

# Lighting control with Distributed Wireless Sensing and Actuation for daylight and occupancy Adaptation

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione

Andrea Peruffo

6 Luglio 2015



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



## Sense and Simplicity

- innovazione nelle aree di *Healthcare*, *Consumer Lifestyle* e *Lighting*
- dipartimento *Lighting Control Systems*
- supervisione del Senior Scientist Ashish Pandharipande

## High Tech Campus

- 125+ aziende e istituti
- circa 10.000 ricercatori
- 40% di brevetti olandesi





### Setup

Si consideri un sistema in cui ogni luminaria possiede:

- Un sensore di presenza;
- Un sensore di illuminamento;
- Una luce LED con illuminazione regolabile;
- Un modulo di comunicazione wireless.

### Obiettivo

- L'obiettivo di controllo è raggiungere un livello di illuminamento soddisfacente *al piano di lavoro* mentre si hanno informazioni solo *al soffitto*.

### Precedenti Lavori

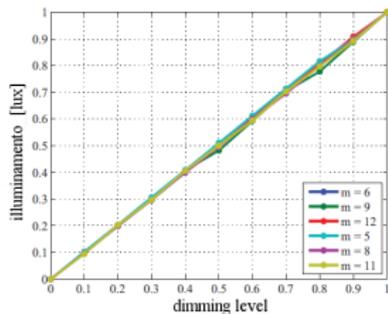
Risoluzione con algoritmo decentralizzato su rete in cui la comunicazione è assunta perfetta.

### Obiettivo della Tesi

- Wireless
- Distribuito
- Comunicazioni locali
- Variazione di presenze nella stanza e luce solare

### Contributo originale

- Passaggio da comunicazione perfetta ad imperfetta
- Metodi di stima per i messaggi persi e di diminuzione del traffico della rete



### Modello Analitico

- $M$  luminarie, regolabili tramite *dimming level*  $u_i(t) \in [0, 1]$
- $N$  postazioni di lavoro
- $y_m(t)$  il valore di illuminamento dell' $m$ -esimo sensore

A tempo continuo

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \mathbf{d}(t)$$

A tempo discreto  $\rightarrow$  campionamento asincrono

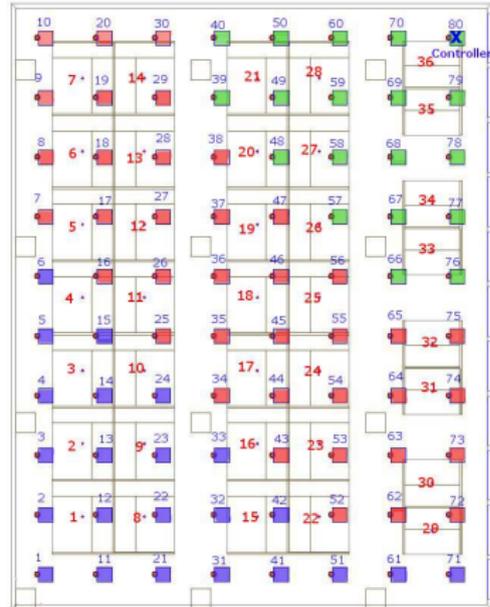
$$\hat{\mathbf{y}}(k) = (\hat{\mathbf{G}}_d + \hat{\mathbf{G}}_u)\mathbf{u}(k-1) + \hat{\mathbf{G}}_l\mathbf{u}(k) + \mathbf{d}(k)$$

### Wireless

- 80 luminarie, 36 postazioni
- Controllore in angolo
- Rete Mesh (Multi Hop)
- ZigBee (IEEE 802.15.4)

### Multi Hop

- 19 nodi in un hop
- 38 nodi in due hops
- 23 nodi in tre hops
- 13 nodi ponte totali



### Controllo PI

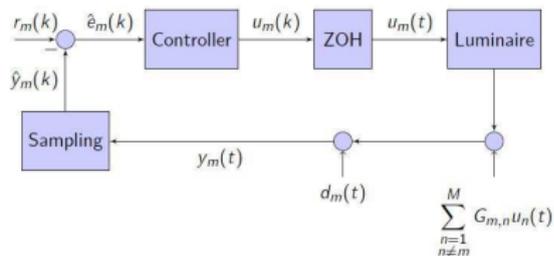
$u_m(k) = \alpha_m u_m(k-1) + \beta_m e(k) + \zeta_m$   
con parametri dipendenti dalla luminaria

### Prestazioni Insoddisfacenti

Dopo 20 secondi, solo nel 70% delle simulazioni le postazioni raggiungono l'illuminamento di riferimento

### Problemi di Comunicazione

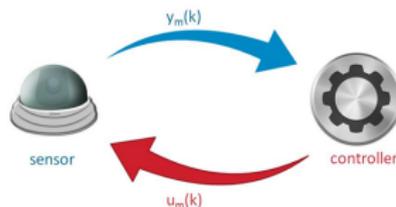
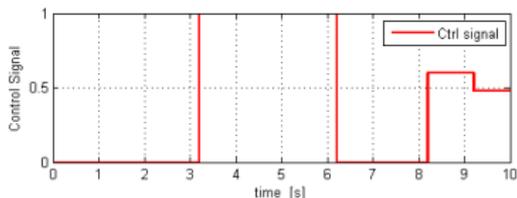
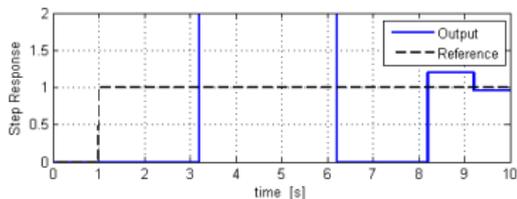
Il controllore di riferimento è creato per una rete dalla comunicazione perfetta, non tiene conto di possibili pacchetti persi!



### Ritardi e Saturazione

Due tipi di messaggi persi:

- *Messaggi del sensore* che causano ritardo
- *Messaggi di controllo* che portano a saturare il segnale





## Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

## Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

### 1. Stima Messaggi del Sensore

Sotto hp  $\hat{d}_m(k-1) \simeq \hat{d}_m(k)$

$$\check{y}_m(k) = \left[ (\hat{G}_d + \hat{G}_u)\mathbf{u}(k-1) + (\hat{G}_l)\mathbf{u}(k) \right]_m + \hat{d}_m(k-1)$$

### Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

#### 1. Stima Messaggi del Sensore

Sotto hp  $\hat{d}_m(k-1) \simeq \hat{d}_m(k)$

$$\tilde{y}_m(k) = \left[ (\hat{G}_d + \hat{G}_u)\mathbf{u}(k-1) + (\hat{G}_l)\mathbf{u}(k) \right]_m + \hat{d}_m(k-1)$$

#### 2. Perdita Messaggi del Controllore

Se  $|\hat{y}_m(k) - \tilde{y}_m(k)| < \delta \Rightarrow u_m(k-1)$  è stato ricevuto;  
altrimenti  $u_m(k-1) \leftarrow u_m(k-2)$

### Controllo PI

La medesima legge di controllo viene applicata con tre miglioramenti

#### 1. Stima Messaggi del Sensore

Sotto hp  $\hat{d}_m(k-1) \simeq \hat{d}_m(k)$

$$\tilde{y}_m(k) = \left[ (\hat{G}_d + \hat{G}_u)\mathbf{u}(k-1) + (\hat{G}_l)\mathbf{u}(k) \right]_m + \hat{d}_m(k-1)$$

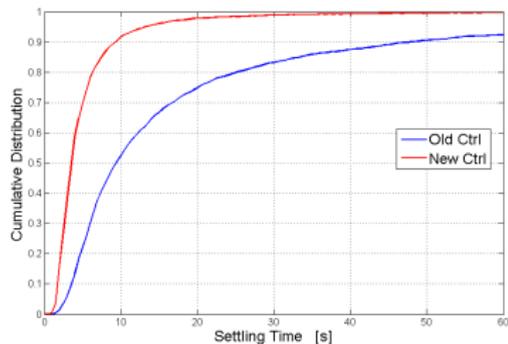
#### 2. Perdita Messaggi del Controllore

Se  $|\hat{y}_m(k) - \tilde{y}_m(k)| < \delta \Rightarrow u_m(k-1)$  è stato ricevuto;  
altrimenti  $u_m(k-1) \leftarrow u_m(k-2)$

#### 3. Riduzione del Traffico

Se  $|u_m(k) - u_m(k-1)| < \varepsilon \Rightarrow$  non inviare  $u_m(k)$

## Settling Time e Percentuale messaggi persi



	Rif.	Prop.
Zone Non assestate dopo 30 s [%]	17	< 1
Messaggi Sensore Non Ricevuti [%]	3	< 1
Varianza [%]	19	4

## Conclusioni

- Controllore di Riferimento perde efficacia in comunicazioni wireless
- Riduzione del traffico e metodi di stima combattono una rete congestionata

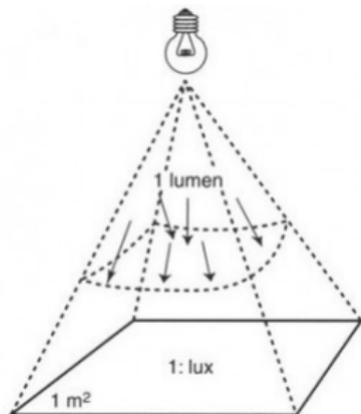
## Sviluppi Futuri

- Controllore MIMO
- Identificazione di un modello per il daylight

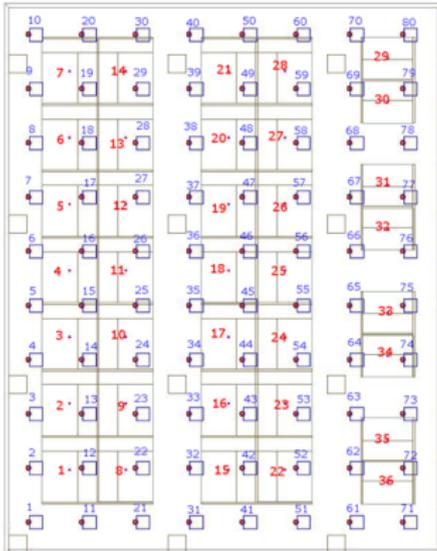
## Reference

- 1 *Lighting control with distributed wireless sensing and actuation for daylight and occupancy adaptation*, A. Peruffo, A. Pandharipande, D. Caicedo, L. Schenato, *Energy and Buildings*, Vol.97, 15 June 2015, p. 13-20.

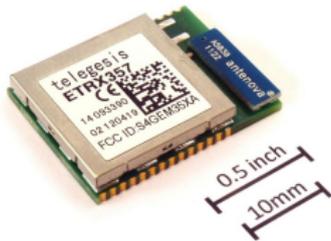
*Grazie per l'attenzione!*



- Illuminamento è grandezza fotometrica
$$E = \frac{\text{flusso lum } \Phi}{\text{area } A} \quad [lux] = \frac{[lumen]}{m^2}$$
- Riferita all'oggetto illuminato e non alla sorgente, max quando la superficie è perpendicolare
- 1 lux = 1 candela a 1 metro di distanza da superficie perpendicolare
- $I = \frac{\text{flusso lum } \Phi}{\text{ang solido } \Omega} \quad [cd] = \frac{[lumen]}{[sterad]}$
- $\Phi$  misura la potenza percepita della luce, dipendente dalla lunghezza d'onda
$$\Phi = \frac{en.lum.Q}{s}$$



- *Night-time calibration*
- Luminarie accese ad una ad una con  $u_m = 1$
- Collezionati i valori rilevati ai sensori
- Costruita G



- Definita dallo standard IEEE 802.15.4
- A basso costo e potenza, nata per le reti PAN
- Opera in bande industriali, scientifiche e medicali a 2.4 GHz
- Chip integrati con microcontrollori