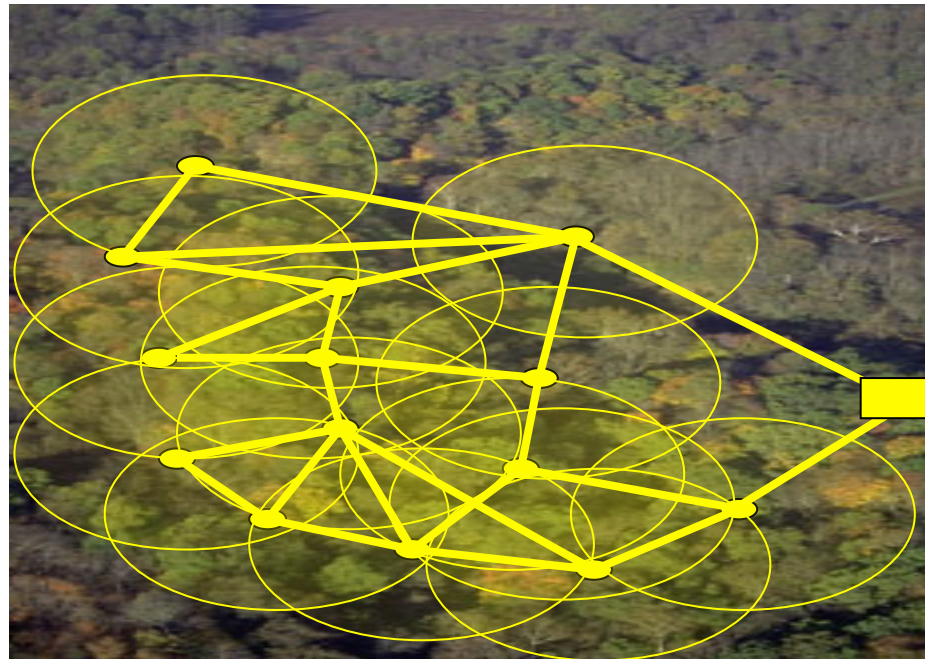


# Progettazione di sistemi di controllo

Introduzione al corso, a.a. 2011-12



**Prof. Luca Schenato**

[schenato@dei.unipd.it](mailto:schenato@dei.unipd.it)

<http://automatica.dei.unipd.it/people/schenato.html>

DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING  
UNIVERSITY OF PADOVA



# Informazioni Generali

---

- **Svolgimento lezioni:**
  - 45min lezione +10min pausa+ 45min lezione. Inizio alle XX:25, termine XX:05
- **Orario di ricevimento:**
  - su appuntamento via email (Ufficio: DEI-A, 3o piano, lato destro uscendo dall'ascensore, tel. 049-827-7925)
- **Sito web del corso:**
  - <http://automatica.dei.unipd.it/people/schenato/teaching/PSC.html>
- **Comunicazioni:**
  - tramite forum del corso su moodle.dei.unipd.it. È necessario iscriversi. Aule Me?
- **Modalità esame:**
  - progetto con relazione scritta e presentazione orale (progetti degli anni precedenti disponibili nel sito)
- **Appelli:**
  - se esame non svolto entro l'anno accademico (Sett. 2012), addizionale prova scritta su contenuti del corso

# Prerequisiti

---

- Teoria dei Sistemi:
  - Algebra lineare, raggiungibilità, controllabilità, Sistemi in spazio di stato
- Analisi dei Dati:
  - Variabili aleatorie gaussiane vettoriali
  - Calcolo di media e varianza di variabili aleatorie gaussiane condizionate
  - Regressione lineare
- Stima e Filtraggio:
  - Sistemi lineari stocastici, processi gaussiani, medie varianze, stima Bayesiana

# Argomenti del corso

"Il tutto è maggiore della somma delle parti" (Aristotele)

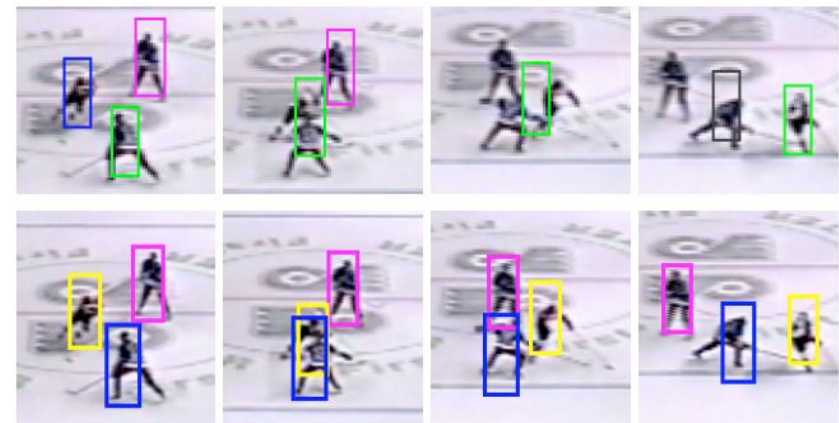
## ■ Sistemi multi-agente

- Sistemi composti da elementi (agenti) che sono fisicamente distribuiti in aree differenti ma che interagiscono/cooperano tra di loro tramite un sistema di comunicazione per ottenere una finalita' comune



## ■ Filtraggio non lineare

- Algoritmi per la predizione dell'evoluzione di un sistema dinamico non-lineare affetto da rumore (Filtro di Kalman, Filtro di Kalman Esteso, Filtri "Unscented", Filtri Particellari, Filtri per catene di Markov Nascoste, Algoritmo di Viterbi)



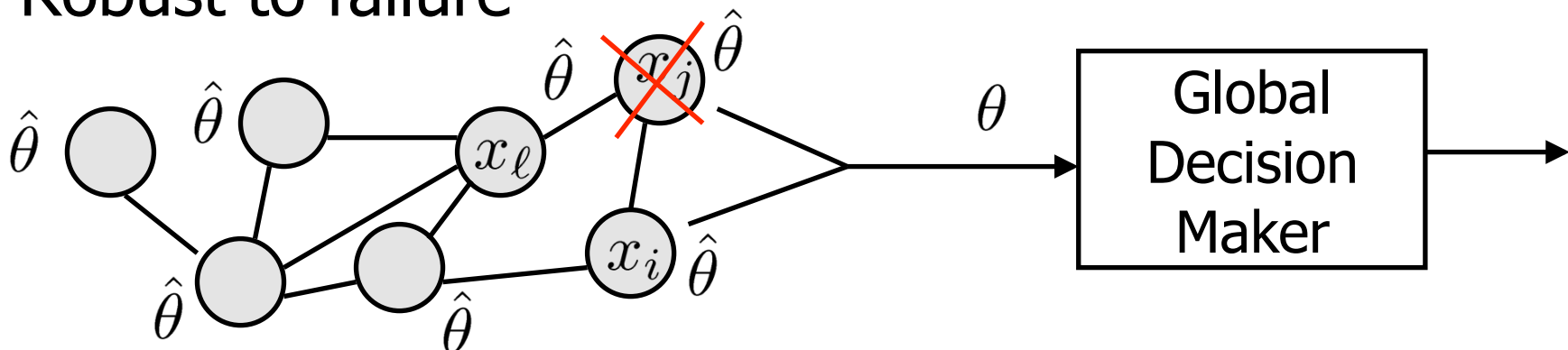


# Sistemi multi-agente

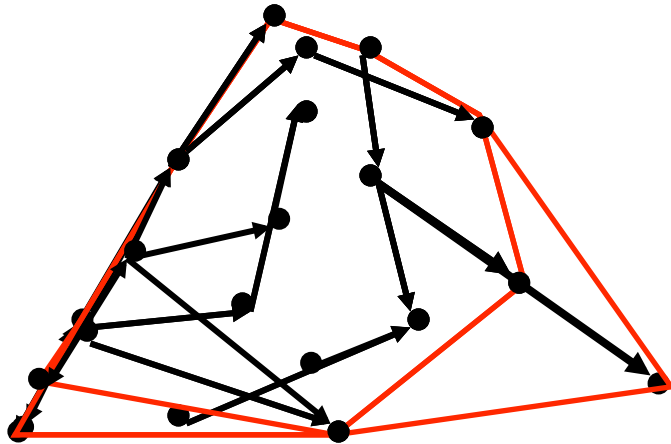
- Distributed computation of general functions

$$\theta = F(x_1, \dots, x_N) = f \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i(x_i) \right) \quad \left( \text{ex. } \theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \text{ for } f = g_i = \text{ident} \right)$$

- Computational efficient (linear & asynchronous)
- Independent of graph topology
- Incremental (i.e. anytime)
- Robust to failure



# ● Esempio di sistema multiagente: rendezvous di veicoli



$$x_i(t+1) = x_i(t) + u_i(t)$$

$$x_i(t+1) = p_{ii}x_i(t) + \sum_{j \in N(i)} p_{ij}x_j(t)$$

$$x(t+1) = P(t)x(t),$$

$P$  is stochastic, i.e.  $P \geq 0, P\mathbf{1} = \mathbf{1}$

Convex hull always shrinks.

If communication graph sufficiently connected, then shrinks to a point

If  $P$  is doubly stochastic ( $\mathbf{1}^T P = \mathbf{1}^T$ ), then  $x_i(t) \rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(0)$

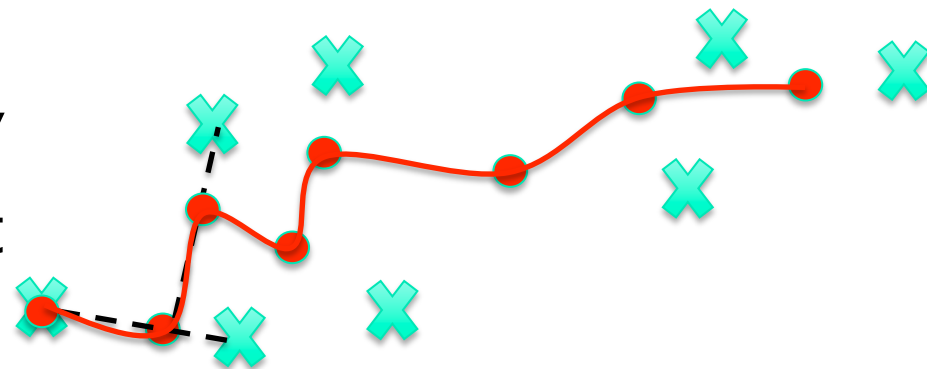
**Easy to compute averages of local values (average consensus):**

- 1) set initial conditions:  $x_j(0) = \theta_j$
- 2) run consensus with doubly stochastic  $P$ ,
- 3)  $x_i(t) \rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i$

# Filtraggio

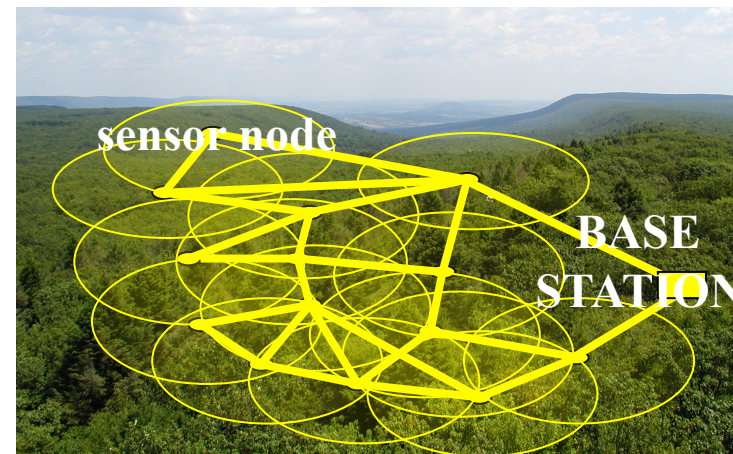
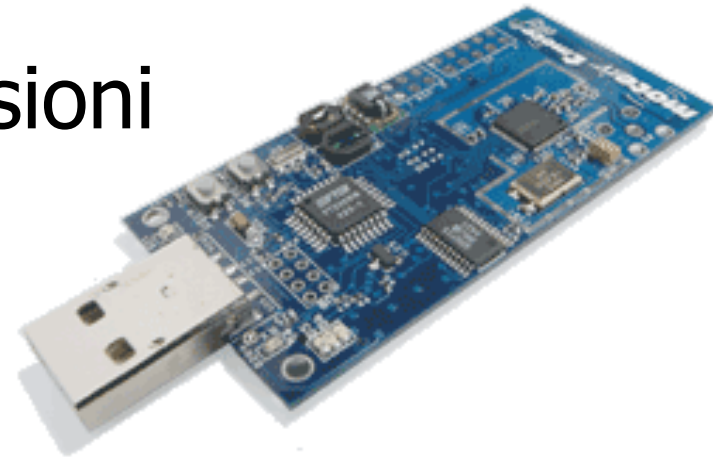
- Usa modello della dinamica del target per ricavare il valore delle variabili nascoste (es. GPS per ricostruire posizione)

- ✕ Misura da stima "GPS"
- Stima posizione target

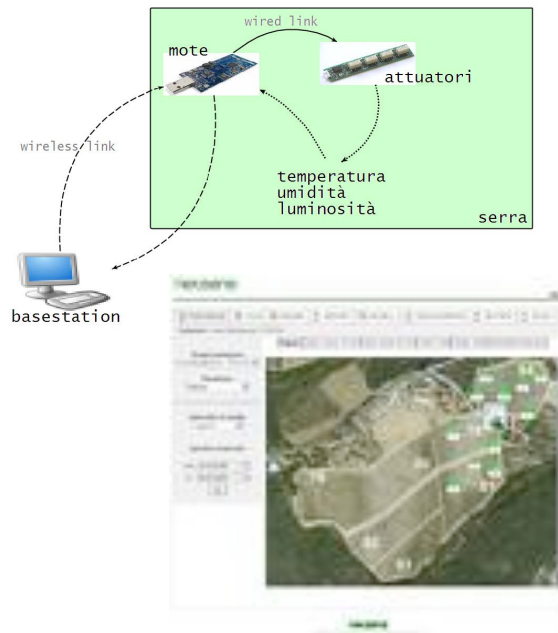


# Wireless Sensor Actuator Networks (WSANs)

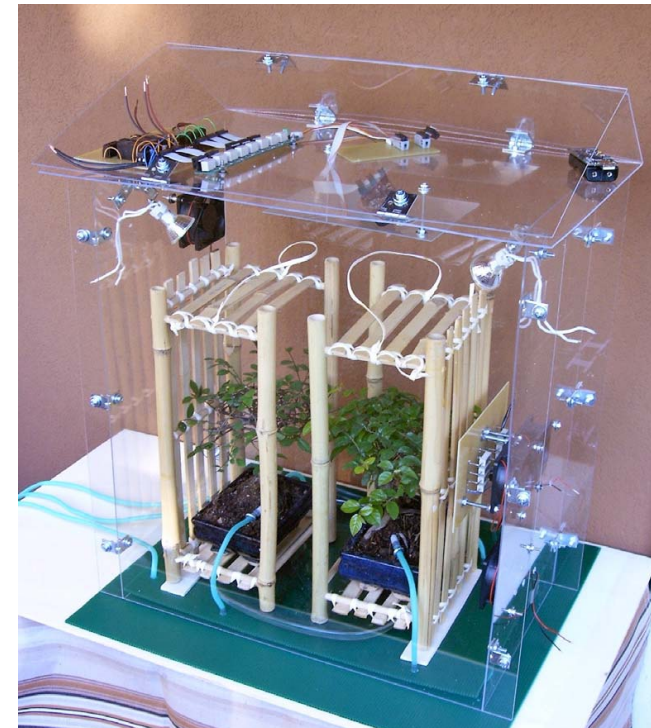
- Dispositivi piccole dimensioni
  - $\mu$ Controllore, Memoria
  - Wireless radio
  - Sensori & Attuatori
  - Batterie
- Poco costosi
- Comunicazione multi-hop
- Programmabili (micro-PC)



# Serre Intelligenti e “precision agriculture”



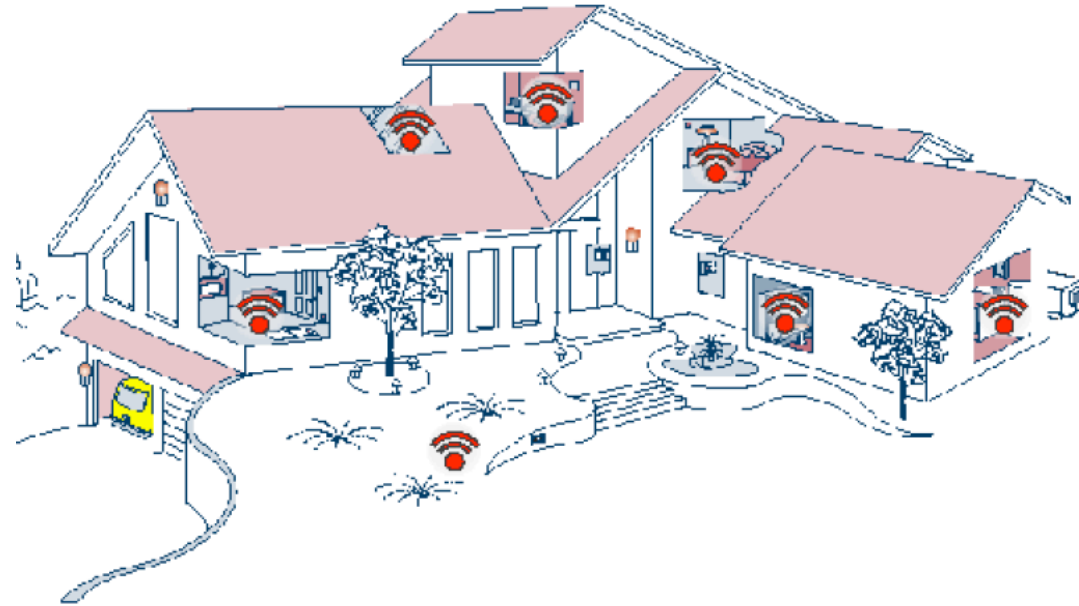
- Microclimi
- Regolazione remota
- Stima e controllo distribuito e predittivo





# Monitoraggio e controllo per "green buildings"

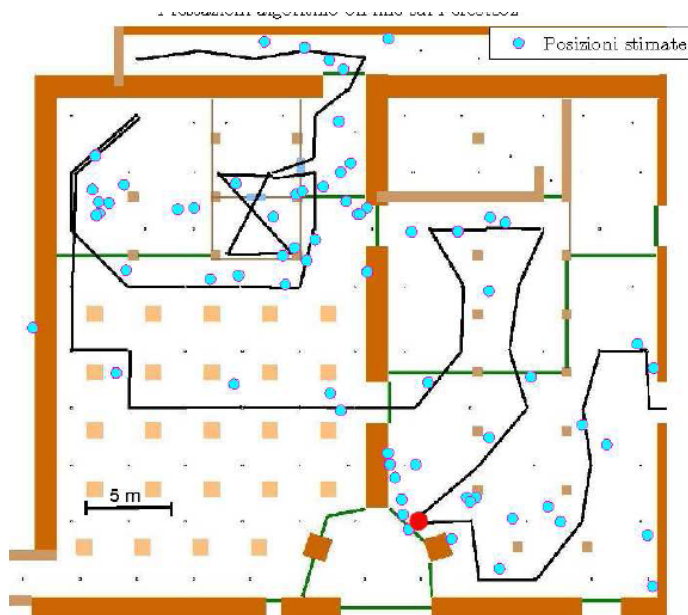
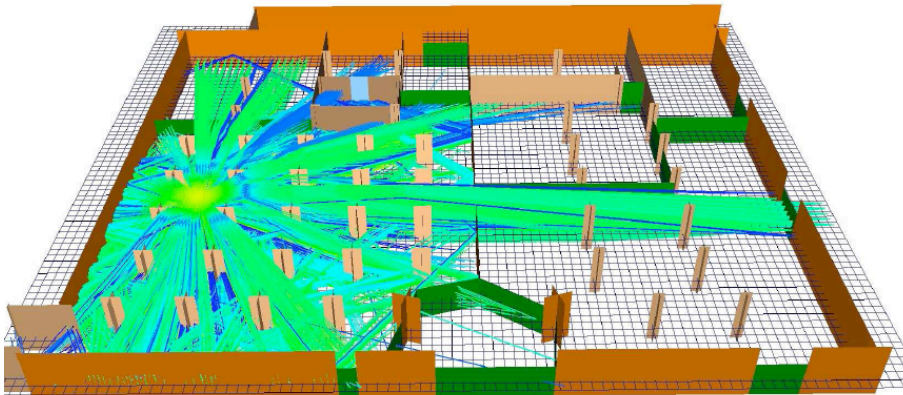
<b>Energy</b>	
Manufacturer	Fridge-Freezer
Model	
<b>More efficient</b>	
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
<b>Less efficient</b>	
Energy consumption kWh/year (Based on standard test results for 24h)	<b>325</b>
<small>Actual consumption will depend on how the appliance is used and where it is located</small>	
Fresh food volume l	190
Frozen food volume l	126
<b>Noise</b> (dB(A) re 1 pW)	
<small>Further information is contained in product brochures</small>	
<small>Norm EN 153 May 1990 Refrigerator Label Directive 94/2/EC</small>	



- Riduzione consumi energetici
- Ristrutturazioni mirate
- Miglioramento comfort



# Localizzazione, tracking e navigazione



### FIRE Eye From Moteiv

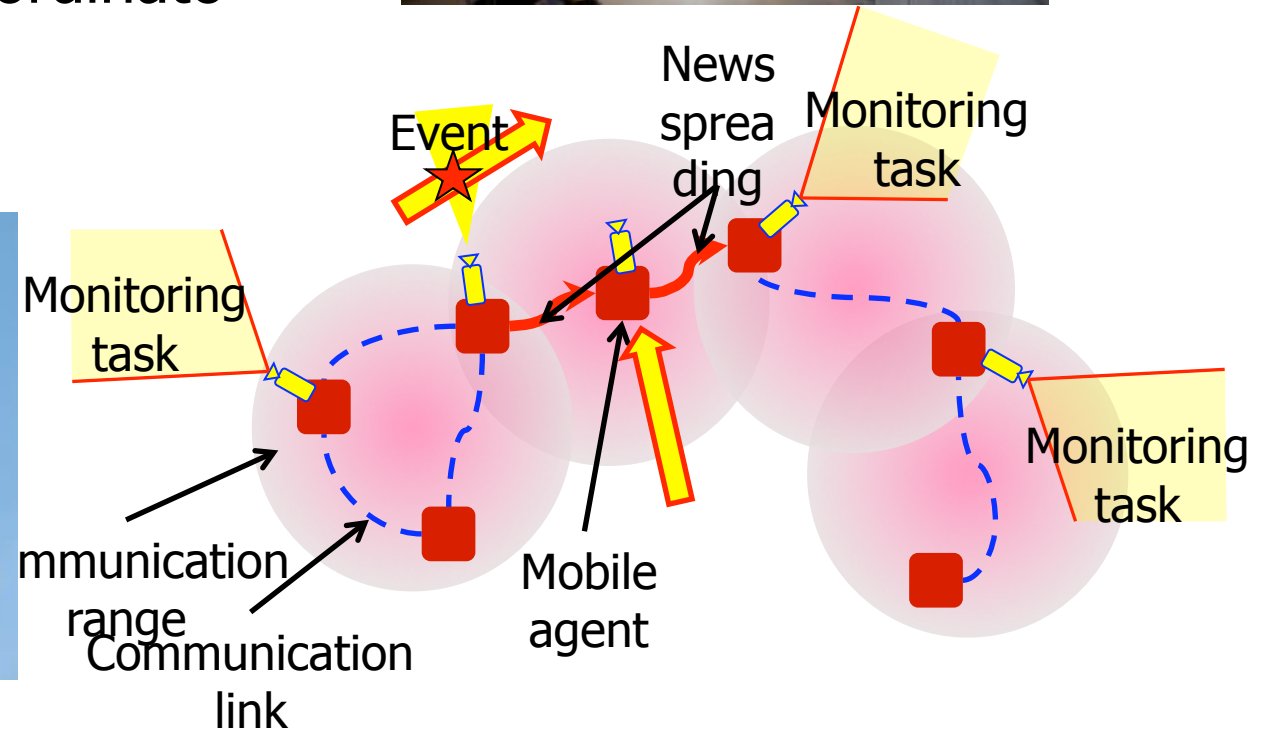
- Rescue system with wirelessly networked sensors and electronic maps
- Delivers critical information to firefighters during an emergency
- Cooperation between Chicago Fire Department, Moteiv and UC Berkeley engineers
- Monitors occupancy, smoke, light and fire
- Tracks emergency crew inside the building and displays the details inside the firefighter's mask

Technology for Innovators™

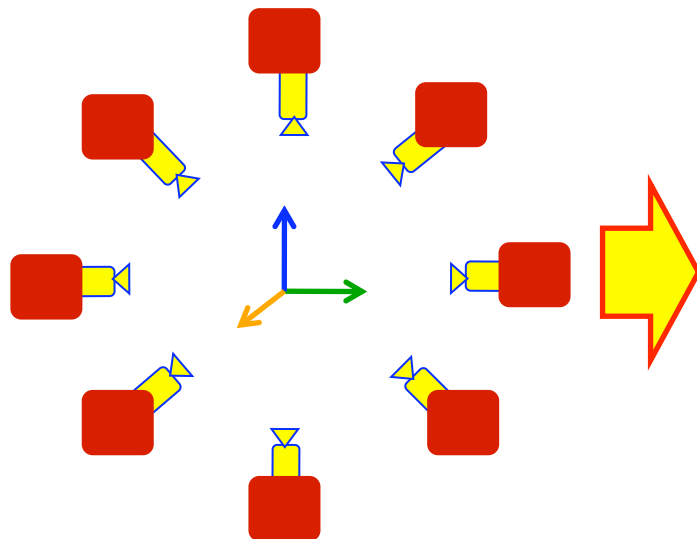
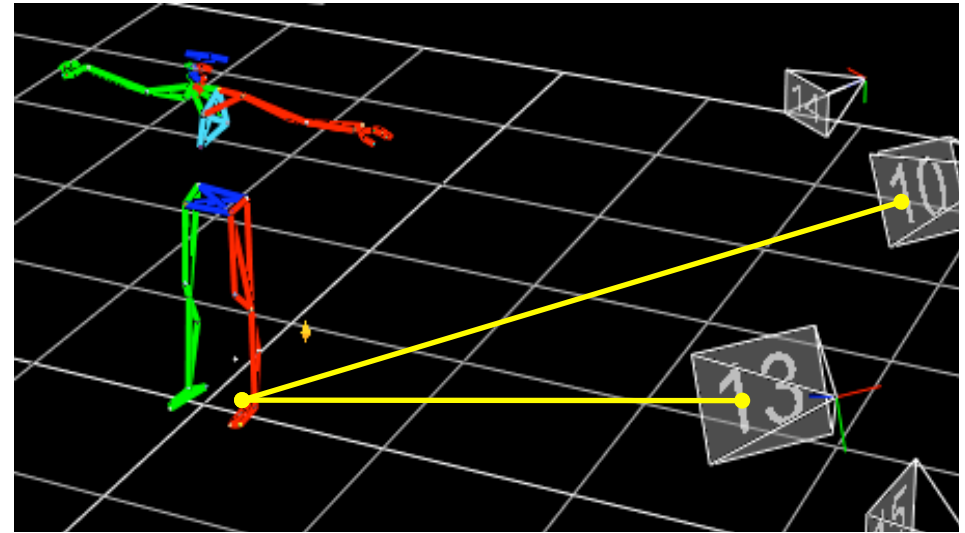
- Utilizzazione dell'intensità del segnale radio per stimare distanze relative

# Sistemi di video-sorveglianza multicamera

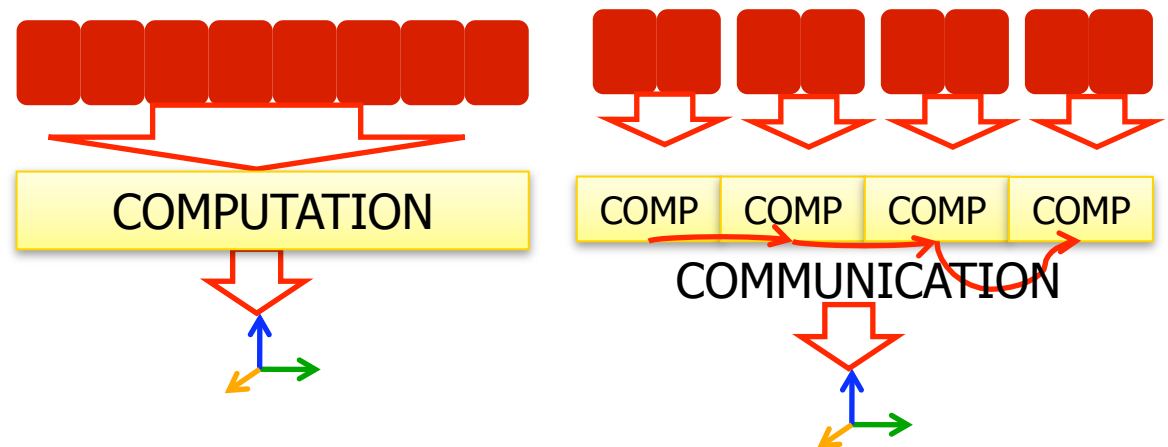
- Calibrazione distribuita
- Individuazione eventi
- Inseguimento oggetti mobili
- Pattugliamento coordinato



# Motion capture in tempo reale per reti di videocamere

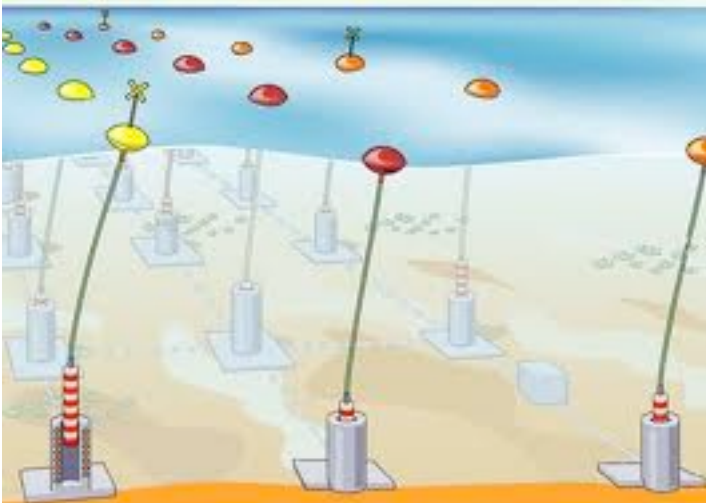
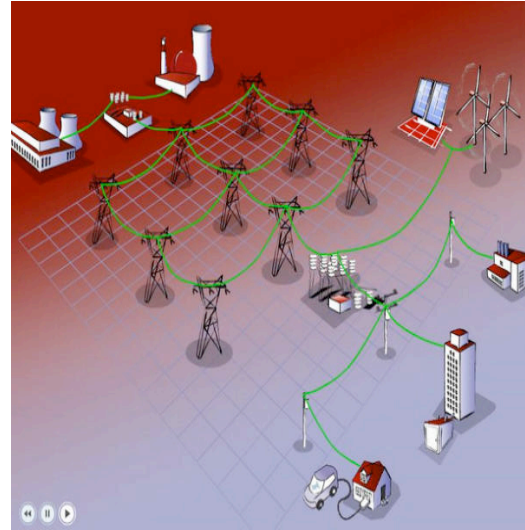


## Centralized or Distributed Strategy?





# Smart Power Grids e Energie rinnovabili

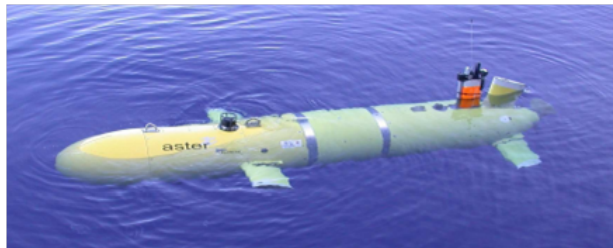
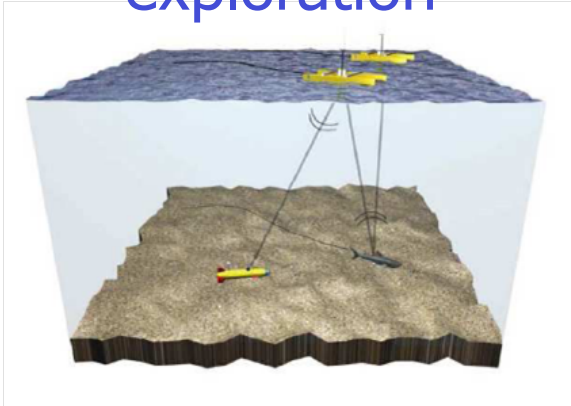


## ■ Foreseeable future

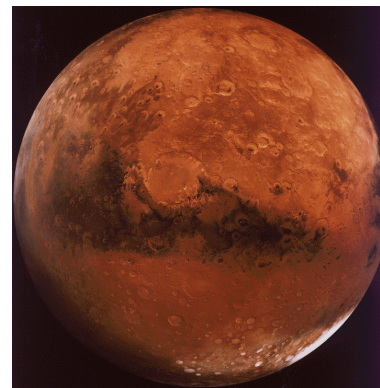
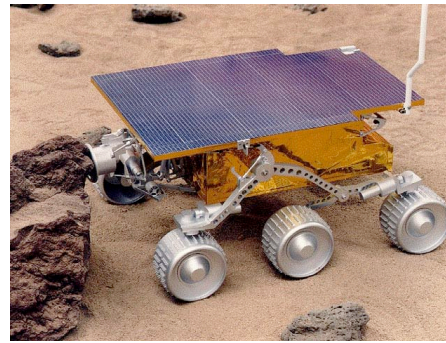
- Many consumers & producers
- Cooperation vs greedy behavior
- Network topology not known and dynamic
- Need for distributed estimation and control

# Robotica coordinata

## Underwater exploration



## Planetary exploration

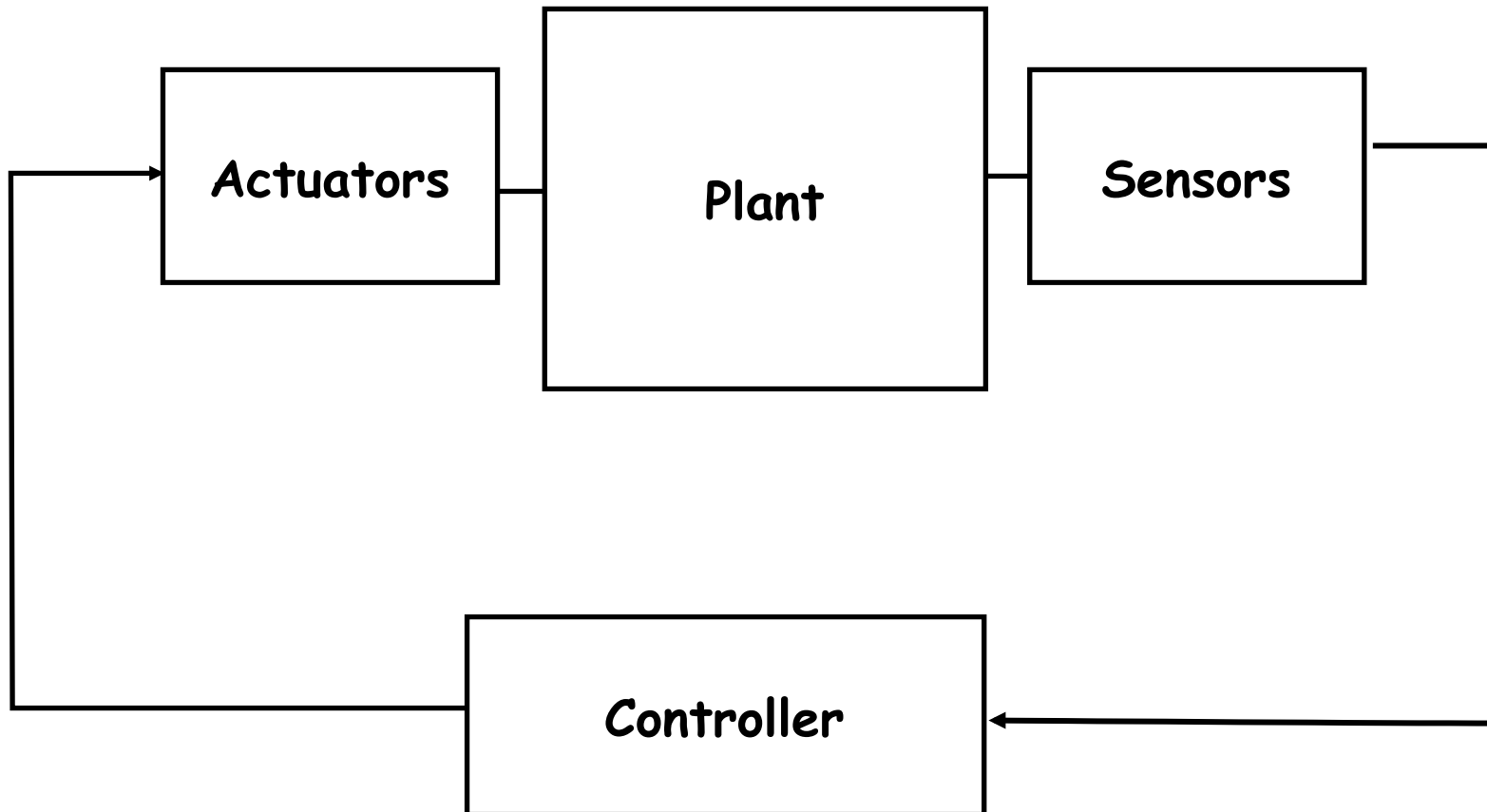


## Search & rescue missions



# Sistemi di controllo classici

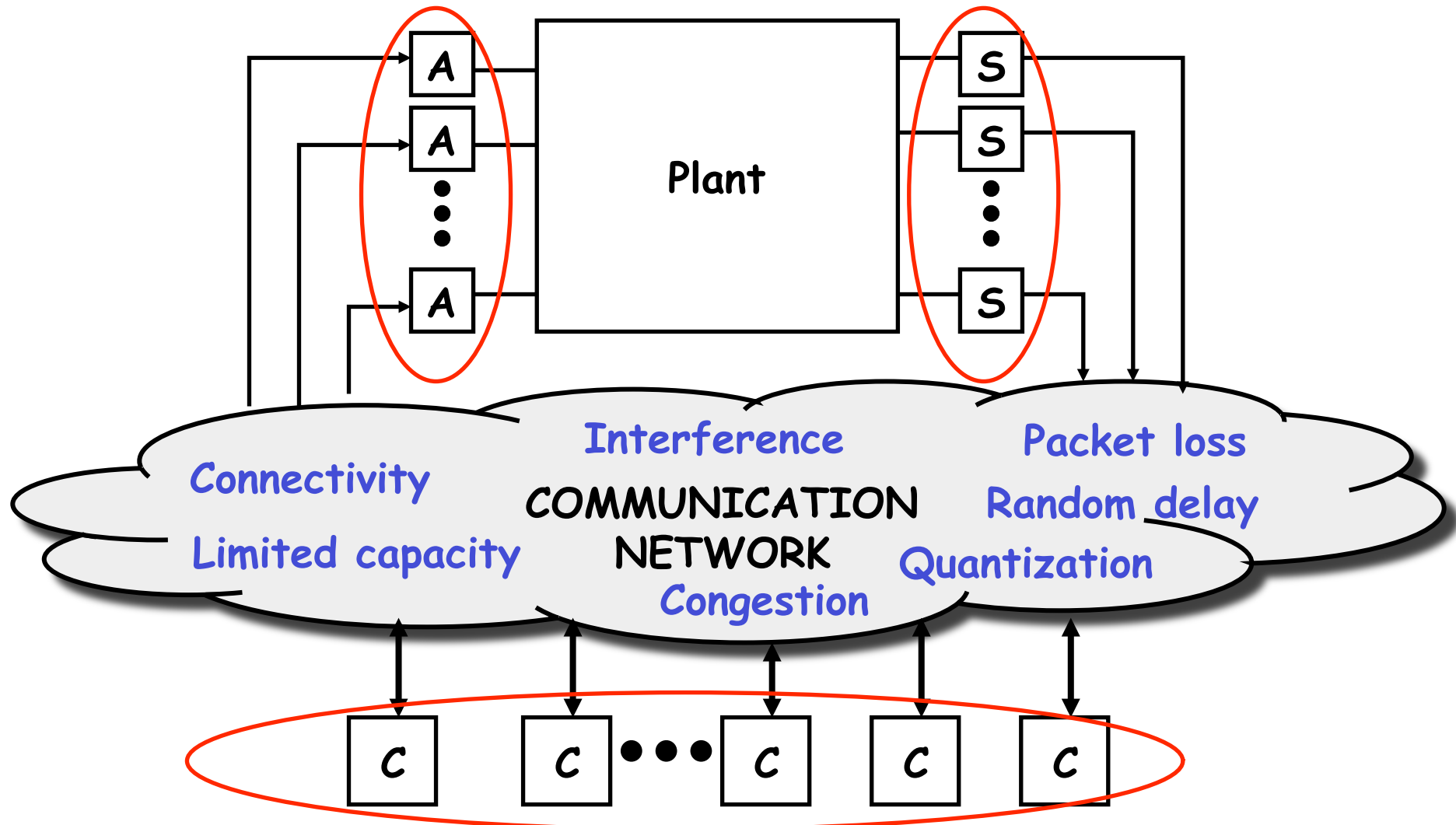
## Classical architecture: Centralized structure



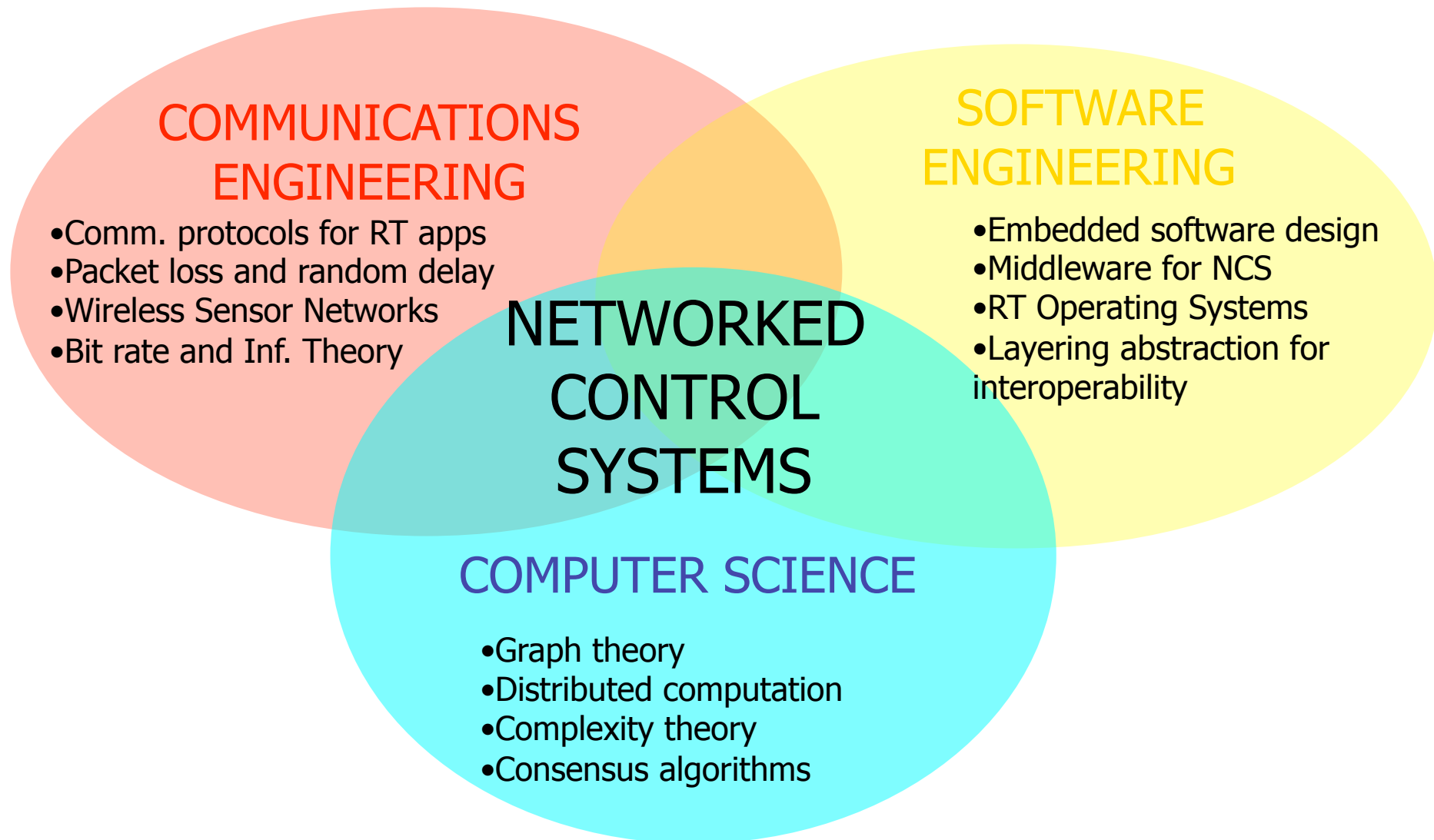


# Sistemi di controllo moderni

NCSs: Large scale distributed structure



# Sistemi moderni sono Interdisciplinari





# Obiettivi scientifici del corso

---

- **Coordinazione di sistemi multi-agente:**
  - Algoritmi di consensus
  - Teorema di Perron-Frobenius
  - Sincronizzazione di sistemi interconnessi
  - Applicazioni: reti di sensori, cromoterapia, pattugliamento perimetrale
  
- **Filtraggio lineare e non-lineare:**
  - Filtro di Kalman: derivazione, proprietà,
  - Filtro di Kalman esteso
  - Filtro di Kalman Unscented
  - Interpolatori di Kalman (Smoothers)
  - Filtri bayesiani
  - Filtri Particellari
  - Filtri per catene di Markov Nascoste e Algoritmo di Viterbi



# Video argomenti scientifici

---

- Sistemi multiagente:
  - Millennium Bridge
  - Sincronizzazione metronomi
  - Sincronizzazione lucciole
  - Flocking
- Filtraggio:
  - Inseguimento oggetti con occlusioni
  - Inseguimento multi-oggetto



# Obiettivi didattici del corso

---

- Acquisizione di capacita' di organizzazione di lavoro di gruppo
- Acquisizione di capacita' di formulazione matematica di un problema a partire dall'applicazione
- Acquisizione di capacita' di scrittura di un documento scientifico
- Acquisizione di capacita' di esposizione orale di documento scientifico

# Alcuni progetti PSC

---

- Pattugliamento perimetrale con videocamere intelligenti
- Controllo di formazione multi-veicolo
- Esplorazione coordinata
- Cromoterapia





# Proposta progetti per a.a. 2011-2012

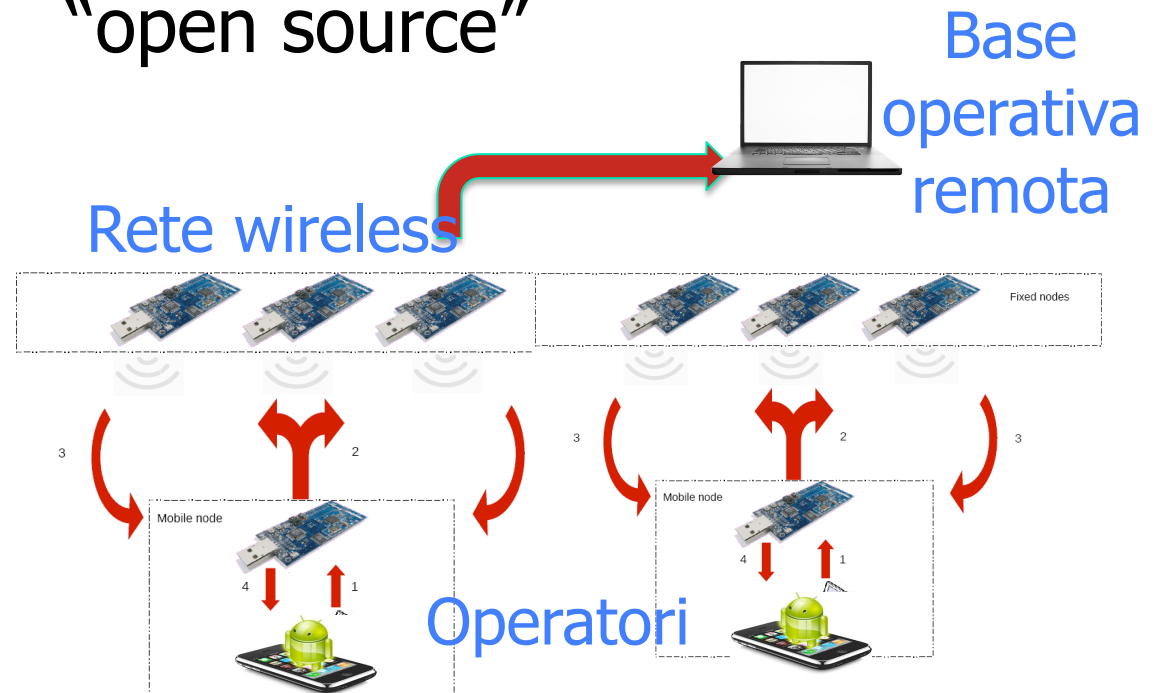
---

- Filtraggio e controllo:
  - Progetti 1,2,3

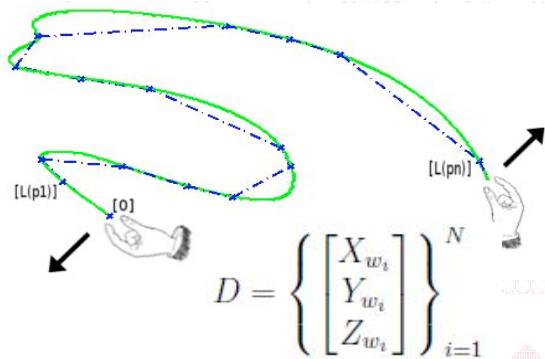
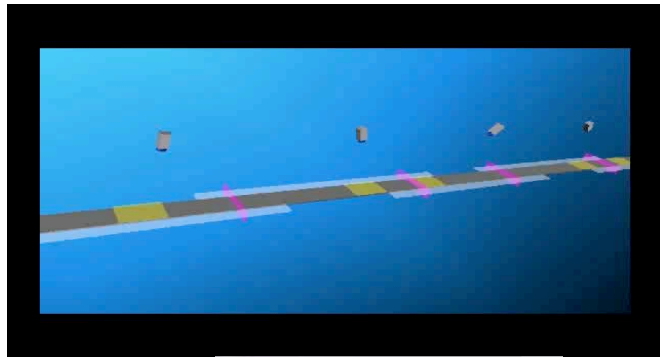
# 1) Localizzazione e tracking per reti di sensori wireless



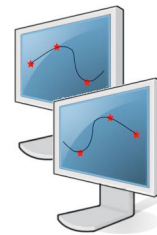
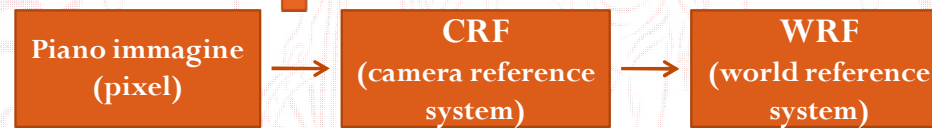
- Utilizzo mappe per potenziali repulsivi
- Uso di palmari e software "open source"



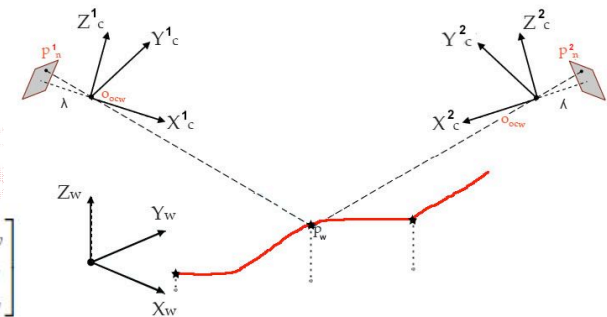
## 2) Controllo velocita' di videocamere per pattugliamento perimetrale



- Controllo di pan-tilt-zoom in velocita'
- Progettazione traiettoria tramite spline
- Implementazione su videocamera reale



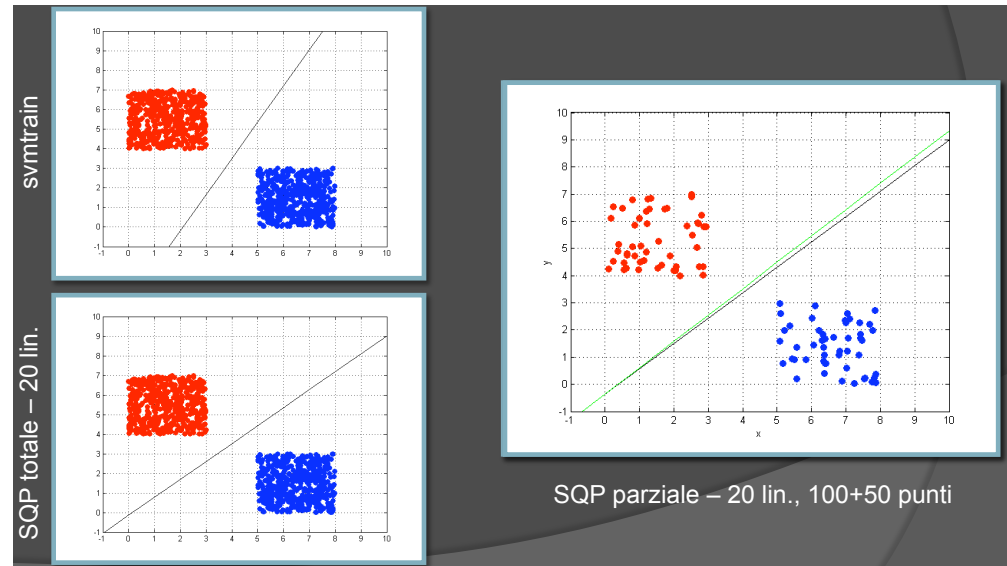
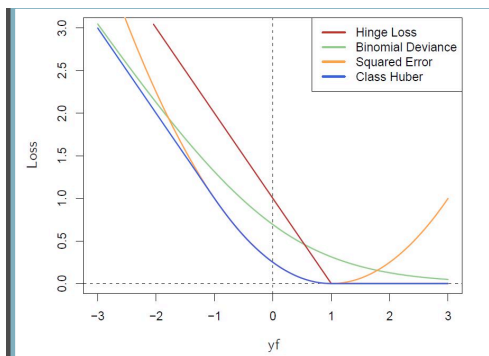
$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} \xrightarrow{\psi} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}$$



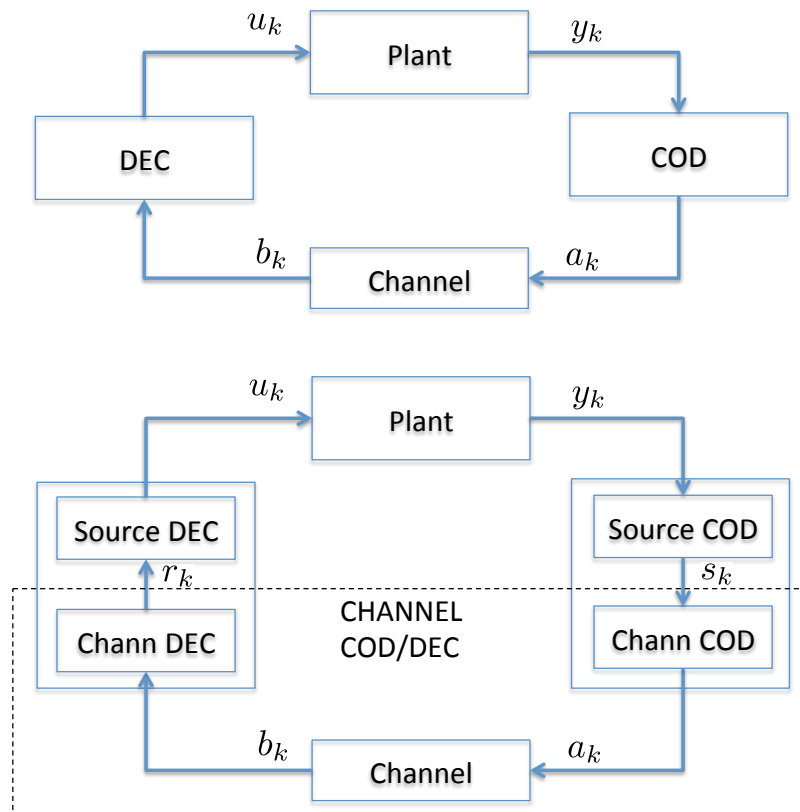
# 3) Tracking visivo non-supervisionato tramite Support Vector Classification



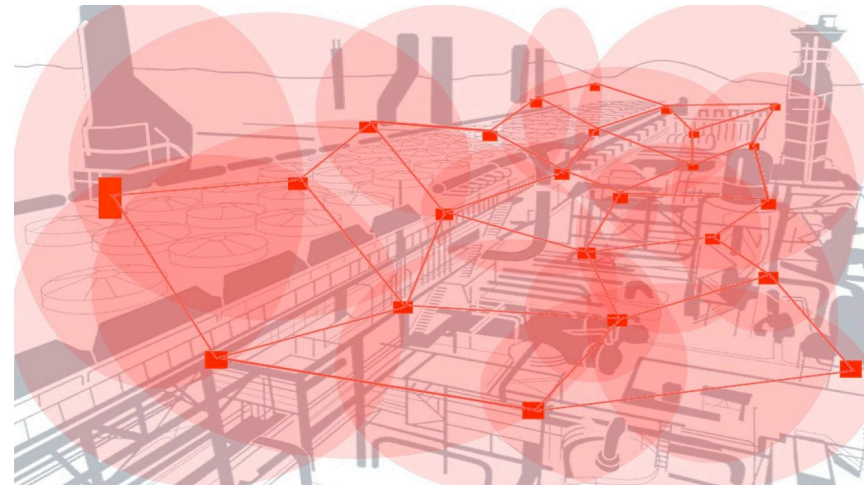
- Tracking di un oggetto come problema di classificazione
- Quadrattizzazione di SVC
- Filtraggio alla Kalman
- Implementazione in tempo-reale



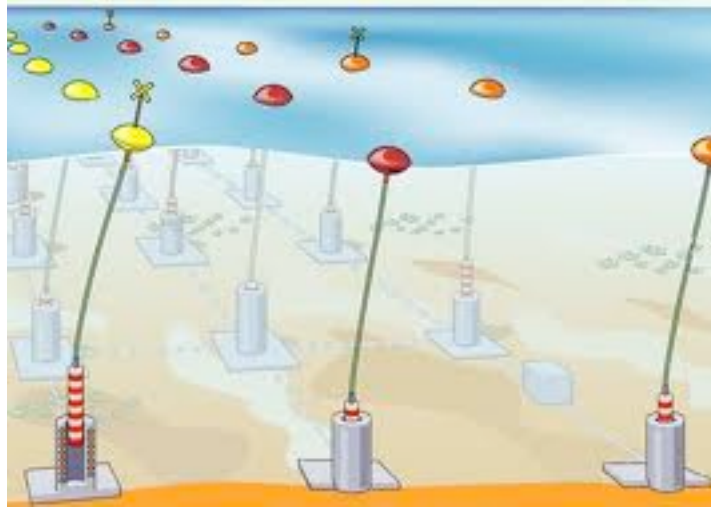
## 4) Controllo ottimo LQG soggetto a vincoli di canale (SNR, perdita pacchetto, ritardo)



- Filtro di Kalman
- Controllo LQ
- Perdita pacchetto



## 5) Stima del moto ondoso in parchi energetici basati su onda



- Modellizzazione moto ondoso
- Predizione profilo onda da misure distribuite di boe
- Stima moto delle boe
- Filtraggio temporale e spaziale

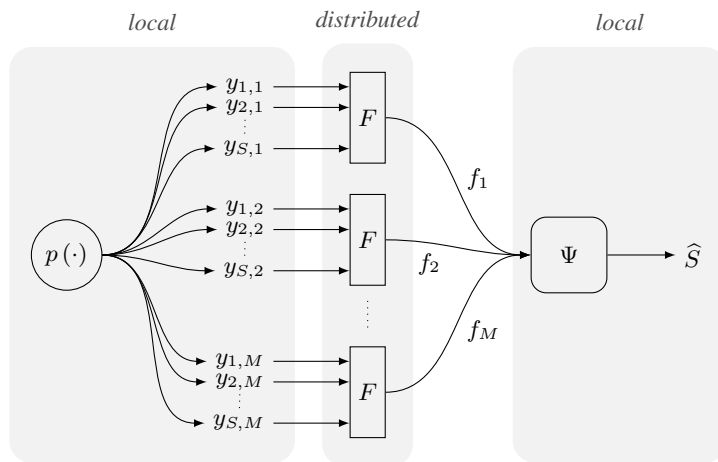


$x \in \mathbb{R}^2$  : position  
 $t$  : time  
 $f(x, t)$  : sea level

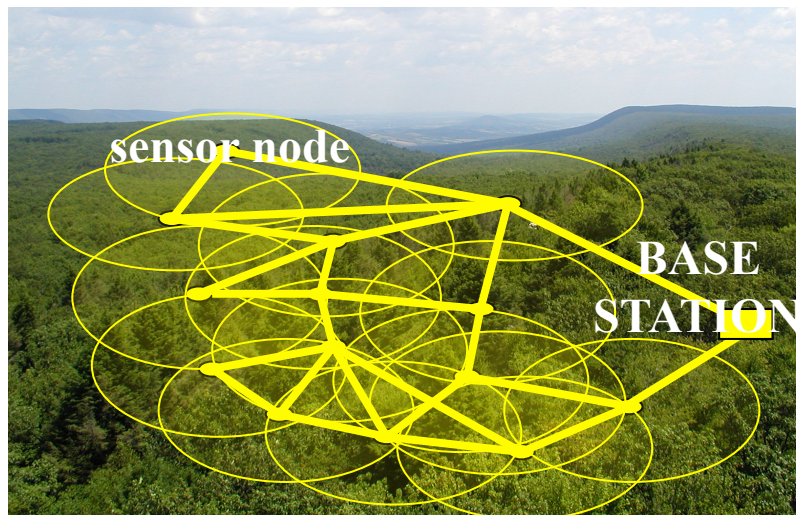




## 6) Stima di connettività' di un grafo tramite consensus e generazione di numeri casuali



- Generazione numeri casuali
- Algoritmi di consensus
- Filtraggio alla Kalman
- Test di ipotesi

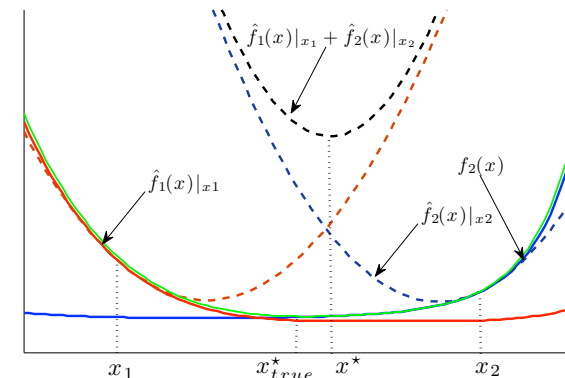
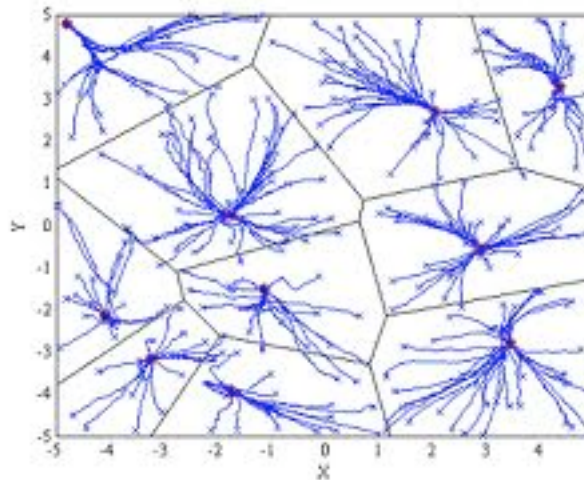
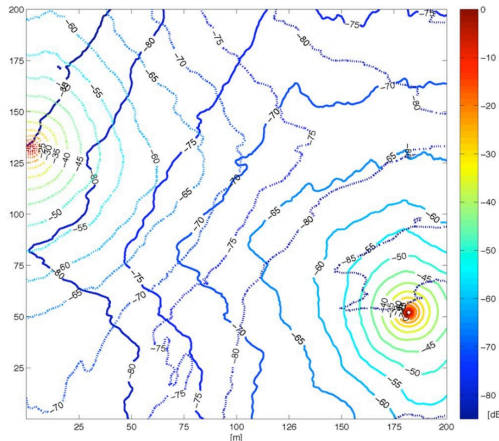


# 7) Ottimizzazione convessa distribuita adattiva tramite algoritmi di consensus



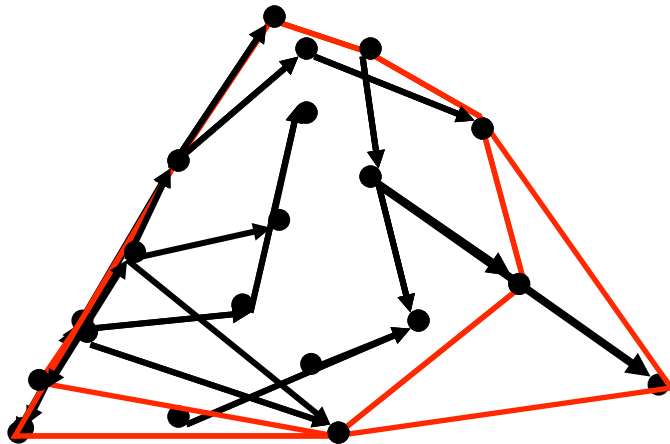
- Ottimizzazione distribuita
- Algoritmi di consensus
- Ottimizzazione parametri on-line
- Applicazione a sparse sensing

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f(x) = \sum_{i=1}^N f_i(x) \\ \text{subject to} \quad & x \in \mathcal{X}, \\ & \mathcal{X}, f_i(x) \text{ are convex} \end{aligned}$$



## 8) Confronto di algoritmi di average consensus con perdita di pacchetto

- Si vuole calcolare la media esatta
- Perdita' di pacchetto nella comunicazione rende l'obiettivo difficoltoso



$$x_i(t+1) = x_i(t) + u_i(t)$$

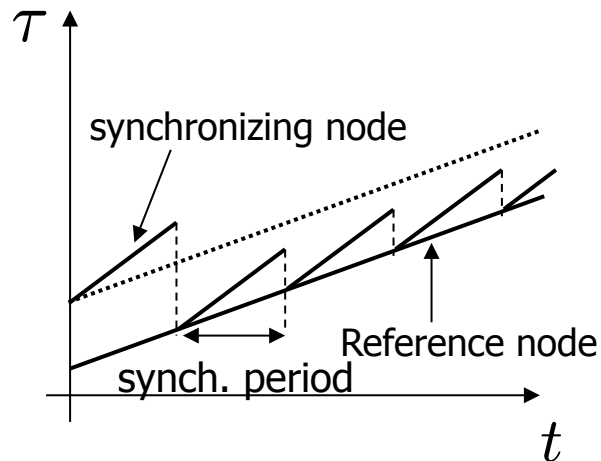
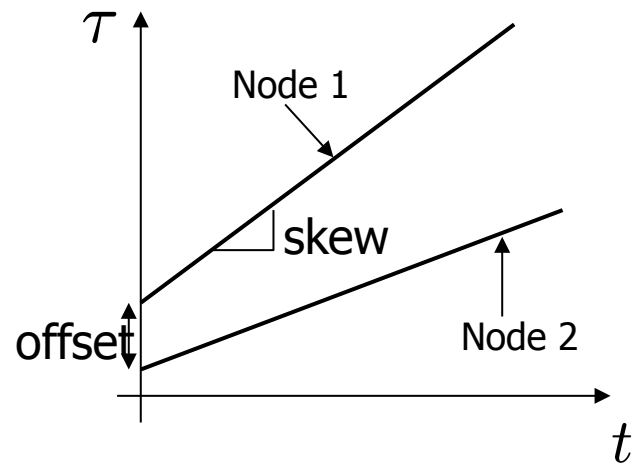
$$x_i(t+1) = p_{ii}x_i(t) + \sum_{j \in N(i)} p_{ij}x_j(t)$$

$$x(t+1) = P(t)x(t),$$

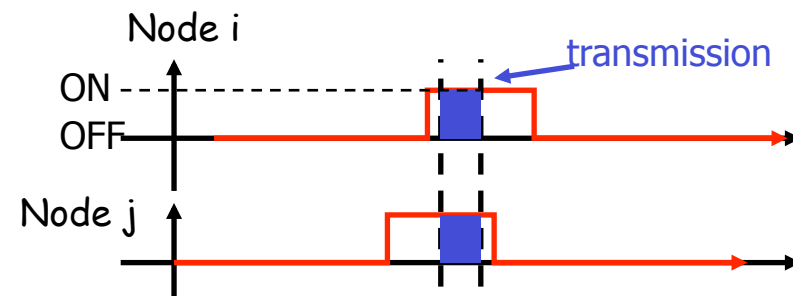
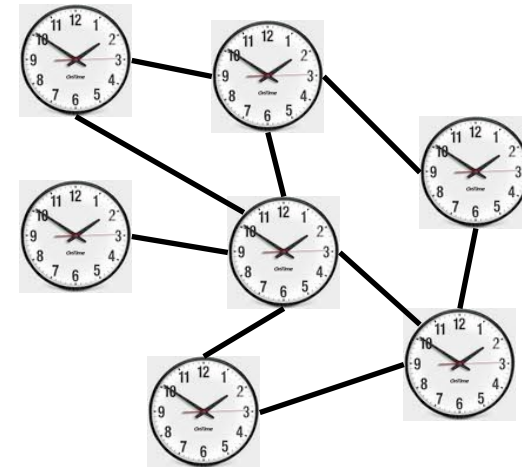
$$P \text{ is stochastic, i.e. } P \geq 0, P\mathbf{1} = \mathbf{1}$$

# 9) Sincronizzazione temporale adattiva per basso consumo energetico

$$\tau_i = a_i t + b_i$$

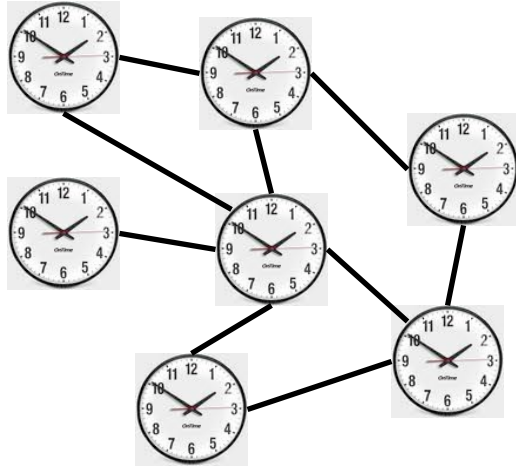


- Sincronizzazione orologi distribuita
- Finestra di sincronizzazione adattiva in base ad errore



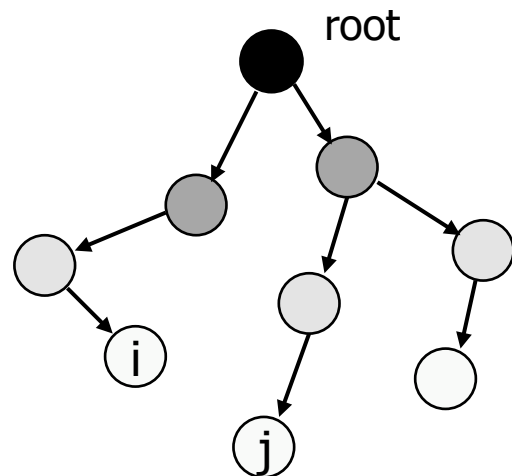


# 10) Analisi rumore in sincronizzazione di orologi per differenti architetture

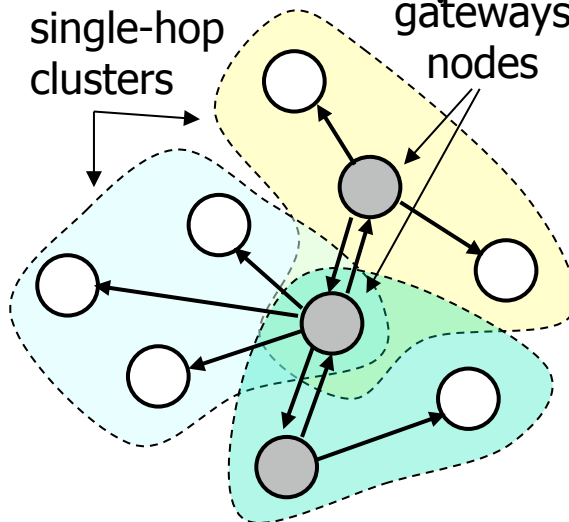


- Architettura ad albero o totalmente distribuita
- Effetto del rumore di processo e di misura sull'errore di sincronizzazione

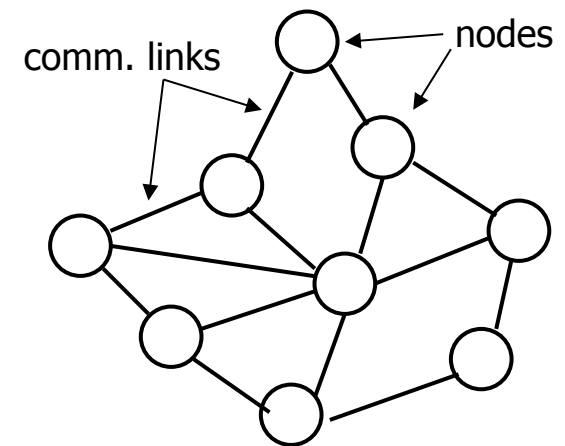
Tree-based sync



Cluster-based sync

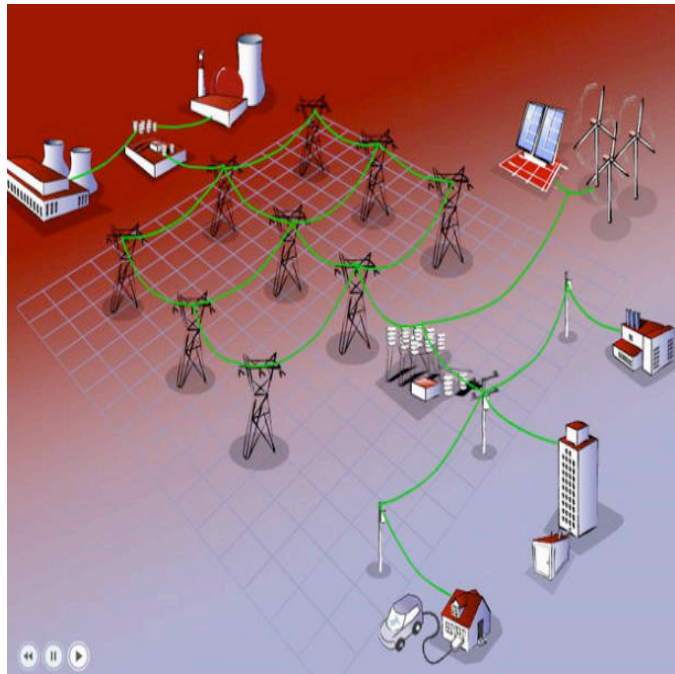


Distributed





# 11) Controllo della potenza reattiva in smart grid con vincoli

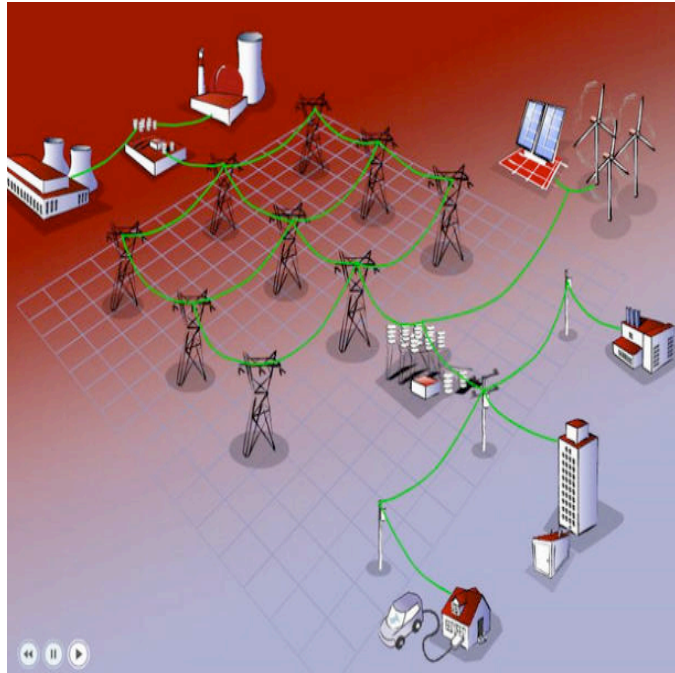


- Controllo potenza attiva e reattiva
- Vincoli sulla potenza reattiva
- Vincoli sulla tensione





## 12) Stima distribuita di fasori di tensione in smart grid



- Misure di modulo e fase relativa

# Svolgimento progetti

---

- Gruppi di 2/3 persone
- Materiale introduttivo fornito dal docente
- Ricerca materiale sullo stato dell'arte tramite Internet o riviste/conferenze internazionali
- Consegna abstract del progetto entro 1mese
- +1 punto sul voto finale se relazione in inglese

---

# DOMANDE ?