TinyOS & nesC Introduzione alla programmazione di WSN

Claudio Vairo

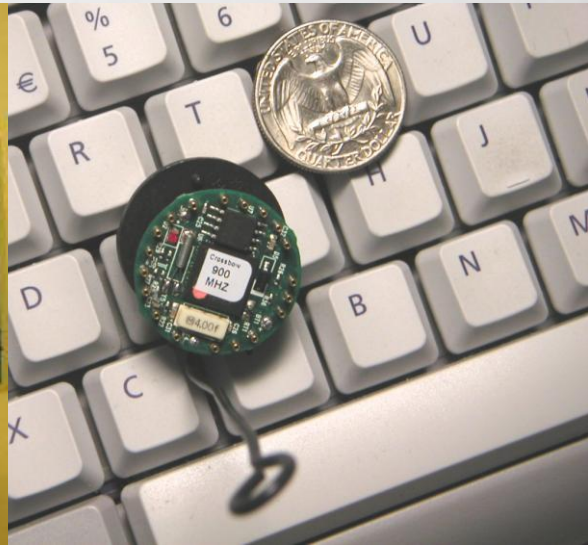
Reti mobili: reti ad hoc e di sensori

A.A. 2011-2012

claudio.vairo@isti.cnr.it

Sensori

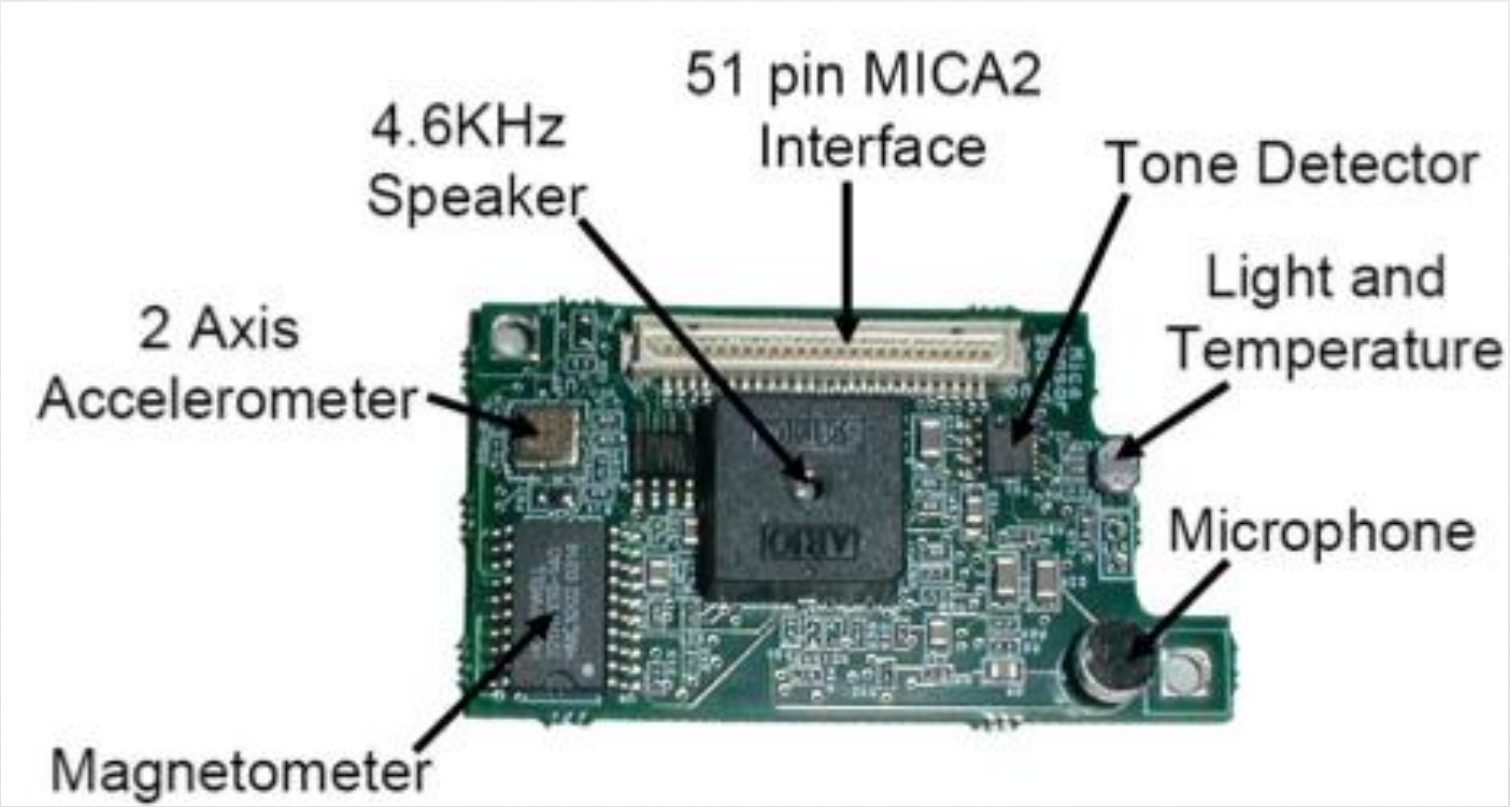
- Piccoli dispositivi multi-funzionali con capacità di calcolo, risorse ed energia limitati.
- Diverse misure, ma in genere piccoli



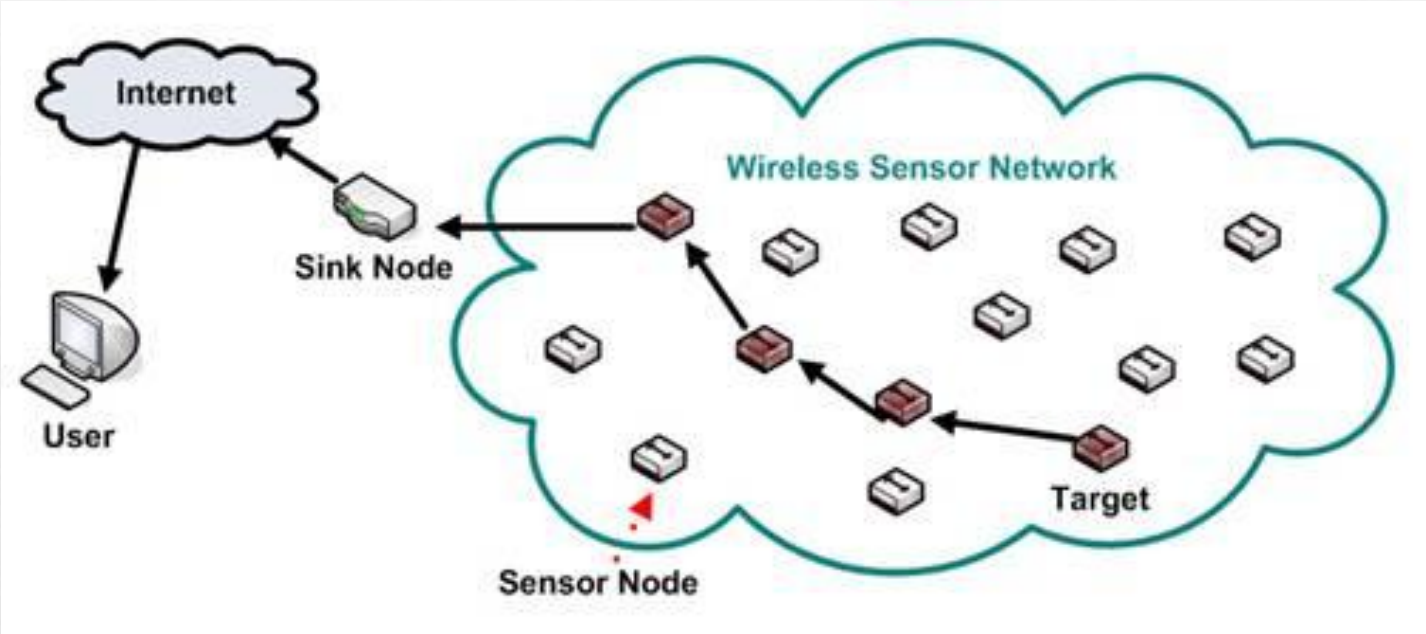
Micro-Controllore

- Processore: 8-bit, 8MHz
- Memoria RAM: 8-10KB
- Memoria Flash (per il codice): 48-128KB
- Memoria Flash (per storage): 1MB
- Interfaccia radio Wireless: 2.4GHz, 802.15.4 compliant, 250Kbps data rate
- Alimentati con 2 batterie AA
- 3 Leds

Sensor Board

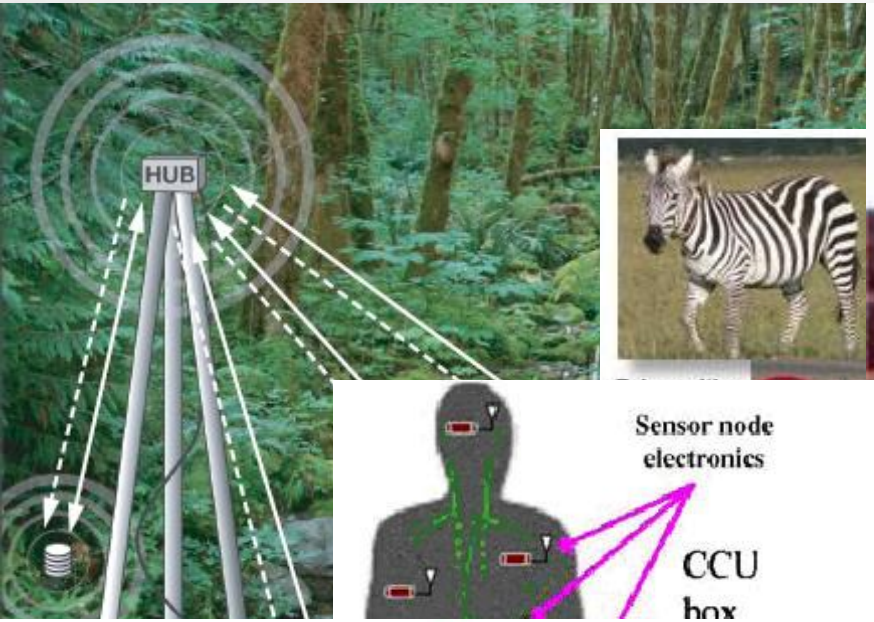


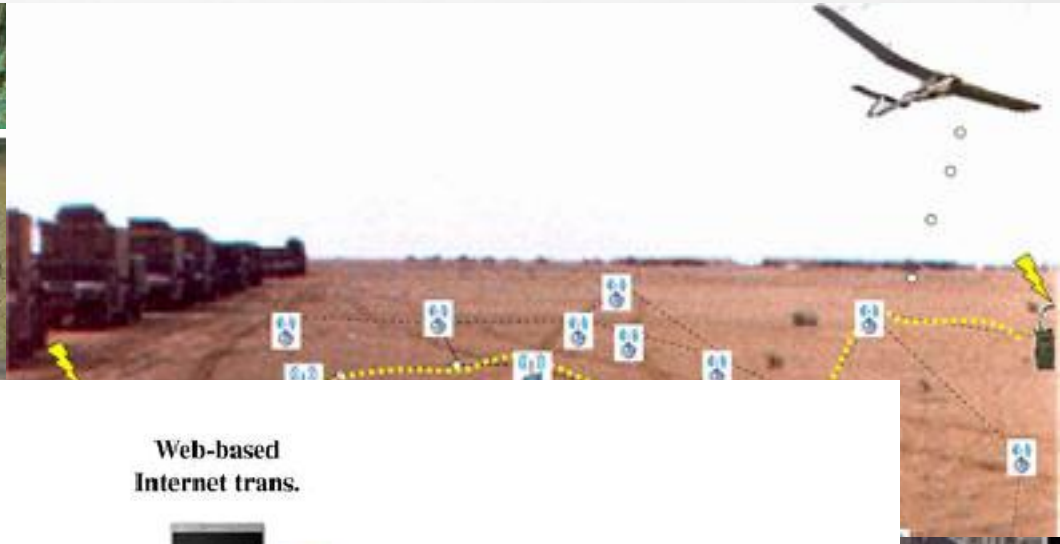
Wireless Sensor Networks

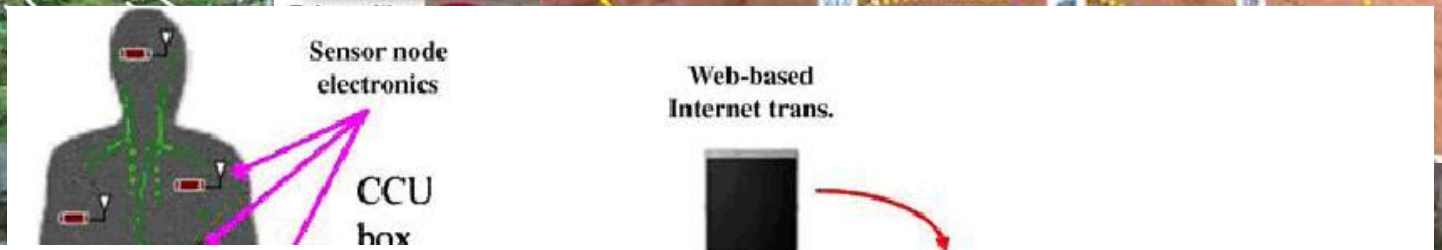


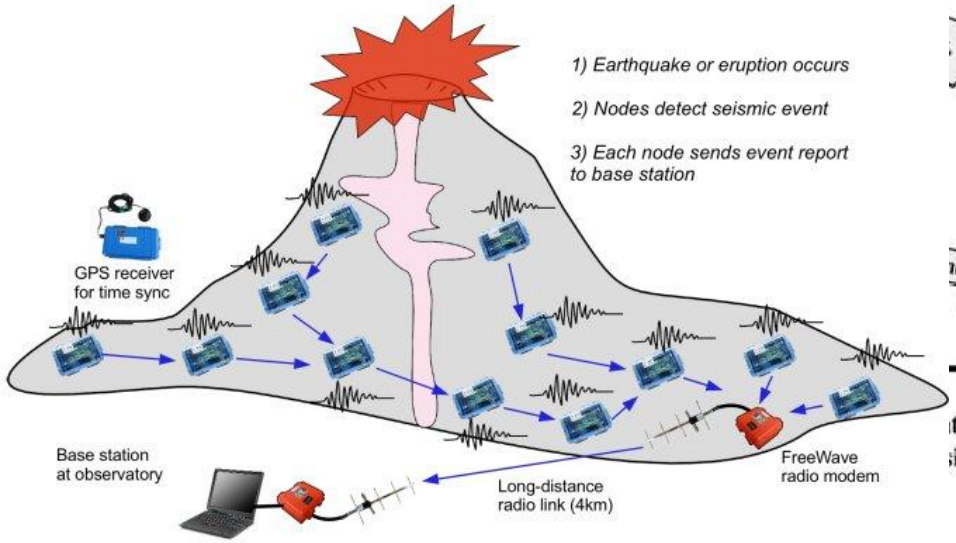
- Tanti nodi sensore
- Monitorizzano l'ambiente circostante
- Acquisiscono dati dall'ambiente
- Communicano e interagiscono tra di loro tramite interfaccia radio
- Inviano i dati acquisiti all'utente tramite un nodo speciale chiamato *sink*

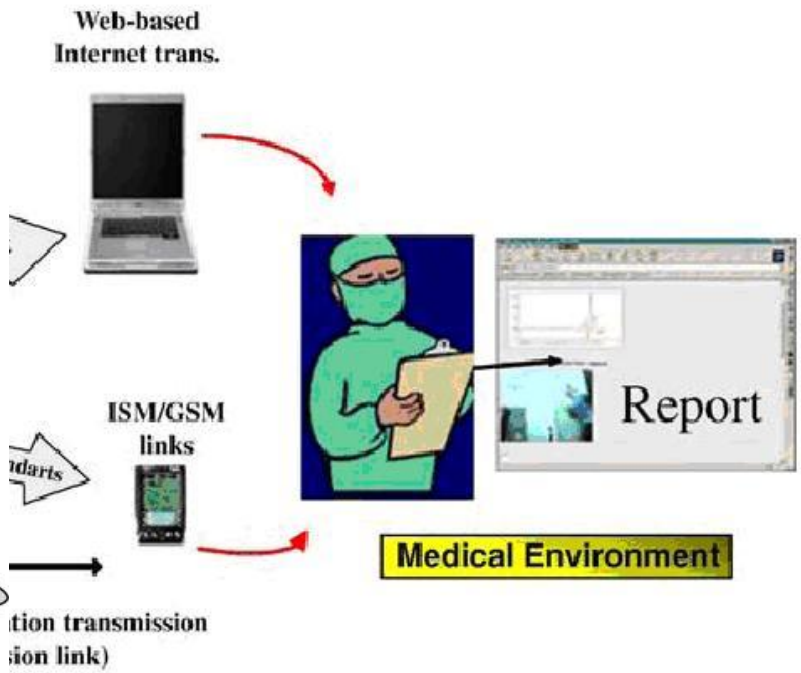
Applicazioni

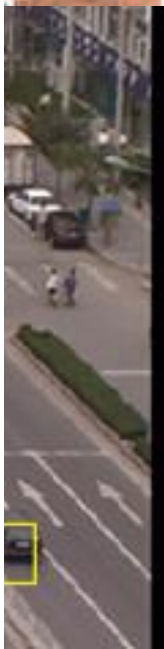












TinyOS

- Un sistema operativo opensource minimale progettato per reti di sensori wireless
- Architettura a componenti basata su nesC per minimizzare l'uso di memoria
- Modello di esecuzione ad eventi, che fornisce buon controllo dell'energia e dello scheduling
- Astrazione dal hardware

nesC

- Estensione del linguaggio C
- Paradigma orientato a eventi
- Linguaggio orientato ai componenti
  - Composizione tramite interfacce bi-direzionali
  - Wiring dei componenti
- Allocazione statica della memoria
  - Linking statico dei componenti
  - Viateta `malloc` e ricorsione
- Controllo statico della concorrenza
  - Task e eventi

TinyOS - Installazione

- Disponibile su tutte le piattaforme
  - Windows installation using cygwin
  - Debian installation using apt-get
  - Snow Leopard installation using Mac Ports
- Configurare le variabili d'ambiente
  - aggiungere "`source /opt/tinyos-2.1.1/tinyos.sh`" in `.bashrc` o `.profile`
- Assicurarsi che il file `/opt/tinyos-2.x/support/sdk/java/tinyos.jar` sia nel `CLASSPATH`

TinyOS - Applicazione

- TinyOS permette l'esecuzione di una sola applicazione
- Insieme di componenti legati tra loro tramite interfacce
- File di configurazione che gestisce il wiring
- Un unico codice statico viene generato grazie al binding fornito dal wiring

Interfacce

- Punto di accesso per interazione tra componenti
- Bi-direzionali
- Definiscono *comandi* ed *eventi*
  - **Comandi –** Specificano una funzionalità offerta
    - Implementati dai componenti
    - Usati da altri componenti per invocare azioni sul componente (down-call)
  - **Eventi –** Notificano il verificarsi di un evento
    - Generati dai componenti
    - Devono essere gestiti da chi usa il componente (up-call)

Interfacce (2)

- Possono essere *usate* o *fornite* dai componenti
  - Il componente che *usa* l'interfaccia **può** *invocare* comandi e **deve** implementare il gestore degli eventi per ognuno degli eventi definiti nell'interfaccia
  - Il componente che *fornisce* l'interfaccia **deve** implementare tutti i comandi definiti nell'interfaccia e **può** *segnalare* l'occorrenza degli eventi

Componenti

- Unità software dotata di un proprio stato e che svolge un determinato compito
- **Moduli**
  - Definisce le interfacce usate e/o fornite dal componente
  - Contiene l'implementazione del componente
    - Gestore di tutti gli eventi definiti nelle interfacce *usate*
    - Implementazione di tutti i comandi definiti nelle interfacce *fornite*
    - Codice interno del componente: variabili, funzioni, ecc…
- **Configurazioni**
  - Una configurazione per ogni modulo
  - Dichiara i componenti usati dal modulo
  - Definisce il wiring: collega le interfacce usate dal modulo con quelle fornite da altri componenti

Esempio: Blink

- Configurazione: `BlinkAppC.nc`
- Modulo: `BlinkC.nc`
- Makefile: `Makefile`
  - Nel makefile specificare il nome del componente di **configurazione** dell'applicazione (in questo caso `COMPONENT=BlinkAppC`)
- Compilare con "`make <platform>`"
  - Per esempio `make iris`

Esempio: Blink (2)

- In output abbiamo occupazione in RAM e occupazione della flash per il programma
  - Attenzione a non sforare!!!
- Il risultato della compilazione è un file binario (`build/iris/main.exe`) che include TinyOS e tutti i componenti dell'applicazione
- Flashare il binario con:
  - `make iris reinstall.ID_NODO mib510,SERIAL_PORT`
  - `make telosb reinstall.ID_NODO bsl,SERIAL_PORT`
  - `ID_NODO` è l'indirizzo assegnato al sensore, `SERIAL_PORT` è la porta serial a cui è collegato il sensore

Wiring di componenti

- Tramite l'operatore '`->`'
  - La parte a sinistra specifica il componente che *usa* l'interfaccia
  - La parte destra specifica il componente che *fornisce* l'interfaccia
- Esempio nel Blink:
  - `BlinkC.Boot -> MainC.Boot`
  - L'interfaccia `Boot` *usata* nel modulo `BlinkC` viene *fornita* dal componente `MainC`

Sensing

- Nel componente modulo *usare* l'interfaccia generica `Read`
  - `uses interface Read<uint16_t> as Light;`
- Interfaccia `Read<val_t>`
  - `command error_t read();`
  - `event void readDone(error_t result, val_t val);`
- Nel componente configurazione istanziare il componente che *fornisce* il driver relativo al trasduttore che si vuole leggere e fare il wiring corrispondente
  - `components new SensorMts300C() as Light;`
  - `LocalSenseC.Light -> Light.Light;`
- Nel componente modulo *invocare* la `read()` e aspettare le notifica della `readDone()`

Split-Phase

- Tecnica che realizza una forma comunicazione asincrona tra componenti
- Usata per eseguire operazioni bloccanti o di lunga durata
- Dividere l'operazione in due fasi
  - Invocazione (comando che termina subito)
    - `call Light.read();`
  - Restituzione del risultato (notifica di un evento)
    - `event void Light.readDone(error_t result, uint16_t val){}`
- Non blocca il sistema

Esempio: LocalSense

- Legge il valore di luce ogni 500 millisecondi
- Se il valore letto è superiore a una data soglia “switcha” lo stato dei led

Componenti Generic

- I componenti di default in TinyOS sono singleton
  - Una sola istanza per tutta l'applicazione
- Necessità di più istanze di uno stesso componente
  - Timer, Read
- Generic Component
  - Possono essere istanziati più volte (con `new`)
  - Importante definire l'alias!

Concorrenza

- Gli eventi sono asincroni e prerilasciabili
  - Esempio: ricezione di messaggi temporalmente vicini tra loro
- Come si gestisce la concorrenza?

- Si usano i **Task** e gli **atomic** statement

Task

- Ogni task è garantito essere atomico rispetto agli altri task
  - Politica di tipo **run-to-completion**
- Usati per lunghe computazioni
- Hanno scope di componente
- Sono funzioni void senza parametri
  - Va usato il contesto per “passare i parametri”
- Implmentati tramite una coda con politica FIFO
- Un thread apposito gestisce questa coda
- Un task viene “attivato” (inserito in coda) tramite la keyword ***post***

Task (2)

- In TinyOS 1 era permessa una sola istanza di un task in coda **o in esecuzione**
  - Non si poteva postare un task di tipo *t* se un'altra istanza di task dello stesso tipo *t* era già presente nella coda dei task **o era in esecuzione**
    - Un task non poteva postare un'altra istanza di se stesso
- In TinyOS 2 è permessa una sola istanza di un task in coda
  - Il task in esecuzione può postare un'altra istanza di se stesso
    - Non più di una perchè il controllo sulla coda rimane

Modello di esecuzione di nesC

- **EventX**: un thread gestisce gli haldler degli eventi
- **TaskX**: un thread gestisce i task
- EventX ha priorità più alta di TaskX:
  - Il TaskX può essere deschedulato dal EventX, ma non dal TaskX
  - Il EventX può essere deschedulato da altri eventi

Cosa si fa in pratica

- Gli eventi sono più corti possibile
  - Preparano l’”ambiente” e postano il task
- Il task esegue la computazione “lunga”
  - Eventualmente posta un’altra istanza di se stesso se la computazione va spezzettata
- OSSERVAZIONE: l’ambiente è globale
- PROBLEMA:
- Cosa succede se nelle gestione di un evento arriva la notifica di un altro evento che modifica le stesse variabili?

Atomic statement

```
atomic {
      read_variable;
      update_variable;
}
```

- La parte di codice dentro il blocco atomic è garantita essere atomica **anche nei confronti degli eventi**
  - Ne ritardano l'esecuzione
  - Non devono essere lunghe computazioni

Stack di Comunicazione

- **Active Message (AM)** è la tecnologia di comunicazione di TinyOS
  - Comunicazione radio (mote-to-mote)
  - Comunicazione seriale (mote-pc, bidirezionale)
  - Implementa una comunicazione basata sul canale
    - In un canale un solo tipo di messaggio
  - Ogni pacchetto è caratterizzato da un **AM_type** (intero a 8 bit)
  - Indentifica il canale su cui viaggia il messaggio
    - Indirettamente identifica anche i componenti per l'invio e la ricezione

message_t

```
typedef nx_struct message_t {
      nx_uint8_t header[sizeof(message_header_t)];
      nx_uint8_t data[TOSH_DATA_LENGTH];
      nx_uint8_t footer[sizeof(message_footer_t)];
      nx_uint8_t metadata[sizeof(message_metadata_t)];
} message_t;
```

- La grandezza di default del campo data è 28 bytes
  - Si può aumentare, ma aumenta anche il rischio di collisioni poichè la radio è occupata per più tempo
- Per accedere ai campi di `message_t` si devono usare apposite interfacce

Interfacce

- Si usano le interfacce:
  - `AMSend, Reciever, AMPacket, Packet e SplitControl`
  - `AMSend`: per l'invio
  - `Receiver`: per la ricezione
  - `AMPacket`: set e get di informazioni sul messaggio
    - Sorgente e destinazione, AM_type, etc..
  - `Packet`: accesso al payload del messaggio
  - `SplitControl`: accende/spegne l'interfaccia di comunicazione
- Tutte queste funzionano indifferentemente sia per la radio che per la seriale
  - Sta al wiring decidere a quale interfaccia di comunicazione legarle

Componenti

- I componenti che forniscono le interfacce necessarie sono:
  - `AMSenderC()`, `AMReceiverC()`, `ActiveMessageC` e i corrispettivi per la seriale -> stesso nome ma con `serial` davanti
- I componenti `AMSenderC()` e `AMReceiverC()` vanno istanziati uno per ogni tipo di messaggio da inviare/ricevere e parametrizzati con l'AM_type corrispondente
  - In questo modo si ottiene anche il dispatch automatico dei messaggi

```
components new AMReceiverC(AM_LIGHT_MSG) as
LightReceive;

event message_t* LightReceive.receive(message_t*
msg, void* payload, uint8_t len) {}
```

Messaggi

- Per ogni tipo di messaggio va definita una struct dati di tipo `nx_struct` con tutti i campi `nx_*`
  - `nx_` identifica un external type che usa una rappresentazione platform-independent
  - Usati per le comunicazioni tra dispositivi
- Il nome della struct deve essere: `<nome-messaggio>msg`
- Bisogna definire l'AM_type corrispondente
  - Da usare poi come parametro dell'interfacce per inviare/ricevere quel tipo di messaggio
  - Dev'essere: `AM_<nome-messaggio>_MSG`