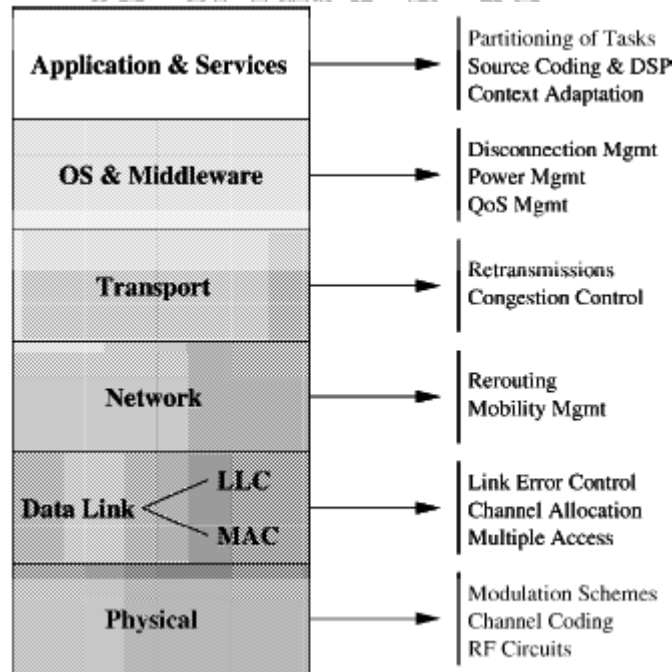


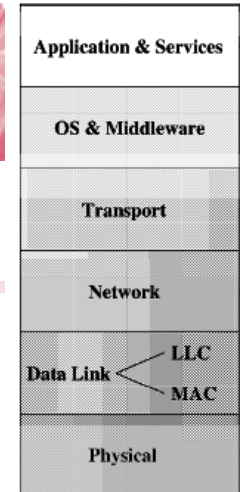
- Il consumo energetico necessario per eseguire funzionalità di rete è dovuto a
  - Computazione: processing associato alle operazioni del protocollo
  - Comunicazione: uso del transceiver per inviare e ricevere pacchetti dati e di controllo
- C'è tipicamente un trade-off tra computazione e comunicazione.
  - Protocolli a basso consumo energetico per la comunicazione tipicamente aggiungono un po' di complessità/costo di processing, cosa ragionevole purchè la soluzione proposta porti a vantaggi significativi in grado di bilanciare i costi aggiuntivi.
  - C'è anche un trade-off che dipende da dove è collocata l'intelligenza del sistema. Fare processing delle informazioni in rete può ridurre la necessità di comunicazione. Il costo da pagare è maggiore energia spese per la computazione da parte di nodi con limitate risorse energetiche.
  - Ottimizzare questi trade-off, come pure ottenere i migliori trade-off tra più metriche prestazionali di interesse (non solo l'energia consumata, ma l'energia, il throughput, la latenza) è l'obiettivo dei protocolli di comunicazione a basso consumo energetico.





- Il consumo energetico necessario per eseguire funzionalità di rete è dovuto a
  - Computazione: processing associato alle operazioni del protocollo
  - Comunicazione: uso del transceiver per inviare e ricevere pacchetti dati e di controllo
- C'è tipicamente un trade-off tra consumo energetico e comunicazione.
  - Protocolli a basso consumo energetico aggiungono un overhead di comunicazione tipicamente del 10-20%, cosa ragionevole per applicazioni di rete significativi in grado di tollerare un overhead del 10-20%.
  - C'è anche un trade-off tra consumo energetico e comunicazione. localata l'intelligenza del sistema e può ridurre la necessità di comunicazione a maggiore energia consumata, il che è un trade-off non ottimale. mitigate risorse.
  - Ottimizzare quei protocolli di comunicazione a basso consumo energetico. i migliori trade-off tra consumo energetico e comunicazione, o dei protocolli di comunicazione a basso consumo energetico.





- Guidelines generali

- PHY:



- ✓ Il consumo energetico dipende dall'energia necessaria per attivare la circuiteria del transceiver e dalla potenza emessa → è possibile abbassare il consumo energetico per trasmettere sfruttando il power control (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)



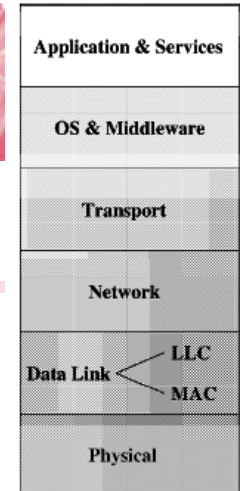
- ✓ Alcune tecnologie consentono di usare diverse modulazioni. Quando possibile usare una modulazione che porta a data rate maggiori può ridurre il tempo necessario per la trasmissione dei dati, quindi il consumo associato alla trasmissione (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)



- ✓ transceiver compliant con un determinato standard wireless hanno spesso caratteristiche diverse in termini di consumo energetico, BER e PER (Bit Error Rate e Packet Error Rate). La **scelta dell'HW** può quindi significativamente influenzare le prestazioni del sistema.



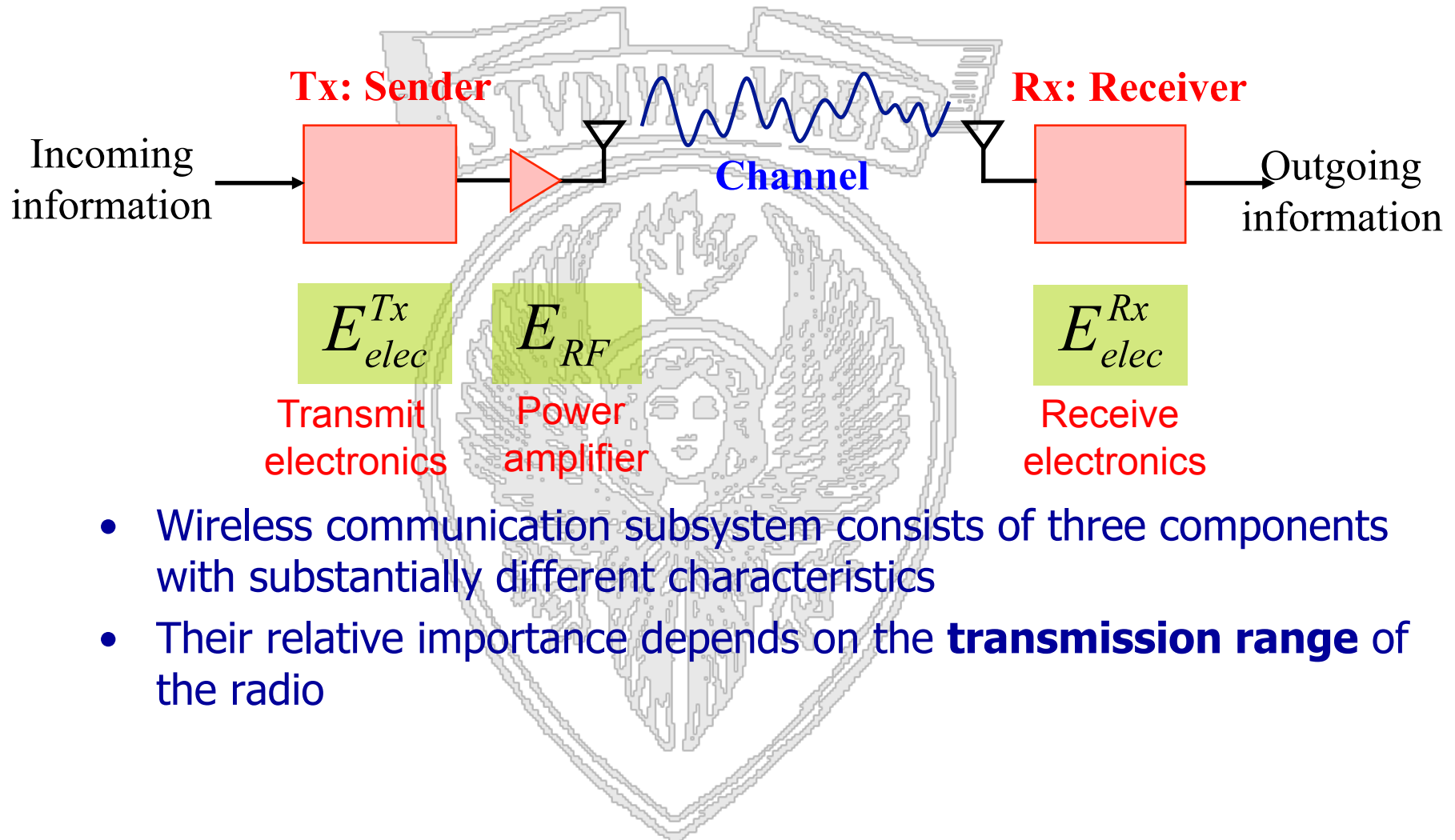
- ✓ Promiscuous mode: diversi protocolli proposti per reti ad hoc sfruttano il fatto che l'interfaccia radio operi in modalità promiscua per diminuire l'overhead del protocollo e far funzionare il protocollo in pratica (promiscuous mode= i pacchetti vengono passati ai livelli superiori anche se non sono indirizzati al nodo, le informazioni contenute nel pacchetto sono analizzate e usate dal nodo per le sue successive operazioni). Operare in promiscuous mode costringe l'interfaccia radio a essere in stato di idle/trasmissione/ricezione tutto il tempo TUTTI stati ad alto consumo energetico. E' una modalità che non si concilia con la necessità di abbassare i consumi energetici.



- Guidelines generali

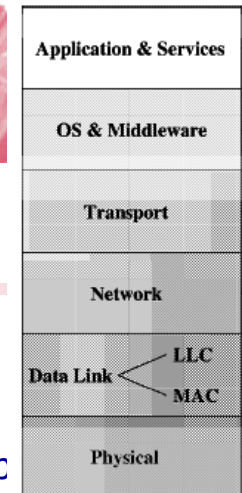
- PHY:

- ✓ Il consumo energetico dipende dall'energia necessaria per attivare la circuiteria del transceiver e dalla potenza emessa → è possibile abbassare il consumo energetico per trasmettere sfruttando il power control (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)
  - ✓ Alcune tecnologie consentono di usare diverse modulazioni. Quando possibile usare una modulazione che porta a data rate maggiori può ridurre il tempo necessario per la trasmissione dei dati, quindi il consumo associato alla trasmissione (**minimizzare il consumo associato alla trasmissione**)
  - ✓ transceiver compliant con un determinato standard wireless hanno spesso caratteristiche diverse in termini di consumo energetico, BER e PER (Bit Error Rate e Packet Error Rate). La **scelta dell'HW** può quindi significativamente influenzare le prestazioni del sistema.
  - ✓ Si dovrebbe ricevere completamente un pacchetto solo se si è destinazione di quel pacchetto (il campo destination è all'inizio del pacchetto), altrimenti scartarlo ed andare a dormire



- Wireless communication subsystem consists of three components with substantially different characteristics
- Their relative importance depends on the **transmission range** of the radio





## Guidelines generali

### - MAC

- ✓ Idea chiave: far alternare i nodi tra stati ad alto consumo energetico (awake:transmit/receive/idle) in cui l'interfaccia radio è operativa e stati (asleep) in cui l'interfaccia radio non è operativa (non si possono ricevere e trasmettere pacchetti) ma il consumo energetico è molto ridotto. (**awake/asleep schedule**)
  - Due approcci: sincrono (i nodi si coordinano e sanno quando i vicini saranno 'awake', contattano i vicini quando sono raggiungibili) e asincrono (i nodi non conoscono lo schedule awake/asleep dei vicini). Questo secondo caso è tipicamente più difficile, funziona sotto restrizioni (ad esempio sufficiente densità dei nodi + selezione dinamica dei relay), ha il vantaggio di non richiedere scambi di comunicazione per mantenere aggiornate le informazioni sul vicinato.
- ✓ Se i protocolli usano una fase di handshake ed è possibile per un nodo determinare durante tali fasi -e in base alla conoscenza del protocollo- che non sarà coinvolto in comunicazione il nodo dovrebbe andare in modalità di asleep. Esempio: dormire per il tempo indicato nel NAV come necessario perché termini la comunicazione di un vicino nel caso di MAC CSMA/CA. (**evitare sprechi**)
- ✓ Minimizzare le collisioni *puo'* tornare utile (le collisioni richiedono ritrasmissioni aumentando latenza ed energia consumata) (**evitare sprechi**)
- ✓ Header compression: trasmettere meno bit significa che l'interfaccia radio sarà attiva in trasmissione per meno tempo e quindi si risparmierà energia. (**ridurre il consumo energetico associato alla trasmissione**)
- ✓ **Limitare le informazioni di controllo** da trasmettere, **aggregare informazioni ridondanti** (**minimizzare il consumo energetico associato alla trasmissione**)

Tende ad allungare le latenze



**Attenzione alla ricezione: non e' predicibile quando dovrò ricevere, di fatto si consuma più del necessario proprio per essere in grado di ricevere quando serve ← wake-up radio**



- Il transceiver puo' essere in uno di questi stati

**tx**

*Awake and transmitting*

**rx**

*Awake and receiving*

**idle**

*Awake, neither transmitting nor receiving*

**asleep**

*Asleep: interfaccia radio non operativa (non si puo' ne' trasmettere ne' ricevere). Possono esserci vari stati di asleep che corrispondono allo spegnimento si sottoinsiemi crescenti della circuiteria.*

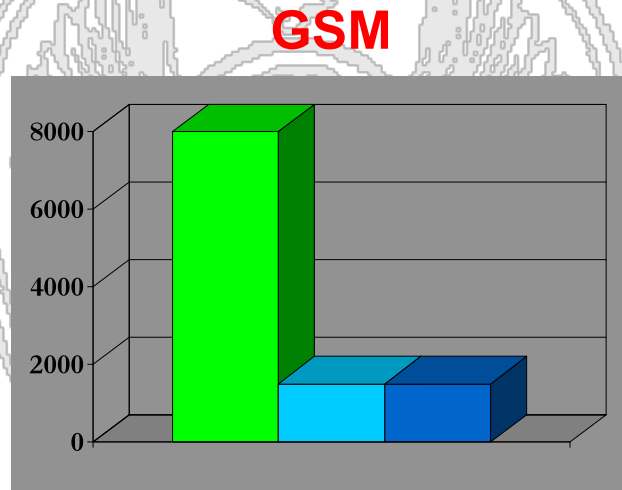
**Passare da uno stato all'altro  
Richiede tempo e consuma  
energia. Il tempo ed il consumo  
per lo switch deve essere considerato**



- Variano a seconda della tecnologia, del dispositivo (funzionalità e range trasmissivo hanno forte impatto)
- I consumi dei dispositivi per lo stesso segmento sono andati a modificarsi significativamente nel tempo (come pure il rapporto tra i consumi dei vari stati del transceiver)
- Dati anni '90-'00
  - Il messaggio era: trasmettere costa fino al doppio rispetto a ricevere, l'idle mode costa meno, lo sleep mode diversi ordini di grandezza meno
  - Esempi
    - ✓ Proxim RangeLAN2 2.4 GHz 1.6 Mbps PCMCIA card: 1.5 W in transmit, 0.75 W in receive, and 0.01 W in standby mode.
    - ✓ Lucent's 15 dBm 2.4 GHz 2 Mbps Wavelan PCMCIA card: 1.82 W in transmit mode, 1.80 W in receive mode, and 0.18 W in standby mode.



- Quando aumenta il raggio trasmissivo la componente legata all'amplificatore di potenza diventa dominante



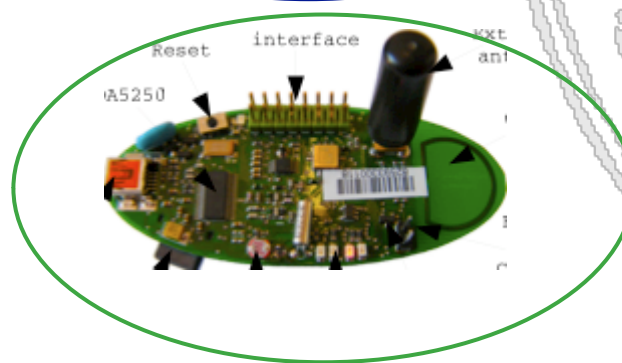
$E_{RF}$   $E_{elec}^{Tx}$   $E_{elec}^{Rx}$

**~ 1 km**





- TmoteSky, EYES v2.0 platforms



Texas Instruments Mps430 micro-controller,

16-b  
fast  
DCA  
Ligh

**TmoteSky:**

radio chip CC2420 (Zigbee compliant),  
2Ghz direct sequence spread spectrum  
(DSSS) modulation, datarate 250Kbps,  
on board 1 Mb serial EEPROM,

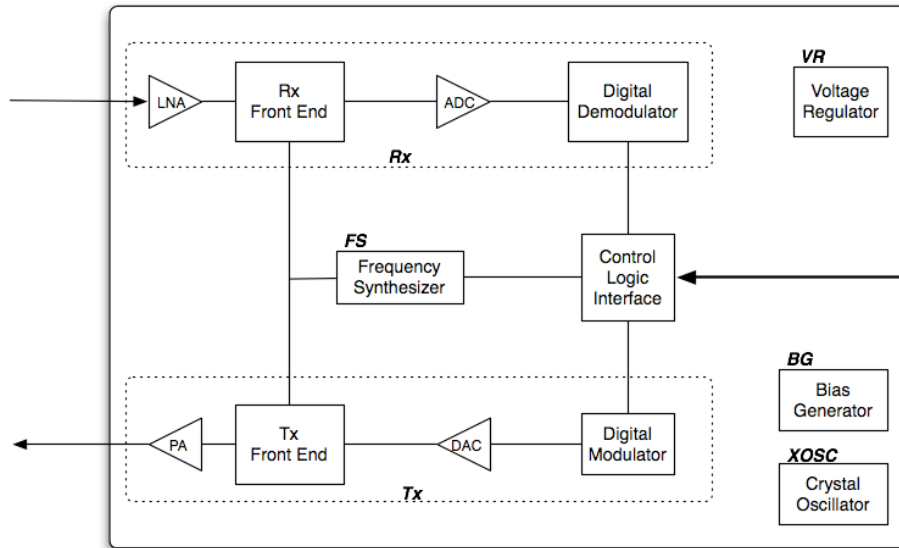
**EyesIFXv2:**

radio chip TDA5250, 868Mhz,  
FSK modulation, datarate 64Kbps,  
on board 512Kb serial EEPROM

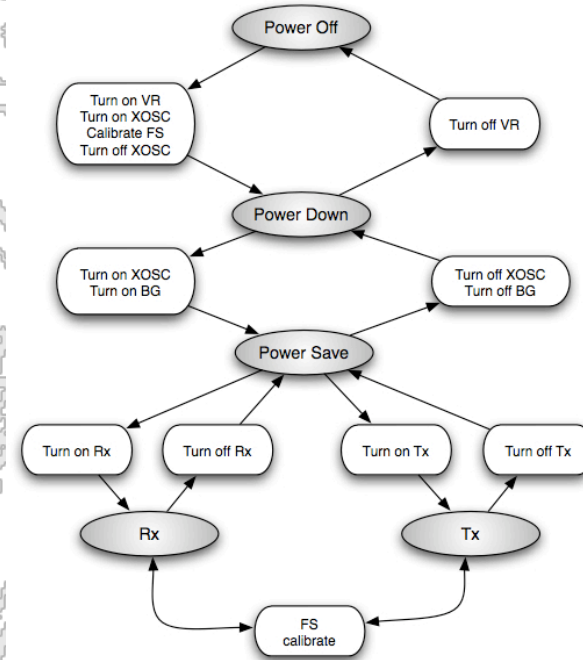


# TmoteSky Energy model

CC2420 Modules



Transceiver states



Energy model

State	Consumption (mA)
Rx	19.7
Tx	17.4
Save	0.45
Down	0.02
Off	0.001

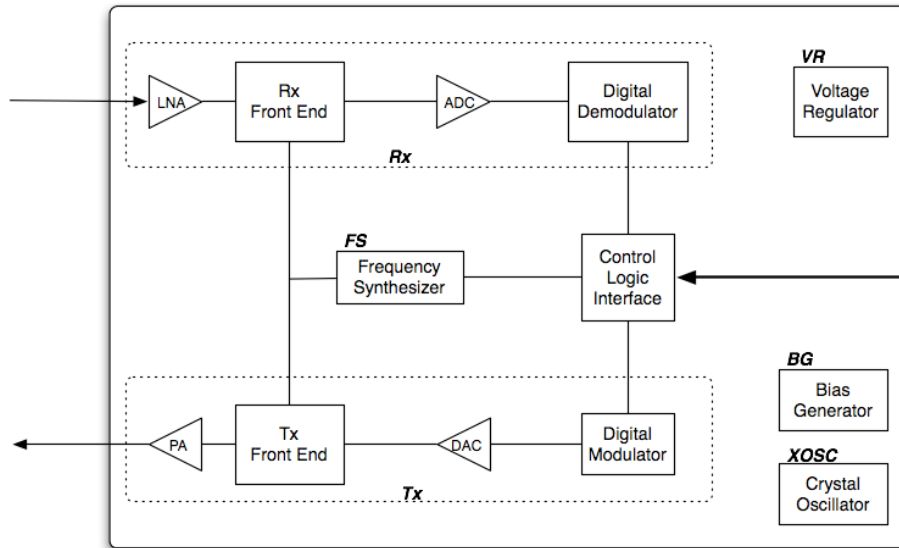
Table 1: Consumption of CC2420 transceiver.

Switch Between (States)	Consumption (mA)	Duration (ms)
Rx/Tx	17.4	0.192
Tx/Rx	19.7	0.192
Tx/Save	17.4	0.192
Rx/Save	19.7	0.192
Save/Down	0.45	0.96
Down/Off	0.02	0.6

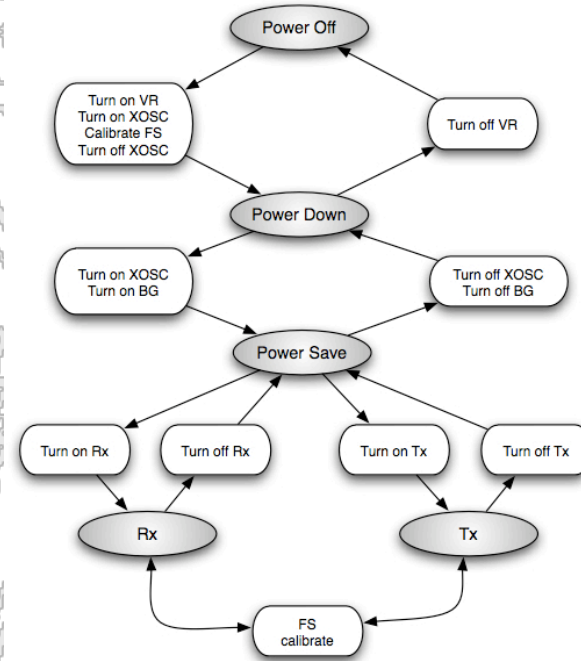
Table 2: Switch time of CC2420 transceiver.



CC2420 Modules



Transceiver states



Energy model

State	Consumption (mA)
Rx	19.7
Tx	17.4
Save	0.45
Down	0.02
Off	0.001

Table 1: Consumption of CC2420 transceiver.

Switch Between (States)	Consumption (mA)	Duration (ms)
Rx/Tx	17.4	0.192
Tx/Rx	19.7	0.192
Tx/Save	17.4	0.192
Rx/Save	19.7	0.192
Save/Down	0.45	0.96
Down/Off	0.02	0.6

Table 2: Switch time of CC2420 transceiver.

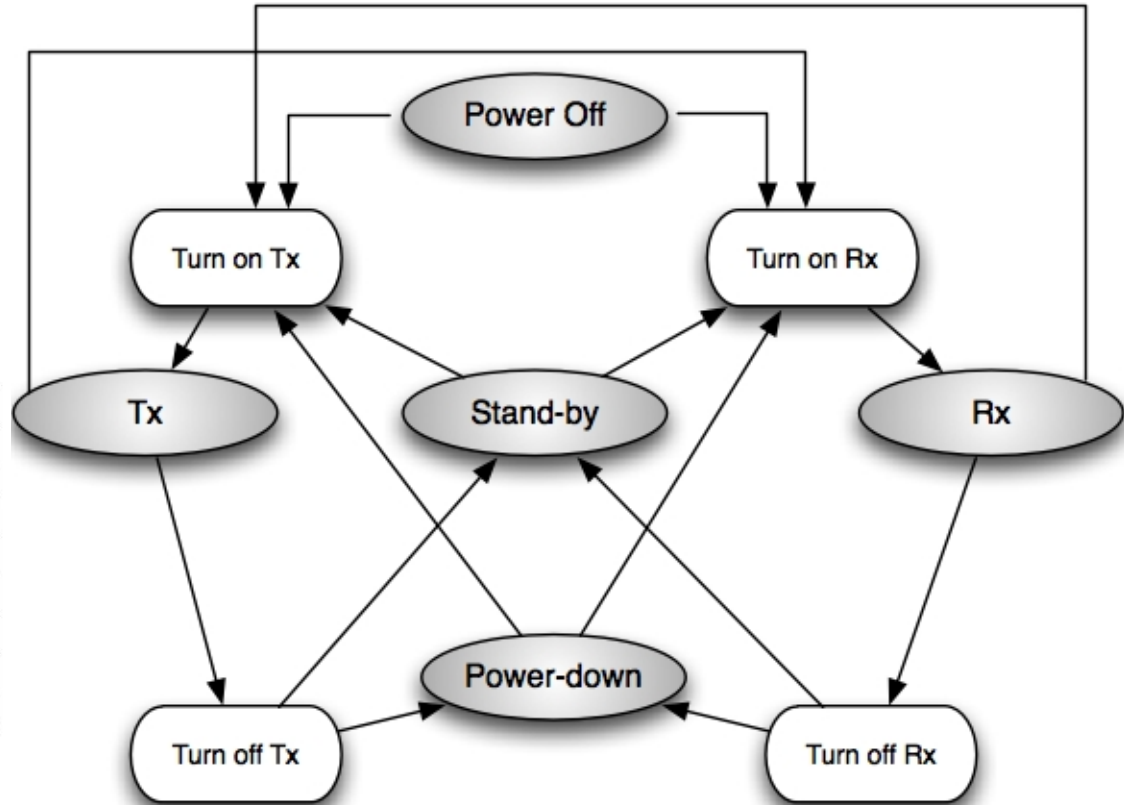


Energy model

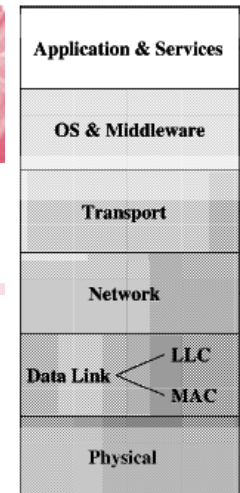
State	Consumption (mA)
<i>Rx</i>	8.6
<i>Tx</i>	11.2
<i>Stand - by</i>	0.75
<i>Power - down</i>	0.009
<i>Power - off</i>	0

State	Consumption (mA)	Duration (ms)
<i>Power - off/Tx</i>	0.3085	9.1
<i>Power - off/Rx</i>	0.2632	10.2
<i>Tx/Rx</i>	0.0739	2.2
<i>Rx/Tx</i>	0.0369	1.1
<i>Power - down/Tx</i>	0.0025	1.1
<i>Power - down/Rx</i>	0.0568	2.2
<i>Stand - by/Tx</i>	0.0025	1.1
<i>Stand - by/Rx</i>	0.0568	2.2

Transceiver states







- Guidelines generali

- Data Link



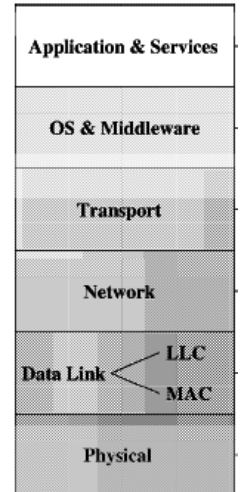
- ✓ Non conviene trasmettere pacchetti se si stima che l'attuale condizione del canale renda improbabile una corretta ricezione (**evitare sprechi**)



- ✓ Scelta di combinazioni di schemi di ARQ e FEC che consentano di ottenere risparmi energetici e nel contempo offrire il livello di QoS necessario sotto diverse condizioni di canali, tipi di traffico, dimensioni dei pacchetti



- ✓ Varianti di protocolli di ARQ classici per cercare di minimizzarne il consumo energetico



- Guidelines generali

- Routing



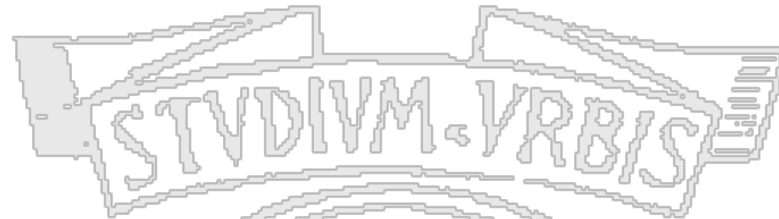
- ✓ Bilanciare il consumo energetico tra i nodi, tenere conto delle diverse risorse energetiche dei nodi nello scegliere i relay consente di allungare il tempo di vita della rete



- ✓ Trasmettere su più hop corti può convenire (quale è la condizione che consente di vedere vantaggi tramite questa tecnica?)



- ✓ Minimizzare l'overhead associato alla route discovery e maintenance

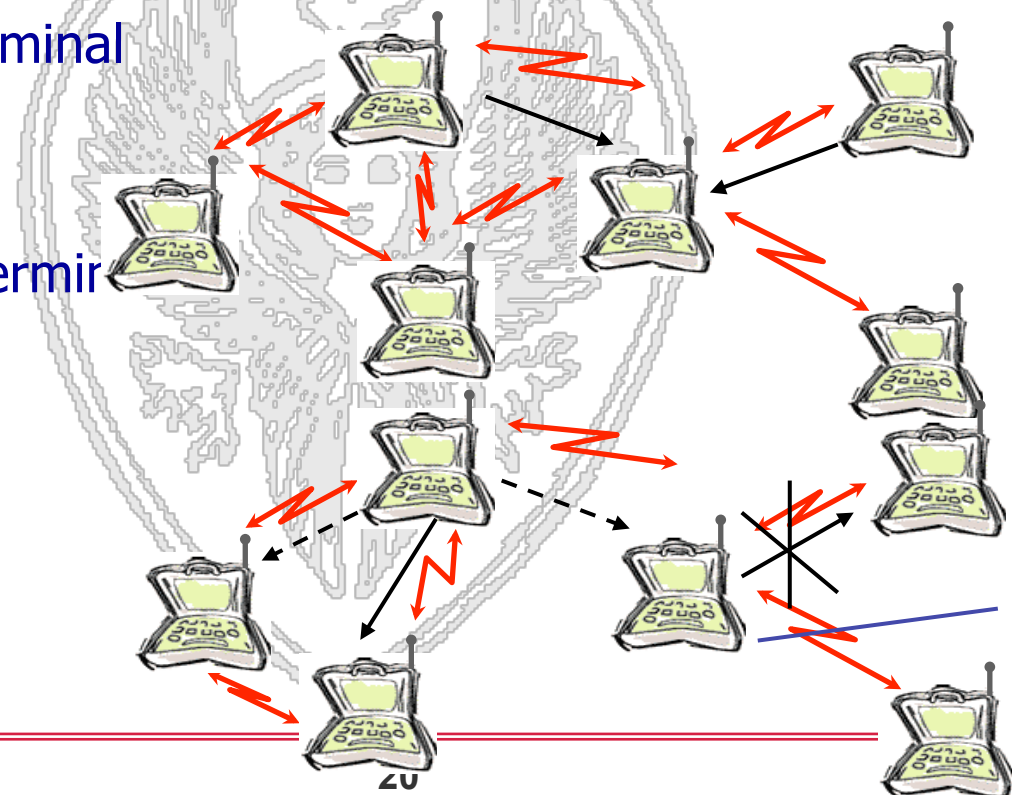


***Medium Access Control nelle reti  
ad hoc  
Un esempio***





- Si usano approcci CSMA-like, e.g. CSMA/CA
  - Perche' non TDMA like?
- Perche' non CSMA/CD? nodi non ricevono/trasmettono contemporaneamente
  - Hidden terminal
  - Exposed terminal



*I due nodi che Tx non si ascoltano*

*Il nodo Potrebbe trasmettere*



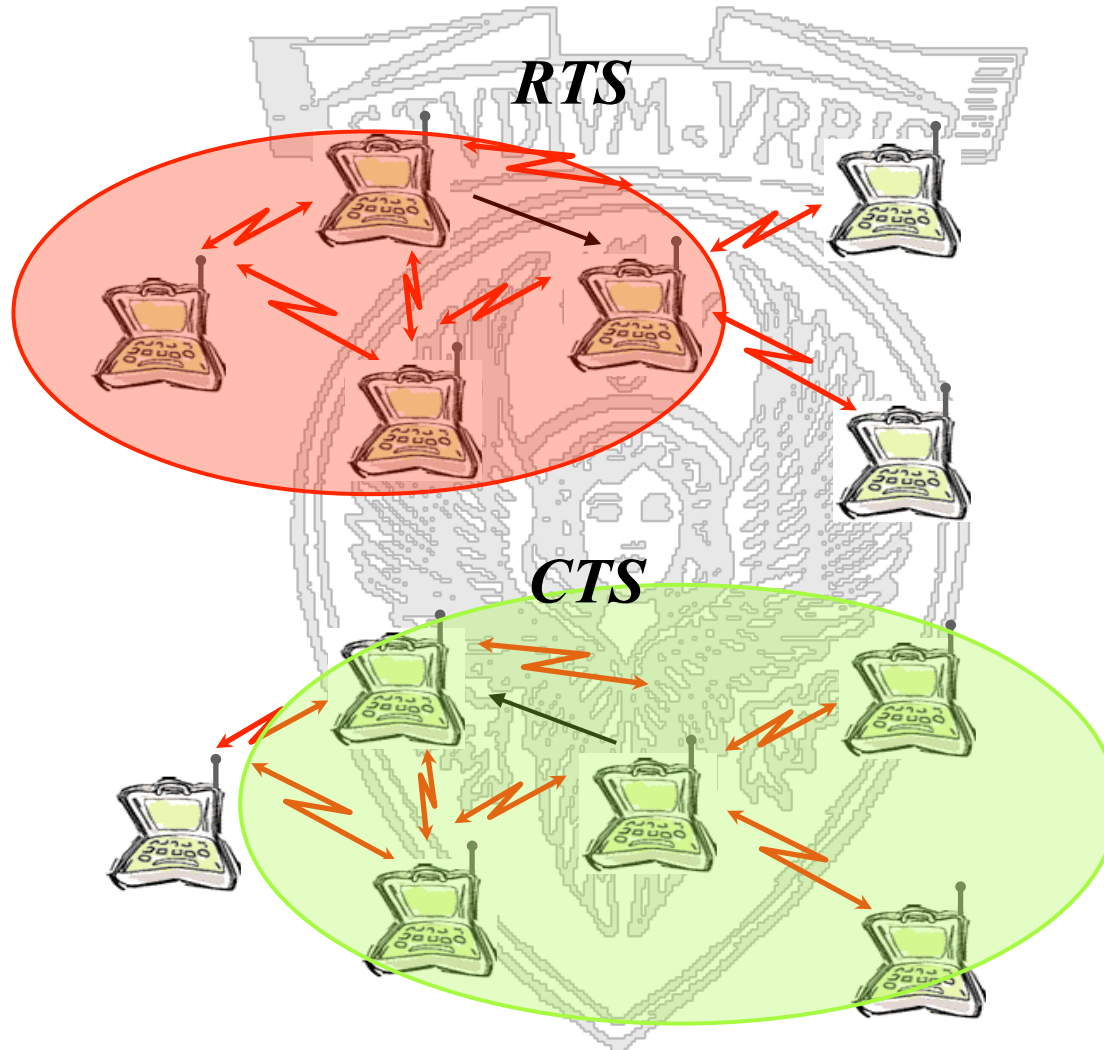


- Basato sul CSMA/CA
- Prima di trasmettere un frame una stazione fa il sensing del canale
- Se il canale e' libero per un intervallo superiore al Distributed InterFrame Space (DIFS) la stazione trasmette
- Altrimenti (canale gia' occupato) si aspetta la fine della trasmissione corrente + un intervallo casuale detto *backoff timer*.
  - Il backoff timer viene decrementato solo quando il canale e' idle e viene congelato quando invece il canale e' occupato (e' riattivato quando il canale e' libero per un DIFS) **DOMANDA:PERCHE'?**
  - La stazione trasmette quando il backoff timer raggiunge il valore zero.
  - Il valore del backoff timer e' scelto casualmente all'interno di una finestra di CW slots. Al primo tentativo CW e' settato al valore minimo previsto da standard settato a 16.
- Come fa la MS trasmittente a sapere se il frame e' stato ricevuto con successo (collisioni si possono verificare per trasmissioni simultanee o per effetto del terminale nascosto)? Viene inviato dal ricevente un ACK esplicito alla fine della corretta ricezione del frame, dopo aver atteso per un tempo pari allo Short InterFrame Space (SIFS), SIFS < DIFS
- Nel caso di collisione si aspetta un tempo random e si prova a ritrasmettere → backoff esponenziale (CW viene raddoppiata ad ogni ritrasmissione fino ad un massimo di 1024 slots)



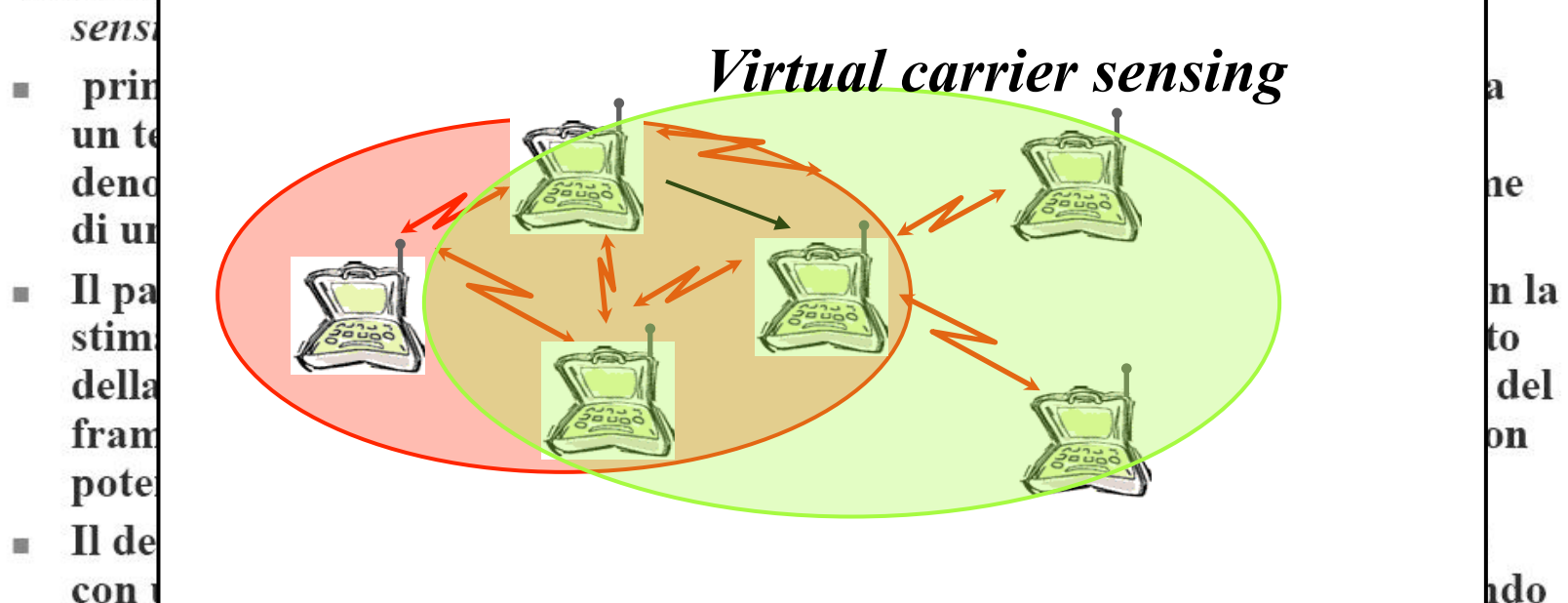
- Per alleviare gli effetti sulle prestazioni del fenomeno del terminale nascosto il DCF puo' usare un meccanismo di *virtual carrier sensing*
- prima di trasmettere un frame una stazione fa il sensing del canale, aspetta un tempo DIFS e se possibile trasmette un pacchetto (corto) di controllo denominato RTS (Request to Send), annunciando che trasmettera' un frame di una certa lunghezza a quella destinazione
- Il pacchetto RTS contiene un campo NAV (Network Allocation Vector) con la stima esatta del tempo necessario dalla ricezione dell'RTS al completamento della trasmissione dell'ACK relativo alla conferma della corretta ricezione del frame → ricevendo l'RTS tutte le stazioni vicine al trasmittente fanno di non poter usare il canale per questo tempo
- Il destinatario risponde se riceve correttamente l'RTS ed il canale e' libero con un CTS (Clear to Send), che a sua volta contiene un campo NAV, dicendo 'OK, ricevero' il tuo messaggio' → tutti i vicini della destinazione sapranno che il canale e' occupato, per quanto tempo e si astengono dal tramettere in tale tempo
- Quale il vantaggio del meccanismo RTS/CTS? Che problemi risolve? Che problemi (se puo') crea?







- Per alleviare gli effetti sulle prestazioni del fenomeno del terminale nascosto il DCF può usare un meccanismo di *virtual carrier sensing*



- Il vantaggio del meccanismo RTS/CTS? Che problemi risolve? Che problemi (se può) crea?