



## Ricerca di Sistema elettrico

# Studio sulla riqualificazione a nZEB di edifici pubblici del Sulcis.

*C. Frau, E. Loria, A. Madeddu, F. Poggi*

## STUDIO SULLA RIQUALIFICAZIONE A nZEB DI EDIFICI PUBBLICI DEL SULCIS

Caterina FRAU, Eusebio LORIA, Alessandra MADEDDU, Francesca POGGI

Settembre 2016

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia elettrica negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Edifici ad energia quasi zero (NZEB), Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

B.1 Attività SOTACARBO

Obiettivo: Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

Responsabile del Progetto: Luciano Terrinoni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Studi sulla riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis*"

Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana.

Responsabile scientifico SOTACARBO: Enrico Maggio

## Indice

SOMMARIO .....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
2 QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI EFFICIENZA ENERGETICA .....	6
2.1 NAZIONI UNITE .....	6
2.2 COMMISSIONE EUROPEA STRATEGIE ENERGETICHE E OBIETTIVI. ....	6
2.3 CRONOSTORIA DIRETTIVE COMUNITARIE .....	6
2.4 IL QUADRO NORMATIVO ITALIANO .....	8
2.5 LE COMPETENZE REGIONALI .....	16
3 ANALISI DI EDIFICI PUBBLICI AD USO UFFICIO: IL CENTRO RICERCHE SOTACARBO .....	18
3.1 GLI EDIFICI DELLA GRANDE MINIERA DI SERBARIU .....	18
3.2 L'INTERVENTO DI RIPRISTINO URBANISTICO SULL'EDIFICIO CENTRO RICERCHE SOTACARBO .....	19
3.3 IL RIUSO DELLA STRUTTURA .....	25
4 ANALISI DI EDIFICI PUBBLICI AD USO SCOLASTICO: SCUOLA MEDIA SEBASTIANO SATTA .....	27
4.1 ANALISI DEI LIVELLI DI TUTELA GRAVANTI SULL'EDIFICIO .....	27
4.2 ANALISI STORICA PAESAGGISTICA E DESCRIZIONE ASPETTI MORFOLOGICI ORIGINARI .....	28
4.3 DESCRIZIONE ASSETTO MORFOLOGICO E ARCHITETTONICO DELLO STATO ATTUALE .....	29
5 DIAGNOSI ENERGETICA DEGLI EDIFICI .....	37
6 CONCLUSIONI .....	38
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	39

## Sommario

Una diagnosi energetica ha lo scopo di individuare interventi di efficientamento energetico che risultino sia energeticamente che economicamente vantaggiosi.

Il presente lavoro ha lo scopo principale di fornire un quadro di massima che metta in evidenza le possibili opportunità per migliorare e ottimizzare il processo di gestione dell'energia relativo all'edilizia pubblica, con la volontà di esaminare dei casi concreti per poter individuare le criticità e, in un successivo momento, le strategie e gli interventi più opportuni per ridurre concretamente gli sprechi energetici.

In particolare lo studio fa riferimento a edifici pubblici di cui uno ad uso scolastico e uno ad uso uffici, entrambi siti nel comune di Carbonia.

Si intende creare uno strumento che possa consentire di effettuare le scelte per la realizzazione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, con un'eventuale programmazione in base all'urgenza e all'impegno economico quantificato nella relazione. Al risultante risparmio energetico ne consegue un economico nella gestione dell'edificio e si aggiunge anche una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Le diagnosi energetiche non sono mirate esclusivamente a quantificare gli sprechi energetici, ma intendono al contempo verificare le condizioni di efficienza del sistema Edificio/Impianto, inteso come insieme dell'impianto termico, apparecchi di generazione, distribuzione del fluido termovettore, gestione degli orari in funzione dell'utilizzo dell'edificio e le caratteristiche costruttive dell'edificio. Vengono inoltre indicate alcune valutazioni degli investimenti per realizzare gli interventi energetici proposti.

A seguito di diverse proposte di software come strumento di supporto per lo svolgimento della diagnosi, la scelta è ricaduta sul software EDILCLIMA.

Nel presente documento è dato dapprima un breve cenno alla normativa europea, italiana e regionale in materia di efficienza energetica degli edifici. A seguire una descrizione degli edifici oggetto della diagnosi. Dopo una breve esposizione sulla storia degli edifici e delle attività che vi si svolgono, sono descritte le caratteristiche dell'involucro, gli impianti tecnologici che forniscono l'energia necessaria per il regolare funzionamento delle strutture.

La relazione di diagnosi energetica costituisce allegato a questo report ed è stata svolta dal LabEE-UNICA (Laboratorio efficienza Energetica per l'edilizia) del DICAAR dell'Università di Cagliari.

## 1 Introduzione

Questo lavoro si inserisce negli studi svolti in seno all'accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo rivolto allo sviluppo di una ricerca dal titolo "Studi sulla riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis" facente capo al piano annuale di realizzazione 2015 dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ed in particolare agli ambiti attinenti l'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali e interazione con altri vettori energetici, Tema di Ricerca "Edifici a energia quasi zero (NZEB)", progetto D.2 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (NZEB).

Gli obiettivi generali dell'attività sono rivolti all'efficientamento del patrimonio pubblico. Lo sviluppo delle tecnologie per l'efficienza energetica, l'uso di tecnologie e la conoscenza di dati tipologici e dei consumi energetici degli edifici pubblici, sono le principali azioni con le quali è possibile far fronte alla riduzione dei consumi termici e alla diminuzione della richiesta di energia elettrica nel settore. Le attività previste costituiscono una base finalizzata alla caratterizzazione del patrimonio edilizio pubblico insistente sulla Regione Sardegna, e allo sviluppo di una metodologia per interventi di efficienza energetica in edifici vincolati nel territorio del Sulcis.

Si sono presi in considerazione edifici pubblici del territorio (di cui uno ad uso scolastico) suscettibili di essere riqualificati energeticamente in accordo alla definizione NZEB. A tal proposito è stato attivato un Contratto di Collaborazione con l'Università di Cagliari ed in particolare con il LabEE-UNICA (Laboratorio efficienza Energetica per l'edilizia) del DICAAR. Scopo del lavoro è stata l'esecuzione di una diagnosi energetica nello stato in cui tali edifici si trovano attualmente e l'individuazione degli interventi di riqualificazione energetica in senso NZEB, insieme con i costi relativi. Oltre alla valutazione energetica dello stato dell'edificio, il lavoro ha previsto un'analisi di altri aspetti che ne influenzano il comportamento energetico e che riguardano il degrado della struttura, delle murature e delle finiture, lo stato di manutenzione degli impianti, la documentazione amministrativa. Il raggiungimento potenziale dell'obiettivo NZEB è stato verificato tramite la diagnosi energetica, in accordo alle migliori pratiche e alle normative del settore, effettuata considerando gli interventi proposti. Oltre a calcolare i consumi di energia necessari per i servizi quali ad esempio il riscaldamento, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione, è stata svolta una analisi costi-benefici dei possibili interventi di riqualificazione energetica.

## 2 Quadro normativo in materia di efficienza energetica

### 2.1 Nazioni unite

La normativa in materia energetica è in continua evoluzione e si è fatta molto più rigida negli ultimi anni, avendo come diretta conseguenza la realizzazione di edifici di nuova costruzione energeticamente sempre più efficienti ed integrati da fonti energetiche rinnovabili (Nzeb).

Dalla convenzione quadro sui cambiamenti climatici, durante la Conferenza sull’Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite - Rio de Janeiro, 1992- emerge la necessità di stabilizzare le concentrazioni di gas ad effetto serra nell’atmosfera ad un livello tale da poter escludere qualsiasi pericolosa interferenza delle attività umane sul sistema climatico, perseguendo l’obiettivo di riportare le emissioni di gas serra ai livelli del 1990, entro il 2000. Il trattato entra in vigore il 24 marzo 1994, riconoscendo responsabilità comuni, ma differenziate in base al grado di sviluppo dei diversi Paesi aderenti.

Successivamente con la Conferenza di Kyoto - Kyoto, 1997 – si stabilisce un’ulteriore riduzione delle emissioni, pari al 5% rispetto a quella del 1990 per un periodo di adempimento 2008-2012. Quanto emerso, entra in vigore il 16 febbraio 2005.

### 2.2 Commissione Europea strategie energetiche e obiettivi.

- Libro verde dell’efficienza energetica – 2005: “fare più con meno” promuovendo le tecnologie sostenibili per il miglioramento dell’efficienza energetica nei diversi campi di applicazione.
- Una strategia europea per un’energia sostenibile, competitiva e sicura – 2006.
- Pacchetto Clima, Energia 20-20-20 – 2008: entro il 2020 riduzione del 20% delle emissioni di gas ad effetto serra, il raggiungimento del 20% del risparmio energetico e un incremento del 20% del consumo da fonti rinnovabili a testimoniare l’impegno del Parlamento Europeo nel perseguire e migliorare gli obiettivi del Protocollo di Kyoto.
- Piano di Azione di Efficienza Energetica – 2011: provvedimenti contro governi e privati responsabili di non raggiungere gli obiettivi previsti.
- ROADMAP 2050 guida pratica ad un’Europa prosperosa a basse emissioni di carbonio – 2012: il Parlamento Europeo approva un progetto della European Climate Foundation ed afferma la necessità, per l’Unione Europea, di servirsi di politiche in materia di energia, trasporti ed agricoltura per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, e migliorare l’Emission Trading System (ETS) al fine di rendere l’economia più competitiva e meno dipendente dalle fonti fossili.

### 2.3 Cronistoria Direttive Comunitarie

- Direttiva 85/377/EEC e Direttiva 93/76/ECC introducevano i concetti di valutazione di impatto ambientale e certificazione energetica.
- Direttiva 2001/77/CE per la promozione dell’energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili sia per scopi ambientali che per aumentare i posti di lavoro.
- Direttiva 2002/91/CE rinominata EPBD (Energy Performance Building Directive) con lo scopo di orientare l’attività edilizia dei paesi membri verso una concezione di efficienza energetica che consenta di perseguire anche obiettivi rivolti alla riduzione dell’impatto ambientale ed al contenimento dell’inquinamento. Tale norma, mira a promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici, in considerazione delle specialità climatiche di ogni Stato, nonché delle prescrizioni del clima degli ambienti interni e l’efficacia sotto il profilo dei costi, in un’ottica di efficienza economica e facendo attenzione alla riqualificazione del patrimonio edilizio esistente. Essa stabilisce, mediante indicatori prestazionali e parametri predittivi dell’efficienza energetica, che l’obiettivo finale è rendere chiara e trasparente la valutazione del rendimento energetico degli edifici e indirizza gli stati membri, in ottemperanza al Protocollo di Kyoto, verso una riduzione degli inquinanti gassosi emessi, attraverso alcune misure correttive in svariati ambiti, tra cui anche l’edilizia. L’EPBD fa, inoltre, particolare riferimento agli “edifici esistenti di grande metratura” (superiore a 1000 mq), prevedendo, per alcune categorie di fabbricati, fra cui gli edifici adibiti al culto e gli edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico, la possibilità di non applicare i requisiti sopra riportati, nei casi in cui

il rispetto di questi implicasse un'alterazione inaccettabile del loro carattere. Questa Direttiva fu abrogata ufficialmente il 1 febbraio 2012 e sostituita a tutti gli effetti dalla Direttiva 2010/31/CE.

Le disposizioni in essa contenute riguardano:

- a. il quadro generale di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
- b. l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione;
- c. l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni;
- d. la certificazione energetica degli edifici;
- e. l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

La sostanziale novità introdotta è l'attenzione posta all'efficienza energetica dell'edilizia esistente che, qualora interessata da significative ristrutturazioni, diviene soggetta anch'essa a vincoli prestazionali. Nell'EPBD si trova anche il concetto di Certificato energetico, dove deve essere indicata chiaramente la prestazione energetica dell'edificio, in modo da consentire ai cittadini di conoscere l'efficienza energetica dell'immobile e dar loro la possibilità di confrontarne diversi per un acquisto più consapevole. Inoltre, viene previsto che tale certificazione debba contenere raccomandazioni circa i possibili interventi migliorativi sull'involucro e sugli impianti che permettono di risparmiare energia e che risultino economicamente convenienti. In particolare, l'art. 7 prevede che in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio, l'attestato di certificazione energetica sia messo a disposizione del proprietario o che questi lo metta a disposizione del futuro acquirente o locatario, a seconda dei casi. La validità dell'attestato è di dieci anni al massimo.

- Direttiva 2003/87/CE denominata Emissions Trading, istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni di gas a effetto serra all'interno della Comunità Europea, al fine di promuovere la riduzione delle emissioni secondo criteri economicamente validi.
- Direttiva 2006/32/CE per raggiungere l'obiettivo di risparmio energetico rafforzando il miglioramento dell'efficienza degli usi finali di energia.
- Direttiva 2009/28/CE abroga le 2001/77/CE 2003/30/CE, verte sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Stabilisce un quadro comune e fissa obiettivi nazionali obbligatori.
- Direttiva 2010/31/UE denominata EPBD2 (Energy Performance Building Directive 2). Lasciando inalterata la possibilità per gli Stati membri di stabilire i requisiti di efficienza relativi al proprio territorio, l'EPBD2 sottolinea la necessità di attuare nuove strategie di risparmio energetico, in modo da raggiungere gli obiettivi fissati dal pacchetto "Clima-Energia": le costruzioni realizzate a partire dal 31 dicembre 2020 dovranno essere in grado di autoprodurre la quantità di energia necessaria alla loro fruizione, tramite approvvigionamento da fonti rinnovabili, così come gli edifici pubblici che, entro il 31 dicembre 2018, dovranno adeguarsi agli standard degli "edifici a energia quasi zero". Per quanto concerne gli edifici esistenti, viene meglio chiarito il concetto di "ristrutturazione importante" e non più basato sulla sola metratura. Viene introdotto anche l'obbligo di rispettare i requisiti stabiliti dalla normativa anche per edifici minori con dimensioni medio-piccole, rappresentativi dell'intero patrimonio costruito. Tuttavia, prevede la possibilità di andare in deroga all'adeguamento ai requisiti minimi energetici per edifici di valore storico e architettonico, nel caso in cui gli interventi di riadeguamento arrechino danno al loro carattere o aspetto.
- Direttiva 2012/27/UE modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE ponendo ulteriori vincoli agli stati membri per spronarli ad intensificare gli sforzi al fine di un miglior utilizzo dell'energia nelle abitazioni, nei processi industriali e nei trasporti e per renderlo più efficiente in tutte le fasi della catena energetica, comprendendo in questa sia la distribuzione che il consumo finale. Richiede agli Stati membri di risparmiare energia fissando indicativi obiettivi di efficienza energetica, in vista degli obiettivi previsti dal cosiddetto pacchetto "Clima-Energia". Ciascun Stato dovrà stabilire un obiettivo nazionale indicativo di efficienza

energetica, basato sul consumo di energia primaria o finale, sul risparmio di energia primaria o finale o sull'intensità energetica.

## 2.4 *Il quadro normativo italiano*

In Italia la normativa in materia di efficienza energetica ha preso il via dalla redazione del primo Piano Energetico Nazionale (PEN), presentato nel 1975 dal Ministro dell'Industria, all'indomani della crisi petrolifera del 1973. Tale piano mirava ad un forte sviluppo della componente elettronucleare. Il PEN del 1981 ha poi portato avanti la politica nuclearista, pur riducendo gli obiettivi in termini di generazione elettrica. Nel 1986 avvenne l'incidente di Chernobyl e, l'anno successivo, fu indetto un referendum abrogativo di tre articoli di legge che agevolavano la costruzione di impianti nucleari. I SI vinsero bloccando, di fatto, il programma nucleare in Italia.

Dopo il referendum, fu varato il Piano Energetico Nazionale del 1988, approvato dal Consiglio dei Ministri il 10 agosto 1988, reso urgente dalla necessità di fronteggiare le conseguenze della rinuncia all'energia nucleare per riprogrammare le strategie e le soluzioni operative atte a soddisfare le esigenze energetiche del Paese fino al 2000. Tale Piano ha rappresentato per oltre vent'anni il documento di pianificazione energetica nazionale del Paese e, in risposta allo stop al nucleare, ha fornito nuovo impulso allo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile, individuando cinque obiettivi della programmazione energetica:

- il risparmio dell'energia;
- la protezione dell'ambiente;
- lo sviluppo delle risorse nazionali e la riduzione della dipendenza energetica dalle fonti estere;
- la diversificazione geografica e politica delle aree di approvvigionamento;
- la competitività del sistema produttivo.

Non avendo forza di legge, il PEN fu attuato con le leggi n. 9/1991 e n. 10/1991, espressamente definite di attuazione del Piano, alle quali deve la propria operatività. Il contesto in cui si è sviluppato il PEN del 1988 è oggi profondamente mutato, da un lato a causa del condizionamento internazionale, derivante dall'adesione dell'Italia all'Unione Europea, e dall'altro per via del processo di decentramento, che ha determinato la partecipazione dei governi regionali e locali alla politica energetica.

Parallelamente al PEN, alla fine degli anni '70, ha iniziato a prendere forma una programmazione della politica energetica che ha portato ad una ricca produzione normativa, tutt'oggi in rapida evoluzione:

- Legge n. 373 del 1976 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici", emanata in seguito alla prima vera crisi petrolifera in Europa che fece balzare alle stelle il prezzo del petrolio. Per far fronte a tale crisi si cercò di contenere i consumi energetici attraverso la regolamentazione delle prestazioni, l'installazione e l'esercizio dei diversi componenti impiantistici per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, da attuare grazie a nuove importanti indicazioni progettuali relative al sistema impiantistico e all'isolamento termico degli involucri delle nuove costruzioni. Tale norma non trovò l'applicazione auspicata a causa di una comprensione ancora non sufficientemente matura del valore e dell'importanza dei concetti espressi.
- Legge n. 308 del 1982 "Norme sul contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e l'esercizio di centrali elettriche alimentate con combustibili diversi dagli idrocarburi", ha approfondito il tema dell'utilizzo delle fonti alternative e promosso l'incentivazione al risparmio energetico.
- Legge 10/91 "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia" che, introducendo il concetto di sistema edificio-impianto, sottolinea come la riduzione dei consumi non sia ottenibile esclusivamente tramite il miglioramento delle prestazioni dell'involucro, e quindi dalla diminuzione delle dispersioni, ma soprattutto grazie all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (o assimilate) e ad una visione integrata dell'intero immobile e dell'utilizzo che ne viene fatto, possibile grazie alla "Certificazione Energetica". Anche questa legge nasce con l'intento di ridurre i consumi di energia e di migliorare le condizioni di compatibilità ambientale dell'utilizzo dell'energia, in accordo con la politica energetica della Comunità economica europea. E' stata la prima legge quadro finalizzata a regolare le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio/impianto. Gli obiettivi principali erano quelli di garantire:

- a) risparmio energetico e uso consapevole dell'energia;
- b) salvaguardia dell'ambiente;
- c) benessere degli individui all'interno dell'ambiente confinato.

A tal fine imponeva la verifica della "tenuta" dell'isolamento termico delle pareti e dei solai, per contenere la dispersione di calore. L'obiettivo principale era quello di contenere le dispersioni termiche e risparmiare energia facendo attenzione al rendimento dei sistemi impiantistici: al di sotto di certi valori non era possibile ottenere il risparmio energetico prefissato. Fu una legge assolutamente innovativa: l'art. 26 comma 7 prevedeva che, per gli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico, fosse obbligatorio soddisfare il fabbisogno energetico, favorendo il ricorso a fonti rinnovabili di energia, salvo impedimenti di natura tecnica ed economica; ammetteva, inoltre, una serie di contributi in conto capitale e incentivi a sostegno dell'utilizzo di fonti rinnovabili in edilizia; l'art. 28 prevedeva che il proprietario dell'edificio, o chi ne avesse titolo, depositasse in Comune, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori, una relazione tecnica, sottoscritta dal progettista o dai progettisti, che ne attestasse la rispondenza alle prescrizioni della stessa legge, pena una sanzione amministrativa notevole. Per quanto concerne il recupero del patrimonio preesistente l'applicazione della norma è divisa per gradi, in base al tipo di intervento, così come definito dalla Legge 457/78 all'art. 31, mentre per quanto riguarda i beni sottoposti a vincolo in quanto considerati "di interesse artistico e storico" o immobili "di notevole interesse pubblico", viene fatto riferimento alla Legge 1497/39 che prevede l'autorizzazione del ex Ministero per l'Educazione Nazionale (ora Ministero per i Beni e le Attività Culturali) per qualsiasi intervento di modifica o restauro. L'attuazione della Legge 10/91 sarebbe dovuta essere garantita da un insieme di norme UNI, indispensabili alla definizione univoca dei metodi di calcolo da utilizzare a livello nazionale, e da una serie di decreti prescrittivi di cui però, di fatto, fu varata solo una minima parte rendendo la norma, sebbene innovativa all'interno del panorama europeo, del tutto inefficace.

- DPR 412/93 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia", in attuazione dell'art. 4 della legge 9 Gennaio 1991, n. 10". Il territorio nazionale viene classificato in funzione del numero di gradi giorno (GG), intesi come la somma (estesa su tutto il periodo annuale convenzionale di riscaldamento) delle differenze positive giornaliere tra la temperatura ambiente (convenzionalmente fissata a 20°C) e la temperatura media esterna giornaliera ricavata dalla UNI 10349. In funzione dei GG si stabilisce l'appartenenza ad una delle 6 zone climatiche in cui viene suddiviso il territorio, ad ognuna delle quali viene associato un periodo convenzionale di riscaldamento.
  - a) Zona A: comuni che presentano un numero di GG non superiore a 600;
  - b) Zona B: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 600 e non superiore a 900;
  - c) Zona C: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 900 e non superiore a 1.400;
  - d) Zona D: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;
  - e) Zona E: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;
  - f) Zona F: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 3.000.

Gli edifici vengono classificati in base alla loro destinazione d'uso nelle seguenti categorie:

- a) E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili;
- b) E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico;
- c) E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;
- d) E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili;
- e) E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;
- f) E.6 Edifici adibiti ad attività sportive;

- g) E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- h) E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

La classificazione proposta dal DPR 412/1993 è valida ancora oggi. Il DPR 412/1993 stabilisce i criteri di progettazione energetica sulla base della determinazione del FEN (Fabbisogno Energetico Normalizzato) e del rendimento globale stagionale dell'impianto termico. Il FEN è la quantità di energia primaria globale richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura ad un valore costante di 20 °C, prevedendo un adeguato ricambio d'aria durante la stagione di riscaldamento. Esso è dato dal rapporto tra il fabbisogno energetico convenzionale (FEC) e il prodotto del volume lordo riscaldato (V) per i gradi giorno della località (GG), anticipa il concetto di indici di prestazione. Il DPR 412/93 fu poi parzialmente modificato dal DPR 551/99 e DM 178/05 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti recante "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

- D.Lgs 192/05 e D.Lgs 311/06, finalizzati alla definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e delle metodologie di calcolo per la valutazione e la certificazione delle prestazioni.
- D.Lgs N. 192 del 2005 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia" è la più importante di una serie di normative che riprendono le direttive europee. Oltre a fornire importanti indicazioni per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, mediante il pacchetto di specifiche tecniche UNI/TS 11300, il decreto ha fissato i requisiti per il fabbisogno di energia primaria e per la trasmittanza termica dei diversi componenti, da rispettare nel caso di nuove realizzazioni o interventi sul patrimonio già presente. Nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti, il decreto richiede un'applicazione graduale in base alla tipologia di intervento. Numerosi sono i casi di edifici esclusi dall'applicazione del decreto, come ad esempio, in particolari condizioni, i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali, i fabbricati isolati, gli impianti ivi installati, nonché i beni vincolati e tutelati dal D.Lgs 42/04, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici. Gli obiettivi del decreto sono:
  - a) definire il metodo di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
  - b) applicare i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
  - c) definire i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
  - d) garantire le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
  - e) stabilire i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti;
  - f) promuovere l'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Questo decreto definisce e integra i criteri, le condizioni e le modalità per:

- migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorirne lo sviluppo;
- la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica per conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal Protocollo di Kyoto;
- promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico, che è considerato il principale riferimento normativo in materia di certificazione energetica.

La norma introduce La Relazione Energetica, un documento redatto da un tecnico abilitato e iscritto al proprio Albo di appartenenza, allo scopo di descrivere e attestare l'efficienza energetica dell'edificio, in linea con le attuali disposizioni normative. Questo documento, redatto nei casi di interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione di edifici esistenti, sintetizza le caratteristiche energetiche del sistema edificio-impianto in fase di progetto, dimostrando la conoscenza dei limiti e delle caratteristiche dell'involucro e dell'impianto ai fini del rispetto delle leggi sul risparmio energetico. E' compito del tecnico depositarla al Comune contestualmente al titolo edilizio presentato (Permesso di Costruire, DIA, SCIA) prima dell'inizio dei lavori. Il contenuto e la valenza della Relazione Energetica non sono da confondersi con l'AQE (attestato di qualificazione

energetica, che va obbligatoriamente presentato a fine lavori e deve contenere i dati dell'edificio e degli impianti così come sono stati realizzati) e con l'ACE (attestato di certificazione energetica, da consegnarsi al proprietario dell'immobile e al Comune, che descrive le caratteristiche energetiche dell'edificio, identificandone le prestazioni dello stesso). La relazione può essere strutturata in 2 parti, contenenti i 10 punti salienti del documento tecnico: la prima di carattere tecnico descrittivo che racconta il progetto, localizzandolo in un sito specifico e presentandolo con grafici e descrizioni dettagliate, evidenziandone le peculiarità che ritornino utili al fine della relazione; la seconda, invece, è di tipo prescrittivo, in quanto contiene le prescrizioni (attenuazione dei ponti termici, tecniche di isolamento termico etc) che il progetto dovrà rispettare affinché siano rispettate le normative sul risparmio energetico. I dieci punti sopra citati sono di seguito citati (riportati nell'Allegato E D.Lgs 311/2006) e costituiscono il vero e proprio contenuto del documento tecnico in esame.

- a) INFORMAZIONI GENERALI che indicano il Comune in cui ricade l'edificio, il sito che lo ospita, la classificazione dell'edificio, il numero delle unità abitative che lo compongono, il committente del progetto, il progettista e il direttore dei lavori.
- b) FATTORI TIPOLOGICI DELL'EDIFICIO sviluppati all'interno degli elaborati grafici da presentarsi ossia piante, prospetti e dettagli relativi a sistemi solari passivi, sistemi di ventilazione, fotovoltaici (etc) progettati per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia.
- c) PARAMETRI CLIMATICI DELLA LOCALITA' ossia gradi giorno (dati dalla somma delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente e la temperatura media esterna giornaliera) e temperatura minima di progetto (valore minimo delle medie delle decadi annuali più fredde registrate in una data località).
- d) DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO relativi al volume, alla superficie esterna che delimita il volume, alla superficie utile dell'edificio, al valore di progetto della temperatura interna e della umidità relativa interna.
- e) DATI RELATIVI AGLI IMPIANTI con idonea descrizione e specifiche circa i generatori di energia e dei sistemi di regolazione dell'impianto termico, i dispositivi per la contabilizzazione del calore nelle unità immobiliari, i terminali di erogazione dell'energia termica, i condotti di evacuazione dei prodotti della combustione, i sistemi di trattamento dell'acqua, le specifiche dell'isolamento termico della rete di distribuzione e della eventuale pompa di circolazione, gli impianti solari termici e fotovoltaici.
- f) PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI relativi all'involucro edilizio e ricambi d'aria; consiste nel riportare i valori dei rendimenti medi stagionali di progetto, l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, l'indice di prestazione energetica normalizzato per la climatizzazione invernale, l'indice di prestazione energetica per acqua calda sanitaria, gli impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e gli impianti fotovoltaici.
- g) ELEMENTI SPECIFICI CHE MOTIVANO EVENTUALI DEROGHE A DISPOSIZIONI FISSATE DALLA NORMATIVA VIGENTE riguardanti i casi in cui la normativa consente di derogare ad obblighi purché ci siano valide motivazioni.
- h) VALUTAZIONI SPECIFICHE PER L'UTILIZZO DI FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE ossia specificazioni delle tecnologie usate ai fini del soddisfacimento del fabbisogno energetico.
- i) DOCUMENTAZIONE DA ALLEGARSI ossia elaborati grafici, schemi funzionali degli impianti, tabelle con indicazioni delle caratteristiche termiche dell'edificio e dei componenti finestrati dell'involucro edilizio.
- j) DICHIARAZIONE DI RISPONDENZA in cui, il tecnico abilitato, consapevole delle sanzioni previste, dichiara sotto la propria responsabilità, che il progetto realizzato è rispondente alle prescrizioni delle vigenti normative in materia, e, che i dati contenuti nella relazione, sono conformi a quanto contenuto o desumibile dagli elaborati progettuali.

Con lo schema sopra indicato, vengono fornite le osservazioni minime atte a garantire l'osservanza delle disposizioni di legge vigenti in materia; questo schema è rivolto alla integrale applicazione del Decreto legislativo e deve essere scrupolosamente seguito dal tecnico autore della relazione, il quale

deve riportare con rigore i dati ottenuti dalla elaborazione del software utilizzato, senza estromettere alcun risultato perché considerato ipoteticamente inadeguato a quello che dovrebbe essere l'esito finale.

- Il successivo D.Lgs 311/06 “Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19/8/05 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia “, emanato ad integrazione e correzione del precedente, amplia l'ambito di intervento non più solo agli edifici di nuova costruzione, ma anche agli impianti in essi installati e ai nuovi impianti installati in edifici esistenti, nonché alle opere di ristrutturazione di edifici ed impianti. Dispone inoltre per interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche di edifici e impianti, l'accesso a incentivi o sgravi fiscali. Ha reso più severi i limiti da verificare inserendo il calcolo dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI), espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno, differenziato per zone climatiche ed in funzione del fattore di forma dell'edificio, con tre soglie temporali:
  - a) gennaio 2006
  - b) gennaio 2008
  - c) gennaio 2010

Il Decreto inserisce in via transitoria, e sino alla data di entrata in vigore delle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, l'attestato di qualificazione energetica; l' AQE è il documento predisposto ed asseverato da un professionista abilitato, non necessariamente estraneo alla proprietà, alla progettazione o alla realizzazione dell'edificio, nel quale sono riportati i fabbisogni di energia primaria di calcolo, la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, ed i corrispondenti valori massimi ammissibili fissati dalla normativa in vigore per il caso specifico o, ove non siano fissati tali limiti, per un identico edificio di nuova costruzione. L'attestato di qualificazione è generalmente facoltativo ed è predisposto a cura dell'interessato al fine di semplificare il successivo rilascio della certificazione energetica. A tal fine, l'attestato comprende anche l'indicazione di possibili interventi migliorativi delle prestazioni energetiche e la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, nonché i possibili passaggi di classe a seguito della eventuale realizzazione degli interventi stessi.

- D.Lgs 115/08 in attuazione della direttiva 2006/32/CE, stabilisce una serie di misure atte al miglioramento dell'efficienza energetica degli usi finali di energia, sotto il profilo costi-benefici, allo scopo di contribuire al miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra.
- D.Lgs 56/10 a modifica del D.Lgs 115/08.
- DPR 59/09, ha la finalità di promuovere un'applicazione “omogenea, coordinata e immediatamente operativa” delle norme per l'efficienza energetica sul territorio nazionale definendo criteri, requisiti minimi e metodologie per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti per:
  - a) climatizzazione invernale (viene mantenuto l'assetto del D.Lgs 192/05);
  - b) preparazione di acqua calda per usi sanitari;
  - c) climatizzazione estiva (la principale novità rispetto al D.Lgs 192/05) illuminazione artificiale di edifici non residenziali.

L'art. 3 del D.P.R. individua le Norme tecniche riconosciute a livello nazionale per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. In particolare sono individuate:

- a) UNI TS 11300 – Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- b) UNI TS 11300 – Parte 2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria Come stabilito all'articolo 4 del D.P.R. 59/2009, l'Indice di Prestazione energetica in regime invernale (EPI), con riferimento alle nuove edificazioni ed alle ingenti ristrutturazioni, deve risultare inferiore ai limiti riportati all'Allegato C del D.Lgs 311/2006 (in kWh/m<sup>2</sup> per gli edifici residenziali, kWh/m<sup>3</sup> per gli altri edifici).

- Il Decreto 59 prevede che gli strumenti di calcolo applicativi, ossia i software commerciali, debbano garantire uno scostamento non superiore al 5% rispetto allo strumento di riferimento e devono essere certificati dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano).
- DM 26/06/2009 del MiSE “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”, reintroduce (insieme al D.Lgs 28/11) l’obbligatorietà di attestazione energetica, precedentemente cancellata dalla Legge 133/08, per edifici nuovi e preesistenti. Definisce finalmente le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. L’Allegato A contiene le regole nazionali sulla certificazione energetica degli edifici e il modello di certificato. Il decreto prevede che l’attestato di certificazione energetica contenga indicazioni sull’efficienza energetica dell’edificio, i valori di riferimento a norma di legge e le classi prestazionali, oltre ad indicazioni economicamente sostenibili per interventi di riqualificazione energetica.
  - D.Lgs 28/11, attua la Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili e definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari per il raggiungimento degli obiettivi al 2020, in materia di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia e di energia da fonti rinnovabili nei trasporti. Le novità più interessanti introdotte sono le seguenti:
    - a) definizione degli obblighi di utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e sottoposti a ristrutturazioni;
    - b) obbligo in sede di compravendita e locazione di introduzione di una clausola in cui l’acquirente o il locatore dichiara di aver ricevuto le informazioni riguardanti la certificazione energetica degli edifici;
    - c) obbligo per tutti gli annunci di vendita di riportare l’indice di prestazione energetica.
  - D.Lgs 63/13 (c.d. decreto eco-bonus/energia) di recepimento della Direttiva 2010/31/UE, convertito in Legge 90/13, che completa ed approfondisce quanto introdotto nelle precedenti norme, spiegando in maniera più esaustiva cosa si intenda per “edificio di riferimento” e per “edificio a energia quasi zero” ed introducendo il concetto di livello ottimale di prestazione energetica in funzione dei costi. Le prescrizioni e i requisiti minimi riportati nella norma si riferiscono alle nuove costruzioni, alle ristrutturazioni importanti e alla riqualificazione energetica di edifici preesistenti mentre, per quanto concerne gli edifici ricadenti nell’ambito della disciplina del D.Lgs 42/04, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio, è istituito l’obbligo di certificazione della prestazione energetica e di esercizio, ispezione e manutenzione degli impianti tecnici. Tuttavia, istituendo la deroga automatica per qualsiasi edificio di valore culturale, viene compiuto un passo indietro. Fortunatamente, in breve la legge di conversione 90/13 ha coperto tale falla, istituendo l’obbligo di autorizzazione da parte dell’autorità competente nel caso di edifici sottoposti a tutela. La certificazione cambia il nome: non si parlerà più di ACE (Attestato di Certificazione Energetica) ma di APE (Attestato di Prestazione Energetica). Viene previsto, inoltre, l’obbligo di rilascio dell’attestato anche per le locazioni di edifici/unità immobiliari, al pari di quanto avviene per le compravendite. Altra novità di rilievo è il rilascio dell’attestato da parte del professionista in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio (ai sensi dell’art. 47 del D.P.R. 445/2000 – nuovo art. 6 D.Lgs. 192/2005). Pertanto, l’APE nella parte finale dovrà prevedere la dichiarazione del professionista. Le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici sono definite, oltre che dalle norme UNI TS 11300 parti 1, 2, 3 e 4 e Raccomandazione CTI 14/2013, anche dalla UNI EN 15193 (Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione). Viene prevista l’emanazione di uno o più decreti che definiscano:
    - a) le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e l’utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici, in relazione ai paragrafi 1 e 2 dell’allegato I della direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia, tenendo conto dei seguenti criteri generali:
      - la prestazione energetica degli edifici è determinata in conformità alla normativa tecnica UNI e CTI, allineate con le norme predisposte dal CEN a supporto della direttiva 2010/31/CE, su specifico mandato della Commissione europea;

- il fabbisogno energetico annuale globale si calcola per singolo servizio energetico, espresso in energia primaria, su base mensile. Con le stesse modalità si determina l'energia rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema;
  - si opera la compensazione mensile tra i fabbisogni energetici e l'energia rinnovabile prodotta all'interno del confine del sistema, per vettore energetico e fino a copertura totale del corrispondente vettore energetico consumato;
  - ai fini di tale compensazione, è consentito utilizzare l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili all'interno del confine del sistema ed esportata, secondo le modalità definite dai decreti di cui al presente comma.
- b) l'applicazione di prescrizioni e requisiti minimi, aggiornati ogni cinque anni, in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari, siano essi di nuova costruzione, oggetto di ristrutturazioni importanti o di riqualificazioni energetiche, sulla base dell'applicazione della metodologia comparativa di cui all'articolo 5 della direttiva 2010/31/UE, secondo i seguenti criteri generali:
- i requisiti minimi rispettano le valutazioni tecniche ed economiche di convenienza, fondate sull'analisi costi benefici del ciclo di vita economico degli edifici
  - in caso di nuova costruzione e di ristrutturazione importante, i requisiti sono determinati con l'utilizzo dell'edificio di riferimento, in funzione della tipologia edilizia e delle fasce climatiche
  - per le verifiche necessarie a garantire il rispetto della qualità energetica prescritta, sono previsti dei parametri specifici del fabbricato, in termini di indici di prestazione termica e di trasmittanze, e parametri complessivi, in termini di indici di prestazione energetica globale, espressi sia in energia primaria totale che in energia primaria non rinnovabile.
- Legge 90/2013 di conversione con modificazioni del D.L. 63/2013. In vigore già dal 4 agosto, il provvedimento recepisce la Direttiva 2010/31/UE, dettando le nuove regole sulla prestazione energetica degli edifici nuovi e di quelli oggetto di notevoli ristrutturazioni, attraverso un aggiornamento del D.Lgs 192/2005. Tra le novità più rilevanti c'è l'obbligo per chi vende o affitta un immobile di allegare al contratto l'attestato di prestazione energetica dell'edificio, a pena di nullità. Rispetto al D.L. 63/2013, la Legge di conversione presenta alcune novità e precisazioni, tra cui:
- a) anticipo al 30 giugno 2014 (anziché 31 dicembre) del "Piano d'azione" destinato ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero richiesti dalla Direttiva Europea;
  - b) anticipo al 31 dicembre 2013 (anziché 30 aprile 2014) della messa a punto da parte dei Ministeri competenti dell'elenco di misure finanziarie atte a favorire l'efficienza energetica e la transizione verso gli edifici a energia quasi zero;
  - c) obbligo di produzione ed affissione entro 180 giorni (anziché 120) dall'entrata in vigore dell'attestato di prestazione energetica, da parte degli edifici delle pubbliche amministrazioni superiori a 500 m<sup>2</sup>;
  - d) nuova definizione di impianto termico, in cui vengono inclusi anche apparecchi fissi a servizio della singola unità immobiliare, quali stufe e caminetti e dispositivi ad energia radiante, con potenze nominali la cui somma sia uguale o superiore a 5 kW;
  - e) obbligo di dotare gli edifici di nuova costruzione o oggetto di ristrutturazioni importanti di APE prima del rilascio del Certificato di Agibilità;
  - f) obbligo di rilascio dell'APE anche in caso di trasferimento di un immobile a titolo gratuito;
  - g) obbligo di allegare l'APE al contratto di vendita, agli atti di trasferimento di immobili a titolo gratuito o ai nuovi contratti di locazione, pena la nullità degli stessi contratti;
  - h) nelle more dell'aggiornamento delle specifiche norme, le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici sono, oltre alle norme UNI/TS 11300 parti 1, 2, 3 e 4 e Raccomandazione CTI 14/2013, anche la UNI EN 15193 (Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione);

- i) ammessi agli incentivi anche gli interventi finalizzati all'incremento dell'efficienza idrica e gli interventi di installazione di impianti di depurazione delle acque da contaminazione di arsenico di tipo domestico;
  - j) produttivo e agricolo;
  - k) annullata l'esclusione dagli incentivi delle spese per l'installazione di pompe di calore, impianti geotermici a bassa entalpia e scaldacqua a pompa di calore; quindi anche questi impianti risultano incentivati;
  - l) i decreti attuativi che definiranno le nuove metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici dovranno essere emanati entro 180 giorni dall'entrata in vigore della Legge (180 gg. dal 4 agosto 2013).
- D.Lgs 102/14, recepimento della Direttiva 2012/27/UE, vengono definiti gli strumenti per il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione, entro il 2020, di 20 milioni di Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP) dei consumi di energia primaria. Prevede:
- a) La promozione dell'efficienza energetica nel settore pubblico, nell'industria, nel privato e nei trasporti;
  - b) L'aggiornamento periodico degli obiettivi nazionali di efficienza energetica;
  - c) Il regime obbligatorio di efficienza energetica;
  - d) L'obbligo delle diagnosi energetiche e promozione nell'adozione di sistemi di gestione dell'energia ISO 50001;
  - e) La formazione e informazione in tema di efficienza energetica.

Con riferimento alla promozione nel settore pubblico dell'uso razionale dell'energia e in particolare al miglioramento della prestazione energetica degli immobili, l'art. 4 prevede una cabina di regia tra i ministeri MISE e MATT, istituita con il DM del 9 gennaio 2015 ed avrà il compito di promuovere l'attuazione coordinata del piano di interventi di medio lungo termine per il miglioramento della prestazione energetica degli immobili, contribuire al programma per la riqualificazione energetica degli edifici della pubblica amministrazione centrale, assicurare il coordinamento delle misure per l'efficienza energetica attivate attraverso il Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica e coordinare gli interventi di formazione.

- Nuovi Decreti interministeriali del 26 giugno 2015. I 3 decreti interministeriali del 26 giugno 2015, che completano il quadro normativo in materia di efficienza energetica negli edifici, sono:
- f) decreto requisiti minimi, applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici: definisce le nuove modalità di calcolo della prestazione energetica e i nuovi requisiti minimi di efficienza per i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazione;
  - g) linee guida nuovo APE 2015, adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici: definisce le nuove regole per la redazione dell'APE (attestato di prestazione energetica). Il nuovo modello di APE sarà valido su tutto il territorio nazionale e, insieme ad un nuovo schema di annuncio commerciale e al database nazionale dei certificati energetici (SIAPE), offrirà al cittadino, alle Amministrazioni e agli operatori informazioni semplici e chiare sull'efficienza dell'edificio e degli impianti, consentendone un confronto della qualità energetica di unità immobiliari differenti e orientando il mercato verso edifici con migliore qualità energetica;
  - h) decreto relazione tecnica di progetto, schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici: definisce gli schemi di relazione tecnica di progetto, adeguandoli al nuovo quadro normativo, in funzione delle diverse tipologie di opere: nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti, riqualificazioni energetiche.
- Dal primo ottobre 2015 sono entrati in vigore i 3 nuovi decreti per l'efficienza energetica degli edifici che rappresentano un passo avanti verso gli edifici ad energia quasi zero del 2019 (edifici pubblici) e del 2021 (edifici privati) che hanno ora un quadro normativo e regolamentare: dalla certificazione

energetica degli immobili, unica per tutta Italia (il decreto contiene un unico modello valido per l'intero territorio nazionale e sostituisce le precedenti linee guida del 2009), ai metodi di calcolo unici anch'essi, e ai nuovi requisiti minimi di efficienza energetica sia per nuove costruzioni che per ristrutturazioni (tra cui una riduzione dei valori di trasmittanza termica U in relazione a due scadenze temporali, ottobre 2015 e 2019/2021).

Riguardo al decreto relativo ai requisiti minimi di efficienza energetica, vengono rafforzati gli standard energetici minimi per gli edifici nuovi e per quelli ristrutturati, ottimizzando il rapporto costi/benefici degli interventi, in modo da arrivare a realizzare gli Edifici a Energia Quasi Zero previsti dalla Direttiva 2010/31/UE. Importante sottolineare che per la prima volta viene fornita una definizione "tecnica" di "edifici a energia quasi zero" definendo le prescrizioni ad esso relative. I requisiti non riguardano più solo il fabbisogno globale ma anche l'indice di prestazione energetica dell'involucro EPHnd che, calcolato con l'edificio di riferimento, risulta particolarmente restrittivo. Una delle principali novità riguarda gli edifici di nuova costruzione e quelli sottoposti a ristrutturazione importante per i quali i requisiti minimi sono determinati applicando la metodologia dell'edificio di riferimento, così come previsto dalla direttiva 2010/31/UE. In sintesi, sono previste 4 tipologie di intervento con relative prescrizioni specifiche:

- a) Edifici di nuova costruzione;
- b) Ristrutturazione di 1° livello (ovvero intervento che interessa più del 50% della superficie disperdente lorda dell'involucro edilizio e impianto termico);
- c) Ristrutturazione di 2° livello (ovvero intervento che interessa più del 25% della superficie disperdente lorda dell'involucro edilizio ed eventualmente anche impianto termico);
- d) Riqualficazione energetica (ovvero interventi che coinvolgono meno del 25% della superficie disperdente lorda dell'involucro edilizio e/o che coinvolgono gli impianti tecnici).

La normativa italiana sull'efficienza energetica degli edifici discende da direttive europee che il nostro paese tende a recepire con ritardo, con continui rischi di sanzioni e di mancato adeguamento funzionale e tecnico.

## 2.5 Le competenze regionali

Con il D.Lgs 112/98 lo Stato Italiano delega "alle regioni le funzioni amministrative in tema di energia, ivi comprese quelle relative alle fonti rinnovabili, all'elettricità, all'energia nucleare, al petrolio ed al gas, che non sono riservate allo stato o che non siano già di competenza degli enti locali". Alle singole Regioni, dopo aver fissato gli obiettivi di risparmio energetico, sviluppo delle fonti rinnovabili e relative modalità di raggiungimento, spetta la funzione di programmazione, indirizzo, coordinamento e controllo dell'attività degli enti locali, il tutto in conformità con quanto prescritto dalla riforma del Titolo V della Costituzione.

Gli stessi decreti attuativi delle varie Direttive affidano, alle Regioni e alle Province autonome, il compito di perseguire gli obiettivi di risparmio energetico prefissati a livello comunitario, nei settori di loro competenza. Tuttavia, si evidenzia a tutt'oggi, un forte ritardo per quanto concerne l'adeguamento normativo nelle varie Regioni. Solamente alcune Regioni hanno varato proprie norme in merito alla certificazione energetica, mentre per la maggior parte di esse, si fa riferimento alla normativa nazionale.

In linea con gli obiettivi e le strategie comunitarie e nazionali, la Regione Autonoma della Sardegna (RAS) si prefigge da tempo di ridurre i propri consumi energetici, le emissioni climalteranti e la dipendenza dalle fonti tradizionali di energia attraverso la promozione del risparmio e dell'efficienza energetica ed il sostegno al più ampio ricorso alle fonti rinnovabili. Tali obiettivi vengono perseguiti avendo, quale criterio guida, quello della sostenibilità ambientale, e cercando, in particolare, di coniugare al meglio la necessità di incrementare la produzione di energia da fonti rinnovabili con quella primaria della tutela del paesaggio, del territorio e dell'ambiente. A partire dal 2009 la RAS ha implementato questo processo con una serie di atti normativi e documenti:

- Legge Regionale n. 3 del 7 agosto 2009: all'art. 6 comma 3, attribuisce alla Regione, nelle more dell'approvazione del nuovo Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR), la competenza al rilascio dell'autorizzazione unica per l'installazione e l'esercizio degli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Al comma 7 prevede, inoltre, che "nel rispetto della legislazione nazionale e comunitaria [...] la Regione adotta un Piano regionale di sviluppo delle tecnologie e degli impianti per la produzione di energia da fonte rinnovabile";

- Delibera della Giunta regionale n. 10/3 del 12 marzo 2010: la Giunta Regionale ha rilevato la necessità di elaborare una nuova proposta di PEAR alla luce delle sopravvenute modificazioni normative nazionali e gli indirizzi di pianificazione a livello comunitario (Direttiva 2009/28/CE) e internazionale (Conferenze ONU sul Clima), con lo spostamento degli orizzonti temporali di riferimento all'anno 2020;
- Delibera della Giunta Regionale n. 17/31 del 27 aprile 2010: Il progetto Sardegna CO<sub>2</sub>.0, il cui avvio è stato approvato dalla Giunta regionale con la deliberazione n. 17/31 del 27.04.2010, ha l'obiettivo strategico di attivare una serie di azioni integrate e coordinate di breve, medio e lungo periodo, destinate a ridurre progressivamente il bilancio delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel territorio regionale, utilizzando strumenti finanziari innovativi capaci di rigenerare le risorse investite;
- Delibera della Giunta Regionale n. 43/31 del 6 dicembre 2010: la Giunta Regionale ha dato mandato all'Assessore dell'Industria per avviare le attività dirette alla predisposizione di una nuova proposta di Piano Energetico Ambientale Regionale coerente con i nuovi indirizzi della programmazione regionale, nazionale e comunitaria e provvedere, contestualmente, all'attivazione della procedura di Valutazione Ambientale Strategica in qualità di Autorità procedente e di predisporre, nelle more della definizione del nuovo PEARS, il Documento di indirizzo sulle fonti energetiche rinnovabili che ne individui le effettive potenzialità rispetto ai possibili scenari al 2020;
- Delibera della Giunta regionale n. 31/43 del 20 luglio 2011: la Giunta regionale ha approvato l'Atto d'indirizzo per la predisposizione del PEAR in conformità con la programmazione comunitaria, nazionale e regionale. Il PEARS è, infatti, il documento pianificatorio che governa, in condizioni dinamiche, lo sviluppo del sistema energetico regionale, anche alla luce della situazione economica internazionale;
- Delibera della Giunta regionale n. 12/21 del 20 marzo 2012: la Giunta regionale ha approvato il Documento di indirizzo sulle fonti energetiche rinnovabili che contiene gli scenari energetici necessari al raggiungimento dell'obiettivo specifico del 17,8 % di copertura dei consumi finali lordi di energia con fonti rinnovabili nei settori elettrico e termico, assegnato alla Sardegna con DM del 15.03.2012 del MiSE.

### 3 Analisi di edifici pubblici ad uso ufficio: il Centro Ricerche Sotacarbo

L'edificio oggetto di studio fa parte di un edificato storico non strettamente urbano, e si trova nel Sulcis Iglesiente, una sub-regione montuosa situata a Sud Ovest della Sardegna. È collocato nelle aree della "Grande Miniera" di Serbariu, situata nella periferia sud-occidentale dell'abitato. Le miniere di carbone di Serbariu fanno parte del sistema minerario connesso alla città di Carbonia e la loro organizzazione come la costruzione di questo ed altri edifici, risale alla fine degli anni Trenta.

Storicamente Carbonia e il carbone costituiscono un binomio inscindibile, nonostante la stagione estrattiva si possa ritenere oggi conclusa. La volontà di trasformare i luoghi della produzione e della lavorazione del minerale, attualmente non più utilizzata, nei luoghi in cui conservare e divulgare i documenti relativi alla storia ed alla cultura mineraria carboniense, consentirà di mantenere in vita, pur secondo un'ottica differente rispetto al passato, la continuità fra la città e le ragioni stesse della sua esistenza. In quest'ottica, il recupero di questi edifici, ricopre un ruolo di primo piano per motivazioni storico - culturali, architettoniche e, non ultime per importanza, economiche.

Gli edifici un tempo utilizzati per l'industria mineraria di Serbariu sono direttamente collegate alle fasi produttive e di lavorazione del minerale, concepite secondo riferimenti tipologici e tecnologici appartenenti alla cultura moderna della costruzione, ma realizzate in pieno periodo autarchico e pertanto ricche di numerosi episodi di contaminazione con materiali e tecniche della tradizione costruttiva locale. Proprio per questo linguaggio ibrido, da un lato proiettato verso le tecniche moderne e, d'altra parte, ancora saldamente legato a quelle tradizionali, che abbina il concetto strutturale del telaio a quello della massività muraria, l'uso del cemento armato e quello della pietra e del legno, costruisce il carattere più interessante di questi oggetti edilizi e conferisce loro il valore di testimonianza di un'epoca di transizione, ancora poco nota sotto questo profilo.

#### 3.1 Gli edifici della Grande Miniera di Serbariu

Per l'analisi ed il rilievo della struttura si è ipotizzato che l'edificio sia caratterizzato dalle stesse tecniche costruttive degli edifici limitrofi [1]. Nelle vicinanze dell'edificio oggetto dell'analisi sono presenti i padiglioni di supporto all'attività della Grande Miniera, si distinguono di certo quelli un tempo destinati ad accogliere la torneria, le forge e la falegnameria.

I tre blocchi, per ragioni funzionali, si articolano con impianto a T, secondo uno schema rigorosamente geometrico. Il braccio centrale, dov'era collocata la sala forge, è orientato secondo l'asse nord-ovest sud-est, di simmetria per l'intero complesso.

La natura delle attività che vi si svolgevano ha ridotto la distribuzione interna all'essenziale e fatta eccezione per qualche piccolo vano di servizio, ogni padiglione dispone di un grande open space a tutta altezza, di superficie non inferiore ai 400 metri quadrati. Ai fabbricati originari sono stati accostati successivamente alcuni volumi accessori per il deposito di materiale, che consistono per lo più in tettoie provvisorie sostenute da strutture metalliche ormai inservibili.

Lo schema volumetrico e strutturale dei tre padiglioni è analogo: la copertura era irrimediabilmente degradata, era a due falde uguali con linee di gronda parallele ai lati lunghi, impostate a circa otto metri di altezza dal piano di campagna. Un lucernaio a nastro continuo, anch'esso a doppia falda, che sporge sulla sommità del tetto, garantiva un'ottimale illuminazione dei grandi ambienti di lavoro interni e, soprattutto, ne assicurava l'aerazione naturale, funzionando da estrattore.

Dal punto di vista costruttivo la copertura rappresenta, per l'epoca, l'elemento con il maggior grado di innovazione tecnologica. Infatti, la struttura che la sostiene è costituita da una serie di travi reticolari triangolari in cemento armato, a sezione sottile, di luce di 13 e 16 metri, realizzate a piè d'opera e successivamente montate con interasse costante di circa 3 metri. Si tratta di una scelta strutturale di grande fascino, che risolve la necessità di superare i limiti associati all'impiego delle tradizionali palladiane lignee, senza peraltro far ricorso a strutture metalliche, in accordo con le restrizioni imposte in regime di autarchia. Inoltre, gli impalcati di falda, estremamente leggeri, erano realizzati con tavelloni in laterizio e barre lisce di armatura ordite fra le travi principali, secondo il brevetto Perret, mentre il manto di copertura era costituito con tegole marsigliesi posate su un massetto in calcestruzzo alleggerito.

L'involucro esterno può essere schematicamente suddiviso in testate e pareti laterali. In ogni testata libera è posizionata un'unica, ampia apertura rettangolare, tripartita per mezzo di un telaio in cemento armato a sostegno dei portoni di ingresso alti circa quattro metri.

Le pareti laterali sono contraddistinte da tre differenti elementi:

- un possente telaio in cemento armato, con tre ordini di travi, che costituisce la struttura portante delle reticolari di copertura;
- una muratura di tamponamento spessa settanta centimetri, a doppio paramento di bozze irregolari di trachite, apparecchiata secondo le modalità tipiche della traduzione costruttiva sarda, con scaglie di rinzeppatura e allettamento misto di terra e calce, intonacata sia all'interno che all'esterno;
- un sistema di aperture inserite all'interno dei moduli del telaio resistente, di forma rettangolare con altezza pari a circa un terzo della base.

Il rapporto tra vuoti e pieni nelle pareti laterali introduce una sorta di ambiguità costruttiva: infatti se la matrice di aperture a sviluppo orizzontale suggerisce la presenza di una struttura intelaiata, per contro le ampie porzioni murarie annullano l'idea di leggerezza ad essa associata. In altri termini, la parete presenta troppi vuoti per essere mura e troppi pieni per essere telaio. Il risultato ottenuto ha determinato, quindi, una soluzione la cui tecnica si colloca a metà fra un telaio massiccio e un muro svuotato della sua consistenza materica.

Durante le opere di recupero è stato modificato l'assetto distributivo interno, introducendo un piano di calpestio aggiuntivo alla quota di +3.50 metri dal piano di campagna.

Le travi reticolari di copertura sono state integralmente ricostruite in cemento armato, mantenendo inalterata la geometria di quelle originali, e lasciate in vista negli ambienti del secondo livelli che, in tal modo, permettendo di usufruire anche dell'illuminazione zenitale proveniente dal lucernaio.

In concetti di reversibilità dell'intervento e di compatibilità fra vecchio e nuovo costituiscono i principi ispiratori dell'intero progetto di recupero. Infatti, i telai in acciaio che sostengono il nuovo livello sono opportunamente distanziati dalle murature esistenti, con l'intento di svincolare totalmente la nuova struttura da quella originaria, rendendole indipendenti fra loro. In questo modo si limitano i rischi di incompatibilità fra materiali e si evita di gravare con carichi parassiti incontrollati le strutture esistenti. Inoltre, si garantiscono procedure semplificate di messa in opera e, soprattutto, l'intervento può essere realmente considerato reversibile, nel senso che un'eventuale demolizione delle nuove edificazioni consentirebbe di ripristinare il volume originario senza intaccare in modo significativo l'involucro.

### *3.2 L'intervento di ripristino urbanistico sull'edificio Centro Ricerche Sotacarbo*

Nel 2002 l'edificio oggetto di studio ha subito un intervento di ristrutturazione importante, realizzato per permettere il riuso dello stabile destinandolo ad ospitare uffici e laboratori. Il CRS è ospitato all'interno dell'ex Magazzino materiali (vedi figure 3.1-2.) ed è considerato un edificio identitario e soggetto pertanto a vincoli definiti dalla Soprintendenza. L'edificio è racchiuso in un'area individuata dal P.R.G. del Comune di Carbonia come zona "S" di circa 13.360 mq. Il Magazzino materiali si distingueva dagli altri edifici interni al complesso della Miniera per il prospetto principale in cui la pietra (trachite) è stata mantenuta faccia a vista e nei prospetti laterali è stata usata nella zoccolatura sempre a vista e nelle scansioni tra una finestra e l'altra. Il prospetto principale era dotato di grande portale in ferro che immetteva in un largo corridoio collegato in passato a una corte interna. Il prospetto principale della corte interna in cui si trovava l'uscita è tutto in muratura di trachite faccia a vista mentre i due laterali con sola zoccolatura in trachite.

Il progetto ha previsto di ripristinare il manufatto mantenendo il più possibile le caratteristiche originarie dell'edificio (figura 3.3), abbattendo i corpi di fabbrica costruiti negli anni '50, come la copertura della corte centrale ed i locali nella parte posteriore del fabbricato (esposti a sud). Alla struttura dei vecchi magazzini è stata annessa una nuova costruzione dedicata all'officina meccanica realizzata in calcestruzzo armato prefabbricato intonacata come gli edifici esistenti, collegata alla struttura principale da un cunicolo che immette nell'ala destra adibita a laboratori.

L'edificio oggi utilizzato come sede della SOTACARBO occupa un'area approssimabile ad un rettangolo di 50 x 54 m di lato; esso si sviluppa attorno ad una corte interna di circa 29 x 30 m, al cui interno, i due lati maggiori sono collegati da una più recente struttura, come riportato nella planimetria in figura 3.4.

Le ali con tetto a falda sono caratterizzate da copertura a due falde uguali con linee di gronda parallele ai lati lunghi, impostate a circa otto metri di altezza dal piano di campagna.

Sono presenti dei lucernai, anch'essi a doppia falda, che sporgono sulla sommità del tetto, che sicuramente garantivano un'ottimale illuminazione dei grandi ambienti di lavoro interni e ne assicuravano l'aerazione naturale, funzionando da estrattore.

Oggi tali lucernai hanno perso la loro natura funzionale, essendo completamente chiusi ed essendo presente una lamiera grecata alla loro base.

La struttura che sostiene la copertura è costituita da una serie di travi reticolari triangolari in cemento armato, a sezione sottile, di luce di 13 metri circa, realizzate a piè d'opera e successivamente montate con interasse costante di circa 3 metri. Non è stato possibile fare indagini sugli impalcati di falda, che originariamente erano realizzati con tavelloni in laterizio e barre lisce di armatura ordite fra le travi principali, secondo il brevetto Perret, mentre il manto di copertura era costituito con tegole marsigliesi posate su un massetto in calcestruzzo alleggerito che oggi si presentano visivamente con una lamiera grecata poggiata sulle travi che sorreggono l'impalcato.

Le coperture delle porzioni di fabbricato che uniscono le porzioni con copertura a due falde, sono piane e si suppone siano in latero-cemento su orditura di travi incrociate in cemento armato come presente in strutture vicine quali il padiglione ex officine. La copertura delle sale espositive e dell'auditorium sono di concezione moderna.

Le prime realizzate con una struttura portante in legno lamellare di varie sezioni tipo 15 x 35 cm 30 x 70 cm e le seconde con travi in legno lamellare di sezione 20 x 80 cm. Il pacchetto di copertura è costituito in entrambi i casi da un tavolato di 2 cm di abete rosso con profili ad incastro, uno strato di 4 cm di sughero, una camera d'aria di 4 cm, uno strato di due cm di abete rosso con profili ad incastro ed infine un doppio strato di tegole bituminose di tipo canadese.

Gli attraversamenti che collegano la struttura originale con le sale espositive e l'auditorium sono costituite da pannelli sandwich.

Uno schema semplificato delle coperture è riportato in figura 3.5.

Le pareti laterali sono costituite da differenti elementi (vedi figura 3.6).

Nei prospetti di nord-est e sud-ovest è presente una muratura di tamponamento, che si pensa dato la tipologia delle strutture vicine, spessa sessanta centimetri, a doppio paramento di bozze irregolari di trachite, apparecchiata secondo le modalità tipiche della traduzione costruttiva sarda, con scaglie di rinzeppatura e allettamento misto di terra e calce, intonacata sia all'interno che all'esterno; nel prospetto nord ovest da muro in trachite di spessore pari a cinquanta centimetri in parte intonacata nella parte interna ed in parte a vista verso l'esterno.

La muratura a sud-est, sempre in trachite, ha spessore comprensivo di intonaco interno ed esterno pari a trenta centimetri. I prospetti che si affacciano verso la corte interna hanno spessore compreso tra i cinquanta ed i cinquantacinque centimetri comprensivi di intonaco interno ed esterno. La muratura dei volumi di più recente edificazione sono costituite da un mattone in cotto faccia a vista di dodici centimetri verso l'esterno, uno strato d'aria di quattro centimetri circa, uno strato di polistirene espanso estruso di quattro centimetri, uno strato di mattone forato da otto centimetri ed uno strato di intonaco premiscelato di gesso da un centimetro e mezzo verso l'interno.

Gli infissi (vedi figura 3.7) sono costituiti da telaio in legno e vetro singolo nel prospetto a nord est e sud ovest, mentre nel prospetto nord ovest sono presenti delle finestre a telaio fisso metallico e vetro singolo e delle finestre con telaio in legno e vetro singolo e dei portoni metallici sormontati da un lucernario con telaio metallico e vetro. Nel prospetto sud ovest sono presenti delle finestre non apribili con telaio metallico e vetro singolo e dei portoni metallici della stessa tipologia di quelli del prospetto nord ovest.

Nelle porzioni di fabbricato con copertura a due falde è stato realizzato, nella stessa direzione della linea di colmo della copertura, un soppalco in orso-grill calpestabile sorretto da una struttura portante in acciaio che sormonta il corridoio. In uno dei due corpi del fabbricato, destinato ad ospitare degli uffici, con copertura a falde è stato realizzato un soppalco con struttura metallica per meglio sfruttare l'altezza. I volumi del sottotetto sono separati dai volumi sottostanti attraverso un controsoffitto in cartongesso costituito da moduli 60 x 60 cm.

In fase di recupero è stato realizzato un volume interrato di dimensioni lorde di 36.8 x 10.65 m nel quale sono presenti condotte impiantistiche.



**Figura 3.1. Facciata principale dell'ex Magazzino materiali prima dell'intervento di ripristino.**



**Figura 3.2. Interno della struttura prima dell'intervento di ripristino.**



**Figura 3.3. Ex Magazzino dei materiali dopo l'intervento di ripristino per il riuso.**

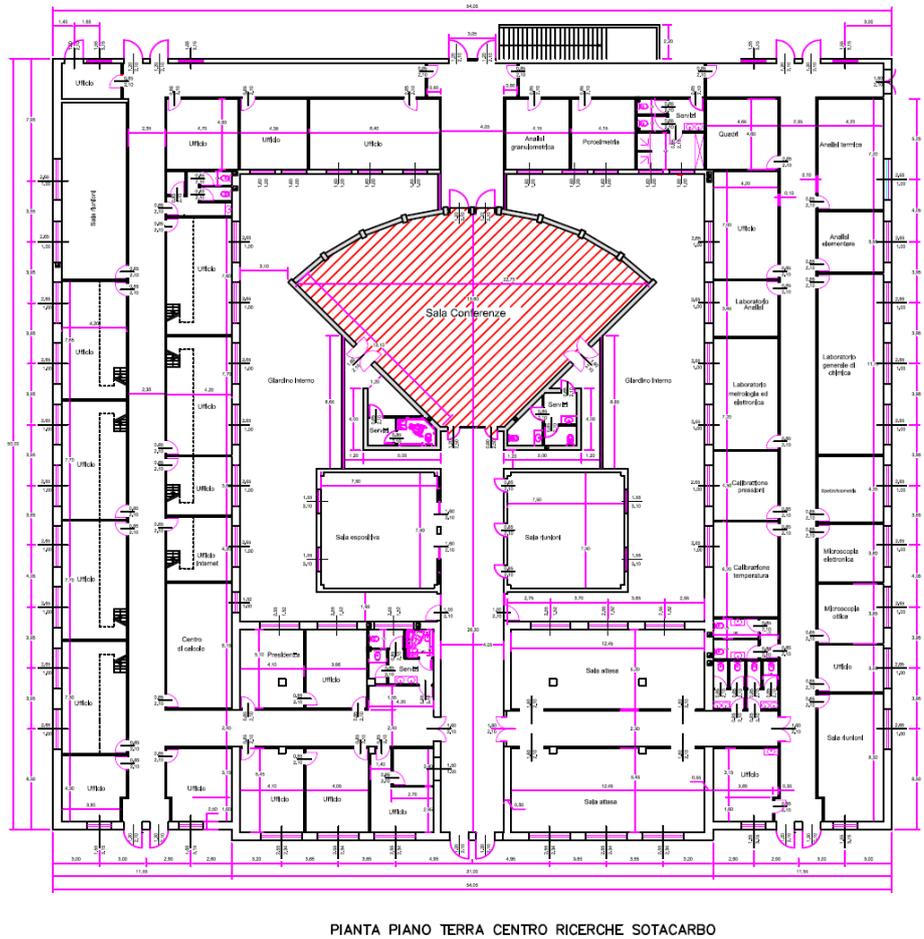
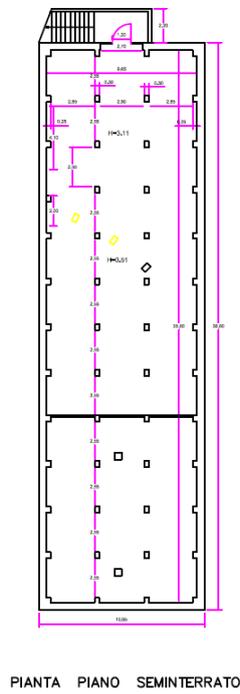
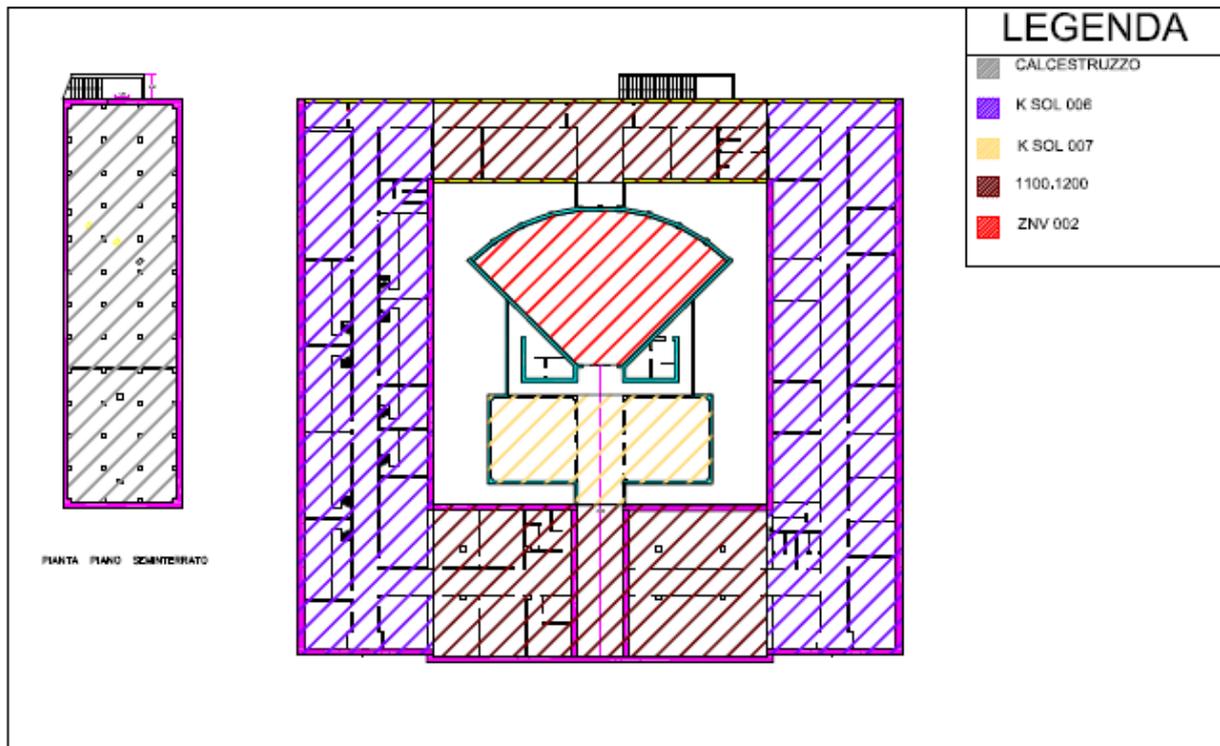


Figura 3.4. Planimetria piano terra e piano seminterrato Centro Ricerche Sotacarbo



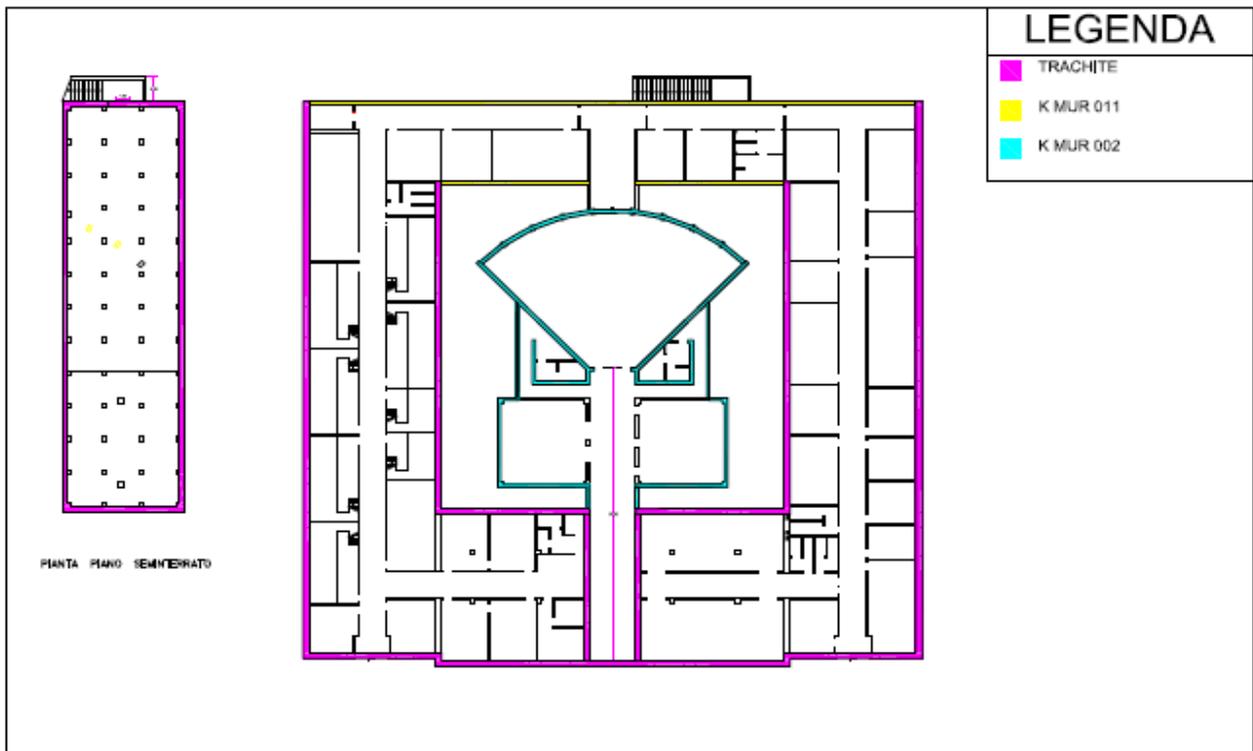
**K SOL 006** :Solaio misto in c.a. e laterizio per copertura realizzato con travetti laterizi tipo Bausta, tavelle pure in laterizio e sovrastante caldaia in cls R'bk 300.

**K SOL 007** : Copertura di struttura portante, consistente nella stesura di manto impermeabile monostrato costituito da una membrana prefabbrica elastoplastomerica armata.

**1100.1200**: Solaio di copertura piano o inclinato dello spessore di cm 24+6 , calcolato per un sovraccarico 3-luci fino a m 6.50.

**ZNV002** : Struttura di copertura in legno, posata su travi principali inclinate a sezione rettangolare 16x46 cm in legno lamellare di abete.

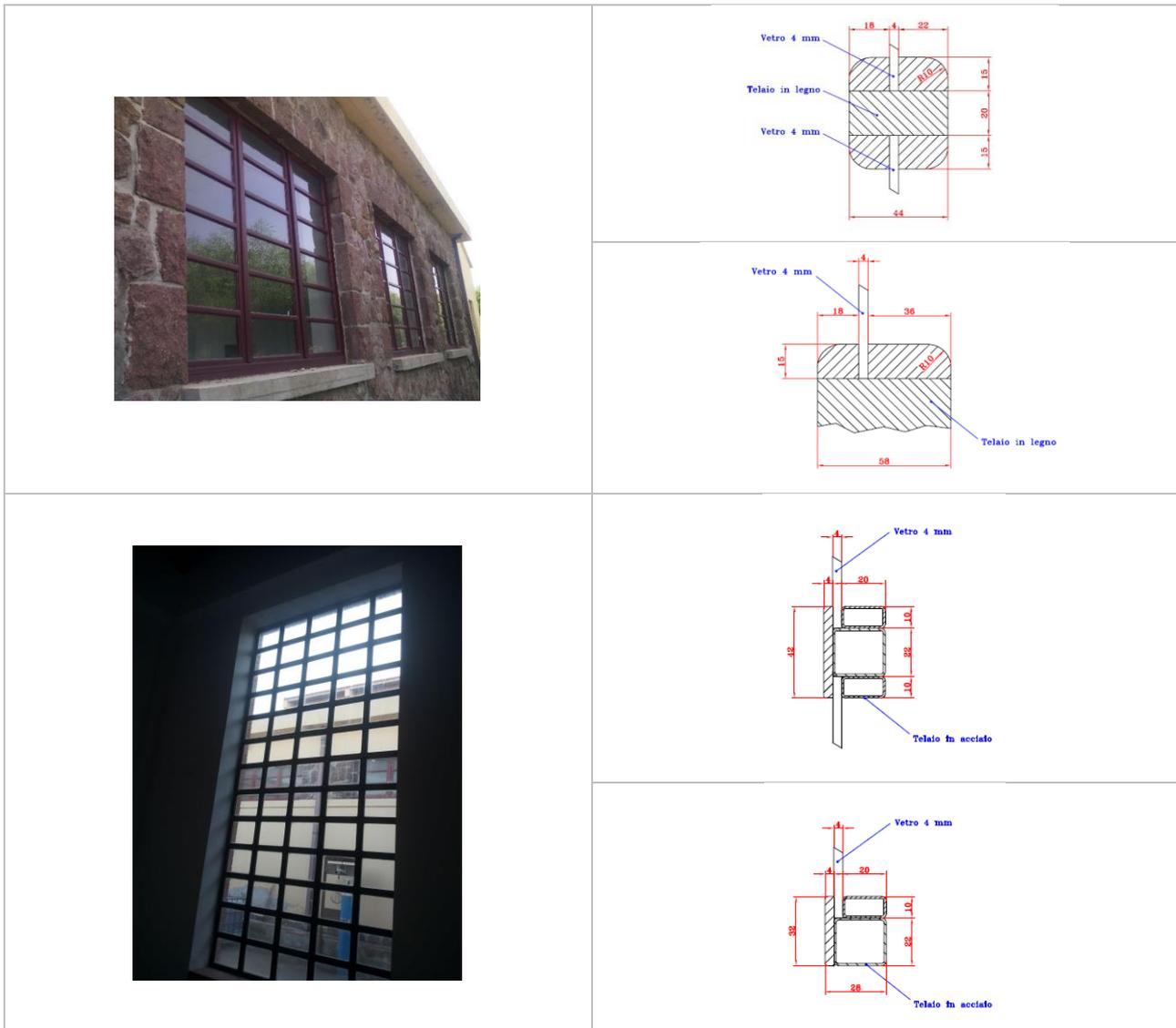
Figura 3.5. Tipologia copertura (solai)



**K MUR 011** : Muratura retta, curva, obliqua di mattoni laterizi 15x25x30 tipo POROTON , in elevazione, dello spessore di cm 30, in opera con malta cementizia di 2<sup>a</sup> specie.

**K MUR 002** : Muratura di tamponamento dello spessore complessivo di cm. 30 , composta da due tavolati , uno interno ed uno esterno, di mattoni semipieni faccia a vista.

Figura 3.6. Tipologia superfici verticali opache



**Foto 3.7. Tipologia superfici vetrate e schemi telaio**

### 3.3 Il riuso della struttura

Sulla base della destinazione d'uso data all'area ospitante l'edificio del Centro Ricerche Sotacarbo, possono essere distinti tre blocchi principali:

- un primo blocco costituito dall'edificio principale, su cui è stato eseguito l'intervento di ristrutturazione ed è oggetto del presente studio, con locali adibiti a uffici, laboratori, archivio e sale riunioni e conferenze (vedi figura 3.8);
- un secondo blocco costituito dal locale di nuova costruzione, adibito ad officina meccanica,
- un terzo blocco che comprende le aree aperte, quali l'area della Piattaforma Pilota, che alloggia gli impianti sperimentali ed i services ad essa collegati, i parcheggi e le aree di accesso e verdi.

L'ala destinata agli uffici è articolata in singoli locali collegati tra loro da un corridoio interno. La maggior parte degli ambienti è a doppia altezza, ricavata attraverso i soppalchi in orso-grill che coprono i 2/3 della superficie, posti ad un'altezza di 2,5 m c.a. dalla quota pavimento e raggiungibili con scale interne a L in ferro parallele alla muratura del corridoio interno.



**Figura 3.8. Usi funzionali della struttura principale**

Nella corte interna è situato un Auditorium da ca. 100 posti con i relativi servizi, e due sale espositive caratterizzate da ampie aperture finestrate che mostrano una piccola area verde in cui sono inserite. La parte con maggior utilizzo da parte del personale è quella che ospita gli uffici ed è costituita da 17 ambienti. L'illuminazione degli ambienti avviene attraverso lampade a fluorescenza di dimensione e potenze differenti. L'edificio è fornito di un sistema di condizionamento dell'aria, del tipo ad unità centrale, alloggiata all'esterno dell'edificio, con ventilconvettori ubicati ciascun locale destinato ad ufficio o laboratorio, in aderenza all'intradosso del controsoffitto, ad un'altezza di c.a. 5,15 m dalla quota pavimento (vedi figura 3.9).



**Foto 3.9. Centrale Impianto di condizionamento, unità esterne e fancoil**

## 4 Analisi di edifici pubblici ad uso scolastico: Scuola media Sebastiano Satta

In Italia il 75% degli edifici scolastici è stato realizzato prima del 1980 pertanto la quasi totalità di questi edifici risale al periodo antecedente il recepimento della Legge 10/91 sul risparmio energetico e quasi tutti gli edifici scolastici ad oggi realizzati, appartengono alla classe energetica di riferimento di tipo G, non essendo infatti adeguati alla vigente normativa europea che richiede per tutti gli edifici l'appartenenza alla classe energetica di tipo A entro il 2020.

Gli edifici scolastici presenti sul territorio italiano occupano una superficie complessiva di 64 milioni di metri quadrati, il cui costo energetico al 2012 era di 12,5 miliardi euro, circa 200 euro/mq di bolletta.

Secondo quanto riportato nel rapporto "Ecosistema Ambiente - XVI Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi", l'uso delle energie rinnovabili segna una crescita, passando dal 13,6% del 2013 al 14,3% del 2014. Tra gli edifici che utilizzano rinnovabili, il 71,1% presenta pannelli fotovoltaici, mentre il 23,4% utilizza impianti solari termici. Al 2014 la media nazionale della copertura dei consumi energetici delle scuole da fonti rinnovabili è pari a circa il 44,5%. Questo dimostra quanto le amministrazioni abbiano saputo cogliere le opportunità fornite dagli incentivi all'installazione e all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e di nuove tecnologie per migliorare la qualità delle scuole e per ridurre i costi di gestione.

La Regione Sardegna si è attivata per promuovere un programma dedicato ad interventi da attuare sugli edifici degli enti pubblici della Sardegna, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo e diffusione delle fonti energetiche rinnovabili e contestualmente al conseguimento del risparmio e dell'efficienza energetica nel settore edilizio pubblico, in linea con gli obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti stabiliti dal protocollo di Kyoto.

Il programma è orientato a dare un impulso all'applicazione su scala significativa nel territorio regionale della normativa nazionale per l'efficienza energetica nel settore edilizio che, a partire dal D.Lgs n. 192/2005 e ss.mm.ii., promuove la progettazione e la realizzazione di edifici efficienti dal punto di vista energetico con un'attenzione ai materiali, ai sistemi costruttivi e al rapporto con il contesto, concentrando in particolare le risorse sull'adeguamento di edifici pubblici esistenti di scala significativa, rispetto al contesto di riferimento e di grande visibilità.

Un primo e significativo passo verso il raggiungimento di quanto richiesto dalla normativa, è sicuramente rappresentato dalla diagnosi energetica, che è in grado di fornire degli snapshot della situazione attuale in cui versano gli edifici pubblici ad uso scolastico e può dare indicazioni di massima su interventi tipo da attuare in stabili simili a quello sottoposto a diagnosi.

A tal proposito, per il presente studio, come oggetto della diagnosi, è stato scelto l'edificio ospitante la scuola media "Sebastiano Satta", sito nel comune di Carbonia, in quanto rappresentativo di quelli esistenti nel territorio comunale suddetto.

### 4.1 Analisi dei livelli di tutela gravanti sull'edificio

L'edificio "Scuola media Sebastiano Satta", sotto il profilo Urbanistico risulta localizzato all'interno dell'ambito urbano del Comune di Carbonia, zona A - Centro Storico, sottozona A2.1 - S1 (servizi per l'istruzione).

Ai sensi del DLgs 42/04 "Codice dei beni Culturali e del Paesaggio" - parte Terza, l'ambito d'intervento e soggetto a tutela paesaggistica per effetto del vigente Piano Paesaggistico Regionale approvato con Decr. Pres. Regione n. 82 del 07/09/2006 e ricade nelle seguenti categorie di beni:

#### ASSETTO STORICO-CULTURALE

- Beni Paesaggistici ex art. 143 del DLgs 42/04 - Aree Caratterizzate da insediamenti storici - Centro di Antica e Prima formazione esteso a tutta la città di fondazione.
- Beni Identitari ex art. 59 Norme Tecniche di Attuazione del PPR- Scuola.

L'immobile è stato individuato dal Comune in sede di adeguamento del PUC al PPR come "Bene Identitario" - codice 9808 ed è stata individuata l'area cortilizia di pertinenza quale area di tutela integrale.

Il PUC prescrive per tale edificio che possibili interventi di restauro debbano essere compatibili con le caratteristiche architettoniche del bene e la valorizzazione dell'area esterna di pertinenza.

Ai sensi dell'art. 10 del DLgs 42/04 "Codice dei beni Culturali e del Paesaggio" - parte Seconda, il complesso Scolastico "Sebastiano Satta" è sottoposto a disciplina di tutela storica e pertanto, in caso di interventi di restauro, è necessario acquisire il nulla-osta ai sensi dell'art. 21 del citato Codice da parte della competente Soprintendenza.

#### 4.2 *Analisi storica paesaggistica e descrizione aspetti morfologici originari*

L'edificio scolastico "Sebastiano Satta", realizzato nel 1939 con progetto degli architetti Ignazio Guidi e Cesare Valle, sorge nella zona meridionale dell'abitato di Carbonia, come prima espansione del nucleo originario di fondazione della città mineraria.

L'edificio fa parte delle realizzazioni di edilizia per l'istruzione, nell'ambito del vasto programma edificatorio legato al piano di sviluppo urbano, che prevedeva di espandere la città dai 12.000 abitanti del primo piano regolatore ai 50.000 abitanti. La seconda guerra impedì la realizzazione completa di tale programma, ma alla fine negli anni '50 Carbonia raggiunse comunque quell'ambizioso traguardo.

Alla Scuola elementare nord e all'asilo denominato "Giardino d'infanzia", si aggiunge, progettato dagli stessi autori, un nuovo complesso scolastico denominato appunto "Scuola Elementare Sud" ispirato ai rinnovati criteri della didattica tradotti in un programma funzionale moderno ed espresso con un linguaggio immediato che aderisce chiaramente alle realizzazioni europee dei maestri del movimento moderno.

Il fabbricato occupa un lotto regolare nel quartiere residenziale progettato come prima fase dell'espansione urbana successiva al primo piano regolatore della città di Carbonia, caratterizzato da un ordinato impianto a maglia ortogonale parallelo al rio Cannas che prolunga a valle verso Sud il grandioso impianto insediativo a bassa intensità che avvolge il monte Rosmarino.

Il processo di espansione ha continuato fino agli anni '60 interrotto solo nel periodo della seconda Guerra, ma il carattere urbano della città di fondazione è rimasto pressoché invariato.

Il contesto paesaggistico in cui è inserito l'edificio scolastico è quello del quartiere "Rione Sud" che neanche dopo 2 anni dall'inaugurazione, estende in direzione Sud l'impianto urbano fondativo, con le case operaie quadrifamiliari su 2 livelli, con giardino circostante, all'interno di lotti uguali rettangolari (tipologie denominate Santi, Lacchi, Lenti, D'Angelo dal nome dei progettisti), qualificato dal complesso speculare dell'ex Albergo per operai scapoli all'incrocio fra via Mazzini e via Risorgimento, dal prospiciente fabbricato dell'Ex-Spaccio e poi, nella sponda opposta del rio Cannas, dalle tipologie abitative più intensive (le cosiddette case "a pistone" di Eugenio Montuori). Nonostante le ovvie trasformazioni legate al trascorrere del tempo e alle modificazioni degli stili di vita degli abitanti che si sono riflesse in maniera diversa sui vari edifici talvolta con tinteggiature diverse dello stesso fabbricato plurifamiliare, il "Rione Sud" non ha subito trasformazioni urbanistiche di rilievo ed ha conservato l'aspetto originario tipico della città giardino del periodo fondativo mantenendo immutati i rapporti spaziali fra strade, edifici, cortili pertinenziali e spazi pubblici.

L'edificio originario si sviluppa su un impianto planimetrico dinamico e asimmetrico che da un nucleo d'ingresso proietta da una parte un corpo a "L" di aule (il braccio principale a due livelli su seminterrato lungo la strada e quello più corto verso il cortile interno su un solo piano) mentre dall'altra parte connette due volumi rettangolari: uno a tutta altezza destinato in origine alla palestra con asse principale parallelo alla strada e un corpo retrostante su 2 livelli destinato a servizi, uffici e direzione con asse ortogonale al primo.

La Scuola Satta recepisce i moderni orientamenti della didattica volti all'innalzamento degli standard di qualità e di confort ambientale ed innova rispetto ad altre realizzazioni contemporanee, ancora tardivamente improntate al classicismo storicista, per la riconoscibilità delle funzioni attraverso le forme dei volumi che lo compongono:

- il corpo delle aule, che si distingue per lo sviluppo planimetrico caratterizzato dall'ampio corridoio di distribuzione verso la strada e le aule verso il cortile interno al lotto nel rispetto dell'orientamento elioterminico e quindi del comfort ambientale;
- il corpo della palestra, massivo con un ritmo serrato di finestre strette e alte poste a coronamento del volume;
- il corpo d'ingresso, più basso e arretrato rispetto ai primi due, che dichiara la sua centralità nonostante l'asimmetria del sistema grazie al suo rivestimento esterno in travertino e alla qualità del suo spazio interno caratterizzato dal marmo impiegato per il pavimento e il rivestimento della parte inferiore delle alte pareti.

L'edificio è caratterizzato da una minore differenziazione tra il blocco dei servizi e quello delle aule che risulta affidata al ritmo serrato delle aperture strette rispetto al ritmo più diradato delle finestre delle aule. Sotto il profilo volumetrico l'edificio rileva per la forza del segno orizzontale dal corpo delle aule che prospetta sulla strada accentuato dal ritmo regolare di aperture e dal rivestimento in trachite locale molto rustico del basamento.

Nel tempo la struttura è stata sede della Scuola di Avviamento Professionale (con i laboratori ubicati nel piano seminterrato) e poi della Scuola Media Inferiore Sebastiano Satta.

Le successive modifiche all'impianto originario, quali raddoppio in profondità del volume d'ingresso per ricavare la biblioteca con chiusura del loggiato ad archi sul cortile e aggiunta di un braccio ortogonale al corpo delle aule, non hanno alterato la dinamicità dell'impianto e il suo rapporto sia con la città che con il cortile interno dove recentemente è stata ubicata una nuova palestra con forme estranee al carattere dell'edificio.

#### **4.3 Descrizione assetto morfologico e architettonico dello stato attuale**

L'edificio allo stato attuale è caratterizzato da una distribuzione planovolumetrica a "C", e composto da due piani fuori terra ed un piano seminterrato (vedi figura 4.1); la sua attuale conformazione è frutto di momenti edificatori tra loro successivi, che hanno determinato alcune modifiche rispetto all'originaria conformazione ad "L" risalente al 1939.

L'edificio ha un orientamento "Nord-Sud" (anima della C) nella parte parallela alla via Della Vittoria, mentre le due sue estensioni (ali della C) seguono l'andamento "Est-Ovest" e non risulta ombreggiato dalla presenza di ostacoli limitrofi.

Il fabbricato è destinato per la quasi interezza ad ospitare la Scuola Media con i relativi laboratori ed uffici, risulta composto da un corpo centrale adiacente alla via Della Vittoria che si sviluppa su due piani fuori terra e su un piano seminterrato e due corpi secondari posizionati agli estremi del corpo principale che si sviluppano verso il cortile posteriore anch'essi composti da due livelli.

Il piano terra del corpo posteriore (realizzato nel 1939) è riservato agli uffici comunali dello Stato Civile e Anagrafe (di seguito denominato corpo Anagrafe), mentre il corpo laterale destro, di più recente edificazione, accoglie al piano terra alcune aule a servizio della scuola Media, mentre al piano primo si trova una sala conferenza denominata "Sala Velio Spano".

Come già detto, il fabbricato nel corso degli anni ha subito varie interventi di ristrutturazione edilizia che hanno in parte modificato l'assetto morfologico dell'edificio.

L'intervento più significativo è stato la realizzazione del un nuovo corpo di fabbrica posizionato all'estremo inferiore del braccio principale denominato di seguito corpo Velio Spano.

Altra importante modifica rispetto al progetto originario firmato dagli architetti Ignazio Guidi e Cesare Valle, ha interessato sia l'area d'ingresso al fabbricato che il corpo Anagrafe. Nello specifico è stata eseguita la sopraelevazione di tali aree, che ha permesso di incrementare il numero delle aule al piano primo e la realizzazione della biblioteca posizionata laddove originariamente sorgeva il porticato diametralmente opposto all'ingresso.

Lo stato di conservazione dell'immobile, ad esclusione del piano seminterrato dove nelle murature perimetrali sono presenti fenomeni di degrado da umidità di risalita, è sostanzialmente buono grazie alla qualità costruttiva dell'immobile, alla costanza delle manutenzioni ordinarie e degli interventi di ristrutturazione eseguiti nel tempo in quanto non presenta problemi a livello strutturale. Ciononostante, sono state riscontrate alcune criticità come la presenza di infiltrazioni provenienti dalla copertura piana e la presenza di umidità con relativa formazione di muffa ed efflorescenze, dovute all'inadeguata coibentazione che in alcune parti dell'edificio è completamente assente.

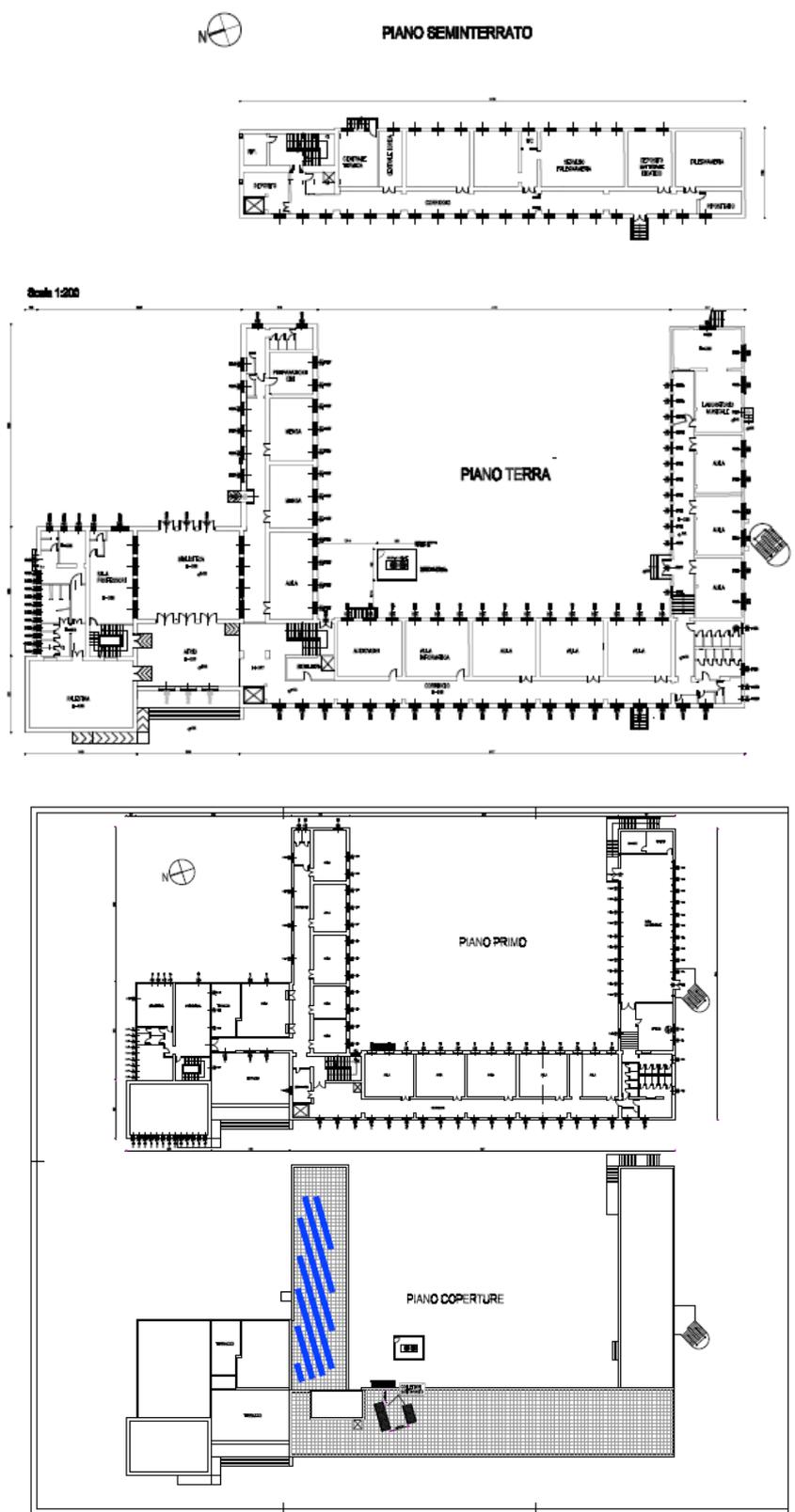
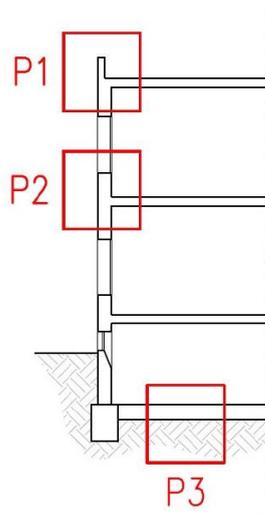
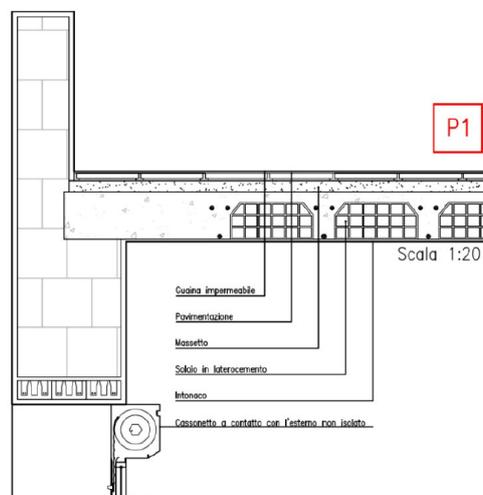


Figura 4.1. Planimetrie dell'edificio Scuola Satta

I differenti momenti edificatori sono confermati anche dalle differenti tipologie costruttive, in quanto il fabbricato realizzato nel 1939 è costituito da una struttura in muratura portante in pietra intonacata di spessore pari a 55 cm, mentre i successivi interventi, che hanno determinato l'ampliamento delle volumetrie del fabbricato, sono stati realizzati mediante tipologie costruttive più recenti e di spessore nettamente inferiore, come rilevate in occasione della campagna di sondaggi eseguita per la caratterizzazione energetica dello stabile, di cui nelle figure 4.2-5 di seguito si riportano alcuni particolari grafici.



**Figura 4.2. Schema particolari costruttivi.**



**Figura 4.3. Tipologia muratura perimetrale in pietra.**

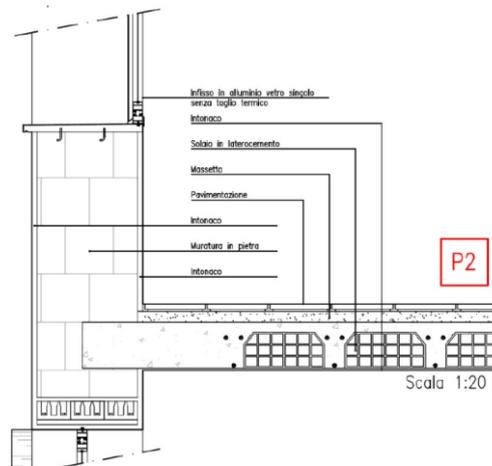


Figura 4.4. Tipologia solaio interpiano.

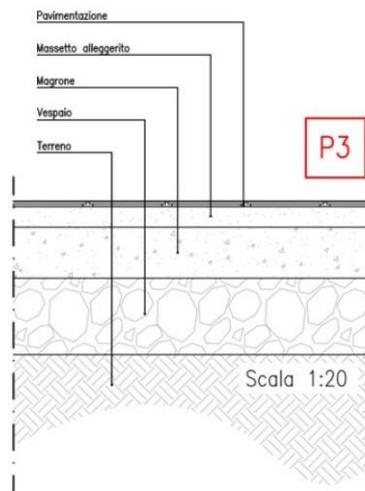


Figura 4.5. Tipologia basamento.

La muratura perimetrale dei corpi aggiunti (vedi figura 4.6) risulta realizzata mediante muratura a cassetta in laterizio con interposto strato isolante realizzato con poliuretano da 10,00 e 6,00 cm.

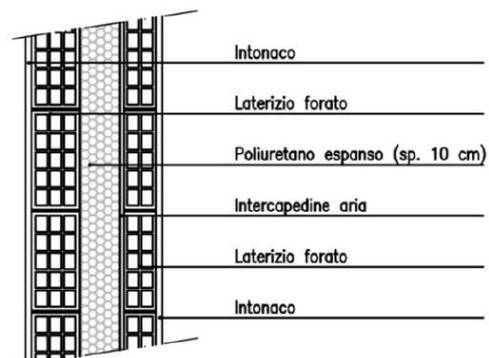


Figura 4.6. Tipologia muratura a cassetta

Le superfici opache orizzontali di copertura sono realizzate mediante solaio di tipo piano in laterocemento privo di coibentazione, mentre il solaio di base risulta di tipo tradizionale composto da vespaio, magrone, massetto alleggerito e rifinitura con pavimentazione in gres.

Le superfici verticali trasparenti, presenti su tutti i prospetti del fabbricato, sono realizzate mediante infissi in alluminio senza taglio termico del tipo monoblocco con vetro singolo, dotati di cassonetto privo di opportuna coibentazione e avvolgibile in PVC, facente parte integrante dell'infisso (vedi figura 4.7).



**Figura 4.7. Tipologia chiusure verticali trasparenti**

Tutte le pareti perimetrali risultano intonacate e rifinite mediante rivestimento in graffiato.

Gli ambienti interni presentano un'altezza di interpiano pari a 4 m., la volumetria lorda è pari a circa 20.525 mc, mentre quella attualmente servita dall'impianto di riscaldamento centralizzato è di circa 17.759 mc, il piano interrato risulta privo di impianto di climatizzazione.

L'impianto per la produzione di calore, ai fini soli del riscaldamento, risulta ubicato entro apposito locale tecnico (centrale termica) ad uso esclusivo, sito al piano seminterrato, ed inserito nella volumetria dell'edificio servito. Al suo interno è installata una caldaia a gasolio avente potenza al focolare pari a 345 kW e potenza utile 315 kW (vedi figura 4.8).



**Figura 4.8. Generatore di calore.**

La tubazione di mandata del generatore di calore si attesta su collettore dal quale si stacca un circuito termomiscelato a mezzo di valvola a quattro vie (non funzionante) che alimenta due circuiti principali, tra loro indipendenti, pressurizzati ciascuno da una elettropompa in esecuzione gemellare.

L'evacuazione dei fumi avviene a mezzo di raccordo fumi in acciaio inox isolato esternamente che si attesta su camino in muratura sfociante sulla copertura dell'edificio.

La distribuzione del fluido termovettore avviene a mezzo di tubazioni a vista prive di isolamento correnti entro l'edificio (figura 4.9). Le tubazioni afferenti ciascun radiatore si staccano in parallelo dalle dorsali principali secondo una configurazione orizzontale del tipo "bitubo".

Le unità terminali di scambio dell'impianto termico sono costituite da radiatori in alluminio (figura 4.9).



**Figura 4.9. Linea di distribuzione del fluido termovettore e terminale di erogazione.**

Contestualmente al mancato funzionamento del sistema preposto alla compensazione climatica della temperatura di mandata del fluido termovettore in funzione delle condizioni climatiche esterne, si rileva altresì la totale assenza di sistemi di termoregolazione asserviti a zone aventi caratteristiche di uso ed esposizione uniformi, ovvero di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali, idonei ad impedire il surriscaldamento conseguente ad apporti aggiuntivi interni ed esterni.

Non risulta presente alcun impianto centralizzato di produzione e distribuzione di acqua calda ai fini igienico-sanitari, né alcun impianto centralizzato per la produzione e distribuzione di acqua refrigerata ai fini della climatizzazione estiva dell'edificio.

L'impianto di illuminazione risulta costituito per la maggior parte da plafoniere di varia tipologia e potenza, incassate nel controsoffitto esistente (dove presente) o disposte a plafone nel soffitto o pendenti tramite cavi esterni; nella palestra sono presenti anche 4 proiettori staffati a muro. Le plafoniere risultano equipaggiate con un numero variabile di lampade tubolari fluorescenti aventi potenze pari a 18 W, 36 W e 58 W. In figura 4.10 sono riportate le varie tipologie dei corpi illuminanti.



**Figura 4.10. Tipologie di corpi illuminanti.**

La dorsale principale della distribuzione elettrica è disposta in canale metallica posta a pochi centimetri dal soffitto, mentre la distribuzione della linea di alimentazione dei corpi illuminanti risulta posizionata all'interno di apposita tubazione rigida in plastica non incassata nella muratura.

Nel 2011 la Regione Sardegna ha pubblicato un bando denominato "Finanziamento di operazioni finalizzate al risparmio e all'efficienza energetica negli edifici degli enti pubblici della Sardegna". L'edificio in oggetto è stato selezionato per la realizzazione di tali interventi. Si riportano pertanto le opere realizzate per la riqualificazione, come desunte dalle relazioni di progetto fornite dal Comune di Carbonia.

Gli interventi finanziati hanno riguardato le seguenti lavorazioni edili [2]:

- realizzazione cappotto esterno su tutte le superfici verticali;
- posa coibentazione su solai di copertura;
- posa coibentazione su solaio piano seminterrato;
- posa infissi monoblocco in alluminio a taglio termico, vetrocamera selettivo a controllo solare e basso emissivo.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento/climatizzazione/ACS, sono state adottate le seguenti misure:

- nuova installazione di un sistema di generazione di calore quale sistema idronico per la produzione di acqua calda e refrigerata del tipo a pompa di calore ad altissima efficienza ( $COP > 3,5$ );
- separazione e termoregolazione dei circuiti per zone omogenee in termini climatici e di destinazione d'uso;
- installazione di adeguati dispositivi atti ad evitare il surriscaldamento dei singoli locali ai carichi parziali o in presenza di apporti gratuiti;
- isolamento tubazioni di distribuzione;
- installazione a nuovo o rifunzionalizzazione dell'esistente sistema di termoregolazione in centrale termica;
- implementazione impianto centralizzato per la climatizzazione estiva dell'edificio e installazione di terminali per l'utilizzo di acqua refrigerata;
- installazione di un sistema centralizzato destinato alla produzione, accumulo e distribuzione di acqua calda ad uso igienico sanitario e contestuale ricorso a fonti rinnovabili mediante l'abbinamento di un impianto solare termico.

Per quanto attiene l'impianto di illuminazione sono state adottate le seguenti misure:

- sostituzione dei corpi illuminanti esistenti (anche se in discrete condizioni di funzionamento), con altri equipaggiati con lampade fluorescenti lineari, aventi una maggiore emissione luminosa;

- posa in opera nell'edificio, nei punti necessari, di idonei sistemi di rilevazione e lettura della luce solare esterna (Luxmetro), per la modulazione della luce artificiale in funzione di quella naturale, in modo da mantenere l'illuminamento globale ad un corretto valore di norma;
- posa in opera nell'edificio, nei punti necessari, di idonei sistemi di rilevamento della presenza (anditi, bagni, aule, uffici, etc.), tramite sensori ad infrarossi passivi, in grado di rilevare la presenza di corpi in movimento grazie alla loro differenza di temperatura rispetto a quella dell'ambiente circostante;
- redistribuzione delle varie zone di accensione degli impianti nei quadri di protezione e comando, in modo da realizzare una corretta parzializzazione funzionale al profilo di utilizzo dell'edificio.

## 5 Diagnosi energetica degli edifici

Il presente lavoro ha come oggetto gli edifici pubblici e a tal proposito merita di essere analizzata più in dettaglio la situazione di uno dei due centri maggiori del Sulcis-Iglesiente: la città di Carbonia [3]. A differenza di Iglesias, che segue delle logiche di fondazione e sviluppo che appartengono alla maggior parte dei centri urbani moderni, questa si distingue invece per essere una città mineraria di fondazione. Il primo nucleo di edificazione fu terminato nel 1938 e da quale momento in poi Carbonia si caratterizza per avere una percentuale di edifici di proprietà pubblica, sia residenziali che non, fra le più alte di Italia. Gli edifici, da punto di vista materico e costruttivo, rispettano fortemente i dettami autarchici del regime fascista, essendo costruiti con materiali e tecniche del luogo. Questo aspetto caratterizza fortemente anche la prestazione energetica dei medesimi. La maggior parte degli edifici pubblici di Carbonia risale a questo periodo ed è sintomatico che entrambi i casi di studio prescelti abbiano caratteristiche simili. I caratteri originari nel tempo sono stati modificati da interventi di ristrutturazione, che hanno avuto luogo principalmente dal dopoguerra fino agli anni più recenti, per necessità di adeguamento funzionale (come nel caso della scuola) o per cambio di destinazione d'uso, (come nel caso della sede della Società Sotacarbo). Da notare che con la dismissione dell'attività mineraria, gran parte degli edifici produttivi hanno subito degli interventi che possono essere ascritti a questa seconda categoria. Da un punto di vista dell'adeguamento energetico degli edifici pubblici la loro omogeneità storica rende particolarmente interessante lo studio attraverso esempi di intervento.

Sulla base degli interventi realizzati sui due edifici campione sono state valutate le prestazioni energetiche raggiunte, come descritto meglio nell'Allegato 1 al presente documento, al quale si rimanda.

Queste sono state valutate con la normativa attualmente in vigore, ovvero la legge 90/2013 e i relativi decreti attuativi del 2015. Si riportano nel seguito pianta e prospetti dell'edificio.

A seguito di diverse proposte di software come strumento di supporto per lo svolgimento della diagnosi, la scelta è ricaduta sul software EDILCLIMA.

## 6 Conclusioni

Una diagnosi energetica ha lo scopo di individuare interventi di efficientamento energetico che risultino sia energeticamente che economicamente vantaggiosi.

Il presente lavoro vuole fornire un quadro di massima che metta in evidenza le possibili opportunità per migliorare e ottimizzare il processo di gestione dell'energia relativo all'edilizia pubblica, con la volontà di esaminare dei casi concreti per poter individuare le criticità e, in un successivo momento, le strategie e gli interventi più opportuni per ridurre concretamente gli sprechi energetici.

Si sono presi in considerazione edifici pubblici del territorio (di cui uno ad uso scolastico) suscettibili di essere riqualificati energeticamente in accordo alla definizione NZEB. A tal proposito è stato attivato un Contratto di Collaborazione con l'Università di Cagliari ed in particolare con il LabEE-UNICA (Laboratorio efficienza Energetica per l'edilizia) del DICAAR. È stata eseguita una diagnosi energetica nello stato in cui tali edifici si trovano attualmente e sono stati valutati interventi di riqualificazione energetica in senso NZEB, insieme con i costi relativi. Oltre alla valutazione energetica dello stato dell'edificio, il lavoro ha previsto un'analisi di altri aspetti che ne influenzano il comportamento energetico e che riguardano il degrado della struttura, delle murature e delle finiture, lo stato di manutenzione degli impianti, la documentazione amministrativa. Il raggiungimento potenziale dell'obiettivo NZEB è stato verificato tramite la diagnosi energetica, in accordo alle migliori pratiche e alle normative del settore, effettuata considerando gli interventi proposti.

Per quanto riguarda l'edificio Sotacarbo è stata quindi eseguita una diagnosi che ha identificato la classe di prestazione energetica globale dell'edificio in classe B, in una scala da A4 (edificio più efficiente) a G (edificio meno efficiente), con un indice di prestazione energetica globale (EP<sub>gl,nren</sub>) pari a 154,15 kWh/m<sup>2</sup>anno.

Seppur la classe energetica si avvicini a situazioni accettabili del fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, sono stati identificati alcuni punti di criticità tra cui le strutture opache e le strutture trasparenti che rendono l'edificio lontano dall'essere un Nzeb.

In virtù di ciò, sono stati elaborati scenari di miglioramento e fra questi quelli che risultano maggiormente significativi sono:

- la realizzazione di un cappotto interno,
- la coibentazione del solaio confinante verso ambiente non climatizzato,

per un costo d'intervento stimabile in 19997.07 € e la sostituzione del solo vetro delle strutture trasparenti per un costo d'intervento di 9423.9 € per un totale di 29420.97 €.

Nell'edificio scolastico Satta, i lavori realizzati di recente hanno sicuramente apportato un miglioramento considerevole. L'edificio attualmente è in classe energetica A1.

Volendo analizzare più nel dettaglio l'attuale prestazione e la prospettiva di miglioramento è possibile individuare due punti di criticità.

Anzitutto dal calcolo non è emerso il miglioramento conseguente all'integrazione della caldaia con la pompa di calore per il riscaldamento. Il modello di calcolo utilizzato (asset rating secondo UNI-TS serie 11300, implementato attraverso il software EC700 della Edilclima) ha riscontrato una migliore prestazione energetica avvalendosi della sola caldaia a gasolio. Sono necessarie ulteriori valutazioni per motivare il risultato.

Altro aspetto che merita un'ulteriore indagine è la possibilità di inserire un sistema di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore. Il fabbisogno di riscaldamento per la ventilazione, infatti, risulta essere maggiore di quello per trasmissione. Ciò è dovuto anche al nuovo modello di calcolo delle portate per cui, inserendo il valore di portata desunto dalla UNI 10339, anziché basarsi su valori standard di ricambi ora, porta decisamente a considerare un ingresso di aria dall'esterno maggiore di quanto non fosse stimato con la normativa in vigore prima del Giugno 2015.

## 7 Riferimenti bibliografici

1. : F. Barracu, D. Marrocu. *“Proposta per la riqualificazione energetica delle strutture adibite a centro ricerche della Sotacarbo.* Tesi del Master di II livello in Bioedilizia ed Efficienza Energetica dell’Università di Cagliari, A.A. 2013/14
2. F. Salaris. *Analisi progetto di riqualificazione energetica di un edificio pubblico soggetto a tutela storica ai sensi dell’art. 10 del D. Lgs.42/04. Scuola Media Sebastiano Satta.* Tesi del Master di II livello in Bioedilizia ed Efficienza Energetica dell’Università di Cagliari, A.A. 2013/14
3. A. Sanna (a cura di). *I manuali del recupero dei centri storici della Sardegna. Il Sulcis e l’Iglesiente.* Dei, Roma, 2009

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

**DICAAR - Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura**



Studio sulla riqualificazione a nZEB di edifici pubblici del Sulcis

## **ALLEGATO 1**

Giuseppe Desogus  
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e Architettura  
Università di Cagliari  
Via Santa Croce 67  
09124 Cagliari  
+39 070 6755395  
gdesogus@unica.it

COMMITTENTE: Sotacarbo SpA  
DATA: Agosto 2016

## Indice

SOMMARIO .....	3
1 INTRODUZIONE .....	4
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	5
2.1 ANALISI DEL PATRIMONIO EDILIZIO DEL SULCIS-IGLESIENTE ED INDIVIDUAZIONE DEI CASI DI STUDIO .....	5
2.2 I CASI DI STUDIO: DESCRIZIONE SINTETICA .....	7
2.3 L'EDIFICIO SEDE DELLA SOTACARBO SPA. CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA.....	18
2.4 LA SCUOLA "SEBASTIANO SATTÀ". CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA.....	29
3 CONCLUSIONI .....	39
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	41
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	41

## Sommario

La presente relazione è stata redatta nell'ambito della ricerca dal titolo "Studio sulla riqualificazione a nZEB di edifici pubblici del Sulcis", commissionata dalla Società Sotacarbo SPA al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e Architettura dell'Università di Cagliari. Tale indagine fa parte del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2015 per la Ricerca di Sistema Elettrico e si inserisce nell'ambito del Progetto D.2 "Edifici a energia quasi zero (NZEB)", di cui al citato Piano Annuale di Realizzazione 2015.

## 1 Introduzione

L'attività di ricerca svolta ha avuto anzitutto l'obiettivo di individuare due casi di studio significativi del patrimonio di edilizia pubblica dell'area. Per far ciò si è provveduto preliminarmente a condurre un'indagine storica sull'evoluzione del costruito.

L'analisi storica effettuata ha permesso di restringere l'area di interesse alla città di Carbonia, i cui edifici si caratterizzano per alcune peculiarità costruttive di assoluto interesse. All'interno dell'area sono stati individuati come casi di studio: un edificio adibito principalmente ad uffici (la sede della Sotacarbo SPA) ed un edificio scolastico (la scuola "Sebastiano Satta").

Sui questi edifici sono stati condotti audit energetici volti ad individuare la morfologia e le caratteristiche costruttive e funzionali dell'involucro e degli impianti e, laddove possibile, a ricostruire lo storico dei consumi.

Una volta raccolti i dati in campo si è proceduto a calcolare la prestazione energetica con la metodologia indicata dai decreti del 26 Giugno 2015 e utilizzando la versione più aggiornata delle specifiche tecniche di riferimento (serie UNI TS 1330). Il calcolo è stato svolto con l'ausilio del software prodotto da Edilclima (EC700 e moduli integrativi). La finalità del calcolo è stata quella di individuare gli interventi migliorativi da mettere in essere nell'ottica di avvicinare gli edifici al modello NZEB. Nel caso della scuola, già oggetto di riqualificazione, sono stati valutati i risultati conseguiti.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 *Analisi del patrimonio edilizio del Sulcis-Iglesiente ed individuazione dei casi di studio*

Il Sulcis-Iglesiente coincide con il più grande bacino minerario della Sardegna ed ha costituito storicamente un'area strategica per l'estrazione di risorse tra le più ambite e pregiate del mondo antico, moderno e contemporaneo. La struttura insediativa di questo territorio è stata dunque potentemente disegnata, nel tempo, dai processi e dai sistemi di utilizzo delle sue risorse: quelle metallifere anzitutto, la cui importanza è testimoniata dalle fonderie nuragiche così come dai pozzi medioevali; e poi anche il rapporto con il mare e i corridoi di comunicazione tra la costa e l'interno, primo fra tutti quell'asse del Cixerri che costituiva il collegamento più diretto e immediato tra il bacino minerario e la grande pianura del Campidano, e in particolare con il terminale meridionale a mare costituito dal sistema cagliaritano. Tuttavia, la forza spesso distruttiva degli interessi connessi a queste risorse si è periodicamente abbattuta sull'insediamento stesso, la cui consistenza si è rivelata spesso comparativamente fragile, scompaginandolo e costringendolo a periodiche ristrutturazioni. In questo senso, il Sulcis è oggi un palinsesto insediativo più e più volte riscritto, e appare attualmente come un "territorio di fondazioni", sempre connesse in un modo o nell'altro alle crisi e ai successivi rilanci del comparto minerario; sotto questo profilo si può affermare che da almeno 750 anni (e probabilmente anche da molto tempo prima) il Sulcis-Iglesiente costituisce il luogo per eccellenza dell'innovazione, nell'ambito ed alla scala della Sardegna.

Infatti, l'episodio delle "città del carbone" degli anni '30 del '900 (Carbonia, Cortoghiana, Bacu Abis) non è che l'ultimo di una serie di fondazioni che hanno periodicamente rimodellato il volto del sistema insediativo sud occidentale.

Prima della nascita di Carbonia il centro principale dell'area è storicamente stato Iglesias. Fin dalla sua fondazione nel 1256, fa da polo forte del controllo del territorio metallifero, collocandosi come terminale a monte dell'asse del Cixerri, in un nodo strategico che costituisce lo spartiacque tra quella valle e tutto il resto del territorio che si affaccia sul mare di Sardegna, su un promontorio che segna la fine dei vasti spazi delle due pianure e l'inizio dei rilievi. La nascita e lo sviluppo della "città dell'argento", con la sua grande forza attrattiva nei confronti del territorio rurale, avvia la prima crisi dell'insediamento minuto, che diventerà devastante nel corso del '300, durante il quale una vera e propria "catastrofe insediativa", che si protrae sino agli inizi del '400, azzerò il tessuto dei centri abitati del Sulcis e delle isole.

Appena passata la grande emergenza dell'inizio del '400, singole famiglie di coloni cominciano a essere attratte proprio da quel territorio vuoto, e a partire da un momento imprecisato, ma che dovrebbe collocarsi al passaggio tra '600 e '700, tendono a stanziarsi in modo sempre meno precario. Peraltro il '700, con l'avvento della monarchia sabauda e del suo "riformismo" di matrice illuminista, porta con sé un nuovo progetto di riforma del territorio e dell'insediamento che parte anzitutto dalle aree del grande spopolamento: non è un caso che la politica delle fondazioni si realizzi anzitutto nel Sulcis, dove a partire dagli anni '30 del '700 sorgono i primi centri di origine sabauda. È anzitutto significativa la ricolonizzazione dell'isola di San Pietro, con Carloforte che rafforza considerevolmente la proiezione verso il mare del territorio; seguono quella di Gonnese e Calasetta e il rilancio di S. Antioco e Portoscuso, mentre più in generale si dà il via a un'occupazione più stabile del grande "vuoto" del Sulcis.

La struttura attuale dell'insediamento nel Sulcis è costituita dagli sviluppi che si sono stratificati a partire dall'impianto base dei "medaus" o "furriadroxius". Questi sono nuclei abitativi e produttivi a base familiare, cui viene affidato il ripopolamento del territorio di cui sopra. Fonti storiche descrivono questo habitat nel seguente modo: *"Queste case furono prima fabbricate dai proprietari d'Iglesias, e dei villaggi vicini, per la gran distanza che li separava dai loro fondi, e così servissero di ricovero nel tempo delle operazioni agricole, e potessero sorvegliare i seminati per non esser devastati dal bestiame girovago. Queste case presero il nome di Furriadroxius, ma a poco a poco sentirono il bisogno di avvicinarsi in borghi senza formare villaggi con delle strade"*. Le forme di questo habitat sono basate sulla ripetizione e giustapposizione della cellula edilizia elementare, di volta in volta disposta a formare recinti insieme ai bassi muri a secco, raddoppiata in

profondità e larghezza (più raramente in altezza) a costituire “corti rurali” appoggiate con brevi vicoli alla viabilità minore, oppure da questa attraversate. Si tratta di case-fattoria, nelle quali la commistione tra le funzioni abitative e quelle produttive è assoluta: i loggiati per il bestiame si affiancano senza soluzione di continuità ai corpi di fabbrica elementari, in sequenze lineari o articolate secondo le necessità della vita rurale.

L'Ottocento è il secolo che vede l'organizzazione dell'habitat del Sulcis nella forma in cui lo conosciamo. Due fenomeni distinti ma concomitanti sembrano agire. Da un lato, la crescente pressione dei gruppi familiari ad occupare ed utilizzare le terre incolte, in un contesto ancora disperso e privo di veri poli urbani, ma nel quale comincia ad avvertirsi la tendenza ad aggregarsi attorno alle chiese storicamente presenti nell'area, sopravvivenza delle antiche parrocchiali o pievi rurali, costituendo nuclei con una maggiore massa critica, citati nelle fonti storiche come “boddeus”. D'altro lato, agisce la spinta istituzionale dello stato sabaudo a consolidare la presa pubblica sul territorio, rafforzando i boddeus stessi con l'innesto di funzioni amministrative di base, in modo da incentivare lo sviluppo di vere entità di villaggio. Il processo dell'accentramento di servizi e residenze in un unico nucleo comunale, nella forma odierna, è dunque estremamente recente. Negli anni '30 dell'Ottocento il panorama insediativo vede una situazione nella quale medaus e furriadroxius minori e minimi coesistono con un numero molto limitato di aggregati di case sparse (appunto i boddeus) cui non riconosce ancora dignità di vero e proprio villaggio. È questa una fase particolarmente favorevole per l'intero Sulcis, che ha raggiunto un ragionevole equilibrio tra popolazione e risorse agro-pastorali e sta vivendo (a cavallo del secolo) i riflessi dello sviluppo del comparto minerario.

Da questo momento, infatti, il rilancio del comparto minerario riavvia con rande slancio, in un contesto europeo e internazionale ovviamente del tutto nuovo, una nuova fase insediativa, con l'espansione dei principali nuclei esistenti, a cominciare da Iglesias, mentre nel Sulcis si rafforza la trasformazione di alcuni medaus in vere e proprie entità comunali.

Tuttavia, le difficoltà di accesso ai servizi urbani hanno progressivamente reso marginale, specie a partire dagli anni '50, l'insediamento disperso. Comincia (o prosegue, ma su ritmi molto più accelerati) il fenomeno dell'accentramento su quei poli territoriali che attraggono progressivamente attrezzature pubbliche, occasioni di lavoro, servizi terziari.

Oggi, in ogni comune il polo centrale cresce in quantità edilizia e popolazione, a danno dei medaus. Si formano così, in genere, i cosiddetti “centri di strada”, agglomerati che si sviluppano non secondo forme compatte, con gli isolati che occupano progressivamente la campagna “a macchia d'olio”, ma con un'edificazione a filo-strada, che tende cioè a concentrarsi sulle vie di accesso ed attraversamento in quanto costituisce la forma più congeniale alla storia ed alla tradizione dell'habitat sulcitano. Infatti, il principio ispiratore del “medau” è appunto il modello del nucleo autosufficiente, collocato a rilevante distanza da altri, al di fuori di ogni specifica economia di spazio. Così, anche la scelta di accentramento, che accorcia le grandi distanze, non produce mai un habitat compatto, ma prolunga il carattere della dispersione in una forma di “sfrangiamento” del centro; e nemmeno i più “urbani” di tutti gli insediamenti del Sulcis, si sottraggono a questa regola. Malgrado quindi un certo accentramento, il tasso di dispersione dell'habitat resta comunque molto elevato.

Il presente lavoro ha come oggetto gli edifici pubblici e a tal proposito merita di essere analizzata più in dettaglio la situazione di uno dei due centri maggiori del Sulcis-Iglesiente: la città di Carbonia. A differenza di Iglesias, che segue delle logiche di fondazione e sviluppo che appartengono alla maggior parte dei centri urbani moderni, questa si distingue invece per essere una città mineraria di fondazione. Il primo nucleo di edificazione fu terminato nel 1938 e da quale momento in poi Carbonia si caratterizza per avere una percentuale di edifici di proprietà pubblica, sia residenziali che non, fra le più alte di Italia. Gli edifici, da punto di vista materico e costruttivo, rispettano fortemente i dettami autarchici del regime fascista, essendo costruiti con materiali e tecniche del luogo. Questo aspetto, come evidenziato nel seguito, caratterizza fortemente anche la prestazione energetica dei medesimi. La maggior parte degli edifici pubblici di Carbonia risale a questo periodo ed è sintomatico che entrambi i casi di studio prescelti abbiano caratteristiche simili. I caratteri originari nel tempo sono stati modificati da interventi di ristrutturazione, che hanno avuto luogo

principalmente dal dopoguerra fino agli anni più recenti, per necessità di adeguamento funzionale (come nel caso della scuola) o per cambio di destinazione d'uso, (come nel caso della sede della Società Sotacarbo). Da notare che con la dismissione dell'attività mineraria, gran parte degli edifici produttivi hanno subito degli interventi che possono essere ascritti a questa seconda categoria. Da un punto di vista dell'adeguamento energetico degli edifici pubblici la loro omogeneità storica rende particolarmente interessante lo studio attraverso esempi di intervento, come quelli descritti nel seguito.

## 2.2 I casi di studio: descrizione sintetica

### SEDE DELLA SOTACARBO SPA

L'edificio oggetto di studio è collocato nelle aree della "Grande Miniera" di Serbariu, situata nella periferia sud-occidentale dell'abitato di Carbonia. Le miniere di carbone di Serbariu fanno parte del sistema minerario connesso alla città di Carbonia e la loro organizzazione come la costruzione di questo ed altri edifici, risale ai primi anni Quaranta. Gli edifici un tempo utilizzati per l'industria mineraria di Serbariu sono direttamente collegate alle fasi produttive e di lavorazione del minerale, concepite secondo riferimenti tipologici e tecnologici appartenenti alla cultura moderna della costruzione, ma realizzate in pieno periodo autarchico e pertanto ricche di numerosi episodi di contaminazione con materiali e tecniche della tradizione costruttiva locale.

Per l'analisi ed il rilievo della struttura si è ipotizzato che l'edificio sia caratterizzato dalle stesse tecniche costruttive degli edifici limitrofi. Nelle vicinanze dell'edificio oggetto dell'analisi sono presenti i padiglioni di supporto all'attività della Grande Miniera, si distinguono di certo quelli un tempo destinati ad accogliere la torneria, le forge e la falegnameria. I tre blocchi, per ragioni funzionali, si articolano con impianto a T, secondo uno schema rigorosamente geometrico. Il braccio centrale, dov'era collocata la sala forge, è orientato secondo l'asse nord-ovest sud-est, di simmetria per l'intero complesso. Ciascuna delle ali del fabbricato ha pianta rettangolare, con dimensioni rispettivamente di 44 x 16 m e quella centrale e di 39x13 m le due laterali, contrapposte e uguali. La natura delle attività che vi si svolgevano ha ridotto la distribuzione interna all'essenziale e, fatta eccezione per qualche piccolo vano di servizio, ogni padiglione dispone di un grande open space a tutta altezza, di superficie non inferiore ai 400 metri quadrati. Ai fabbricati originari sono stati accostati successivamente alcuni volumi accessori per il deposito di materiale, che consistono per lo più in tettoie provvisorie sostenute da strutture metalliche ormai inservibili.

Lo schema volumetrico e strutturale dei tre padiglioni è analogo: la copertura era irrimediabilmente degradata, era a due falde uguali con linee di gronda parallele ai lati lunghi, impostate a circa otto metri di altezza dal piano di campagna. Un lucernaio a nastro continuo, anch'esso a doppia falda, che sporge sulla sommità del tetto, garantiva un'ottimale illuminazione dei grandi ambienti di lavoro interni e, soprattutto, ne assicurava l'aerazione naturale, funzionando da estrattore. Dal punto di vista costruttivo la copertura rappresenta, per l'epoca, l'elemento con il maggior grado di innovazione tecnologica. Infatti, la struttura che la sostiene è costituita da una serie di travi reticolari triangolari in cemento armato, a sezione sottile, di luce di 13 e 16 metri, realizzate a piè d'opera e successivamente montate con interasse costante di circa 3 metri. Si tratta di una scelta strutturale di grande fascino, che risolve la necessità di superare i limiti associati all'impiego delle tradizionali palladiane lignee, senza peraltro far ricorso a strutture metalliche, in accordo con le restrizioni imposte in regime di autarchia. Inoltre, gli impalcati di falda, estremamente leggeri, erano realizzati con tavelloni in laterizio e barre lisce di armatura ordite fra le travi principali, secondo il brevetto Perret, mentre il manto di copertura era costituito con tegole marsigliesi posate su un massetto in calcestruzzo alleggerito.

L'involucro esterno può essere schematicamente suddiviso in testate e pareti laterali. In ogni testata libera è posizionata un'unica, ampia apertura rettangolare, tripartita per mezzo di un telaio in cemento armato a sostegno dei portoni di ingresso alti circa quattro metri. Le pareti laterali sono contraddistinte da tre differenti elementi: un telaio in cemento armato, con tre ordini di travi, che costituisce la struttura portante delle reticolari di copertura; una muratura di tamponamento spessa circa settanta centimetri, a doppio

paramento di bozze irregolari di trachite, apparecchiata secondo le modalità tipiche della traduzione costruttiva sarda, con scaglie di rinzeppatura e allettamento misto di terra e calce, intonacata sia all'interno sia all'esterno; un sistema di aperture inserite all'interno dei moduli del telaio resistente, di forma rettangolare con altezza pari a circa un terzo della base.

Durante le opere di recupero è stato modificato l'assetto distributivo interno, introducendo un piano di calpestio aggiuntivo alla quota di +3.50 metri dal piano di campagna.

Le travi reticolari di copertura sono state integralmente ricostruite in cemento armato, mantenendo inalterata la geometria di quelle originali, e lasciate in vista negli ambienti del secondo livello che, in tal modo, permettendo di usufruire anche dell'illuminazione zenitale proveniente dal lucernaio. In concetti di reversibilità dell'intervento e di compatibilità fra vecchio e nuovo costituiscono i principi ispiratori dell'intero progetto di recupero. Infatti, i telai in acciaio che sostengono il nuovo livello sono opportunamente distanziati dalle murature esistenti, con l'intento di svincolare totalmente la nuova struttura da quella originaria, rendendole indipendenti fra loro. In questo modo si limitano i rischi di incompatibilità fra materiali e si evita di gravare con carichi parassiti incontrollati le strutture esistenti. Inoltre, si garantiscono procedure semplificate di messa in opera e, soprattutto, l'intervento può essere realmente considerato reversibile, nel senso che un'eventuale demolizione delle nuove edificazioni consentirebbe di ripristinare il volume originario senza intaccare in modo significativo l'involucro.

L'edificio oggi utilizzato come sede della Società Sotacarbo presenta delle caratteristiche analoghe a quelli limitrofi sopra descritti. Occupa un'area approssimabile a un rettangolo di 50 x 54 m di lato; esso si sviluppa attorno ad una corte interna di circa 29 x 30 m, al cui interno, i due lati maggiori sono collegati da una più recente struttura. Le ali con tetto a falda sono caratterizzate da copertura a due falde uguali con linee di gronda parallele ai lati lunghi, impostate a circa sei metri di altezza dal piano di campagna. Sono presenti dei lucernai, anch'essi a doppia falda, che sporgono sulla sommità del tetto, che sicuramente garantiscono un'ottimale illuminazione dei grandi ambienti di lavoro interni e ne assicuravano l'aerazione naturale, funzionando da estrattore. Oggi tali lucernai hanno perso la loro natura funzionale, essendo completamente chiusi da una lamiera grecata.

La struttura che sostiene la copertura è costituita da una serie di travi reticolari triangolari in cemento armato, a sezione sottile, di luce di 13 metri circa, realizzate a piè d'opera e successivamente montate con interasse costante di circa 3 metri. Non è stato possibile fare indagini sugli impalcati di falda, che originariamente erano realizzati con tavelloni in laterizio e barre lisce di armatura ordite fra le travi principali, secondo il brevetto Perret, mentre il manto di copertura era costituito con tegole marsigliesi posate su un massetto in calcestruzzo alleggerito che oggi si presentano visivamente con una lamiera grecata poggiata sulle travi che sorreggono l'impalcato. Le coperture delle porzioni di fabbricato senza copertura a due falde, sono piane e si suppone siano in latero-cemento su orditura di travi incrociate in cemento armato come presente in strutture vicine quali il padiglione ex officine.

Le sale espositive e l'auditorium risalgono a un intervento di ristrutturazione iniziato nel 2002. La copertura di questi nuovi spazi è di concezione più moderna. Presentano una struttura portante in legno lamellare di varie sezioni con un pacchetto di copertura costituito da un tavolato di 2 cm di abete rosso con profili ad incastro, uno strato di 4 cm di sughero, una camera d'aria di 4 cm, uno strato di 2 cm di abete rosso con profili ad incastro ed infine un doppio strato di tegole bituminose di tipo canadese.

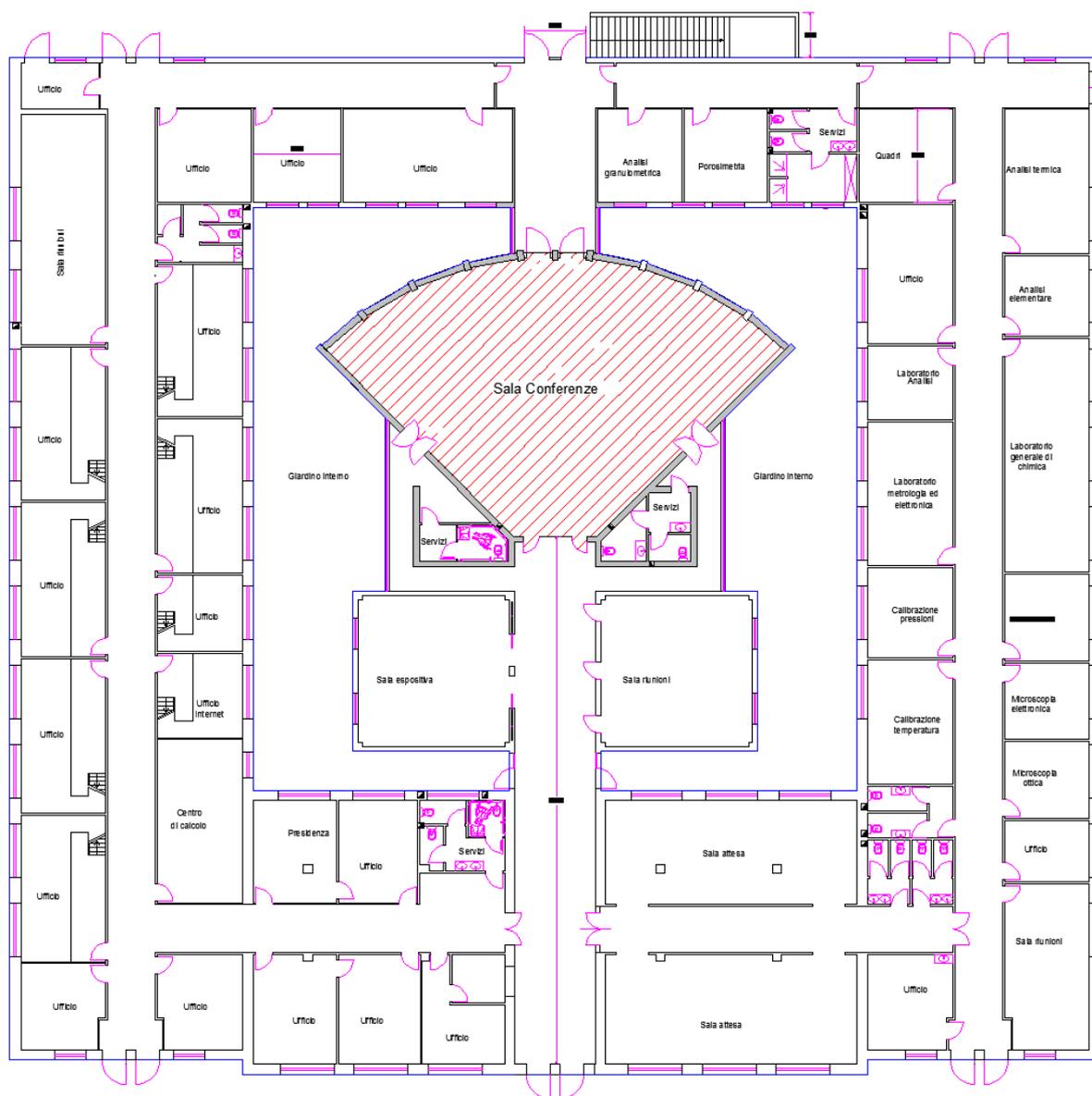
Gli attraversamenti che collegano la struttura originale con le sale espositive e l'auditorium sono realizzati con pannelli sandwich.

Le pareti laterali sono costituite da differenti elementi. Anzitutto una muratura portante, che si è supposto, data la tipologia delle strutture vicine, spessa, nei prospetti nord-est e sud-ovest, sessanta centimetri, a doppio paramento di bozze irregolari di trachite, apparecchiata secondo le modalità tipiche della traduzione costruttiva sarda, con scaglie di rinzeppatura e allettamento misto di terra e calce, intonacata sia all'interno sia all'esterno. Nel prospetto nord-ovest il muro in trachite è di spessore pari a cinquanta centimetri ed intonacato solo nella parte interna ed a vista verso l'esterno.

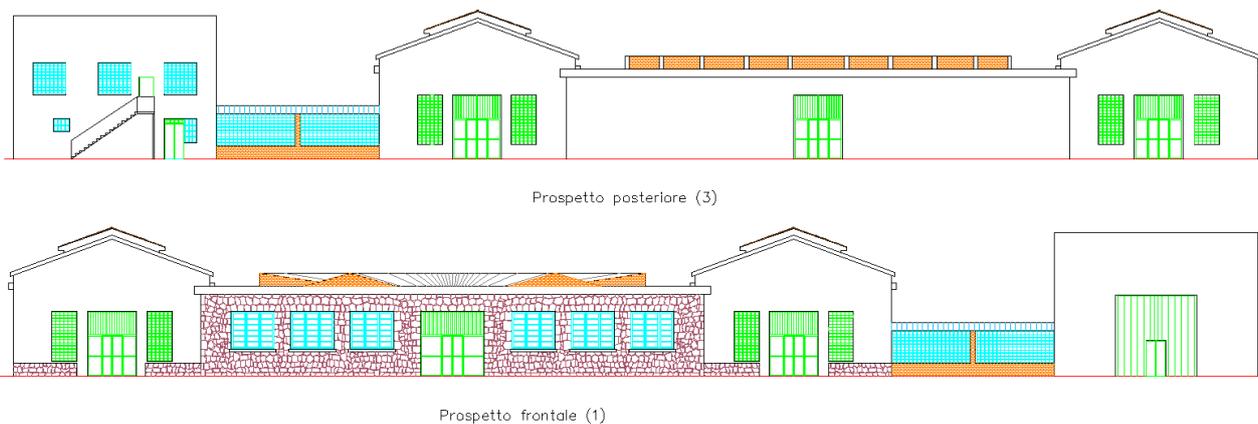
La muratura a sud-est, sempre in trachite, risalente all'intervento di ristrutturazione è invece realizzata in laterizio porizzato ed ha spessore comprensivo di intonaco interno ed esterno pari a trenta centimetri. I prospetti che si affacciano verso la corte interna, nuovamente in trachite, hanno spessore compreso tra i cinquanta ed i cinquantacinque centimetri comprensivi di intonaco interno ed esterno. La muratura dei volumi di più recente edificazione sono costituite da un mattone in cotto faccia a vista di dodici centimetri verso l'esterno, uno strato d'aria di quattro centimetri circa, uno strato di polistirene espanso estruso di quattro centimetri, uno strato di mattone forato da otto centimetri ed uno strato di intonaco premiscelato di gesso da un centimetro e mezzo verso l'interno.

Gli infissi sono costituiti da telaio in legno e vetro singolo nel prospetto a nord est e sud ovest, mentre nel prospetto nord ovest sono presenti delle finestrate a telaio fisso metallico e vetro singolo e delle finestre con telaio in legno e vetro singolo e dei portoni metallici sormontati da un lucernario con telaio metallico e vetro. Nel prospetto sud ovest sono presenti delle finestre non apribili con telaio metallico e vetro singolo e dei portoni metallici della stessa tipologia di quelli del prospetto nord ovest.

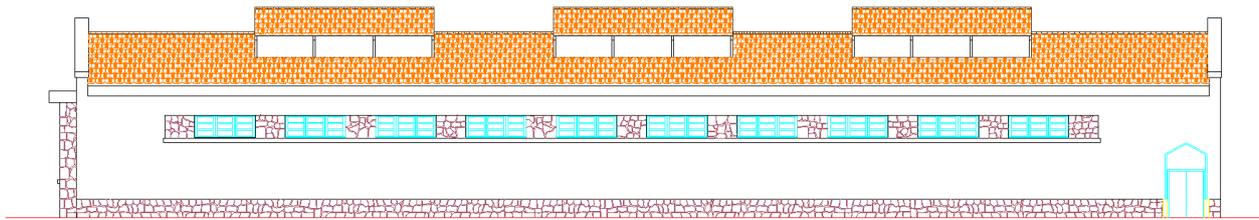
Nelle porzioni di fabbricato con copertura a due falde è stato realizzato, nella stessa direzione della linea di colmo della copertura, un soppalco in orso-grill calpestabile sorretto da una struttura portante in acciaio che sormonta il corridoio. In uno dei due corpi del fabbricato, destinato a ospitare degli uffici, con copertura a falde è stato realizzato un soppalco con struttura metallica per meglio sfruttare l'altezza. I volumi del sottotetto sono separati dai volumi sottostanti attraverso un controsoffitto in cartongesso costituito da moduli 60 x 60 cm. Si riportano nel seguito pianta e prospetti dell'edificio.



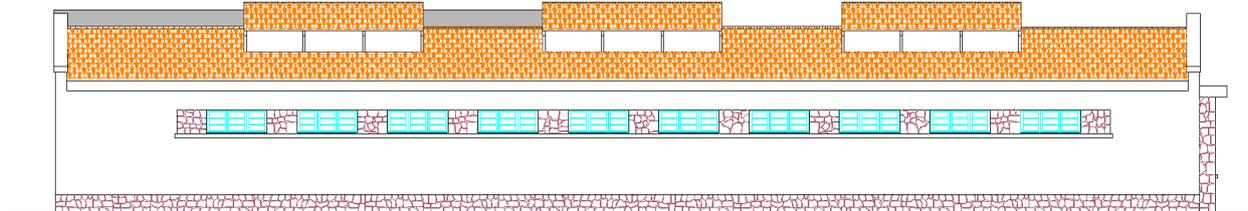
**Figura 1. Pianta dell'edificio con indicazione della destinazione d'uso dei locali**



**Figura 2. Prospetti frontale e posteriore dell'edificio**



Prospetto laterale destro (2)



Prospetto laterale sinistro (4)

### Figura 3. Prospetti laterali

#### LA SCUOLA "SEBASTIANO SATTA"

In questa sezione, organizzata in uno o più capitoli, si descrive il lavoro svolto (teoria, metodologie sperimentali utilizzate, tecnologie sviluppate, ecc.) e s'illustrano i risultati ottenuti ed eventuali prodotti realizzati.

L'edificio scolastico "Sebastiano Satta", realizzato nel 1939 con progetto degli architetti Ignazio Guidi e Cesare Valle, sorge nella zona meridionale dell'abitato di Carbonia, come prima espansione del nucleo originario di fondazione della città mineraria. L'edificio fa parte delle realizzazioni di edilizia per l'istruzione nell'ambito del vasto programma edificatorio legato al piano di sviluppo urbano che prevedeva di espandere la città dai 12.000 abitanti del primo piano regolatore ai 50.000 abitanti. La seconda guerra impedirà la realizzazione completa di tale programma ma alla fine negli anni '50 Carbonia raggiunge comunque quell'ambizioso traguardo. Alla Scuola elementare nord e all'asilo denominato "Giardino d'infanzia", si aggiunge, progettato degli stessi autori, un nuovo complesso scolastico denominato appunto "Scuola Elementare Sud" ispirato ai rinnovati criteri della didattica tradotti in un programma funzionale moderno ed espresso con un linguaggio immediato che aderisce chiaramente alle realizzazioni europee dei maestri del movimento moderno. Il fabbricato occupa un lotto regolare nel quartiere residenziale progettato come prima fase dell'espansione urbana successiva al primo piano regolatore della città di Carbonia caratterizzato da un ordinato impianto a maglia ortogonale parallelo al rio Cannas che prolunga a valle verso Sud l'impianto insediativo a bassa intensità che avvolge il monte Rosmarino. Il processo di espansione continuerà fino agli anni '60 interrotto solo nel periodo della seconda Guerra ma il carattere urbano della città di fondazione rimarrà pressoché invariato. Il contesto paesaggistico in cui è inserito l'edificio scolastico è quello del quartiere "Rione Sud" che neanche dopo due anni dall'inaugurazione estende in direzione Sud l'impianto urbano fondativo, con le case operaie quadrifamiliari su due livelli con giardino circostante all'interno di lotti uguali rettangolari (tipologie denominate Santi, Lacchi, Lenti, D'Angelo dal nome dei progettisti) qualificato dal complesso speculare dell'ex Albergo per operai scapoli all'incrocio fra via Mazzini e via Risorgimento, dal prospiciente fabbricato dell'Ex-Spaccio e poi, nella sponda opposta del rio Cannas, dalle tipologie abitative più intensive (le cosiddette case "a pistone" di Eugenio Montuori). Nonostante le ovvie trasformazioni legate al trascorrere del tempo e alle modificazioni degli stili di vita degli abitanti che si sono riflesse in maniera diversa sui vari edifici talvolta con tinteggiature diverse dello stesso fabbricato plurifamiliari, il "Rione Sud" non ha subito trasformazioni urbanistiche di rilievo ed ha conservato l'aspetto originario tipico della città giardino del periodo fondativo mantenendo immutati i rapporti spaziali fra strade, edifici, cortili pertinenziali e spazi pubblici.

L'edificio originario si sviluppa su un impianto planimetrico dinamico e asimmetrico che da un nucleo d'ingresso proietta da una parte un corpo a "L" di aule (il braccio principale a due livelli su seminterrato lungo la strada e quello più corto verso il cortile interno su un solo piano) mentre dall'altra parte connette due volumi rettangolari: uno a tutta altezza destinato in origine alla palestra con asse principale parallelo alla strada e un corpo retrostante su due livelli destinato a servizi, uffici e direzione con asse ortogonale al primo. La Scuola Satta recepisce i moderni orientamenti della didattica volti all'innalzamento degli standard di qualità e di comfort ambientale ed innova rispetto ad altre realizzazioni contemporanee, ancora tardivamente improntate al classicismo storicista, per la riconoscibilità delle funzioni attraverso le forme dei volumi che lo compongono:

- il corpo delle aule, che si distingue per lo sviluppo planimetrico caratterizzato dall'ampio corridoio di distribuzione verso la strada e le aule verso il cortile interno al lotto nel rispetto dell'orientamento elioteramico e quindi del comfort ambientale;
- il corpo della palestra, massivo con un ritmo serrato di finestre strette e alte poste a coronamento del volume;
- il corpo d'ingresso, più basso e arretrato rispetto ai primi due, che dichiara la sua centralità nonostante l'asimmetria del sistema grazie al suo rivestimento esterno in travertino e alla qualità del suo spazio interno caratterizzato dal marmo impiegato per il pavimento e il rivestimento della parte inferiore delle alte pareti.

L'edificio è caratterizzato da una minore differenziazione tra il blocco dei servizi e quello delle aule che risulta affidata al ritmo serrato delle aperture strette rispetto al ritmo più diradato delle finestre delle aule. Sotto il profilo volumetrico, l'edificio rileva per la forza del segno orizzontale dal corpo delle aule che prospetta sulla strada accentuato dal ritmo regolare di aperture e dal rivestimento in trachite locale molto rustico del basamento. Nel tempo la struttura è stata sede della Scuola di Avviamento Professionale (con i laboratori ubicati nel piano seminterrato) e poi della Scuola Media Inferiore Sebastiano Satta.

Le successive modifiche all'impianto originario, quali il raddoppio in profondità del volume d'ingresso per ricavare la biblioteca con chiusura del loggiato ad archi sul cortile e aggiunta di un braccio ortogonale al corpo delle aule, non hanno alterato la dinamicità dell'impianto e il suo rapporto sia con la città che con il cortile interno dove recentemente è stata ubicata una nuova palestra con forme estranee al carattere dell'edificio. Allo stato attuale è caratterizzato da una distribuzione planovolumetrica a "C", è composto da due piani fuori terra ed un piano seminterrato, la sua attuale conformazione è frutto di momenti edificatori tra loro successivi, che hanno determinato alcune modifiche rispetto all'originaria conformazione ad "L" risalente al 1939. L'edificio ha un orientamento "Nord-Sud" (anima della C) nella parte parallela alla via Della Vittoria, mentre le due sue estensioni (ali della C) seguono l'andamento "Est-Ovest" e non risulta ombreggiato dalla presenza di ostacoli limitrofi. Il fabbricato è destinato per la quasi interezza a ospitare la Scuola Media con i relativi laboratori e uffici, risulta composto da un corpo centrale adiacente alla via Della Vittoria che si sviluppa su due piani fuori terra e su un piano seminterrato e due corpi secondari posizionati agli estremi del corpo principale che si sviluppano verso il cortile posteriore anch'essi composti da due livelli. Il piano terra del corpo posteriore (realizzato nel 1939) è riservato agli uffici comunali dello Stato Civile e Anagrafe (di seguito denominato corpo Anagrafe), mentre il corpo laterale destro, di più recente edificazione, accoglie al piano terra alcune aule a servizio della scuola Media, mentre al piano primo si trova una sala conferenza denominata sala Velio Spano. Come già detto, il fabbricato nel corso degli anni ha subito vari interventi di ristrutturazione edilizia che hanno in parte modificato l'assetto morfologico dell'edificio. L'intervento più significativo è stato la realizzazione del nuovo corpo di fabbrica posizionato all'estremo inferiore del braccio principale denominato di seguito corpo Velio Spano.

Altra importante modifica rispetto al progetto originario firmato dagli architetti Ignazio Guidi e Cesare Valle, ha interessato sia l'area d'ingresso al fabbricato che il corpo Anagrafe. Nello specifico è stata eseguita la sopraelevazione di tali aree, che ha permesso di incrementare il numero delle aule al piano primo e la realizzazione della biblioteca posizionata laddove originariamente sorgeva il porticato diametralmente opposto all'ingresso. Lo stato di conservazione dell'immobile, ad esclusione del piano seminterrato dove nelle murature perimetrali sono presenti fenomeni di degrado da umidità di risalita, è sostanzialmente buono

grazie alla qualità costruttiva dell'immobile, alla costanza delle manutenzioni ordinarie e degli interventi di ristrutturazione eseguiti nel tempo in quanto non presenta problemi a livello strutturale, ciò nonostante sono state riscontrate alcune criticità come la presenza di infiltrazioni provenienti dalla copertura piana e la presenza di umidità con relativa formazione di muffa ed efflorescenze, queste dovute all'inadeguata coibentazione che in alcune parti dell'edificio è completamente assente.

I differenti momenti edificatori sono confermati anche dalle differenti tipologie costruttive, in quanto il fabbricato realizzato nel 1939 è costituito da una struttura in muratura portante in pietra intonacata di spessore pari a 55 cm, mentre i successivi interventi, che hanno determinato l'ampliamento delle volumetrie del fabbricato, sono stati realizzati mediante tipologie costruttive più recenti e di spessore nettamente inferiore. La muratura perimetrale dei corpi aggiunti risulta realizzata mediante muratura a cassetta in laterizio con interposto strato isolante realizzato con poliuretano da 10,00 e 6,00 cm.

Le superfici opache orizzontali di copertura erano realizzate mediante solaio di tipo piano in latero-cemento privo di coibentazione, mentre il solaio di base risulta di tipo tradizionale composto da vespaio, magrone, massetto alleggerito e rifinitura con pavimentazione in gres. Le superfici verticali trasparenti, presenti su tutti i prospetti del fabbricato, erano realizzate mediante infissi in alluminio senza taglio termico del tipo monoblocco con vetro singolo, dotati di cassetto privo di opportuna coibentazione e avvolgibile in PVC, facente parte integrante dell'infisso.

Nel 2011 la Regione Sardegna ha pubblicato un bando denominato "Finanziamento di operazioni finalizzate al risparmio e all'efficienza energetica negli edifici degli enti pubblici della Sardegna". L'edificio in oggetto è stato selezionato per la realizzazione di tali interventi. Si riportano pertanto nel seguito, dapprima, le caratteristiche antecedenti l'intervento e, successivamente, le opere realizzate per la riqualificazione, come desunte dalle relazioni di progetto fornite dal Comune di Carbonia.

Si riporta nel seguito la descrizione dello stato precedente all'intervento di riqualificazione.

L'impianto per la produzione di calore, ai soli fini del riscaldamento, risultava ubicato entro apposito locale tecnico (centrale termica) ad uso esclusivo, sito al piano seminterrato, ed inserito nella volumetria dell'edificio servito. Al suo interno era installata una caldaia a gasolio (marcatura energetica due stelle) avente potenza al focolare pari a 345 kW ed una potenza utile di 315 kW. La tubazione di mandata del generatore di calore si attestava su collettore dal quale si staccava un circuito termo-miscelato a mezzo di valvola a quattro vie (non funzionante) che alimentava due circuiti principali, tra loro indipendenti, pressurizzati ciascuno da una elettropompa in esecuzione gemellare. L'evacuazione dei fumi avveniva a mezzo di raccordo fumi in acciaio inox isolato esternamente che si attestava su camino in muratura sfociante sulla copertura dell'edificio. La distribuzione del fluido termovettore avveniva a mezzo di tubazioni a vista prive di isolamento correnti entro l'edificio. Le tubazioni afferenti ciascun radiatore si staccavano in parallelo dalle dorsali principali secondo una configurazione orizzontale tipo "bitubo". Le unità terminali di scambio dell'impianto termico erano costituite da radiatori in alluminio.

Contestualmente al mancato funzionamento del sistema preposto alla compensazione climatica della temperatura di mandata del fluido termovettore in funzione delle condizioni climatiche esterne, è stata rilevata altresì la totale assenza di sistemi di termoregolazione asserviti a zone aventi caratteristiche di uso ed esposizione uniformi, ovvero di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali, idonei ad impedire il surriscaldamento conseguente ad apporti aggiuntivi gratuiti interni ed esterni.

Non risultava presente alcun impianto centralizzato di produzione e distribuzione di acqua calda ai fini igienico sanitari. Non risultava inoltre presente alcun impianto centralizzato per la produzione e distribuzione di acqua refrigerata ai fini della climatizzazione estiva dell'edificio.

L'impianto di illuminazione risultava costituito per la maggior parte da plafoniere di varia tipologia e potenza, incassate nel controsoffitto esistente (dove presente) o disposte a plafone nel soffitto o pendenti tramite

cavi esterni; nella palestra erano presenti quattro proiettori staffati a muro. Le plafoniere risultavano equipaggiate con un numero variabile di lampade tubolari fluorescenti aventi potenze pari a 18W, 36W e 58W.

Le superfici opache verticali erano realizzate mediante due differenti metodologie costruttive: muratura portante in pietra intonacata per le parti risalenti al '39 e muratura a cassetta con intercapedine coibentata per le parti di più recente realizzazione.

Le tipologie costruttive presentavano i seguenti valori di trasmittanza termica:

- muratura in pietra intonacata sp totale 55 cm : trasmittanza termica  $U = 1,956 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- muratura in pietra intonacata sp totale 50 cm : trasmittanza termica  $U = 1,897 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- muratura coibentata nell'intercapedine con 10 cm di poliuretano sp totale 35 cm: trasmittanza termica  $U = 0,360 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- muratura coibentata nell'intercapedine con 6 cm di poliuretano sp totale 31 cm: trasmittanza termica  $U = 0,513 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Le superfici opache orizzontali realizzate mediante solaio piano in latero-cemento privo di coibentazione, presentavano valori di trasmittanza termica  $U$  pari a  $1,587 \text{ W/m}^2\text{K}$ . L'involucro edilizio oltre a non rispettare le prescrizioni in materia di risparmio energetico presentava varie problematiche dovute in parte al naturale deterioramento delle strutture e in parte all'utilizzo di materiali inadeguati. Le superfici verticali opache presentavano fenomeni di umidità localizzati principalmente in prossimità delle bucaure degli infissi, i quali erano privi di adeguate guarnizioni o sistemi di sigillatura posizionati in corrispondenza del collegamento tra telaio e muratura perimetrale determinando pertanto un'inadeguata tenuta all'acqua e all'aria.

All'interno del corpo centrale, destinato ad accogliere le attività scolastiche, sono stati individuati fenomeni di infiltrazioni d'acqua provenienti dal solaio di copertura, tale problematica è stata rilevata anche all'interno della sala "Velio Spano", probabilmente dovuto ad una non ottimale pendenza della copertura che, in occasione di fenomeni piovosi, crea il ristagno dell'acqua non correttamente convogliata verso i bocchettoni e da qui ai pluviali; questo fatto, unitamente ad un deterioramento della guaina, ha determina infiltrazioni di acqua negli ambienti sottostanti.

Le superfici verticali trasparenti erano realizzate mediante infissi in alluminio senza taglio termico del tipo monoblocco con vetro singolo, dotati di cassonetto privo di opportuna coibentazione e avvolgibile in PVC.

Il sistema di riscaldamento utilizzato era composto da apparecchiature che complessivamente si presentavano in buono stato di conservazione, mentre il rendimento di combustione della caldaia ed il tipo di regolazione del sistema di produzione del calore non consentivano l'ottenimento di un accettabile rendimento medio stagionale di generazione dell'impianto. L'assenza di opportuno isolamento nelle tubazioni dei circuiti di riscaldamento entro l'edificio è inoltre causa di notevoli dispersioni termiche lungo il percorso che, benché in parte recuperate, impediscono la corretta distribuzione del fluido termovettore alle sezioni di scambio nonché la riduzione del rendimento di distribuzione e di emissione.

La mancata separazione e termoregolazione dei circuiti per zone climatiche omogenee ed indipendenti determinava l'impossibilità per l'impianto di assicurare una corretta regolazione in funzioni delle reali esigenze delle suddette zone (ad es. suddivise per esposizione o per tipologia d'uso dei locali, etc.) e soprattutto di sfruttare gli apporti gratuiti. I radiatori risultavano privi di valvole termostatiche o comunque di adeguati dispositivi atti ad evitare il surriscaldamento dei singoli locali ai carichi parziali o in presenza di

apporti gratuiti oltre alla mancata funzionalità del sistema di termoregolazione deputato alla gestione climatica della temperatura di mandata del fluido termovettore in funzione della temperatura esterna.

Si riporta nel seguito la descrizione degli interventi di riqualificazione eseguiti.

Essi hanno riguardato le seguenti lavorazioni edili:

- Realizzazione cappotto esterno su tutte le superfici verticali;
- Posa coibentazione su solai di copertura;
- Posa coibentazione su solaio piano seminterrato;
- Posa infissi monoblocco in alluminio a taglio termico, vetrocamera selettivo a controllo solare e basso emissivo.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento/climatizzazione/ACS, sono state adottate le seguenti misure:

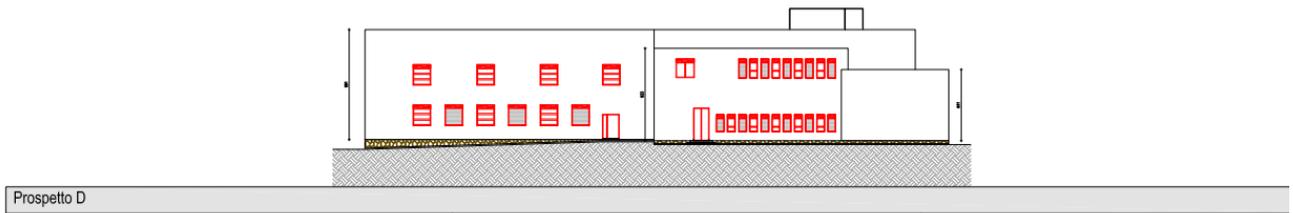
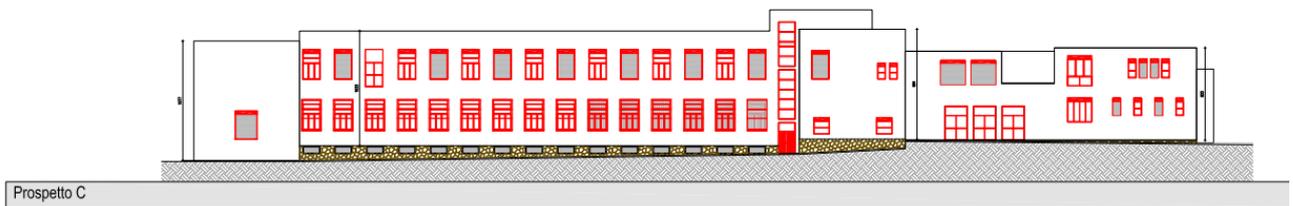
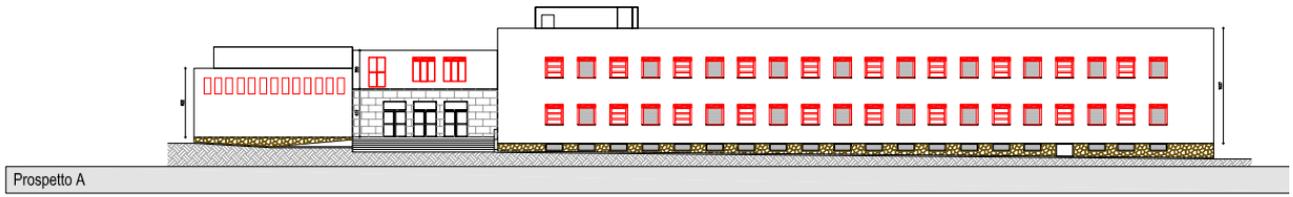
- Nuova installazione di un sistema di generazione di calore quale sistema idronico per la produzione di acqua calda e refrigerata del tipo a pompa di calore ad altissima efficienza ( $COP > 3,5$ ),
- Separazione e termoregolazione dei circuiti per zone omogenee in termini climatici e di destinazione d'uso;
- Installazione di adeguati dispositivi atti ad evitare il surriscaldamento dei singoli locali ai carichi parziali o in presenza di apporti gratuiti;
- Isolamento tubazioni di distribuzione;
- Installazione a nuovo o rifunionalizzazione dell'esistente sistema di termoregolazione in centrale termica;
- Implementazione impianto centralizzato per la climatizzazione estiva dell'edificio e installazione di terminali per l'utilizzo di acqua refrigerata;
- Installazione di un sistema centralizzato destinato alla produzione, accumulo e distribuzione di acqua calda ad uso igienico sanitario e contestuale ricorso a fonti rinnovabili mediante l'abbinamento di un impianto solare termico.

Per quanto attiene l'impianto di illuminazione sono state adottate le seguenti misure:

- Sostituzione dei corpi illuminanti esistenti (anche se in discrete condizioni di funzionamento), con altri equipaggiati con lampade fluorescenti lineari, aventi una maggiore emissione luminosa;
- Posa in opera nell'edificio, nei punti necessari, di idonei sistemi di rilevazione e lettura della luce solare esterna (Luxmetro), per la modulazione della luce artificiale in funzione di quella naturale, in modo da mantenere l'illuminamento globale ad un corretto valore di norma;
- Posa in opera nell'edificio, nei punti necessari, di idonei sistemi di rilevamento della presenza (anditi, bagni, aule, uffici, etc.), tramite sensori ad infrarossi passivi, in grado di rilevare la presenza di corpi in movimento grazie alla loro differenza di temperatura rispetto a quella dell'ambiente circostante;
- Ridistribuire le varie zone di accensione degli impianti nei quadri di protezione e comando, in modo da realizzare una corretta parzializzazione funzionale al profilo di utilizzo dell'edificio.

Sulla base dell'intervento realizzato a partire dal 2011 sono state valutate le prestazioni energetiche raggiunte, come descritto nei paragrafi successivi. Queste sono state valutate con la normativa attualmente in vigore, ovvero i decreti attuativi del 2015. Si riportano nel seguito pianta e prospetti dell'edificio.





**Figura 5. Prospetti dell'edificio**

### 2.3 L'edificio sede della Sotacarbo SpA. Calcolo della prestazione energetica.

Si riporta nel seguito la relazione di calcolo della prestazione energetica dell'edificio in oggetto.

#### INFORMAZIONI GENERALI

Comune di Carbonia Provincia CI

Progetto per la realizzazione di (specificare il tipo di opere):

---

Sito in (specificare l'ubicazione o, in alternativa, indicare che è da edificare nel terreno in cui si riportano gli estremi del censimento al Nuovo Catasto Territoriale):

**Grande Miniera Serbariu - Carbonia**

---

Classificazione dell'edificio (o del complesso di edifici) in base alla categoria di cui all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412; per edifici costituiti da parti appartenenti a categorie differenti, specificare le diverse categorie):

**E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili.**

---

**E.4 (1) Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e simili: quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi.**

---

**E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili.**

---

Numero delle unità abitative 1

Committente (i) Sotacarbo  
Grande Miniera Serbariu - Carbonia

[] L'edificio (o il complesso di edifici) rientra tra quelli di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico ai fini dell'articolo 5, comma 15, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia) e dell'allegato I, comma 14 del decreto legislativo.

**PARAMETRI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ**

Gradi giorno (della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93) 922 GG

Temperatura esterna minima di progetto (secondo UNI 5364 e successivi aggiornamenti) 2,0 °C

**DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI) E DELLE RELATIVE STRUTTURE**

Descrizione	V [m <sup>3</sup> ]	S [m <sup>2</sup> ]	S/V [1/m]	Su [m <sup>2</sup> ]	$\theta_{int}$ [°C]	$\phi_{int}$ [%]
<i>Uffici</i>	4633,62	2672,45	0,58	834,10	20,0	65,0
<i>Sala conferenze</i>	3256,09	1955,18	0,60	635,63	20,0	65,0
<i>Laboratori</i>	3672,57	2071,41	0,56	630,58	20,0	65,0
<b><i>Sede Sotacarbo</i></b>	11562,2 9	6699,04	0,58	2100,31	20,0	65,0

## DATI RELATIVI AGLI IMPIANTI

### 5.1 Impianti termici

Impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione invernale e/o estiva e/o produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato.

#### Specifiche dei generatori di energia

Zona	<b>Sede Sotacarbo</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Riscaldamento</b>	Fluido termovettore	<b>Acqua</b>
Tipo di generatore	<b>Pompa di calore</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello	<b>UNIFLAIR/0744A</b>		
Potenza utile nominale Pn	<b>179,00</b> kW		

Zona	<b>Sede Sotacarbo</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Riscaldamento</b>	Fluido termovettore	<b>Acqua</b>
Tipo di generatore	<b>Pompa di calore</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello	<b>UNIFLAIR/0744A</b>		
Potenza utile nominale Pn	<b>179,00</b> kW		

Zona	<b>Sede Sotacarbo</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Raffrescamento</b>	Fluido termovettore	<b>Acqua</b>
Tipo di generatore	<b>Pompa di calore</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello	<b>UNIFLAIR/0744A</b>		
Potenza utile nominale Pn	<b>165,00</b> kW		

Zona	<b>Uffici</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Acqua calda sanitaria</b>	Fluido termovettore	
Tipo di generatore	<b>Bollitore elettrico ad accumulo</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello			
Potenza utile nominale Pn	<b>1,20</b> kW		

Zona	<b>Sala conferenze</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Acqua calda sanitaria</b>	Fluido termovettore	

Tipo di generatore	<b>Bollitore elettrico ad accumulo</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello	_____		
Potenza utile nominale Pn	<b>1,20</b> kW		
Zona	<b>Laboratori</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Acqua calda sanitaria</b>	Fluido termovettore	_____
Tipo di generatore	<b>Bollitore elettrico ad accumulo</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello	_____		
Potenza utile nominale Pn	<b>1,20</b> kW		

Per gli impianti termici con o senza produzione di acqua calda sanitaria, che utilizzano, in tutto o in parte, macchine diverse da quelle sopra descritte, le prestazioni di dette macchine sono fornite utilizzando le caratteristiche fisiche della specifica apparecchiatura, e applicando, ove esistenti, le vigenti norme tecniche.

#### **Specifiche relative ai sistemi di regolazione dell'impianto termico**

Tipo di conduzione prevista       continua con attenuazione notturna       intermittente

### PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI

Edificio: **Sede Sotacarbo**

#### a) **Involucro edilizio e ricambi d'aria**

*Caratteristiche termiche dei componenti opachi dell'involucro edilizio*

Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m <sup>2</sup> K]	Trasmittanza media [W/m <sup>2</sup> K]
<b>M5</b>	<b>Muratura poroton K MUR 011</b>	<b>0,619</b>	<b>0,619</b>
<b>M6</b>	<b>Muratura cassetta K MUR 002</b>	<b>0,499</b>	<b>0,499</b>
<b>P1</b>	<b>Pavimento piano terra zona uffici</b>	<b>0,440</b>	<b>0,440</b>
<b>P2</b>	<b>Pavimento piano terra lab</b>	<b>0,533</b>	<b>0,533</b>
<b>P3</b>	<b>Pavimento piano terra conf</b>	<b>0,492</b>	<b>0,492</b>
<b>S3</b>	<b>Copertura in legno</b>	<b>0,538</b>	<b>0,538</b>

<b>M1</b>	<b>Muratura trachite 58 cm</b>	<b>1,429</b>	<b>1,429</b>
<b>M2</b>	<b>Muratura trachite 55 cm</b>	<b>1,479</b>	<b>1,479</b>
<b>M3</b>	<b>Muratura trachite 50 cm</b>	<b>1,580</b>	<b>1,580</b>
<b>M4</b>	<b>Muratura trachite 50 cm non int</b>	<b>1,597</b>	<b>1,597</b>
<b>P5</b>	<b>Solaio interpiano</b>	<b>2,192</b>	<b>2,192</b>
<b>S1</b>	<b>Copertura piana</b>	<b>1,004</b>	<b>1,004</b>
<b>S4</b>	<b>Solaio interpiano</b>	<b>3,162</b>	<b>3,162</b>
<b>S5</b>	<b>Controsoffitto</b>	<b>2,292</b>	<b>2,292</b>

*Caratteristiche termiche dei divisori opachi e delle strutture dei locali non climatizzati*

<b>Cod.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Trasmittanza media [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Valore limite [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Verifica</b>
<b>M11</b>	<b>Tramezzatura cassetta K MUR 002</b>	<b>0,481</b>	<b>0,800</b>	<b>Positiva</b>
<b>M12</b>	<b>Muratura tamp sottotetto poroton K MUR 011</b>	<b>0,619</b>	<b>0,800</b>	<b>Positiva</b>
<b>M7</b>	<b>Muratura tamponamento lucernai</b>	<b>0,841</b>	<b>0,800</b>	<b>Negativa</b>
<b>M9</b>	<b>Tramezzo</b>	<b>2,062</b>	<b>0,800</b>	<b>Negativa</b>
<b>P4</b>	<b>Pavimento piano interr</b>	<b>0,334</b>	<b>0,800</b>	<b>Positiva</b>
<b>S2</b>	<b>Copertura inclinata tavelle</b>	<b>0,844</b>	<b>0,800</b>	<b>Negativa</b>
<b>M10</b>	<b>Tramezzatura trachite 55 cm</b>	<b>1,331</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M8</b>	<b>Muratura trachite 50 cm contr</b>	<b>0,547</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>S6</b>	<b>Soffitto cortile</b>	<b>3,686</b>	<b>*</b>	<b>*</b>

(\*) Struttura esistente, non soggetta alle verifiche di legge.

*Caratteristiche igrometriche dei componenti opachi dell'involucro edilizio*

<b>Cod.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Condensa superficiale</b>	<b>Condensa interstiziale</b>
<b>M11</b>	<b>Tramezzatura cassetta K MUR 002</b>	<b>Positiva</b>	<b>Positiva</b>
<b>M5</b>	<b>Muratura poroton K MUR 011</b>	<b>Positiva</b>	<b>Positiva</b>
<b>M6</b>	<b>Muratura cassetta K MUR 002</b>	<b>Positiva</b>	<b>Positiva</b>
<b>M9</b>	<b>Tramezzo</b>	<b>Positiva</b>	<b>Positiva</b>
<b>P1</b>	<b>Pavimento piano terra zona uffici</b>	<b>Negativa</b>	<b>Positiva</b>
<b>P2</b>	<b>Pavimento piano terra lab</b>	<b>Negativa</b>	<b>Positiva</b>
<b>P3</b>	<b>Pavimento piano terra conf</b>	<b>Negativa</b>	<b>Positiva</b>
<b>S3</b>	<b>Copertura in legno</b>	<b>Positiva</b>	<b>Positiva</b>
<b>M1</b>	<b>Muratura trachite 58 cm</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M10</b>	<b>Tramezzatura trachite 55 cm</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M2</b>	<b>Muratura trachite 55 cm</b>	<b>*</b>	<b>*</b>

<b>M3</b>	<b>Muratura trachite 50 cm</b>	*	*
<b>M4</b>	<b>Muratura trachite 50 cm non int</b>	*	*
<b>P5</b>	<b>Solaio interpiano</b>	*	*
<b>S1</b>	<b>Copertura piana</b>	*	*
<b>S4</b>	<b>Solaio interpiano</b>	*	*
<b>S5</b>	<b>Controsoffitto</b>	*	*

(\*) Struttura esistente, non soggetta alle verifiche di legge.

*Caratteristiche di massa superficiale Ms e trasmittanza periodica YIE dei componenti opachi*

Cod.	Descrizione	Ms [kg/m <sup>2</sup> ]	YIE [W/m <sup>2</sup> K]
<b>M5</b>	<b>Muratura poroton K MUR 011</b>	<b>202</b>	<b>0,171</b>
<b>M6</b>	<b>Muratura cassetta K MUR 002</b>	<b>265</b>	<b>0,201</b>
<b>S3</b>	<b>Copertura in legno</b>	<b>38</b>	<b>0,492</b>
<b>M1</b>	<b>Muratura trachite 58 cm</b>	<b>1100</b>	<b>0,052</b>
<b>M2</b>	<b>Muratura trachite 55 cm</b>	<b>990</b>	<b>0,067</b>
<b>M4</b>	<b>Muratura trachite 50 cm non int</b>	<b>990</b>	<b>0,103</b>
<b>S1</b>	<b>Copertura piana</b>	<b>446</b>	<b>0,206</b>

*Caratteristiche termiche dei componenti finestrati*

Cod.	Descrizione	Trasmittanza infisso U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Trasmittanza vetro U <sub>g</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
<b>W1</b>	<b>FN007</b>	<b>4,386</b>	<b>5,700</b>
<b>W3</b>	<b>FN008</b>	<b>4,409</b>	<b>5,700</b>
<b>W4</b>	<b>FN001</b>	<b>4,121</b>	<b>5,700</b>
<b>W5</b>	<b>FN002</b>	<b>4,106</b>	<b>5,700</b>
<b>W6</b>	<b>FN003</b>	<b>6,056</b>	<b>5,700</b>
<b>W7</b>	<b>FN004</b>	<b>4,400</b>	<b>5,700</b>
<b>W9</b>	<b>FN006</b>	<b>4,304</b>	<b>5,700</b>

**b) Valore dei rendimenti medi stagionali di progetto**

Rendimento di generazione	<u>120,1</u> %
Rendimento di regolazione	<u>94,0</u> %
Rendimento di distribuzione	<u>94,0</u> %
Rendimento di emissione	<u>93,5</u> %

Rendimento globale medio stagionale 100,4 %

**c) *Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale***

Metodo di calcolo utilizzato (indicazione obbligatoria)

***UNI/TS 11300 e norme correlate***

Rapporto S/V	<u>0,58</u>	1/m
Valore di progetto $E_{p_i}$	<u>15,95</u>	kWh/m <sup>3</sup>
Valore limite	<u>8,74</u>	kWh/m <sup>3</sup>
Verifica (positiva / negativa)	<u>Negativa</u>	
Fabbisogno di Energia elettrica	<u>94586</u>	kWhe

***Indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio***

Metodo di calcolo utilizzato (indicazione obbligatoria)

***UNI/TS 11300 e norme correlate***

Valore di progetto $E_{p_{e,inv}}$	<u>5,08</u>	kWh/m <sup>3</sup>
Valore limite	<u>10,00</u>	kWh/m <sup>3</sup>
Verifica (positiva / negativa)	<u>Positiva</u>	

**d) *Indice di prestazione energetica normalizzato per la climatizzazione invernale***

Valore di progetto 62,29 kJ/m<sup>3</sup>GG  
(trasformazione del corrispondente dato calcolato al punto c)

**e) *Indici di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria***

Uffici

Fabbisogno di Energia elettrica 3803 kWhe

Laboratori

Fabbisogno di Energia elettrica 3561 kWhe

Sala conferenze

Fabbisogno di Energia elettrica

1632 kWh

**f) Confronto con i limiti per edificio NZEB**

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Negativa			
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-			
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva			
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva			
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Negativa	43,07 >	88,18	kWh/m <sup>2</sup>
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Positiva	29,46 >	27,99	kWh/m <sup>2</sup>
Indice di prestazione energetica globale	Negativa	186,28 >	248,52	kWh/m <sup>2</sup>
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Negativa			

Alla luce di quanto riportato, sono stati elaborati scenari di miglioramento della prestazione energetica. Fra questi quelli che risultano maggiormente significativi sono riportati nel seguito.

N.	Descrizione intervento	Costo intervento [€]
1	Realizzazione cappotto interno	7842,45
2	Realizzazione cappotto interno	4518,69
3	Realizzazione cappotto interno	1811,25
4	Coibentazione solaio confinante verso ambiente non climatizzato	5824,68
5	Sostituzione del solo vetro	3816,00
6	Sostituzione del solo vetro	2467,80
7	Sostituzione del solo vetro	181,80
8	Sostituzione del solo vetro	1074,60
9	Sostituzione del solo vetro	388,80
10	Sostituzione del solo vetro	720,00
11	Sostituzione del solo vetro	774,90
<b>TOTALE</b>		<b>29420,97</b>

Prestazioni energetiche stagionali:

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioram.	Var %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EP <sub>h,nre</sub> <sub>n</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a nno	87,82	62,93	24,89	28,3
Prestazione energetica per produzione acs	EP <sub>w,nre</sub> <sub>n</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a nno	8,35	8,35	0,00	0,0

Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m <sup>2</sup> anno	3,59	3,69	-0,10	-2,9
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m <sup>2</sup> anno	3,32	3,32	0,00	0,0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPI,nren	kWh/m <sup>2</sup> anno	51,07	51,07	0,00	0,0
Prestazione energetica per il trasporto	EPT,nren	kWh/m <sup>2</sup> anno	0,00	0,00	0,00	0,0
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m <sup>2</sup> anno	154,15	129,36	24,79	16,1

Analisi economica:

Descrizione	Stato di fatto	Scenario	Miglioram.	Var %
Spesa annua per riscaldamento [€]	23646,42	16944,09	6702,32	28,3
Spesa annua per acqua calda sanitaria [€]	2248,79	2248,79	0,00	0,0
Spesa annua per raffrescamento [€]	965,86	993,82	-27,97	-2,9
Spesa annua per ventilazione [€]	894,97	894,97	0,00	0,0
Spesa annua per illuminazione [€]	13752,36	13752,36	0,00	0,0
Spesa annua globale [€]	41508,39	34834,03	6674,36	16,1

**Tempo di ritorno: 4,4 anni**

Interventi sull'involucro edilizio:

Interventi sulle strutture opache:

N.	Cod. struttura	STATO DI FATTO		INTERVENTO MIGLIORATIVO				
		S <sub>cal</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>sdf</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Tipo isolante	λ [W/mK]	s [mm]	U <sub>im</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Costo [€/m <sup>2</sup> ]
1	M1	475,30	1,429	Pannelli in fibra di legno 50 kg/m <sup>3</sup>	0,038	70	0,391	16,50
2	M2	273,86	1,479	Pannelli in fibra di legno 50 kg/m <sup>3</sup>	0,038	70	0,395	16,50
3	M3	105,00	1,580	Pannelli in fibra di legno 50 kg/m <sup>3</sup>	0,038	75	0,382	17,25
4	S5	1323,79	2,292	Feltro in lana di vetro 15 kg/m <sup>3</sup>	0,040	105	0,327	4,40

Interventi sui componenti finestrati:

N.	Cod. struttura	STATO DI FATTO			INTERVENTO MIGLIORATIVO			
		S <sub>cal</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>g,sdf</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w,sdf</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Tipo serramento/vetro	U <sub>g,im</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w,im</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Costo [€/m <sup>2</sup> ]

5	W4	84,80	5,700	4,121	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,502	45,00
6	W6	54,84	5,700	6,056	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	2,860	45,00
7	W9	4,04	5,700	4,304	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,479	45,00
8	W3	23,88	5,700	4,409	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,466	45,00
9	W7	8,64	5,700	4,400	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,467	45,00
10	W1	16,00	5,700	4,386	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,469	45,00
11	W5	17,22	5,700	4,106	-/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,504	45,00

Involucro edilizio:

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioram.	Var %
Trasmittanza muri	-	W/m <sup>2</sup> K	1,093	0,641	0,452	41,4
Trasmittanza pavimenti	-	W/m <sup>2</sup> K	0,539	0,539	0,000	0,0
Trasmittanza soffitti	-	W/m <sup>2</sup> K	1,723	0,694	1,029	59,7
Trasmittanza componenti finestrati	-	W/m <sup>2</sup> K	4,694	1,849	2,845	60,6
Dispersioni per trasmissione	Q <sub>h,tr</sub>	kWh	213528	131614	81913	38,4
Dispersioni per ventilazione	Q <sub>h,ve</sub>	kWh	80394	80394	0	0,0
Apporti solari	Q <sub>sol</sub>	kWh	47804	30295	-17508	-36,6
Apporti interni	Q <sub>int</sub>	kWh	62955	62955	0	0,0
Consumo specifico involucro per riscaldamento	Q <sub>h</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	16,02	10,57	5,45	34,0
Consumo specifico involucro per raffrescamento	Q <sub>c</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	5,08	5,25	-0,17	-3,3

Impianto:

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioram.	Var %
Rendimento di emissione riscaldamento	η <sub>H,e</sub>	%	93,5	94,5	1,0	1,1
Rendimento di regolazione riscaldamento	η <sub>H,rg</sub>	%	94,0	94,0	0,0	0,0
Rendimento di distribuzione riscaldamento	η <sub>H,d</sub>	%	94,0	94,0	0,0	0,0
Rendimento di generazione riscaldamento	η <sub>H,gn</sub>	%	120,1	104,8	-15,3	-12,8
Rendimento globale medio stagionale riscaldamento	η <sub>H,g</sub>	%	100,4	92,4	-8,0	-8,0
Fabbisogno di energia primaria riscaldamento	Q <sub>pH</sub>	kWh/anno	184442	132164	52278	28,3
Consumo energia elettrica riscaldamento	-	kWh/anno	94586	67776	26809	28,3
Fabbisogno di energia primaria acqua calda sanitaria	Q <sub>pW</sub>	kWh/anno	17541	17541	0	0,0
Consumo energia elettrica acqua calda sanitaria	-	kWh/anno	8995	8995	0	0,0

## 2.4 La scuola "Sebastiano Satta". Calcolo della prestazione energetica.

Si riporta nel seguito la relazione di calcolo della prestazione energetica dell'edificio in oggetto.

### INFORMAZIONI GENERALI

Comune di Carbonia

Provincia CI

- L'edificio (o il complesso di edifici) rientra tra quelli di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico ai fini dell'articolo 5, comma 15, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia) e dell'allegato I, comma 14 del decreto legislativo.

Sito in (specificare l'ubicazione o, in alternativa, indicare che è da edificare nel terreno in cui si riportano gli estremi del censimento al Nuovo Catasto Territoriale):

**Via Mazzini 66 carbonia**

_____	_____
_____	_____
_____	_____

Classificazione dell'edificio (o del complesso di edifici) in base alla categoria di cui all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412; per edifici costituiti da parti appartenenti a categorie differenti, specificare le diverse categorie):

**E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili.**

**E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili.**

**E.6 (2) Edifici adibiti ad attività sportive: palestre e assimilabili.**

Numero delle unità abitative 1

Committente (i)

**Sotacarbo**

**Grande Miniera Serbariu - Carbonia**

**PARAMETRI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ**

Gradi giorno (della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93) 922 GG

Temperatura esterna minima di progetto (secondo UNI 5364 e successivi aggiornamenti) 2,0 °C

Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna secondo norma 32,1 °C

**DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI) E DELLE RELATIVE STRUTTURE**

**a) Condizionamento invernale**

Descrizione	V [m <sup>3</sup> ]	S [m <sup>2</sup> ]	S/V [1/m]	Su [m <sup>2</sup> ]	θ <sub>int</sub> [°C]	φ <sub>int</sub> [%]
<i>Aule</i>	10773,2 9	4242,92	0,39	2043,28	20,0	65,0
<i>Atrio - scale</i>	1823,32	669,71	0,37	346,50	20,0	65,0
<i>Uffici</i>	4358,75	1849,96	0,42	828,18	20,0	65,0
<i>Palestra</i>	1560,52	761,58	0,49	200,72	20,0	65,0

<i>Scuola Satta</i>	18515,8 8	7524,17	0,41	3418,68	20,0	65,0
---------------------	--------------	---------	------	---------	------	------

Presenza sistema di contabilizzazione del calore: []

**b) Condizionamento estivo**

Descrizione	V [m <sup>3</sup> ]	S [m <sup>2</sup> ]	S/V [1/m]	Su [m <sup>2</sup> ]	θ <sub>int</sub> [°C]	φ <sub>int</sub> [%]
<i>Aule</i>	10773,2 9	4242,92	0,39	2043,28	26,0	50,0
<i>Atrio - scale</i>	1823,32	669,71	0,37	346,50	26,0	50,0
<i>Uffici</i>	4358,75	1849,96	0,42	828,18	26,0	50,0
<i>Palestra</i>	1560,52	761,58	0,49	200,72	26,0	50,0

<i>Scuola Satta</i>	18515,8 8	7524,17	0,41	3418,68	26,0	50,0
---------------------	--------------	---------	------	---------	------	------

Presenza sistema di contabilizzazione del calore: []

V Volume delle parti di edificio abitabili o agibili al lordo delle strutture che li delimitano

- S Superficie esterna che delimita il volume  
 S/V Rapporto di forma dell'edificio  
 Su Superficie utile dell'edificio  
 $\theta_{int}$  Valore di progetto della temperatura interna  
 $\phi_{int}$  Valore di progetto dell'umidità relativa interna

## DATI RELATIVI AGLI IMPIANTI

### 5.1 Impianti termici

Impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione invernale e/o estiva e/o produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato.

#### Descrizione impianto

#### Specifiche dei generatori di energia

Installazione di un contatore del volume di acqua calda sanitaria: []

Installazione di un contatore del volume di acqua di reintegro dell'impianto: []

Zona	<b>Scuola Satta</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Riscaldamento e acqua calda sanitaria</b>	Fluido termovettore	<b>Acqua</b>
Tipo di generatore	<b>Caldia tradizionale</b>	Combustibile	<b>Gasolio</b>
Marca – modello	<b>RIELLO/RTQ - RTQ I- RTQ S - RTQ 2F /300</b>		
Potenza utile nominale Pn	<b>315,64</b> kW		

Rendimento termico utile a 100% Pn (valore di progetto) **90,7** %

Rendimento termico utile a 30% Pn (valore di progetto) **92,7** %

Zona	<b>Scuola Satta</b>	Quantità	<b>1</b>
Servizio	<b>Raffrescamento</b>	Fluido termovettore	<b>Acqua</b>
Tipo di generatore	<b>Pompa di calore</b>	Combustibile	<b>Energia elettrica</b>
Marca – modello	<b>Climaveneta</b>		
Tipo sorgente fredda	<b>Aria</b>		

Potenza termica utile in raffrescamento **90,0** kW

Indice di efficienza energetica (EER) **3,17**

Temperature di riferimento:

Sorgente fredda **19,0** °C Sorgente calda **32,1** °C

Per gli impianti termici con o senza produzione di acqua calda sanitaria, che utilizzano, in tutto o in parte, macchine diverse da quelle sopra descritte, le prestazioni di dette macchine sono fornite utilizzando le caratteristiche fisiche della specifica apparecchiatura, e applicando, ove esistenti, le vigenti norme tecniche.

c) **Specifiche relative ai sistemi di regolazione dell'impianto termico**

Tipo di conduzione prevista       continua con attenuazione notturna       intermittente

**PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI**

Edificio: **Scuola Satta**

a) **Involucro edilizio e ricambi d'aria**

*Caratteristiche termiche dei componenti opachi dell'involucro edilizio*

Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m <sup>2</sup> K]	Trasmittanza media [W/m <sup>2</sup> K]
P3	<b>Pavimento piano terra NORD</b>	<b>0,310</b>	<b>0,310</b>
M1	<b>STR 4 Muro cassetta interc 10 cm est eps</b>	<b>0,194</b>	<b>0,194</b>
M2	<b>STR 3 Muratura pietra 55 cm est rocc</b>	<b>0,364</b>	<b>0,364</b>
M3	<b>STR 15 Muro cassetta interc 6 cm est</b>	<b>0,232</b>	<b>0,232</b>
M4	<b>STR 23 Muratura pietra 55 cm est eps</b>	<b>0,347</b>	<b>0,347</b>
M8	<b>Muratura pietra 55 cm ario</b>	<b>1,516</b>	<b>1,516</b>
P4	<b>STR 16 Solaio interpiano con cappotto intrad</b>	<b>0,291</b>	<b>0,291</b>
S1	<b>STR 14 Copertura tetto rovescio</b>	<b>0,290</b>	<b>0,290</b>

*Caratteristiche termiche dei divisori opachi e delle strutture dei locali non climatizzati*

Cod.	Descrizione	Trasmittanza media [W/m <sup>2</sup> K]	Valore limite [W/m <sup>2</sup> K]	Verifica
M9	<b>Tramezzo</b>	<b>2,062</b>	<b>0,800</b>	<b>Negativa</b>
P2	<b>Pavimento piano interrato</b>	<b>0,249</b>	<b>0,800</b>	<b>Positiva</b>
M12	<b>STR 7 Muratura pietra 50 cm int</b>	<b>1,429</b>	*	*
M6	<b>Muratura pietra 55 cm interrato</b>	<b>0,542</b>	*	*

<b>M7</b>	<b>Muratura pietra 55 cm fuori terra</b>	<b>1,516</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
-----------	--	--------------	----------	----------

(\*) Struttura esistente, non soggetta alle verifiche di legge.

*Caratteristiche igrometriche dei componenti opachi dell'involucro edilizio*

<b>Cod.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Condensa superficiale</b>	<b>Condensa interstiziale</b>
<b>M9</b>	<b>Tramezzo</b>	<b>Positiva</b>	<b>Positiva</b>
<b>P3</b>	<b>Pavimento piano terra NORD</b>	<b>Negativa</b>	<b>Positiva</b>
<b>M1</b>	<b>STR 4 Muro cassetta interc 10 cm est eps</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M12</b>	<b>STR 7 Muratura pietra 50 cm int</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M2</b>	<b>STR 3 Muratura pietra 55 cm est rocc</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M3</b>	<b>STR 15 Muro cassetta interc 6 cm est</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M4</b>	<b>STR 23 Muratura pietra 55 cm est eps</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>M8</b>	<b>Muratura pietra 55 cm ario</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>P4</b>	<b>STR 16 Solaio interpiano con cappotto intrad</b>	<b>*</b>	<b>*</b>
<b>S1</b>	<b>STR 14 Copertura tetto rovescio</b>	<b>*</b>	<b>*</b>

(\*) Struttura esistente, non soggetta alle verifiche di legge.

*Caratteristiche igrometriche dei ponti termici*

<b>Cod.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Verifica temperatura critica</b>
-------------	--------------------	-------------------------------------

*Caratteristiche di massa superficiale Ms e trasmittanza periodica YIE dei componenti opachi*

<b>Cod.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Ms [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>YIE [W/m<sup>2</sup>K]</b>
<b>M1</b>	<b>STR 4 Muro cassetta interc 10 cm est eps</b>	<b>153</b>	<b>0,011</b>
<b>M2</b>	<b>STR 3 Muratura pietra 55 cm est rocc</b>	<b>907</b>	<b>0,014</b>
<b>M3</b>	<b>STR 15 Muro cassetta interc 6 cm est</b>	<b>151</b>	<b>0,019</b>
<b>M4</b>	<b>STR 23 Muratura pietra 55 cm est eps</b>	<b>901</b>	<b>0,013</b>
<b>M8</b>	<b>Muratura pietra 55 cm atrio</b>	<b>1100</b>	<b>0,072</b>
<b>S1</b>	<b>STR 14 Copertura tetto rovescio</b>	<b>510</b>	<b>0,021</b>

*Caratteristiche termiche dei componenti finestrati (dati desunti direttamente dalla relazione di calcolo del progetto di riqualificazione energetica)*

<b>Cod.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Trasmittanza infisso U<sub>w</sub> [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Trasmittanza vetro U<sub>g</sub> [W/m<sup>2</sup>K]</b>
-------------	--------------------	--	--

<b>M10</b>	<b>PN04</b>	<b>2,200</b>	
<b>M11</b>	<b>PN08</b>	<b>0,780</b>	
<b>W1</b>	<b>PN11</b>	<b>1,290</b>	
<b>W10</b>	<b>FN19</b>	<b>1,343</b>	
<b>W12</b>	<b>PN06</b>	<b>1,290</b>	
<b>W13</b>	<b>FN15</b>	<b>1,367</b>	
<b>W14</b>	<b>FN13</b>	<b>1,291</b>	
<b>W15</b>	<b>PN09</b>	<b>1,327</b>	
<b>W16</b>	<b>FN18</b>	<b>1,373</b>	
<b>W17</b>	<b>FN05</b>	<b>1,315</b>	
<b>W18</b>	<b>PN02</b>	<b>1,265</b>	
<b>W19</b>	<b>FN20</b>	<b>1,353</b>	
<b>W2</b>	<b>FN06</b>	<b>1,296</b>	
<b>W20</b>	<b>PN10</b>	<b>1,291</b>	
<b>W21</b>	<b>FN16</b>	<b>1,258</b>	
<b>W22</b>	<b>FN23</b>	<b>1,326</b>	
<b>W23</b>	<b>FN08</b>	<b>1,272</b>	
<b>W24</b>	<b>FN09</b>	<b>1,378</b>	
<b>W25</b>	<b>FN11</b>	<b>1,300</b>	
<b>W26</b>	<b>PN01</b>	<b>1,321</b>	
<b>W27</b>	<b>FN02</b>	<b>1,300</b>	
<b>W28</b>	<b>FN12</b>	<b>1,283</b>	
<b>W29</b>	<b>FN14</b>	<b>1,357</b>	
<b>W3</b>	<b>FN04</b>	<b>1,313</b>	
<b>W30</b>	<b>FN22</b>	<b>1,314</b>	
<b>W31</b>	<b>PN12</b>	<b>1,292</b>	
<b>W32</b>	<b>FN17</b>	<b>1,330</b>	
<b>W4</b>	<b>FN03</b>	<b>1,412</b>	
<b>W5</b>	<b>FN01</b>	<b>1,308</b>	
<b>W6</b>	<b>FN07</b>	<b>1,313</b>	
<b>W7</b>	<b>PN13</b>	<b>5,821</b>	
<b>W8</b>	<b>PN07</b>	<b>1,316</b>	
<b>W9</b>	<b>FN10</b>	<b>1,291</b>	

**b) *Indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e l'illuminazione***

Determinazione dei seguenti indici di prestazione energetica, espressi in kWh/m<sup>2</sup> anno, così come definite al paragrafo 3.3 dell'Allegato 1 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo

192/2005, rendimenti e parametri che ne caratterizzano l'efficienza energetica:

Metodo di calcolo utilizzato (indicazione obbligatoria)

**UNI/TS 11300 e norme correlate**

**Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (UNI EN ISO 13789)**

Aule

Superficie disperdente S	<b>1226,76</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto H' <sub>T</sub>	<b>0,31</b> W/m <sup>2</sup> K
Valore limite (Tabella 10, appendice A) H' <sub>T,L</sub>	<b>0,80</b> W/m <sup>2</sup> K
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

Atrio - scale

Superficie disperdente S	<b>118,77</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto H' <sub>T</sub>	<b>0,31</b> W/m <sup>2</sup> K
Valore limite (Tabella 10, appendice A) H' <sub>T,L</sub>	<b>0,80</b> W/m <sup>2</sup> K
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

Uffici

Superficie disperdente S	<b>368,55</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto H' <sub>T</sub>	<b>0,31</b> W/m <sup>2</sup> K
Valore limite (Tabella 10, appendice A) H' <sub>T,L</sub>	<b>0,60</b> W/m <sup>2</sup> K
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

Palestra

Superficie disperdente S	<b>244,74</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto H' <sub>T</sub>	<b>0,31</b> W/m <sup>2</sup> K
Valore limite (Tabella 10, appendice A) H' <sub>T,L</sub>	<b>0,60</b> W/m <sup>2</sup> K
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

**Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile**

Aule

Superficie utile A <sub>sup utile</sub>	<b>2043,28</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto A <sub>sol,est</sub> /A <sub>sup utile</sub>	<b>0,018</b>

Valore limite (Tab. 11, appendice A) $(A_{sol,est}/A_{sup\ utile})_{limite}$	<b>0,040</b>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

Atrio - scale

Superficie utile $A_{sup\ utile}$	<b>346,50</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	<b>0,026</b>

Valore limite (Tab. 11, appendice A) $(A_{sol,est}/A_{sup\ utile})_{limite}$	<b>0,040</b>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

Uffici

Superficie utile $A_{sup\ utile}$	<b>828,18</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	<b>0,020</b>

Valore limite (Tab. 11, appendice A) $(A_{sol,est}/A_{sup\ utile})_{limite}$	<b>0,040</b>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

Palestra

Superficie utile $A_{sup\ utile}$	<b>200,72</b> m <sup>2</sup>
Valore di progetto $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	<b>0,006</b>

Valore limite (Tab. 11, appendice A) $(A_{sol,est}/A_{sup\ utile})_{limite}$	<b>0,040</b>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

**Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale dell'edificio**

Valore di progetto $EP_{H,nd}$	<b>50,05</b> kWh/m <sup>2</sup>
Valore limite $EP_{H,nd,limite}$	<b>60,06</b> kWh/m <sup>2</sup>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

**Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio**

Valore di progetto $EP_{C,nd}$	<b>17,57</b> kWh/m <sup>2</sup>
Valore limite $EP_{C,nd,limite}$	<b>13,36</b> kWh/m <sup>2</sup>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Negativa</b>

**Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria)**

Prestazione energetica per riscaldamento $EP_H$	<b>66,74</b> kWh/m <sup>2</sup>
Prestazione energetica per acqua sanitaria $EP_W$	<b>2,47</b> kWh/m <sup>2</sup>
Prestazione energetica per raffrescamento $EP_C$	<b>6,67</b> kWh/m <sup>2</sup>
Prestazione energetica per ventilazione $EP_V$	<b>0,00</b> kWh/m <sup>2</sup>
Prestazione energetica per illuminazione $EP_L$	<b>32,24</b> kWh/m <sup>2</sup>
Prestazione energetica per servizi $EP_T$	<b>0,00</b> kWh/m <sup>2</sup>
Valore di progetto $EP_{gl,tot}$	<b>108,12</b> kWh/m <sup>2</sup>
Valore limite $EP_{gl,tot,limite}$	<b>136,29</b> kWh/m <sup>2</sup>
Verifica (positiva / negativa)	<b>Positiva</b>

**Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria non rinnovabile)**

Valore di progetto $EP_{gl,nr}$	<b>98,32</b> kWh/m <sup>2</sup>
---------------------------------	---------------------------------

**b.1) Efficienze medie stagionali degli impianti**

Descrizione	Servizi	$\eta_g$ [%]	$\eta_{g,amm}$ [%]	Verifica
<b>Centralizzato</b>	<b>Riscaldamento</b>	<b>75,0</b>	<b>62,1</b>	<b>Positiva</b>
<b>Centralizzato</b>	<b>Acqua calda sanitaria</b>	<b>69,4</b>	<b>66,3</b>	<b>Positiva</b>
<b>Centralizzato</b>	<b>Raffrescamento</b>	<b>71,3</b>	<b>83,7</b>	<b>Negativa</b>

**Consuntivo energia**

Energia consegnata o fornita ( $E_{del}$ )	<b>219669</b> kWh
Energia rinnovabile ( $E_{gl,ren}$ )	<b>9,80</b> kWh/m <sup>2</sup>
Energia esportata ( $E_{exp}$ )	<b>0</b> kWh
Fabbisogno annuo globale di energia primaria ( $E_{gl,tot}$ )	<b>108,12</b> kWh/m <sup>2</sup>
Energia rinnovabile in situ (elettrica)	<b>0</b> kWh <sub>e</sub>
Energia rinnovabile in situ (termica)	<b>7083</b> kWh

**c) Confronto con i limiti per edificio NZEB**

Tipo di verifica	Esito	Valore ammissibile		Valore calcolato	u.m.
Verifica termoigrometrica	Negativa				
Verifica sulla temperatura critica interna del ponte termico	-				
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	Positiva				
Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (Ht)	Positiva				
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	Positiva	57,05	>	50,05	kWh/m <sup>2</sup>
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	Negativa	13,68	>	17,57	kWh/m <sup>2</sup>
Indice di prestazione energetica globale	Positiva	131,55	>	108,12	kWh/m <sup>2</sup>
Efficienza media stagionale dell'impianto per servizi riscaldamento, acqua calda s...	Negativa				

### 3 Conclusioni

Per quanto riguarda la sede della Sotacarbo SPA, il calcolo effettuato ha permesso di evidenziare alcuni deficit prestazionali nell'involucro edilizio. In particolare gli infissi a vetro singolo sono sicuramente la maggior fonte di dispersione energetica, unitamente ad un sistema di copertura e relativo sottotetto che può essere significativamente migliorato, come dimostrano gli scenari riportati. Per quanto riguarda le murature lapidee è importante mettere in evidenza che i valori utilizzati per il calcolo sono desunti dalla letteratura scientifica e che, allo stato attuale, non esistono dati sperimentali sulla trachite tipica delle costruzioni di Carbonia. Questa lacuna dovrà essere sicuramente oggetto degli sviluppi futuri della ricerca.

Le parti impiantistiche, almeno per quanto riguarda il sistema di generazione, dimostrano invece una maggior efficienza. L'impianto a pompa di calore, per questo tipo di utilizzo, si dimostra sicuramente performante. Volendo individuare aspetti negativi sulla generazione, è possibile mettere in evidenza che dai calcoli è sufficiente solamente un generatore. La seconda pompa di calore risulta ridondante, anche se, dai questionari somministrati al personale tecnico, questa viene effettivamente utilizzata. Sarà pertanto oggetto della fase successiva della ricerca analizzare con maggior dettaglio carichi e profili di consumo dei due generatori. I terminali di emissione, invece, costituiti da ventilconvettori ad aria installati a un'altezza elevata sono risultati dall'audit energetico una delle maggiori fonti di discomfort. Al riguardo è importante segnalare, però, che la norma non consente di scendere al di sotto di un'efficienza di emissione di 0,94. Tale valore dovrà essere opportunamente analizzato nel seguito della ricerca attraverso verifiche in situ.

Il confronto con i limiti per i NZEB evidenziano diversi punti negativi, che possono però essere eliminati attraverso gli interventi migliorativi elencati al termine della relazione di calcolo. Per quanto riguarda l'inserimento di fonti rinnovabili risulta di particolare interesse il ricorso al fotovoltaico, dati i consumi per l'illuminazione concentrati principalmente durante il periodo diurno. Dal punto di vista prestazionale la soluzione è sicuramente di interesse, resta, però, da verificare la fattibilità nell'ottica della tutela dell'edificio storico. Anche questa tematica potrà essere oggetto di maggiori indagini nel proseguimento della ricerca.

Per quanto riguarda l'edificio scolastico, i lavori realizzati di recente hanno sicuramente apportato un miglioramento considerevole. L'edificio attualmente è in classe energetica A1.

Volendo analizzare più nel dettaglio l'attuale prestazione e la prospettiva di miglioramento è possibile individuare due punti di criticità.

Anzitutto dal calcolo non è emerso il miglioramento conseguente all'integrazione della caldaia con la pompa di calore per il riscaldamento. Il modello di calcolo utilizzato, ha riscontrato una migliore prestazione energetica avvalendosi della sola caldaia a gasolio, a differenza di quanto invece emerso dalle relazioni di calcolo del progetto di riqualificazione. Del probabile motivo si dirà nel seguito.

Altro aspetto che merita un'ulteriore indagine è la possibilità di inserire un sistema di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore. Il fabbisogno di riscaldamento per la ventilazione, infatti, risulta essere maggiore di quello per trasmissione. Ciò è dovuto anche al nuovo modello di calcolo delle portate che, a differenza di quanto in vigore al momento della realizzazione delle opere, prevede l'utilizzo dei fabbisogni di aria di rinnovo indicati dalla UNI 10339, anziché basarsi su valori standard di ricambi ora. Ciò porta decisamente ad aumentare le portate, e quindi il fabbisogno per riscaldamento, che, ad esempio per le aule, possono arrivare fino a quasi 2,5 vol/h.

Questo dato modifica anche i risultati del calcolo di potenza del sistema di generazione, per i quali la pompa di calore esistente parrebbe sottodimensionata e utilizzata in condizioni di scarso rendimento, con conseguente maggior ricorso alla caldaia. Questo risultato merita altre verifiche nel seguito della ricerca, data l'importanza che l'inserimento di pompe di calore come generatori sta assumendo negli interventi di riqualificazione delle scuole. A tal riguardo sarà anche importante verificare l'efficacia dell'accoppiamento con un sistema di ventilazione meccanica controllata.

Riassumendo è possibile affermare quanto segue.

Gli interventi di riqualificazione dei componenti opachi e finestrati dell'involucro sono assolutamente imprescindibili. La realizzazione di un cappotto esterno è sicuramente più performante come ha dimostrato l'esempio della scuola, richiede però la verifica della compatibilità con i caratteri storici e morfologici

dell'edificio, se vincolato, ad opera degli enti preposti. Per adottare questo tipo di misure, entrambi i casi di studio hanno dimostrato che la conoscenza dei materiali storici non è attualmente esaustiva. Le informazioni sulla trachite utilizzata a Carbonia sono decisamente scarse, nonostante sia uno dei principali materiali del periodo dell'autarchia. Maggiori approfondimenti della ricerca sono decisamente necessari.

Per quanto riguarda il raggiungimento degli obiettivi NZEB, l'intervento eseguito sulla scuola, sebbene realizzato quando questi non erano ancora in vigore, dimostra che non è affatto lontano. A tal proposito è necessario completare le indagini sull'efficacia funzionale e sull'integrabilità della rinnovabile elettrica solare e sulla convenienza economica degli impianti di ventilazione meccanica controllata, in condizioni climatiche miti come quelle del Sulcis e alla luce dei fabbisogni di ventilazione resi obbligatori dalle nuove normative tecniche.

## 4 Riferimenti bibliografici

1. A. Sanna (a cura di), "I manuali del recupero dei centri storici della Sardegna. Il Sulcis e l'Iglesiente", Dei, Roma, 2009.
2. F. Barracu, D. Marrocu, "Proposta per la riqualificazione energetica delle strutture adibite a centro ricerche della Sotacarbo", Tesi del Master di II livello in Bioedilizia ed Efficienza Energetica dell'Università di Cagliari, A.A. 2013/14.
3. F. Salaris, "Analisi progetto di riqualificazione energetica di un edificio pubblico soggetto a tutela storica ai sensi dell'art. 10 del D. Lgs.42/04. Scuola Media Sebastiano Satta", Tesi del Master di II livello in Bioedilizia ed Efficienza Energetica dell'Università di Cagliari, A.A. 2013/14.

## 5 Abbreviazioni ed acronimi

V	Volume delle parti di edificio abitabili o agibili al lordo delle strutture che li delimitano
S	Superficie esterna che delimita il volume
S/V	Rapporto di forma dell'edificio
Su	Superficie utile dell'edificio
$\theta_{int}$	Valore di progetto della temperatura interna
$\phi_{int}$	Valore di progetto dell'umidità relativa interna
$U_{g_{sdf}}$	Trasmittanza iniziale solo vetro senza considerare l'intervento migliorativo (stato di fatto)
$U_{w_{sdf}}$	Trasmittanza iniziale serramento senza considerare l'intervento migliorativo (stato di fatto)
$U_{g_{im}}$	Trasmittanza finale solo vetro a seguito dell'intervento migliorativo ipotizzato
$U_{w_{im}}$	Trasmittanza finale serramento a seguito dell'intervento migliorativo ipotizzato