



**SAPIENZA**  
**UNIVERSITÀ DI ROMA**

**C.I.T.E.R.A.**

**Centro di Interdipartimentale Territorio, Edilizia, Restauro, Architettura**

**Dottorato di ricerca in**  
**“Risparmio energetico e microgenerazione distribuita”**  
**XXIV Ciclo**

**Modello per la valutazione  
energetica di grandi patrimoni edilizi**

**Coordinatore: Prof. Ing. Livio De Santoli**

**Tutor :**  
**Prof. Ing. Francesco Mancini**

**Dottorando:**  
**Ing. Marco Cecconi**

## **Obiettivo**

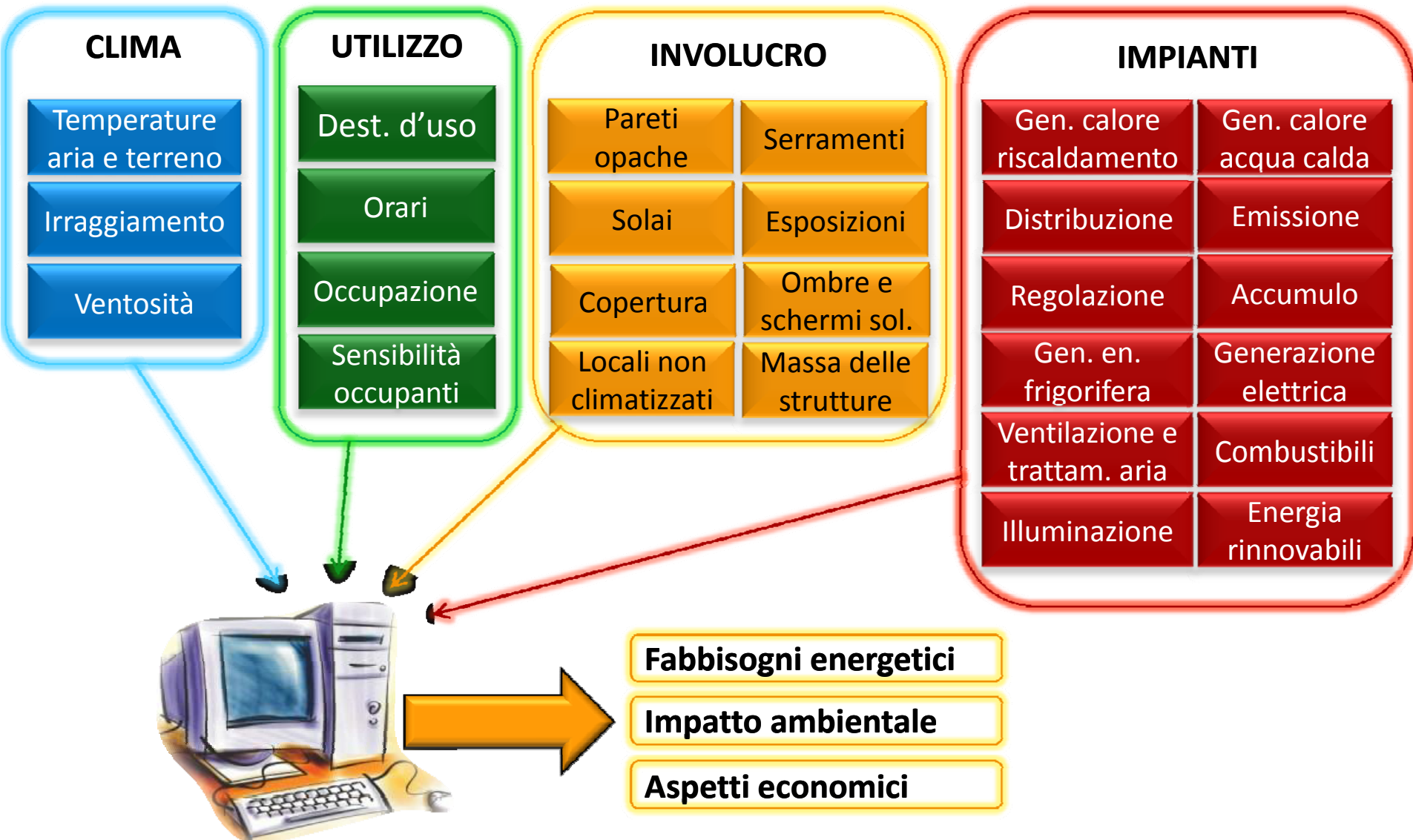
Realizzare una metodologia di calcolo in grado di valutare le prestazioni energetiche di un edificio, un gruppo di edifici od una intera città ed individuare le strategie di intervento per permettere il raggiungimento degli obiettivi di risparmio col minor investimento economico.

## **Argomenti**

- Sviluppo del software Archi-Energy per la valutazione energetica degli edifici.
- Processo di validazione per la verifica dell'attendibilità dei risultati.
- Applicazione al caso reale del parco edilizio residenziale della città di Roma:
  - o Calcolo del fabbisogno energetico attuale.
  - o Valutazione degli interventi di riqualificazione.
  - o Attuazione degli obiettivi di riduzione delle emissioni.

# Diagnosi energetiche degli edifici

## PARAMETRI COINVOLTI NEL CALCOLO



# Diagnosi energetiche degli edifici

## METODI DI CALCOLO

- Metodi stagionali

Viene effettuato un unico bilancio energetico medio per tutta la stagione di riscaldamento o raffrescamento.

- Metodi mensili

Viene effettuato un bilancio energetico giornaliero per ogni mese dell'anno.

- Metodi dinamici (orari o sub-orari)

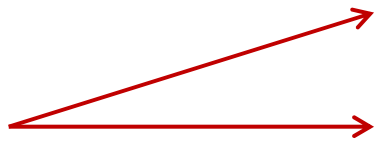
Viene effettuato un calcolo dinamico (orario o sub-orario) del sistema edificio-impianto.



# Diagnosi energetiche degli edifici

## SOFTWARE DI CALCOLO MENSILI CONFORMI UNI TS 11300

Esistono 10 software commerciali certificati dal Comitato Termotecnico Italiano. Molti sono ottimamente concepiti, ma sono state riscontrate alcune limitazioni per la loro applicazione nell'ambito della ricerca:

- Interfaccia chiusa 
  - Impossibile implementazione di calcoli aggiuntivi o alternativi.
  - Difficile interpretazione dei calcoli esatti che vengono svolti: controllo poco agevole e bassa valenza didattica.
- Impossibile la valutazione di tecnologie innovative o sperimentali.
- Impostazione generalmente non predisposta per la valutazione comparativa di soluzioni differenti.
- Assenza di valutazioni economico/finanziarie anche in relazione a incentivi e benefici fiscali vigenti.
- Prodotti a pagamento.

# Diagnosi di grandi patrimoni edilizi

**Obiettivo:** valutare l'efficienza energetica del parco edilizio esistente e determinare gli interventi necessari a raggiungere gli obiettivi di risparmio prefissati (Pacchetto clima-energia 20-20-20, Patto dei Sindaci, ...)

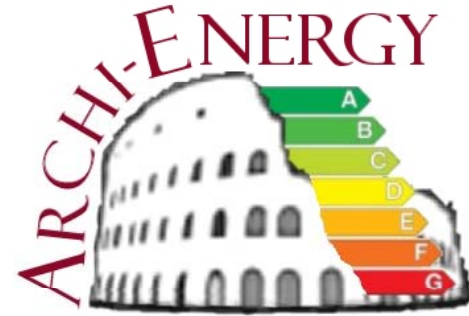
Tali problematiche si traducono in necessità di calcolo del software:

| Caratteristiche specifiche                                                                                                                            | Necessità di calcolo                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrizione degli edifici a partire da dati statistici aggregati.                                                                                     | Necessarie elaborazioni iniziali per fornire i giusti input al software di analisi.                                                       |
| Necessità di suddividere il patrimonio in sotto-gruppi da studiare separatamente e per ognuno di essi valutare diversi interventi di efficientamento. | Predisposizione di un ambiente di calcolo flessibile, in grado di elaborare in parallelo i singoli sotto-gruppi e realizzare i confronti. |
| Necessità di studiare l'evoluzione dei consumi negli anni per diversi scenari, in relazione ai provvedimenti messi in atto.                           | Introduzione di algoritmi evolutivi capaci di modellare la trasformazione della città dovuta a ristrutturazioni e nuove edificazioni.     |
| Necessità di individuare il pacchetto di interventi che permettono negli anni di raggiungere gli obiettivi di risparmio energetico prefissati.        | Implementazione di logiche di ottimizzazione degli interventi in relazione agli scenari di evoluzione.                                    |
| Necessità di valutare l'entità degli investimenti e i tempi di ritorno.                                                                               | Introduzione di valutazioni economiche e di convenienza dell'investimento.                                                                |

# Archi-Energy

## CARATTERISTICHE

- Analisi economico-energetica del sistema edificio-impianto per tutti gli utilizzi energetici.
- Calcolo differenziato con due differenti algoritmi:
  - o Conforme UNI TS 11300 per la certificazione energetica.
  - o Alternativo, messo a punto in questa ricerca, per una modellazione più aderente alla realtà di alcuni aspetti del sistema edificio.
- Flessibilità e scalabilità del campo di applicazione: appartamenti, edifici, gruppi di edifici o intere città.
- Integrazione di algoritmi evolutivi per studiare l'evoluzione energetica delle città e determinare gli interventi necessari al raggiungimento degli obiettivi.
- Analisi comparativa immediata tra soluzioni tecniche differenti.
- Inserimento dati semplificato per ridurre i tempi degli screening preliminari.
- Possibilità di valutare soluzioni innovative del sistema edificio-impianto.
- Filosofia open-source, aperta ai contributi della comunità scientifica e alle necessità didattiche degli studenti.



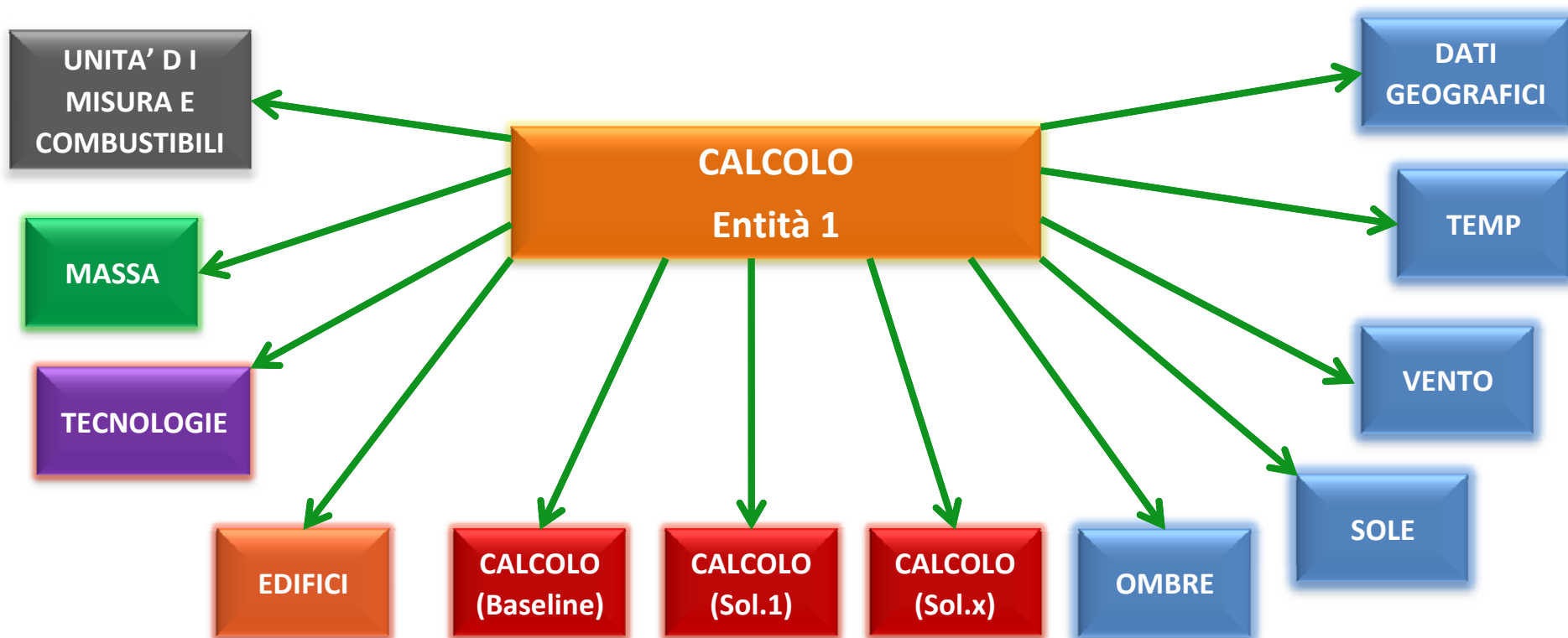
# Struttura del software

## STRUTTURA DEL SINGOLO FILE

Ogni file descrive un'entità di calcolo a sé stante.

Il file è composto da svariati fogli di calcolo con diverse funzionalità.

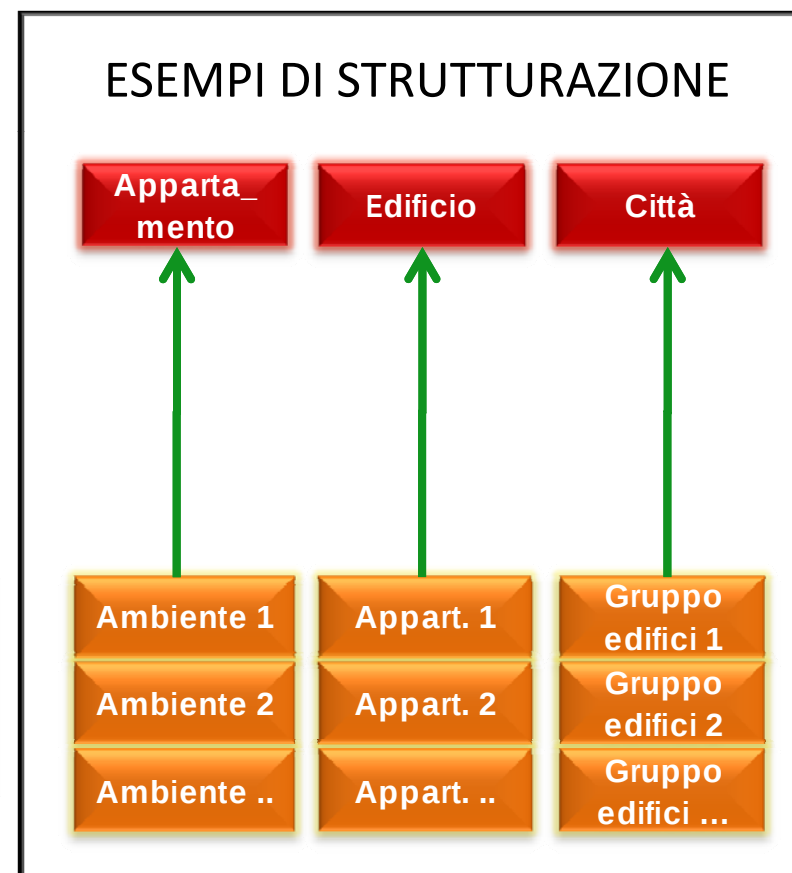
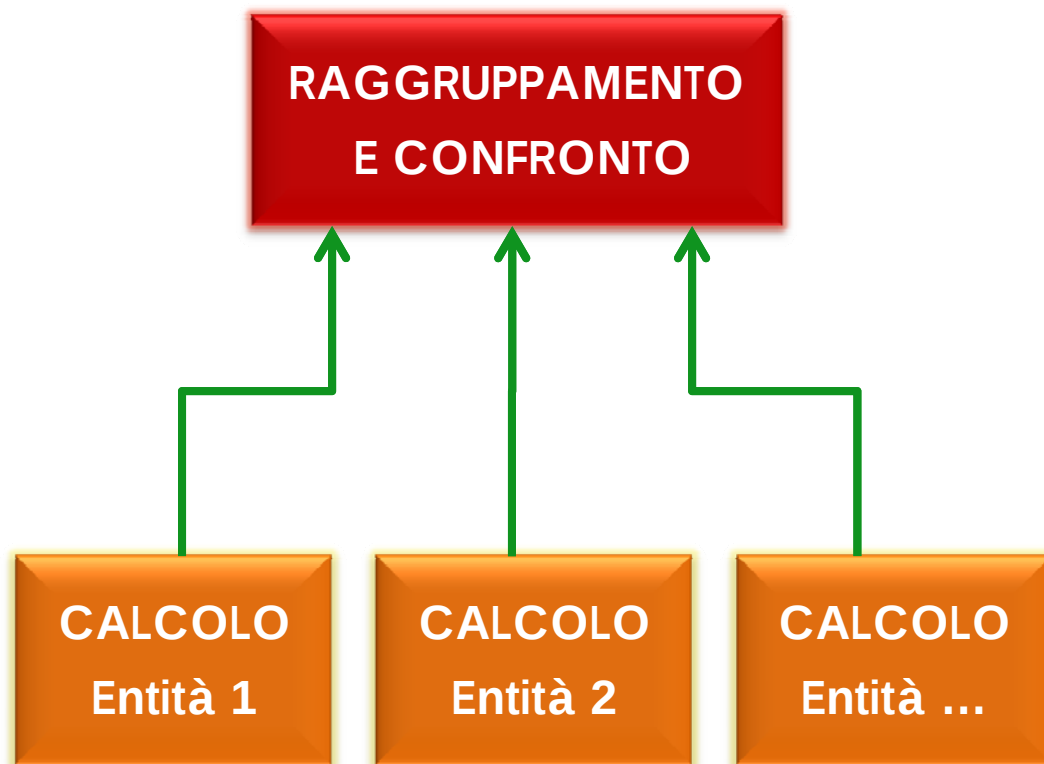
L'utente può duplicare all'infinito il foglio "CALCOLO (Sol.1)" per confrontare diverse soluzioni alternative rispetto a quella di base "CALCOLO (Baseline)".



# Struttura del software

## SISTEMA MULTI-FILE

Nel caso sia necessario eseguire parallelamente calcoli su diverse entità si possono utilizzare più file raggruppandoli mediante un file di riepilogo e confronto.



# Interfaccia utente

## IMMAGINI DAL FOGLIO "TECNOLOGIE"

## 1. INVOLUCRO

### 1.1 Superfici disperdenti

### 1.1.1 Componenti opachi (pareti, solai, coperture, ecc)

|                                                 |    | TIPOLOGIA                        |                                  |                                    |                                   |
|-------------------------------------------------|----|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Nome tipologia                                  |    | 1E-ParEst                        | 1E-ParTerra                      | 1E-SolSottot                       | 1E-SolC                           |
| Descrizione tipologia                           |    | Blocchi laterizio alleggerito no | Blocchi laterizio alleggerito no | Separaz. tra ambienti e sottotetto | Copertura latero-ceramica isolata |
| Trasmittanza (U) [W/m <sup>2</sup> K]           |    | 0.75                             | 1.63                             | 0.40                               |                                   |
| Cond. Superf. Interna (hi) [W/m <sup>2</sup> K] |    | 7.7                              | 7.7                              | 10.00                              | 10.00                             |
| Cond. Superf. Esterna (he) [W/m <sup>2</sup> K] |    | 25.0                             | 5.0                              | 10.00                              | 25.00                             |
| Absorbività (a) [adim]                          |    | 0.60                             | 0.60                             | 0.60                               | 0.60                              |
| Costo nuova costruzione:                        |    |                                  |                                  |                                    |                                   |
| Fisso [€]                                       |    | 0                                | 0                                | 0                                  | 0                                 |
| Fino a m <sup>2</sup> [€/m <sup>2</sup> ]       | 20 | 80                               | 80                               | 200                                | 200                               |
| Oltre [€/m <sup>2</sup> ]                       |    | 50                               | 50                               | 150                                | 150                               |
| Costo riqualificazione:                         |    |                                  |                                  |                                    |                                   |
| Fisso [€]                                       |    |                                  |                                  |                                    |                                   |
| Fino a m <sup>2</sup> [€/m <sup>2</sup> ]       | 20 |                                  |                                  | 40                                 | 40                                |
| Oltre [€/m <sup>2</sup> ]                       |    |                                  |                                  | 30                                 | 30                                |

### 1.1.5 Spazi non climatizzati

|                                                             | TIPOLOGIA               |                |                 |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| Nome tipologia                                              | Garage                  | Scale          | Serra1          |
| Descrizione tipologia                                       | Garage sotto abitazione | Vano scale     | Serra addossata |
| Categoria                                                   | Temp. fissa             | No irragg. - T | Serra           |
| Dimensione 'h' (ved. disegno)                               |                         |                | 3.0             |
| Dimensione 'l' (ved. disegno)                               |                         |                | 4.0             |
| Trasmitt. term. media invernale (Uue) [W/m <sup>2</sup> ·K] |                         |                | 1.00            |
| Trasmitt. term. media estiva (Uue) [W/m <sup>2</sup> ·K]    |                         |                | 2.00            |
| Cond. Superf. Spazio non clima (hu) [W/m <sup>2</sup> ·K]   |                         |                | 7.70            |

## 2. IMPIANTI

## 2.1 Generazione termica

### 2.1.1 Caldaie

|                                                    |  | TIPOLOGIA                             |       |                                          |       |                                   |       |
|----------------------------------------------------|--|---------------------------------------|-------|------------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| Nome tipologia                                     |  | GasTradCentralizz                     |       | GasCondCentralizz                        |       | BiomCentralizz                    |       |
| Descrizione tipologia                              |  | Caldaia tradizionale a gas condominio |       | Caldaia a condensazione a gas condominio |       | Caldaia a biomassa per condominio |       |
| <b>Sottosistema di generazione:</b>                |  | Ved. UNITS 11300-2.6.6.5)             |       |                                          |       |                                   |       |
| Combustibile                                       |  | Gas naturale                          |       | Gas naturale                             |       | Pellet                            |       |
| Tipo di generatore                                 |  | Camera stagna tipo C per              |       | A gas a condensazione (4                 |       | Atmosferico tipo B (2 stel        |       |
| Δθ fumi-acqua ritorno [°C]                         |  |                                       |       | 10°                                      |       |                                   |       |
| Temperatura di mandata (θm) [°C]                   |  | 65°                                   |       | 60°                                      |       | 80°                               |       |
| Valore di base del rendimento (η <sub>gn</sub> ,ba |  | 93.0%                                 |       | 104.0%                                   |       | 90.0%                             |       |
| Installazione esterna (F2.1)                       |  | SI                                    | -4.0% | NO                                       |       | SI                                | -9.0% |
| Accum. esterno (solo condens.) (F2.2)              |  |                                       |       | NO                                       |       |                                   |       |
| Altezza camino > 10m (F3)                          |  | SI                                    |       | NO                                       |       | SI                                | -2.0% |
| Temperatura mandata > 65° (F4)                     |  | NO                                    |       | NO                                       |       | SI                                | -2.0% |
| Generatore monostadio (F5)                         |  | SI                                    |       | NO                                       |       | SI                                |       |
| Camino >10m senza chius. aria all'arr              |  | SI                                    |       | SI                                       |       | SI                                |       |
| Temp. di rit. mese più freddo (F7)                 |  | 40°                                   |       | 50°                                      | -4.0% | 55°                               |       |
| <b>Sottosistema di emissione:</b>                  |  | Ved. UNITS 11300-2.6.6.1)             |       |                                          |       |                                   |       |
| Tipo di emissione                                  |  | *Radiatori su par. est. no            |       | Pannelli a pavimento no                  |       | *Radiatori su par. est. no        |       |
| Δθ sist. emissione [°C]                            |  | 25°                                   |       | 10°                                      |       | 25°                               |       |
| <b>Sottosistema di regolazione:</b>                |  | Ved. UNITS 11300-2.6.6.2)             |       |                                          |       |                                   |       |
| Tipo di regolazione                                |  | Climatica con sonda este              |       | Clima+Zona, P banda 1°                   |       | Climatica con sonda este          |       |
| <b>Sottosistema di distribuzione:</b>              |  | Ved. UNITS 11300-2.6.6.3)             |       |                                          |       |                                   |       |
| Tipo di distribuzione                              |  | Imp. centr. con montanti              |       | Imp. centralizz. distrib. o              |       | Imp. centr. con montanti          |       |
| Isolam. distribuzione nel cantinato                |  | Prima del 1961                        |       | L.10/91 (dopo 1993)                      |       | L.373/76 (dopo 1976)              |       |
| <b>Costi</b>                                       |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Costo nuova costruz. [€/kW]:                       |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Fino a kW                                          |  | 35                                    | 250   | 350                                      | 320   |                                   |       |
|                                                    |  |                                       | 200   | 300                                      | 270   |                                   |       |
| Costo riqualificazione [€/kW]:                     |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Fino a kW                                          |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
|                                                    |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Costo manutenzione [%invest./anno]                 |  | 2%                                    |       | 2%                                       |       | 2%                                |       |
| <b>Certificati bianchi</b>                         |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Coefficiente di durabilità (tau)                   |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Vita utile (U)                                     |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| <b>Detrazione fiscale</b>                          |  |                                       |       |                                          |       |                                   |       |
| Aliquota                                           |  | 0%                                    |       | 50%                                      |       | 50%                               |       |
| Numero anni                                        |  |                                       |       | 10                                       |       | 10                                |       |

# Interfaccia utente

## IMMAGINI DAL FOGLIO "CALCOLO"

### CALCOLO

### CONFIGURAZIONI

#### 1 GESTIONE ED UTILIZZO

##### 1.1 Utilizzo struttura

Ora di inizio attività struttura  
Ora di fine attività struttura  
Ore/giorno di attività struttura

|       |            |
|-------|------------|
| 8:00  | [hh:mm]    |
| 16:00 | [hh:mm]    |
| 8.00  | ore/giorno |

Giorni al mese [g]

Giorni al mese di non funzionamento struttura [g]

Giorni al mese di attività [g]

Numero di interruzione lunghe ogni mese [numero]

Ore di attività annuali della struttura

Occupazione di persone durante l'attività

Occupazione di persone fuori dall'attività

| GEN   | FEB           | MAR | APR | MAG | GIU | LUG | AGO | SET | OTT | NOV | DIC | TOT |
|-------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 31    | 28            | 31  | 30  | 31  | 30  | 31  | 31  | 30  | 31  | 30  | 31  | 365 |
| 4     | 4             | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 48  |
| 27    | 24            | 27  | 26  | 27  | 26  | 27  | 27  | 26  | 27  | 26  | 27  | 317 |
| 4     | 4             | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 48  |
| 7'608 | ore           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0.0   | persone/100mq |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0.0   | persone/100mq |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

##### 1.2 Climatizzazione invernale

Set-point e periodi

Temperatura di set-point a piena potenza (θh,set1)

Temperatura di set-point a potenza ridotta (θh,set2)

Inizio stagione riscaldamento

Fine stagione riscaldamento

Giorni di riscaldamento teorici

di cui:

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 20    | C                    |
| 13    | C                    |
| 15/11 | [gg/mm]              |
| 01/04 | [gg/mm]              |
| 137   | giorni               |
| 90    | giorni a inizio anno |
| 47    | giorni a fine anno   |

ⓘ Dettagli sulla stagione di riscaldamento (espandi le righe per consultare)

##### 1.3 Climatizzazione estiva

Set-point e periodi

Temperatura di set-point a piena potenza (θc,set1)

Temperatura di set-point a potenza ridotta (θc,set2)

Inizio stagione raffrescamento

Fine stagione raffrescamento

Giorni di raffrescamento teorici

|       |                  |
|-------|------------------|
| 26    | C                |
|       | Non implementato |
| 01/04 | [gg/mm]          |
| 15/11 | [gg/mm]          |
| 228   | giorni           |

ⓘ Dettagli sulla stagione di raffrescamento (espandi le righe per consultare)

##### 1.4 Carichi interni

Livello di attività delle persone =

50 w/sensibili/persona

50 w/latenti/persona

# Interfaccia utente

## IMMAGINI DAL FOGLIO "CALCOLO"

| ESPOSIZIONE E CONFINI |                 |             |             | COMPONENTI DELL'INVOLUCRO |           |                 |           |            | OMBREGGIAMENTI |            |             |            |            |      | DESCRIZIONE    |
|-----------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------------------|-----------|-----------------|-----------|------------|----------------|------------|-------------|------------|------------|------|----------------|
| Confine               | Spazio n.       | Esposiz.    | Esp. terra  | Compon. opachi lordi      |           | Compon. vetrati |           | mp. op. n. | Ostruz. Orizz. |            | Aggetti     |            | Altro      |      |                |
|                       | Tipo            |             | Tipo        | Tipo                      | Area [m²] | Tipo            | Area [m²] | Area [m²]  | Tipo           | Presenza % | Orizz. Tipo | Vert. Tipo | Presenza % | Tipo |                |
| 1                     | Terreno         |             | Controterra | 1E-SolTerra               | 164.6     |                 |           | 164.6      |                |            |             |            |            |      | Solaio a terra |
| 2                     | Esterno         | SO          |             | 1E-ParEst                 | 47.6      |                 |           | 47.6       |                |            |             |            |            |      | -1             |
| 3                     | Esterno         | SE          |             | 1E-ParEst                 | 26.0      |                 |           | 26.0       |                |            |             |            |            |      | -1             |
| 4                     | Esterno         | NE          |             | 1E-ParEst                 | 47.5      |                 |           | 47.5       |                |            |             |            |            |      | -1             |
| 5                     | Esterno         | NO          |             | 1E-ParEst                 | 26.0      |                 |           | 26.0       |                |            |             |            |            |      | -1             |
| 6                     | Esterno         | SO          |             | 1E-ParEst                 | 65.1      | 1E-Serram       | 5.8       | 59.3       |                |            |             |            |            |      | 0              |
| 7                     | Esterno         | SO          |             | 1E-Portone                | 3.6       |                 |           | 3.6        |                |            |             |            |            |      | 0              |
| 8                     | Esterno         | SE          |             | 1E-ParEst                 | 37.5      | 1E-Serram       | 3.8       | 33.6       |                |            |             |            |            |      | 0              |
| 9                     | Esterno         | NE          |             | 1E-ParEst                 | 68.6      | 1E-Serram       | 8.2       | 60.3       |                |            |             |            |            |      | 0              |
| 10                    | Esterno         | NO          |             | 1E-ParEst                 | 37.5      |                 |           | 37.5       |                |            |             |            |            |      | 0              |
| 11                    | Spazio n. clima | 1E-SottSerr | OR          | 1E-SolSotto               | 146.6     |                 |           | 146.6      |                |            |             |            |            |      | 0              |
| 12                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 13                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 14                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 15                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 16                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 17                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 18                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 19                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 20                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 21                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 22                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 23                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 24                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |
| 25                    |                 |             |             |                           |           |                 |           | 0.0        |                |            |             |            |            |      |                |

NB: Le caselle barrate non sono utilizzate nel calcolo, perciò è inutile riempirle

termus 17.84

# Interfaccia utente

## IMMAGINI DEI PROSPETTI FINALI

### DIAGNOSI ENERGETICA "CENTRO SPORTIVO FITNESS Srl" - SOLUZIONE 1

#### DESCRIZIONE DELLA CONDIZIONE DI CALCOLO

Pompa di calore aria/aria da 550kW a recupero + Cogeneratore endotermico a gas da 60kW + Caldaia a biomassa per acqua calda da 80kW + Fotovoltaico da 130kW

#### PROSPETTO CONSUMI

Prospetto dei consumi di energia e di combustibili per i diversi impieghi e confronto con la situazione di riferimento

|                                 | Energia elettrica |                        | Energia da combustione |                        |                |           |               |           | Acqua    |               |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|-----------|---------------|-----------|----------|---------------|
|                                 | [MWh]             | Confr. con riferimento | [MWh]                  | Confr. con riferimento | Gas naturale   |           | Biomassa      |           | ...      |               |
|                                 |                   |                        |                        |                        | [Smc]          | Confronto | [kg]          | Confronto | [...]    | Confronto     |
| Climatizzazione                 | 609               | 64.9%                  | 95                     | -89.3%                 | 10'092         | -89.3%    | -             | 0.0%      |          | 0.0%          |
| Acqua calda e piscine           | -                 | 0.0%                   | 1'255                  | 11.8%                  | 115'416        | -3.2%     | 56'147        | 0.0%      |          | 0.0%          |
| Illuminazione                   | 118               | 0.0%                   |                        |                        |                |           |               |           |          |               |
| Utenze                          | 151               | 0.0%                   |                        |                        |                |           |               |           |          |               |
| Perdite                         | 42                | 8.8%                   |                        |                        |                |           |               |           |          |               |
| Autoproduzione elettrica        | -                 | 373                    | 0.0%                   |                        |                |           |               |           |          |               |
| <b>TOTALE CONSUMI DA PAGARE</b> | <b>547</b>        |                        | <b>1'349</b>           |                        | <b>125'508</b> |           | <b>56'147</b> |           | <b>-</b> | <b>26'602</b> |
| Energia reattiva                | 180               | MVarh                  |                        |                        |                |           |               |           |          |               |

#### PROSPETTO IMPIANTI

Prospetto del funzionamento degli impianti e analisi dei flussi

|                                        | Regime di funz.<br>max<br>[%] | Energia elettrica       |                   |               |              |                             | Energia termica         |                   |               |              |                      |                    |             |
|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|--------------|----------------------|--------------------|-------------|
|                                        |                               | Prodotta e utilizzabile |                   |               |              | Copertura fabbisogni<br>[%] | Prodotta e utilizzabile |                   |               |              | Copertura fabbisogni |                    |             |
|                                        |                               | Totale<br>[MWh]         | Utilizzata<br>[%] | Ceduta<br>[%] | Persa<br>[%] |                             | Totale<br>[MWh]         | Utilizzata<br>[%] | Ceduta<br>[%] | Persa<br>[%] | Riscaldam.<br>[%]    | Raffrescam.<br>[%] | ACS<br>[%]  |
| ...                                    | -                             |                         |                   |               |              |                             | -                       | -                 | -             | -            | -                    |                    |             |
| ...                                    | -                             |                         |                   |               |              |                             | -                       | -                 | -             | -            | -                    |                    |             |
| Pompa di calore aria/aria con recupero | 86%                           |                         |                   |               |              |                             | 1'093                   | 100%              | -             | -            | 94%                  | 100%               | 33%         |
| Caldaia a biomassa                     | 74%                           |                         |                   |               |              |                             | 121                     | 100%              | -             | -            |                      |                    | 13%         |
| ...                                    | -                             |                         |                   |               |              |                             | -                       | -                 | -             | -            |                      |                    | -           |
| ...                                    | -                             |                         |                   |               |              |                             | -                       | -                 | -             | -            |                      |                    | -           |
| ...                                    | -                             |                         |                   |               |              |                             | -                       | -                 | -             | -            |                      |                    | -           |
| Impianto fotovoltaico da 130kW         | 100%                          | 178                     | 90%               | 10%           | -            | 0%                          | 18%                     |                   |               |              |                      |                    |             |
| Cogeneratore endotermico a gas         | 100%                          | 354                     | 60%               | 40%           | -            | 24%                         | 531                     | 100%              | -             | -            | 6%                   |                    | 54%         |
|                                        |                               |                         |                   |               |              |                             |                         |                   |               |              |                      |                    |             |
| Rete elettrica                         |                               |                         |                   |               |              | 59%                         |                         |                   |               |              |                      |                    |             |
| <b>TOTALE</b>                          |                               | <b>533</b>              | <b>373</b>        | <b>160</b>    |              | <b>100%</b>                 | <b>1'746</b>            |                   |               |              | <b>100%</b>          | <b>100%</b>        | <b>100%</b> |

# Interfaccia utente

## PROSPETTO INDICI AMBIENTALI E PRESTAZIONALI

Prospetto

|                                         | Energia primaria |            | Emissioni    | Indici e classificazione energetica |          |                   |
|-----------------------------------------|------------------|------------|--------------|-------------------------------------|----------|-------------------|
|                                         | [MWh]            | [TEP]      | [tCO2]       | Indici EP                           |          | Classe energetica |
|                                         |                  |            |              | [kWh/m²]                            | [kWh/m³] |                   |
| Climatizzazione invernale               | 952              | 168        | 509          | 388                                 | 87       |                   |
| Climatizzazione estiva (solo involucro) | 374              |            |              | 152                                 | 76       |                   |
| Climatizzazione estiva (completa)       | 490              | 92         | 283          |                                     |          |                   |
| Produzione di acqua calda sanitaria     | 354              | 36         | 76           |                                     |          |                   |
| Riscaldamento acqua della piscina       | 939              | 96         | 202          |                                     |          |                   |
| Illuminazione                           | 257              | 48         | 149          |                                     |          |                   |
| Utenze                                  | 330              | 62         | 191          |                                     |          |                   |
|                                         |                  |            |              |                                     |          |                   |
|                                         |                  |            |              |                                     |          |                   |
| <b>TOTALI E MEDIE</b>                   | <b>3'695</b>     | <b>502</b> | <b>1'410</b> |                                     |          |                   |

## PROSPETTO INVESTIMENTI

|                                        | Investimento     |
|----------------------------------------|------------------|
| ..                                     | € -              |
| ...                                    | € -              |
| Pompa di calore aria/aria con recupero | € 165'000        |
| Caldaia a biomassa                     | € 12'000         |
| ...                                    | € -              |
| ...                                    | € -              |
| ...                                    | € -              |
| Impianto fotovoltaico da 130kW         | € 325'000        |
| Cogeneratore endotermico a gas         | € 96'000         |
|                                        | € -              |
|                                        | € -              |
|                                        | € -              |
| <b>TOTALE</b>                          | <b>€ 598'000</b> |

## PROSPETTO FLUSSI ECONOMICI

|                                          | Annuali          | Mensili         | Confr. con stato attuale |
|------------------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| Spesa di acquisto energia elettrica      | -€ 109'440       | -€ 9'120        | -19.2%                   |
| Penali per energia reattiva              | € -              | € -             | 0.0%                     |
| Spesa di acquisto gas metano             | -€ 119'232       | -€ 9'936        | -39.9%                   |
| Spesa di acquisto acqua                  | -€ 31'391        | -€ 2'616        | 0.0%                     |
| Spese di manutenzione                    | -€ 7'925         | -€ 660          | 32.1%                    |
| Ricavo da cessione dell'energia prodotta | € 15'954         | € 1'330         | +++                      |
| Ricavo da incentivi fotovoltaico         | € 35'641         | € 2'970         | +++                      |
| Risparmio da detrazioni fiscali          | € -              | € -             | 0.0%                     |
| Ricavo da certificati bianchi            | € 121'120        | € 10'093        | +++                      |
|                                          |                  |                 |                          |
|                                          |                  |                 |                          |
| <b>TOTALE</b>                            | <b>-€ 95'272</b> | <b>-€ 7'939</b> |                          |
| <b>RISPARMIO (rispetto all'attuale)</b>  | <b>€ 276'057</b> | <b>€ 23'005</b> |                          |

## PROSPETTO ANALISI ECONOMICO/FINANZIARIA

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Tempo di ritorno semplice | 2.2 anni |
|---------------------------|----------|

# Validazione del software

## PROCESSO DI VERIFICA DELLA CONFORMITA' AI CALCOLI NORMATIVI

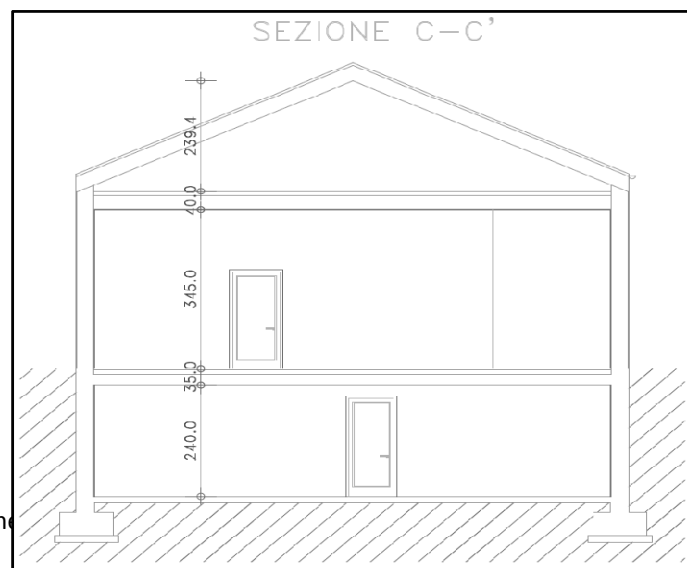
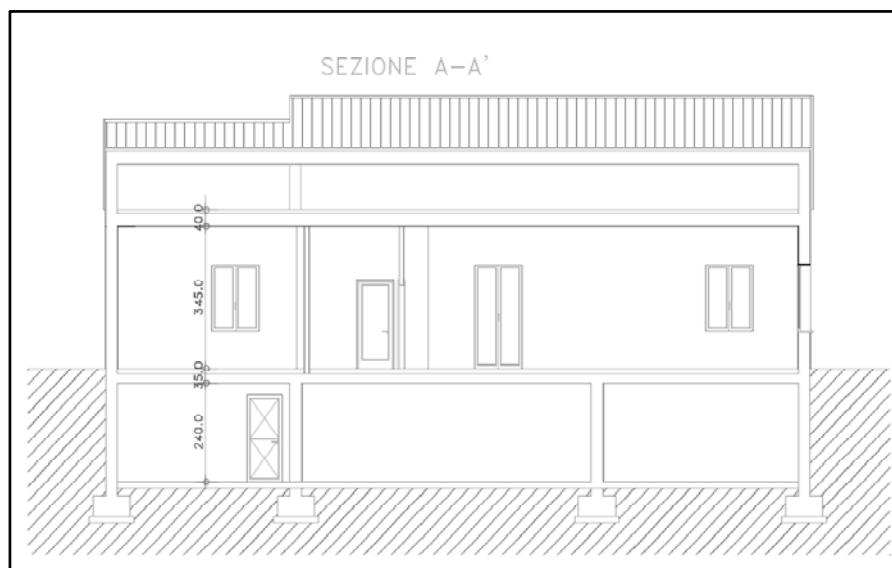
Il DM 26/06/2009 impone che i software utilizzati per la certificazione energetica siano conformi alle specifiche UNI – CTI.

La verifica è fatta sulla base di una serie di edifici standard predisposta dal CTI.

I software devono produrre risultati con errore massimo del  $\pm 5 \%$  rispetto ai valori indicati dal CTI.

In questa ricerca è stato fatto un confronto indiretto con altri due software commerciali già certificati: Termus CE (Acca Software) e Stima10 (Watts Industries).

Si riportano i risultati per uno degli edifici campione (Caso Studio 1-E).

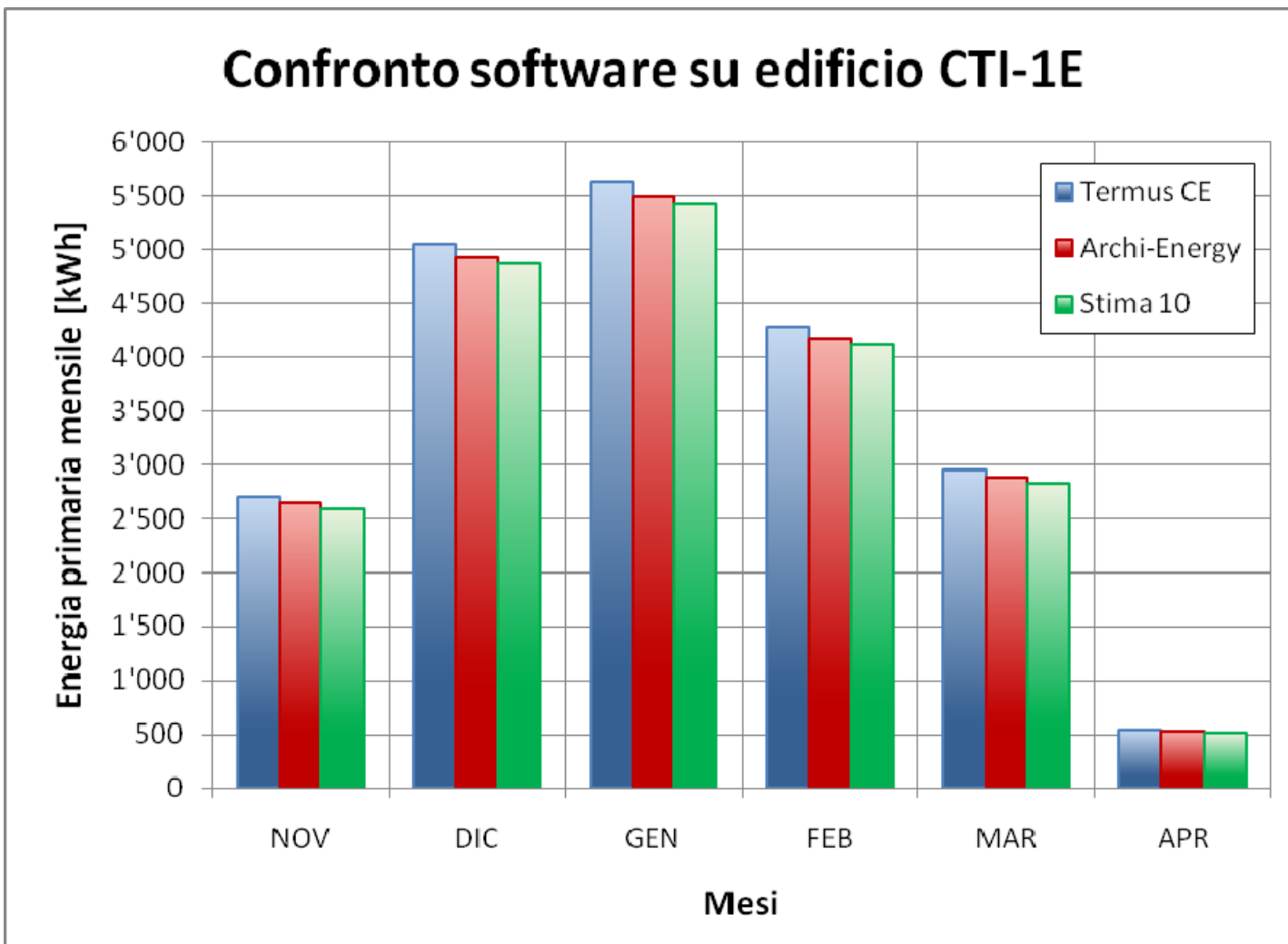


icrogen

# Validazione del software

## RISULTATI

L'errore sul fabbisogno energetico annuale è pari a -2.4% rispetto a Termus e +1.6% rispetto a Stima 10. **Archi-Energy è conforme alle norme UNI TS 11300.**



# Calcolo alternativo rispetto alle norme UNI TS 11300

## CLIMATIZZAZIONE INTERMITTENTE e DOPPIO BILANCIO GIORNALIERO

Le norme considerano una climatizzazione continua nell'arco delle 24 ore, (invernale o estiva) con un unico bilancio termico per la giornata tipica di ogni mese.



Errori nel caso di climatizzazione intermittente.

Sottostima del carico estivo per trasmissione e ventilazione. Non valutabili i potenziali effetti positivi del *free-cooling* notturno.



Archi-Energy permette di impostare l'accensione degli impianti per fasce orarie.

Il **bilancio** energetico giornaliero è spezzato in due: uno per le ore diurne e uno per quelle notturne. Vengono quindi correttamente valutati gli apporti termici diurni e le dispersioni notturne dovute alla ventilazione.

## Calcolo alternativo rispetto alle norme UNI TS 11300

### MODELLO ACCURATO PER IL CALCOLO DEGLI SPAZI NON RISCALDATI SOLEGGIATI

Le norme valutano in modo molto semplificato gli scambi termici verso spazi non climatizzati.



Errori importanti, soprattutto per spazi con forti apporti solari (es. serre e sottotetti) .



Archi-Energy include algoritmi di calcolo risultanti da una modellazione accurata degli spazi non climatizzati che prende in considerazione più aspetti rispetto alla norma. I parametri sono variabili stagionalmente. Si possono descrivere quindi anche serre apribili o con ombreggiamenti variabili.

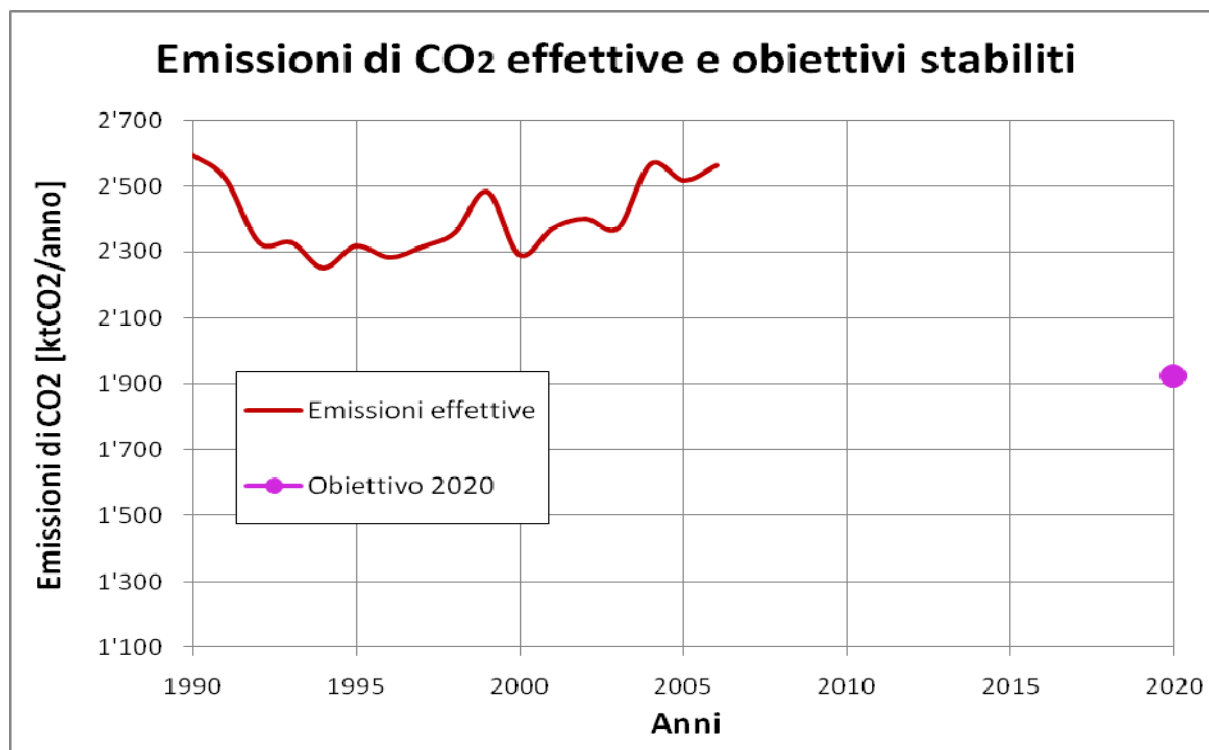
# Applicazione del calcolo alla città di Roma

## OBIETTIVO DEL “PATTO DEI SINDACI”

Roma si è impegnata a ridurre le sue emissioni di gas serra del 20% entro il 2020.

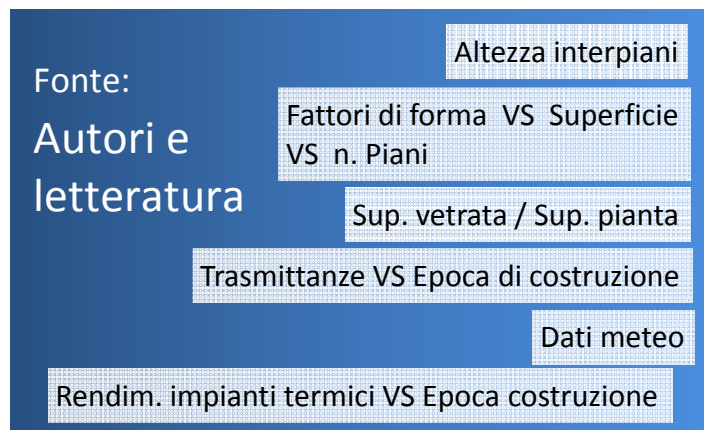
Questo studio si occupa delle emissioni dovute al riscaldamento e alla produzione di acqua calda sanitaria dell'edilizia residenziale.

**Questo studio è stato inserito nel *Sustainable Energy Action Plan* approvato dalla giunta comunale il 19/10/2011.**



# 1 – Calcolo degli attuali fabbisogni energetici

## IMPOSTAZIONE DEL CALCOLO



Per ogni epoca di costruzione è stato ricavato un modello di edificio, rappresentativo delle caratteristiche termiche medie per il periodo.



**Calcolo del fabbisogno di energia primaria**  
per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

I diversi modelli di edificio sono stati inseriti nel software di calcolo per valutarne i fabbisogni energetici.

# 1 – Calcolo degli attuali fabbisogni energetici

## RISULTATI

| Epoca di costruz. | Distribuzione percentuale sul parco edifici | FABBISOGNI ed EMISSIONI complessive |            |                           |                           | Classe energetica di riferimento |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|
|                   |                                             | [GWh/anno]                          | [TEP/anno] | [ktCO <sub>2</sub> /anno] | [kWh/m <sup>2</sup> anno] |                                  |
| < 1919            | 5.8%                                        | 799                                 | 79'301     | 185                       | 148                       | G                                |
| 1919-45           | 9.4%                                        | 1'294                               | 128'353    | 300                       | 148                       | G                                |
| 1946-61           | 20.7%                                       | 2'835                               | 281'243    | 657                       | 147                       | G                                |
| 1962-71           | 21.6%                                       | 2'585                               | 256'452    | 599                       | 129                       | G                                |
| 1972-81           | 18.3%                                       | 1'829                               | 181'414    | 424                       | 108                       | F                                |
| 1982-91           | 11.0%                                       | 1'004                               | 99'589     | 233                       | 98                        | F                                |
| 1992-2001         | 5.4%                                        | 373                                 | 36'999     | 86                        | 75                        | E                                |
| 2002-2006         | 3.8%                                        | 219                                 | 21'711     | 51                        | 63                        | E                                |
| 2007-2009         | 2.0%                                        | 77                                  | 7'590      | 18                        | 42                        | C                                |
| 2010-2012         | 2.0%                                        | 58                                  | 5'718      | 13                        | 31                        | B                                |
| TOTALE            | 100.0%                                      | 11'071                              | 1'098'369  | 2'567                     | 119                       | F                                |

Tab. 5.3.10. Climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria: caratterizzazione energetica delle abitazioni romane per epoca di costruzione.

## 2 – Studio degli interventi di recupero

### INTERVENTI CONSIDERATI

#### Nuovi edifici:

- Conformità ai requisiti di prestazione energetica previsti dal D.Lgs 192/2005 compreso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili per la produzione del 50% di a.c.s.

#### Edifici esistenti:

- Sostituzione degli infissi.
- Miglioramento dell'isolamento termico di pareti e solai.
- Sostituzione dei generatori di calore .
- Efficientamento della rete di distribuzione.
- Installazione di valvole termostatiche.

## 2 – Studio degli interventi di recupero

### RISULTATI: CLASSIFICA DI CONVENIENZA ECONOMICA DEGLI INTERVENTI

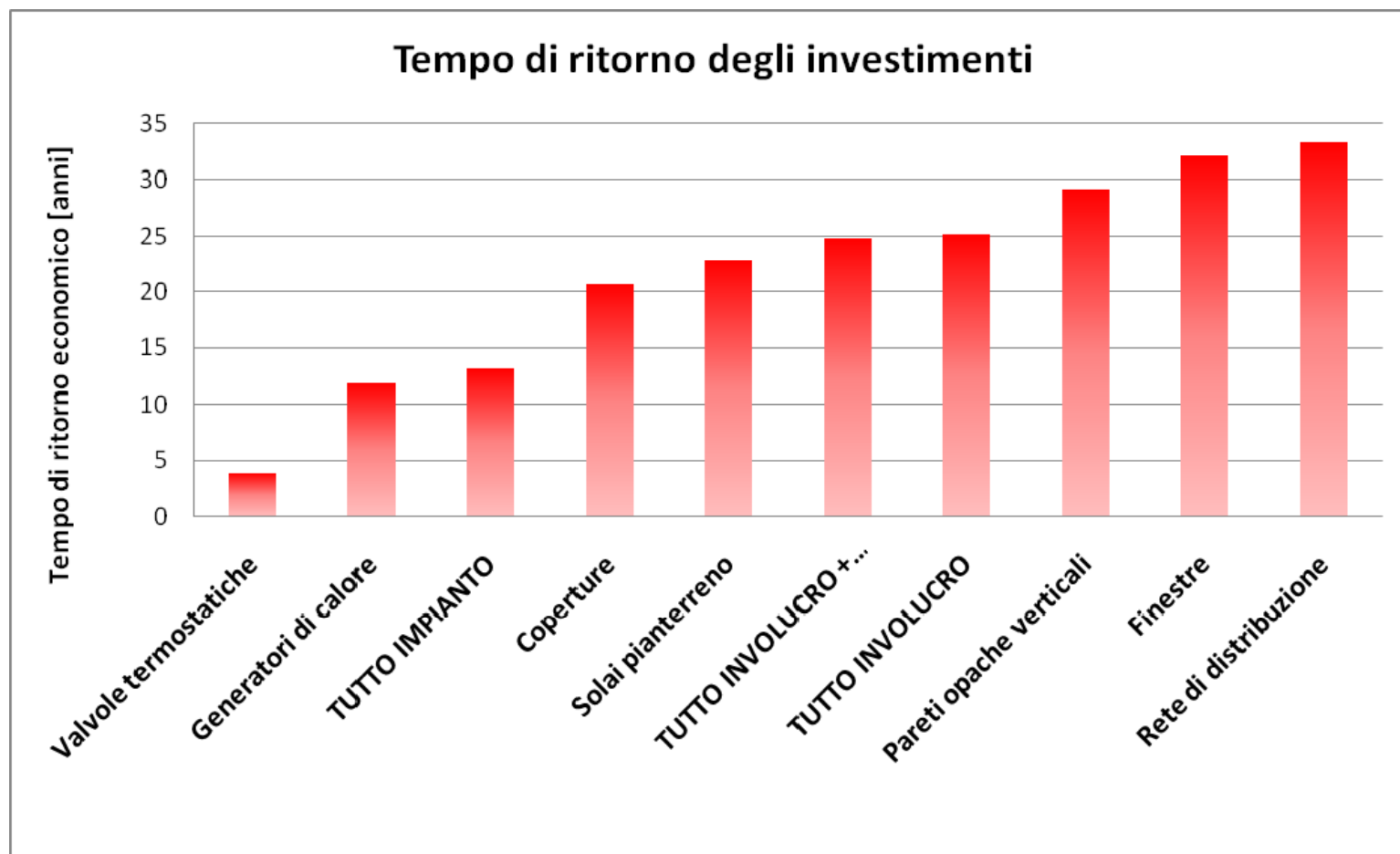
Gli interventi sull'impianto sono maggiormente convenienti.

| Intervento                       | Indice di convenienza<br>[kWh risparmiato/€ speso] | Tempo di ritorno<br>[anni] |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|
| Valvole termostatiche            | 3.15                                               | 4                          |
| Generatori di calore             | 1.02                                               | 12                         |
| TUTTO IMPIANTO                   | 0.93                                               | 13                         |
| Coperture                        | 0.59                                               | 21                         |
| Solai pianterreno                | 0.53                                               | 23                         |
| TUTTO INVOLUCRO + TUTTO IMPIANTO | 0.49                                               | 25                         |
| TUTTO INVOLUCRO                  | 0.48                                               | 25                         |
| Pareti opache verticali          | 0.42                                               | 29                         |
| Finestre                         | 0.38                                               | 32                         |
| Rete di distribuzione            | 0.37                                               | 33                         |

## 2 – Studio degli interventi di recupero

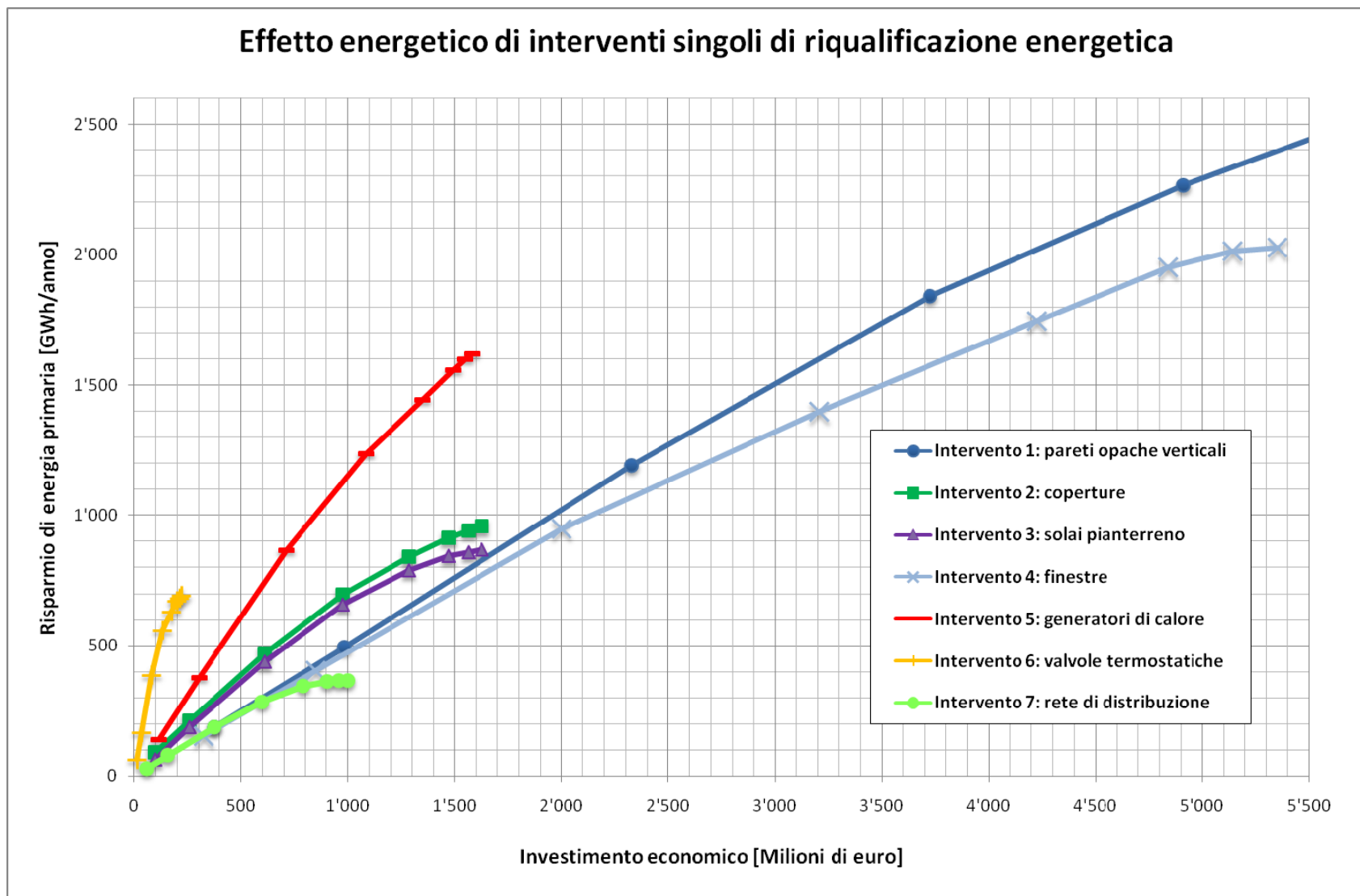
### RISULTATI: TEMPI DI RITORNO

Le valvole termostatiche hanno tempi di ritorno inferiori a 5 anni.



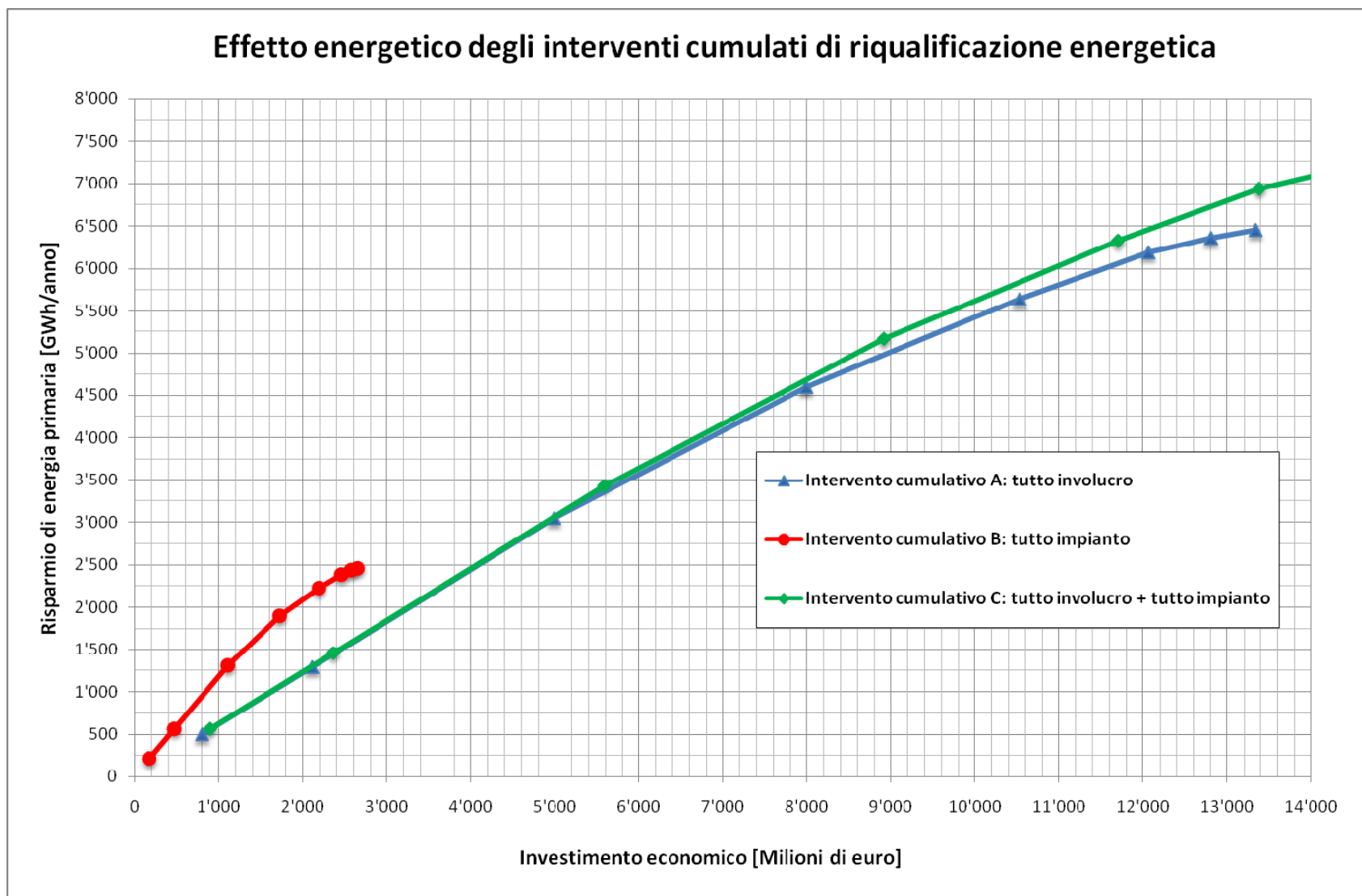
## 2 – Studio degli interventi di recupero

### RISULTATI: EFFETTO DI INTERVENTI SINGOLI



## 2 – Studio degli interventi di recupero

### RISULTATI: EFFETTO DI INTERVENTI CUMULATI



### 3 – Analisi degli scenari di evoluzione

#### COSTRUZIONE DEGLI SCENARI

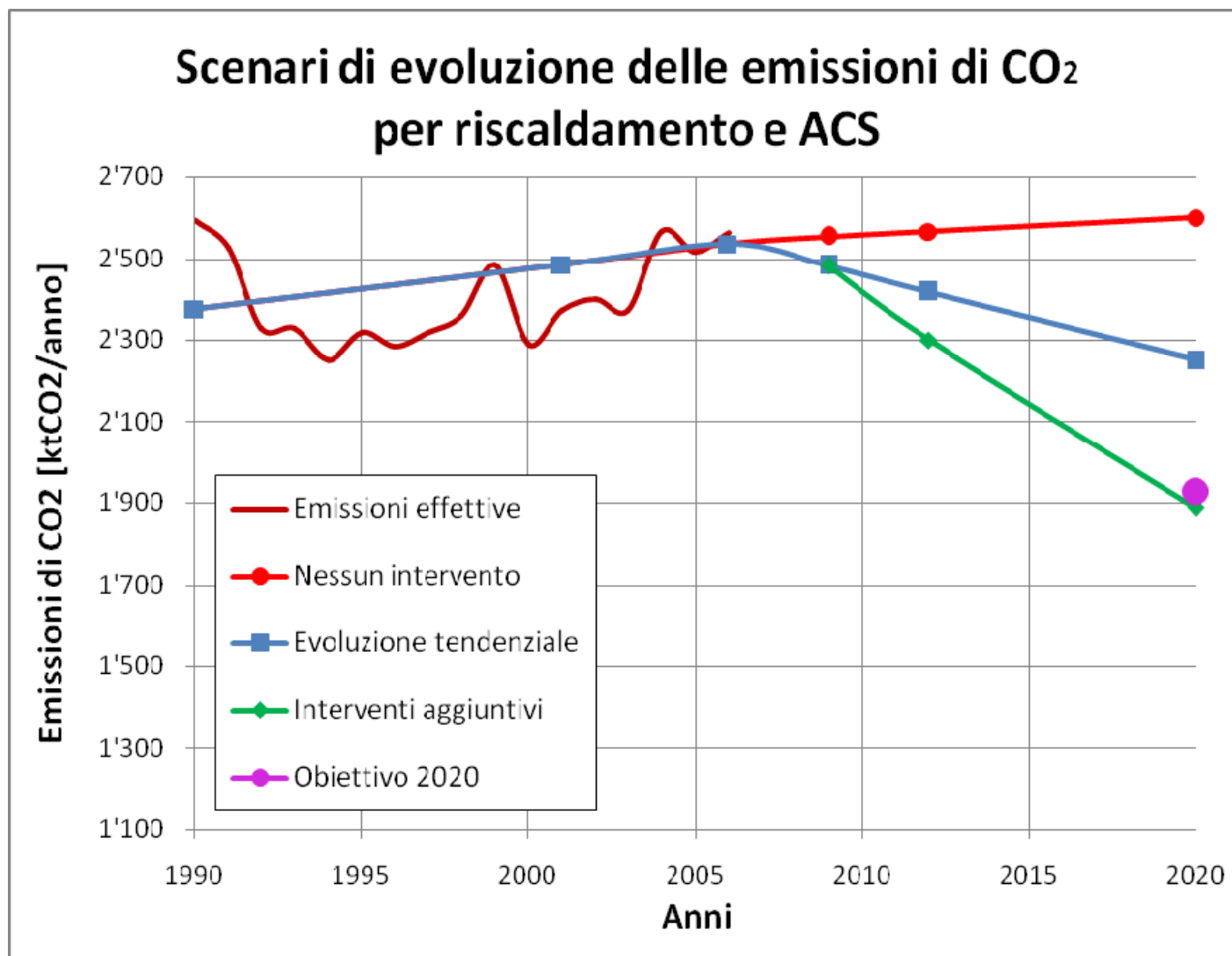
Per le nuove edificazioni si è adottato l'attuale tasso di crescita e gli attuali standard qualitativi.

Per le riqualificazioni energetiche sono stati costruiti tre scenari:

- 1) “EVOLUZIONE TENDENZIALE”: continuazione delle attuali tendenze .  
(caso *as usual*)
- 2) “NESSUN INTERVENTO”: arresto di ogni tipo di riqualificazione .  
(caso peggiorativo)
- 3) “INTERVENTI AGGIUNTIVI”: aggiunta di un pacchetto di interventi rispetto al caso tendenziale tali da permettere il raggiungimento degli obiettivi del Patto dei Sindaci.  
(caso migliorativo)

### 3 – Analisi degli scenari di evoluzione

#### RISULTATI: SCENARI



### 3 – Analisi degli scenari di evoluzione

#### RISULTATI: PERCENTUALI DI INTERVENTO E INVESTIMENTO ECONOMICO

| Scenari               | Percentuale di intervento sugli edifici al 2020 |                                   |                      |                       |                       |
|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                       | Infissi                                         | Pareti opache e solai disperdenti | Generatori di calore | Valvole termostatiche | Rete di distribuzione |
| Nessun intervento     | 0%                                              | 0%                                | 0%                   | 0%                    | 0%                    |
| As usual              | 17%                                             | 7%                                | 25%                  | 7%                    | 6%                    |
| Interventi aggiuntivi | 1%                                              | 10%                               | 25%                  | 73%                   | 0%                    |
| TOTALE                | 18%                                             | 18%                               | 51%                  | 80%                   | 7%                    |

| Scenari               | Entità degli interventi |                 |                        | Tempi di ritorno<br>[anni] |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|----------------------------|
|                       | Totale<br>[M€]          | Al mq<br>[€/m²] | Pro-capite<br>[€/pers] |                            |
| Nessun intervento     | -                       | -               | -                      | -                          |
| As usual              | 2'114                   | 22              | 775                    | 20                         |
| Interventi aggiuntivi | 1'738                   | 18              | 638                    | 15                         |
| TOTALE                | 3'852                   | 39              | 1'413                  | 17                         |

## **Conclusioni**

I modelli di calcolo sviluppati possono consentire analisi energetiche in ambiti non coperti dai normali software in commercio e dall'attuale normativa.

La traduzione degli obiettivi energetici delle città in azioni concrete permette una pianificazione energetica più razionale ed efficace.

## **Sviluppi**

E' possibile un continuo miglioramento delle prestazioni di calcolo e quindi dell'accuratezza dei risultati e dell'ampiezza delle analisi.

Grazie all'approccio *open-source* è auspicabile la costruzione di un sistema di proposizione e confronto con l'intera comunità scientifica.

**GRAZIE**  
**DELL' ATTENZIONE**