

Green IoT: Design e valutazione delle prestazioni di protocolli per sistemi IoT dotati di wake up radio



Leonardo Emili

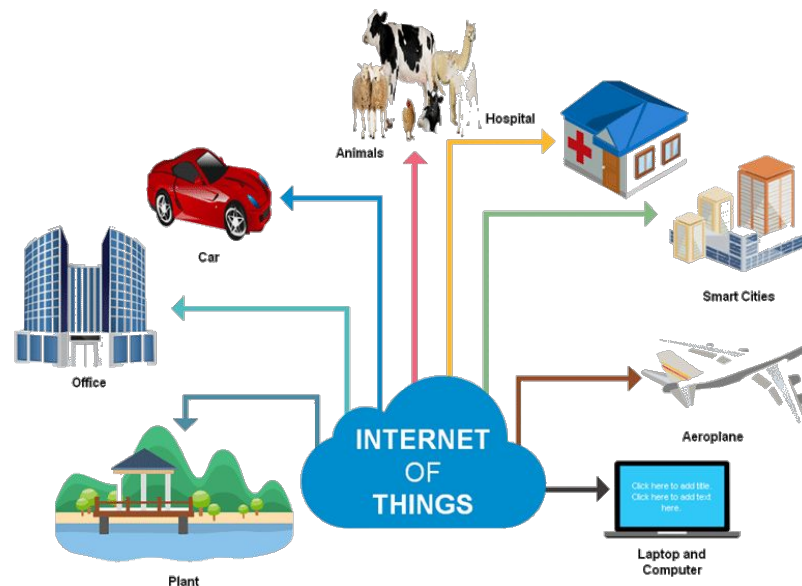
Dipartimento di Informatica
Sapienza Università di Roma

Luglio 2020

Presentazione dello scenario

Presentazione dello scenario

- Nel 2019 il settore dell'**Internet of Things (IoT)** conta 42.1B di dispositivi connessi. Si stima di raggiungere i 50B per la fine del 2020.
- Dispositivi IoT impiegati in un vasto insieme di **contesti**.
- Svolgono compiti relativi alle **specifiche** esigenze.



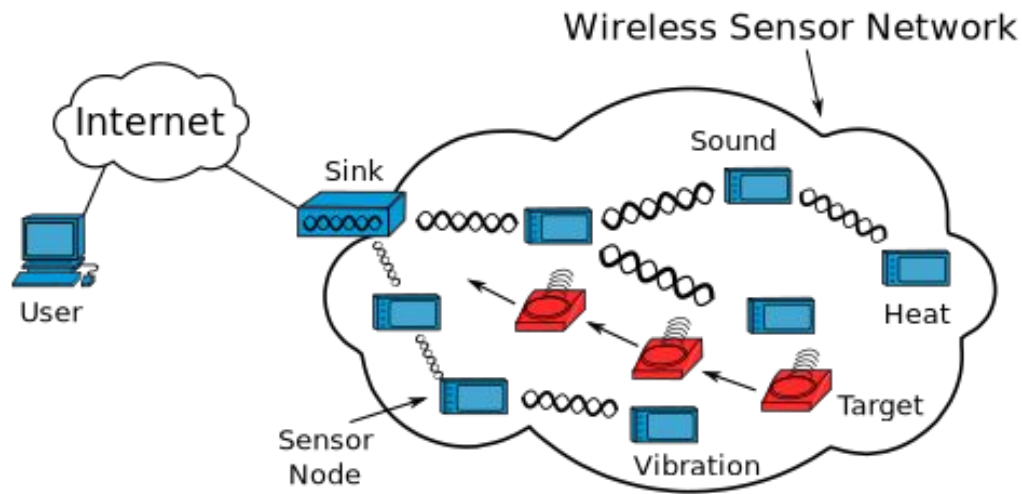
M. Burhan, R. A. Rehman, B. Kim, and B. Khan. "IoT Elements, Layered Architectures and Security Issues: A Comprehensive Survey".

Presentazione dello scenario: le reti di nodi sensori

- Le **Wireless Sensor Network (WSN)** sono tipicamente costituite da diversi dispositivi a basso costo e consumo energetico: i nodi sensori.
- Realizzano la comunicazione verso il **sink node** mediante protocolli di rete **multi-hop**.
- Obiettivo di estendere la **lifetime** dell'intera rete: ad oggi raggiunte lifetime di diversi decenni rispetto ai pochi mesi precedentemente forniti.

D. Spenza, M. Magno, S. Basagni, and L. Benini. "Beyond Duty Cycling: Wake-up Radio with Selective Awakenings for Long-lived Wireless Sensing Systems" in *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*. Kowloon, Hong Kong, April 26-May 1 2015.

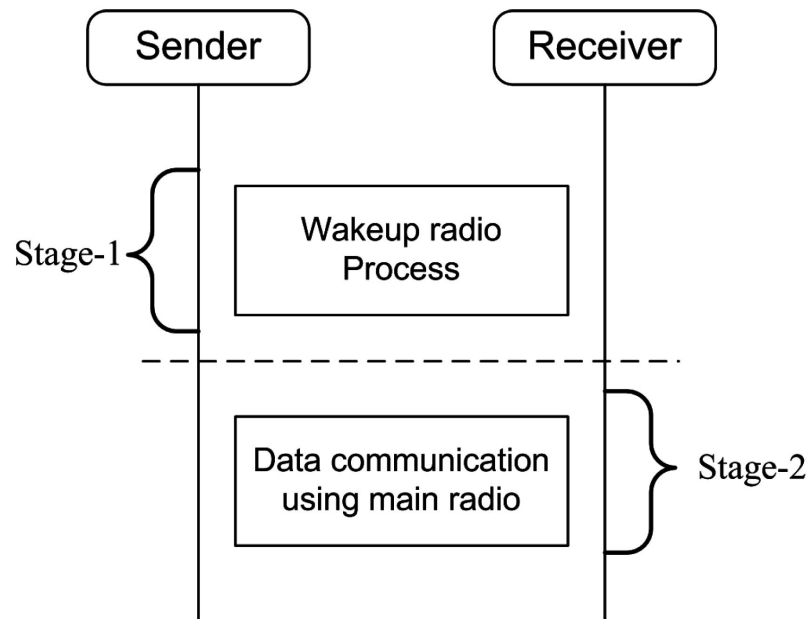
Presentazione dello scenario: struttura delle WSN



Grafica illustrativa della struttura di una WSN.
(en.wikipedia.org)

Presentazione dello scenario: Green WSN

- I principali consumi energetici delle rete sono dovuti alla **comunicazione tra nodi** e all'**idle listening**.
- Precedente utilizzo di una tecnica per ridurre i consumi energetici: **duty cycling**.
- Presentato il meccanismo delle **wake up radio** per risolvere i problemi del precedente approccio.
- Ulteriormente migliorato grazie all'introduzione di **semantic addressing** e moduli dedicati per l'**energy harvesting**.



Grafica illustrativa della procedura di wake up.
(mdp.com)

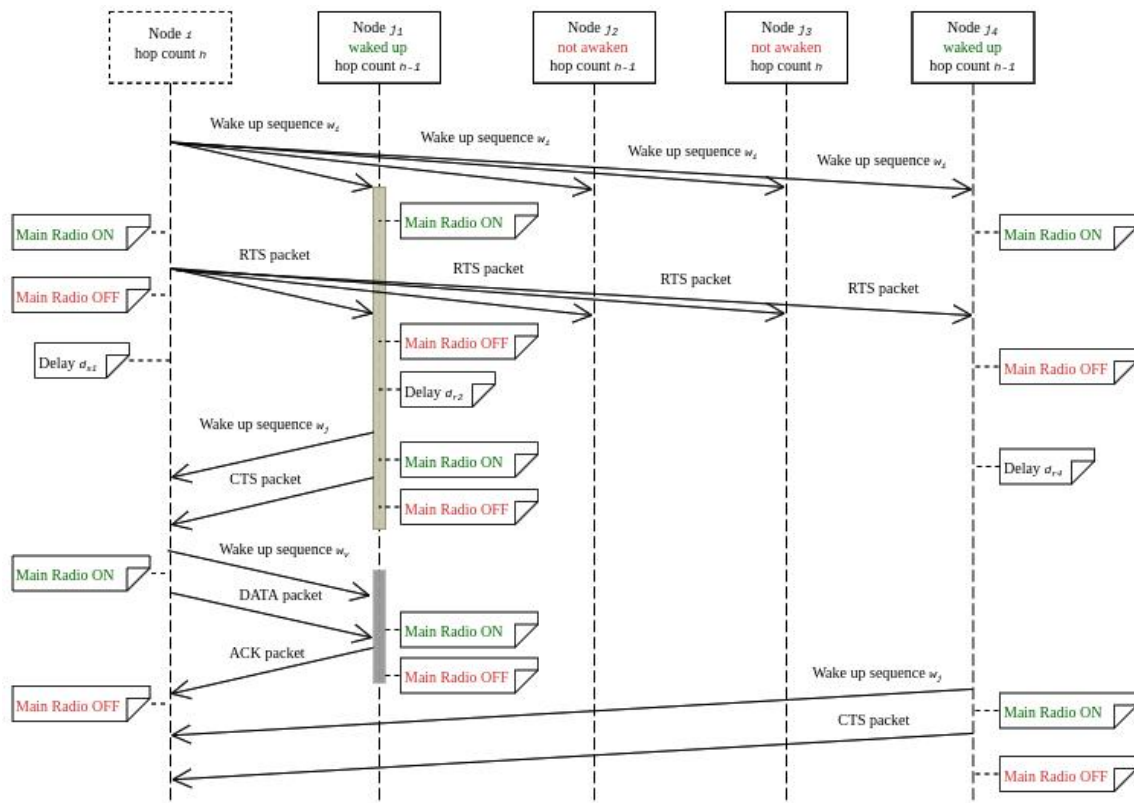
Il protocollo GREEN-WUP

Il protocollo GREEN-WUP: descrizione algoritmica (parte 1)

- Il protocollo di rete GREEN-WUP è un protocollo del tipo **converge-casting** basato su **hop-count** abilitato alle tecnologie di wake up radio e energy harvesting.
- In GREEN-WUP ciascun nodo è dotato di una coppia di indirizzi di wake up: il primo identifica **staticamente** il nodo all'interno della rete, mentre il secondo indirizzo è **dinamico** e riflette il suo stato energetico corrente.
- Il protocollo si pone l'obiettivo di minimizzare i consumi energetici realizzando la comunicazione mediante la scelta di nodi intermedi (**relay node**) sulla base della loro disponibilità energetica.

C. Petrioli, D. Spenza, P. Tommasino, and A. Trifiletti. "A Novel Wake-Up Receiver with Addressing Capability for Wireless Sensor Nodes". In: *2014 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*. Marina Del Rey, CA, USA, May 26-28 2014.

Il protocollo GREEN-WUP: descrizione algoritmica (parte 2)



Il protocollo GREEN-WUP: le problematiche emerse

- L'implementazione originale del protocollo GREEN-WUP utilizza jitter puramente **randomici**.
- L'aspetto semantico degli indirizzi di wake up considera il solo **stato energetico** del nodo.
- Può verificarsi uno **spreco energetico** considerevole durante la fase di relay selection se vengono coinvolti diversi nodi.

La variante proposta

La variante proposta: le modifiche applicate (parte 1)

- Si propone una nuova formulazione del **jitter** δ del nodo j , definita come:

$$\delta = (1 - e_j) \cdot k \cdot \delta_M + b_j \cdot l \cdot \delta_M + \delta_r$$

- Si codifica lo **stato del buffer di ricezione** all'interno dell'indirizzo di wake up semantico.
- Nella variante proposta i nodi utilizzano **energy predictor** durante la fase di relay selection per decidere se attivare o meno la radio principale (RX) a seguito della ricezione di un messaggio di wake up.

La variante proposta: le modifiche applicate (parte 2)

Algoritmo 4 Receiver nella variante

Require: $s + p = 1$, the node detects a wake up signal $address_{RTS}$

$r \leftarrow$ random value in $[0, maxEnergy]$

if $r < predictEnergy(t)$ **then**

activate the main radio and wait for some time δ_{RTS}

if RTS packet is received within δ_{RTS} **then**

$\delta_W \leftarrow$ random value in $[0, maxJitter)$

$\delta_E \leftarrow (maxJitter - \delta_W) \cdot s \cdot (1 - energyRatio)$

$\delta_B \leftarrow (maxJitter - \delta_W) \cdot p \cdot bufferState$

$\delta_{JITTER} \leftarrow \delta_W + \delta_E + \delta_B$

wait for δ_{JITTER} and then send a wake up signal using the address contained inside the RTS packet

$ctsPkt \leftarrow createCTS(self)$

send $ctsPkt$ and wait for some time δ_{DATA}

if DATA packet is received within δ_{DATA} **then**

send an acknowledgement packet to the sender

end if

end if

process buffered packets if there are any, otherwise go back to sleep

end if

Valutazione delle prestazioni

Valutazione delle prestazioni: scenario

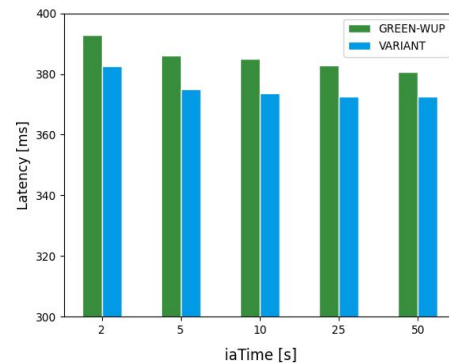
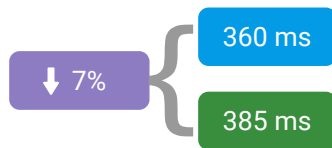
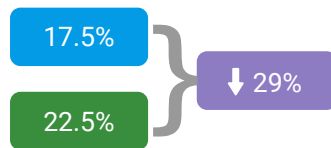
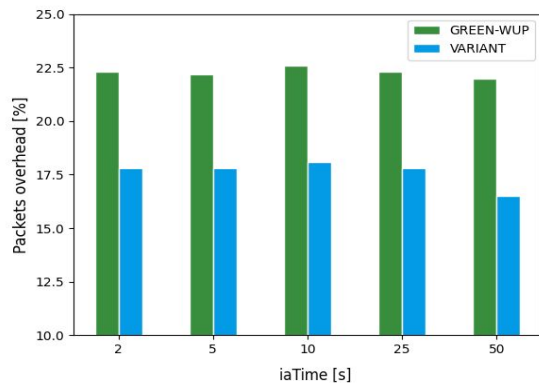
- Simulazioni eseguite mediante una versione del simulatore **GreenCastalia**.
- $N = 140$; Griglia $100 \times 100 \text{ m}^2$.
- $R_m = 60\text{m}$; $R_w = 25\text{m}$.
- Modello energetico: **MagoNode++**.



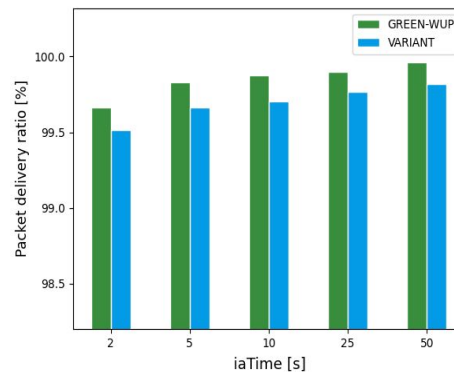
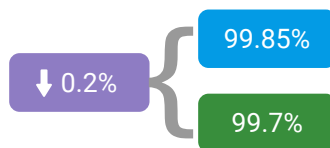
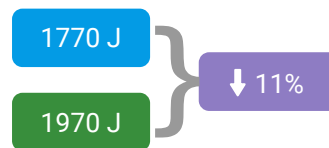
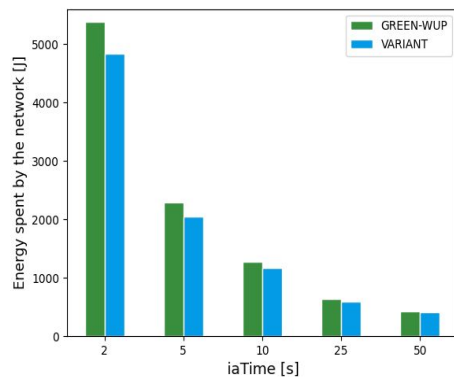
D. Benedetti, C. Petrioli, D. Spenza. "GreenCastalia: An Energy-Harvesting-Enabled Framework for the Castalia Simulator". In: Proceeding of the ACM 1st International Workshop on Energy Neutral Sensing Systems, ACM ENSSys 2013. Rome, Italy, November 11-14 2013.

M. Paoli, D. Spenza, C. Petrioli, M. Magno, and L. Benini. "MagoNode++: A Wake-Up-Radio-Enabled Wireless Sensor Mote for Energy-Neutral Applications". In: 2016 15th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). Vienna, Austria, April 11-14 2016.

Valutazione delle prestazioni: risultati (parte 1)

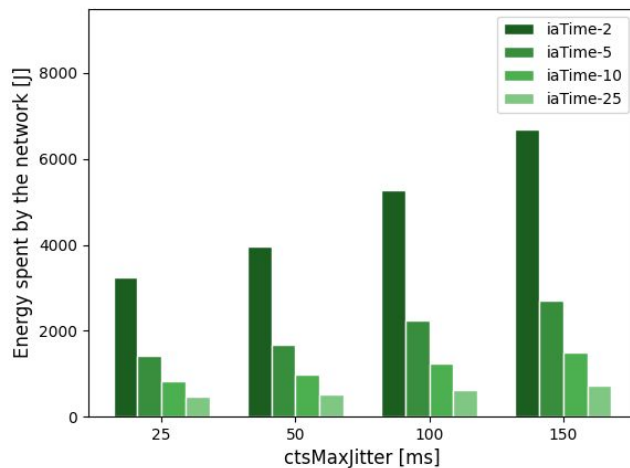
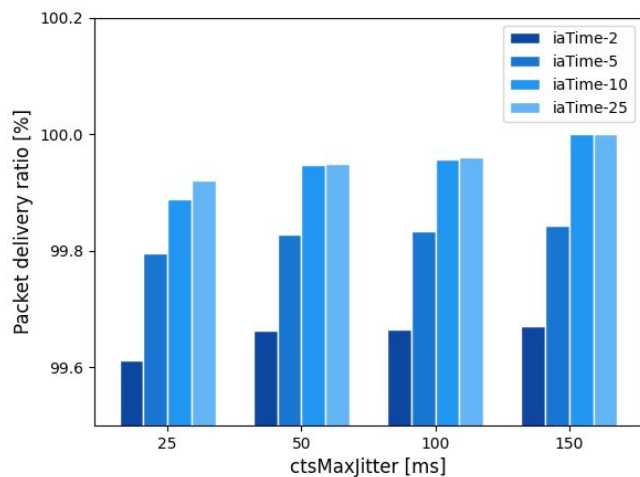


Valutazione delle prestazioni: risultati (parte 2)



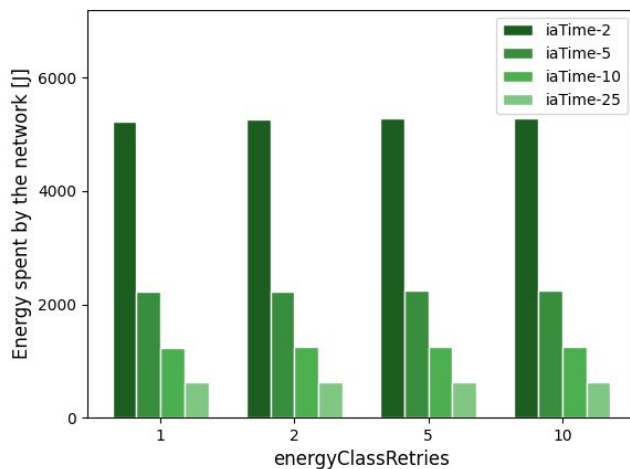
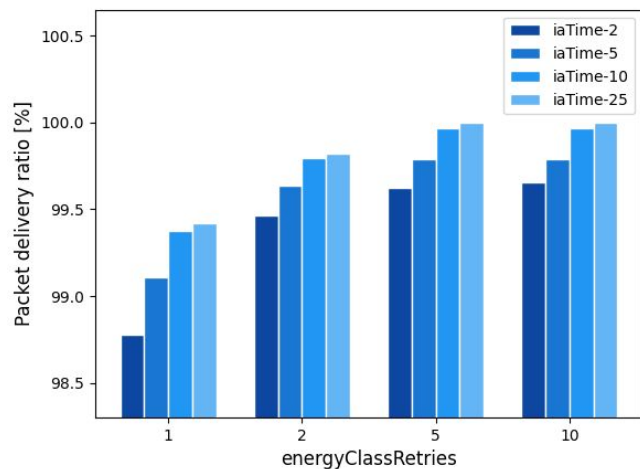
Ottimizzazione dei parametri

Ottimizzazione dei parametri: massimo valore di jitter



Prestazioni della rete al variare del valore di *ctsMaxJitter*.

Ottimizzazione dei parametri: tentativi per classe energetica



Prestazioni della rete al variare del valore di *energyClassRetries*.

Sviluppi futuri

Sviluppi futuri

- Valutare le prestazioni del protocollo introducendo nuove modifiche.
- Sperimentare nuove condizioni di traffico o dello stato della rete.
- Valutare le nuove varianti sviluppate mediante un testbed in ambiente reale (es. *SENSES Lab*).

Grazie