

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Diagnosi energetica della caserma Riberi: analisi di fattibilità  
tecnico-economica mediante simulazione dinamica oraria.



Relatore  
Vincenzo Corrado

Candidato  
Lorenzo Calcagno

Corelatrice  
Ilaria Ballarini

Anno Accademico 2019/2020

## Indice

1. PREMESSA	<i>pag. 3</i>
2. QUADRO NORMATIVO DIAGNOSI ENERGETICA	
2.1. Direttiva 2006/32 CE e recepimento in Italia con D.Lgs. n°115	<i>pag. 4</i>
2.2. UNI CEI TR 11428 e UNI CEI EN 16247	<i>pag. 7</i>
2.3. Cosa è cambiato dalla emanazione del Decreto Lgs. 102/2014	<i>pag.11</i>
3. CASE STUDY	
3.1. La caserma A. Riberi nel Comune di Torino: cenni storici	<i>pag.14</i>
3.2. Descrizione architettonica: morfologia edilizia e strutture	<i>pag.16</i>
4. MODELLAZIONE SU EC700	
4.1. Il collegamento fra le diverse leggi italiane	<i>pag.20</i>
4.2. Le scelte progettuali nel modello di Edilclima per la diagnosi energetica della caserma A. Riberi	<i>pag.23</i>
4.3. Dati generali	<i>pag.23</i>
4.4. Dati climatici	<i>pag.23</i>
4.5. Componenti dell'involucro	<i>pag.26</i>
4.6. L'abaco delle strutture	<i>pag.26</i>
4.6.1. Involucro opaco	<i>pag.27</i>
4.6.2. Involucro trasparente	<i>pag.32</i>
4.6.3. Solai e pavimenti	<i>pag.35</i>
4.7. La selezione delle zone climatizzate	<i>pag.39</i>
4.8. Scheda impianti	<i>pag.40</i>
4.8.1. Riscaldamento	<i>pag.41</i>
4.8.2. Accumulo e distribuzione primaria	<i>pag.42</i>
4.8.3. Acqua calda sanitaria	<i>pag.45</i>
5. CALIBRAZIONE DEL MODELLO	
5.1. Concetti generali	<i>pag.47</i>
5.2. Processo di calibrazione del modello	<i>pag.48</i>

5.3.	Modellazione ACS	<i>pag.51</i>
5.4.	Modellazione servizio di riscaldamento	<i>pag.52</i>
6.	<b>EEM – MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA</b>	
6.1.	Scenario 1: Cappotto termico, isolamento dell'ultimo solaio, isolamento termico della distribuzione utenza del riscaldamento	<i>pag.55</i>
6.1.1.	Efficientamento involucro opaco	<i>pag.56</i>
6.1.2.	Efficientamento rete di distribuzione utenza del servizio di riscaldamento	<i>pag.58</i>
6.2.	Scenario 2: EEM dello scenario 1, installazione pompa di calore, impianto solare termico, impianto solare termico, impianto fotovoltaico	<i>pag.60</i>
6.2.1.	Installazione pompa di calore	<i>pag.61</i>
6.2.2.	Installazione su copertura di un impianto fotovoltaico	<i>pag.63</i>
6.2.3.	Installazione su copertura di un impianto solare termico	<i>pag.64</i>
6.3.	Confronto dei due scenari	<i>pag.65</i>
7.	<b>ANALISI TECNICO-ECONOMICA</b>	
7.1.	Calcolo dei costi per l'isolamento delle strutture	<i>pag.67</i>
7.2.	Isolamento della rete di distribuzione dell'utenza	<i>pag.69</i>
7.3.	Incentivazione installazione pompa di calore	<i>pag.70</i>
7.4.	Incentivazione impianto solare termico	<i>pag.70</i>
7.5.	Incentivazione impianto fotovoltaico	<i>pag.71</i>
7.6.	Calcolo del risparmio in euro	<i>pag.73</i>
8.	<b>CONCLUSIONI</b>	<i>pag.76</i>
9.	<b>Bibliografia</b>	<i>pag.77</i>

# 1. PREMESSA

La problematica relativa alla progettazione consapevole in termini energetici, nonché alla gestione dei manufatti e delle opere prodotte dall'uomo, ha assunto negli ultimi anni un interesse preponderante su altri aspetti che precedentemente erano finalizzati ad una produzione talvolta poco attenta all'uso delle risorse e totalmente disinteressata al contrasto dei cambiamenti climatici, spesso neppure riconosciuti.

Per tale motivo, costituendo tali tematiche un interesse precipuo dello scrivente, si è scelto di approfondire una tematica relativa al risparmio energetico applicato ad un contesto urbano che riguarda un intero comparto urbanistico.

Al fine di delimitare il vasto ambito applicativo è apparsa interessante la possibilità di applicare lo studio ad un comparto edilizio che presenta, per sua genesi fin dal lontano 1904, caratteri di modularità edilizia e per il quale è applicabile uno studio a blocchi modulari a meno di manufatti edilizi specifici, come ad esempio la Chiesa o altri piccoli manufatti successivamente aggiunti all'intervento originario, che non saranno oggetto del presente studio.

Ed infatti lo studio di un modulo, coincidente nel nostro caso come studio energetico di un edificio multipiano, può essere preliminare ad una valutazione energetica a scala più vasta, riguardante aree metropolitane che spesso presentano manufatti edilizi prodotti con caratteristiche di modularità e per le quali si intenda adottare un approccio di governance innovativo, in modo integrato e finalizzate a migliorare la qualità della vita e a garantire economia e sostenibilità ambientale.

## 2. QUADRO NORMATIVO DIAGNOSI ENERGETICA

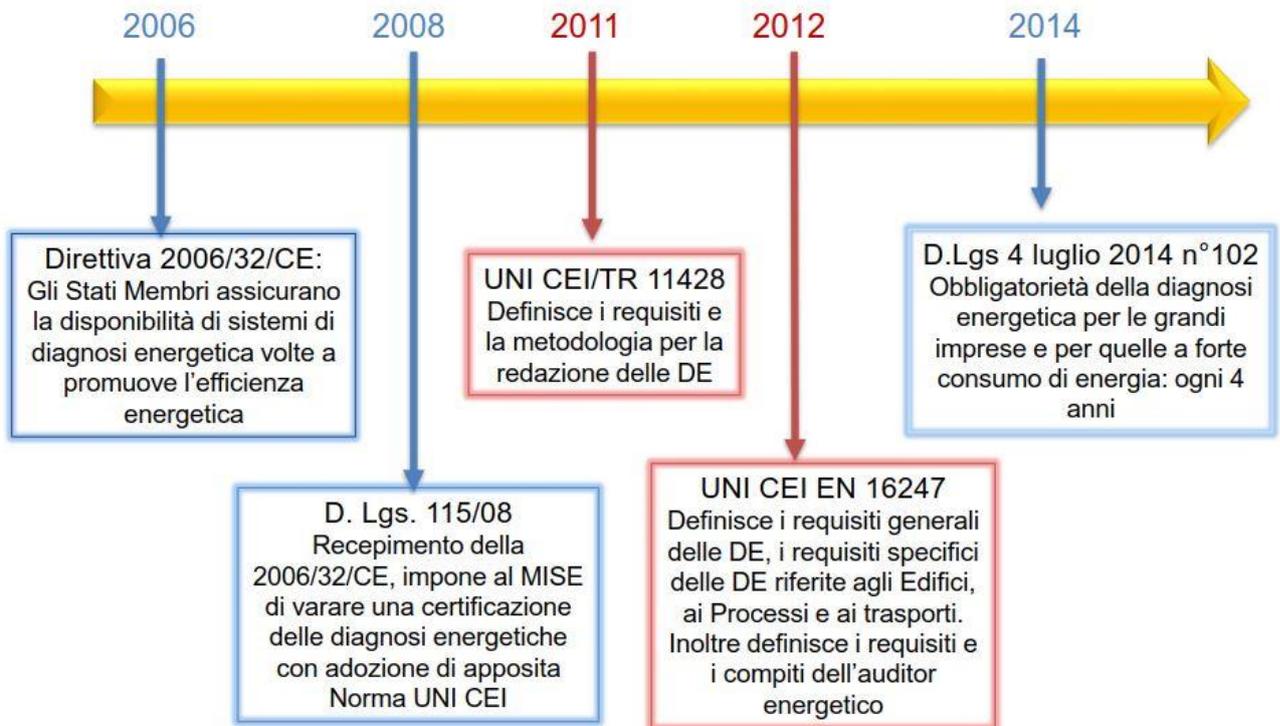


figura 1 – schema temporale evoluzione normativa diagnosi energetica

Il presente capitolo traccia una linea del tempo dell'evoluzione normativa dello strumento di diagnosi energetica, dalle sue prime definizioni alle norme che tuttora la regolano, per giungere fino ai documenti che oggi definiscono le metodologie più opportune proposte dai vari attori che hanno partecipato allo sviluppo della diagnosi energetica e quindi agli obblighi che via via sono cambiati o si sono aggiunti.

### 2.1. Direttiva 2006/32 CE e recepimento in Italia con D.Lgs. n°115

A partire dalla Direttiva 2006/32/CE del 5 Aprile 2006 del Parlamento Europeo, si comincia a delineare in maniera sempre più definita lo strumento di diagnosi energetica; tale strumento nasce dalla somma di necessità diverse che sono dichiarate nelle considerazioni iniziali della direttiva (Testo integrale Direttiva 2006/32/CE), si citano di seguito le più importanti:

- promuovere le fonti rinnovabili

- migliorare la trasmissione e la distribuzione dell'energia
- promuovere l'efficienza negli usi finali dell'energia
- riduzione del consumo di energia primaria
- riduzione delle emissioni di CO2
- contrastare la dipendenza dalle importazioni di energia
- promuovere l'orientamento a tecnologie energeticamente efficienti
- lotta contro il cambiamento climatico

La Direttiva dà la definizione precisa di “diagnosi energetica” nell'articolo 3, punto 1 (pagina 5)

“ «diagnosi energetica»: procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati;”

Dalla considerazione 18, dall' art. 6 paragrafo 2 lettera a), punto ii), dall' art. 6 paragrafo 3, e dall' art. 8, emergono le linee guida per un mercato delle diagnosi energetiche che sia bilanciato tra i vari attori.

Rispettivamente all'elenco sopracitato, qui di seguito si è stilata per punti la sintesi delle suddette parti della norma e le relative indicazioni agli Stati Membri:

- garantire la disponibilità di diagnosi energetiche nei segmenti dove non è in genere commercializzata per realizzare il massimo potenziale di risparmio energetico
- garantire la promozione dello strumento diagnosi energetica attraverso profili competitivi di prezzi
- assicurare una diversificazione degli operatori di mercato mediante incentivi alle società di servizi energetici ESCO, installatori di impianti energetici e consulenti per l'energia, in modo tale che possano offrire in autonomia misure di efficienza energetica e diagnosi energetiche; al riguardo si veda l'Articolo 11 che permette allo stato di sovvenzionare i programmi di efficientamento e sviluppo del mercato promuovendo fondi che hanno come obiettivo i settori i cui rischi e costi siano più elevati
- assicurare sistemi adeguati di certificazione, qualificazione e accreditamento dei fornitori di servizi e di diagnosi energetiche

Un primo piano d'azione italiano conseguente alla emanazione della Direttiva viene trasmesso alla Commissione Europea nel luglio 2007. Tale piano prevede un risparmio energetico annuale atteso del 3% (cioè 35658 GWh/ anno) al 2010 ed un risparmio energetico annuale atteso del 10% (cioè 126327 GWh/ anno) al 2016 (Decreto Legislativo n. 115 del 30 maggio 2008). I risparmi energetici sono divisi per settore, nello specifico nel settore residenziale, terziario, industriale e trasporti. Successivamente, in data 30 Maggio 2008 viene approvato il D.Lgs. n. 115 che recepisce la Direttiva 2006/32/CE.

Obiettivo della Direttiva è il risparmio energetico pari al 9% entro il 2016 a livello comunitario, e con il D.Lgs. 115/08 viene affidata ad ENEA l'attività di supervisionare il quadro normativo affinché tali obiettivi siano raggiunti.

Per quanto concerne le diagnosi energetiche, con l'art. 13 paragrafo 1) punto b), il decreto n.115 sancisce tra gli obblighi della pubblica amministrazione le diagnosi energetiche, di una certa entità, degli edifici pubblici:

“b) le diagnosi energetiche degli edifici pubblici o ad uso pubblico, in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici, compresa la sostituzione dei generatori, o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15 per cento della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato;”

Inoltre nel testo (Testo integrale D.Lgs. 115/08) vi è un intero articolo dedicato alle diagnosi energetiche, l'articolo 18, i cui punti salienti sono qui elencati:

- l'obbligo per l'Agenzia di definire le modalità con le quali assicura l'efficacia e la disponibilità di sistemi di diagnosi energetica di alta qualità e la diffusione di questo strumento anche nei segmenti di mercato in cui esse non sono commercializzate
- l'equivalenza tra la diagnosi energetica e la certificazione energetica di cui al decreto legislativo 19 Agosto 2005 n. 192
- si stabiliscono le modalità con cui le imprese di distribuzione sono parte attiva al raggiungimento dell'obiettivo di disponibilità di diagnosi energetica

Relativamente alle diagnosi energetiche degli edifici, nel primo paragrafo dell'allegato III previsto dall'articolo 18, comma 6, si individuano le metodologie di calcolo della prestazione energetica dell'edificio e degli impianti, adottando le norme tecniche nazionali UNI TS 11300 Parte 1, Parte 2-1, Parte 2-2.

Le indicazioni riguardo i software di calcolo si trovano nel paragrafo 1, punto 2, citato qui di seguito, del suddetto allegato:

*“2. Gli strumenti di calcolo applicativi delle metodologie di cui al punto 1 (software commerciali), garantiscono che i valori degli indici di prestazione energetica, calcolati attraverso il loro utilizzo, abbiano uno scostamento massimo di più o meno il 5 per cento rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento. La predetta garanzia è fornita attraverso una verifica e dichiarazione resa dal Comitato termotecnico italiano (CTI) o dall'Ente nazionale italiano di unificazione (UNI).”*

Nel secondo paragrafo dell'allegato III invece si individuano i soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici, al proposito si cita qui di seguito il punto 2:

*“Si definisce tecnico abilitato un tecnico operante sia in veste di dipendente di enti ed organismi pubblici o di società di servizi pubbliche o private (comprese le società di ingegneria) che di professionista libero od associato, iscritto ai relativi ordini e collegi professionali, ed abilitato all'esercizio della professione relativa alla progettazione di edifici ed impianti, asserviti agli edifici stessi, nell'ambito delle competenze ad esso attribuite dalla legislazione vigente. Il tecnico abilitato opera quindi all'interno delle proprie competenze. Ove il tecnico non sia competente nei campi sopra citati (o nel caso che alcuni di essi esulino dal proprio ambito di competenza), egli deve operare in collaborazione con altro tecnico abilitato in modo che il gruppo costituito copra tutti gli ambiti professionali su cui è richiesta la competenza. Ai soli fini della certificazione energetica, sono tecnici abilitati anche i soggetti in possesso di titoli di studio tecnico scientifici, individuati in ambito territoriale da regioni e province autonome, e abilitati dalle predette amministrazioni a seguito di specifici corsi di formazione per la certificazione energetica degli edifici con superamento di esami finale. I predetti corsi ed esami sono svolti direttamente da regioni e province autonome o autorizzati dalle stesse amministrazioni.”*

## 2.2. UNI CEI TR 11428 E UNI CEI EN 16247

Il 6 ottobre 2011 entra in vigore la norma UNI CEI /TR 11428; tale norma tecnica cerca di definire i requisiti comuni per le diagnosi energetiche e la relativa documentazione da stilare.

Dal portale web dell'UNI possiamo leggere il sommario della legge:

*“Il rapporto tecnico definisce i requisiti e la metodologia comune per le diagnosi energetiche nonché la documentazione da produrre. Si applica a tutti i sistemi energetici, a tutti i vettori di*

*energia e a tutti gli usi dell'energia. Non definisce requisiti specifici per le diagnosi energetiche relative a edifici, processi produttivi, trasporti.” (catalogo online uni: UNI CEI TR 11428-2011)*

Da questa norma si comincia a delineare lo scheletro della diagnosi energetica che poi, anche a fronte di successivi interventi normativi, rimarrà lo scheletro della procedura; se ne riporta qui di seguito lo schema

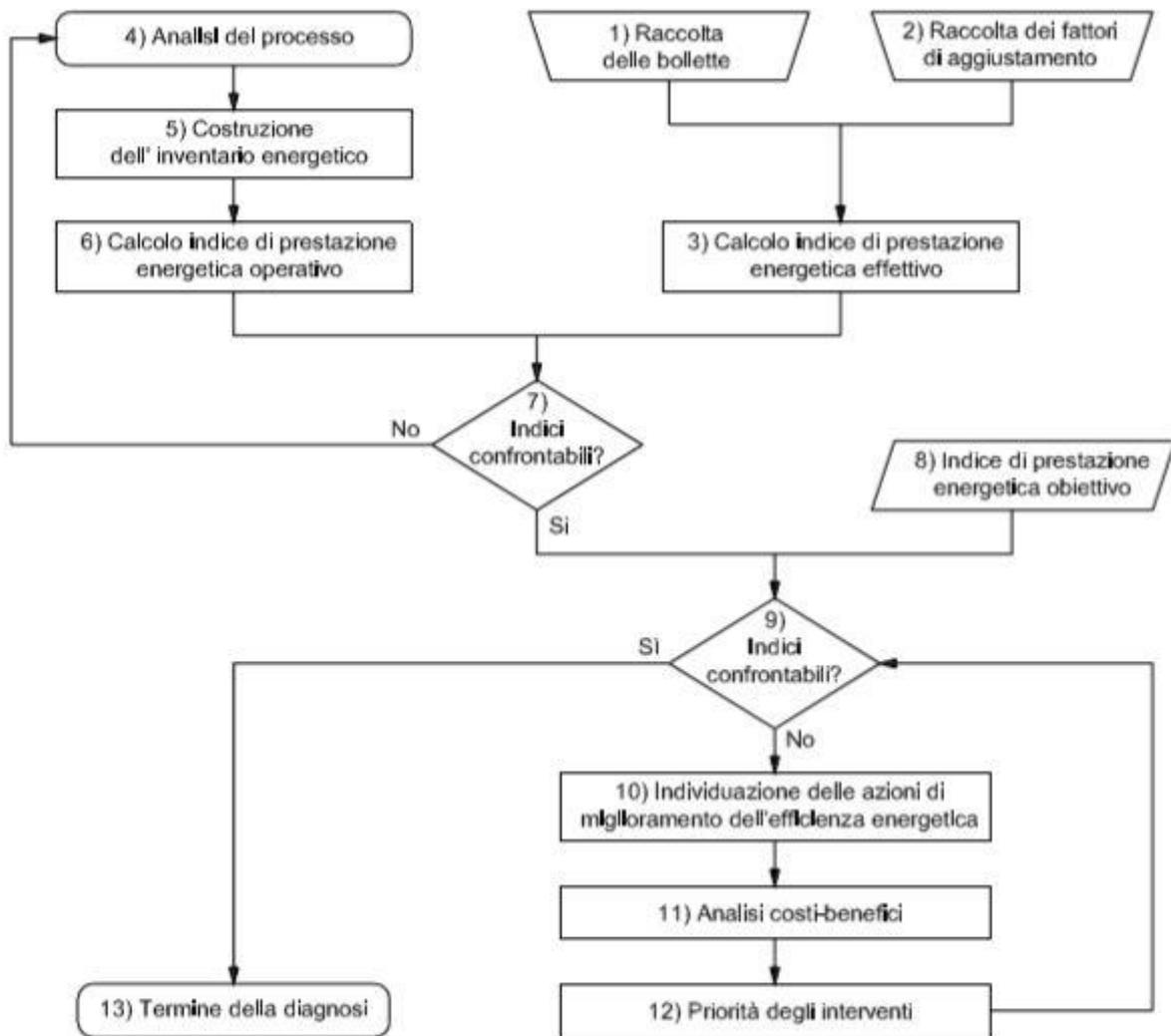


figura 2 – schema della procedura di diagnosi energetica UNI CEI TR 11428-2011

Come si evince dal sommario, la norma non definisce però nello specifico i requisiti per diagnosi relative ad edifici, processi produttivi e trasporti. Tale norma, UNI CEI TR 11428, in materia di metodologia e di redazione di una diagnosi, risulta essere non esaustiva e lasciare libero spazio ad interpretazione a chi la leggesse.

La 11428 viene superata dalla norma UNI CEI EN 16427 nel 2012 che nelle sue 5 parti definisce le linee guida per ogni tipo di diagnosi energetica:

UNI CEI EN 16247-1:2012	“Parte 1: Requisiti generali”
UNI CEI EN 16247-2:2014	“Parte 2: Edifici”
UNI CEI EN 16247-3:2014	“Parte 3: Processi”
UNI CEI EN 16247-4:2015	“Parte 4: Trasporto”
UNI CEI EN 16247-5:2015	“Parte 5: Competenze dell’auditor energetico”

La norma UNI CEI EN 16427 agisce quindi come standard di riferimento per le diagnosi energetiche il cui obbligo nasce il 4 Luglio 2014 con il D.Lgs. 102.

Tale decreto, in attuazione della direttiva 2012/27/UE e riprendendo anche le definizioni del precedente D.Lgs. 115, punta a migliorare il quadro di promozione e miglioramento dell’efficienza energetica inseguendo l’obiettivo nazionale, definito nell’art. 3 della norma, mediante la riduzione di 20 milioni di TEP di consumi di energia primaria entro l’anno 2020, conteggiati a partire dal 2010, in linea con la Strategia energetica nazionale (testo integrale PDF della n.102).

La norma decreta l’origine di un sistema di regime obbligatorio di efficienza energetica, nel quale sono coinvolti più attori (ENEA, MISE, Accredia, Auditor, EGE, ESCO). Riguardo le diagnosi nello specifico, vi è dedicato un intero articolo in 11 commi che di seguito è sintetizzato:

- obbligo di redazione di DE per le grandi imprese che non hanno adottato sistemi di gestione dell’energia conformi alle norme ISO 50001 o EN ISO 14001 o certificata EMAS, entro il 5 dicembre 2015 e successivamente ogni 4 anni. Nel caso abbiamo adottato i suddetti sistemi di gestione dell’energia, le imprese debbono comunque stilare una DE in conformità all’allegato 2 della norma
- l’obbligo di esecuzione delle diagnosi solamente da parte di soggetti accreditati in base alle norme UNI CEI 11352 ed UNI CEI 11339 a partire da 12 mesi dell’emanazione del decreto, ovvero i seguenti soggetti:
  - ESCO - certificate UNI CEI 11352
  - EGE - certificati UNI CEI 1139
  - Auditor energetici accreditati, figura professionale definita nella parte 5 della norma UNI CEI EN 16427
- le imprese a forte consumo di energia sono obbligate a redigere diagnosi energetiche, ugualmente alle grandi imprese, indipendentemente dalla loro dimensione o

alternativamente adottare standard di sistemi di gestione dell'energia come le norme ISO 50001

Si noti che mentre le Grandi Imprese hanno solo l'obbligo di redazione di una DE, le imprese energivore hanno anche l'obbligo di attuazione degli interventi di efficienza individuati dalla diagnosi (o l'adozione di un sistema di gestione di energia ISO 50001); si cita qui di seguito la definizione di grande impresa dichiarata al punto v) dell'art. 2 del decreto n.102:

*“grande impresa: impresa che occupa più di 250 persone, il cui fatturato annuo supera i 50 milioni di euro o il cui totale di bilancio annuo supera i 43 milioni di euro”*

Questa definizione, data nel 2014 dal decreto 102, viene modificata una prima volta dai chiarimenti in materia di diagnosi energetica del MISE nel maggio 2015:

*“La grande impresa è l'impresa che occupa almeno 250 persone, indipendentemente dall'entità degli altri due criteri, ovvero l'impresa che, ancorché occupi un numero minore a 250 persone, presenti un fatturato annuo superiore a 50 milioni di euro e un totale di bilancio annuo superiore a 43 milioni di euro.”*

La definizione di grande impresa viene poi modificata nuovamente dai chiarimenti in materia di diagnosi energetica del MISE nel novembre 2016:

*“Sono soggette all'obbligo di cui all'articolo 8, comma 1 del D.lgs. 102/2014, le imprese che soddisfano una delle seguenti condizioni:*

- l'impresa occupa più di 250 persone e presenta un fatturato superiore a 50 milioni di euro e realizza un totale di bilancio annuo superiore a 43 milioni di euro;*
- l'impresa occupa più di 250 persone e presenta un fatturato superiore a 50 milioni di euro;*
- l'impresa occupa più di 250 persone e realizza un totale di bilancio annuo superiore a 43 milioni di euro.*

*Quindi, sinteticamente e limitatamente al rispetto dell'obbligo di realizzazione della diagnosi energetica prevista dall'articolo 8 del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102, un'impresa è considerata “grande impresa” quando il requisito occupazionale (più di 250 unità effettive) sussiste congiuntamente a un fatturato superiore a 50 milioni di euro o a un totale di bilancio annuo superiore di 43 milioni.”*

Abbiamo visto come il decreto n.102 indica come soggetto obbligato alla redazione di DE periodiche anche le imprese a forte consumo energetico.

Dai chiarimenti in materia di diagnosi energetica del 2015 si evince che le imprese a forte consumo di energia, o altresì dette energivore, sono le imprese iscritte nell'elenco annuale della Cassa Conguaglio per il settore elettrico ai sensi del decreto interministeriale 5 aprile 2013. Tale classificazione resta poi invariata nei chiarimenti del MISE del 2016.

I criteri di classificazione delle imprese energivore subiscono un aggiornamento col decreto ministeriale 21 dicembre 2017, sintetizzabili nei seguenti punti:

- consumo di energia elettrica maggiore od uguale a 1 GW/anno;
- indice di intensità elettrica maggiore od uguale al 20%.

## 2.3. COSA È CAMBIATO DALLA EMANAZIONE DELLA DEL DECRETO LGS. 102/2014



figura 3 – schema temporale evoluzione normativa diagnosi energetica dopo il D.Lgs. 102/2014

Nel maggio 2015 il MISE produce un documento col nome di “Chiarimenti in materia di diagnosi energetica”. Tale documento chiarisce eventuali dubbi sulla redazione delle diagnosi energetica, sugli obblighi, sulle sanzioni, sulla comunicazione dei risultati e propone metodi di diagnosi creati ad hoc da ENEA.

I punti notevoli del documento sono:

- allegato 1 - imprese multisito: proposta di metodo per selezione dei siti produttivi da assoggettare alla diagnosi;
- nuovi requisiti per grandi imprese.

Il documento al punto 4.1 ribadisce inoltre la validità delle diagnosi energetiche qualora esse siano a loro volta conformi ai criteri minimi contenuti nelle norme tecniche UNI CEI EN 16247 parti da 1 a 4.

A seguire, nell'ottobre 2015 ENEA produce un ulteriore guida col nome: "Elementi su come elaborare la documentazione necessaria al rispetto degli obblighi previsti nell'art. 8 del decreto legislativo 102/2014 in tema di diagnosi energetica" dove specifica i dettagli della metodologia di redazione della DE e di come strutturare il modello di analisi dell'azienda per una diagnosi significativa.

Il 18 luglio 2016 viene emanato il D.Lgs. n. 141 che contiene le disposizioni integrative al D.Lgs. 102 del 2014. In materia di diagnosi energetica non ci sono grandi modifiche; appare la riscrittura del p.to 9) dell'art.8 che obbliga il MISE a pubblicare annualmente:

*"[...] un bando per il cofinanziamento di programmi presentati dalle Regioni finalizzati a sostenere la realizzazione di diagnosi energetiche nelle PMI o l'adozione nelle PMI di sistemi di gestione conformi alle norme ISO 50001. [...]"*

All'interno dello stesso punto si specifica che gli incentivi verranno concessi a seguito della effettiva realizzazione delle misure di efficientamento energetico identificate dalla diagnosi energetica o dalla certificazione ISO 50001.

Tra altri cambiamenti, che non verranno citati, si riporta la nuova definizione di audit energetico o diagnosi energetica introdotta con un nuovo comma tra le definizioni:

*"b-bis) audit energetico o diagnosi energetica: procedura sistematica finalizzata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati;"*

Il 14 novembre 2016 il MISE presenta un documento che afferma:

*"Il documento costituisce un aggiornamento delle precedenti versioni pubblicate a maggio e ottobre 2015, che sono da considerarsi, quindi, integralmente sostituite dalla presente."*

Ed effettivamente il testo presenta anche lo stesso indice; il cambiamento principale è la definizione di grande impresa, già commentata nei paragrafi precedenti (Chiarimenti in materia di diagnosi, MISE, 2016).

Nel maggio 2017 ENEA pubblica le prime linee guida per il monitoraggio energetico, inizialmente nell'ambito industriale e successivamente nel terziario.

Il modello proposto ricalca quanto asserito precedentemente, con una parzializzazione dei consumi energetici che sono alla base delle analisi minime richieste delle diagnosi energetiche. Le linee guida, oltre a fornire un chiaro metodo, sanciscono che la diagnosi energetiche dovranno essere supportate da un adeguato livello di informazioni, raccomandando che le campagne di misura coprano i consumi dell'intero anno di riferimento cioè il 2018.

Riguardo il grado di copertura della campagna di misure, si può leggere dall'introduzione:

*"[...] con quanto segue, si intende suggerire un percorso che ha lo scopo di ottenere risultati confrontabili all'interno dei vari settori produttivi i che permettano analisi e valutazioni affidabili. La definizione del grado di copertura mediante misura dei parametri che contribuiscono alla definizione degli indici di prestazione energetica è una delle necessarie premesse alla loro affidabilità. In base a quanto sopra si vuole indicare un grado di copertura mediante misure al fine di ottenere risultati derivanti dalle diagnosi che aumentino l'attendibilità degli indici attualmente in valutazione e permettano di individuarne degli altri, attualmente non definibili con sufficiente approssimazione. "* (enea linee guida monitoraggio industriale, 2017)

Si conclude questo capitolo sull'evoluzione normativa della diagnosi energetica, citando l'esistenza di un ultimo documento "Linee Guida e Manuale Operativo" uscito nel maggio 2019, incentrato su:

- clusterizzazione dei siti
- rapporto di diagnosi
- piano di monitoraggio.

Come si legge dalla premessa nel presente paragrafo, le procedure proposte nel suddetto documento non sono prescrittive e:

*"[...] ciascun soggetto sarà libero di redigere il rapporto di diagnosi energetica seguendo i propri criteri e la propria metodologia, purché rispetti l'Allegato 2 del D.Lgs.102/2014. Tuttavia, a ciascuno sarà chiesto di compilare un foglio di calcolo riassuntivo secondo uno schema scaricabile dal sito web del Dipartimento Unità Efficienza Energetica - ENEA ([www.energiaenergetica.enea.it](http://www.energiaenergetica.enea.it)) da allegare al rapporto di diagnosi energetica caricata sul portale ENEA[...]"*

# 3. CASE STUDY: LA CASERMA A. RIBERI NEL COMUNE DI TORINO

## 3.1. Cenni storici

La caserma militare intitolata a Alessandro Riberi (1794-1861), senatore e luminare nel settore della medicina, nasce come ospedale militare a seguito di una convenzione del 1904 fra la Città di Torino e l'Amministrazione della Guerra.

La sua costruzione è realizzata dal 1903 al 1913 ed ha principalmente funzionato come ospedale militare fino ai giorni nostri.

Durante la seconda guerra mondiale l'ospedale militare fu oggetto di bombardamenti e nel 1942 venne gravemente danneggiato in due occasioni. Alcuni reparti vennero totalmente distrutti e altri sinistrati con gravi lesioni murarie, nonché gravi danni alle strutture non portanti quali infissi, tegolature ecc..., che comunque erano essenziali per il funzionamento della struttura. Il parziale ripristino delle opere danneggiate venne eseguito nell'agosto 1945.

Nel 2004, a seguito della riorganizzazione dell'esercito, con il passaggio da esercito di leva ad esercito professionale, sono state eseguite opere di ristrutturazione destinando una parte significativa delle strutture ospedaliere ad organismi per l'alloggiamento del personale militare.

In occasione dei Giochi Olimpici Invernali di Torino 2006, l'ospedale militare è stato oggetto di una forte ristrutturazione per accordi intercorsi fra il Ministero della Difesa, l'Agenzia del Demanio, il Comitato per l'Organizzazione e l'Agenzia per lo Svolgimento dei XX Giochi Olimpici Invernali Torino 2006. Tale ristrutturazione ha interessato diciannove delle venticinque palazzine dell'ex ospedale militare, diciassette delle quali da destinarsi a struttura alloggiativa atta ad accogliere oltre mille giornalisti durante l'evento olimpico, e due per assicurare una più funzionale collocazione del Centro Militare di Medicina Legale.

A conclusione delle Olimpiadi la struttura, tornata interamente all'Esercito, ha subito ulteriori trasformazioni per la rifunzionalizzazione con varie nuove destinazioni d'uso ed in particolare oltre alle strutture destinate a ospitare i militari in servizio a Torino, altre sono state adibite all'istruzione universitaria con la Facoltà di Scienze Strategiche, per Campus Militare, per poliambulatorio funzionale e a farmacia.

Il Dipartimento Militare di Medicina Legale (DMML) "Riberi" è organizzato nell'area del complesso all'angolo fra via Barletta e corso IV novembre.

Nel 2019 (dal 31 ottobre al 3 novembre), all'interno di due palazzine liberty del complesso, è

ospitata la fiera d'arte indipendente The Others.

Il Generale Salvatore Cuoci spiega perché si è deciso ad aprire la struttura militare ad un evento dedicato all'arte: “La scelta di ospitare nella caserma Riberi “The Others” vuole alimentare l’osmosi tra la città di Torino e l’Esercito.

figura 7 – titolo del giornale  
“The Others” - mostra d’arte

## **The Others la fiera, l'arte contemporanea trova la sua nuova cornice in caserma**

figura 8 – foto della mostra “The Others”



La caserma Riberi è una delle ventisei strutture selezionate per lo sviluppo del progetto “Caserme Verdi” dello Stato Maggiore. Tale piano punta all’ottimizzazione del parco infrastrutturale creando spazi più sicuri e funzionali, a basso impatto energetico e ambientale, che garantiscano, attraverso aree dedicate ad asili, impianti sportivi e spazi per il tempo libero aperti alla popolazione, una continua e crescente integrazione con il tessuto sociale e culturale delle città.”

L’idea è quella di trasformare le caserme non più in uso in edifici sostenibili, energeticamente efficienti e aperti al territorio. In particolare, il complesso militare della Caserma Riberi (sede dell’ex ospedale militare di Torino), così come progettato da docenti e studenti del Politecnico, potrebbe diventare un polo di residenze universitarie, connesse alle già esistenti residenze per gli allievi della Scuola di Applicazione Militare. (difesa.it)

“Come Difesa siamo particolarmente orgogliosi dei positivi risultati finora raggiunti e, per questo, ringrazio tutti coloro che hanno collaborato alla realizzazione di questi progetti, in particolare, i professori e gli studenti del Politecnico che hanno fornito il loro prezioso apporto di conoscenze e competenze scientifiche per restituire, non solo alla Difesa, ma a tutta la città di

Torino, un'area urbana migliorata dal punto di vista della sostenibilità ambientale e della vivibilità” ha aggiunto il Ministro Trenta.

Le numerose infrastrutture militari non più utili ai fini istituzionali costituiscono, infatti, un valore sociale ed economico di fondamentale importanza per il Paese e, adottando strumenti e percorsi di valorizzazione adeguati, possono diventare un fattore di crescita economica e sviluppo del territorio, grazie a operazioni di riqualificazione, risparmio energetico, riduzione dell'impatto ambientale, riconversione ad altri usi.

### 3.2. Descrizione architettonica: morfologia edilizia e strutture

La foto aerea riportata in fig.4 mostra la visione del complesso costituente la caserma militare A. Riberi; si percepisce subito che si tratta di un intervento urbanistico-edilizio con progettazione ed esecuzione unitaria. Esso occupa un consistente comparto edificatorio della città di Torino.



figura 4 – foto dall'alto del complesso della caserma Riberi

La struttura del complesso militare è costituito da 25 edifici principali costruiti con sistema modulare tipico delle costruzioni militari

La tipologia edilizia è quindi quella delle strutture a padiglioni solitamente utilizzata fin dalla metà del XX secolo per la costruzione di ospedali.

Il complesso dell'ospedale si compone di numerosi padiglioni adibiti a contenere uffici, locali per l'accettazione dei malati, pronto soccorsi, magazzini, locali per la degenza dei malati ed altri; la destinazione d'uso dei padiglioni venne principalmente scelta in base al tipo di malattia che in esso veniva curata.

I corpi di fabbrica sono modulari ma alcuni sono differenti per dimensione anche se, in sostanza, applicano il modulo base applicato per il gruppo di edifici elencati con le lettere "H, I, J, K, L, M" (vv.fig. 5) anche agli altri, seppure con dilatazione o restringimento del modulo medesimo, ma pur sempre con la stessa tipologia edilizia.

Vi sono altresì nel complesso alcuni edifici che non seguono la modularità e ciò è dovuto al fatto che assolvono funzioni differenti (chiesa) oppure perché non facevano parte del progetto originario e sono stati introdotti successivamente per motivi di utilità (piccoli depositi, ecc...)

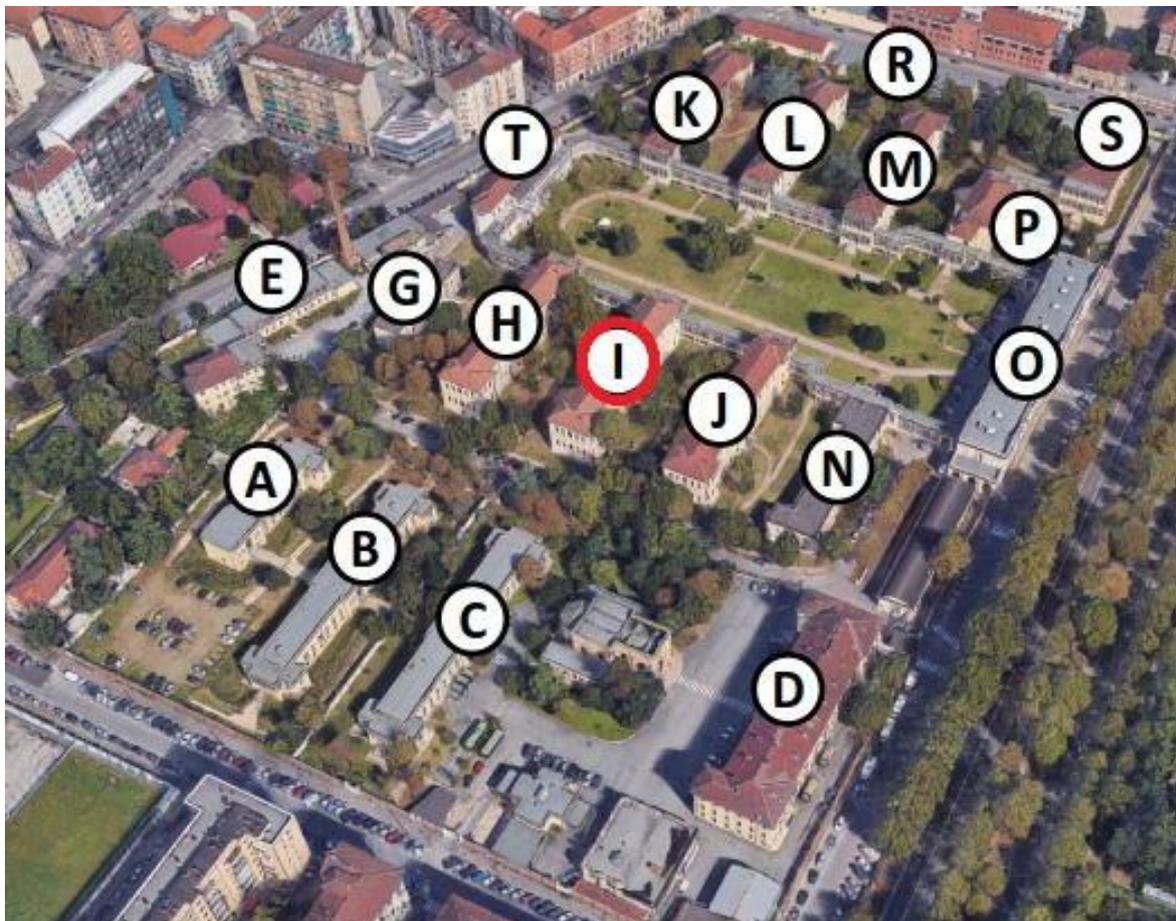


figura 5 - in rosso l' edificio presi in analisi

Si riporta altresì uno schema grafico della visione di insieme delle complesso (fig.6), elaborato con orientamento uguale a quello della foto aerea, per rendere più interpretabile la stessa con la designazione le vie di delimitazione del comparto, l'individuazione del padiglione oggetto di studio, per l'individuazione della veranda di collegamento dei padiglioni e per la determinazione dell'orientamento dei corpi di fabbrica che è a  $28^\circ$  in direzione NNE ovvero a  $312^\circ$  sul piano XY con assi paralleli agli assi principali del foglio.

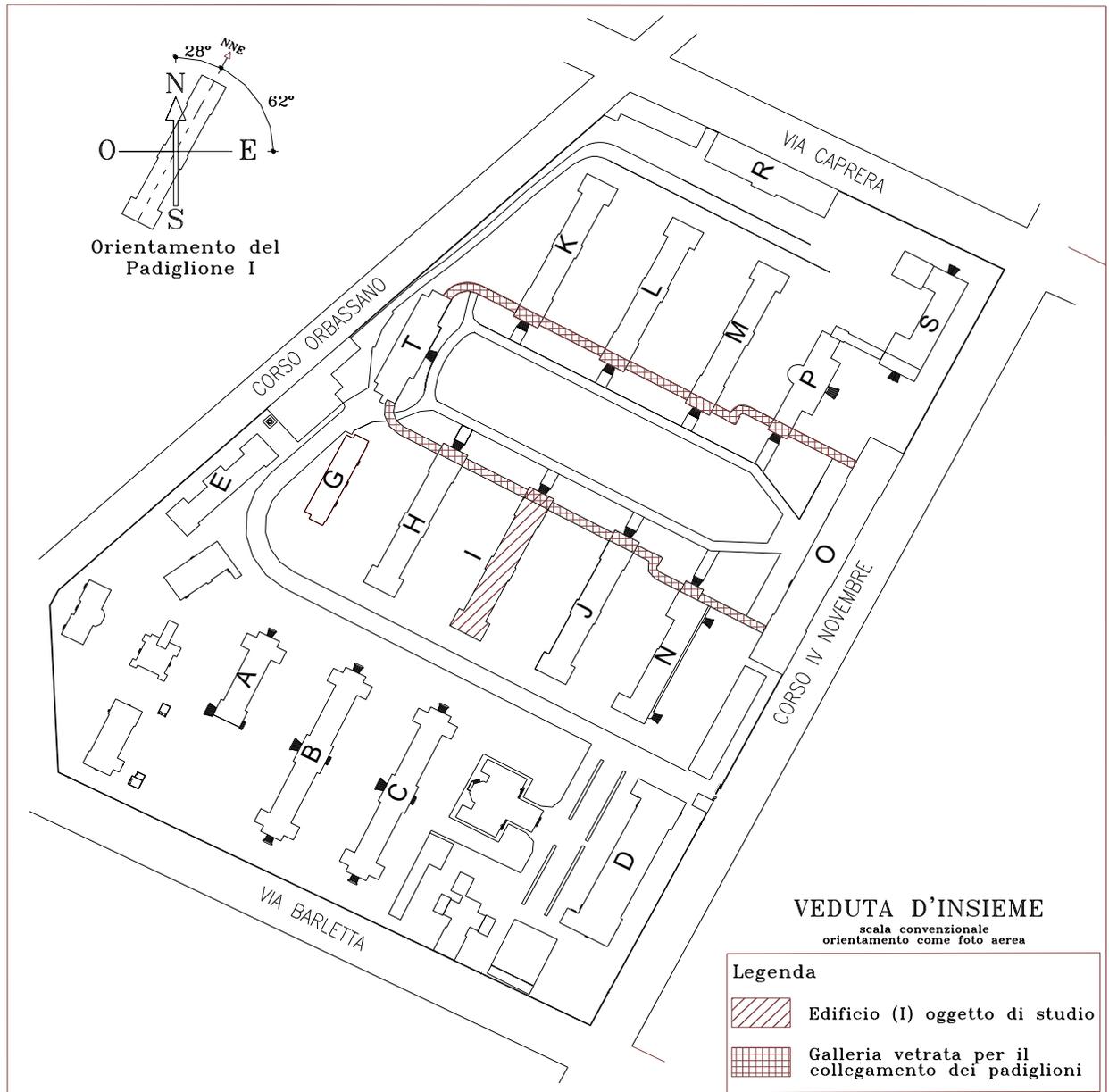


figura 6- Planimetria di tutto il complesso

La distribuzione interna è caratterizzata da uno spazio centrale di distribuzione interno

(edificio a una manica) a servizio degli ambienti laterali, con estensione longitudinale. Tale schema si ripete ad ogni livello. Il modulo preso esame per lo studio è quello elencato con la lettera "I" caratterizzante gli edifici elencati con le lettere "H, I, J, K, L, M" tutti collegati, nella parte delle testate prospicienti il giardino centrale, con grande di testata realizzata con struttura in cemento con tamponamento in ferro e vetro in stile liberty, che consente di spostarsi fra essi oltre che negli edifici N, P. laterali e T ed O di testata sui lati corti, senza uscire all'aperto.

La sezione allegata in fig. ZZZ mostra i livelli di ciascun padiglione fra quelli del gruppo precedentemente elencato:

- piano rialzato al di sopra del piano di campagna, direttamente collegato alla galleria vetrata e da questa raccordato al giardino centrale:
- piano primo coincidente con i sottostanti, aperto lateralmente sulle coperture piane della sottostante galleria;
- piano sottostante al piano rialzato che definiremo piano seminterrato perchè ha una porzione di parete controterra per una profondità di cm. 120 ca. al di sotto del piano di campagna con finestre alte che consentono l'aerazione e l'illuminazione ma non l'affaccio;
- un piano a sottotetto non abitabile.

I tre livelli sono tutti con controsoffitto.

Lo schema distributivo è lo stesso per tutti i livelli ovvero quello anzidetto di edificio a una manica.

La struttura del padiglione è costituita da muratura portante in mattoni di laterizio e orizzontamenti e falde di copertura in cemento armato.

## 4. MODELLAZIONE SU EC700

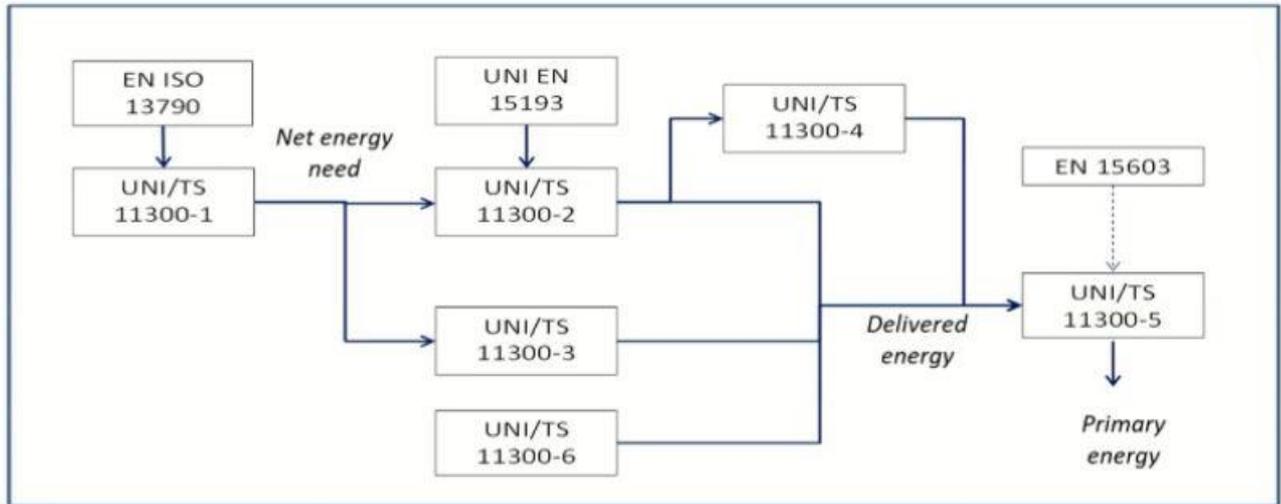


figura 9 – schema delle norme italiane riguardanti performance energetiche di un edificio

### 4.1. Il collegamento fra le diverse leggi italiane

Il calcolo delle performance energetiche di un edificio consiste principalmente in 3 passi:

- 1.5.calcolo della domanda di energia, cioè dell'energia che bisogna fornire agli ambienti
- 2.5.calcolo della *delivered energy* per ogni vettore energetico tramite il calcolo delle efficienze energetiche dei diversi sistemi tecnici
- 3.5.calcolo dell'energia primaria

Per quanto riguarda il calcolo della domanda di energia, la cosiddetta net energy demand, la legge di riferimento è la UNI TS 11300-1 che deriva dallo standard internazionale EN ISO 13790; la UNI/TS 11300 specifica quindi come applicare lo standard europeo in Italia.

Nel prossimo futuro questo schema cambierà perché a livello europeo lo standard EN ISO 13790 è stata sostituito dallo standard EN ISO 52016-1.

Adesso, lo standard EN ISO 52016-1 è stato pubblicato in Italia dall'ente UNI ed è quindi uno standard italiano chiamato UNI EN ISO 52016-1; tuttavia non è ancora usato dagli ingegneri perché l'ente nazionale di standardizzazione sta ancora lavorando per aggiornare le leggi.

Anche se non è stato ancora ratificato, la suddetta legge introduce il nuovo metodo di calcolo orario che è un metodo dinamico dove il timestep, cioè l'intervallo di tempo analizzato, non è più un mese ma un'ora.

In questa tesi si applicherà il metodo dinamico orario che probabilmente diverrà il metodo principale nel prossimo futuro. Lo schema di tale calcolo è completamente specificato nella norma europea ed in quella italiana.

Il secondo passo dell'analisi è il calcolo dell'efficienza dei sistemi tecnici dell'edificio e della cosiddetta delivered energy.

Una volta calcolato secondo il metodo orario il fabbisogno energetico, si integra in ciascun mese la domanda di energia ed analizzando il sistema e le sue perdite, si calcola la delivered energy. Ad esempio una grossa differenza tra la domanda di energia e la delivered energy è sintomo di una cattiva gestione nel sistema di dispaccio dell'energia primaria entrata nel sistema.

Gli standard che regolano l'analisi dei sistemi tecnici dell'edificio sono:

- UNI/TS 11300-2                      climatizzazione invernale, ventilazione, ACS, generatori a combustibili fossili
- UNI/TS 11300-3                      sistemi preposti alla climatizzazione estiva
- UNI/TS 11300-6                      ascensori, scale mobili, tapis roulant
- UNI EN 15193                      Requisiti energetici per illuminazione, metodologia LENI

La specifica tecnica UNI/TS 11300-2 fornisce dati e metodi per il calcolo dei rendimenti e delle perdite dei sottosistemi di generazione alimentati con combustibili fossili liquidi o gassosi.

La specifica tecnica si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti per:

- il solo riscaldamento
- sistemi misti o combinati per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria
- per sola produzione acqua calda per usi igienico-sanitari
- per i sistemi di sola ventilazione
- per i sistemi di ventilazione combinati alla climatizzazione invernale
- per i sistemi di illuminazione negli edifici non residenziali.

Tutti gli altri tipi di generatori ed in particolare i generatori che sfruttano le risorse rinnovabili, sono contenuti nella UNI TS 11300-4. Questo standard completa la parte due allargando l'insieme di generatori oltre quelli a combustibili fossili.

Questa specifica tecnica prende in considerazione:

- pompe di calore
- generatori a biomassa

- pannelli solari termici (ed FV purch  non sfruttino l'effetto Joule)
- teleriscaldamento
- CHP (cogenerazione)

L'ultimo step dell'analisi   il calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili. La specifica tecnica UNI/TS 11300-5 fornisce metodi di calcolo per determinare in modo univoco e riproducibile:

- 1) il fabbisogno di energia primaria degli edifici sulla base dell'energia consegnata ed esportata;
- 2) la quota di energia da fonti rinnovabili.

Tale specifica tecnica fornisce inoltre precisazioni e metodi di calcolo che riguardano, in particolare:

- le modalit  di valutazione dell'apporto di energia rinnovabile nel bilancio energetico;
- la valutazione dell'energia elettrica esportata;
- la definizione delle modalit  di compensazione dei fabbisogni con energia elettrica attraverso energia elettrica prodotta da rinnovabili;
- la valutazione dell'energia elettrica prodotta da unit  cogenerative.

La specifica tecnica UNI/TS 11300-5   legata allo standard europeo EN 15603 che adesso   stato sostituito dallo standard internazionale EN ISO 52000-1.

I software e gli strumenti di calcolo per l'applicazione delle suddette metodologie devono essere certificati dal CTI – Comitato Termotecnico Italiano, che garantisce che i risultati del software abbiano una deviazione di  $\pm 5\%$  dai risultati dello strumento di calcolo usato come riferimento a livello nazionale; sul sito del CTI   presente la lista dei software garantiti (DM requisiti minimi, art. 7).

Il software scelto per portare avanti la diagnosi energetica della caserma Riberi   EC700 dell'azienda Edilclima nel quale, seppur non ancora obbligatoria,   implementata la procedura di analisi con metodo dinamico orario descritto nella UNI EN ISO 52016-1

## 4.2. Le scelte progettuali nel modello di Edilclima per la diagnosi energetica della caserma Riberi

Il software Edilclima presenta una struttura a cascata, rappresentata nella barra a sinistra, dove, nell'ordine proposto, riempiendo i campi necessari viene man mano formata la modellizzazione degli edifici in analisi.

In questo capitolo si illustrano le scelte progettuali per la realizzazione del modello quanto più vicino alla situazione reale; alcuni dati saranno quelli reali e altri saranno ipotizzati; tra questi ultimi, alcuni verranno suggeriti dalla norma che propone dei valori qualora non si avessero quelli reali ed altri verranno scelti facendo le giuste ipotesi.



figura 10 – schede software Edilclima

## 4.3. Dati generali

Si è partiti dalla scelta della categoria d'uso dell'edificio secondo il DPR 412/93; le categorie d'uso corrispondenti all'utenza degli edifici sono la E.1(1)\* che rappresenta l'utenza di caserma adibita a carattere residenziale (vedi padiglioni centrali) e la E.2 in quanto in molti padiglioni sono presenti uffici.

La tipologia di calcolo scelta è quella della diagnosi energetica (A3 – tailored) e nello specifico si eseguirà il calcolo dinamico orario UNI EN ISO 52016; si sceglie già da adesso di non fare il calcolo della potenza estiva in quanto, seppur quasi tutti i padiglioni sono dotati di ventilconvettori che possono sia climatizzare sia d'inverno sia d'estate, essi sono usati solamente per la climatizzazione invernale, sulla quale appunto si concentrerà l'analisi.

## 4.4. Dati climatici

In materia di dati climatici, il regime normativo da seguire per pratiche successive alla data 29/06/2016 è la legge UNI 10349:2016; tale scelta è comunque obbligata dal calcolo secondo la

UNI EN ISO 52016, verranno quindi usati i dati climatici reali registrati nelle centraline dell'Arpa Piemonte.

Per quanto riguarda gli altri dati, basta solamente inserire il comune dove sono locati gli edifici e il software prevede di riempire tutti i campi necessari all'analisi secondo la normativa vigente; ulteriori precisazioni, come la correzione dell'altitudine, non sono necessarie al nostro caso.

I dati climatici a nostra disposizione sono stati forniti dall'Arpa Piemonte e sono sintetizzati nei seguenti parametri:

- Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Irradianza solare globale sul piano orizzontale [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- Irradianza solare diretta sul piano orizzontale [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- Irradianza solare diffusa sul piano orizzontale [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- Umidità relativa [%]
- Velocità del vento [ $\text{m}/\text{s}$ ]

La stazione meteorologica di riferimento per questi dati è situata in via della Consolata. Nel file fornito dall'Arpa vi sono i dati relativi al 2017, al 2018 e a parte del 2019 (fino alle 10:00 del 28 Marzo). I dati scelti per eseguire la simulazione sono quelli del 2018 in quanto è l'unico anno di cui si hanno contemporaneamente tutti i dati sia per quanto riguarda la stazione meteorologica, sia per quanto riguarda le misure di flusso di energia in entrata dal teleriscaldamento registrati alla sottostazione termica della caserma Riberi.

Si noti che le misure dell'energia della Caserma Riberi non seguono una cadenza precisa, ogni misura dista dall'altra tra i 5 e gli 8 giorni.

Invece si ha con precisione oraria i dati meteorologici dell'Arpa (Arpa Piemonte).



figura 11 – fotografia della centralina climatica  
sita in Via della Consolata a Torino

Nella scheda dati generali, ulteriori opzioni scelte per questo lavoro sono:

- calcolo dei ponti termici tramite calcolo analitico
- calcolo delle resistenze liminari tramite l'appendice A della legge UNI EN ISO 6946

Ai sensi della nuova norma UNI/TS 11300 - 1 del 2014 i ponti termici devono essere considerati unicamente per via analitica, si creerà infatti il ponte termico quale componente dell'involucro; esso verrà modellizzato tramite il modulo EC 709 nelle fasi successive di composizione del modello.

L'appendice A della norma UNI EN ISO 6946 permette di calcolare la trasmittanza termica delle strutture utilizzando resistenze liminari esterne determinate in funzione della velocità del vento e della temperatura dell'aria esterna permettendo un calcolo più prossimo alla situazione reale.

Si sottolinea anche che il rendimento globale medio stagionale è effettuato secondo il D.M. 26.05.15, che rimanda alle norme UNI/TS 11300 e non facendo riferimento alle FAQ ministeriali dell'agosto 2016.

Come suggerito dal programma, tale scelta conviene in quanto la norma 11300 calcola il rendimento globale come rapporto tra l'effetto utile fornito, cioè il fabbisogno di energia termica in uscita dall'impianto, ed il corrispondente impiego di risorse in ingresso, cioè il fabbisogno di energia primaria. Le disposizioni fornite dalle FAQ hanno al numeratore non l'effetto utile, bensì il fabbisogno ideale del fabbricato, calcolato nell'ipotesi di sola ventilazione naturale. La scelta di seguire la norma UNI/TS 11300 è comunque obbligata dal voler perseguire con il calcolo orario.

Riguardo la verifica di condensa interstiziale, la scelta è di seguire alla lettera la norma UNI EN ISO 13788: il Decreto Requisiti Minimi (D.M. 26.05.2015) sancisce l'obbligo di verifica di assenza di condensa interstiziale e di rischio di formazione muffe. La verifica è da condurre secondo la normativa vigente, ovvero la norma UNI EN ISO 13788. Tale norma però considera la verifica di condensa interstiziale come positiva quando:

- 1) la quantità di condensa è inferiore a quella minima ammissibile
- 2) c'è evaporazione completa della condensa al termine di un ciclo annuale (assenza di residui).

Si aprono quindi due strade: considerare tale verifica positiva quando la non vi è condensa interstiziale, prendendo alla lettera il D.M., o considerare tale verifica positiva ai sensi della legge 13788.

Si è scelta la seconda strada in quanto, una verifica positiva con assenza di condensa sarebbe stato un grosso vincolo nella diagnosi energetica qui in atto. Ulteriormente, quanto scelto, da considerarsi già di per sé cautelativo, oltre che ragionevole dal punto di vista progettuale, è stato avvalorato dalla FAQ n.3.11 formulata dal MISE (terza serie, pubblicata nel dicembre 2018).

#### 4.5. Componenti d'involucro

Già dalla relazione tecnica dei lavori del 2004 si denota una fortissima somiglianza tra tutti i padiglioni centrali in termini strutturali ed architettonici. Per tale motivo, già nei lavori di rifacimento del 2004, è stato tenuto in conto questo stato di omogeneità facendo di questi sei edifici un sottoinsieme all'interno dell'area dell'ex ospedale Riberi (Relazione tecnica rifacimenti del 2004).

Tale elaborato può essere portato ad esempio di lavoro per tutti gli altri padiglioni in quanto i muri portanti avranno la stessa stratigrafia in tutti i fabbricati, così come i divisori di ogni tipo e gli altri elementi. Tale omogeneità, rotta solamente da una cappella gotica, è dovuta sia alla progettazione unica di tutto il complesso alla sua nascita nel 1904, sia ai lavori di rifacimento che hanno coinvolto praticamente tutti i fabbricati oggetto d'analisi in questo lavoro.

#### 4.6. L'abaco delle strutture

Tale abaco delle strutture, riferito solo al complesso in analisi, ha diverse fonti:

- 1) Tavole CAD di progettazione
- 2) Relazione tecnica come disposto dall'art. 28 della legge n° 10

Suddetti documenti presi da soli non riescono a dare un quadro completo delle strutture che sono presenti allo stato di fatto negli edifici:

- i muri perimetrali sono descritti come isolati nei CAD di progettazione, invece allo stato di fatto l'isolamento è assente in quanto poi non si è deciso di portare avanti tale rifacimento nel 2004
- nella relazione tecnica della legge 10, i divisori non sono presenti come strutture
- le tavole CAD e le strutture catalogate nella relazione tecnica della legge 10 spesso non sono coerenti tra di loro riguardo di gli spessori dei muri
- nelle tavole CAD sono descritti più muri di quanti poi ve ne siano allo stato di fatto post-intervento del 2004

Incrociando però i due lavori, e sotto la guida del Ten. Col. Dutto si è, non senza difficoltà, arrivati ad un abaco finale delle strutture che servirà a descrivere il fabbricato che verrà modellato.

#### 4.6.1. Involucro opaco

a) *Muro esterno perimetrale* – L'involucro opaco esterno è tutto in muratura; variano solamente gli spessori:

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
55	1.287	1072
60	1.208	1172
70	1.077	1372
90	0.94	1784

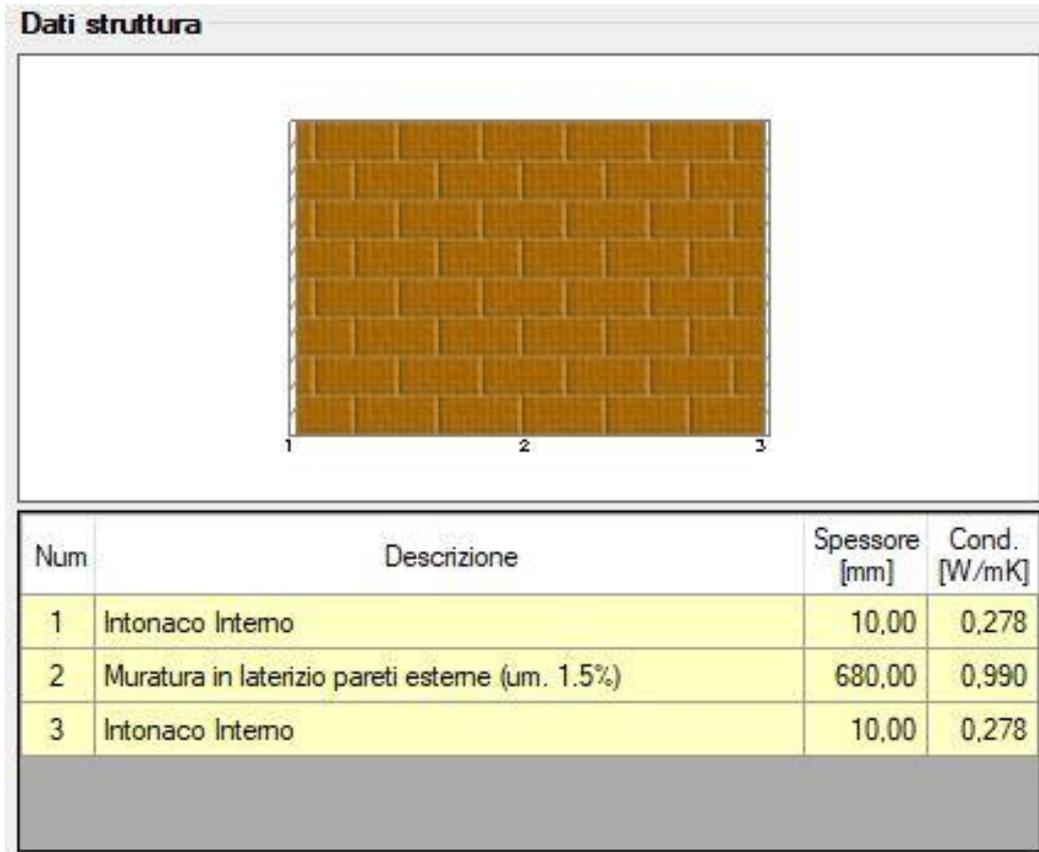


figura 12 – muro perimetrale esterno

*b) Divisorio interno tra camere e bagni*

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
10	0.530	49

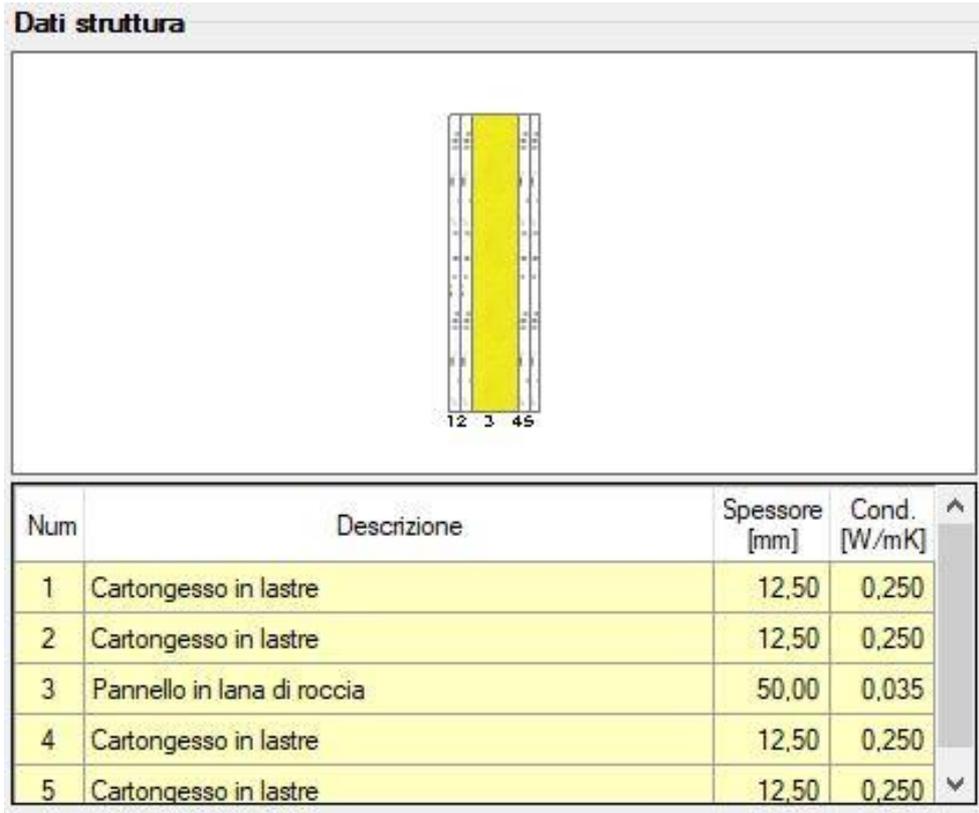


figura 13 – Divisorio interno tra camere e bagni

c) *Divisorio interno tra bagno e bagno*

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
25	0.508	26

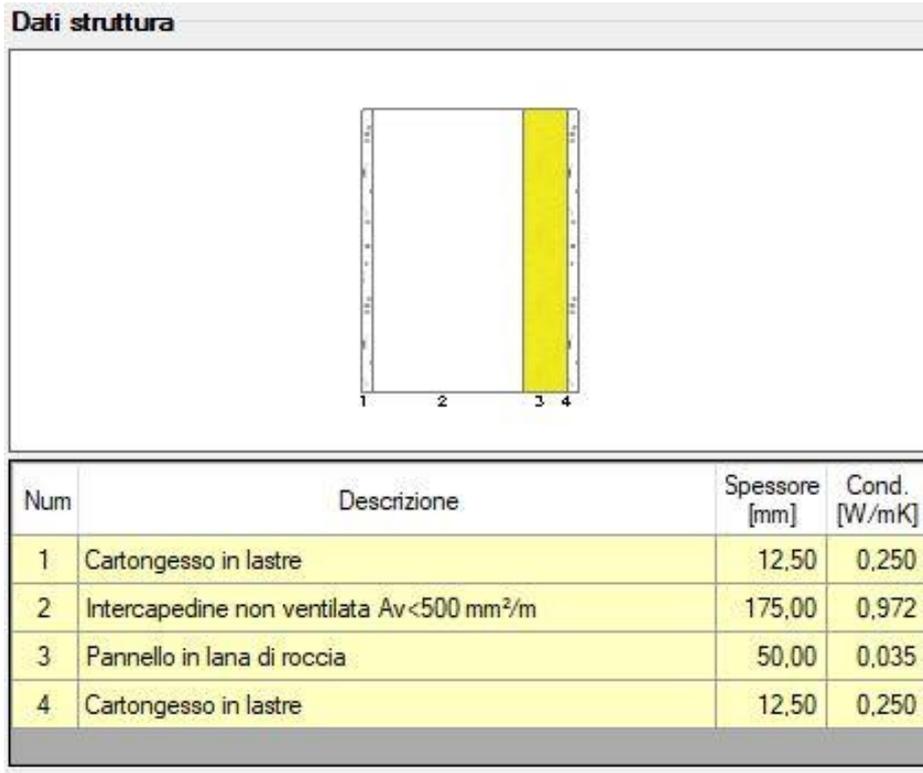
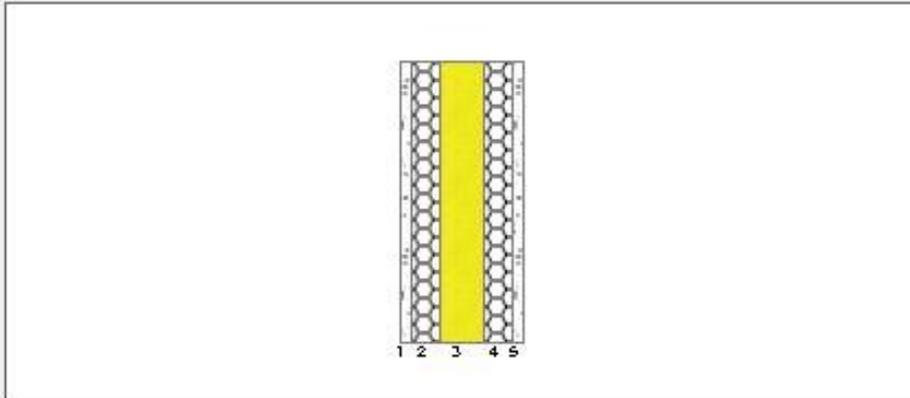


figura 14 – Divisorio interno tra bagno e bagno

*d) Divisorio interno tra camera e camera*

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
145	0.39	70

**Dati struttura**



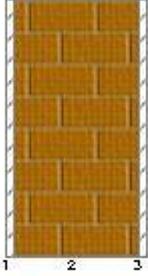
Num	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]
1	Cartongesso in lastre	12,50	0,250
2	ERACLIT 35 - Pannello di lana di legno mineralizzata ...	35,00	0,090
3	Pannello in lana di roccia	50,00	0,035
4	ERACLIT 35 - Pannello di lana di legno mineralizzata ...	35,00	0,090
5	Cartongesso in lastre	12,50	0,250

figura 15 – Divisorio interno tra camere e camera

*e) Divisorio interno corridoi*

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
18	2.026	322

**Dati struttura**



Num	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]
1	Intonaco Interno	10,00	0,278
2	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	160,00	0,990
3	Intonaco Interno	10,00	0,278

figura 16 – Divisorio interno

#### 4.6.2 Involucro trasparente

È possibile identificare i serramenti vetrati del Padiglione I grazie ai CAD della riqualificazione energetica 2004, e precisamente dal prospetto e dalla tavola del particolare costruttivo dei serramenti. Vi sono tre tipi di finestre che, a parte per le dimensioni, presentano caratteristiche simili; qui di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei dati e subito dopo la logica per le scelte operate all'interno del programma di Edilclima:

Classe di permeabilità	Classe 3	-
Resistenza termica chiusure	0.22	m2K/W
Temperatura esterna	-8	°C
Emissività	0.837	-
Fattore di trasmittanza solare, ggl,n	0.750	-
Fattore tendaggi fc,inv	1	-
Inclinazione sull'orizzonte	90°	-

- Classe di

*permeabilità: Classe 3 secondo norma UNI EN 12207*

Le schede tecniche delle finestre allegate nel capitolato per l'approvazione dei materiali ritengono che l'infisso è da ritenersi in classe A3 secondo la vecchia norma UNI EN 42. Con la nuova legge UNI EN 12207 si passa da tre classi (A1/A2/A3) a 5 classi: Classe 0,1,2,3,4. La scelta è ricaduta sulla classe 3 in quanto nella relazione tecnica della legge 10 si riporta una permeabilità "media" [fonti: Capitolato, UNI EN 42, UNI EN 12207]

- *Resistenza termica chiusure: 0.22 m2K/W*

Valore proposto dal programma risultante dalla classe di permeabilità del componente e dal materiale di cui è composta la chiusura, in questo caso legno. Il valore deriva dalla UNI EN ISO 10077-1:2007 ed UNI TS 11300-1 prosp.c4

- *Temperatura esterna: -8 °C*

Temperatura invernale di progetto per Torino

- *Emissività: 0.837*

Valore standard per doppi vetri standard senza trattamento basso emissivi

- *Fattore di trasmittanza solare, ggl,n: 0.750*

Valore standard per doppi vetri

- *Fattore tendaggi fc,inv: 1*

Fattore standard per tende bianche interne

- *Inclinazione sull'orizzonte: 90°*

Tali valori sono comuni ad ogni finestra; una volta inserite le dimensioni di ogni serramento si hanno i seguenti risultati:

a) finestra - F2

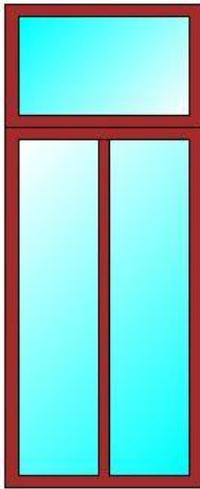


figura 16 – Finestra F2

Dimensioni serramento					
Area totale	Aw	1,425	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Area vetro	Ag	1,074	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Area telaio	Af	0,351	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Perimetro vetro	Lg	7,088	m	0,000	m
Perimetro telaio	Lf	4,900	m	0,000	m

Trasmittanza serramento					
Potenza	Uw,p	4,903	W/m <sup>2</sup> K		
Energia	Uw,e	3,042	W/m <sup>2</sup> K		
Trasmittanza vetro	Ug	4,712	W/m <sup>2</sup> K		
Ggl+sh max		0,737			

b) finestra – F3

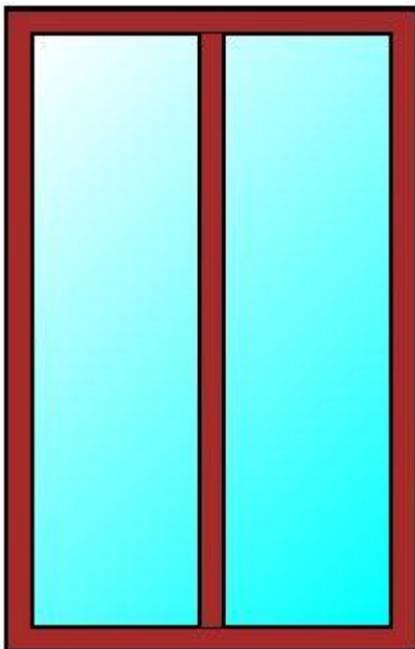


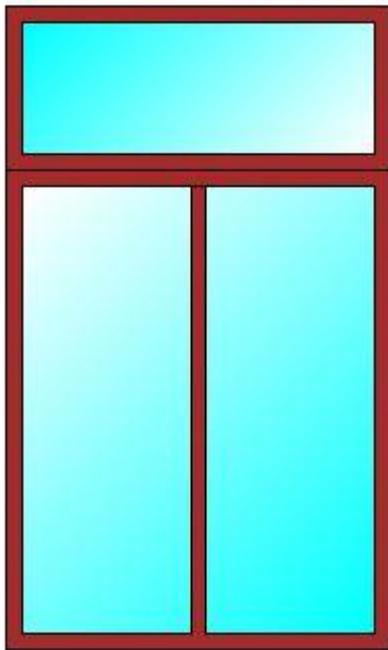
figura 17 – Finestra F3

Dimensioni serramento					
Area totale	Aw	3,290	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Area vetro	Ag	2,625	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Area telaio	Af	0,665	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Perimetro vetro	Lg	12,524	m	0,000	m
Perimetro telaio	Lf	7,500	m	0,000	m

Trasmittanza serramento					
Potenza	Uw,p	4,997	W/m <sup>2</sup> K		
Energia	Uw,e	3,075	W/m <sup>2</sup> K		
Trasmittanza vetro	Ug	4,712	W/m <sup>2</sup> K		
Ggl+sh max		0,737			

c) finestra – F4



Dimensioni serramento					
Area totale	Aw	2,233	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Area vetro	Ag	1,672	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Area telaio	Af	0,561	m <sup>2</sup>	0,000	m <sup>2</sup>
Perimetro vetro	Lg	10,724	m	0,000	m
Perimetro telaio	Lf	6,600	m	0,000	m

Trasmittanza serramento			
Potenza	Uw,p	4,717	W/m <sup>2</sup> K
Energia	Uw,e	3,110	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza vetro	Ug	4,839	W/m <sup>2</sup> K
Ggl+sh max		0,740	

figura 17 – Finestra F4

### 4.6.3. Solai e pavimenti

Nel piano seminterrato, nel 2004, verrà realizzato sul pavimento esistente un vespaio aerato tramite l'uso di casseri a perdere in plastica di tipo "igloo".

I solai non vengono toccati da interventi, ma vengono realizzati dei controsoffitti per un maggior risparmio energetico e per risolvere i problemi di ingombro degli impianti. Tali controsoffitti sono stati modellato come facenti parte della stratigrafia del solaio.

- a) *Solaio* – dall'estradosso all'intradosso, per motivi grafici di proporzione nell'immagine seguente è rappresentato il controsoffitto. Tale componente è stato modellato come una intercapedine non ventilata chiusa da un pannello di cartongesso

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
30	1.51	644

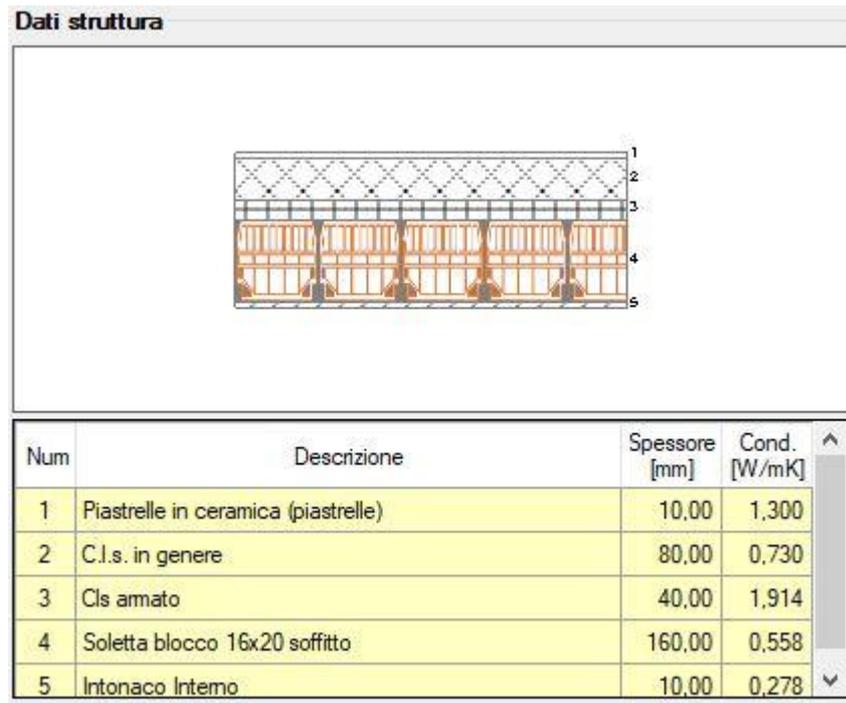


figura 18 – Solaio

- b) *Pavimento controterra* – si rappresenta qui di seguito il pavimento che poggia sul vespaio ad igloo: edilclima modella il componente a partire dalla parte piana dell’igloo. A seguire dell’immagine dei dati della struttura, si è posto il particolare dai CAD di progettazione per maggior chiarezza

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
16	0.406	244

**Dati struttura**



Num	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300
2	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,700
3	C.I.s. armato (1% acciaio)	50,00	2,300
4	C.I.s. in genere	50,00	0,300

figura 18 – Pavimento poggiate sul vespaio

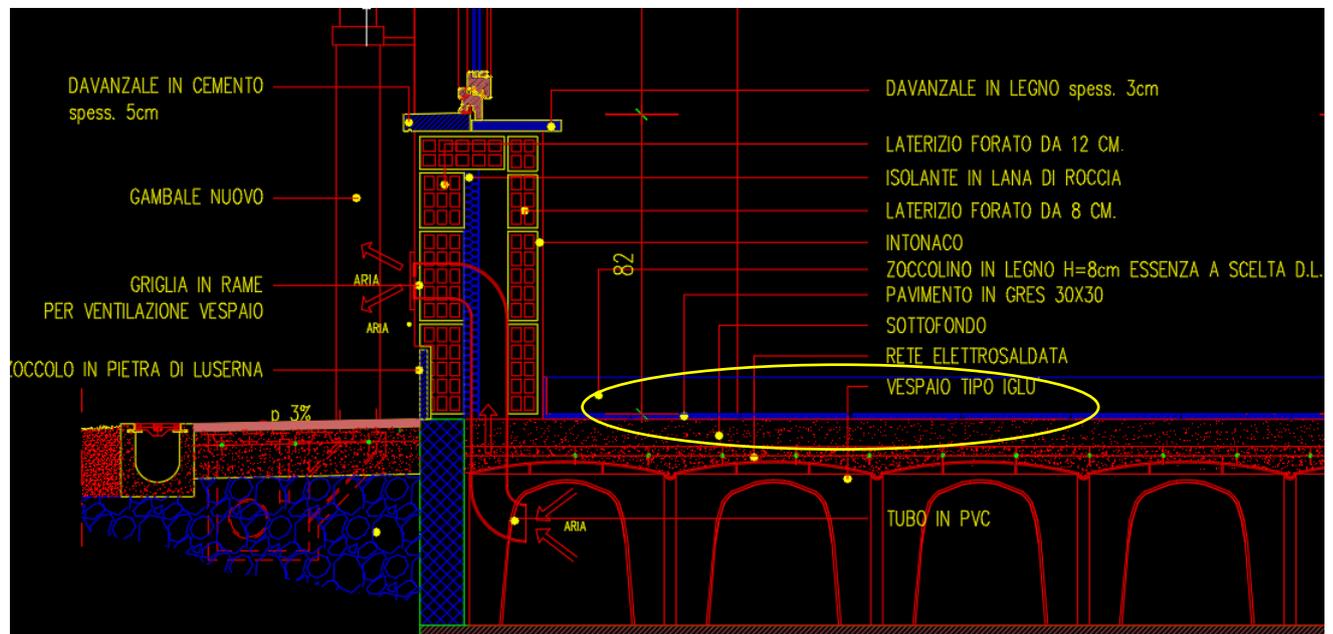


figura 19 – CAD Pavimento poggiate sul vespaio

c) Copertura – si ipotizza la copertura in buono stato

Spessore [cm]	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica [kJ/m <sup>2</sup> K]
32	2.668	27

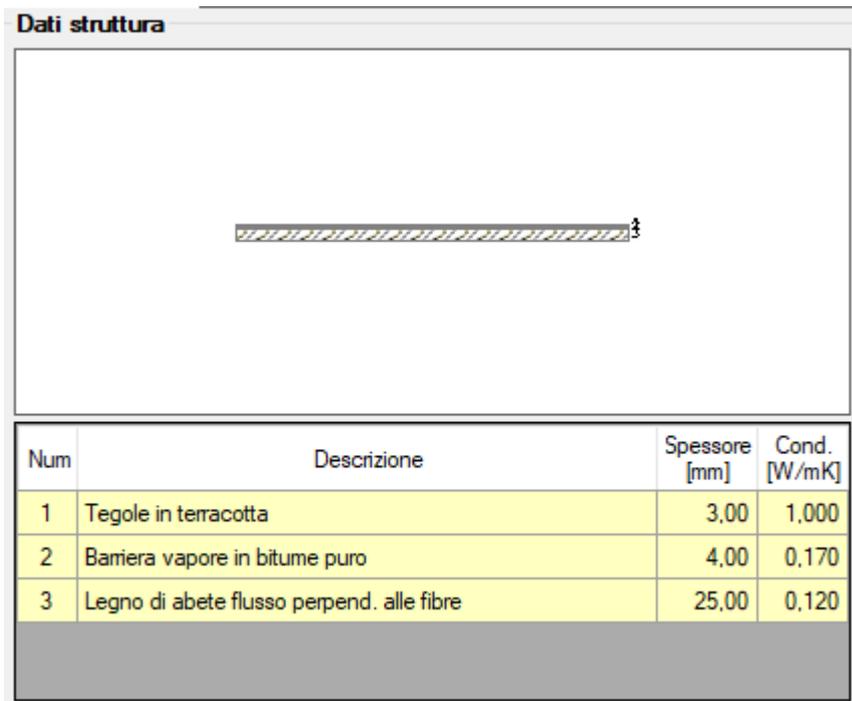


figura 20 – Copertura esterna

## 4.7. LA SELEZIONE DELLE ZONE CLIMATIZZATE

Per il padiglione I sono state individuate 5 zone climatizzate:

- camere esposte ad Est
- camere esposte ad Ovest
- bagni ad Est
- bagni ad Ovest

Si è deciso di suddividere le camere e i bagni in due zone distinte per analizzare eventuali asimmetrie e nel caso poi riunire le due zone durante la calibrazione del modello. Tali zone di camere e bagni sono state modellate in modo simile, con gli stessi dati di input.

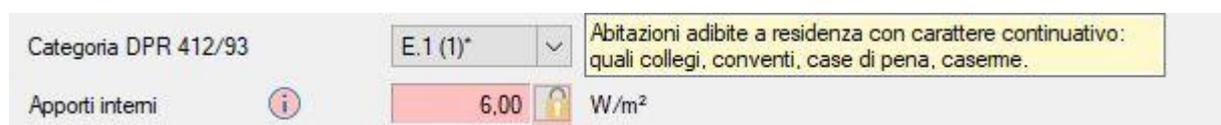


figura 21 – Apporti interni

La zona delle camere identifica la quasi totalità degli ambienti del padiglione. Ogni camera è dotata di bagno e solo alcune camere sono adibite a due persone; si è deciso di seguire l'ipotesi del programma per la modellizzazione degli apporti interni.

Il profilo orario della zona è ha come riferimento normativo la norma prEN 16798-1 e descrive l'occupazione media di un lavoratore coerentemente con la categoria d'uso E.1(1)\*: *abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo: quali collegi, conventi, case di pena, caserme.*

Tramite la successione dei fattori di occupazione, tale descrizione è possibile:

Ore del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09				
OCCUPAZIONE														
focc [-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,10				
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media
0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	0,60

figura 22 – fattori di occupazione

L'immagine n°22 illustra la scelta dei fattori di occupazione per ogni ora. Nella zona dei bagni si sono previsti fattori di occupazione nettamente più bassi.

Nel locale sono anche presenti locali non climatizzati:

- vano ascensore

- magazzino al primo piano
- la zona di centrale termica

Nel locale della centrale termica sono stati previsti degli apporti interni più alti delle altre zone, dovuti principalmente al bollitore che serve l'edificio. Tale bollitore nel circuito assume anche il ruolo di accumulo per l'acqua calda sanitaria.

The screenshot shows a software interface for configuring energy parameters. It includes the following fields and values:

- Apporti interni  $\phi_{int}$ : 20,00 W/m<sup>2</sup>
- Ricambio d'aria verso l'esterno  $n_{ue}$ : 0,00 Vol/h
- Ricambio d'aria verso ambiente climatizzato  $n_{ju}$ : 0,20 Vol/h
- Temperatura interna dei locali riscaldati adiacenti: 20,0 °C
- Valori mensili:  (calendar icon)

figura 23 – Apporti interni: Centrale termica

## 4.8. Scheda impianti

La distribuzione del calore avviene tramite fluido termovettore acqua calda derivata direttamente dalla rete di teleriscaldamento interna al complesso; tutti i fabbricati sono serviti dai quattro scambiatori di calore in parallelo localizzati nella centrale del padiglione F, allacciato ai servizi cittadini di teleriscaldamento ad acqua surriscaldata.

Salto termico nominale lato rete: 120°-60°

Salto termico nominale lato utenza: 80°-50°

The screenshot shows the 'Servizi energetici' (Energy Services) configuration panel with the following settings:

- Riscaldamento** (checked):
  - Impianto Centralizzato
  - Impianto Autonomo
- Ventilazione** (unchecked):
  - Produzione Combinata con riscaldamento
  - Produzione Separata con
  - Impianto a tutt'aria
- Acqua calda sanitaria** (checked):
  - Produzione Combinata con riscaldamento
  - Produzione Separata con

Tale calore è utilizzato sia per il riscaldamento degli ambienti di per il fabbisogno di acqua calda sanitaria.

Nella scheda impianti del software è possibile modellare i sistemi impiantistici; si ricorda che il riscaldamento avviene tramite ventilconvettori. Si sottolinea che tale sistema di emissione del calore non costituisce un servizio di ventilazione.

figura 24 – Sistemi energetici presenti nell’edificio

Gli unici punti di movimentazione dell’aria invece sono nei bagni, ma come specificato al paragrafo 12.3 della UNI/TS 11300-1:

*“Ai fini della applicazione della presente specifica tecnica, per gli edifici residenziali gli estrattori dai bagni e dalle cucine con funzionamento saltuario non vengono considerati impianti di ventilazione, e quindi non si considera la relativa portata d’aria e conseguente carico termico di ventilazione”*

### 4.8.1. Riscaldamento

Dalla scheda impianti, una volta impostate le caratteristiche più generali, si accede alla parte riguardante il servizio di riscaldamento nello specifico. Nella parte di dati generali si sceglie il calcolo del tempo di attivazione mensile da profilo temperatura di set-point e non da fabbisogno orario. Quest’ultima opzione descrive un sistema che va in OFF al raggiungimento della temperatura desiderata; la scelta è ricaduta sulla prima opzione in quanto il sistema in analisi è regolato tramite termovalvole e regolatori di erogazione sul ventilconvettore.

I due campi successivi riguardano dei fattori correttivi che nella fase di modellazione non vengono considerati, avranno poi un ruolo durante la calibrazione e si rimanda in seguito la loro descrizione.

Emissione	
Altezza media locali	3,00 m
Tipo di terminale di erogazione	Ventilconvettori (tmedia acqua = 45°C)
Rendimento di emissione $\eta_{H,em}$	95,0 %
Potenza nominale corpi scaldanti	3100 W → 188019 W
Fabbisogni elettrici	50 W <input checked="" type="checkbox"/> Unità con il ventilatore sempre in funzione
Regolazione	
Tipo	Solo per singolo ambiente
Rendim. di regolazione $\eta_{H,rg}$	99,5 %

figura 25 – Dati generali riscaldamento

Il padiglione I ha quattro diversi ventilconvettori di differente potenza:

Resa invernale		Portata d'aria media	
Mod.	Potenza di calcolo	Mod	vol [m3/h]
A	2080	A	240
B	3100	B	360
C	4300	C	480
D	5020	D	600

La stragrande maggioranza di questi terminali è di tipo C, si è quindi scelta la sua potenza come potenza nominale per i corpi scaldanti. Tale dato può poi essere soggetto a un cambiamento durante la fase di calibrazione.

Si nota anche nell'immagine il rendimento di regolazione molto alto dovuto al tipo di regolazione del ventilconvettore in quanto si può agire direttamente su di esso riuscendo ad ottenere una regolazione, entro certi limiti, sul singolo ambiente.

#### 4.8.2. Accumulo e distribuzione primaria

Il padiglione I è dotato di boiler che funge anche da accumulo di acqua calda; si è calcolati il

The screenshot shows a software interface with the following elements:

- Tab: **Accumulo e distribuzione primaria**
- Section: **Accumulo** (checked)
- Parameter: **Dispersione termica** (Kboll) with a value of **1,413** W/K.
- Section: **Installazione**
- Parameter: **Ambiente** set to **Centrale termica**.
- Parameter: **Fatt. di recupero delle perdite** with a value of **0,70**.
- Section: **Distribuzione primaria** (checked)
- Parameter: **Rete di distribuzione** set to **Anello - Distribuzione primaria**.

$k_{\text{boll}} = 1.413 \text{ W/K}$  che rappresenta la potenza dispersa per ogni grado di differenza con l'ambiente, in questo caso il locale dove esso è posto, cioè il locale caldaia; proprio per la sua posizione interna al fabbricato il software stima un fattore di



Caratteristiche sottostazione	
Descrizione	Teleriscaldamento
Potenza utile nominale $\Phi_{ss}$	3600,00 <span>←</span> 188,02 kW <span>💡</span>
Temperatura media del fluido $\theta_{ss,w,avg}$	90,0 °C <span>💡</span>

Perdite della sottostazione <span>💡</span>	
<input type="radio"/> Fattore di perdita $K_{ss}$	0,00 W/K
<input checked="" type="radio"/> Percentuale di perdita $P'_{ss,env}$	0,3 % <span>🔒</span>

Temperature di riferimento	
Temperatura media del fluido $\theta_{ss,w,rif}$	90,0 °C
Temperatura ambiente di installazione $\theta_{ss,a,rif}$	20,0 °C

Installazione <span>🔒</span>	
Ambiente	Centrale termica <span>▼</span>
Temperatura	0,0 °C
Valori mensili	<input checked="" type="checkbox"/> <span>📅</span>
Fattore di riduzione delle perdite	0,30 <span>🔒</span>

figura 29 – Caratteristiche sottostazione

Anche la rete di distribuzione è stata descritta in forma analitica.

Distribuzione utenza	
<input type="radio"/> Metodo semplificato	
Tipo di impianto	Autonomo, edificio condominiale
Posizione impianto	Impianto a piano terreno, su ambiente non riscaldato o terreno con distribuz
Posizione tubazioni	Tubazioni correnti nel cantinato in vista
Isolamento tubazioni	Secondo DPR 412/93
Rendimento di distribuzione $\eta_{H,du}$	95,4 % <span>🔒</span>
Nr. piani	
<input checked="" type="radio"/> Metodo analitico	
Rete di distribuzione	Distribuzione Pad_I <span>▼</span> <span>💡</span>

figura 30 – Distribuzione utenza

### 4.8.3. Acqua calda sanitaria

Per il calcolo del fabbisogno dell'acqua calda sanitaria si è usata l'espressione proposta nella UNI/TS 11300-2:

#### DHW thermal energy need

$$Q_w = \rho_w \times c_w \times \sum_i [V_{w,i} \times (\theta_{er,i} - \theta_0)] \times G \text{ [kWh]}$$

- $\rho_w$  is the density of water, assumed equal to 1000 kg/m<sup>3</sup>;
- $c_w$  is the specific heat capacity of water, equal to 1,162 \* 10<sup>-3</sup> [kWh/(kg × K)];
- $V_{w,i}$  is the daily volume of water for the i-th required activity or service expressed in m<sup>3</sup> per day;
- $\theta_{er,i}$  is temperature of the mixed water drawn at the tap i-th required activity or service [°C];
- $\theta_0$  is the cold-water temperature [°C];
- $G$  is the number of days of the calculation interval [d].

figura 32 – Espressione per il calcolo del fabbisogno d'acqua calda sanitaria

Il software svolge il calcolo zona per zona secondo l'espressione precedente. L'incognita nell'espressione sopra è il volume giornaliero di acqua per il servizio di ACS; tale numero viene trovato seguendo lo schema:

#### DHW required volume

- Residential buildings

$$V_w = a \times S_u + b \quad \text{[l/giorno]}$$

Superficie utile $S_u$ [m <sup>2</sup> ]	$S_u \leq 35$	$35 < S_u \leq 50$	$50 < S_u \leq 200$	$S_u > 200$
Parametro $a$ [litri/(m <sup>2</sup> × giorno)]	0	2,667	1,067	0
Parametro $b$ [litri/giorno]	50	-43,33	36,67	250

figura 33 – Calcolo richiesta giornaliera del volume di ACS

Dati relativi a Camere Est pad\_I

**Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria**

Cat. DPR 412 E.1 (1)\* Temperatura di erogazione  $\theta_{er}$  40,0 °C

Superficie utile 474,46 m<sup>2</sup>

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
Fabbis. giornalieri ACS $V_w$	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	l/g
Temp. di alimentazione $\theta_o$	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	°C

figura 34 – Fabbisogno giornaliero ACS; esempio della zona delle camere rivolte ad Est

Si veda come il volume di acqua  $V_w$  è sempre pari a 250 l/g (litri al giorno) in quanto il coefficiente  $a$ , vedi schema, è pari a 0 ed il coefficiente  $b$  è sempre pari a 250. Ciò è dovuto alla superficie utile della zona maggiore di 200 m<sup>2</sup> che fa ricadere il calcolo nell'ultimo caso.

Le altre zone sono state calcolate analogamente; nelle zone dei corridoi e dei vani scala i consumi sono stati posti uguale a zero.

# 5. CALIBRAZIONE DEL MODELLO

## 5.1. Concetti generali

La calibrazione è il processo che trasforma il modello sul programma, i cui risultati simulati sono ancora notevolmente diversi da quelli misurati, quanto più possibile vicino alla situazione reale.

Per valutare la qualità della calibrazione operata si usano dei criteri statistici che sintetizzano le differenze tra i valori mensili di energia e quelli totali del modello e delle misure; si procede quindi iterativamente cambiando i dati di input del modello e lanciando nuovamente la simulazione oraria e paragonando nuovamente i dati misurati  $M$  e i dati simulati  $S$ , e constatando se effettivamente i valori si avvicinano.

La scelta dei dati di input adatti ad essere variati per operare la calibrazione, ricade innanzitutto su quei parametri in cui, già in fase di modellazione, vi era una soglia di incertezza.

Tali dati possono essere ad esempio i profili d'uso dell'utenza dell'edificio, la regolazione all'emissione, tramite ad esempio valvole termostatiche o regolatori dei ventilconvettori, oppure si può intervenire sull'involucro opaco se non si è certi delle stratigrafie, presi ad esempio da abachi predefiniti di strutture (non è questo il caso).

Si potrebbe procedere inoltre ad una calibrazione cosiddetta interna, cioè andare ad alterare gli algoritmi del programma, ma in questo non è possibile non essendo disponibile il codice del programma; tale calibrazione esula comunque dagli scopi di questo lavoro.

In questo elaborato si userà un metodo di calibrazione esterno andando a cambiare gli input del modello e misura l'effetto della loro variazione sugli output del modello.

In ogni caso non è giusto cambiare dati certi e dati che si hanno direttamente dalla progettazione, e in generale tutti i parametri su cui non ha incertezza.

Quando infine tramite gli indici statici si ritiene il modello valido, la calibrazione si ritiene conclusa e si potrà procedere all'implementazione delle varie misure di efficienza energetica.

## Calibration process

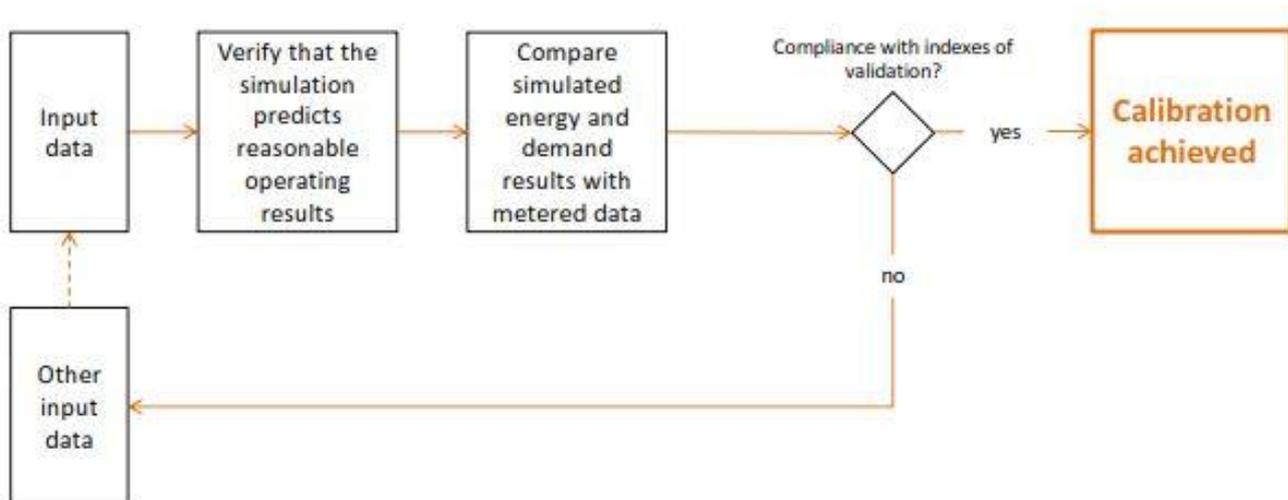


figura 35 – processo di calibrazione

### 5.2. Processo di calibrazione del modello

I dati di input dell'analisi statistica essenzialmente confrontano le discrepanze mensili e totali (tempo di simulazione: 1 anno, il 2018) tra i valori di consumi misurati e simulati. I dati misurati sono spalmati in misure tra distano circa una settimana, o in alcuni casi due; il maggior intervallo di tempo che distanzia due misure l'una dall'altra è in estate, dove luglio è tutto riassunto in una misura sola che va dal 29 giugno al 7 agosto. Si è deciso quindi di aggregare Agosto e Luglio in un unico periodo; ciò è comodo per la convergenza degli indici statistici in quanto non avere i dati di luglio significherebbe dover ipotizzare la serie di dati misurati per il mese, inoltre tale scelta è ragionevole anche dal punto di vista del calcolo termotecnico in quanto sono due mesi in cui il servizio di riscaldamento è spento.

Nel resto delle misure, spesso l'inizio del mese non coincide con una rilevazione di energia, quindi lì dove necessario è stato ipotizzato il consumo dei giorni mancanti interpolando coi i dati dei restanti giorni del mese; a seguire le misurazioni della potenza in uscita dal teleriscaldamento, generatore della potenza termica, ed in entrata quindi alla sottostazione termica che serve tutto il complesso.

Gennaio	Periodo1
Febbraio	Periodo2
Marzo	Periodo3
Aprile	Periodo4
Maggio	Periodo5
Giugno	Periodo6
Luglio + Agosto	Periodo7
Settembre	Periodo8
Ottobre	Periodo9
Novembre	Periodo10
Dicembre	Periodo11

in verde: riscaldamento spento

Mesi:	Periodi	Misurati [MWh]
-------	---------	----------------

Gennaio	Periodo1	102,65
Febbraio	Periodo2	48,06
Marzo	Periodo3	48,00
Aprile	Periodo4	29,65
Maggio	Periodo5	12,12
Giugno	Periodo6	8,05
Luglio+Agosto	Periodo7	17,37
Settembre	Periodo8	6,58
Ottobre	Periodo9	18,23
Novembre	Periodo10	46,43
Dicembre	Periodo11	68,34

in verde: riscaldamento spento

tot	<b>405,48</b>
-----	---------------

Tali dati in MWh di misure di energia sono già riferiti tutti al padiglione I. Dal dato grezzo di misura di energia in arrivo alla sottostazione si riesce a risalire al consumo riferibile al solo padiglione I.

anno 2017

Volume totale: 62915 m3

fino al  
2019

Valore

Volume Pad I: 4758 m3

Date	Value [MWh]	Differenziale (tot) [MWh]	Value (Pad I) [MWh]	Differenziale (Pad I) [MWh]
05/05/2017	52.575,50	0	3976,07	0
12/05/2017	<b>52.621,60</b>	46,10	3979,55	3,49
18/05/2017	52656,8	35,20	3982,21	2,66
26/05/2017	52698,8	42,00	3985,39	3,18
01/06/2017	52728	29,20	3987,60	2,21
06/06/2017	52751,7	23,70	3989,39	1,79
16/06/2017	52797,9	46,20	3992,89	3,49
23/06/2017	52826,9	29,00	3995,08	2,19
30/06/2017	52855,9	29,00	3997,27	2,19
18/08/2017	53063	207,10	4012,93	15,66
25/08/2017	53100,2	37,20	4015,75	2,81
20/09/2017	53255	154,80	4027,45	11,71
27/09/2017	53297,9	42,90	4030,70	3,24

**consumo cumulato totale del complesso**

differenziale con la misura precedente

consumo cumulato volumetrico - Padiglione I

differenziale Padigl. I con la misura precedente

Calcolando il consumo volumetrico e moltiplicando per il volume del padiglione I si riesce ad attribuire i consumi registrati al padiglione I.

Tra i consumi al pad. I sono incluse anche le perdite alla rete di distribuzione primaria; tale energia è inclusa infatti nei consumi totali registrati alla sottostazione, che contabilizzati al m3, vengono attribuiti al pad I.

### 5.3. Modellazione ACS

La modellazione è quindi partita dai consumi dell'acqua sanitaria del mese di Maggio, durante il quale si è certi della presenza dell'utenza e che l'impianto di riscaldamento sia spento.

Per calibrare i consumi di maggio si è intervenuti sui litri d'acqua del fabbisogno giornaliero ACS; tale parametro viene variato rispetto al valore, calcolato a norma di legge, proposto dal programma.

Nella figura seguente: V'w passa da 250 l/g a 174 l/g per abbassare i consumi al fine della calibrazione; tale operazione è ripetuta analogamente per le altre zone dell'edificio seguendo le ipotesi fatte sul comportamento dell'utenza.



figura 36 – Fabbisogno ACS

Si ipotizza infatti Maggio, oggetto della prima calibrazione, un buon modello di attribuzione dell'acqua calda nei mesi estivi, ed allo stesso tempo risulta essere sottodimensionato rispetto al consumo di ACS nei mesi invernali.

Si considera il consumo di energia dell'ACS di un mese invernale maggiore di un fattore 1.3 rispetto a maggio, preso come esempio per il periodo estivo.

Tale valore sarà poi congruo con i dati dei consumi del riscaldamento. Si farà una eccezione nei mesi di gennaio ed ottobre dove ai fini della calibrazione, si deciderà se una parte di energia imputabile all'acqua calda sanitaria non possa essere invece imputabile al riscaldamento.

I valori finali vengono confrontati con gli indici statistici per la convalidazione dei consumi simulati.

<b>ACS</b>								
data:	Simil-mesi	Misurati [MWh]	Simulati [MWh]	M-S [MWh]	MBE [%]	(S-M)^2	RMSE	CV(RMSE)
			prove)					
Gennaio	Periodo1	<b>25,00</b>	15,26	9,74		94,87	2,93672	<b>0,117</b>
Febbraio	Periodo2	<b>15,47</b>	13,474	2,00		4,00	0,603192	<b>0,039</b>
Marzo	Periodo3	<b>15,47</b>	13,845	1,63		2,66	0,491331	<b>0,032</b>
Aprile	Periodo4	<b>15,47</b>	12,675	2,80		7,84	0,844099	<b>0,055</b>
Maggio	Periodo5	<b>12,12</b>	11,60	0,52		0,28	0,15824	<b>0,013</b>
Giugno	Periodo6	<b>8,05</b>	10,62	-2,57		6,62	0,775912	<b>0,096</b>
LuglioAgosto	Periodo7	<b>17,37</b>	19,30	-1,93		3,72	0,581538	<b>0,033</b>
Settembre	Periodo8	<b>6,58</b>	11,18	-4,60		21,17	1,387118	<b>0,211</b>
Ottobre	Periodo9	<b>10,00</b>	12,94	-2,94		8,64	0,886443	<b>0,089</b>
Novembre	Periodo10	<b>15,47</b>	13,66	1,81		3,29	0,547111	<b>0,035</b>
Dicembre	Periodo11	<b>15,47</b>	14,98	0,49		0,24	0,149116	<b>0,010</b>
	tot	<b>156,49</b>	149,532	<b>6,96</b>	<b>0,044</b>	153,33	3,733469	<b>0,268</b>
					soglia 10%		soglia 30%	
			il mese di maggio preso come riferimento perché si è certi della presenza nell'edificio, è perfettamente calibrato; nei mesi invernali tali consumi verranno calibrati meglio bilanciandoli col riscaldamento					
stato:	OK	commenti						

## 5.4. Modellazione servizio di riscaldamento

Il primo mese oggetto della calibrazione è marzo. L'energia in uscita dalla generazione, cioè in arrivo alla sottostazione termica del teleriscaldamento, è presa come valore target. Si riporta alle tabelle per i valori.

<b>Riscaldamento</b>	

data:	Simil-mesi	Misurati [MWh]	Simulati [MWh]	M-S [MWh]	MBE [%]	(S-M)^2	RMSE	CV(RMSE)
			prove)					
Gennaio	Periodo1	<b>77,65</b>	67,46	10,19	0,131252952	103,88	3,07302244	<b>0,040</b>
Febbraio	Periodo2	<b>32,59</b>	35,21	-2,62	0,080536526	6,89	0,79126713	<b>0,024</b>
Marzo	Periodo3	<b>32,53</b>	35,24	-2,71	0,083468816	7,37	0,81855411	<b>0,025</b>
Aprile	Periodo4	<b>14,18</b>	16,11	-1,93	-0,13608925	3,72	0,58184937	<b>0,041</b>
Maggio	Periodo5	<b>0,00</b>	0	0,00		0,00	0	<b>#DIV/0!</b>
Giugno	Periodo6	<b>0,00</b>	0	0,00		0,00	0	<b>#DIV/0!</b>
LuglioAgosto	Periodo7	<b>0,00</b>	0	0,00		0,00	0	<b>#DIV/0!</b>
Settembre	Periodo8	<b>0,00</b>	0	0,00		0,00	0	<b>#DIV/0!</b>
Ottobre	Periodo9	<b>8,23</b>	17,23	-9,00	1,094795908	81,09	2,71506595	<b>0,330</b>
Novembre	Periodo10	<b>30,95</b>	35,67	-4,72	0,152464374	22,27	1,42281237	<b>0,046</b>
Dicembre	Periodo11	<b>52,87</b>	44,9	7,97	0,150668042	63,44	2,40156131	<b>0,045</b>
	tot	<b>248,98</b>	251,82	<b>-2,84</b>	<b>-0,011</b>	288,66	5,122658	<b>0,226</b>
	f: S/M	1,011389			10%			30

La calibrazione è avvenuta principalmente attraverso i fattori correttivi di energia utile; si nota il valore alto di Gennaio. Per sopperire al carico si è deciso di assegnare parte di questa quota di energia all'ACS.

Ciò è in linea con le ipotesi di caricare maggiormente i consumi dell'ACS dei mesi invernali rispetto quelli estivi.

A seguire vi sono i consumi mensili, divisi in undici periodi, a seguito dell'unione di luglio e agosto che vengono contabilizzati in un'unica voce.

Valori mensili	
Fattori correttivi di energia utile [-]	
Gennaio	7,00
Febbraio	0,45
Marzo	0,45
Aprile	0,80
Maggio	0,90
Giugno	0,90
Luglio	0,90
Agosto	0,90
Settembre	0,90
Ottobre	0,10
Novembre	0,75
Dicembre	1,60

figura 37 – Fattori correttivi di energia utile

<b>Tot Climatizzazione INV</b>								
data:	Simil-mesi	Misurati [MWh]	Simulati [MWh]	M-S [MWh]	MBE [%]	(S-M) <sup>2</sup>	RMSE	CV(RMSE)
			prove)					
Gennaio	Periodo1	<b>102,65</b>	82,26	20,39	0,198652	415,84	6,148438	<b>0,060</b>
Febbraio	Periodo2	<b>48,06</b>	48,474	-0,41	-0,00861	0,17	0,124758	<b>0,003</b>
Marzo	Periodo3	<b>48,00</b>	48,845	-0,85	-0,01761	0,71	0,25486	<b>0,005</b>
Aprile	Periodo4	<b>29,65</b>	28,675	0,98	0,03304	0,96	0,295416	<b>0,010</b>
Maggio	Periodo5	<b>12,12</b>	11,598	0,52	0,043292	0,28	0,15824	<b>0,013</b>
Giugno	Periodo6	<b>8,05</b>	10,62	-2,57	-0,31981	6,62	0,775912	<b>0,096</b>
LuglioAgosto	Periodo7	<b>17,37</b>	19,3	-1,93	-0,11103	3,72	0,581538	<b>0,033</b>
Settembre	Periodo8	<b>6,58</b>	11,18	-4,60	-0,69923	21,17	1,387118	<b>0,211</b>
Ottobre	Periodo9	<b>18,23</b>	29,94	-11,71	-0,64279	137,24	3,532162	<b>0,194</b>
Novembre	Periodo10	<b>46,43</b>	48,66	-2,23	-0,04813	4,99	0,673689	<b>0,015</b>
Dicembre	Periodo11	<b>68,34</b>	58,98	9,36	0,136958	87,60	2,822037	<b>0,041</b>
	tot	<b>405,48</b>	398,532	<b>6,95</b>	<b>0,017</b>	679,30	7,858394	<b>0,213</b>
	f: S/M	0,982871			10%			30%

Sia il MBE che il CV(RMSE). La calibrazione si dichiara completata dopo aver unito i consumi di ACS e riscaldamento e verificando che l'errore sia sotto la soglia minima.

Non può che esserlo in quanto

indici statistici		
valori limite	±10%	±30%
	MBE [%]	CV(RMSE)
ACS	0,044	0,268
Risc	-0,011	0,226
Tot Climatizzazione	0,010	0,209

le due voci già prese ad una ad una, rispettano tali limiti statistici, il CV(RMSE) finale è infatti più basso di entrambi i CV(RMSE) riferiti ai singoli servizi.

## 6. EEM – MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA

### 6.1. Scenario 1: Cappotto termico, isolamento dell'ultimo solaio, isolamento termico della distribuzione utenza del riscaldamento

Nel primo scenario di intervento si studia la progettazione di due soluzioni di EEM che intervengono sull'involucro opaco e una riguardante la distribuzione dell'energia.

Si valuta quindi la soluzione di un isolamento a cappotto, di isolamento del solaio dell'ultimo piano e dell'isolamento termico della rete di distribuzione utenza del riscaldamento, quindi la distribuzione interna al fabbricato.

Gli obiettivi del dimensionamento degli strati di isolanti sono di natura sia tecnica, economica ed anche legislativa. La progettazione di qualsiasi EEM mira contemporaneamente al massimo guadagno in termini prestazionali ed alla minima spesa, parallelamente a questo primo compromesso bisogna rispettare gli obblighi di legge. Inoltre in Italia vi sono dei sistemi incentivanti che mirano proprio ad aiutare economicamente il rinnovamento del parco immobiliare. Il tema degli incentivi verrà approfondito nel prossimo capitolo.

Riassumendo gli obiettivi sono

- tecnici
- economici
- rispetto dei vincoli legislativi
- raggiungere le prestazioni per entrare nei circuiti incentivanti

### 6.1.1 Efficientamento involucro opaco

Sia per il cappotto che per la copertura, è stato scelto un materiale isolante in lana di roccia e la scelta è ricaduta sui prodotti FibranGEO per la loro impronta green, i prodotti sono infatti 100% riciclabili. Inoltre, l'utilizzo del forno elettrico quale metodo innovativo di produzione della FIBRAN, rispetto al 90% dei produttori di lana di roccia, consente il mantenimento costante della temperatura, garantendo la stabilità dimensionale delle fibre e conferendo eccellenti caratteristiche tecniche al prodotto finale in totale compatibilità con l'ambiente grazie alle minori emissioni di gas inquinanti.

A fronte di un'ampia scelta di prodotti, l'impronta green di un'azienda si rivela essere il fattore decisivo.



**Applicazioni dei prodotti FIBRANgeo**

I prodotti FIBRANgeo sono adatti all'impiego in tutte le tipologie di edifici. Sono ideali per l'isolamento di tutte le strutture edilizie come le pareti perimetrali, coperture, terrazze, pareti divisorie, pavimenti, impianti, installazioni meccaniche, sistemi d'isolamento acustico e di protezione passiva dal fuoco.

**COPERTURE  
FACCIAE  
SISTEMI A SECCO  
PAVIMENTI  
ROTOLI**

Per la scelta del tipo di prodotto adatto per ogni applicazione fare riferimento al selettore prodotti per applicazione a pagina 08 e 09.



**Tipologie rivestimenti prodotti FIBRANgeo**

I prodotti FIBRANgeo sono disponibili con le seguenti tipologie di rivestimenti per rispondere a requisiti prestazionali e funzionali specifici:

**AX:** foglio di alluminio rinforzato su carta kraft politenata  
**AL:** foglio di alluminio rinforzato con rete in fibra di vetro  
**YM:** velovetro nero da 60 g/m<sup>2</sup>  
**YA:** velovetro bianco da 60 g/m<sup>2</sup>  
**XA:** carta kraft politenata  
**BIT:** spalmatura di bitume

figura 38 – prodotti FibranGeo

La scelta del dimensionamento del componente mira invece al raggiungimento della trasmittanza minima che determina l'accesso al sistema incentivante Conto Termico - D.M. 16 FEBBRAIO 2016. Si riportano tali valori nella immagine seguente (Regole applicative del D.M. 16 febbraio 2016).

[Tabella 1 – Allegato I – DM 16.02.16]	
Tipologia di intervento	Requisiti tecnici di soglia per la tecnologia
Strutture opache orizzontali: isolamento coperture	Zona climatica A $\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B $\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C $\leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D $\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F $\leq 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
Strutture opache orizzontali: isolamento pavimenti	Zona climatica A $\leq 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B $\leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D $\leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E $\leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F $\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
Strutture opache verticali: isolamento pareti perimetrali	Zona climatica A $\leq 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica B $\leq 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica C $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica D $\leq 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica E $\leq 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Zona climatica F $\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

figura 38 – trasmittanze limite Conto Termico

I valori degli spessori scelti per la coibentazione del solaio e dell'involucro opaco sono riportati nella tabella sottostante, sono inoltre riportati i risultati dei calcoli delle trasmittanze eseguiti dal software EC700.

	Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]	s [cm]
EEM Cappotto	$\leq 23$	12
EEM Solaio	$\leq 25$	10

Codice		M 14		Descrizione		Murat EST 70			
Dati generali		Stratigrafia		Verifica Termoigrometrica		Grafici		Risult	
<b>Dati struttura</b>									
Num	Descrizione			Spessore [mm]	Cond. [W/mK]				
1	Intonaco Interno			10,00	0,278				
2	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)			680,00	0,990				
3	Barriera vapore in fogli di polietilene			2,20	0,330				
4	Pannello Lana di roccia			100,00	0,035				
5	Intonaco Interno			10,00	0,278				

figura 39 – stratigrafia con isolante a cappotto

Trasmittanza U - Potenza	0,229	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza U - Energia	0,228	W/m <sup>2</sup> K

figura 40 – U Value mura perimetrali efficientate

Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	M.V. [kg/m <sup>3</sup> ]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
e426	C.I.s. in genere	80,00	0,730	0,110	1600	1,00	96
u302	Cls armato	50,00	1,914	0,026	2100	1,00	130
u103	B570 Lana di roccia - copertura	100,00	0,036	2,778	75	1,03	1
e101	Barriera vapore in bitume puro	2,20	0,170	0,013	1050	1,00	50000
u401	Soletta blocco 16x20 soffitto	160,00	0,558	0,287	730	3,49	9
u201	Intonaco Interno	10,00	0,278	0,036	600	1,00	10

figura 41 – Stratigrafia solaio efficientato

Trasmittanza U - Potenza	0,250	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza U - Energia	0,250	W/m <sup>2</sup> K

figura 42 – U-Value solaio efficientato

## 6.1.2 Efficientamento rete di distribuzione utenza del servizio di riscaldamento

Gli spessori progettati per l'isolamento della rete di distribuzione sono stati scelti in base alla tabella dell'allegato B della Legge 412/93 (agg. D.L. 551/99). Tali spessori sono funzione del diametro di ogni segmento di tubazione, quindi ogni segmento di tubazione avrà uno spessore di isolante diverso.

Conducibilità Termica utile dell'isolante  (W/m °C)	Diametro esterno della tubazione (mm)					
	<20	da 20 a 39	da 40 a 59	da 60 a 79	da 80 a 99	> 100
0.030	13	19	26	33	37	40
0.032	14	21	29	36	40	44
0.034	15	23	31	39	44	48
0.036	17	25	34	43	47	52
0.038	18	28	37	46	51	56
0.040	20	30	40	50	55	60
0.042	22	32	43	54	59	64
0.044	24	35	46	58	63	69
0.046	26	38	50	62	68	74
0.048	28	41	54	66	72	79
0.050	30	42	56	71	77	84

figura 43 – limiti di legge coibentazione tubazioni

Si sottolinea che tali tubazioni avevano già un loro isolamento che però non rispettava gli obblighi di legge. Verificata la fattibilità tecnica si è deciso di porre lo strato di isolamento studiato sopra quello pre-esistente. Si rimanda alla prossima immagine dove è cerchiato in rosso il diametro più grande e conseguentemente lo spessore adottato. Il prodotto scelto per tale misura di efficienza energetica è Trocellen Isocompact AL/CL1. TROCELLEN è un materiale isolante a base di poliolefine (famiglia comprendente PE, PP, copolimeri-EVA, ecc.), reticolato chimicamente ed espanso a cellule chiuse. Tale scelta nasce dall'esigenza di rispondere a requisiti tecnici superiori, in cui l'isolamento termico richiesto sia particolarmente elevato. Tale prodotto è indicato nell'isolamento di tubazioni in ambienti non riscaldati e all'esterno dei fabbricati, come in questo caso.

Ulteriori informazioni di tipo tecnico-economico sono contenute nel capitolo dell'analisi tecnico-economica.

GAMMA TROCELLEN ISOCOMPACT (lunghezza 2,00 m)							
DIAMETRO ESTERNO DELLE TUBAZIONI (pollici) (mm)		TROCELLEN ISOCOMPACT AL/CL1 - CL.1/ALU-NET			TROCELLEN CLASS AL ISOCOMPACT (MARCATO CE)		
-	6						
-	8						
-	10						
-	12						
-	14						
-	16						
3/8	17,2						
1/2	21,3	30			30		
3/4	26,9	30			30		
1	33,7	30			30		
1 1/4	42,4	30	40		30	40	
1 1/2	48,3	30	40		30	40	
2	60,3	30	40	50	30	40	50
2 1/2	76,1	30	40	50	30	40	50
3	88,9	30	40	50	30	40	50
3 1/2	101,6	30	40	50	30	40	50
4	114,3	30	40	50	30	40	50
5	140			50			50
6	168			50			50

Spessori consigliati in locali caldaia, cantine, garage, tubazioni esterne e cunicoli

figura 44– scelta dei diametri coibentazione tubazioni

## 6.2. Scenario 2: EEM dello scenario 1, installazione pompa di calore, impianto solare termico, impianto fotovoltaico

Nel secondo scenario di intervento si valuta un efficientamento più profondo dell'immobile al fine di valutare quanto conviene economicamente un ristrutturazione più profonda. In aggiunta alle EEM del primo scenario si valuta anche il distacco dalla rete di teleriscaldamento installando una pompa di calore. Parallelamente all'installazione di questo componente, si prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico e di un impianto solare termico entrambi su copertura.

In questo scendo scenario sono quindi progettate le seguenti misure di efficienza energetica:

- Isolamento involucro opaco
- Isolamento dell'ultimo solaio
- Isolamento del sistema di distribuzione utenza del riscaldamento

- Installazione di una pompa di calore
- Installazione su copertura di un impianto fotovoltaico
- Installazione su copertura di un impianto solare termico

Le prime tre EEM sono già state illustrate nel primo scenario.

## 6.2.1 Installazione pompa di calore

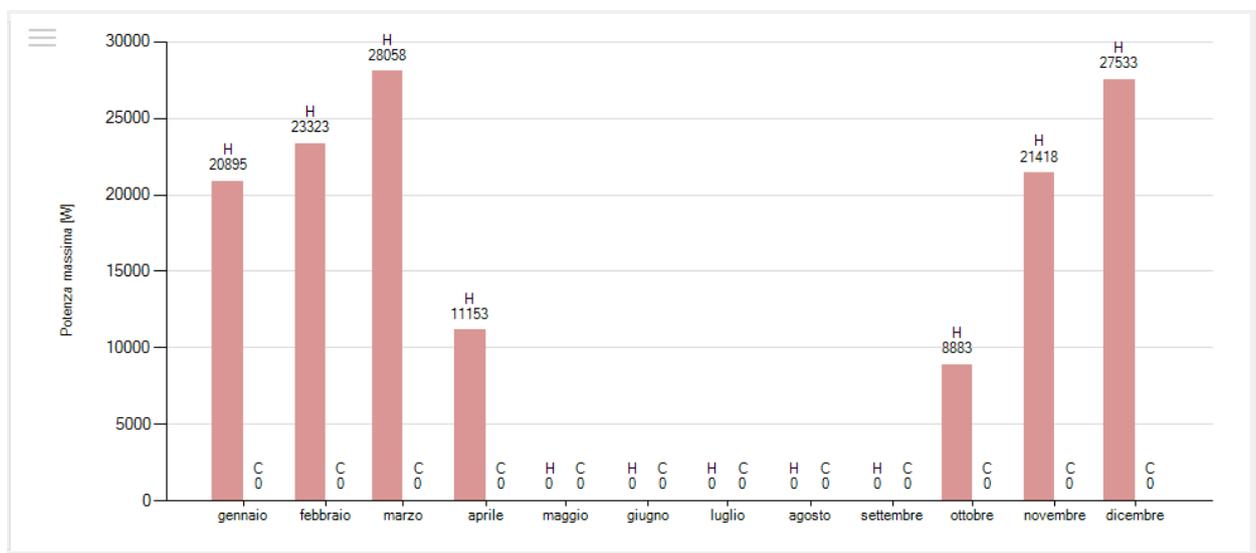


figura 45– potenze massime mensile servizio di riscaldamento

Dall’analisi dei risultati della simulazione del primo scenario si nota che il picco di potenza richiesto al sistema di riscaldamento è di circa 28 kW. La simulazione è stata svolta con un limite di potenza disponibile di 272 kWt calcolati dividendo volumetricamente la potenza in arrivo alla sottostazione di teleriscaldamento; il software calcola che il servizio di riscaldamento infatti lavora sempre a meno di un quarto della sua potenza.

		Ore di funzionamento dell'impianto			
		Carico dell'impianto			
Mese		<25%	25-50%	50-75%	>75%
Potenza	gennaio	720	0	0	0
	febbraio	664	0	0	0
	marzo	702	0	0	0
	aprile	348	0	0	0
Impianto H	maggio	0	0	0	0
	giugno	0	0	0	0
	luglio	0	0	0	0
	agosto	0	0	0	0
Impianto C	settembre	0	0	0	0
	ottobre	101	0	0	0
	novembre	680	0	0	0
	dicembre	712	0	0	0
T operativa	TOTALE	3927	0	0	0

figura 46 – percentuale di carico del servizio di riscaldamento

Dato tale valore del picco di potenza del sistema si è scelta la pompa di calore Viessmann Energycal Inverter.

Tale componente è una pompa di calore aria/acqua ad alta efficienza con tecnologia modulante Inverter che serve può servire sia il servizio di riscaldamento che quello di acqua calda sanitaria. L'inverter DC comanda il compressore con motore Brushless per un ampio campo di modulazione da un 30% fino al 120% del carico nominale di 29 kW con un COP di 4.3. Si inserisce qui di seguito la tabella della scheda tecnica dal catalogo Viessmann della pompa di calore.

Energycal Inverter		17.1	22.1	27.1	34.1
<b>Riscaldamento</b> (A7/W35) - EN 14511	Potenza termica nominale a 90 rps kW	18,6	24,0	29,9	34,9
	Campo di modulazione tra 30 e 120 rps (*)	7,9 ÷ 22,6	10,3 ÷ 29,0	12,6 ÷ 36,0	12,6 ÷ 36,0
	COP	4,5	4,7	4,3	4,2
	Portata acqua l/h	3.525	4.248	5.778	6.380
<b>Riscaldamento</b> (A7/W45) - EN 14511	Potenza Termica nominale a 90 rps kW	18,2	23,6	29,5	34,1
	COP	3,7	3,9	3,6	3,5
<b>Riscaldamento</b> (-A7/W35) - EN 14511	Potenza Termica nominale a 90 rps kW	12,6	16,4	20,1	24,3
	COP	3,1	3,4	3,3	3,2
<b>Raffreddamento</b> (A35/W18) - EN 14511	Potenza frigo nominale a 90 rps kW	22,0	28,6	36,0	39,8
	EER	4,5	4,5	4,2	4,0
<b>Raffreddamento</b> (A35/W7) - EN 14511	Potenza frigo nominale a 90 rps kW	16,1	20,3	26,4	29,6
	EER	3,6	3,6	3,5	3,3
<b>Limiti operativi in riscaldamento</b>	Limiti	-18 ÷ 35 °C			
	T max mandata	Max 61 °C con Te ≥ - 5			
<b>Assorbimento elettrico solo pompa di calore</b>	Pot. Max assorbita kW	9,1	10,2	13,4	15,6
	Cor. Max assorbita A	17,6	19,2	24,1	27,4
<b>Dimensioni e Pesì</b>	Lunghezza mm	1306		1456	
	Profondità mm	739			
	Altezza mm	1585			
	Peso in funzione Kg	372	381	403	414

(\*) = Campo di modulazione (\*): Potenze rese all'interno del campo di modulazione possibile tra 30 rps a 120 rps.

Pompe di calore funzionanti a carico pieno a condizione nominale di 90 rps (Hz). Potenza minima a 30 rps non garantita a tutte le condizioni di funzionamento.

figura 47 – scheda tecnica Pompa di calore Viessmann

## 6.2.2. Installazione su copertura di un impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico è stato dimensionato mirando alla copertura dei fabbisogni della pompa di calore. E' stata considerata quindi la potenza di picco della pompa di calore come valore di potenza nominale di dimensionamento dell'impianto fotovoltaico.

L'impianto FV da 30 kW è stato diviso in due sottocampi, ognuno con un suo inverter; grazie a tale suddivisione è stato possibile installare 10 kW sui 30 kW totali nella parte rivolta a Sud della copertura.

I pannelli sono stati posati senza ulteriore rialzo sull'orizzonte in quanto l'inclinazione delle falde della copertura pari a  $24^\circ$  è prossima all'angolazione ottimale pari a  $29^\circ$ . Tale compromesso fa sì che non si verifichino ombreggiamenti sui pannelli.

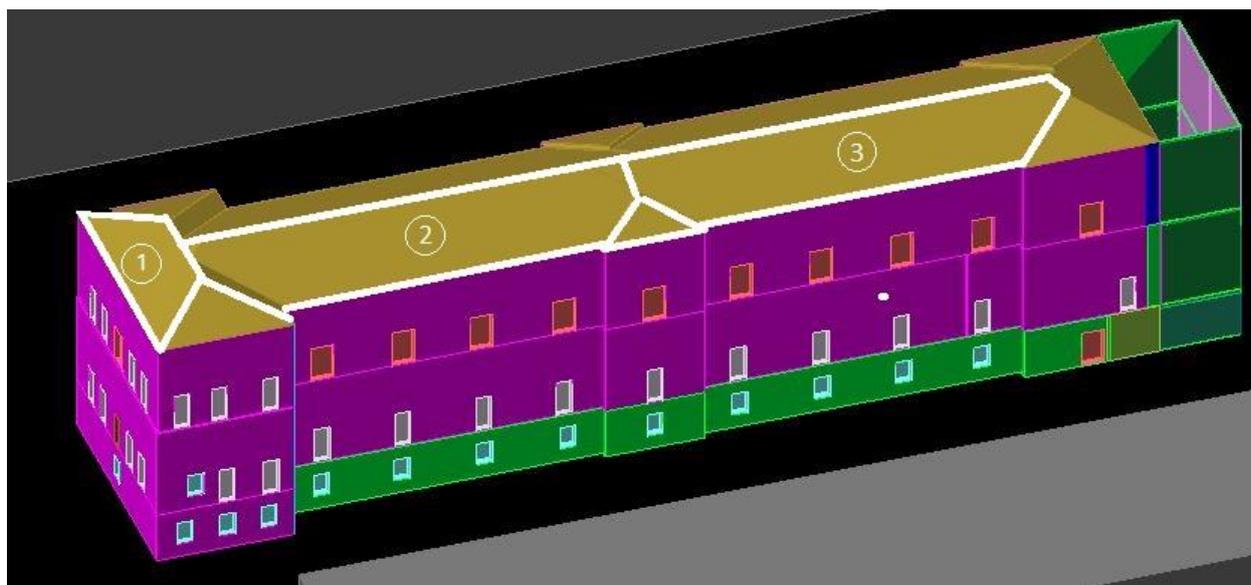


figura 48 – pianificazione degli impianti su copertura

La superficie della copertura è stata divisa in tre campi, nei primi due sono stati allocati rispettivamente 10 kW e i restanti 20 kW dell'impianto fotovoltaico; nel campo numero 3 sono stati posizionati i pannelli solari termici trattati nel prossimo paragrafo.

L'impianto fotovoltaico è costituito da:

- 98 moduli fotovoltaici MODULI QCELLS da 330 W (32 a Sud e 64 a Est)

- 1 inverter ABB da 10000 W

- sistema di fissaggio e quadri elettrici



figura 49 – componentistica impianto FV

### 6.2.3. Installazione su copertura di un impianto solare termico

Al fine di abbassare i consumi della pompa di calore, si è deciso di installare un impianto solare termico nel campo tre della copertura; tale sistema aumenta la quota di energia rinnovabile in entrata al servizio di riscaldamento.



figura 50 – immagine illustrativa impianto solare termico

Il prodotto scelto è della casa CMG Solari ed è il modello New Efficient-XS; tale pannello sfrutta il meccanismo di circolazione naturale e il cambiamento di stato del fluido termovettore. La circolazione naturale a condensazione è un particolare sistema di funzionamento che sfrutta il naturale processo di evaporazione e condensazione di un fluido per attuare il trasferimento del calore.

Il sistema solare termico viene progettato in

modo tale da fornire potenza termica al bollitore esistente che nello scenario esistente fornisce potenza termica integrativa al sistema di teleriscaldamento.

Nel secondo scenario tale bollitore funge da solo accumulo e da collettore della portata derivante dalla pompa di calore. Il pannello solare termico aiuta quindi sia il fabbisogno termico del servizio di riscaldamento che il fabbisogno di ACS, riducendo i consumi ed aumentando la quota di energia rinnovabile. Dal software di calcolo EC700 si ha una schema chiaro del servizio di riscaldamento ed ACS, si veda la figura nella pagina precedente.

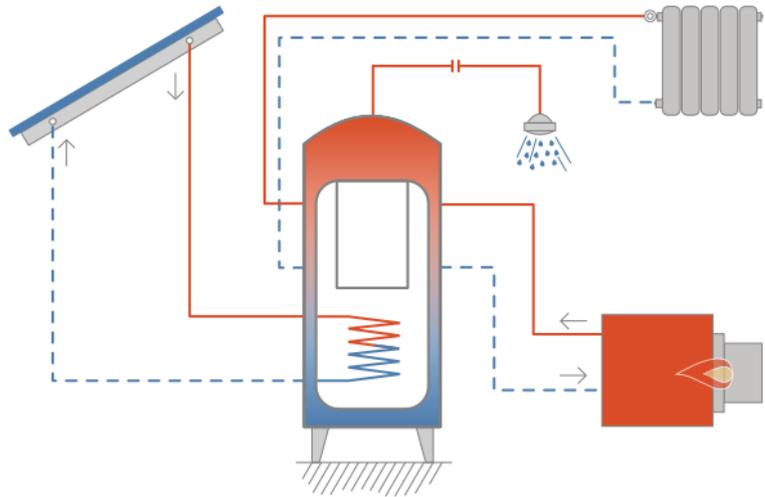


figura 51 – schema impiantistico servizio di riscaldamento

### 6.3. Confronto dei due scenari.

Le voci di consumo energetico che in primo luogo riescono a sintetizzare la differenza tra i vari scenari di questo studio sono due: il fabbisogno energetico richiesto dall'utenza (sia per il riscaldamento che per il servizio di ACS) espresso nella voce *energy need*, ed il consumo energetico a monte della generazione, espresso nella voce *energy delivered*.

In questo studio per *energy delivered* si intende l'energia in entrata alla centrale termica del fabbricato necessaria a soddisfare tutti i servizi. Nello scenario esistente e nel primo scenario di efficientamento, l'*energy delivered* è rappresentata dal flusso di energia in uscita dalla distribuzione primaria, che serve tutti i fabbricati del complesso, in entrata al bollitore la cui funzione principale nei tre scenari è soprattutto quella di un accumulo e collettore.

Anche nel secondo scenario la suddetta voce di consumo rappresenta l'energia in entrata alla centrale termica ma non letta all'entrata dell'accumulo ma in uscita dall'impianto solare termico sulla copertura e l'energia in entrata alla pompa di calore.

Intendo in questo modo le voci di *energy delivered* nei vari scenari, si mira ad ottenere un confronto tra la soluzione esistente di allacciamento al teleriscaldamento e la soluzione progettata di installazione di una pompa di calore e solare termico paragonando quindi l'energia in ingresso al fabbricato.

La voce energetica dell'impianto fotovoltaico verrà invece valutata economicamente come sostegno alle spese energetiche.

Si è ritenuto di confrontare queste voci proprio per mettere in risalto da una parte, con la voce *energy need*, le differenze nella domanda di energia, quindi sui risparmi energetici legati alle minori dispersioni per mezzo dell'involucro, e dall'altra, mediante la voce *energy delivered*, le differenze tra le richieste al sistema di generazione.

Scenario esistente		
kWh/anno	Energy need	Energy delivered
Impianto idronico	194.471,00	251.424,00
Impianto ACS	13.464,00	149.878,00
<b>tot</b>	<b>207.935,00</b>	<b>401.302,00</b>

Scenario 1		
	Energy need	Energy delivered
Impianto idronico	115.713,00	194.030,00
Impianto ACS	13.464,00	149.470,00
<b>tot</b>	<b>129.177,00</b>	<b>343.500,00</b>

Scenario 2		
kWh/anno	Energy need	Energy delivered
Impianto idronico	112.109,00	9.650,00
Impianto ACS	13.464,00	6.422,00
<b>tot</b>	<b>125.573,00</b>	<b>16.072,00</b>

## 7. ANALISI TECNICO-ECONOMICA

Le principali opportunità di incentivazione dei lavori di efficientamento di un immobile sono le detrazioni fiscali previste dall'Ecobonus e gli incentivi del Conto Termico che offre finanziamenti a fondo perduto.

Le detrazioni IRPEF previste dall'Ecobonus e dal Bonus casa non si riescono ad applicare a questo studio in quanto il proprietario dell'immobile qui oggetto di analisi è la pubblica amministrazione ed a tale ente non viene applicata la suddetta imposta; si accederà quindi al meccanismo incentivante del Conto Termico che può rimborsare fino al 65% dei costi di realizzazione degli interventi di efficienza energetica ammessi dall'incentivo.

### 7.1. Calcolo dei costi per l'isolamento delle strutture

Nell'analisi dei costi dell'isolamento delle strutture, come in tutte le altre misure di efficienza energetica, si sono considerate le seguenti voci:

- il costo del materiale
- il costo della manodopera
- sconti del produttore

Secondo la tabella 5 dell'allegato al D.M. 16/02/16, il decreto che prevede il meccanismo del conto termico, l'incentivo viene calcolato come percentuale delle spese sostenute per un massimale di costo complessivo al m<sup>2</sup> ed un massimale totale di spesa.

[Tabella 5 – Allegato II - DM 16.02.16]			
Tipologia di intervento	Percentuale incentivata della spesa ammissibile (% <sub>spesa</sub> )	Costo massimo ammissibile (C <sub>max</sub> )	Valore massimo dell'incentivo (I <sub>max</sub> ) [€]
i. Strutture opache orizzontali <sup>13</sup> : <b>isolamento coperture</b>			(i+ii+iii) ≤ 400.000
Esterno	40 (*) (**)	200 €/m <sup>2</sup>	
Interno	40 (*) (**)	100 €/m <sup>2</sup>	
Copertura ventilata	40 (*) (**)	250 €/m <sup>2</sup>	
ii. Strutture opache orizzontali: <b>isolamento pavimenti</b>			
Esterno	40 (*) (**)	120 €/m <sup>2</sup>	
Interno	40 (*) (**)	100 €/m <sup>2</sup>	
iii. Strutture opache verticali: <b>isolamento pareti perimetrali</b>			
Esterno	40 (*) (**)	100 €/m <sup>2</sup>	
Interno	40 (*) (**)	80 €/m <sup>2</sup>	
Parete ventilata	40 (*) (**)	150 €/m <sup>2</sup>	

(\*) Per interventi realizzati nelle zone climatiche E e F la percentuale incentivata della spesa ammissibile è pari al 50%.

(\*\*) Per interventi che prevedano, oltre all'isolamento termico delle superfici opache, almeno un intervento, a scelta, tra le tipologie 1.C, 2.A, 2.B, 2.C, 2.E, la percentuale incentivata della spesa ammissibile è pari al 55%.

[I<sub>totale</sub> = 55% delle spese per l'isolamento termico + (a scelta) 55% delle spese per il generatore a condensazione, oppure, + il contributo secondo lo specifico algoritmo per uno degli interventi di categoria 2]

figura 51 – calcolo incentivo isolamento delle strutture

Si riesce ad arrivare fino al 55% di rimborso delle spese per la ristrutturazione delle strutture in quanto tra i nostri interventi è prevista anche l'installazione della pompa di calore.

Si riportano nella tabella a seguire le voci di costo e le relative somme degli incentivi

CONTO TERMICO					
	Spesa TOT [€]	% incent	Superf. [mq]	C_int [€]	Incentivo TOT [€]
Cappotto	133.471,50	55,00%	1935	68,97	73.409,33
Solaio	25.560,37	55,00%	695	36,77	14.058,20
<b>tot</b>	<b>159.033,52</b>				<b>87.467,53</b>

## 7.2. Isolamento della rete di distribuzione dell'utenza

Una volta calcolati i diametri e le lunghezze, e scelti i prodotti per l'isolamento della rete di distribuzione del riscaldamento, si possono agevolmente calcolare i costi dell'intervento.

Riguardo al prezzo del materiale, con una analisi di mercato sulle lunghezze e sugli spessori, si è arrivato ad un prezzo medio realistico di 15 €/m per tutti i diversi prodotti usati per i differenti diametri dei tubi. Tale prezzo a detta dell'assistenza della ditta Trocellen è perfettamente in linea con l'andamento del mercato del prodotto. Si riposta qui di seguito il calcolo dei costi del materiale.

Al costo del materiale va aggiunto anche il prezzo della manodopera preso da prezzario regionale pari a 8.31 €/m per metro di tubo su cui si interviene.

Isolante tubi della distribuzione utenza				materiale manodopera	15 €/m 8,31 €/m
d_est esist	isolante	tot diam	lunghezza	Spesa materiale:	Spesa manodopera:
76	50	126	92	1380	11.467,80
76	50	126	80	1200	9.972,00
y60	50	110	65	975	8.102,25
60	50	110	78	1170	9.722,70
48	40	88	53	795	6.606,45
48	40	88	53	795	6.606,45
42	40	82	15	225	1.869,75
42	40	82	50	750	6.232,50
35	30	65	10	150	1.246,50
35	30	65	29	435	3.614,85
tot €				7.875,00	65.441,25
tot €					<b>73.316,25</b>

L'intervento di coibentazione della rete di distribuzione del riscaldamento purtroppo è previsto solo dall'Ecobonus a cui le PA non hanno accesso non pagando l'imposta IRPEF. Tramite Conto Termico non si riesce quindi ad incentivare tale intervento.

### 7.3. Incentivazione installazione pompa di calore

L'intervento incentivabile consiste nella sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti in edifici esistenti, parti di edifici esistenti o unità immobiliari esistenti di qualsiasi categoria catastale, con impianti di climatizzazione invernale di potenza massima inferiore o uguale a 2.000 kW<sub>t</sub> dotati di pompe di calore, elettriche o a gas, utilizzando energia aerotermica, geotermica o idrotermica. Nel caso in analisi si punta ad ottenere l'incentivazione per la pompa di calore elettrica.

Tramite i coefficienti di valorizzazione dell'energia termica prodotto si hanno le seguenti spese ed i relativi incentivi, come riportato nella tabella seguente:

<b>Pompa di calore</b>				
	Spesa materiale:	Spesa manodop:	incentivo	TOT
Pompa di Cal. Viessmann	20.000,00	791	8.582,00	<b>11.418,00</b>

### 7.4. Incentivazione impianto solare termico

L'intervento incentivabile consiste nell'installazione di collettori solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e/o ad integrazione dell'impianto di climatizzazione invernale<sup>30</sup>, anche abbinati a sistemi di solar cooling. L'impianto deve avere una superficie solare lorda inferiore o uguale a 2.500 metri quadrati.

La spesa per l'impianto e l'incentivo ottenibile sono riportati nella tabella sottostante:

<b>Solare Termico</b>				
	Spesa materiale:	Spesa manodopera:	Incentivo [€]	TOT
CMG Solar Efficient-s	15.530,00	3.222,30	4242	<b>18.752,30</b>

## 7.5. Incentivazione impianto fotovoltaico

Il meccanismo incentivante selezionato per l'impianto fotovoltaico è quello dello scambio sul posto in quanto è chiaramente preposto per le pubbliche amministrazioni, ulteriori incentivi non espressamente dedicati alla pubblica amministrazione non sono stati presi in considerazione.

Dal portale Conto Energia si legge cosa è lo scambio sul posto:

*“Attraverso la Delibera n. 28/06 l’Autorità per l’energia elettrica definisce le “Condizioni tecnico-economiche del servizio di scambio sul posto dell’energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza nominale non superiore a 20 KW, ai sensi dell’articolo 6 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387”.*

*Ovvero definisce le regole attraverso cui viene regolamentato un contratto di scambio energetico tra il gestore della rete ed il produttore di energia rinnovabile.*

*In sostanza la delibera definisce che l’energia prodotta attraverso fonte rinnovabile e ceduta al gestore della rete verrà scontata sui consumi del produttore medesimo.*

*Facendo un esempio, una famiglia che attraverso il suo impianto fotovoltaico cede alla rete 3KWH non pagherà al gestore 3KWH assorbiti dalla rete.”*

Il meccanismo incentivante è quindi focalizzato sull'immissione ed autoconsumo dell'impianto di generazione fotovoltaica. Si riportano i seguenti dati di producibilità dell'impianto:

Impianto		
Centralizzato		
Energia elettrica da produzione fotovoltaica	30773	kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	8798	kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	90,3	%
Energia elettrica da rete	852	kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non consumata	22826	kWh/anno

figura 52 – producibilità impianto fotovoltaico

Si ha una quasi perfetta copertura del fabbisogno elettrico dell'impianto di riscaldamento e vi è anche un consistente surplus di energia che verrà venduta in rete, ritirata da GSE.

Le tariffe di vendite sono legate al mercato dell'energia elettrica e quindi non sono fisse. Si ipotizza l'energia elettrica comprata in rete perfettamente bilanciata dall'immissione in rete e si considera, conservativamente, la vendita di 20 MWh dei circa 22 MWh prodotti ed immessi in rete, ad una tariffa pari a 10 c€/kWh vicino alla sola componente energia.

Si riportano nella seguente tabella i valori notevoli dell'analisi.

<b>Pannelli FV</b>				
	Spesa materiale: [€]	Spesa manodop: [€]	Vendita alla rete [€]	TOT [€]
Campo 20 kW	23.900,00	già inclusa		
Campo 10 kW	14.600,00	già inclusa	2.000,00	<b>36.500,00</b>

## 7.6. Calcolo del risparmio in Euro

Si valutano adesso i risparmi in termini economici dei vari scenari: in primo luogo si calcola la spesa energetica dello scenario esistente; purtroppo, anche a seguito di richieste dirette a chi di competenza, non è stato possibile visionare le bollette energetiche. Si sono quindi dedotti i costi del teleriscaldamento dalle tariffe dei contratti di teleriscaldamento di Iren Torino riportate nell'immagine a seguire.

	TARIFFA MONOMIA		Quota Fissa per metro cubo riscaldato per anno (Euro/mc.)
	Quota consumo		
	Euro/Mcal	Euro/kWh	
Consumi fino a 350.000 Mcal/anno	<b>0,0937491</b>	0,0806242	
Consumi oltre 350.000 Mcal/anno	<b>0,0896252</b>	0,0770777	

figura 53 – tariffa IREN Torino Teleriscaldamento

Si confronta quindi lo scenario esistente con lo scenario 1 di ristrutturazione

TELERISCADAMENTO			
	kWh	kWh	Nm3/anno
	riscaldamento	ACS	Consumo metano
Fabbisogno calibrato:	251.424,00	149.470,00	25.635,00
Fabb. SCENARIO 1	194.030,00	149.470,00	19.850,00
RISPARMIO	57.394,00	0,00	5.785,00

Risparmio in EURO		
Risp. Energetico	prezzo bolletta	Risp. mensile.
kWh	€/kWh	tot
57.394,00	0,0770777	4.423,80

<b>SCENARIO 1</b>					
anni	Capitali [€]	C run,cost [€]	RISPARMIO [€]	R - C [€]	NPV [€]
t					
0	- 232.349,77				- 232.349,77
1		87.467,53	4.423,80	91.891,32	- 143.992,72
2			4.423,80	4.423,80	- 139.902,67
3			4.423,80	4.423,80	- 135.969,93
4			4.423,80	4.423,80	- 132.188,45
5			4.423,80	4.423,80	- 128.552,42
6			4.423,80	4.423,80	- 125.056,22
7			4.423,80	4.423,80	- 121.694,50
8			4.423,80	4.423,80	- 118.462,08
9			4.423,80	4.423,80	- 115.353,97
10			4.423,80	4.423,80	- 112.365,42

L'analisi economica è svolta per mezzo del VAN (NPV – Net Present Value in inglese) che, attualizzando i flussi di denaro permette una precisa valutazione dell'investimento.

Si nota come nel primo scenario a fronte di un investimento di 232.349,77 € e di un risparmio annuale di 4.423,80 € la ristrutturazione diventi impraticabile in quanto il NPV resta sempre negativo anche dopo il periodo di analisi di dieci anni.

La voce C\_run\_cost nel nostro caso rappresenta i flussi di incentivi in entrata al sistema. In questo primo scenario si ha un'unica rata, liquidazione possibile per le priorità nel Conto Termico per la Pubblica Amministrazione, che rappresenta gli incentivi per l'isolamento dei componenti strutturali dell'involucro (coibentazione mura perimetrali e solaio). L'ultima voce dell'NPV rappresenta il Global Cost che indica la fattibilità economica della ristrutturazione progettata.

Si riportano adesso i risultati del secondo scenario:

<b>SCENARIO 2</b>					
anni t	Capitali [€]	C run,cost [€]	RISPARMIO [€]	R - C [€]	NPV [M€]
0	- 309.602,07	-			- 309.602,07
1	-	100.170,52	30.899,99	131.070,51	- 183.572,73
2	-	4.121,00	30.899,99	35.020,99	- 151.193,86
3	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	- 121.945,89
4	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	- 93.822,85
5	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	- 66.781,46
6	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	- 40.780,12
7	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	- 15.778,83
8	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	8.260,87
9	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	31.375,96
10	-	2.000,00	30.899,99	32.899,99	53.602,02

Si nota come l'efficientamento della generazione dell'energia necessaria ai servizi renda fattibile l'investimento, dopo dieci anni infatti presenta un NPV positivo ed uguale a 53.602,02 €. Si veda come a fronte di un investimento più importante il sistema di incentivazione non aumenta in maniera considerevole. E' invece determinante la riduzione dei consumi del fabbricato, si veda il capitolo sulle misure di efficienza energetica per i valori di consumo energetico.

Si rimanda alla tabella sottostante per i valori riassuntivi e conclusivi dell'analisi economica.

	<b>GC (10 anni) [€]</b>	<b>DPP [anni]</b>
<b>Scenario 1</b>	- 112.365,42	oltre 10 anni
<b>Scenario 2</b>	53.602,02	7 anni

## 8. CONCLUSIONI

Alla luce dell'analisi tecnico-economica, lo scenario di ristrutturazione vincente si rivela essere il secondo; nello stabile preso in analisi in questo lavoro, si rivela essere insufficiente la sola coibentazione delle strutture.

E' necessario un efficientamento della parte di generazione e la soluzione di installazione di una pompa di calore e dell'impianto solare termico riesce perfettamente a soddisfare i fabbisogni dell'edificio; il software infatti calcola un numero di ore di discomfort durante il periodo di climatizzazione invernale pari a zero.

Gli incentivi inoltre si rivelano essenziali per la fattibilità economica, si noti infatti come il GC (Global cost) sia negativo nel caso non venissero considerati.

<b>SCENARIO 2 - senza incentivi</b>					
anni t	Capitali [€]	C run,cost [€]	RISPARMIO [€]	R - C [€]	NPV [€]
0	- 309.602,07	-			- 309.602,07
1	-		30.899,99	30.899,99	- 279.890,54
2	-		30.899,99	30.899,99	- 251.321,77
3	-		30.899,99	30.899,99	- 223.851,79
4	-		30.899,99	30.899,99	- 197.438,35
5	-		30.899,99	30.899,99	- 172.040,82
6	-		30.899,99	30.899,99	- 147.620,11
7	-		30.899,99	30.899,99	- 124.138,66
8	-		30.899,99	30.899,99	- 101.560,34
9	-		30.899,99	30.899,99	- 79.850,42
10	-		30.899,99	30.899,99	- 58.975,49
<b>Global Cost:</b>					<b>- 58.975,49</b>

Il secondo scenario non supportato un meccanismo incentivante adeguato non è quindi percorribile.

Oltre al meccanismo del Conto Termico a cui si è fatto riferimento in questa analisi, vi posso essere altri meccanismi di cui però l'accesso non è certo per la Pubblica Amministrazione, si fa riferimento al decreto FER1 per la vendita di energia elettrica a prezzi incentivati e al meccanismo di certificati bianchi. La valutazione di tali pratiche comunque esula dagli intenti di questa tesi.

## BIBLIOGRAFIA

### Capitolo: Diagnosi energetica

1. risorsa online: <https://www.cti2000.eu/la-uni-ts-11300/>
2. Catalogo online UNI 10349
3. Catalogo online UNI EN ISO 52016-1-2018
4. Testo integrale Direttiva 2006/32/CE
5. Decreto Legislativo n. 115 del 30 maggio 2008).
6. Testo integrale D.Lgs. 115/08
7. Catalogo online UNI CEI TR 11428-2011
8. testo integrale PDF della n.10
9. Chiarimenti in materia di diagnosi MISE 2015
10. Chiarimenti in materia di diagnosi MISE 2016
11. elementi su come elaborare la documentazione ENEA
12. Testo integrale D.Lgs. n. 141
13. ENEA linee guida monitoraggio
14. ENEA Linee Guida e Manuale Operativo
15. decreto ministeriale 21 dicembre 2017

### Capitolo: Caserma Riberi

1. Il nuovo ospedale Riberi, documento storico da archivio della caserma
2. Cadeddu, Paolo, Le caserme di piazza d'Armi a Torino: La Marmora (Monte Grappa) - Dabormida - Morelli di Popolo - Ospedale militare Riberi, D. Piazza, Torino 2008 , pp. 111-139
3. risorsa online: [https://www.difesa.it/Primo\\_Piano/Pagine/Immobili-Difesa-riqualificazione-della-Caserma-Riberi-di-Torino.aspx](https://www.difesa.it/Primo_Piano/Pagine/Immobili-Difesa-riqualificazione-della-Caserma-Riberi-di-Torino.aspx)

### Capitolo: Modellazione EC700

1. DM 26 Giugno 2015, art. 7
2. Dati climatici, ARPA Piemonte
3. DPR 412/92

4. Catalogo online UNI EN ISO 13788:2013
5. Catalogo online UNI/TS 11300-2:2019
6. Catalogo online UNI/TS 11300-5
7. Appunti del corso: Energy Audit and certification of buildings, Prof. Vincenzo Corrado
8. Schede d'approvazione materiale edile, documenti tecnici riqualificazione edilizia Caserma Riberi, 2004
9. Dati centrale termica, documenti tecnici riqualificazione edilizia Caserma Riberi, 2004

### Capitolo: EEM – Misure di efficienza energetica

1. Catalogo prodotti Fibran
2. Catalogo prodotti Trocellen – Isocompact
3. Regole applicative del D.M. 16 febbraio 2016
4. D.M. 16 febbraio 2016
5. Catalogo prodotti Viessmann
6. Allegato B della Legge 412/93 (agg. D.L. 551/99)
7. Catalogo prodotti CMG Solari

### Capitolo: Analisi Tecnico-Economica

1. Appunti del corso: Energy Audit and certification of buildings, Prof. Vincenzo Corrado, a.a. 2019/2020
2. risorsa online: [www.gse.it](http://www.gse.it)
3. Decreto Interministeriale 16 Febbraio 2016
4. Prezzi di riferimento per Opere e Lavori Pubblici nella regione Piemonte, 2019