Bari, 2-3 dicembre 2013

www.greencityenergy.it

# Gli Indicatori Urbani per la Misurazione delle Performance e il Supporto alle Attività Decisionali e di Programmazione della Smart City

**Prof. Ing. Mariagrazia DOTOLI**
**Dott. Ing. Raffaele CARLI**
**Dipartimento di Ing. Elettrica e dell'Informazione - Politecnico di Bari**

**email: dotoli@poliba.it, r.carli@poliba.it**

POLITECNICO DI BARI

DEI DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE

# Sommario

- **Introduzione**
- Urban Control Center
- Indicatori di performance nella smart city
- Attività decisionali nella smart city
- Caso di studio
- Conclusioni

GCE Green City Energy Bari

Bari, 2-3 dicembre 2013

www.greencityenergy.it

POLITECNICO DI BARI

DEI DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE

# Introduzione (1/3)

## La presentazione è stata redatta:

- **nell'ambito del progetto di ricerca**

RES NOVAE
Reti Edifici Strade Nuovi Obiettivi Virtuosi per l'Ambiente e l'Energia

**finanziato dall'iniziativa "*Smart cities and Communities and Social innovation*" promossa dal Ministero dell'Istruzione e della Ricerca nel contesto del "Programma Operativo Nazionale Ricerca e Competitivita 2007/2013"**

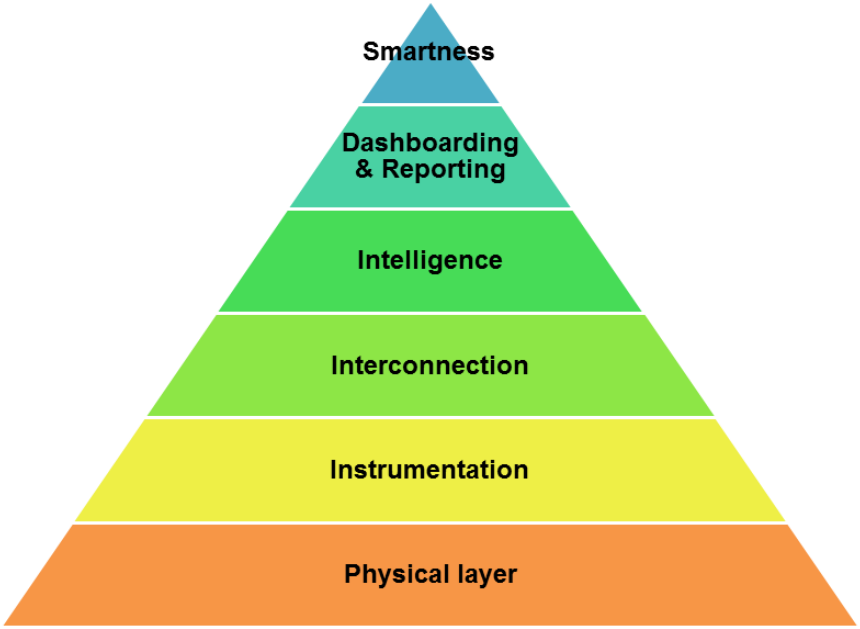
- **per descrivere le attività nel progetto RES NOVAE del gruppo di ricerca del "*Decision and Control Laboratory*" (Politecnico di Bari) di definizione e sviluppo dell'«URBAN CONTROL CENTER».**

D&C Lab
Decision and Control Laboratory

# Introduzione (2/3)

- **Concetto di *smart city***
  - **Locuzione sempre più frequentemente e comunemente utilizzata**
  - **Nozione non univoca né sempre consistente in ambito accademico e professionale**

- **Workspace per l'affermazione delle smart city**



# Introduzione (3/3)

- **Per la smartness...**
  - **Indiscussa crucialità della gestione intelligente ed ottimale delle città del futuro**
  - **Crescente necessità di definire ed attuare piani strategici finalizzati a rendere le città più *smart***
- **... occorre innanzitutto un governo «smart» della città …**
  - **Inseguire ed ottemperare gli obiettivi - in rapida evoluzione - della pianificazione/programmazione strategica urbana:**

- **…di qui nasce l'impegno del progetto RES NOVAE verso la definizione di un Urban Control Center**

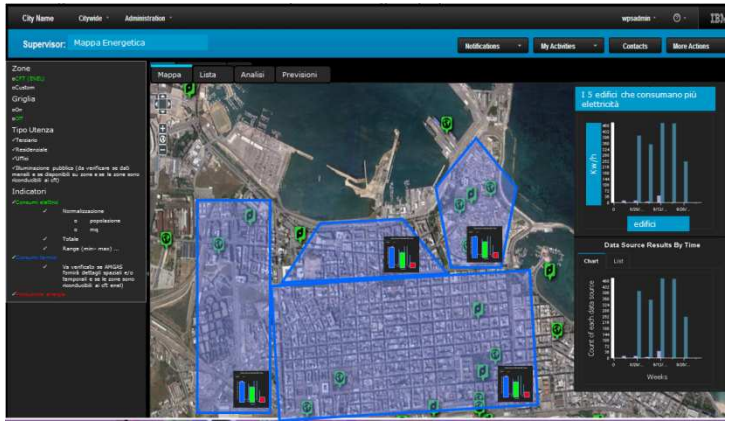
# Sommario

- Introduzione
- **Urban Control Center**
- Indicatori di performance nella smart city
- Attività decisionali nella smart city
- Caso di studio
- Conclusioni

# L'Urban Control Center (1/3)

- **Obiettivi**
  - **Piattaforma per il monitoraggio e controllo delle performance della città**
  - **Strumento a supporto della Pubblica Amministrazione per la governance urbana**
  - **Mezzo di comunicazione verso la cittadinanza / partecipazione della comunità**

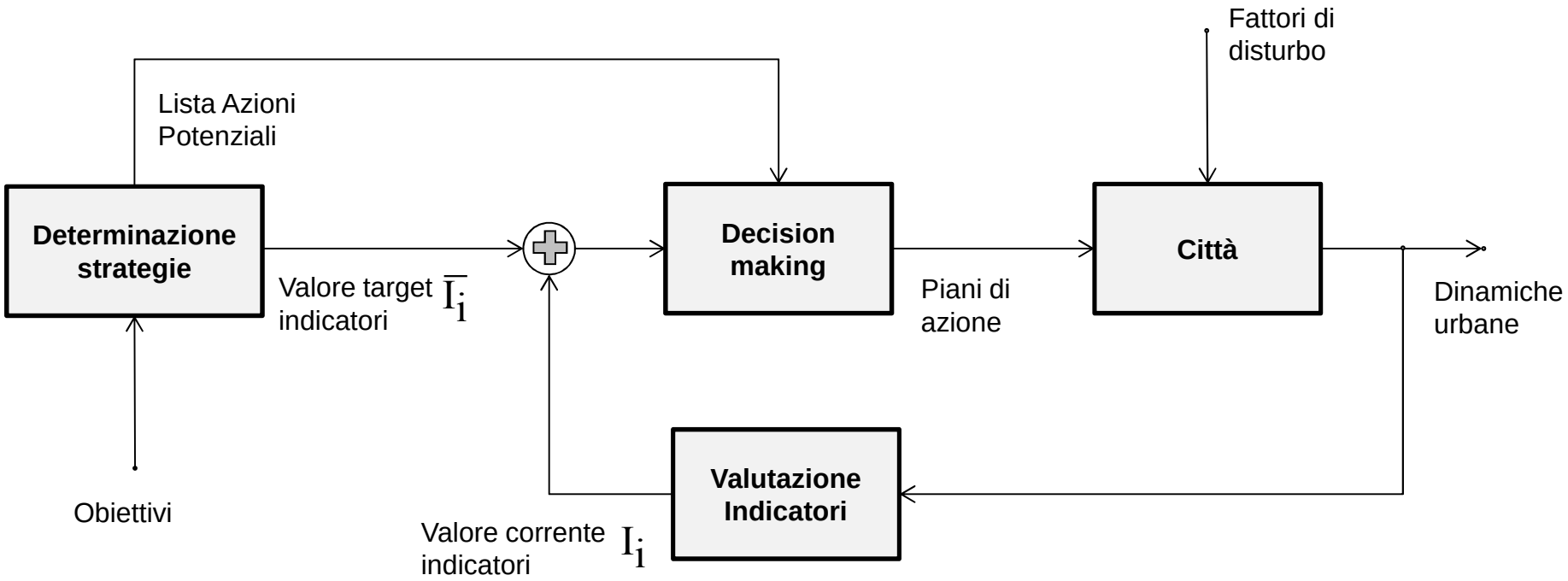
- **Funzionalità**
  - **Strumenti per il monitoraggio e l'analisi delle performance urbane (visione corrente, storica e previsionale dello stato della città)**
  - **Cruscotto di indicatori**
  - **Modellistica urbana e strumenti di Business intelligence per il decision making e il planning strategico**
  - **Accessibilità delle informazioni alla cittadinanza e strumenti di collaboration**



# L'Urban Control Center (2/3)

## L'UCC consente:

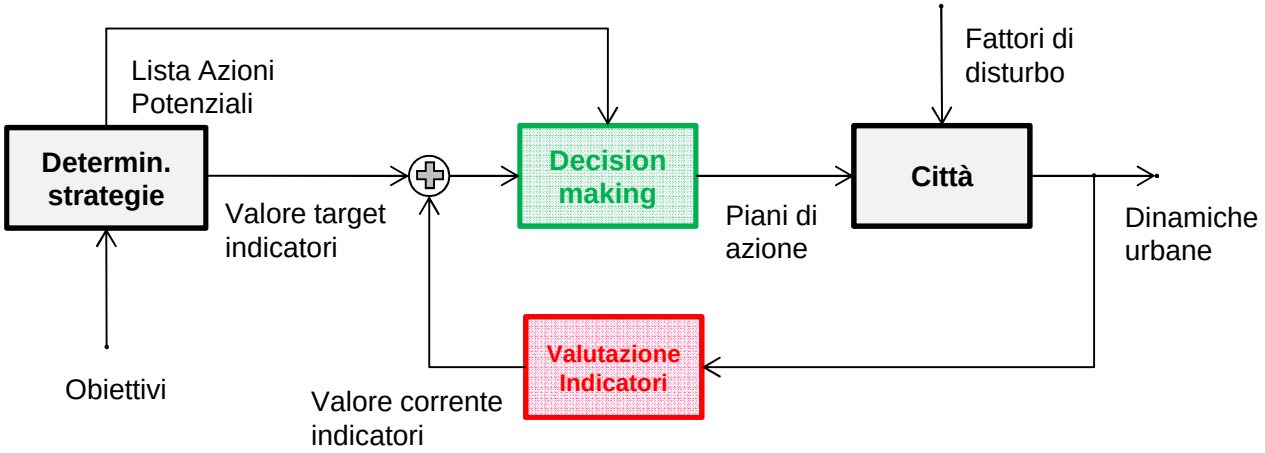
- **Il monitoraggio delle prestazioni della smart city**
- **l'implementazione delle politiche di programmazione strategica della città attraverso azioni di decision making**




**Astrazione e modeling di alto livello**

# L'Urban Control Center (3/3)

- **Strumenti di supporto fondamentali per la programmazione della smart city**




***1. Cruscotto di indicatori***

***2. tool di supporto al decision making***

***UCC***

***smart city***

# Sommario

- Introduzione
- Urban Control Center
- **Indicatori di performance nella smart city**
- Attività decisionali nella smart city
- Caso di studio
- Conclusioni

GCE Green City Energy Bari

Bari, 2-3 dicembre 2013

www.greencityenergy.it

POLITECNICO DI BARI

DEI DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE

# Indicatori di performance nella smart city (1/4)

## Stato dell'arte

- **Mancanza in letteratura di un set di indicatori delle prestazioni della città valido per ogni contesto e scopo**
- **Alcuni studi si riferiscono in particolare ad una determinata città, risentendo di mancanza di generalità**
- **Giffinger *et al.** sono stati i primi a mettere in evidenza le prestazioni di una Smart City non solo nei settori tradizionali come *smart economy, smart people, smart governance, smart mobility, smart environment*, ma anche nel campo della qualità della vita dei cittadini (*smart living*)**

  *** Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007) "Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities". Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology. Disponibile in: http://www.smartcities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf**
- **I pochi modelli in letteratura utilizzati per valutare la smartness di una città si basano principalmente sul modello proposto da Giffinger *et al*.**
- **Altri studi recenti riguardano solo la trasformazione e l'aggregazione delle variabili e degli indicatori della città in un indice globale**

**Bisogno critico ed emergente: individuazione di tool di supporto alla classificazione e selezione degli indicatori di smartness di una città**

# Indicatori di performance nella smart city (2/4)

## Set di indicatori definito da Giffinger *et al.*

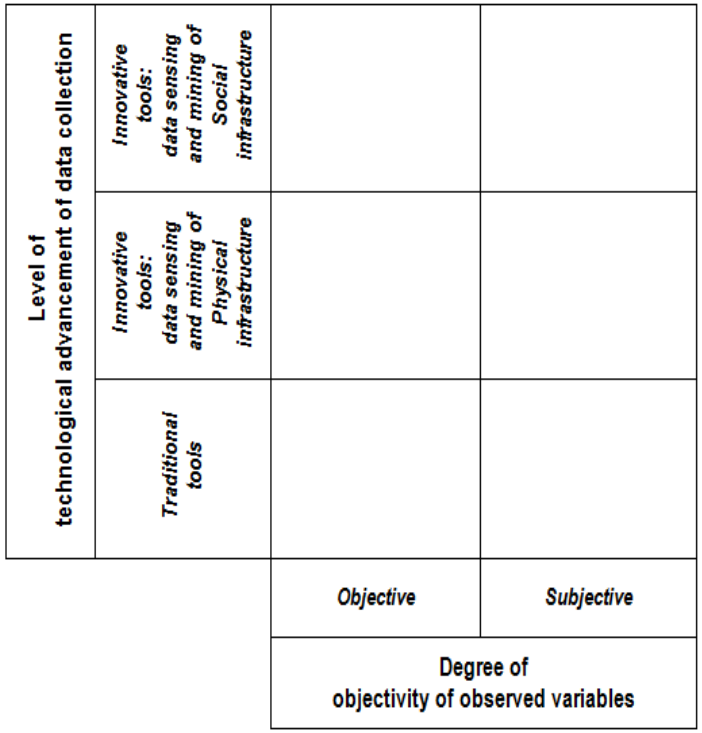
- **Elementi del modello:**
  - **6 caratteristiche**
  - **31 fattori**
  - **74 indicatori**
- **Un estratto delle caratteristiche e dei fattori…**

| SMART ECONOMY (Competitiveness) | SMART PEOPLE (Social and Human Capital) | SMART ENVIRONMENT (Natural resources) |
|---|---|---|
| ▪ Innovative spirit<br>▪ Entrepreneurship<br>▪ Economic image & trademarks<br>▪ Productivity<br>▪ Flexibility of labour market<br>▪ International embeddedness<br>▪ *Ability to transform* | ▪ Level of qualification<br>▪ Affinity to life long learning<br>▪ Social and ethnic plurality<br>▪ Flexibility<br>▪ Creativity<br>▪ Cosmopolitanism/Open-mindedness<br>▪ Participation in public life | ▪ Attractivity of natural conditions<br>▪ Pollution<br>▪ Environmental protection<br>▪ Sustainable resource management |
| **SMART GOVERNANCE (Participation)** | **SMART MOBILITY (Transport and ICT)** | **SMART LIVING (Quality of life)** |
| ▪ Participation in decision-making<br>▪ Public and social services<br>▪ Transparent governance<br>▪ *Political strategies & perspectives* | ▪ Local accessibility<br>▪ (Inter-)national accessibility<br>▪ Availability of ICT-infrastructure<br>▪ Sustainable, innovative and safe transport systems | ▪ Cultural facilities<br>▪ Health conditions<br>▪ Individual safety<br>▪ Housing quality<br>▪ Education facilities<br>▪ Touristic attractivity<br>▪ Social cohesion |

# Indicatori di performance nella smart city (3/4)

- **Strumenti di supporto per il design di un significativo set di indicatori**
  - **Complessità nella misurazione della smartness delle città**
  - **Forte dipendenza delle performance urbane anche dall'infrastruttura 'umana' e 'sociale'**

- **Definizione di indicatori di performance (KPI) delle cittá**
  - **Approccio metodologico a due assi per dare importanza ed attenzione a diversi aspetti**
  - **Raggruppamento degli indicatori in singoli pannelli tematici**
    - **Consumo di energia, acqua, gas / Rifiuti / Fattori inquinanti / Mobilità e trasporto / L'uso razionale del territorio e il consumo di suolo / Indicatori di well-being**

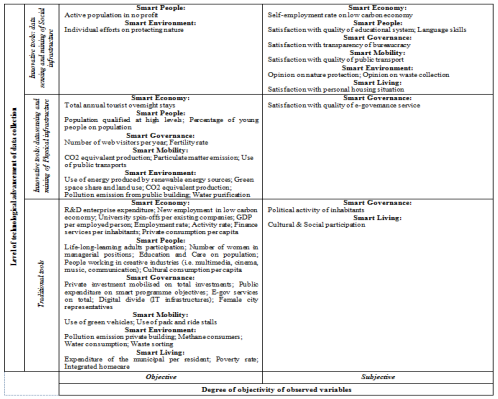



**Framework per la classificazione multidimensionale degli indicatori**

# Indicatori di performance nella smart city (4/4)

## Set di indicatori in corso di sviluppo per la città di Bari (collaborazione con Progetto URBES di ISTAT)

- **Classificazione multidimensionale dei potenziali indicatori**
- **Estratto del pannello di indicatori riguardante la smart mobility**




| | Indicator Definition | Measure | Unit | Update rate | Collection of data |
|---|---|---|---|---|---|
| Smart Mobility | Use of green vehicle | Percentage of green vehicles on total registered vehicles | - | yearly | Institutional counts |
| | Use of park and ride stalls | Number of parking in park and ride stalls | - | six-monthly | Utilities operator register |
| | CO2 equivalent production | Equivalent $CO_2$ per year | t $CO_2e$ / year | monthly | Transportation-related emission estimation model based on vehicle activity metering |
| | Particulate matter emission | Particulate matter level | $\mu g/m^3$ | monthly | Environmental sensing through wireless sensor network |
| | Use of public transports | Passenger trips | - | three-monthly | City officials and transport operators register |
| | Satisfaction with public transport | Rate of satisfaction | - | six-monthly | Reality mining from user generated content |

**Legend:**

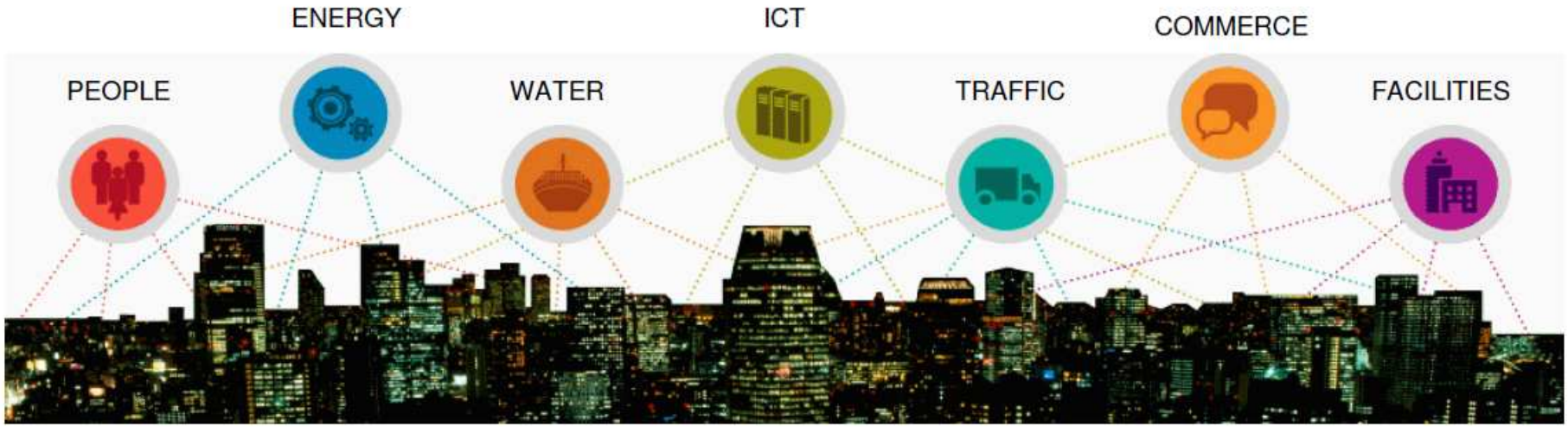
- **Objective indicator**
- **Subjective indicator**
- **Traditional tool**
- **Sensing and mining of Physical Infrastructure**
- **Sensing and mining of Social Infrastructure**

# Sommario

- Introduzione
- Urban Control Center
- Indicatori di performance nella smart city
- **Attività decisionali nella smart city**
- Caso di studio
- Conclusioni

# Attività decisionali nella smart city (1/5)

- **La città è un complesso insieme di sistemi (*System of Systems*)...**




**<u>Definizione</u>: un *sistema* è un insieme di componenti tra loro interagenti e interdipendenti che formano un complesso integrato**

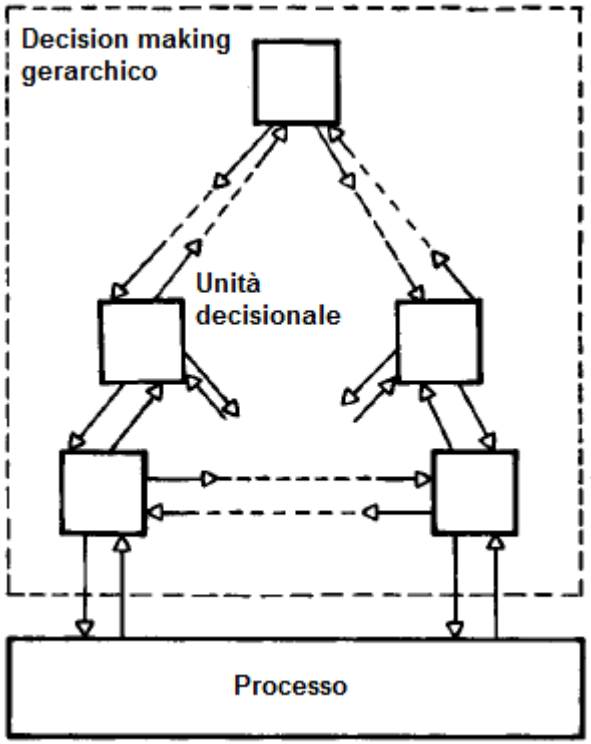
# Attività decisionali nella smart city (2/5)

- **... quindi per la programmazione strategica della città occorre un sistema di supporto alle decisioni**
  - **intelligente ed articolato**
  - **basato sui più moderni strumenti della ricerca operativa e del business intelligence**
    - **decision making di tipo gerarchico (multi-level programming)**
    - **tecniche decisionali integrate: ottimizzazione multi-obiettivo, analisi multi-criterio e gerarchica, etc**
  - **in grado di superare gli ostacoli dovuti alla complessità del contesto, quali:**
    - **obiettivi e requisiti conflittuali**
    - **decision-making frammentato**
    - **difficile cross-ottimizzazione tra sotto-sistemi**

# Attività decisionali nella smart city (3/5)

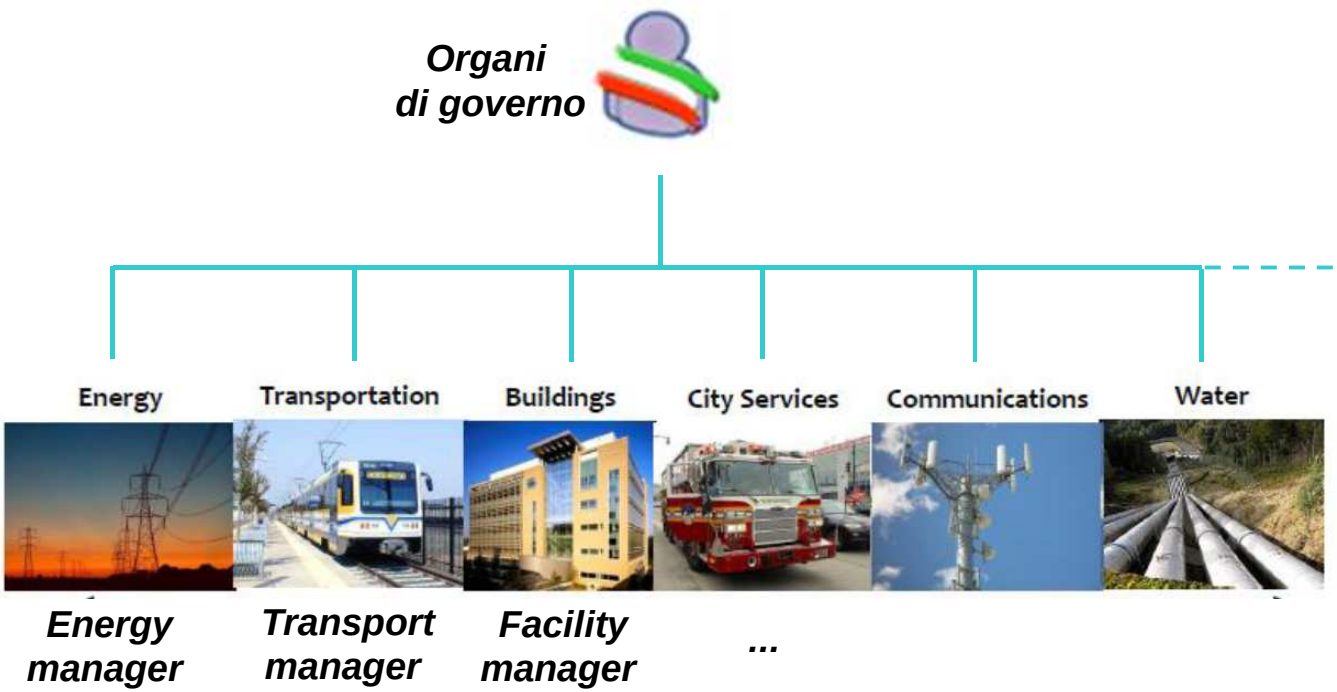
## Approccio per la risoluzione di situazioni decisionali complesse

- **Scomposizione del processo decisionale in sotto-problemi**
- **Risoluzione dei problemi a singolo livello**
- **Coordinamento delle varie soluzioni**
- **Caratteristiche:**
  - **Le unità di livello superiore si interessano agli aspetti più generali e globali del comportamento del sistema / processo**
  - **Le unità di livello superiore si occupano degli andamenti più «lenti» del comportamento globale del sistema / processo**
  - **La modellizzazione dei problemi ai livelli più alti sono meno strutturate, con più incertezze e con minore formalizzazione quantitativa**



# Attività decisionali nella smart city (4/5)

- **Dall'organizzazione gerarchica della città ...**



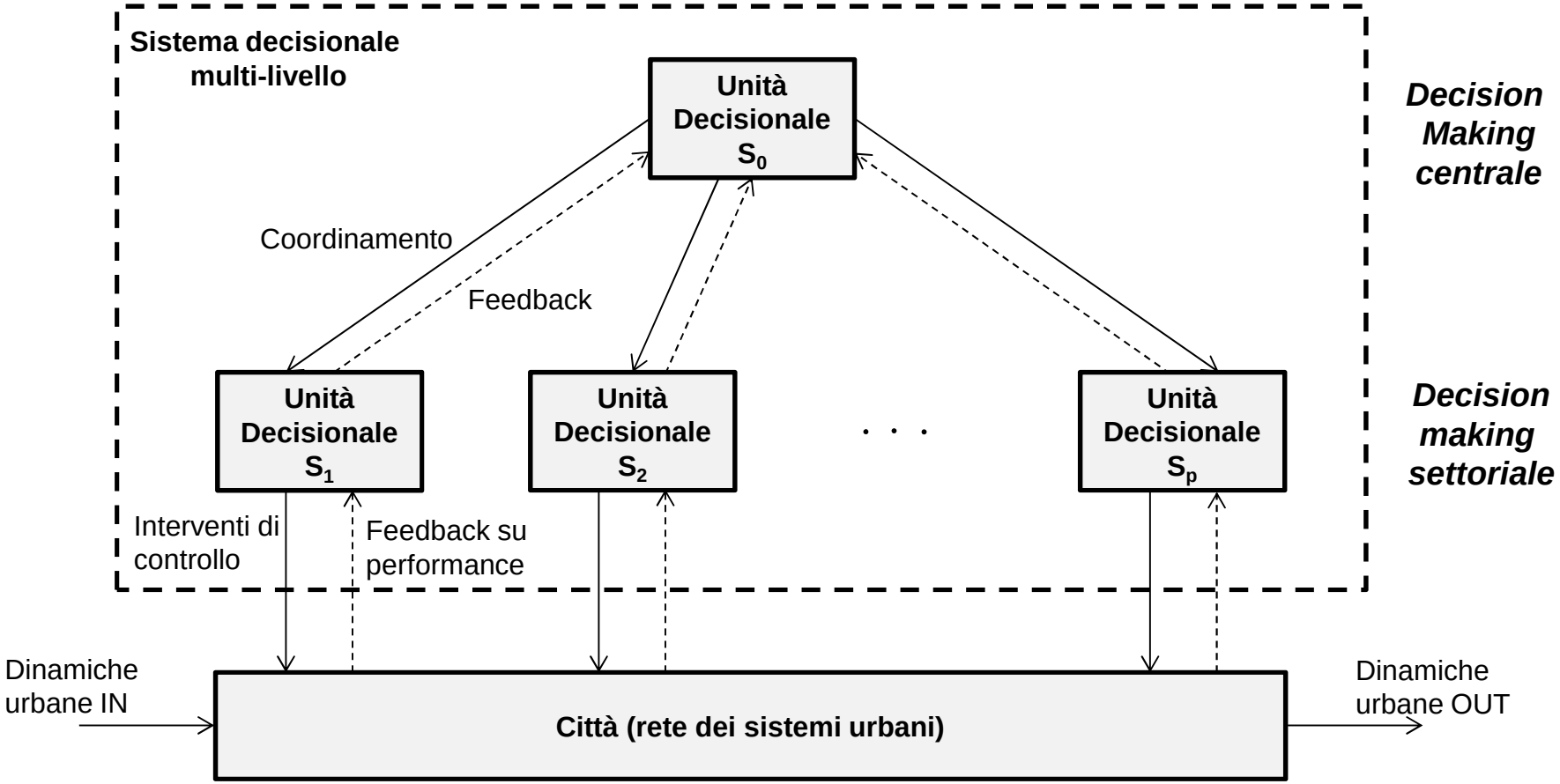

***Leader***
***Livello Superiore***

***Settori / Dipartimenti***
***Livello Inferiore***

**Astrazione della gerarchia organizzativa della governance**

# Attività decisionali nella smart city (5/5)

- **... all'architettura del processo decisionale**




**Decisori e modalità di interazione con le dinamiche urbane**

# Step 1 - Processo decisionale integrato

## 1. Decision making integrato dell'intero sistema (Multi-level programming)

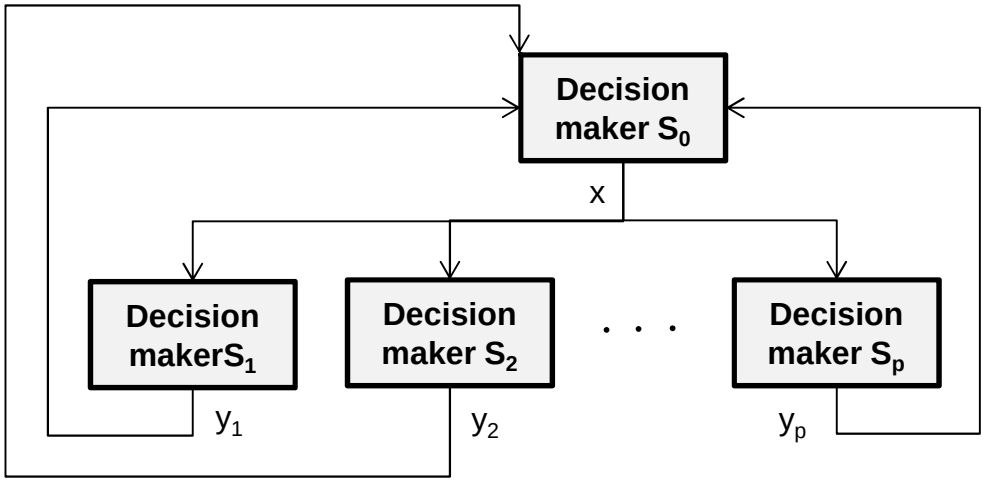
$$\max_x F(x, y_1, y_2, \ldots, y_p)$$

$$\text{s.t. } G(x) \le 0$$

$$\text{dove ciascun } y_i,\ i = 1,2,\ldots,p \text{ risolve}$$

$$\max_{y_i} f_i(x, y_1, y_2, \ldots, y_p)$$

$$\text{s.t. } g(x, y_1, y_2, \ldots, y_p) \le 0$$




allocazione risorse

azioni di intervento

obiettivi aggregati

obiettivi di settore

$x$ : variabili decisionali Unità decisionale Centrale

$y_i$; $i = 1,2,\ldots,p$ : variabili decisionali Unità decisionali Settoriali

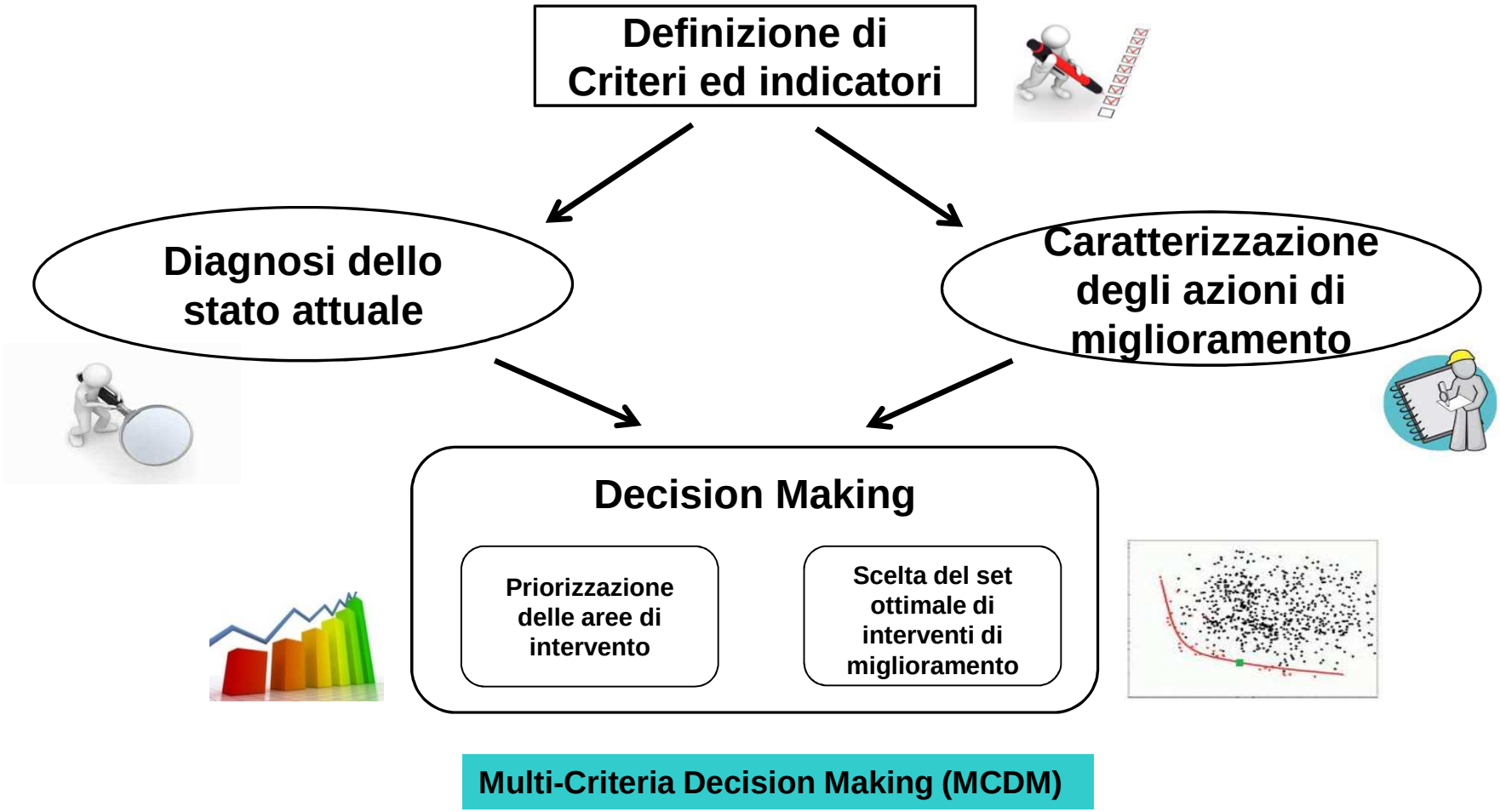
F e G : funzione obiettivo e vincolo Unità decisionale Centrale

$f_i$ e g : funzioni obiettivo e vincolo Unità decisionali Settoriali

**Bi-Level Decentralized Programming Problem (BLDPP)**

# Step 2 - Processo decisionale al singolo livello

## 2. Al singolo livello ciascuna unità decisionale esegue il decision making multi-criterio




**Multi-Criteria Decision Making (MCDM)**

# Sommario

- Introduzione
- Urban Control Center
- Indicatori di performance nella smart city
- Attività decisionali nella smart city
- **Caso di studio**
- Conclusioni

# Caso di Studio (1/14)

## Decision making settoriale: settore edifici

- **Programmazione degli interventi di ammodernamento di uno stock di edifici**

## Scenario:

- **Stock *B* costituito da K=5 edifici** $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\}$
  - **Tipologia: edifici pubblici**
  - **Destinazione: istituti scolastici**
  - **Ubicazione: Città di Bari**

***Personal card***

- **Descrizione degli edifici**
  - **Caratteristiche di ogni edificio:**
    - **Anno di costruzione**
    - **Superficie utile**
    - **Tipo e caratteristiche dell' impianto termico**
    - **Tipo di impianto di climatizzazione (se esiste)**
    - **etc**

| ID | Descrizione edifici |
|---|---|
| $B_1$ | Scuola 1:<br>• Superficie utile: 3341,6 m²<br>• Anno di costruzione: 1980<br>• Localizzazione: Bari<br>• Tipo impianti: unica centrale termica composta da 2 caldaie (una caratterizzata da potenza termica al focolare di 243 kW e l'altra da potenza termica al focolare di 211 kW), ubicate in un apposito locale non riscaldato.<br>• Condizionatori d'aria: non presenti<br>• Corpi radianti: radiatori tradizionali |
| $B_2$ | Scuola 2<br>• Superficie utile: 3174,4 m²<br>• Anno di costruzione: 1920<br>• Localizzazione: Bari<br>• Tipo impianti: unica centrale termica composta da 1 caldaie (caratterizzata da potenza nominale al Focolare di 451,7 kW alimentata a gas metano).<br>• Condizionatori d'aria: non presenti<br>• Corpi radianti: radiatori tradizionali |
| $B_3$ | Scuola 3<br>• Superficie utile: 2568,7 m²<br>• Anno di costruzione: 1925<br>• Localizzazione: Bari<br>• Tipo impianti: unica centrale termica composta da 1 caldaie (caratterizzata da Potenza Utile nominale di 349 kW e Potenza al focolare di 378 kW, alimentata a gas metano).<br>• Condizionatori d'aria: non presenti<br>• Corpi radianti: radiatori tradizionali |
| $B_4$ | Scuola 4<br>• Superficie utile: 4989,6 m²<br>• Anno di costruzione: 1951<br>• Localizzazione: Bari<br>• Tipo impianti: unica centrale termica composta da 1 caldaie (caratterizzata da Potenza Termica Utile di 540,2 kW alimentata a gas metano).<br>• Condizionatori d'aria: non presenti<br>• Corpi radianti: radiatori tradizionali |
| $B_5$ | Scuola 5<br>• Superficie utile: 2474,6 m²<br>• Anno di costruzione: 1968<br>• Localizzazione: Bari<br>• Tipo impianti: unica centrale termica composta da 4 caldaie (ciascuna è caratterizzata da Potenza Utile Max di 113,7 kW ciascuna e Potenza Termica al focolare di 116 kW ciascuna, alimentate a gas metano).<br>• Condizionatori d'aria: non presenti<br>• Corpi radianti: radiatori tradizionali |

# Caso di Studio (2/14)

- **Definizione dei criteri**
  - **set *C* di I=4 criteri** $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$
  - **Focus sugli aspetti energetico-ambientali e di benessere**

| ID | Descrizione |
|---|---|
| $C_1$ | Consumo di energia elettrica |
| $C_2$ | Consumo di gas metano |
| $C_3$ | Consumo di acqua |
| $C_4$ | Comfort |

- **Indicatori associati ai criteri**

| ID | Descrizione |
|---|---|
| $I_1$ | Consumo di energia elettrica [KWh/anno] |
| $I_2$ | Consumo di gas [mc/anno] |
| $I_3$ | Consumo di acqua [mc/anno] |
| $I_4$ | Comfort |

# Caso di Studio (3/14)

- **Diagnosi degli edifici dello stock**
  - **Caratterizzazione di ciascun edificio dal punto di vista di ogni criterio**

***Matrice di caratterizzazione degli edifici***

| | ID | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $I_4$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [KWh/anno] | [mc/anno] | [mc/anno] | (1-10) |
| Edifici | $B_1$ | 25290 | 14210 | 1950 | 4 |
| | $B_2$ | 39500 | 21000 | 2700 | 4 |
| | $B_3$ | 41026 | 18200 | 2250 | 4 |
| | $B_4$ | 43851 | 18235 | 2500 | 4 |
| | $B_5$ | 44582 | 18000 | 2400 | 4 |

# Caso di Studio (4/14)

- **Individuazione del superset *A* di J=7 azioni potenzialmente applicabili a ciascuno degli edifici dello stock**

$$A = \{ A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7 \}$$

| ID | Descrizione delle Azioni |
|---|---|
| $A_1$ | Coibentazione pareti esterne |
| $A_2$ | Coibentazione copertura |
| $A_3$ | Sostituzione finestre |
| $A_4$ | Sostituzione caldaia |
| $A_5$ | Installazione valvole termostatiche |
| $A_6$ | Installazione rompi getto per risparmio idrico |
| $A_7$ | Sostituzione di apparecchi di illuminazione |

# Caso di Studio (5/14)

- **Caratterizzazione delle azioni di miglioramento da applicare agli edifici**
  - **1. Stima del potenziale di applicazione $a_{jk}$ dell'azione j sull'edificio k**

| | | Potenziale di applicazione $a_{jk}$ dell'azione $A_j$ sull'edificio $B_k$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $a_{j1}$ | $a_{j2}$ | $a_{j3}$ | $a_{j4}$ | $a_{j5}$ | U.d.M. |
| Azioni Aj | A1 | 2986,50 | 3321,86 | 2974,94 | 2344,16 | 1592,27 | mq |
| | A2 | 1541,50 | 1978,90 | 1005,00 | 2453,10 | 1683,51 | mq |
| | A3 | 506,92 | 250,60 | 393,02 | 292,50 | 107,43 | mq |
| | A4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | Cad. |
| | A5 | 110 | 70 | 70 | 60 | 60 | Cad. |
| | A6 | 50 | 50 | 40 | 40 | 30 | Cad. |
| | A7 | 390 | 396 | 360 | 365 | 349 | Cad. |

# Caso di Studio (6/14)

- **Caratterizzazione delle azioni di miglioramento da applicare agli edifici**
  - **2. Modello di calcolo del costo dell'azione j applicata all'edificio k**

$$C_{jk} = c_j \cdot a_{jk}$$

$c_j$ costo unitario di $A_j$

$a_{jk}$ potenziale di applicazione di $A_j$ per $B_k$

| | | Costo unitario dell'azione $A_j$ | U.d.M. |
|---|---|---|---|
| | | $c_j$ | |
| Azioni | $A_1$ | 55,27 | €/m² |
| | $A_2$ | 51,60 | €/m² |
| | $A_3$ | 348,63 | €/m² |
| | $A_4$ | 9750 | €/Cad. |
| | $A_5$ | 45,74 | €/Cad. |
| | $A_6$ | 25,72 | €/Cad. |
| | $A_7$ | 65,22 | €/Cad. |

# Caso di Studio (7/14)

- **Caratterizzazione delle azioni di miglioramento da applicare agli edifici**
  - **3. Modello (semplificato) di calcolo del payoff dell'azione j applicata all'edificio k**

$$P_{ijk} = p_{ijk} \cdot a_{jk}$$

$p_{ijk}$ payoff unitario su $I_i$ di $A_j$ per $B_k$

$a_{jk}$ potenziale di applicazione di $A_j$ per $B_k$

**Payoff unitario $p_{ijk}$ dell'azione $A_j$ sull'indicatore $I_i$ per ogni edificio $B_k$**

| Edificio $B_1$ | | Indicatore $I_1$ $p_{1jk}$ | | Indicatore $I_2$ $p_{2jk}$ | | Indicatore $I_3$ $p_{3jk}$ | | Indicatore $I_4$ $p_{4jk}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | | % | | % | | (0-10) | |
| | $A_1$ | - | - | -15% | 0,71 [mc/anno/mq] | - | - | +3 | 6,70E-04 [1/mq] |
| | $A_2$ | - | - | -10% | 0,92 [mc/anno/mq] | - | - | +1 | 4,32E-04 [1/mq] |
| | $A_3$ | -5% | 2,49 [KWh/anno/mq] | -5% | 1,40 [mc/anno/mq] | - | - | +1 | 1,32E-03 [1/mq] |
| | $A_4$ | - | - | -25% | 1776 [mc/anno cad.] | - | - | +3 | 1,00E+00 Cad. |
| | $A_5$ | - | - | -2,5% | 3,23 [mc/anno cad.] | - | - | +1 | 6,06E-03 Cad. |
| | $A_6$ | - | - | - | - | -20% | 7,8 [mc/anno cad.] | - | - |
| | $A_7$ | -30% | 19,45 [KWh/anno cad.] | - | - | - | - | - | - |

# Caso di Studio (8/14)

- **Definizione delle variabili decisionali**
  - **Occorre valutare per ognuno dei K edifici se applicare ciascuna delle J azioni**

***J x K variabili decisionali binarie***

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{se viene deciso di applicare l'azione} \\ 0 & \text{se NON viene deciso di applicare l'azione} \end{cases}$$

$$\boldsymbol{x} = \lfloor \boldsymbol{x}_{j1} \quad \boldsymbol{x}_{j2} \quad \ldots \quad \boldsymbol{x}_{jk} \quad \ldots \quad \boldsymbol{x}_{j5} \rfloor$$

$$\mathbf{x}_{j1} = \lfloor x_{11} \quad x_{21} \quad \ldots \quad x_{j1} \quad \ldots \quad x_{7,1} \rfloor$$
$$\mathbf{x}_{j2} = \lfloor x_{12} \quad x_{22} \quad \ldots \quad x_{j2} \quad \ldots \quad x_{7,2} \rfloor$$
$$\ldots$$
$$\mathbf{x}_{jk} = \lfloor x_{1k} \quad x_{2k} \quad \ldots \quad x_{jk} \quad \ldots \quad x_{7,k} \rfloor$$
$$\ldots$$
$$\mathbf{x}_{j5} = \lfloor x_{15} \quad x_{25} \quad \ldots \quad x_{j5} \quad \ldots \quad x_{7,5} \rfloor$$

# Caso di Studio (9/14)

- **Problema decisionale**
  - **Scelta del set ottimale di interventi da implementare su un predeterminato stock di edifici al fine di**
    - **renderli più efficienti dal punto di vista energetico,**
    - **più sostenibili dal punto di vista ambientale**
    - **più confortevoli dal punto di vista degli occupanti**
    - **rispettando il budget di spesa prefissato**

***Problema di decision making multi criterio***

1. **Calcolo delle soluzioni ottimali di Pareto (MODM)**
2. **Selezione di una tra le soluzioni ottimali che offra al decisore il compromesso**

# Caso di Studio (10/14)

- **Definizione dei vincoli del problema**
  - **Calcolo del costo totale delle azioni da implementare**
  - **Confronto con il budget assegnato BDG**

***Vincolo di budget***

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot C_{jk} \leq BDG$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot c_{j} \cdot a_{jk} \leq BDG$$

# Caso di Studio (11/14)

- **Definizione delle funzioni obiettivo**
  - **Massimizzione del risparmio di energia elettrica**
  - **Massimizzione del risparmio di gas metano**
  - **Massimizzione del risparmio di acqua**
  - **Massimizzione del comfort**

***4 funzioni obiettivo***

$$f_i(x_{jk}) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot P_{ijk}$$

$$f_i(x_{jk}) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot p_{ij} \cdot a_{jk}$$

# Caso di Studio (12/14)

## Sintetizzando:

- **Formulazione matematica del problema di ottimizzazione multi-obiettivo**

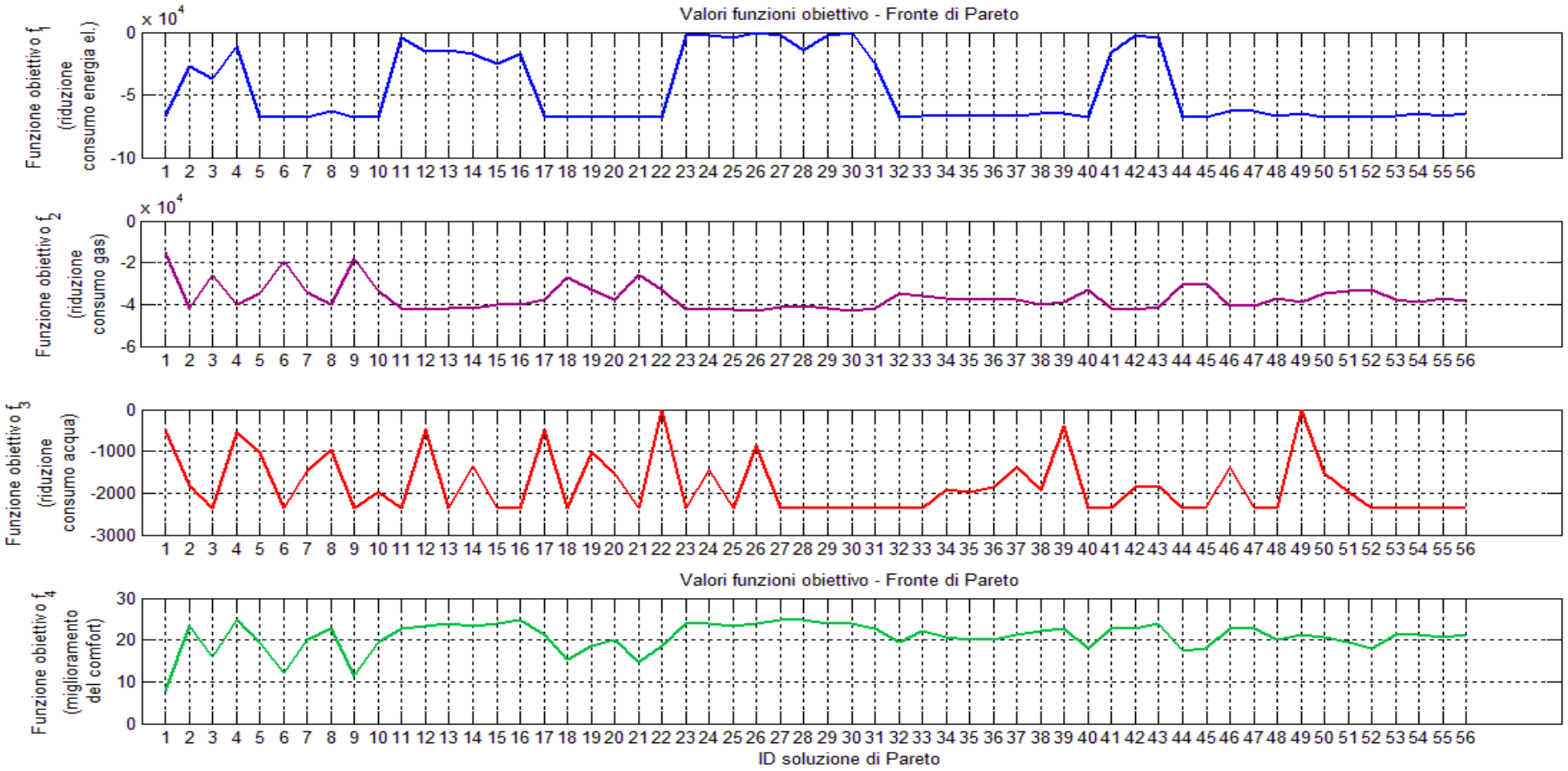
$$\begin{cases} [\min] f_1(x_{jk}) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot p_{1j} \cdot a_{jk} \\ [\min] f_2(x_{jk}) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot p_{2j} \cdot a_{jk} \\ [\min] f_3(x_{jk}) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot p_{3j} \cdot a_{jk} \\ [\max] f_4(x_{jk}) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot p_{4j} \cdot a_{jk} \end{cases}$$

s. t. $x_{jk} \in \{0,1\}$ con $j = 1 \div J$ e $k = 1 \div K$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \cdot c_j \cdot a_{jk} \le BDG$$

# Caso di Studio (13/14)

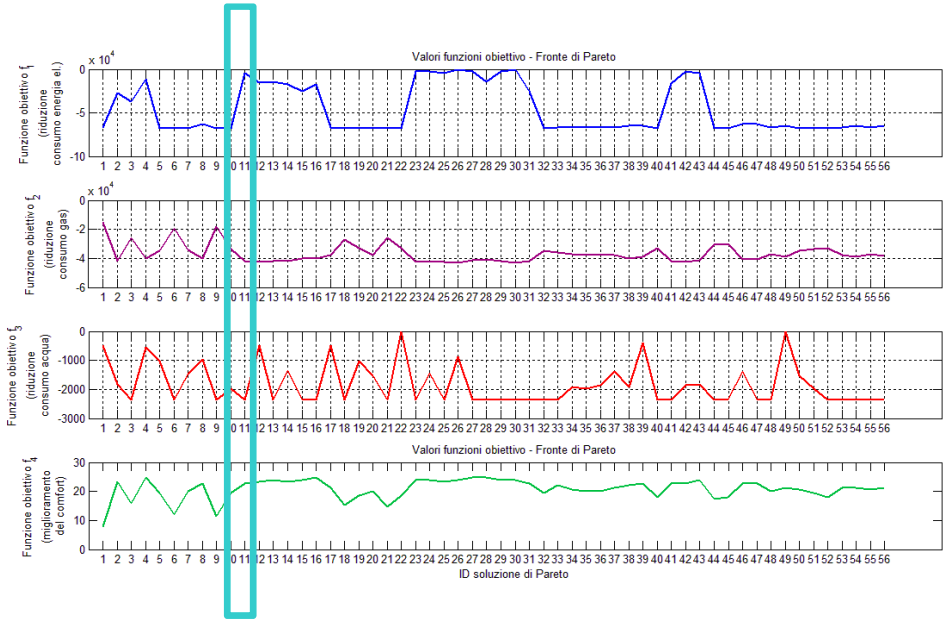
## Risultati - soluzioni ottimali di Pareto:




**Utilizzate tecnica MOGA (Multi-Objective Genetic Algorithm)**

# Caso di Studio (14/14)

## Risultati – Selezione di una tra le soluzioni ottimali che offra al decisore il compromesso migliore




**Soluzione ottimale scelta sulla base delle preferenze del decisore (pesi attribuiti ai criteri decisionali $w_1$, $w_2$, $w_3$, $w_4$)**

**Scelta ottimale ottenuta con la tecnica FTOPSIS (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)**

# Sommario

- Introduzione
- Urban Control Center
- Indicatori di performance nella smart city
- Attività decisionali nella smart city
- Caso di studio
- **Conclusioni**

# Conclusioni

## Risultati

- **Indicatori per la valutazione delle performance delle smart city:**
  - **Framework per lo sviluppo di un set completo di indicatori**
- **Sistemi di supporto per la programmazione delle smart city:**
  - **Architettura del processo decisionale**
  - **Definizione delle funzionalità core**

- **Path forward**
  - **Caso di studio per la definizione del set di indicatori per la città Bari**
  - **Caso di studio per la validazione dei sistemi decisionali per la città Bari**

Bari, 2-3 dicembre 2013

www.greencityenergy.it

# Gli Indicatori Urbani per la Misurazione delle Performance e il Supporto alle Attività Decisionali e di Programmazione della Smart City

**Prof. Ing. Mariagrazia DOTOLI**
**Dott. Ing. Raffaele CARLI**
**Dipartimento di Ing. Elettrica e dell'Informazione - Politecnico di Bari**

**email: dotoli@poliba.it, r.carli@poliba.it**

POLITECNICO DI BARI

DEI DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE