



Ricerca di Sistema elettrico

Studio sulla riqualificazione a nZEB degli edifici pubblici storici costituenti l'area grande miniera di serbariu

S. Pili, F. Poggi, E. Loria, P. Miraglia, A. Porcu, C. Frau
DICAAR Università degli Studi di Cagliari

STUDIO SULLA RIQUALIFICAZIONE A NZEB DEGLI EDIFICI PUBBLICI STORICI COSTITUENTI L'AREA GRANDE MINIERA DI SERBARIU

Stefano Pili, Francesca Poggi, Eusebio Loria, Paolo Miraglia, Andrea Porcu, Caterina Frau
Università degli Studi di Cagliari, DICAAR

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Progetto: *Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB) – CUP I12F17000070001*

Parte B: Edifici ad energia quasi zero

Tema A: Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento

Obiettivo: a.1 Diagnosi energetica di un edificio pubblico

Responsabile del Progetto: dott.ssa Franca Rita Picchia, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Tecnologie e metodologie Low Carbon e Edifici ad energia quasi zero (nZEB)*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

Si ringrazia il Comune di Carbonia per la condivisione di informazioni e per il permesso allo svolgimento delle attività

Indice

SOMMARIO	5
1 INTRODUZIONE	6
1.1 CONTESTO TEORICO E STATO DELL'ARTE	6
1.2 OBIETTIVO DEL LAVORO	15
2 METODOLOGIA	16
2.1 APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE	16
2.2 APPROCCIO METODOLOGICO PER LA DIAGNOSI ENERGETICA	19
2.3 DIAGNOSI ENERGETICA PRELIMINARE	22
2.3.1 <i>Descrizione generale dell'edificio e del suo contesto</i>	22
2.3.1.1 Valori storico paesaggistici dell'edificio e del suo contesto	23
2.3.2 <i>Profilo di utilizzo dell'Edificio e degli ambienti</i>	24
2.3.2.1 Destinazione d'uso degli ambienti	24
2.3.2.2 Profilo d'uso degli ambienti	25
2.3.2.3 Profilo dei consumi.....	26
2.3.2.4 Qualità percepita degli ambienti.....	29
2.3.2.5 Requisiti normativi degli ambienti.....	35
2.3.2.6 Indicazioni progettuali.....	35
2.3.3 <i>Stato attuale del sistema edificio-impianti</i>	35
2.3.3.1 Indicazioni per la modellazione energetica.....	39
2.3.4 <i>Strategie ed Ipotesi preliminari di intervento</i>	39
2.4 DIAGNOSI ENERGETICA STANDARD	41
2.4.1 <i>Contenuto del report delle attività di misura</i>	41
2.4.1.1 La misura del comfort interno (microclima e illuminazione).....	42
2.4.1.2 La misura dei consumi	44
2.4.1.3 Le indagini sugli elementi edilizi.....	45
<i>Lo strumento è di facile utilizzo, ma richiede molto tempo per la misura e risente notevolmente delle condizioni ambientali durante prova</i>	47
2.4.2 <i>Modellazione energetica</i>	52
2.4.2.1 Dati di ingresso e parametri del modello energetico.....	53
2.4.2.2 Risultati	53
2.4.2.3 Discussione dei Risultati della modellazione.....	53
2.5 VALUTAZIONE DEGLI SCENARI DI RIQUALIFICAZIONE	54
2.5.1 <i>Definizione dello scenario di non progetto</i>	54
2.5.2 <i>Definizione e valutazione delle ipotesi di intervento</i>	55
2.5.2.1 Criteri di fattibilità tecnico economica.....	55
2.5.2.2 Criteri qualitativi	56
2.5.3 <i>Definizione e valutazione degli scenari di intervento multipli</i>	57
2.6 PROTOTIPO PER MISURAZIONI IN LABORATORIO DI PARAMETRI RELATIVI ALLE PRESTAZIONI TERMICHE DEI MATERIALI TIPICI DEL SULCIS-IGLESIENTE	59
3 RISULTATI DIAGNOSI ENERGETICHE DEL MUSEO DEI PALEO AMBIENTI SULCITANI (PAS) E DEL MUSEO DEL CARBONE.....	60
3.1 PROFILO D'USO E CONSUMI	61
3.1.1 <i>Condizioni microclimatiche interne e comfort percepito</i>	61
3.2 RISULTATI MODELLAZIONE ENERGETICA	62
3.2.1 <i>Valutazione degli Scenari singoli di efficientamento</i>	64
3.2.2 <i>Valutazione degli Scenari multipli</i>	65
4 CONCLUSIONI.....	71
4.1 LEZIONI APPRESE: PUNTI DI FORZA E CRITICITÀ	71
4.1.1 <i>Accesso ai dati sull'edificio</i>	71

4.1.2	Accesso ai dati sui consumi	72
4.1.3	La modellazione energetica.....	72
4.1.4	Profilo d'uso e partecipazione	73
4.2	FUTURI SVILUPPI DELLA RICERCA	74
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	75
6	ALLEGATI.....	77
6.1	ALLEGATO 1 - DIAGNOSI ENERGETICA DEL MUSEO DEI PALEO AMBIENTI SULCITANI (PAS).....	77
6.2	ALLEGATO 2 - DIAGNOSI ENERGETICA DEL MUSEO DEL CARBONE	77
6.3	ALLEGATO 3 - PROTOTIPO PER MISURAZIONI IN LABORATORIO DI PARAMETRI RELATIVI ALLE PRESTAZIONI TERMICHE DEI MATERIALI TIPICI DEL SULCIS-IGLESIENTE	77

Sommario

Il lavoro presentato in questo documento si inquadra all'interno dell'ampio dibattito scientifico e culturale riguardante l'efficientamento energetico del patrimonio edificato esistente. Questo report costituisce la parte finale di un programma di ricerca triennale volto alla definizione e la sperimentazione di un approccio metodologico per supportare il processo di efficientamento energetico del patrimonio edificato della Pubblica Amministrazione sviluppando la conoscenza preliminare all'intervento in maniera coerente con gli approcci consolidati ed al contesto normativo vigente, ma compatibile con le peculiarità del contesto e le risorse disponibili. L'ambito oggetto di studio è il contesto locale della città di Carbonia che si distingue per essere una città mineraria di fondazione edificata durante il regime fascista fondata nel 1938. Il contesto è perciò molto adatto alla sperimentazione della metodologia perché è caratterizzato da un patrimonio immobiliare piuttosto omogeneo dal punto di vista materico – costruttivo con una alta percentuale di edifici di proprietà pubblica.

Dopo un breve richiamo allo stato dell'arte ed al contesto teorico di sfondo, il documento presenta la metodologia sviluppata e le motivazioni alla base degli approcci e degli strumenti scelti. I risultati vengono qui presentati in maniera sintetica rimandando per i dettagli agli allegati dedicati alle diagnosi energetiche di alcuni edifici pubblici storici costituenti l'area della Grande Miniera di Serbariu (Museo del Carbone, Museo dei Paleo Ambienti Sulcitani (PAS). La parte finale del documento è dedicata alla discussione generale dei risultati ed alle lezioni apprese sulle quali basare le prospettive future di ricerca. I risultati hanno mostrato come le condizioni d'uso dell'edificio influenzino notevolmente le possibilità di efficientamento energetico e come ottenere la conoscenza dei profili di consumo reali sia ancora un elemento critico per l'impostazione di una efficace strategia di intervento.

1 Introduzione

Il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA hanno stipulato in data 21 Aprile 2016 l'Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale.

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 "PARTE B: Edifici ad energia quasi-zero" facente capo al piano annuale di realizzazione 2016 dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ed in particolare agli ambiti attinenti il Tema di Ricerca "Edifici a energia quasi zero (nZEB)", Progetto A "Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento", Obiettivo a.1 "Diagnosi energetica di un edificio pubblico".

1.1 Contesto teorico e stato dell'arte

La transizione verso modelli insediativi più sostenibili, e nello specifico il miglioramento della efficienza energetica del patrimonio edificato esistente, responsabile di circa il 40% delle emissioni di GAS serra e di circa il 25% degli usi finali energetici nell'Europa dei 28 (Eurostat, 2016), è una delle strategie chiave per il raggiungimento degli obiettivi 20-20-20 e del più ambizioso traguardo per il 2050 (European Parliament, 2010). In Italia la quota più elevata degli usi finali di energia, pari al 35,2% nel 2009, è afferibile al settore civile; seguono i trasporti col 32,2% e il settore industriale col 22,6%. La climatizzazione e la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) rappresentano circa il 22% del consumo primario nel Paese per il quale, nonostante la diffusione di sistemi sempre più efficienti, si prevede ancora una crescita annua del 3,5% causata dalla sempre maggiore diffusione dei sistemi di climatizzazione estiva (CRESME, 2010).

La riedizione della direttiva europea sulla efficienza energetica negli edifici (Direttiva 2010/31/CE EPBD recast) introduce l'importante concetto dell'edificio ad energia quasi zero (nearly Zero Energy Building - nZEB) come un edificio ad alta efficienza energetica dove il fabbisogno quasi nullo di energia deve essere prevalentemente coperto da fonti energetiche rinnovabili prodotte in loco. Gli stati membri devono provvedere a definire i requisiti specifici dei nZEB basati sulle specificità climatiche e del patrimonio edilizio locale al fine di raggiungere gli obiettivi di diminuzione della CO₂ del settore specialmente per quanto riguarda il patrimonio pubblico. Attualmente in Italia la normativa richiede che le nuove costruzioni dal 2021 (dal 2019 per gli edifici pubblici) debbano essere adeguate al paradigma nZEB e definisce stringenti requisiti prestazionali per gli edifici interessati da ristrutturazioni. Tali requisiti sono proporzionali alla entità della ristrutturazione: gli interventi più invasivi implicano il rispetto di alti requisiti prestazionali per tutto il sistema edificio impianto, mentre per gli interventi minori in genere è richiesto il rispetto di parametri che riguardano solo l'elemento di fabbrica rinnovato (D.Lgs. 19/08/2005 n.192 s.m.i, D.M. 26 giugno 2015).

Lo sviluppo tecnologico di involucri ed impianti sempre più efficienti unitamente alla diffusione della micro generazione da Fonti di Energia Rinnovabile (FER) delinea la possibilità di costruire nuovi edifici a consumo quasi zero; inoltre lo studio di soluzioni integrate nei corpi edilizi sembra fornire gli strumenti per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente [1]. Parallelamente i numerosi esempi di nuovi eco-quartieri o eco-città mostrano le potenzialità del progetto sostenibile in fatto di riduzione dei consumi e delle emissioni ed aumento della qualità degli ambienti interni e dello spazio pubblico [2].

Tuttavia il patrimonio edificato europeo è ancora prevalentemente costituito da vecchi edifici con limitate prestazioni energetiche e mostra il considerevole valore medio di fabbisogno energetico di circa 200kWh/mq annuo (Enerdata 2011). In Italia più del 90% del patrimonio immobiliare è stato realizzato prima del 1991, ossia prima della entrata in vigore di una legge efficace per la limitazione del consumo energetico in edilizia che fissasse con precisione le prestazioni energetiche degli elementi costruttivi e degli impianti [3].

La realizzazione di nuovi edifici o di nuove urbanizzazioni costituisce un'occasione privilegiata per applicare il paradigma della Smart City fin dalle prime fasi del progetto integrando le soluzioni tecnologiche volte alla realizzazione del nZEB con lo studio preliminare della morfologia urbana, delle reti infrastrutturali, dei materiali e dello spazio pubblico attraverso un approccio ecosistemico che promuova la sostenibilità di tutti

i suoi elementi (la mobilità sostenibile, ciclo dell'acqua, rifiuti, ..). Al contrario per gli edifici esistenti e nei contesti urbani consolidati le possibilità di efficientamento energetico sono fortemente limitate dalla complessità delle relazioni tra elementi materiali e immateriali ormai stratificate nel tempo.

La riqualificazione energetica o, in senso più ampio, sostenibile degli edifici e della città consolidata non è solo una problematica di ottimizzazione tecnico-architettonica ma ha le caratteristiche di un problema decisionale non strutturato che coinvolge a più livelli planner, decisori e cittadini.

Diversi studi hanno cercato di identificare le principali barriere allo sviluppo del mercato dell'efficientamento energetico del patrimonio immobiliare in modo da indirizzare lo sviluppo di politiche, strategie e strumenti adatte al loro superamento [4, 5, 6]:

- barriere economiche, legate ai fondi disponibili per l'efficientamento ed alle modalità di accesso al credito;
- barriere tecniche, legate alle caratteristiche costruttive ed ai materiali dell'edificio che possono favorire o escludere alcune tecnologie a priori;
- barriere normative, generalmente legate ai vincoli storico paesaggistici ed ai regolamenti edilizi locali, ma possono essere anche dipendenti dall'uso specifico a cui l'edificio è destinato;
- barriere gestionali, alcune tecnologie comportano complicazioni di tipo gestionale ed amministrativo legate principalmente all'uso comune di alcuni spazi e servizi che ne possono scoraggiare l'adozione;
- barriere culturali, legati alla conoscenza delle tecnologie degli utenti finali ma anche degli operatori del settore o dei decisori della PA.

Lo studio delle barriere economiche è uno degli aspetti più consolidati in letteratura, la fattibilità economica di un impianto o di un rinnovamento edilizio viene generalmente analizzata tramite indicatori di rendimento consolidati (tempo di ritorno, VAN, Flusso di cassa,..), tuttavia l'interpretazione dei risultati rimane ancora un campo di studio aperto perché fortemente legato alle preferenze dei proprietari o dei gestori dell'immobile e dalle condizioni del contesto preso in considerazione. Le barriere economiche sono considerate tra le più impattanti sul potenziale di efficientamento: il parametro che sembra avere largamente più influenza è l'investimento iniziale seguito dal tempo di ritorno. Su questi aspetti giocano un ruolo chiave il profilo socio economico e il titolo di godimento dell'immobile: se l'unità immobiliare è in affitto, il proprietario potrebbe non avere interesse ad investire in quanto non può godere direttamente né del beneficio economico dovuto al risparmio in bolletta né delle migliori condizioni di comfort interne. Parimenti un proprietario anziano potrebbe non avere interesse ad investire, in quanto è incerta la sua prospettiva di goderne i frutti. Al contrario una famiglia numerosa con alti costi operativi, potrebbe avere forte interesse a migliorare l'efficienza energetica e all'utilizzo delle FER. In caso di edificio pubblico l'aspetto economico è legato alla specificità del servizio che in esso viene svolto (scuola, museo, ufficio,..), dalle priorità di spesa dell'ente e dalla sua capacità di recuperare fondi per l'investimento iniziale.

Le barriere tecniche sono legate alla interazione tra la nuova tecnologia e il sistema edificio - impianto esistente. In linea generale negli edifici esistenti è buona norma limitare l'invasione degli interventi per limitare la possibilità di incorrere in extra costi ed imprevisti (opere di demolizione, passaggio di impianti, danni a terzi,..) ed il disagio agli occupanti, tali aspetti possono essere importati nella scelta tra le tecnologie di intervento. Le caratteristiche costruttive e lo specifico stato di conservazione dell'edificio possono favorire l'utilizzo di una tecnologia generalmente meno performante in caso di nuove costruzioni e escluderne a priori alcune. In caso di edifici di pregio storico, sono solitamente da escludere per motivi paesaggistici gli interventi di isolamento esterno, perciò l'isolamento interno, che in genere è sconsigliato, diventa una opzione percorribile. Tuttavia spesso la dimensione degli ambienti interni può precludere l'utilizzo di tecnologie che richiedono forti spessori per raggiungere buoni limiti di resistenza termica (doppi muri, cemento cellulare, intonaci termici ..) facendo diventare le soluzioni ad alto potere isolante (materiali nano tecnologici, teli termo-riflettenti, ...) le uniche soluzioni possibili. Tali soluzioni sono però caratterizzate da maggiori costi, minore diffusione nel mercato e da alcune peculiarità di messa in opera che possono inficiarne l'efficacia

tuttavia in questo caso potrebbero essere le uniche utilizzabili. Un altro esempio, riferito agli impianti, può essere il caso di una unità immobiliare avente radiatori come sistema di emissione che si vogliono mantenere per qualche motivo (radiatori in ghisa storici, radiatori di design, radiatori recenti ad alta efficienza,..). Tale vincolo porta a dover utilizzare fluido termovettore ad alta temperatura che in climi rigidi può contribuire ad abbassare notevolmente il rendimento delle pompe di calore, favorendo l'uso di sistemi a caldaia che per altro sono caratterizzati da minori costi di installazione. Lo stato di conservazione del sistema introduce un'altra importante variabile per la scelta della tecnologia: se la copertura necessita già di interventi di impermeabilizzazione e consolidamento il costo aggiuntivo dell'isolamento è molto basso; ciò abbassa notevolmente il tempo di ritorno dell'intervento sull'involucro (che di solito supera ampiamente i 10 anni) rendendolo competitivo con altri interventi normalmente economicamente più performanti (sostituzione dei generatori, Pannelli solari, ..).

I limiti normativi sono legati al contesto locale ed influiscono fortemente sul potenziale di diffusione di una tecnologia, essi attengono principalmente alle norme che disciplinano l'uso del territorio con scopi di tutela paesaggistica ed ambientale e controllo dell'attività edilizia in ambito urbano ed extraurbano. Alcuni edifici o intere aree possono essere gravati da divieti assoluti o da stringenti regole per l'installazione di tecnologie che alterino l'aspetto esterno dei manufatti edilizi.

La mancanza di conoscenza è individuata come uno dei principali fattori critici del processo di efficientamento del patrimonio immobiliare. L'aspetto più limitante consiste nella difficoltà di definire a priori il potenziale di efficientamento energetico di un edificio perché oltre ad essere strettamente dipendente dalle risorse economiche disponibili, è condizionato da limiti legati alle caratteristiche specifiche dell'immobile e del suo contesto ed alla accessibilità del mercato locale alle diverse tecnologie. La mancanza di conoscenza ha effetto sui diversi attori coinvolti nel processo di efficientamento del patrimonio edilizio: gli operatori del settore, i fruitori finali dell'edificio, gli investitori e la pubblica amministrazione. Gli operatori del settore, tanto i progettisti che la manodopera specializzata, possono non essere al corrente delle tecnologie disponibili e/o non avere le conoscenze per garantirne la corretta realizzazione e messa in esercizio. Questo può accadere perché le tecnologie sono in rapida evoluzione, e vi possono essere forti differenze di costo e disponibilità nei mercati locali. I fruitori degli edifici non sono in generale depositari di conoscenze tecniche, ma sono gli utilizzatori finali delle tecnologie e degli ambienti, inoltre, spesso, coincidono con i decisori chiave che stanno investendo nel retrofitting energetico. Gli investitori necessitano di prospettive attendibili sull'efficacia delle tecnologie, che in alcuni casi possono richiedere attività di studio e ricerca non proporzionati all'entità dell'intervento di efficientamento ed al valore del bene. I decisori della pubblica amministrazione, oltre alla conoscenza delle opportunità offerte dalle nuove tecnologie, necessitano di avere un quadro sufficientemente rappresentativo delle caratteristiche del patrimonio edilizio e dei consumi energetici ad esso associato per disegnare efficaci politiche di incentivazione e di supporto al processo di efficientamento.

Ogni intervento di efficientamento energetico si configura come un intervento di modifica del sistema edificio-impianti con il generale adeguamento tecnologico dell'unità immobiliare. Si definisce un processo decisionale specifico che procede verso la selezione delle tecnologie più adatte al miglioramento dell'efficienza del sistema nel rispetto dei vincoli tecnici, economici, normativi e delle aspettative e degli interessi e degli attori coinvolti (figura 2). Un generico processo di riqualificazione energetica o, in senso più lato, sostenibile di un edificio può essere schematizzato in alcune fasi operative: le prime tre sono di tipo progettuale seguite dall'attuazione dell'intervento e dal monitoraggio (Figura 1) [7]. Il progetto può essere suddiviso concettualmente in tre fasi: la prima è una fase preliminare di raccolta del materiale e di definizione degli obiettivi nell'ambito delle risorse disponibili, la seconda consiste nella implementazione del modello energetico basato sull'audit dettagliato dello stato attuale dell'edificio, la terza consiste nella selezione e valutazione delle ipotesi di intervento con la conseguente definizione delle priorità.

Nella prima fase il proprietario e/o colui che gestisce l'edificio individuano, con la controparte tecnica del processo progettuale, gli obiettivi generali del processo di efficientamento basandosi su una preliminare attività di audit dell'edificio e considerando le risorse disponibili. L'attività di audit preliminare è volta ad individuare gli elementi salienti del sistema edificio - impianto sulla base della documentazione disponibile ed esplicitare le condizioni al contorno che il processo di efficientamento deve rispettare, quali ad esempio:

- garantire accettabili livelli di comfort microclimatico e qualità degli ambienti, valutato rispetto all’uso attuale o a quello previsto dopo la ristrutturazione;
- garantire il rispetto degli standard qualitativi degli spazi (accessibilità, mq utili disponibili, ricambi d’aria, sup. finestrata, ..) legati alla destinazione d’uso attuale o prevista (scuole, uffici, residenza,..);
- preservare e valorizzare gli elementi di pregio architettonico dell’edificio e raggiungere accettabili livelli di qualità architettonica degli ambienti;
- garantire il rispetto delle caratteristiche storiche dell’edificio e del contesto paesaggistico di relazione.

La seconda fase si concentra sulla esecuzione di una attività di audit energetico (più o meno dettagliata) che consiste nel rilievo e la raccolta di dati sullo stato del sistema (elementi costruttivi e materiali, impianti che garantiscono diversi servizi, consumi vettori energetici, costi operativi, profilo d’uso degli ambienti,..) e sulla impostazione del modello energetico. Il rilievo può essere svolto in maniera tradizionale con l’eventuale supporto di schede di audit energetico, oppure tramite l’utilizzo di indagini strumentali. In letteratura sono disponibili diversi modelli energetici del sistema edificio-impianto: si va da quelli che propongono dettagliate simulazioni fisiche basate su motori dinamici orari (es: Energy Plus¹, TRNSYS², ..), ai modelli stazionari o semi stazionari proposti dagli standard (UNI ISO 13790:2008, UNI 11300 TS,..). L’obiettivo di questa fase è quindi individuare con precisione gli elementi deboli del sistema e definire un modello affidabile per la successiva valutazione delle ipotesi di intervento.

La terza fase consiste nella scelta degli interventi di efficientamento e nella valutazione degli effetti sul sistema. La selezione tra i potenziali interventi di retrofit può essere una attività prettamente tecnica basata su semplici criteri tecnico economici (miglioramento del fabbisogno e dei costi operativi, Tempo di Ritorno dell’investimento, ..) o comprendere anche altri criteri di natura multi disciplinare che possono coinvolgere anche un gruppo variegato di attori interessati e decisori. Questo è il caso dei protocolli di certificazione ambientale che in questi anni stanno avendo una straordinaria diffusione per il supporto alla progettazione di interventi di recupero sostenibile ed efficientamento energetico sia per gli edifici (pubblici e privati) che a scala urbana o di quartiere (es: Protocollo GBC LEED³, Protocollo ITACA⁴, CASBEE⁵).

Le semplici valutazioni di fattibilità tecnico economica sono tipicamente il caso dei processi di retrofit che riguardano unità immobiliari destinate alla residenza o di basso valore, dove la decisione è spesso lasciata ad una valutazione tecnica di efficacia mediata dalle aspettative, le preferenze e le risorse del proprietario dell’edificio. Il secondo caso invece è più confacente agli edifici pubblici dove possono convergere diversi tipi di interesse (spesso sono edifici di storici o comunque di pregio architettonico, sono inseriti in contesti paesaggistici di pregio, devono garantire adeguati livelli di servizio; svolgono ruoli importati per la comunità, ..) [8]. In questi casi la valutazione può diventare complessa perché deve forzatamente considerare aspetti di diversa natura non sempre direttamente confrontabili e valutabili quantitativamente e coinvolgere un vasto numero di partecipanti caratterizzati da profili culturali ed interessi differenti. In letteratura la risoluzione di questi problemi decisionali è affrontata tramite procedure basate sulla interazione più o meno strutturata con gli stakeholder eventualmente integrata con sistemi supporto alla decisione basati su algoritmi decisionali complessi (Analisi Multi criteri, Ottimizzazione Lineare, Analisi multi obiettivo, ...) [9]. In questo caso l’adozione di un protocollo di certificazione ambientale può essere di aiuto a definire un giudizio che consideri anche aspetti di natura multi disciplinare, tuttavia la scelta della tecnica di valutazione è fortemente legata alle risorse disponibili ed alla tipologia di attori coinvolti nel processo decisionale.

Nella attuale concezione di un processo di retrofitting assume poi un ruolo di fondamentale la fase di monitoraggio delle condizioni del sistema post intervento (consumi, condizioni di comfort, ..) ha la doppia

¹ <https://energyplus.net/>

² <http://www.trnsys.com/>

³ <https://new.usgbc.org/leed>

⁴ http://www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp

⁵ <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/>

finalità di verificare l'efficacia delle azioni effettuate e sensibilizzare l'utente finale ad un corretto e responsabile uso dell'edificio tramite opportuni sistemi (smart meter, interfacce per la gestione Smart dell'edificio e dei suoi sistemi).

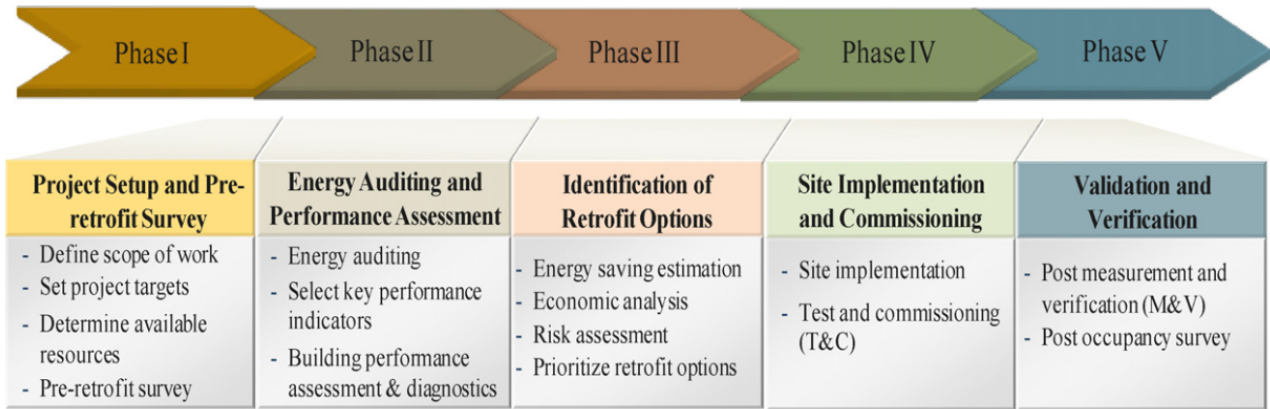


Figura 1. Schema generale di un processo di retrofitting energetico di un edificio (tratto da [7])

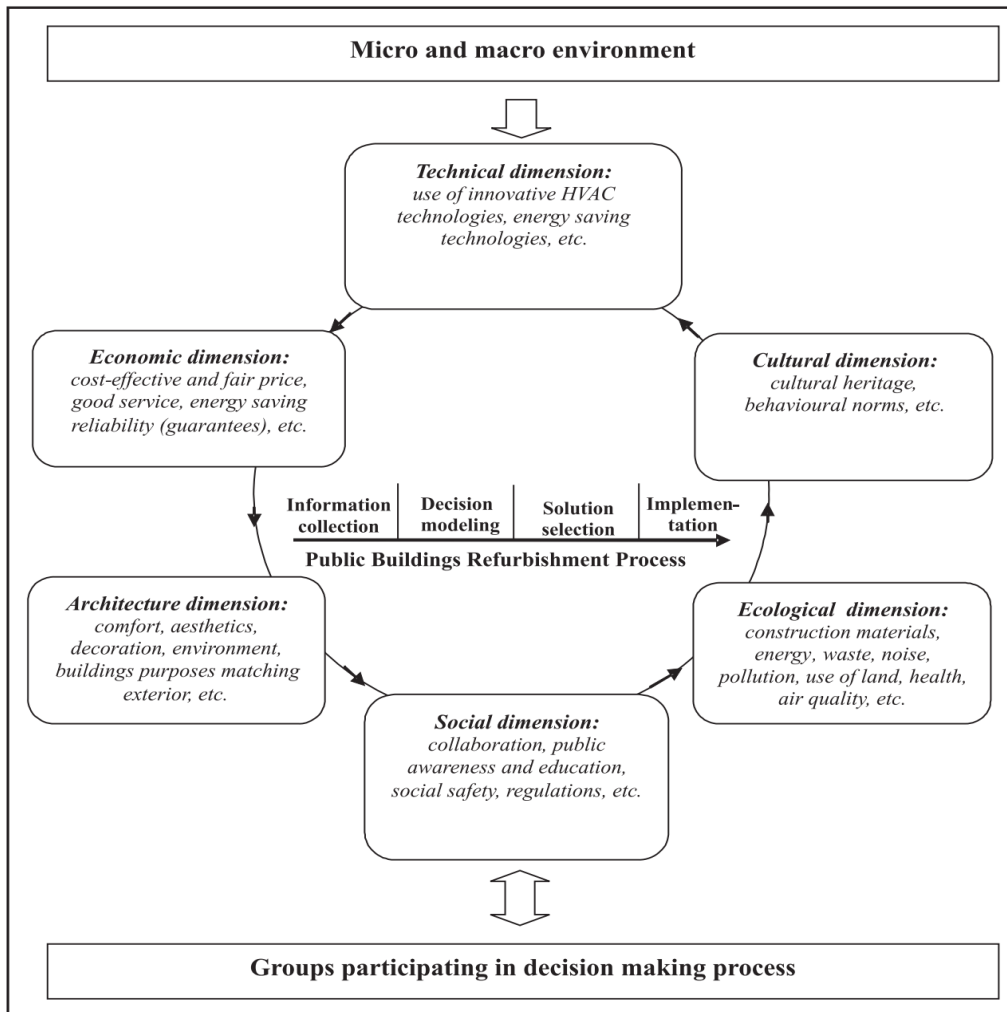


Figura 2. Fattori che influenzano il processo decisionale per un efficientamento energetico di un edificio pubblico (tratto da [8])

In letteratura si possono ritrovare due principali approcci metodologici alla progettazione dell'efficientamento caratterizzati da diversi livelli di dettaglio [10]. Il primo, caratterizzato da maggiore dettaglio, si concentra sulla redazione di accurate diagnosi energetiche e sulla ricerca di soluzioni tecniche a carattere innovativo studiate in maniera specifica per l'edificio. Questi studi sono generalmente basati sull'analisi dettagliata delle caratteristiche dell'edificio e delle sue condizioni d'uso (geometrie, materiali, impianti, ...). Lo studi sono spesso attuati tramite l'utilizzo, più o meno estensivo, di sistemi di rilievo innovativi (laser, scanner, Sensori ambientali e microclimatici, ...) [11] e spesso adottano sistemi BIM per supportare la successiva fase di attuazione del progetto [12]. La valutazione tecnico - economica delle tecnologie utilizzabili è effettuata tramite modelli energetici dinamici del sistema edificio - impianti fisicamente accurati, ed il confronto tra alternative progettuali talvolta utilizza strumenti di supporto alla decisione basati su raffinati algoritmi decisionali (Analisi multicriteri, Agend Based Analisi,...). Questi lavori sono spesso supportati da altre analisi specifiche (valutazioni di LCA, Modelli Fluido Dinamici, ..) o approcci innovativi di indagine strumentale o di rilievo dei profili di uso. L'ambito di utilizzo di questi approcci si focalizza su edifici caratterizzati da alti valori (economici, monumentali, ...), in quanto richiede il coinvolgimento di un team multi-disciplinare di lavoro che implica una alta disponibilità di risorse. L'approccio metodologico e gli strumenti possono essere esportati su contesti simili, ma lo studio può essere considerato un progetto di ricerca a sé stante che richiede un'alta particolarizzazione dell'approccio.

Il secondo approccio progettuale sposta l'attenzione sulle caratteristiche ricorrenti o "tipologiche" del patrimonio edificato che possono indirizzare verso la scelta delle tecnologie impiantistiche più appropriate e supportare nello studio delle caratteristiche dello specifico edificio [13]. Queste categorie tipologiche possono riguardare diversi aspetti del sistema edificio-impianto (strutture e materiali, soluzioni impiantistiche, profili d'uso standard) ma anche le caratteristiche salienti delle soluzioni tecnologiche più consolidate per l'efficientamento. L'approccio tipologico può essere sviluppato a varie scale: esso è ampiamente utilizzato per supportate nella definizione di politiche e strategie di efficientamento del patrimonio immobiliare alla scala regionale o nazionale e anche nella definizione di scenari progettuali alla scala urbana o di quartiere [14]. Questi studi partono sempre dall'analisi di un campione di edifici rappresentativi, i risultati sono poi generalizzati tramite appropriate procedure alla scala più ampia (quartiere, città, regione, ..) per esplicitare le caratteristiche del patrimonio edilizio che possono essere di indirizzo per il progetto di politiche e strategie di incentivazione. Restringendo il campo di studio ad un gruppo di edifici sufficientemente omogeneo, per tipologia o per contesto territoriale, possono essere definite delle linee guida basate sulle caratteristiche ricorrenti del patrimonio e sulla disponibilità locale di tecnologie consolidate, contribuendo a limitare i costi per il progetto degli interventi. La valutazione tecnico-economica delle soluzioni tecnologiche è effettuata tramite l'utilizzo di modelli energetici semplificati, generalmente coerenti con le normative tecniche nazionali, applicati seguendo specifici protocolli metodologici. L'approccio tipologico al progetto degli interventi è meno affidabile di quello di dettaglio e, per alcuni edifici aventi caratteristiche particolari, può essere fortemente inadeguato. D'altra parte è di più semplice applicazione perciò sembra essere appropriato per il patrimonio edificato "ordinario" o nei casi di scarsa disponibilità di risorse. Gli approcci tipologici sono la base delle normative tecniche e dei protocolli di certificazione, esse adottano semplificazioni di calcolo rispetto al modello fisico ed approcci tabellari basati sulle caratteristiche ricorrenti degli elementi del sistema edificio - impianto (abachi delle strutture, rendimenti tipici degli impianti,..) al fine di limitare i costi delle fasi di progetto e di garantire risultati confrontabili tra loro pur mantenendo un sufficiente grado di affidabilità.

Lo sviluppo e la diffusione di linee guida e protocolli di intervento orientati al supporto degli operatori del settore (progettisti, imprese, installatori, ...) nella scelta e nell'utilizzo delle tecnologie ed alla diffusione delle conoscenze tecniche anche un pubblico non necessariamente tecnico è uno dei pilastri della strategia europea per il perseguimento degli obiettivi di efficientamento del patrimonio edificato [15]. Le linee guida possono essere indirizzate all'utilizzo di specifiche tecnologie (tecnologie solari, isolamento termico, ..), dedicate ad alcune classi omogenee di edifici (scuole, edifici storici, edifici pubblici in genere,..) oppure legate ad un contesto territoriale peculiare (per clima, tipi edilizi, ..). Esse sono generalmente di natura volontaria e non prescrittiva e possono supportare il processo di efficientamento solo in alcune attività specifiche

(selezione delle tecnologie, indagini strumentali, ..) oppure accompagnarlo in tutto lo svolgimento (progetto, realizzazione, monitoraggio) contribuendo a migliorare la qualità del processo edilizio. In generale si compongono di una parte documentale, orientata a definire un quadro esaustivo delle conoscenze che stanno alla base del processo progettuale (abachi di materiali e strutture, elenchi delle tecnologie disponibili, proposta di strumenti di misura,..) ed una metodologico - strumentale che guida nella esecuzione stessa del processo (schede di audit, metodologie per l'analisi strumentali, flussi procedurali di lavoro, metodi di valutazione e confronto tra alternative progettuali,..).

Gli elementi ricorrenti del sistema edilizio sono descritti negli abachi tramite le caratteristiche che influenzano la prestazione energetica ed il comfort interno (parametri termo fisici dei materiali, rendimenti degli impianti,..) ma possono riportare anche altre informazioni legate alla integrazione col contesto specifico a cui le linee guida si riferiscono (valore storico-architettonico, tipologie di degrado, ...). Le soluzioni tecnologiche sono generalmente descritte nei loro principali aspetti tecnici enfatizzando gli aspetti relativi all'integrazione con le strutture edilizia esistenti. Per guidare alla selezione tra le tecnologie sono spesso definite delle scale di priorità basate su criteri comunemente accettati (es: efficacia della tecnologia in termini di risparmio energetico e/o diminuzioni delle emissioni, tempi di ritorno tipici, costi iniziali, semplicità di realizzazione, impatto sull'edificio, impatto paesaggistico) o legati alla specificità del contesto o dell'argomento trattato dalle linee guida stesse (edifici storici, scuole, uffici, centri commerciali,).

La parte metodologica delle linee guida mira a fornire strumenti di supporto all'attuazione del processo progettuale nelle diverse attività che lo compongono (analisi delle strutture e degli impianti, misura della qualità interna e del microclima, studio dei profili d'uso, ...) definendone le fasi procedurali e le modalità di esecuzione. Le linee guida possono anche fornire strumenti di supporto alle singole attività del processo progettuale come: schede di audit per il rilievo, procedure di misurazione strumentali, tecniche di coinvolgimento dei stakeholder o strumenti di supporto alla decisione o di supporto alla comunicazione.

Gli approcci tipologici sono la base per la definizione di linee guida per il miglioramento tecnologico e l'efficientamento energetico di edifici specialistici che sono caratterizzati da una certa ripetitività nelle soluzioni costruttive ed impiantistiche e nelle problematiche d'uso; come possono essere: scuole, uffici, centri commerciali, aree espositive, ed altri. Nel contesto italiano il recupero degli edifici scolastici è al centro di un vasto programma di riqualificazione promosso a livello nazionale ed attuato su base regionale e locale. Gli edifici scolastici siano essi storici (ossia costruiti prima del 1950) o realizzati più di recente, sono spesso caratterizzati da soluzioni costruttive decisamente ricorrenti, soprattutto se analizzati a livello locale, in quanto edificati nell'ambito di programmi di edilizia pubblica pluriennali.

In letteratura si ritrovano diversi esempi di studi volti a caratterizzare il patrimonio pubblico a diversa scala in modo da individuare un set preliminare di ipotesi di intervento sulla base delle quali l'amministrazione possa definire il proprio programma di efficientamento tenendo conto delle priorità e delle risorse disponibili. Tali studi si basano sulla preliminare ricognizione della consistenza del patrimonio seguito dallo studio, con metodi più o meno accurati, di un campione rappresentativo di esso finalizzato alla identificazione delle prestazioni energetiche tipiche, dei fenomeni di degrado più frequenti e delle problematiche inerenti alle condizioni d'uso più diffuse. Alcune linee guida hanno un carattere più generale prettamente legato alla tipologia di uso dell'edificio e non tanto alle particolarità locali, individuando alcune priorità di intervento o soluzioni tecnico-progettuali adeguate. Negli edifici scolastici, oltre all'efficientamento energetico, le priorità sono migliorare la qualità degli ambienti interni delle aule (comfort microclimatico, acustico, visivo, e la rimozione delle sostanze tossiche, sicurezza strutturale, ...) ed enfatizzare il ruolo educativo delle soluzioni tecnologiche volte al miglioramento della sostenibilità in senso più lato (riciclo dei rifiuti, razionalizzazione dell'uso dell'acqua, ..) [16]. Nel caso degli edifici espositivi (musei, gallerie,..) la priorità è la protezione dei reperti da condizioni microclimatiche che possano favorirne il degrado (umidità, illuminazione, temperatura,..). L'approccio può diffuso sottolinea l'importanza della progettazione di zone termiche differenti per lo spazio adatto alla fruizione umana e quello dedicato alla conservazione dei reperti (teche espositive, locali dedicati,..) tramite l'accurato studio delle condizioni microclimatiche dei locali dell'edificio ed un sistema impiantistico fortemente personalizzato [17].

Una tematica al centro di un forte interesse disciplinare è l'intervento sugli edifici storici, perché il miglioramento dell'efficienza si combina con la generale necessità di adeguamento tecnologico e funzionale e si scontra con le istanze di tutela e valorizzazione dei valori storici ed architettonici [18]. Alcuni recenti progetti europei [19] e diverse normative [20] e protocolli nazionali [21] sono orientati a dare linee guida per supportare nella definizione di azioni di efficientamento energetico e miglioramenti tecnologico funzionale in edifici storici (monumentali o ordinari) cercando di mantenere un equilibrio tra la ricerca della performance e le esigenze di tutela dei valori architettonici e paesaggistici proprie del restauro. Il patrimonio edificato storico, che costituisce la maggior parte dei nuclei storici delle città europee, è interessato da un diffuso fenomeno di abbandono e degrado, la tutela e la valorizzazione di questo immenso patrimonio implica il suo riuso ed adattamento ai requisiti tecnico-funzionali degli edifici moderni che vede nell'efficientamento energetico uno dei possibili motori economici per la sua attuazione [22].

Una delle criticità che sottende l'efficientamento degli edifici storici è la difficoltà di utilizzare approcci fortemente ripetitivi in quanto ogni edificio è il risultato delle azioni di degrado e di molteplici modifiche e superfetazioni che lo rendono unico. Le linee guida non sono un elenco vincolante di soluzioni tecnologiche pronte all'uso, ma indicano dei metodi e raccolgono le conoscenze di base per sviluppare progetti adattati alle specificità dell'edificio. I criteri di progetto degli interventi generalmente accettati per minimizzare l'impatto delle azioni di rinnovamento sull'edificio possono essere così riassunti:

- il processo progettuale deve essere basato su una attenta analisi dei valori storici delle componenti dell'edificio (rilevanza, integralità unicità, ..) considerati in relazione ai valori paesaggistici del contesto territoriale di relazione;
- il processo di progettuale deve partire dall'analisi degli usi attuali o degli usi futuri dell'edificio e dei suoi ambienti, prendendo in considerazione anche un punto di vista adattivo;
- il processo progettuale deve privilegiare le tecnologie con minore impatto nelle componenti di valore dell'edificio, e quelle più facilmente reversibili;
- l'obiettivo non è un adeguamento a predeterminati obiettivi di efficienza, ma il miglioramento delle prestazioni nel rispetto dei caratteri storici dell'edificio e dei livelli di servizio richiesti.

Il progetto deve partire dalla valutazione preliminare dei valori storico paesaggistici che caratterizzano l'edificio: gli edifici di valore maggiore "monumentali" sono gravati da stringenti vincoli di protezione, essi sono generalmente inseriti in specifici elenchi (nazionali o internazionali); tuttavia tutti gli edifici costruiti prima del 1950 sono considerati da preservare in quanto esempio delle tecniche costruttive tradizionali [23]. Si possono adottare differenti approcci progettuali per gli edifici che hanno valore in quanto depositari di alcuni fatti identitari (fatti storici, funzioni rappresentative, particolarità costruttive rilevanti, ...) o edifici storici ordinari che assumono valore solo in quanto parte di un bene paesaggistico di insieme. Inoltre il rapporto con il contesto gioca un ruolo fondamentale nella definizione delle strategie progettuali perché anche un edificio storico ordinario può essere protetto da forti vincoli se inserito in contesto paesaggistico di pregio o se fa parte dello scenario di un bene culturale di pregio. Alcuni approcci, fortemente conservativi, suggeriscono che anche gli edifici moderni più recenti (anni 60, 70, 80,..) possono essere meritevoli di una qualche protezione in quanto considerati testimoni della storia dello specifico insediamento urbano [24]. È il caso di quartieri disegnati in maniera unitaria che sono il segno tangibile dei fatti storici recenti di un insediamento urbano e che possono costituire un elemento identitario importante nel contesto locale.

Il processo di ristrutturazione di un edificio storico deve considerare il profilo d'uso attuale e quello previsto che implica, in primo luogo, la valutazione dei parametri microclimatici interni finalizzata a garantire il rispetto dei requisiti di comfort specifici di ogni ambiente. In secondo luogo il profilo d'uso può essere rimodulato in maniera adattiva al fine di limitare il fabbisogno e/o facilitare l'applicazione di alcune azioni di efficientamento: variando l'articolazione delle zone termiche e degli usi ad esse collegati, modificando le partizioni interne, o in estrema ratio escludendo alcuni usi che possono generare forti impatti sulle strutture dell'edificio e sulla efficienza del sistema [25].

Alcune linee guida propongono metodologie che supportano nella selezione delle ipotesi progettuali più adatte al miglioramento tecnologico sulla base delle caratteristiche specifiche dell'edificio: identificando una vera e propria scala di priorità nella valutazione tecnologie di retrofitting che predilige gli interventi di minore impatto sugli elementi di pregio storico dell'immobile [26]. Altre propongono abachi di soluzioni tecnologiche valutate rispetto agli impatti sulle caratteristiche principali del sistema edificio impianto [27]. Sottolineando l'importanza della ricerca di soluzioni progettuali personalizzate ma guidate da criteri di minimizzazione dell'impatto sulle componenti storiche dell'edificio, si introduce il concetto di "miglioramento" delle prestazioni energetiche e più in generale delle dotazioni tecnologiche in luogo "dell'adeguamento" che richiede il raggiungimento di limiti prestazionali rigidi definiti a priori [28, 29].

Le linee guida del Mibact [21] suggeriscono che i contenuti degli studi progettuali e le indagini conoscitive devono essere commisurate al valore del bene. In accordo con quanto suggerito negli standard, gli studi preliminari agli interventi di efficientamento si articolano su tre livelli progressivi di approfondimento (tabella 1): preliminare o di primo livello, standard o di secondo livello, di terzo livello. La diagnosi preliminare è un'attività che deve essere economica e di rapida esecuzione, può essere sufficiente nei casi più semplici ma è comunque lo step iniziale anche di attività più approfondite di analisi. La diagnosi di primo livello è consigliata in caso di edifici ordinari, si raccomanda l'utilizzo di modelli energetici e attività di indagine consolidate e regolate dalle normative tecniche, al fine di garantire l'esportabilità dei risultati e facilitare la comunicazione. Il terzo livello è riservato agli edifici di maggiore valore ed a situazioni particolari, in quanto richiede ingenti risorse tecnico-economiche per effettuare studi di dettaglio e realizzare soluzioni tecnologiche fortemente personalizzate. Le linee guida Mibact sottolineano l'importanza di valutare il pregio storico ed identitario di tutti gli elementi dell'edificio compresi quelli impiantistici più legati alle architetture moderne anni 30-50. Per un edificio significativo degli anni 50, adibito ad usi pubblici, potrebbe avere significato il recupero funzionale dei vecchi radiatori in ghisa anche se inefficienti rispetto a soluzioni contemporanee basate su sistemi a bassa temperatura. Al contrario lo stesso elemento in un edificio ad uso privato privo di particolare valore, potrebbe essere facilmente sostituito con tecnologie attuali.

Tabella 1. Prospetto dei livelli della diagnosi energetica.

Livello di analisi	Quando utilizzarlo	Tipo di analisi energetica	Ipotesi di intervento
Preliminare	Interventi poco impattanti edifici ordinari scarsità risorse	Indagini speditive Confronto con altri edifici simili o con esempi in letteratura; analisi della documentazione disponibile	Consigli Soluzioni tecnologiche consolidate con limitato rischio economico
Primo livello	Edifici ordinari e/o edifici di pregio ma con configurazioni del sistema edificio – impianto comuni	Indagini accurate ma standard Modello energetico standard (coerente con le normative) adattato all'edificio	Analisi di fattibilità tecnico economica di soluzioni impiantistiche consolidate combinate in diversi scenari di intervento.
Secondo livello	Edifici caratterizzati da alto valore storico e/o economico caratterizzati da configurazioni del sistema edificio – impianto particolari	Indagini accurate anche con sistemi innovativi Modelli energetici dinamici fortemente personalizzati Altre analisi specialistiche (FDM, LCA,..)	Analisi di fattibilità economica di Soluzioni tecnologiche fortemente personalizzate e sperimentali.

1.2 Obiettivo del lavoro

L'obiettivo dello studio è la definizione e la sperimentazione di un approccio metodologico volto a supportare il processo di efficientamento energetico, e più in generale di miglioramento tecnologico del patrimonio edificato della Pubblica Amministrazione. Lo studio sviluppa e sperimenta delle linee guida per la costruzione della conoscenza di sfondo alla base del processo di efficientamento del patrimonio immobiliare pubblico basate sulle specificità locali ma coerenti con gli approcci e le metodologie consolidate in letteratura ed al contesto normativo nazionale. Le normative (UNI CEI EN 16247-1:2012 e 2:2014; ISO 50002:2014) definiscono i contenuti e le metodologie per le diagnosi energetiche obbligatorie per legge (d.leg. 102/2014), ossia per le imprese energivore e tutte le imprese che hanno almeno uno dei seguenti requisiti: oltre 250 dipendenti, fatturato superiore a 50 mln €, bilancio annuo oltre 43 mln €.

L'ambito oggetto di studio è il contesto locale della provincia di Carbonia-Iglesias e nello specifico della città di Carbonia. Carbonia si distingue per essere una città mineraria di fondazione edificata durante il regime fascista che ha avuto il primo nucleo di edificazione terminato nel 1938. Il contesto è perciò molto adatto alla sperimentazione della metodologia perché è caratterizzato da un patrimonio immobiliare piuttosto omogeneo dal punto di vista materico – costruttivo, con una percentuale di edifici di proprietà pubblica, sia residenziali che non, fra le più alte di Italia. Il contesto locale è caratterizzato da una diffusa qualità paesaggistica ed ambientale ed è preservato da un corposo apparato normativo di natura nazionale e regionale; in particolare la maggior parte del patrimonio immobiliare pubblico può essere considerato storico (in quanto realizzato prima del 1950) oppure caricato di valori paesaggistici e/o identitari di carattere locale. Il contesto locale è gravato da limitate risorse socio - economiche che necessitano lo sviluppo di un approccio a basso costo facilmente ripetibile. Lo scopo è supportare gli operatori del settore nella fase iniziale di analisi dell'edificio ed individuazione preliminare delle strategie di intervento al fine di limitare i tempi ed i costi della progettazione ed impostare delle metodologie ed un patrimonio conoscitivo accettato su base locale, utile anche alla comparazione tra diversi casi applicativi e alla condivisione di buone pratiche. Per favorire la comunicazione con gli operatori del settore e con gli altri attori interessati ai processi di efficientamento del patrimonio pubblico, il linguaggio e le metodologie devono essere coerenti col contesto normativo locale e con gli standard tecnici nazionali. Il quadro normativo nazionale per la valutazione delle performance energetiche degli edifici è un riferimento culturale comune per i decisori della PA, gli utilizzatori (anche non tecnici) degli edifici e naturalmente per gli operatori del settore. Tali normative vengono correntemente utilizzate tramite appositi software commerciali per l'esecuzione delle verifiche di legge (relazioni ex legge 10, APE, ...) ma anche per la modellazione energetica finalizzata alla progettazione del sistema edificio impianto o allo studio delle opere di efficientamento. Perciò la metodologia cercherà di utilizzare strumenti e riferimenti normativi già patrimonio comune per gli operatori del settore, e, al fine di limitare le attività di rilievo sull'edificio e garantire l'attendibilità delle informazioni di base per la diagnosi degli edifici pubblici, a tal fine la ricerca si orienta allo sviluppo e sperimentazione di uno strumento per le misure termo-fisiche sui materiali e le strutture più diffuse nel contesto.

2 Metodologia

2.1 Approccio metodologico generale

Considerando le priorità evidenziate nella letteratura disciplinare e le caratteristiche del contesto, la metodologia dovrà contribuire alla selezione delle più appropriate tecnologie per il miglioramento delle prestazioni energetiche e delle dotazioni tecnologiche degli edifici pubblici tenendo presente i seguenti aspetti:

- preservare i valori storico - paesaggistici dell'edificio e del suo contesto di relazione;
- coinvolgere gli attori potenzialmente interessati al processo di selezione delle tecnologie delle azioni di retrofitting dell'edificio;
- assicurare un sufficiente comfort interno, valutato sugli usi attuali o su quelli previsti;
- identificare alcune caratteristiche tipologiche locali degli edifici (materiali, tecniche costruttive tradizionali, soluzioni impiantistiche più diffuse, ..)
- definire una procedura e degli strumenti coerenti con le risorse e la disponibilità locale delle soluzioni tecnologiche proposte.

Una parte della metodologia è dedicata alla esplicitazione dei valori del patrimonio e delle sue relazioni col contesto in modo da costituire una guida per la selezione preliminare delle ipotesi di intervento. Non si tratta di una semplice raccolta dei vincoli normativi, ma deve creare una conoscenza di sfondo condivisa tra i decisori e gli operatori del settore per indirizzare verso una corretta integrazione architettonica anche nei casi in cui il vincolo normativo non sia cogente.

La metodologia è principalmente indirizzata ad edifici pubblici (scuole, uffici, musei,..) dove il decisore può essere, o non essere, un regolare utilizzatore dell'edificio e dei suoi ambienti. Nei casi più comuni gli utilizzatori degli edifici (professori e studenti, personale degli uffici, fruitori dei servizi,..) non sono coinvolti nella scelta delle azioni di retrofit energetico ma probabilmente dovranno adottare comportamenti adattivi per il loro corretto utilizzo. Molti interventi di efficientamento sono collegati al profilo di utilizzo dell'edificio e degli ambienti come: la regolazione degli impianti di climatizzazione (temperature operative o di set back, tempi di accensione, ...), il fabbisogno di ACS, l'utilizzo delle schermature solari. Perciò il coinvolgimento degli utenti nella scelta degli interventi può essere un elemento chiave per migliorarne l'efficacia e promuovere comportamenti più responsabili. Il coinvolgimento degli utilizzatori dell'edificio può essere inoltre utile per confrontare i parametri di qualità dell'ambiente interno misurati strumentalmente con quelli percepiti, in modo da individuare priorità di intervento basate sull'uso reale degli ambienti.

L'idea prevede lo sviluppo di un abaco delle strutture edilizie e delle tecnologie impiantistiche più diffuse nel contesto locale che comprende non solo la descrizione delle caratteristiche costruttive e di quelle fisico-termiche ma anche l'indicazione dei più diffusi fenomeni di degrado e delle possibili soluzioni di recupero e risanamento. Anche un elenco delle soluzioni tecnologiche accessibili a livello locale (imprese, materiali, approcci progettuale, ...) può essere utile nella fase preliminare di selezione degli interventi di retrofit.

L'approccio metodologico generale dello studio è perciò caratterizzato da tre elementi principali: un protocollo di diagnosi energetica adattato alle risorse ed alle caratteristiche del patrimonio locale; un abaco di caratteristiche ricorrenti del patrimonio edilizio e dei casi studio sviluppati; uno strumento di rappresentazione e condivisione della conoscenza capace di rapportarsi a utenti di diversa estrazione culturale (cittadino, amministratore locale, addetti del settore,..).

Si possono perciò individuare quattro fasi principali della ricerca che partono dallo studio preliminare del contesto fino alla realizzazione di uno strumento di supporto all'efficientamento del patrimonio immobiliare pubblico locale basato sulla individuazione delle sue caratteristiche ricorrenti e la condivisione di buone pratiche:

- I. analisi preliminare del patrimonio edilizio del contesto;
- II. definizione e sperimentazione di un protocollo di diagnosi energetica, orientato alla costruzione della conoscenza del patrimonio edilizio locale;

- III. redazione dell'abaco degli elementi tipologici;
- IV. sviluppo di uno strumento per la rappresentazione e condivisione via Web della conoscenza e delle analisi svolte.

Allo stato attuale la ricerca si è occupata delle prima due fasi dedicate alla caratterizzazione tipologico – prestazionale del patrimonio edificato pubblico, tramite lo sviluppo la sperimentazione di alcune procedure di diagnosi energetiche di edifici rappresentativi del contesto. Le altre fasi saranno oggetto di successive fasi della ricerca.

La prima fase è di tipo preliminare e si basa sulla raccolta e lo studio dei dati territoriali e della documentazione disponibile (documentazione bibliografica sulle tecnologie costruttive locali e sulla evoluzione dell'insediamento, statistiche e censimenti sul patrimonio pubblico locale, documentazioni degli specifici edifici, raccolta delle informazioni riguardo normativa urbanistica e vincolistica, ..) al fine di individuare, in via preliminare, le possibili caratteristiche ricorrenti del patrimonio edilizio (tipologie edilizie, materiali e tecnologie costruttive, soluzioni impiantistiche, ..) e gli edifici da utilizzare come campione per le successive analisi. Lo sviluppo di un numero adeguato di casi studio permetterà la definizione di un quadro complessivo del patrimonio edilizio.

La seconda fase è il centro della attività di ricerca svolta fino ad ora, essa consiste nella applicazione di un protocollo di diagnosi energetica adattato alle risorse ed alle caratteristiche del patrimonio locale e nella sua conseguente sperimentazione sugli edifici campione selezionati in precedenza. Lo sviluppo dei casi studio ha diversi scopi: da una parte raccogliere le informazioni necessarie per caratterizzare gli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio che saranno poi la base dell'abaco (frequenza ed altri dati quantitativi, caratteristiche fisiche e prestazioni, fenomeni di degrado più ricorrenti, problematiche d'uso comuni,..) dall'altra raffinare la procedura di diagnosi stessa. La diagnosi deve avere una procedura flessibile circa gli strumenti di indagine e studio utilizzabili per adattarsi alle possibili specificità degli edifici ma deve individuare procedure comuni e contenuti minimi ed alcuni output chiave per garantire la confrontabilità dei risultati tra diversi edifici e favorire un approccio strategico della amministrazione.

La terza fase si concentra sulla realizzazione dell'abaco degli elementi ricorrenti e delle buone pratiche, la sua struttura potrà essere definita nel dettaglio dopo la raccolta di un numero sufficiente di casi studio. L'abaco si configura come lo strumento che può supportare i professionisti e gli operatori del settore nella redazione della diagnosi energetica e nella individuazione delle soluzioni tecnologiche appropriate tramite un data base ordinato di elementi edilizi ricorrenti, interventi realizzati e diagnosi energetiche svolte. Considerando improbabile l'individuazione a priori di tutte le casistiche rilevanti nel contesto, l'abaco potrebbe essere concepito come uno strumento dinamico che si arricchisce man mano che aumentano in casi di studio realizzati. Perciò la diagnosi energetica dovrà individuare alcuni contenuti chiave per rendere omogenei i risultati delle analisi e sarà necessario definire strumenti e procedure per l'aggiornamento degli abachi.

La quarta fase sarà incentrata sulla definizione di uno strumento di rappresentazione e condivisione delle informazioni basato su una infrastruttura web multi utente (portale dedicato) capace di coinvolgere i diversi tipi di attori interessati al processo di efficientamento del patrimonio. Essa si configura come l'interfaccia che gli utenti possono utilizzare per esplorare ed utilizzare per consultare l'informazione ma anche fornire il proprio feedback e contributo; in via preliminare esso avrà i seguenti contenuti dovrà comprendere: materiale documentale ed informativo, i casi studio sviluppati, gli abachi degli elementi tipologico costruttivi ricorrenti, elenchi di interventi di efficientamento e pratiche virtuose realizzate, statistiche riassuntive ed indici sullo stato a le prestazioni energetiche del patrimonio immobiliare, statistiche e dati sul monitoraggio dei consumi energetici e degli interventi realizzati sugli edifici pubblici.

FASE 1

STUDIO PRELIMNARE DEL CONTESTO

Raccolta del materiale bibliografico disponibile (espansioni urbane, tecniche e materiali costruttivi locali, ..)
 Quadro normativo e vincolistica locale (Pianif. Paesaggistica, PRG, NTA, RE,..)
 Elenchi e documentazione anche cartografica sul patrimonio pubblico locale
 Statistiche sul patrimonio edilizio pubblico ed altre variabili socio-economiche rilevanti
 Raccolta ed analisi di materiali documentali dei singoli edifici

FASE 2

PROTOCOLLO DI DIAGNOSI ENERGETICA

(analisi degli edifici campione)

- Caso studio: Scuole storiche
- Caso studio: Scuole storiche
- Caso studio: Uffici storici
- Caso studio: Uffici moderni
- Caso studio: residenze storiche
- Caso studio: Musei Miniera
- Caso studio:

- Statistiche riassuntive sul patrimonio
- Individuazione preliminare delle tipologie edilizie costruttive
- Individuazione degli edifici campione

FASE 3

DATA BASE INFORMATIVO DI SUPPORTO

ABACO DEGLI ELEMENTI RICORRENTI

Tipologie edilizie (morfologia, Uso,..)
 Strutture e materiali costruttivi
 Soluzioni impiantistiche

RACCOLTA DI BUONE PRATICHE

Tecnologie localmente disponibili
 Esempi di realizzazioni
 Esempi di diagnosi energetiche

FASE 4

STRUMENTO DI RAPPRESENTAZIONE E CONDIVISIONE

Rappresentazione delle informazioni di base sul patrimonio edilizio locale
 Condivisione delle analisi svolte (abachi, diagnosi, buone pratiche,..)
 Interfacce di dialogo differenziata per tipologie di utente (cittadino, Impresa del settore, PA,..)

Figura 3. Schema dell'approccio generale adottato per la definizione dello strumento di supporto all'efficientamento del patrimonio pubblico della PA

2.2 Approccio metodologico per la diagnosi energetica

Il contesto locale, ed ancor più l'amministrazione comunale di Carbonia, sono caratterizzati da una forte debolezza del tessuto economico e da carenza di risorse umane. Gran parte del patrimonio storico anche se caratterizzato da un forte valore paesaggistico di insieme può essere inquadrato come ordinario. Gli edifici di maggiore rilievo locale (i musei, il municipio,) non sono comunque caratterizzati da destinazioni d'uso capaci di catalizzare ingenti risorse economiche. La metodologia proposta perciò farà prettamente riferimento agli approcci standard combinati con un semplice processo partecipativo per il coinvolgimento degli attori interessati nel processo di individuazione e selezione delle ipotesi progettuali. L'attività di analisi dei casi studio sarà articolata su due livelli successivi di approfondimento (*diagnosi preliminare, diagnosi standard*) e si focalizzerà perciò sui seguenti punti:

- analisi dell'edificio nei suoi valori storico – architettonici ed il rapporto con il paesaggio in cui si inserisce;
- analisi del profilo d'uso: parametri microclimatici interni, profilo dei consumi e di presenza;
- analisi dei requisiti prestazionali riferiti agli usi attuali ed, eventualmente a quelli futuri previsti;
- definizione di alcuni plausibili scenari di intervento e valutazione degli stessi prendendo in considerazione: la fattibilità tecnico-economica, l'impatto paesaggistico, i profili d'uso attuali e previsti, e le aspettative degli attori coinvolti.

Il processo di analisi e sviluppo dei casi studio parte dalla raccolta ed analisi della documentazione disponibile. La diagnosi preliminare è il risultato dell'analisi della documentazione disponibile e dell'eventuale confronto con altri edifici simili di cui si abbiano più informazioni o si sia già effettuato uno studio. Parallelamente si analizzeranno le diverse tipologie di attori coinvolti nella riqualificazione energetica dell'edificio pubblico con i rispettivi ruoli (meri fruitori dello spazio o Decisori) al fine di selezionare un gruppo di persone e studiare delle metodologie per il loro coinvolgimento. In linea generale i decisori dovrebbero essere coinvolti personalmente in maniera attiva, mentre i fruitori possono essere coinvolti tramite questionari o interviste tuttavia ogni caso deve essere sviluppato in maniera specifica. I risultati sintetici della diagnosi preliminare costituiscono il materiale per coinvolgere i partecipanti nella individuazione degli obiettivi prioritari di intervento. Questo aspetto è molto importante per ottimizzare le proposte di intervento da sottoporre a successiva valutazione tecnico – economica sulle reali necessità d'uso dell'edificio eliminando a priori le soluzioni tecnologiche non desiderabili o non coerenti con i vincoli costruttivi e normativi dell'edificio e del contesto e considerando le aspettative dei decisori e dei principali fruitori degli ambienti e dei servizi.

Durante la diagnosi preliminare si raccolgono e riordinano anche tutti i dati di base necessari per la modellazione energetica e per le eventuali analisi strumentali previste nella successiva diagnosi standard.

Le attività di misura strumentale possono essere svolte per accertarsi delle condizioni microclimatiche interne o per indagare le caratteristiche prestazionali dell'involucro o degli impianti. Si possono anche prevedere campagne di rilievo per tracciare il profilo di presenza e dei consumi qualora non sia definibile con accettabile dettaglio dai dati disponibili.

Al fine di limitare i costi e rendere la procedura eseguibile dalla maggior parte dei professionisti presenti nel contesto, si ritiene importante utilizzare software per la modellazione energetica del sistema edificio-impianti comunemente reperibili nel mercato. Per la modellazione dell'edificio e per il calcolo dei suoi indici di prestazione energetica si utilizzeranno principalmente software commerciali dedicati alla verifica dei requisiti di legge che sono basati sul motore di calcolo semi stazionario della UNI 11300. Il calcolo sarà effettuato in modalità "diagnosi energetica" che permette la modifica di alcune impostazioni delle zone termiche e dei al fine di simulare meglio il comportamento reale. Qualora i risultati del modello si discostassero fortemente da quanto emerso dall'incontro partecipativo, sarà necessario rivalutare le ipotesi di modellazione ed eventualmente effettuare un nuovo incontro al fine di raccogliere nuovi feedback ed migliorare la consapevolezza dei partecipanti.

Il modello energetico sarà quindi utilizzato per stimare le variazioni della prestazione energetica e gli indici di redditività dell'investimento degli interventi di efficientamento ipotizzati in precedenza, di ogni intervento saranno anche studiati i possibili impatti circa i valori storico architettonici dell'edificio e gli attuali profili di utilizzo. Infine gli attori partecipanti al processo di progettazione verranno coinvolti nella definizione di alcuni

scenari di riqualificazione costruiti combinando gli interventi valutati col modello energetico secondo gli obiettivi prioritari definiti in precedenza. Le valutazioni di impatto paesaggistico o sui profili d'uso date in precedenza faciliteranno la composizione degli scenari: ad esempio uno scenario fornitemene conservativo eliminerà tutti gli interventi aventi impatti sul corpo di fabbrica, oppure uno scenario orientato al miglioramento del comfort interno selezionerà quelli che hanno maggiore impatto nei limiti del budget disponibile.

Nell'approccio adottato la fase partecipativa è molto semplificata, in seguito, dopo aver raccolto un numero maggiore di casi studio, si potranno implementare procedure e strumenti più raffinati eventualmente basati su metodi multi criteri e sul coinvolgimento più ampio di esperti del settore e semplici cittadini interessati. Allo stato attuale la ricerca si è concentrata sulla sperimentazione di una procedura di analisi applicabile in diversi edifici del contesto volta ad esplicitare le caratteristiche ricorrenti del patrimonio immobiliare ed a valutare le principali criticità che le attività di studio possono incontrare (mancanza di dati, costo delle attività di rilievo, debolezza della modellazione energetica,..). Durante l'attività di ricerca degli ultimi anni sono stati studiati diversi tipi di edificio (Uffici comunali, Scuole, Centro di ricerca, Musei, ..) che hanno contribuito a definire la procedura di analisi che sarà esposta nel dettaglio in seguito. Come già accennato la procedura si articola in due fasi analitiche (*Diagnosi Preliminare e Diagnosi Standard*) una consequenziale all'altra che guidano nello studio dell'edificio e nella individuazione di possibili scenari di intervento.

Considerando le difficoltà ad eseguire misure attendibili di trasmittanza in sede la ricerca si è anche indirizzata allo sviluppo e sperimentazione di uno strumento per la misura delle caratteristiche termofisiche di un campione della muratura fuori opera capace di analizzare il singolo materiale ma anche un pacchetto stratigrafico di notevole spessore (paragrafo 2.6 - Prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis-Iglesiente).

Lo studio si integra con un altro studio volto alla misura del microclima interno commissionato allo stesso gruppo di ricerca che però è oggetto di un altro report (Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu. - PAR-2017).

La parte metodologica del report prosegue perciò con i seguenti contributi:

- Finalità e contenuti della diagnosi energetica preliminare (paragrafo 2.3)
- Finalità e contenuti della diagnosi energetica standard (paragrafo 2.4)
- Valutazione degli scenari di riqualificazione (paragrafo 2.5)
- Prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali (paragrafo 2.6)

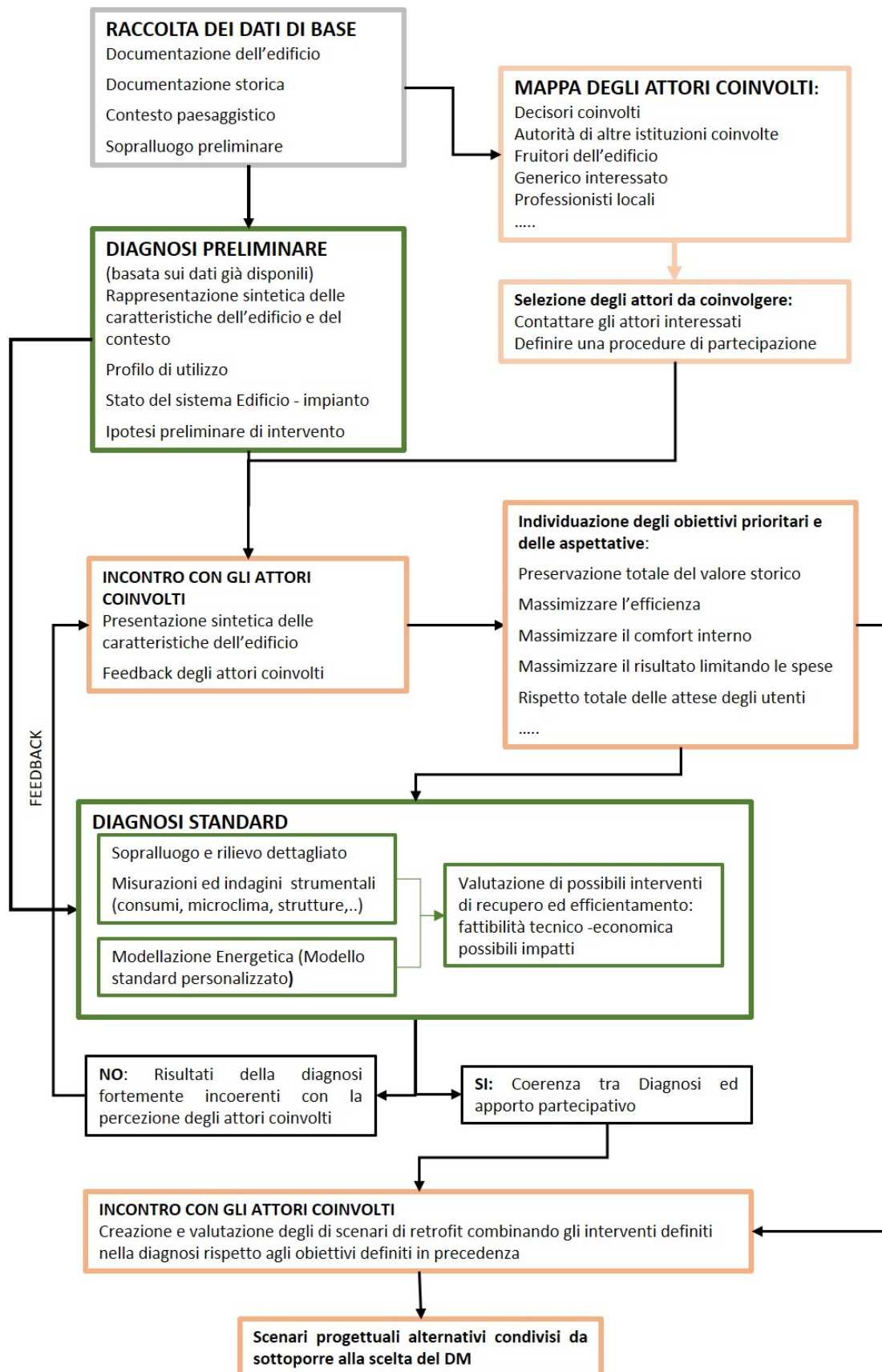


Figura 4. Schema del processo di “Diagnosi Energetica” adottato nei casi studio

2.3 Diagnosi energetica preliminare

La diagnosi energetica preliminare o “diagnosi di primo livello” è uno strumento speditivo per identificare le principali caratteristiche dell’edificio nei suoi elementi costruttivi e nel suo utilizzo abituale. Generalmente riporta la sintesi di tutte le informazioni sull’edificio già disponibili presso le autorità competenti e la documentazione bibliografica, eventualmente integrata con informazioni ricavabili tramite sopralluoghi speditivi. In questa fase si cercano di individuare i punti di forza e di debolezza del sistema edificio - impianto in relazione all’uso attuale o ad ipotesi di utilizzo. In caso di limitate risorse, o per edifici poco rilevanti essa può essere supportata da una modellazione energetica basata su approcci standard, utilizzata per valutare preliminarmente le ipotesi di riqualificazione energetica. In caso invece si intenda proseguire con una diagnosi di secondo o terzo livello, in questa fase sarà fondamentale individuare gli aspetti principali da approfondire tramite misurazioni strumentali, modellazioni energetiche calibrate ed ipotesi di soluzione innovative.

Nel nostro caso la diagnosi preliminare servirà da indirizzo per la fase successiva, in modo da attuare indagini orientate alla caratterizzazione di aspetti peculiari dell’edificio necessari alla valutazione ex ante degli scenari di recupero e riqualificazione energetica. La conoscenza sintetizzata nel rapporto preliminare è anche la base per facilitare il confronto con gli stakeholders interessati al processo di efficientamento energetico e rinnovamento dell’edificio.

Il rapporto della diagnosi preliminare si articola nei seguenti capitoli che costituiscono l’ossatura e scandiscono le fasi temporali dell’attività di diagnosi, lasciando però delle maglie abbastanza larghe per permettere l’approfondimento di aspetti particolari di uno specifico edificio:

1. *descrizione generale dell’edificio e del suo contesto*, comprende: l’inquadramento territoriale la descrizione dell’edificio nei suoi elementi di storici e costruttivi caratterizzanti ed i vincoli gravanti sull’edificio;
2. *profilo di utilizzo dell’edificio*, comprende l’analisi della destinazione d’uso degli ambienti ed il loro effettivo utilizzo (presenza, consumi, regolazione impianti,...);
3. *stato attuale*, riporta il risultato di una attività di audit che riguarda il censimento e la catalogazione degli elementi che costituiscono il sistema edificio - impianto con la valutazione del loro rispettivo stato di conservazione e valore architettonico;
4. *ipotesi di intervento*, che riporta un elenco preliminare di ipotesi di intervento che saranno oggetto di approfondimento (tutte o una selezione di esse) col modello energetico.

I primi tre capitoli riportano a fine di ogni paragrafo le indicazioni per lo sviluppo della fase successiva della diagnosi riguardo alle indagini strumentali da svolgere e alle ipotesi progettuali di analizzare, che, unitamente al capitolo dedicato alle ipotesi di intervento, costituiscono l’output principale della fase preliminare di diagnosi.

2.3.1 Descrizione generale dell’edificio e del suo contesto

Questa è la prima parte della diagnosi e ha lo scopo di descrivere l’edificio ed il suo contesto di relazione in modo da individuare alcune linee progettuali generali basate sul rispetto delle sue caratteristiche storico paesaggistiche e sulle eventuali caratteristiche identitarie. Questo capitolo si articola in quattro paragrafi:

- Edificio ed inquadramento territoriale
- Materiali, tecnologie e interventi sull’edificio
- Vincoli normativi e storico - paesaggistici
- Indicazioni progettuali

L’approccio dei primi due paragrafi è di tipo sintetico descrittivo orientato ad individuare le caratteristiche salienti del sistema edificio-impianto che saranno approfondite in altre parti della diagnosi. Nel primo

paragrafo si farà uso di mappe a diversa scala per la localizzazione dell'edificio e la descrizione del contesto, e di materiale fotografico o altri elaborati grafici disponibili per la descrizione del corpo di fabbrica.

Il secondo paragrafo ha lo scopo di descrivere gli elementi salienti del sistema edificio-impianto esplicitandone gli elementi caratterizzanti riferiti ai materiali e alle tecniche costruttive, ai sistemi impiantistici, agli usi e agli eventuali interventi e modifiche che si sono avuti nel tempo.

Il terzo paragrafo è molto importante qualora si tratti di un edificio storico più o meno vincolato, ma può avere significato anche in caso di edifici ordinari sottoposti a specifiche discipline d'uso, perché le ipotesi di retrofitting energetico sono fortemente condizionate dalle caratteristiche storico-paesaggistiche dell'immobile e del contesto in esso si inserisce.

L'ultimo paragrafo riporta una sintesi dei risultati dei precedenti paragrafi esplicitando alcune linee guida per il progetto degli interventi che possono essere vincolanti se riguardano aspetti normativi (vincoli storico paesaggistici, normative urbanistiche, ..) oppure di indirizzo per limitare l'impatto sull'edificio e/o sul suo contesto di inserimento. Tali linee guida assumono maggiore rilievo qualora si stia operando in un contesto di pregio, dove risulta necessario definire uno scenario di intervento di "minimo impatto" che preservi i valori architettonici del complesso edilizio.

2.3.1.1 Valori storico paesaggistici dell'edificio e del suo contesto

Il valore storico paesaggistico di un edificio è costituito dagli elementi caratterizzanti dell'edificio in sé ma anche dalle sue relazioni col suo contesto paesaggistico e territoriale. Un edificio moderno, o uno storico di valore ordinario, inserito in un contesto paesaggistico di pregio può essere sottoposto a vincoli di trasformabilità molto forti, al contrario la modifica degli elementi esterni di un edificio non coerente col contesto può essere un'azione fortemente consigliata.

I limiti alla trasformabilità sono principalmente influenzati dalle normative di tutela dei beni culturali: un edificio può essere un bene architettonico protetto direttamente dal MIBAC come bene storico culturale (D. Leg. 2004, n. 42 Codice dei beni culturali e del paesaggio) oppure essere sottoposto a tutele di tipo paesaggistico (strumenti regionali di tutela paesaggistica) come bene singolo (edificio storico, edificio identitario) o fare parte di un bene paesaggistico di insieme (centro storico, paesaggio agricolo, ..). Nel primo caso ogni intervento dovrà essere concertato direttamente con la soprintendenza ai Beni Culturali; in generale è necessario ottenere una "Autorizzazione Paesaggistica" che può prevedere anche modifiche e limitazioni al progetto di trasformazione dell'edificio finalizzate a mitigare l'impatto paesaggistico dell'intervento. A questi vincoli si aggiungono le norme dei regolamenti edilizi e degli strumenti di pianificazione urbana o di settore (difesa dai rischi territoriali, trasporti, ..) generando un quadro che può essere particolarmente complesso. L'impatto di queste normative può essere molto forte, oltre che escludere alcuni tipi di soluzioni tecnologiche (es: interventi che modifichino l'aspetto esterno come pannelli solari, ma anche cappotti termici o nuovi infissi,..) possono prevedere azioni di mitigazione che ne limitano l'efficienza o ne aumentano i costi in maniera non facilmente prevedibile.

La metodologia adottata per lo svolgimento dei casi studio si articola su diversi livelli di analisi e si conclude con la definizione di una linea guida per la mitigazione degli impatti e l'integrazione delle nuove tecnologie specifica per l'edificio:

- studio del valore architettonico dell'edificio e del contesto paesaggistico di relazione;
- studio del valore degli elementi che compongono l'edificio;
- analisi del contesto normativo;
- definizione di linee guida progettuali per l'intervento di efficientamento.

La prima parte è prettamente descrittiva e di natura sintetica, tuttavia in caso di edificio di pregio può essere molto approfondita in quanto si dovrà integrare con un inevitabile intervento di restauro. Nel nostro caso gli studi sono principalmente orientati alla diagnosi energetica perciò ci si focalizzerà solo sugli aspetti direttamente significativi per il progetto degli interventi.

Nello studio dello stato di fatto è stata adottata un'attenzione analitica nel valutare i valori che caratterizzano gli elementi del sistema edificio impianto. Ogni elemento di fabbrica dell'involucro e degli impianti tecnici è

stato valutato rispetto ai suoi valori e significati storico – architettonici in modo da indirizzare la progettazione degli interventi di efficientamento (Tabella 2). I giudizi di valore si articolano su alcuni livelli che sottintendono una diversa suscettibilità alla trasformazione, ossia: restauro, sostituzioni con elementi simili, sostituzione con elementi compatibili, completa trasformabilità. Un edificio storico, o caratterizzato da un certo valore architettonico, richiede l’individuazione degli elementi che hanno valore che saranno generalmente sottoposti a maggiore tutela (interventi di restauro, sostituzione con elementi simili) e quelli che invece possono essere modificati in maniera compatibile oppure completa.

Tabella 2. Tabella con giudizi di valore degli elementi edilizi

Criterio	classi	Descrizione
<i>Valore architettonico Paesaggistico</i>	Storico	Elemento storico originale o coerente con l’originale
	Storico parzialmente modificato	Elemento storico parzialmente modificato, compatibile con l’edificio e col contesto.
	Moderno compatibile con lo storico	Elemento moderno, compatibile con l’edificio storico e col contesto paesaggistico
	Moderno ordinario	Elemento moderno ordinario, non avente particolare pregio architettonico che non arreca danno o degrado al contesto
	Moderno di pregio	Elemento architettonico moderno di pregio, che valorizza l’edificio e/o il contesto di inserimento
	Moderno incompatibile	Elemento moderno, incompatibile con l’edificio e/o col contesto paesaggistico

2.3.2 Profilo di utilizzo dell’Edificio e degli ambienti

Questa parte ha l’obiettivo di definire il profilo di uso dell’edificio, in questa fase si riporteranno le informazioni sintetizzabili dai dati disponibili e dalle speditive azioni di rilievo. Si analizza la tipologia di uso dell’edificio e dei suoi singoli

ambienti riguardo i seguenti aspetti: presenza, numero e tipologia di utilizzatori, attività svolte e consumi energetici. Sulle base delle informazioni preliminari acquisite in questa fase si progettano le successive campagne di misura strumentale che sono oggetto del rapporto della diagnosi di secondo livello. In questa fase si possono anche coinvolgere le diverse tipologie di utilizzatori dell’edificio in modo da definire un quadro della qualità ambientale percepita, che può essere utile a indirizzare le successive misurazioni di qualità ambientale. Altro punto importante di questa fase è la raccolta e la sintesi di eventuali normative o requisiti di qualità ambientali degli ambienti interni (ed esterni se pertinente) legate agli usi attuali o futuri dell’immobile (scuola, museo con reperti delicati, ospedali, uffici, ...).

- 2.1 Destinazione d’uso degli ambienti
- 2.2 Profilo d’uso degli ambienti
- 2.3 Profilo dei consumi
- 2.4 Qualità percepita degli ambienti
- 2.5 Requisiti normativi degli ambienti
- 2.6 Indicazioni sulla misurazione del comfort interno
- 2.7 Indicazioni sulla misurazione dei consumi
- 2.8 Indicazioni sul monitoraggio degli usi
- 2.9 Indicazioni progettuali

2.3.2.1 Destinazione d’uso degli ambienti

Lo studio della destinazione d’uso dell’edificio prevede il riconoscimento e la delimitazione degli ambienti (o locali) che costituiranno l’unità minima a cui riferire tutte le successive attività della diagnosi energetica (analisi, misurazione e modellazione energetica,..). Ogni locale è definito con le sue caratteristiche fisico-geometriche e rispetto all’uso per il quale è destinato ossia per il quale è destinato. Nel caso la funzione per

cui il locale è stato progettato differisca notevolmente rispetto all'uso effettivo, può esser utile sottolineare le criticità al fine di ricavare degli input progettuali. Il tipico risultato di questa analisi è una planimetria con l'individuazione di tutti gli ambienti e la descrizione sintetica dei loro usi (tabella 3).

Tab 3. Esempio di informazioni raccolte per caratterizzare ogni ambiente

Ambiente	Caratt geometriche	Destinazione d'uso prevista	Attività svolta	Breve descrizione	foto
Nome univoco	Area, altezza, volume,	prese da documenti ufficiali	Rilevata in loco	Descrizione e criticità	1-2 viste significative

2.3.2.2 Profilo d'uso degli ambienti

Una volta definiti gli ambienti deve esserne tracciato il profilo d'uso rispetto: alla fruizione (presenza temporale con dettaglio orario, numero e tipologia di utenti) e alla dotazione impiantistica con il suo profilo di utilizzo (climatizzazione, ventilazione, ACS, .. altri).

Le informazioni disponibili potrebbero non essere sufficientemente accurate per la definizione del profilo di fruizione dei locali. Gli edifici pubblici possono avere diverse informazioni sulla presenza e il numero degli fruitori degli spazi (orari di apertura al pubblico o orari di lavoro, registri di presenza, numero e mansioni dei dipendenti, registri di specifiche attività svolte,..) tuttavia esse possono essere lacunose e perciò richiedere specifiche attività di indagine. Le attività di indagine possono essere semplici interviste dirette ai fruitori degli spazi o, qualora siano disponibili le risorse e i valori dell'oggetto dello studio siano rilevanti, vere e proprie campagne di monitoraggio. In caso siano necessarie attività di indagine più complesse esse saranno svolte nella seconda fase della diagnosi e questa attività si configurerà come una fase preliminare di progetto dell'indagine.

La dotazione impiantistica di ogni ambiente deve essere analizzata rispetto al suo stato di utilizzo (tempi di accensione, regolazione delle temperature, locali serviti ...) per definire le zone termiche di caratteristiche impiantistiche e di fruizione omogenee. Esse costituiranno un elemento base per la modellazione energetica e la definizione delle strategie di intervento sul sistema edificio-impianto.

Pur considerando che ogni edificio potrebbe avere la necessità di sviluppare uno studio specifico del profilo di utilizzo, si propone una griglia di analisi volta a guidare nello sviluppo di studi confrontabili tra loro.

Tabella 4. Esempio di informazioni raccolte per caratterizzare l'utilizzo di ogni ambiente

Ambiente	Profilo di fruizione			Dotazione impiantistica ed utilizzo		
	Presenza	N° medio presenti	Tipologia di utenti	Clima inv.	Clima est.	ventil
Nome univoco	Ore/giorno Giorni/settimana Giorni/anno ...	Stimato o rilevato	Stimato o rilevato	Presenza	Tempo di utilizzo (dettaglio orario)	Regolazione

La presenza, il numero ed il tipo di utilizzatori degli ambienti possono essere stimati sulla base di informazioni documentali ufficiali, (registri di presenza, n° dipendenti,..) o tramite sopralluoghi mirati a definire le condizioni più probabili di utilizzo. Queste informazioni possono essere usate per personalizzare il modello delle prestazioni energetiche: se si hanno a disposizione dati precisi si utilizzano quelli, altrimenti si possono utilizzare dei giudizi qualitativi ai quali poi assegnare le ore in base a stime successive. Il profilo d'uso dei locali è particolarmente importante soprattutto nei climi mediterranei in quanto, grazie alle temperature miti, gli impianti spesso vengono accesi solo in presenza dei fruitori degli ambienti.

Tabella 5. Esempio di giudizi qualitativi di presenza (da rivedere...)

Giudizio	Descrizione	Metodo di stima
Non utilizzato	Abitualmente non utilizzato	Le ore ed i giorni, sono stimati in base informazioni ufficiali ed indagini (interviste, sopralluoghi,..)
Molto saltuario	Utilizzato di rado (eventi speciali, ...)	Le ore ed i giorni, sono stimati in base informazioni ufficiali ed indagini (interviste, sopralluoghi,..)
Saltuario	Utilizzato in maniera non continua non ripetitiva (eventi speciali, ...)	Le ore ed i giorni, sono stimati in base informazioni ufficiali ed indagini (interviste, sopralluoghi,..)
Periodico	Utilizzato in maniera non continua, ma con intervalli temporali noti (fine settimana, solo il lunedì,..)	Le ore ed i giorni, sono stimati in base informazioni ufficiali (orario apertura, registri, ...)
Continuo	Abitualmente utilizzato	Le ore ed i giorni, sono stimati in base informazioni ufficiali (orario apertura, registri, ...)

2.3.2.3 Profilo dei consumi

La raccolta di dati riguardanti le serie storiche dei consumi energetici dell’edificio è l’elemento base per definire le strategie di efficientamento. La presenza di alti consumi e di un sistema edificio impianto caratterizzato da scarsa efficienza è la condizione ideale per l’impostazione di una efficace azione di retrofit energetico. In questo caso è possibile generare dei risparmi sui costi operativi che possono portare buoni tempi di ritorno dell’investimento che, considerando la vita utile delle opere, possono talvolta generare dei guadagni rispetto allo scenario di non progetto. Se i consumi sono bassi o fortemente non prevedibili, i margini per garantire il tempo di ritorno dell’investimento si assottigliano rendendo più difficile la definizione delle azioni di efficientamento. Il dettaglio ottimale per la definizione del profilo dei consumi sarebbe avere le serie storiche dei consumi di ogni vettore energetico che alimenta l’edificio suddiviso per tipologia di servizio (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, ACS, illuminazione, ..) con un adeguato dettaglio temporale (orario, giornaliero, settimanale,..). Al fine di evitare conclusioni basate su situazioni di carattere eccezionale, se la qualità dei dati lo rende possibile, la serie storica dei consumi deve essere confrontata con l’andamento del clima esterno ed interno e con il tipo di utilizzo dell’edificio durante i periodi di riferimento. In altre parole il profilo dei consumi deve essere valutato unitamente alle condizioni d’uso dell’edificio, inoltre al fine di definire il “livello” dei consumi (alti, bassi, in linea con quelli del contesto locale) essi dovrebbero essere confrontati con quelli di altri edifici simili.

La firma energetica

Una metodologia generalmente utilizzata per effettuare questi confronti è la “Firma Energetica” proposta all’interno del pacchetto normativo EPDB (allegato B, ISO EN 15603). Come già accennato la Firma energetica confronta i consumi reali accoppiati alle temperature medie esterne di un dato periodo di tempo. In altre parole, la “firma energetica” è la relazione che intercorre fra la temperatura esterna e la potenza termica media assorbita da un edificio. Si assume che più le condizioni climatiche esterne siano fredde (o calde in estate) maggiore sia la potenza media richiesta al generatore.

La “firma energetica” di un edificio si costruisce con letture ad intervalli regolari del contatore del vettore energetico utilizzato (metano, elettrico, ...) e con il rilievo della temperatura esterna media nello stesso periodo. Le letture permettono di ricavare la quantità in kWh di combustibile consumato, che va divisa per il numero di ore dell’intervallo temporale considerato per ottenere la potenza media erogata. Utilizzando i dati climatici reali registrati nei periodi di erogazione, o, in alcuni casi, quelli da normativa si definisce la temperatura media dell’intervallo di tempo necessaria a tracciare il grafico (tabella 6). Ripetendo questa procedura per diverse volte (settimane, stagione, un anno, ...) si ricavano dei punti che possono tracciare un grafico che mette in relazione la t. esterna (in ascissa) con la potenza richiesta al generatore (in ordinata). I punti si distribuiscono approssimativamente lungo una retta caratteristica di come il sistema

edificio/impianto reagisca alle variazioni della temperatura esterna. Questa retta interpolante (ottenibile per regressione lineare) è denominata “firma energetica”.

Tabella 6. Esempio di tabella per il calcolo dei punti del grafico per la “firma energetica”

	Letture		potenza	ore di utilizzo	Potenza media	t.est.media giorno
data	iniziale	finale	[kWh]	[h]	kW	[c°]
periodo 1						
periodo 2						
periodo ...						
periodo n						

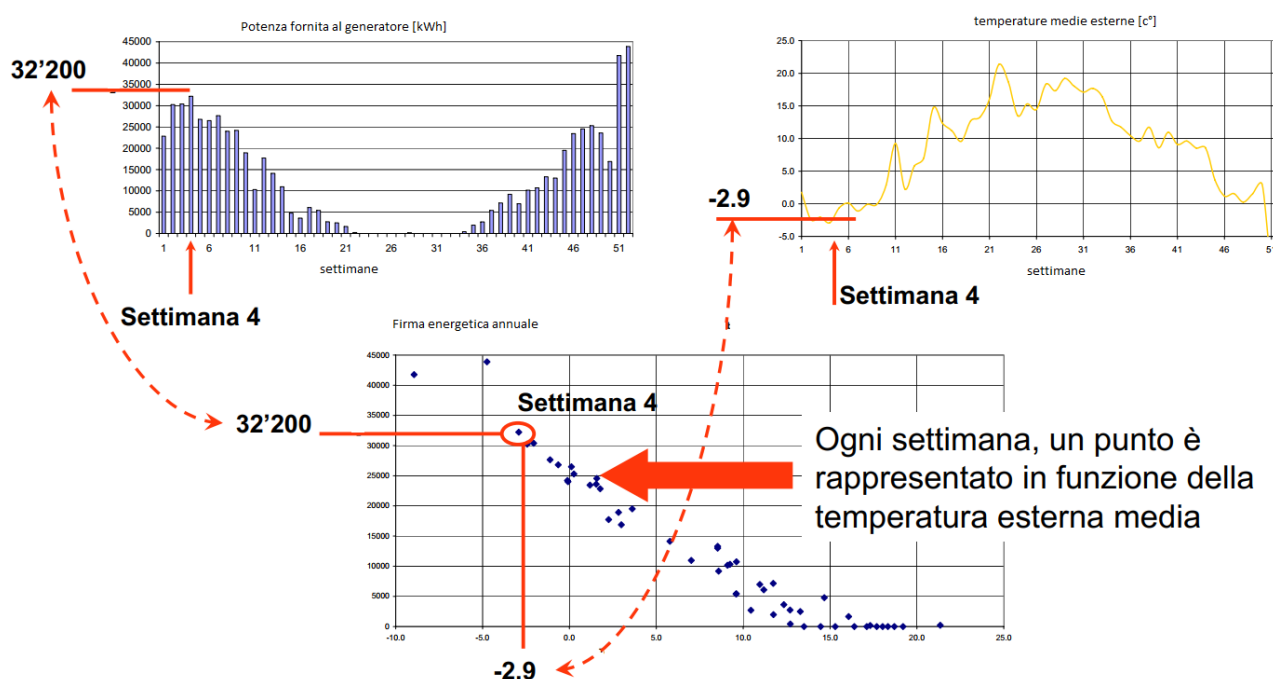


Figura 5. Costruzione della firma energetica su base settimanale per il riscaldamento.

Tipicamente la firma energetica viene rappresentata tramite una retta di regressione che ha un andamento decrescente durante il periodo di riscaldamento, si azzera alle temperature esterne prossime al comfort (17-22 c°) e mostra un andamento crescente durante il periodo estivo. Gli edifici più recenti mostrano intervalli di annullamento più ampi e curve meno pendenti grazie al migliore sfruttamento degli apporti gratuiti ed alle maggiori performance del sistema. Il comportamento degli utenti influisce sulla firma energetica: nel caso l’utente usufruisca di una temperatura ambiente superiore ai 20 °C, la retta della firma energetica traslerà verso destra, puntando ad una temperatura esterna superiore a 17 °C, evidenziando così il comportamento dell’utente, senza bisogno di misure. Analogamente, se mantiene una temperatura ambiente più bassa, la firma energetica traslerà verso sinistra.

Un aspetto cruciale è la determinazione dell’intervallo di frequenza delle letture in funzione dello scopo dell’analisi dell’edificio. Il metodo funziona con qualunque tipo di intervallo temporale, tuttavia la frequenza ritenuta ottimale è quella settimanale. Il periodo settimanale è molto vicino ai cicli di variazione climatica e la durata è sufficiente a mediare i transitori e valutare anche i cicli d’uso dell’edificio (apertura uffici, presenza in casa,..). Un periodo mensile da valori mediati poco correlati alle variazioni climatiche ma è di più semplice costruzione e può essere utile per il confronto con i valori di progetto. Un periodo annuale di osservazione non fornirebbe informazioni utili, salvo che per il dimensionamento del generatore o per la costruzione di

una firma di riferimento. Infine un intervallo temporale quotidiano o orario richiede ingenti risorse e produce punti caratterizzati da forte dispersione, tuttavia può essere necessaria per studiare a fondo la riposta degli impianti al cambio delle temperature esterne durante i transitori.

Non solo si può costruire la firma energetica reale dell'edificio, ma si può anche costruire una firma energetica di progetto (quindi con caratteristiche di consumo prevedibili) sulla base dei fabbisogni mensili di energia di progetto e le temperature medie mensili di progetto. La firma energetica di progetto si può confrontare con quella reale al fine di indagare su comportamenti scorretti dell'utenza (apertura finestre, temperature interne troppo alte o basse,..), inefficienze del sistema edificio impianto (perdite cicliche, sistemi in scarsa manutenzione,..) o, in ultima analisi, errori di progetto e/o di modellazione. Tipicamente, se le condizioni d'uso dell'edificio sono simili a quelle di progetto (o a quello modellato dalla diagnosi) l'andamento della firma energetica reale dovrebbe ripercorrere quella teorica. Tuttavia i diagrammi reali possono differire dall'andamento lineare per l'influenza degli apporti di calore di gratuito (irraggiamento solare, carichi interni,..) o per perdite non previste durante il progetto (diminuzione di efficienza degli impianti quando si avvicinano ai limiti d'uso, dispersioni termiche non previste in progetto, ..) che dovranno essere attentamente analizzate caso per caso. Il confronto tra le due firme può essere utile anche per evidenziare alcuni problemi come il sovradimensionamento (o più raramente il sottodimensionamento) dei generatori oppure per la verifica post opera dell'efficacia di un intervento di efficientamento energetico.

Il metodo della firma energetica costituisce anche uno strumento pratico e potente per la gestione degli impianti di riscaldamento basato sulla individuazione di una "firma energetica di riferimento":

- la firma energetica di progetto per edifici di nuova costruzione o sottoposti a forti ristrutturazioni;
- la firma energetica rilevata (da serie storiche e con una campagna di rilievo);
- una firma energetica semplificata, nel caso siano noti solo i consumi annui.

Tracciata la firma di riferimento, sarà allora semplice valutare la conduzione dell'edificio e l'effetto di qualsiasi modifica. La posizione dei punti di funzionamento evidenzierà graficamente i miglioramenti (abbassamento della firma) o gli eventuali peggioramenti della prestazione energetica complessiva. Si può quantificare l'effetto dei cambiamenti di conduzione e/o degli interventi conoscendo la distribuzione statistica delle temperature medie giornaliere. Moltiplicando la riduzione di potenza in ciascuna fascia di temperatura per il numero di giorni in quella fascia si determina quantitativamente l'effetto dei provvedimenti presi sulla base dello spostamento della firma energetica.

Per concludere, la firma energetica non è uno strumento diagnostico in quanto non può indicare se i consumi elevati siano dovuti all'isolamento scadente dell'edificio oppure a scarso rendimento dell'impianto perciò deve essere accoppiata con lo studio del clima interno e del sistema edificio – impianto. Si tratta invece di un ottimo strumento di gestione e verifica dei risultati conseguiti in quanto le modificazioni della firma energetica evidenziano chiaramente gli effetti di qualsiasi intervento sul sistema edificio/impianto e sulla sua gestione.

Il rilievo dei consumi

Non sempre però i dati sui consumi sono disponibili con il grado di disaggregazione richiesto e con un dettaglio temporale sufficiente alla definizione di un profilo dei consumi utile al progetto. Nelle fasi preliminari della diagnosi essi sono generalmente ricavati dall'analisi delle bollette e della fatturazione per i servizi energetici degli ultimi 3-5 anni di esercizio. Nel caso si tratti di edifici pubblici i dati storici di fatturazione sono generalmente disponibili, ma la raccolta ed il riordino degli stessi può essere un'attività non banale in quanto le informazioni possono essere frammentarie ed in formati non digitali; inoltre la ripartizione per tipologia di servizio energetico ed il dettaglio temporale sono fortemente legati alla specifica configurazione impiantistica. Le fatturazioni avvengono con intervalli temporali nell'ordine del mese, e spesso utilizzano metodi basati sull'anticipo dei consumi stimati ed il conguaglio sui consumi effettivi, questo dettaglio temporale può essere sufficiente per definire i consumi operativi annuali e/o stagionali utili al calcolo del

tempo di ritorno di alcuni interventi, ma perde di significato nel caso si analizzino intervalli minori (settimane, giorno, ora) al fine di ottimizzare la configurazione impiantistica. Può essere inoltre difficile suddividere il consumo di un vettore energetico nei diversi servizi che alimenta: il caso tipico è il vettore elettrico che può comprendere diversi servizi (illuminazione, climatizzazione, ACS, apparecchi elettrici vari, ausiliari di altri impianti ...) ma anche i combustibili (GPL, biomasse,..) possono essere utilizzati per diversi scopi (ACS, riscaldamento, Cucina,..).

Nel caso di edifici di modesto valore oppure nel caso di limitate risorse per le attività di rilievo e monitoraggio, si propone un approccio volto a tracciare un profilo dei consumi con diverso dettaglio temporale attraverso un limitato uso di attività di misura. Questa fase preliminare della diagnosi è dedicata alla raccolta di tutte le documentazioni disponibili riguardo ai consumi dalle quali si possono definire i profili su base annuale e stagionale e si progettano le attività di misura sull'edificio volte ai seguenti obiettivi:

- ripartire i consumi dei vettori energetici nei diversi servizi;
- definire dei profili di consumo settimanali e giornalieri.

A tal fine si propone di effettuare delle campagne di monitoraggio dei consumi di breve durata (ore, giorni, settimane, ..) volte a tracciare dei profili tipici (estivi, invernali, altri) che unitamente alla fatturazione annua possono essere sufficienti ad indirizzare correttamente la scelta e la valutazione delle ipotesi di efficientamento. Le campagne di misura devono naturalmente essere progettate in maniera specifica per ogni edificio considerando le risorse disponibili ed in funzione del tipo di fruizione degli ambienti e della configurazione impiantistica.

2.3.2.4 Qualità percepita degli ambienti

Questa parte della diagnosi preliminare è basata sul coinvolgimento dei fruitori dell'edificio, in quanto depositari di importanti informazioni che possono guidare nella selezione delle strategie progettuali di efficientamento energetico ed indirizzare le successive attività di monitoraggio e misura strumentale.

Questa fase prevede la preliminare definizione delle tipologie di fruitori che possono essere interessati al processo di efficientamento dell'edificio, nel caso si tratti di un edificio pubblico l'individuazione degli attori interessati può essere complessa perché i decisori possono non coincidere con i diretti fruitori dell'edificio. In linea generale, in caso di edificio pubblico, si possono indicare alcune tipologie di attori in base al loro grado di interesse e di influenza nel processo decisionale, ma può essere necessario definire una mappatura specifica caso per caso (tabella 7). Nel caso poi l'edificio sia anche caricato di valori storico – identitari il tipo di attori coinvolti può complicarsi notevolmente in quanto entrano in gioco interessi relativi la tutela e la valorizzazione paesaggistica.

Tabella 7. Esempio di mappatura degli attori coinvolti al processo di efficientamento dell'edificio

Attore	Influenza	interesse	Interessi prioritari
decisori che abitualmente non fruiscono dell'edificio (politici, uffici tecnici esterni, ...)	alta	Alto/ medio	Risparmio economico Miglioramento dei servizi Tutela paesaggistica ...
Decisori che abitualmente fruiscono dell'edificio (es: lavoratori con ruoli di dirigenza, ..)	Medio/ Alto	Alto	Risparmio economico Miglioramento dei servizi Tutela paesaggistica Miglioramento del comfort
Lavoratori a vario titolo dell'edificio (impiegati, guardiani, servizi tecnici,..)	Medio/ basso	Alto	Miglioramento del comfort Miglioramento dei servizi ...
Fruitori dei servizi erogati nell'edificio (clienti degli uffici, turisti, ..)	Basso	Medio	Miglioramento dei servizi ...
altro	basso	Basso/ medio	Tutela paesaggistica ...

Lo svolgimento dell'indagine è specifica per ogni caso studio e può esser più o meno complessa in funzione delle risorse disponibili. In base alle tipologie di attori individuate ed alle caratteristiche dell'edificio e delle attività in esso svolte si può impostare una attività di indagine rispetto i seguenti temi:

- comfort termico interno percepito (temperatura dell'aria, umidità, ...);
- qualità dell'aria percepita (odori, movimento dell'aria,..)
- qualità dell'illuminazione interna;
- qualità architettonica degli interni;
- valore storico paesaggistico ed identitario dell'edificio;
- adeguatezza del sistema edificio impianto all'uso previsto ed effettivo.
- aspettative e preferenze riguardo alle attività di efficientamento energetico ed adeguamento tecnologico dell'edificio;

Nei nostri casi studio si sono effettuate delle interviste dirette agli attori aventi maggiore interesse ed influenza nel processo decisionale (lavoratori, dirigenti e decisori politici), poi si sono preparati alcuni brevi e semplici questionari strutturati per favorire la compilazione autonoma in formato cartaceo (tabella 8 – 9, questionari). La definizione e la sperimentazione di una metodologia partecipativa più complessa ed articolata possono essere oggetto di successivi studi.

Il coinvolgimento dei principali attori e fruitori dell'edificio porta all'individuazione di alcune priorità di intervento che potranno essere di indirizzo nella selezione delle ipotesi di retrofitting: se gli utilizzatori di un ambiente denunciano precarie condizioni di comfort interno, le attività di indagine strumentale dovranno verificarle e le ipotesi di soluzione dovranno dare precedenza al raggiungimento del comfort interno rispetto che alla mera diminuzione dei costi operativi. I risultati dell'indagine possono essere anche utili ai decisori stessi per selezionare il gruppo di soluzioni tecniche che maggiormente risponde alle aspettative dei reali fruitori dell'edificio o che rispondono a criteri di miglioramento del servizio.

Tabella 8. Esempio di questionario per i fruitori dell'edificio, utilizzato come base per le interviste

1 QUALITA' PERCEPITA DELL'EDIFICIO

1_1 Ritiene di conoscere l'edificio nelle sue componenti e regole costruttive?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> parzialmente
1_2 Come Reputa l'importanza dell'edificio dal punto di vista storico e identitario?	<input type="checkbox"/> scarsa, edificio genera degrado nel contesto. <input type="checkbox"/> bassa, nessun valore <input type="checkbox"/> media, edificio storico ordinario <input type="checkbox"/> alta, edificio di importanza locale <input type="checkbox"/> molto alta, importanza Regionale - Nazionale
1_3 Come giudica, nel complesso la qualità architettonica dell'edificio?	<input type="checkbox"/> Scarsa <input type="checkbox"/> Buona <input type="checkbox"/> Particolarmente Attraente
1_4 Reputa l'edificio adeguato all'uso attuale	<input type="checkbox"/> inadeguato <input type="checkbox"/> parzialmente inadeguato <input type="checkbox"/> sufficientemente adeguato <input type="checkbox"/> Ottimo
1_5 Come giudica lo stato di conservazione attuale dell'edificio	<input type="checkbox"/> Pessimo <input type="checkbox"/> Sufficiente <input type="checkbox"/> Buono <input type="checkbox"/> Ottimo
1_6 Secondo lei l'edificio può essere valorizzato, e produrre economia?	<input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> forse, con miglioramenti <input type="checkbox"/> sicuramente

1_7 Quali sono i suoi suggerimenti per Valorizzare l'edificio?

1_8 Quali sono i suoi suggerimenti per migliorare la qualità dell'edificio?

2 QUALITA' INTERNA PERCEPITA, AMBIENTE _____

2_1 Qual'è la sensazione termica che percepisce all'interno dell'ambiente abitualmente?

Stagione	Molto caldo	Caldo	Tiepido	Neutrale	Fresco	Freddo	Molto freddo
Inverno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stagione intermedia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2_2 Che tipo di vestiario utilizza abitualmente?

Stagione	Pesante con giubbotto	Maglione pantaloni lunghi invernali	Maniche lunghe e pantaloni lunghi	Maniche corte e pantaloni lunghi	Maniche corte e pantaloni corti
Invernale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stagione intermedia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2_3 Qual'è la sensazione di movimento d'aria abituale nell'ambiente?

Aria stagnante	No spifferi	Spifferi solo con forti venti	Spifferi in situazioni ventilate	Presenza abituale di spifferi
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2_4 Qual'è la sensazione di qualità dell'aria, nell'ambiente (odori, aria stagnante, umidità ..)?

NON SO	Costantemente non confortevole	Spesso non è confortevole	A volte non è confortevole	Sempre Ottima
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2_5 Che tipo di attività svolge abitualmente nell'ambiente?

Parzialmente inattivo	Attività di ufficio	Cammino	Attività fisica leggera	Attività fisica moderata	Attività fisica intensa
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

2_6 Ritieni l'ambiente adeguato al suo utilizzo?

NON SO	NO Inadeguato	NO Parzialmente inadeguato	SI è compatibile	SI ottimo
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Se NO, cosa cambieresti, cosa non va?</i>				

2_7 Come giudichi la qualità dello spazio interno (gradevolezza, facilità d'uso,..)?

NON SO	Scarsa	Sufficiente	Buona	Particolarmente attraente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Se scarsa o sufficiente, cosa cambieresti, cosa non va?</i>				

3 PROFILO DELL'INTERVISTATO

3_1 Sesso	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F
3_2 Età	<input type="checkbox"/> 0-18 <input type="checkbox"/> 19-30 <input type="checkbox"/> 31-50 <input type="checkbox"/> 51-65 <input type="checkbox"/> oltre 65
3_3 Quanto di frequente utilizza l'edificio?	<input type="checkbox"/> utente abituale <input type="checkbox"/> utente periodico <input type="checkbox"/> utente saltuario
3_4 A quale titolo utilizza l'edificio?	<input type="checkbox"/> Lavoratore legato ai servizi presenti nell'edificio <input type="checkbox"/> Dirigente/lavoratore legato ai servizi presenti nell'edificio <input type="checkbox"/> Decisore legato ai servizi e /o alla proprietà dell'edificio Fruitore generico dell'edificio: <input type="checkbox"/> Turista <input type="checkbox"/> Studente <input type="checkbox"/> Visitatore <input type="checkbox"/> Utente servizi <input type="checkbox"/> altro _____
3_5 Professione	<input type="checkbox"/> Lavoratore Autonomo, non tecnico <input type="checkbox"/> Dipendente pubblico o privato, non tecnico <input type="checkbox"/> Professionista, docente, ricercatore, studente con conoscenze tecniche <input type="checkbox"/> Agricoltore <input type="checkbox"/> Impresa costruzioni <input type="checkbox"/> Pensionato <input type="checkbox"/> Altro _____

La ringraziamo per la collaborazione

Le informazioni qua fornite verranno utilizzate a soli scopi statistici nell'ambito della ricerca e non verranno divulgate se non in forma aggregata o fortemente rielaborata.

Se lascia un recapito email o un numero di telefono cellulare, verrà informato sui risultati del sondaggio e sarà invitato agli incontri pubblici in corso di organizzazione.

Email: _____

Telefono: _____

Tabella 9. Esempio di Questionario per il fruitore generico per la compilazione autonoma

Sesso	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F
Età	<input type="checkbox"/> 0-18 <input type="checkbox"/> 19-30 <input type="checkbox"/> 31-50 <input type="checkbox"/> 51-65 <input type="checkbox"/> oltre 65
A quale titolo utilizza l'edificio?	<input type="checkbox"/> Lavoratore legato ai servizi presenti nell'edificio <input type="checkbox"/> Dirigente/lavoratore legato ai servizi presenti nell'edificio <input type="checkbox"/> Decisore legato ai servizi e /o alla proprietà dell'edificio Fruitore generico dell'edificio: <input type="checkbox"/> Turista <input type="checkbox"/> Studente <input type="checkbox"/> Visitatore <input type="checkbox"/> Utente servizi <input type="checkbox"/> altro _____
Se sei un turista indica da dove provieni	<input type="checkbox"/> Sardegna <input type="checkbox"/> Italia <input type="checkbox"/> Nord Europa <input type="checkbox"/> Paesi del mediterraneo <input type="checkbox"/> altro _____
Professione	<input type="checkbox"/> Lavoratore Autonomo, non tecnico <input type="checkbox"/> Dipendente pubblico o privato, non tecnico <input type="checkbox"/> Professionista, docente, ricercatore, studente con conoscenze tecniche <input type="checkbox"/> Agricoltore <input type="checkbox"/> Impresa costruzioni <input type="checkbox"/> Pensionato <input type="checkbox"/> Altro _____

Qual è la sensazione termica che percepisce all'interno dell'ambiente?

Stagione	Molto caldo	Caldo	Tiepido	Neutrale	Fresco	Freddo	Molto freddo
Inverno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Che tipo di vestiario utilizza durante la visita?

Stagione	Pesante con giubbotto	Maglione pantaloni lunghi invernali	Maniche lunghe e pantaloni lunghi	Maniche corte e pantaloni lunghi	Maniche corte e pantaloni corti
Invernale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Qual'è la sensazione di qualità dell'aria, nell'ambiente (odori, aria stagnante, umidità ..)?

NON SO	Costantemente non confortevole	Spesso non è confortevole	A volte non è confortevole	Sempre Ottima
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ritieni l'ambiente adeguato al suo utilizzo?

NON SO	NO Inadeguato	NO Parzialmente inadeguato	SI è compatibile	SI ottimo
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.3.2.5 Requisiti normativi degli ambienti

Un altro aspetto centrale che guida la definizione delle strategie di intervento è la verifica dei requisiti normativi degli ambienti in relazione alla destinazione d'uso di progetto e reale. Gli edifici, specie quelli pubblici, possono essere sottoposti ad un articolato panorama normativo più o meno vincolate (requisiti tecnici, buone pratiche, ..) che deve essere studiato in modo da valutare sia la compatibilità con gli interventi specificatamente indirizzati all'efficientamento energetico che la necessità di raggiungere eventuali requisiti prestazionali. I requisiti possono essere indirizzati a conseguire condizioni microclimatiche (temperatura, umidità, ...), di illuminazione o di ricambio d'aria definite in maniera specifica per la destinazione d'uso dell'ambiente. Gli interventi di efficientamento influiscono in maniera diretta sugli aspetti della qualità degli spazi interni interna, ma possono avere impatti non trascurabili (positivi o negativi) anche su altri requisiti prestazionali richiesti agli ambienti interni come: l'accessibilità dei diversamente abili, la dotazione di superficie utile, i requisiti acustici passivi, la qualità architettonica o altre caratteristiche legate all'uso specifico dell'ambiente.

Gli indirizzi progettuali dovranno tenere conto di eventuali requisiti vincolanti e concepire l'intervento di riqualificazione energetica come una opportunità per influire in maniera positiva su diversi aspetti della qualità degli spazi anche se non direttamente legati al risparmio energetico o all'efficientamento del sistema edificio-impianti.

2.3.2.6 Indicazioni progettuali

In questa sezione si riassumono i principali risultati dei punti precedenti in maniera funzionale ad individuare alcune priorità o obiettivi per la definizione delle strategie di efficientamento e delineare i le attività di indagine strumentale eventualmente necessarie. Gli obiettivi strategici di efficientamento possono perciò di riguardare ad esempio: l'adeguamento degli ambienti ai requisiti prestazionali, oppure il soddisfacimento delle aspettative della maggioranza dei fruitori degli ambienti, oppure il generale miglioramento della qualità percepita degli ambienti.

In base alle analisi preliminari svolte, può manifestarsi la necessità di effettuare alcuni approfondimenti delle indagini tramite indagini strumentali o specifiche campagne di rilievo che in questa fase possono essere delineate in maniera preliminare:

- indicazioni sulle attività necessarie per la misurazione della qualità ambientale interna (microclima, illuminazione, comfort acustico,..) ;
- indicazioni sulle attività di misurazione e di monitoraggio necessarie a tracciare un efficace profilo dei consumi;
- indicazioni sulle eventuali attività di indagine per l'identificazione del comfort percepito e delle aspettative degli utenti dell'edificio;

2.3.3 Stato attuale del sistema edificio-impianti

In questa fase si raccolgono tutte le informazioni utili per la modellazione energetica dell'edificio riguardo: involucro, impianti di climatizzazione (invernale, estivo), sistemi di ventilazione, altri impianti ed apparecchiature elettriche. Le informazioni devono essere prioritariamente ricavate dalla documentazione progettuale depositata presso gli enti preposti ed accuratamente verificate tramite sopralluoghi sul posto volti anche a definire lo stato di conservazione e la funzionalità degli elementi che costituiscono il sistema edificio-impianto. Qualora la documentazione non fosse disponibile o fosse lacunosa possono essere utilizzate anche altre fonti documentali (articoli, materiale di archivio, ..) o utilizzare metodologie basate sull'affinità tipologica con altri casi più noti e o abachi di materiali ed elementi di fabbrica. Qualora sia necessario ottenere una maggiore affidabilità dei parametri che caratterizzano l'edificio possono essere richieste campagne di misurazione sulle strutture ed indagini dirette sugli impianti.

Lo scopo di questa analisi non è solo riportare una sintesi degli elementi che costituiscono il sistema edificio impianto, ma individuare indirizzi progettuali di efficientamento e recupero specifici per ogni ambiente. Perciò oltre alle informazioni tecniche che caratterizzano le prestazioni degli elementi utili alla modellazione energetica, al fine di ricavare indirizzi progettuali, per ogni elemento si sono valutati anche:

- a) il valore storico - paesaggistico degli elementi costruttivi (paragrafo 2.3.1.1) ;
- b) lo stato di conservazione,
- c) l'obsolescenza funzionale,
- d) i vantaggi e gli svantaggi rispetto all'uso previsto degli ambienti.

Per facilitare l'analisi complessiva dell'edificio e la comunicazione dei risultati, oltre alla descrizione degli elementi (Vantaggi e svantaggi) si sono adottati dei giudizi sintetici per i primi tre criteri che sono di indirizzo nella definizione delle strategie di recupero (tabella 10). Tali giudizi sono sintetizzati in un prospetto per ogni elemento edilizio in modo da facilitare la consultazione (tabella 11).

Il valore storico Paesaggistico degli elementi costruttivi valuta la rispondenza dell'elemento del sistema edificio-impianto alle caratteristiche storiche originali dell'edificio se sono presenti e la compatibilità con il contesto paesaggistico in cui si inserisce. La modifica di un elemento che conserva le caratteristiche originali è da valutare in maniera molto attenta, nel caso invece l'elemento generi un qualche impatto negativo sull'edificio o sul paesaggio circostante, una sua modifica può essere desiderabile (paragrafo 2.3.1.1).

Lo stato di conservazione valuta la funzionalità ed il degrado dell'elemento edilizio. Le situazioni di degrado che possono portare ad interventi edilizi nel breve periodo devono essere individuate per progettare azioni di efficientamento energetico che ottimizzino il rapporto costi e benefici degli interventi.

L'obsolescenza funzionale valuta sinteticamente la rispondenza dell'elemento alle caratteristiche prestazionali richieste in normativa e/o alla consuetudine più diffuse. In elemento o sistema in buono o sufficiente stato di conservazione ma caratterizzato da una forte obsolescenza funzionale, può generare alti costi di esercizio o inaccettabili condizioni di comfort rispetto alle soluzioni più diffuse, che devono essere prese attentamente in considerazione nella definizione delle strategie progettuali.

I vantaggi e svantaggi descrivono tramite brevi frasi che descrivono l'influenza attesa dell'elemento sulle prestazioni del sistema edificio impianto e sul comfort degli ambienti interni.

Tabella 10. Giudizi sull'elemento di fabbrica

Criterio	classi	Descrizione
<i>Valore architettonico Paesaggistico</i>	Storico	Elemento storico originale o coerente con l'originale
	Storico parzialmente modificato	Elemento storico parzialmente modificato, compatibile con l'edificio e col contesto.
	Moderno compatibile con lo storico	Elemento moderno, compatibile con l'edificio storico e col contesto paesaggistico
	Moderno ordinario	Elemento moderno ordinario, non avente particolare pregio architettonico che non arreca danno o degrado al contesto
	Moderno di pregio	Elemento architettonico moderno di pregio, che valorizza l'edificio e/o il contesto di inserimento
	Moderno incompatibile	Elemento moderno, incompatibile con l'edificio e/o col contesto paesaggistico
<i>Stato di conservazione</i>	Ottimo	Elemento in buono stato di conservazione e di recente costruzione
	Buono	Elemento in buono stato di conservazione
	Sufficiente	Elemento che presenta chiari segni di vetustà ed usura, ma mantiene i suoi caratteri di efficienza.
	Mediocre	Elemento che presenta chiari segni di vetustà ed usura e ha perso alcuni caratteri di efficienza.
	Scarso	Elemento logoro che risponde a malapena ai richiedi.
	Non funzionante	Elemento non funzionante o che ha perso totalmente i suoi caratteri prestazionali.
<i>Obsolescenza funzionale</i>	Ottimo	Migliore dei requisiti prestazionali richiesti dalla normativa
	Buono	Requisiti prestazionali allineati con la normativa vigente
	Sufficiente	Sotto gli standard normativi, ma di livello accettabile rispetto alla consuetudine locale
	Scarso	Sotto i livelli di standard generalmente accettati

Tabella 11. Esempio di scheda per ogni elemento edilizio

Elemento costruttivo	N° elementi	
Descrizione		
Valore storico Paesaggistico	Stato di conservazione	Obsolescenza funzionale
Vantaggi		
Svantaggi		
SPECIFICHE TECNICHE	Foto – schemi grafici	

Per supportare l'attività di sopralluogo è stata preparata e testata una scheda di analisi degli ambienti dell'edificio che riassume il tipo di impianti e strutture presenti valutate con il loro rispettivo stato di conservazione e profilo di utilizzo (figura 6). Segue un esempio di scheda, che tuttavia può richiedere degli adattamenti in funzione delle caratteristiche dell'edificio. Le schede degli ambienti sono state precompilate con le caratteristiche degli ambienti e delle strutture desumibili dalla documentazione raccolta, ossia i dati geometrici e quelli che indentificano gli elementi edilizi e gli impianti presenti negli ambienti. Il sopralluogo è perciò principalmente mirato a verificare, correggere ed integrare tali informazioni con lo stato di conservazione. Particolare attenzione deve essere posta a rilevare gli apparecchi presenti per l'illuminazione e eventuali altri apparecchi elettrici ad alto consumo. La conservazione degli elementi dell'involucro edilizio è valutata rispetto ai principali fenomeni di degrado delle strutture (infiltrazioni, finiture, umidità di risalita,...) che condizionano la prestazione energetica e le strategie di retrofitting. Per gli impianti la valutazione riguarda un generale stato di conservazione e la tipologia di uso, mentre per le chiusure trasparenti si chiede di valutare la conservazione e la presenza di schermature solari. I giudizi di valore circa l'obsolescenza funzionale ed il valore architettonico paesaggistico può essere dato al componente edilizio in generale e non per ogni ambiente.

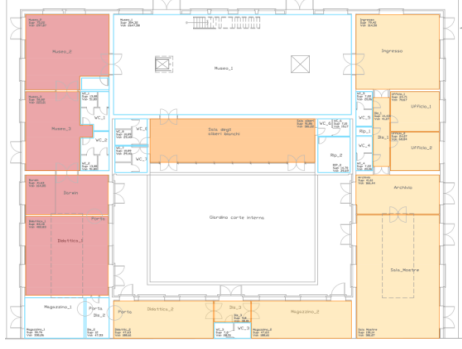
SCHEMA AUDIT PER AMBIENTE								
Dati generali	Ambiente	nome locale					LEGENDE Presenza/Frequenza/ uso impianto 1 - Continuativa 2 - Stagionale est 3 - Stagionale inv 4 - Periodica 5 - Saltuaria 6 - Molto Saltuaria 7 - Non Utilizzato	
	Zona termica	nome Zona						
	Sup. Utile	sup						
	Uso attuale	Clima / NON clima						
	Presenza							
	Futuro Uso	Clima / NON clima						
	Presenza							
	Persone (n°/tipo)							
Note ambiente/Uso								
								
		Identificazione grafica dell'ambiente su pianta						
INVOLUCRO	Elemento involucro	Degrado dell'elemento dell'involucro						Livello di Degrado 1 - Assente 2 - Modesto 3 - Localmente severo 4 - Severo 5 - Critico (compromesso)
	Muri verso esterno	finiture	Strutture	Infiltrazioni	Condensa	Umidità risalita		
	Chiusure di Base	finiture	Strutture	Infiltrazioni	Condensa	Umidità risalita		
	Muri interni	finiture	Strutture	Infiltrazioni	Condensa	Umidità risalita		
	Chius. Orizz. Interne	finiture	Strutture	Infiltrazioni	Condensa	Umidità risalita		
Copertura	finiture	Strutture	Infiltrazioni	Condensa				
Infissi	n°	Conservazione	Schermo	orient.	ombr. inv.	ombr. Est.	Conservazione 1 - Ottimo 2 - Buono 3 - Sufficiente 4 - Mediocre 5 - Scarso 6 - Non Funzionante	
RISC	Elemento funzionale	n°	descrizione_imp	Conserv.	Frequenza d'uso	Ore/gg	Descrizione_imp GE - Generazione DI - Distribuzione EM - Emissione RE - Regolazione AC - Accumulo TT - sistema compatto SI - Sistema integrativo	
RAFF.	Elemento funzionale	n°	descrizione_imp	Conserv.	Frequenza d'uso	Ore/gg		
VENT.	Elemento funzionale	n°	descrizione_imp	Conserv.	Frequenza d'uso	Ore/gg		
ACS	Elemento funzionale	n°	descrizione_imp	Conserv.	Frequenza d'uso	Utenza media		
Illuminazione	Apparecchio illuminante	n°	kWh	Consev.	Frequenza d'uso	Ore/gg		
altri servizi	Servizi	n°	desc. (KWh, ...)	Consev.	Frequenza d'uso	Ore/gg		

Figura 6. Esempio di tabella per il rilievo dello stato attuale

2.3.3.1 Indicazioni per la modellazione energetica

Il rilievo dello stato attuale è finalizzato a definire i dati di input per la modellazione energetica ed alcune indicazioni per le successive attività di rilievo strumentale su strutture edilizie ed elementi impiantistici. Nello specifico gli output di questa analisi sono tipicamente:

- la definizione di un elenco degli elementi di fabbrica dell’involucro, caratterizzati per le loro tecniche costruttive, proprietà termo – fisiche, stato di conservazione materico, influenza attesa sulla prestazione energetica del sistema;
- la definizione di un elenco degli impianti e sistemi tecnologici presenti, caratterizzati per tecnologia e funzione, rendimenti energetici, stato di conservazione, obsolescenza funzionale ed influenza attesa sulla prestazione energetica del sistema;
- Il progetto di attività di rilievo strumentale su strutture ed impianti;
- l’identificazione di alcuni input per la modellazione energetica personalizzata delle zone termiche.

Il rilievo di dettaglio dello stato degli elementi del sistema edificio – impianti, unitamente allo studio delle destinazioni d’uso (di progetto ed attuali) e alla definizione del profilo di fruizione degli ambienti portano alla articolazione definitiva delle zone termiche (locali appratenti alle zone termiche, temperature interne, impianti,...) che verranno utilizzate come base per l’impostazione del modello energetico. L’articolazione per stagioni o altri intervalli temporali, e le classi di profilo d’uso possono essere definite in maniera specifica per l’edificio oggetto di studio. Le attività di rilievo possono essere rivolte a verificare o stabilire le caratteristiche e lo stato di conservazione degli elementi di fabbrica dell’involucro o degli impianti. In questa fase si individuano gli elementi che necessitano di successive indagini ed i metodi per effettuarli come indagini non distruttive sugli edifici o test di efficienza sugli impianti.

Tabella 12. Esempio di articolazione delle zone termiche

Zone termiche		Impianti				Profilo d'uso			
		Climatizzazione		Ventilazione		N° utenti		Presenza	
zona	locali	Inv.	Est	Inv.	Est	Inv.	Est	Inv.	Est
Zona_1		Impianto_1	no	no	Impianto_3	2-4	20	continua	continua
...		Impianto_2	Impianto_2	no	no	50	50	saltuaria_2	saltuaria_2
Zona_n									

- continua presenza continua durante le ore di apertura del Museo
- saltuaria_2 forte presenza ma legata ad eventi molto saltuari (conferenze)
- saltuaria_1 presenza periodica di breve durata (manutenzioni, deposito materiali,...)
- periodica presenza ricorrente (es: nei fine settimana)

2.3.4 Strategie ed Ipotesi preliminari di intervento

In questo paragrafo conclusivo si individuano le possibili soluzioni tecnologiche per la riqualificazione energetica dell’immobile, nel rispetto dei valori storico paesaggistici identificati in precedenza, considerando le specificità dell’uso e lo stato attuale del sistema edificio-impianto. Le tecnologie potranno essere combinate a definire degli scenari progettuali alternativi di cui si valuterà la fattibilità tecnico-economica tramite l’utilizzo del modello energetico personalizzato. Gli scenari possono essere orientati a perseguire diversi obiettivi da definire anche con il supporto dei decisori ed i diversi utenti dell’immobile, quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo: massima riduzione di CO2 o del costo operativo, pieno recupero degli elementi storici e miglioramento della prestazione; massimo miglioramento del comfort interno col minimo investimento o altri obiettivi legati a funzioni specifiche dell’edificio. Gli obiettivi sono il risultato di alcune delle analisi preliminari svolte in precedenza e guidano alla definizione di strategie di efficientamento

energetico e miglioramento tecnologico specifica per ogni zona termica e naturalmente per il sistema edificio nel suo complesso.

In questa fase si individuano le possibili azioni progettuali, o scenari singoli di efficientamento, su tutti gli elementi del sistema edilizio: involucro, impianti di climatizzazione (estivo, invernale,..), ventilazione, produzione di ACS, illuminazione, altro. La fattibilità tecnica delle ipotesi progettuali deve essere studiata in rapporto all'edificio, devono essere individuate e valutate alcune soluzioni tecniche alternative con i loro relativi costi di realizzazione. La scelta delle soluzioni tecnologiche dovrebbe partire dalla raccolta di quelle più facilmente reperibili nel mercato locale fino, se necessario, a delineare lo studio di soluzioni personalizzate di natura più sperimentale.

I contenuti tipici delle ipotesi preliminari di intervento sono tipicamente:

- Individuazione degli obiettivi degli scenari progettuali;
- Individuazione delle strategie progettuali per ogni zona termica e per l'intero edificio, alla luce degli obiettivi enunciati in precedenza;
- Identificazione degli scenari singoli di efficientamento, coerenti alle strategie definite in precedenza, per ogni elemento del sistema edificio-impianto e selezionando le possibili soluzioni tecnologie in base ai costi ed alla fattibilità tecnica;
- individuazione di attività di ricerca per definire eventuali soluzioni tecnologiche non comuni, da applicare sull'edificio (ricerca di casi studio, richiesta di preventivi, studio di fattibilità, ...).

ESEMPIO DI UN INDICE DEI CONTENUTI DI UNA DIAGNOSI PRELIMINARE

1.	Descrizione generale dell'edificio
1.1	Edificio ed inquadramento territoriale
1.2	Materiali, tecnologie e interventi sull'edificio
1.3	Vincoli storico - paesaggistici
1.4	Indicazioni progettuali
2.	Profilo di utilizzo nell'Edificio
2.1	Destinazione d'uso degli ambienti
2.2	Profilo d'uso degli ambienti
2.3	Profilo dei consumi
2.4	Qualità percepita degli ambienti
2.5	Requisiti normativi degli ambienti
2.6	Indicazioni progettuali
3.	Stato attuale
3.1	involucro
3.2	impianto di climatizzazione
3.3	impianto di ventilazione
3.4	impianto di produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS)
3.5	Quadri elettrici, illuminazione ed altri apparecchi elettrici
3.6	Indicazioni sull'impostazione del modello energetico
4.	Ipotesi di intervento
4.1	Strategie progettuali nelle zone termiche
4.2	Azioni progettuali

2.4 Diagnosi energetica standard

La diagnosi energetica “standard” o di “secondo livello” o è uno strumento per valutare le ipotesi di efficientamento energetico e/o di riqualificazione dell’edificio sulla base di parametri analitici come il retrofit energetico ed il tempo di ritorno dell’investimento. Le ipotesi di intervento e gli scenari delineati nella fase preliminare del rapporto vengono qui testati e valutati con il supporto della modellazione energetica del sistema edificio-impianto. La diagnosi di secondo livello è una procedura più approfondita rispetto alla preliminare in quanto prevede di impostare un modello energetico il più possibile adattato alle attuali condizioni d’uso dell’edificio che spesso richiede l’effettuazione di misurazioni sul campo. I contenuti del rapporto sono perciò:

1. il report delle attività di indagine e di misura effettuate;
2. i risultati della modellazione energetica;

La diagnosi di secondo livello può essere ancora approfondita nei casi dove le caratteristiche dell’edificio siano molto particolari o dove gli interessi in gioco richiedano una superiore affidabilità dei risultati. Alcune valutazioni potrebbero essere ritenute non sufficienti per prendere una decisione e perciò richiedere studi aggiuntivi su fenomeni fisici di diversa natura non adeguatamente compresi nella modellazione standard. In questa fase possono essere individuati perciò i fenomeni che necessitano di una simulazione fisica più dettagliata o eventuali altre misurazioni e/o monitoraggi specifici utili a migliorare l’affidabilità delle stime. Si tratta generalmente di impostare calcoli con software di tipo dinamico capaci di considerare meglio le caratteristiche fisiche dei materiali ed i transitori degli impianti, o di impostare campagne di monitoraggio del microclima interno e dei consumi più accurate e di durata maggiore.

In casi più specifici potrebbe essere necessario adottare metodologie di tipo sperimentale per simulare gli effetti di sistemi innovativi o soluzioni tecnologiche non standard (Simulazione agli elementi finiti, simulazioni fluidodinamiche CFD, ...) o per effettuare misurazioni con metodi e strumenti non commerciali. Nel caso di soluzioni tecnologiche non standard può essere necessario anche sviluppare prove su prototipi in laboratorio o in situ.

2.4.1 Contenuto del report delle attività di misura

Molti metodi di indagine e di misura sono caratterizzati da procedure ben definite da normative e standard tecnici e da strumenti di facile reperimento sul mercato. Nel caso di indagini caratteristiche fortemente adattate all’utenza può essere necessario studiare una strategia di rilievo specifica che può comprendere sensori di diverso tipo (presenza, aperture delle finestre, regolazione degli impianti, ...) e/o metodologie di coinvolgimento diretto degli utenti dell’edificio. Le attività di misura non sono sempre obbligatorie, la scelta delle metodologie e degli strumenti di indagine dipende dalla bontà dei dati recuperati nella fase preliminare e dalle risorse disponibili per la diagnosi. In linea generale le indagini strumentali possono riguardare i seguenti aspetti:

- Comfort interno il microclima interno (temperatura aria, temperatura operativa, velocità aria, umidità, illuminazione...)
- il monitoraggio e la stima del profilo dei consumi dei diversi vettori energetici utilizzati dal sistema edificio impianto;
- Il monitoraggio degli usi volto a definire il profilo d’uso degli ambienti e dei sistemi impiantistici;
- le indagini sugli elementi dell’involucro;
- le indagini sugli elementi degli impianti.

Le indagini e le misure strumentali necessarie alla definizione dello stato attuale del sistema edificio - impianto ed alla modellazione energetica standard dovrebbero essere individuate durante la fase preliminare nel rispetto delle risorse disponibili. Il report delle misure presenta i risultati delle attività esplicitando i seguenti aspetti:

- a) l'obiettivo della misura
- b) gli strumenti e le metodologie utilizzate per l'indagine o la misura;
- c) una sintesi dei dati grezzi recuperati;
- d) i risultati sintetici e gli input per la modellazione energetica.

In questo allegato metodologico non si entrerà nel dettaglio della metodologia della misura della qualità degli ambienti interni (microclima, livelli di illuminazione) in quanto è oggetto di un altro studio sviluppato parallelamente dallo stesso gruppo di ricerca sugli stessi edifici (Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu PAR 2017).

Lo studio ha adottato degli approcci speditivi, coerenti con le finalità dello studio, per lo studio dei profili di consumo e per le indagini sull'involucro, lasciando a successivi sviluppi gli aspetti riguardati il monitoraggio degli usi e le indagini sui sistemi impiantistici.

Le misure e le indagini sugli elementi impiantistici sono volte a definire le prestazioni di sistemi impiantistici esistenti qualora essi non siano deducibili con approssimazione accettabile dalla documentazione disponibile. Si tratta di prove che richiedono l'intervento di operatori specializzati e che dipendono dal tipo di generatore presente (rendimento di combustione, portate e temperature dei fluidi termovettori, ...) e possono riguardare anche la definizione dello stato dei sottosistemi dell'impianto (distribuzione, emissione, regolazione,..).

Il Monitoraggio degli usi è volto a definire il profilo d'uso degli ambienti riguardo alla presenza e la tipologia di utenti ed all'utilizzo del sistema edificio-impianto qualora non sia deducibile con sufficiente approssimazione dalla documentazione disponibile e da attività speditive di indagine (questionari, interviste, ...). Questo tipo di misure sono spesso adattate all'utenza e perciò richiedono l'impostazione di una strategia di rilievo specifica e complessa. Alcuni obiettivi specifici possono essere la determinazione di dettagliati profili d'uso di alcuni elementi del sistema come: la regolazione degli impianti (tempo utilizzo, regolazione ventole, temperature impostate, ...), l'uso delle chiusure finestrate (schermature solari, apertura dell'infisso, ...), il numero delle persone presenti negli ambienti e la sensazione di comfort da loro percepita.

2.4.1.1 La misura del comfort interno (microclima e illuminazione)

La misura del microclima è volta a determinare le condizioni di comfort interno degli ambienti (temperatura, umidità, inquinamento, movimento dell'aria, ...) durante il loro uso abituale ed eventualmente durante alcune situazioni specifiche d'uso che possono verificarsi. Uno degli output più importanti per la successiva modellazione energetica è la definizione delle temperature reali di esercizio negli ambienti riscaldati ma anche in quelli non riscaldati adiacenti alle zone termiche, in quanto sono fortemente responsabili delle perdite attraverso l'involucro e del fabbisogno termico utile. I principali obiettivi questo tipo di indagine sono:

- determinare le effettive condizioni di comfort degli ambienti e confrontarle con quelle ricavate in sede di intervista agli utenti;
- individuare le principali cause di dis-comfort in modo da prevedere interventi edilizi che agiscano in maniera selettiva e mirata su di esse (limitare lo spostamento d'aria, aumentare la temperatura radiante, regolare i sistemi di emissione, intervenire sulla potenza degli impianti, ...);
- determinare le temperature (orarie, giornaliere, mensili) di esercizio degli ambienti al fine di calibrare al meglio il modello energetico.

Gli approcci per determinare i parametri medi stagionali del microclima interno da utilizzare per il progetto degli interventi e la modellazione energetica dipendono dalle risorse disponibili per tale attività: tempo disponibile, strumentazione disponibile, capacità degli operatori, compatibilità tra le attività di rilievo e quelle svolte all'interno dei locali. In funzione delle risorse disponibili e delle caratteristiche degli ambienti, si possono adottare due approcci: uno volto a definire delle "condizioni di fruizione tipo", rilevate in alcuni

periodi di riferimento in quanto a condizioni climatiche e fruizione degli ambienti, e, l'altro, volto a *monitorare* le condizioni in maniera quanto più continua possibile.

Il primo approccio utilizza gli strumenti di misura per definire l'andamento del microclima interno durante un periodo rappresentativo (una o due settimane) delle condizioni più critiche dell'edificio (inverno ed estate, ed eventualmente le stagioni intermedie, o in condizioni specifiche d'uso) per poi generalizzare queste condizioni a tutta la stagione definendo una sorta di "scenario peggiore/tipico di utilizzo". Se il sistema edificio - impianto è in grado di garantire accettabili condizioni di comfort nella ipotesi di caso peggiore, si è sicuri di operare con un adeguato fattore cautelativo che tuttavia può non essere adeguato alla ricerca di una configurazione ottima del sistema riguardo ai consumi. Questo tipo di approccio permette di limitare le risorse necessarie per le attività di rilievo (tempo, strumentazione necessaria, invasività delle attività di rilievo ..) ma naturalmente è gravato da forti assunzioni di base che ne possono minare l'attendibilità. Questo approccio può essere sufficiente per calibrare modelli semi stazionari, ma può mostrare limiti nel confronto con modelli di tipo dinamico. Se diventa necessario avere un profilo più attendibile delle condizioni interne e qualora le risorse ed i tempi lo permettano, si può impostare un monitoraggio durante un periodo più lungo (una stagione, un anno,..) per ottenere delle misure continue e dettagliate ed impostare un modello energetico più verosimile.

La misura del microclima interno può essere effettuata essenzialmente tramite strumenti capaci di registrare e monitorare le condizioni di comfort attraverso diversi tipi di sensori per un tempo più o meno lungo a seconda della metodologia di rilievo adottata (centraline microclimatiche, termo igrometri, ...). I parametri rilevati possono essere usati per calcolare indici di Fanger (Voto medio Previsto - PMV e la Percentuale di insoddisfatti - PPD) che sono basati sulle quattro variabili che definiscono le condizioni microclimatiche interne (temperatura dell'aria, temperatura radiante, umidità relativa e velocità dell'aria) e di alcune condizioni dell'utilizzatore dello spazio (vestiario ed attività svolte). Per le specifiche indoor si rimanda alla UNI EN 7726 "Ergonomia degli ambienti termici. Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche" e per il calcolo degli indici di Fanger alle norme UNI 15251 ed alla UNI 7730:2006.

Uno dei sistemi impiantistici che ha più margini di efficientamento negli edifici pubblici è spesso quello di illuminazione. Per definire tali margini è necessario indagare: sull'adeguatezza dei livelli di illuminazione degli ambienti, sulle prestazioni degli elementi illuminanti, e sul profilo d'uso del sistema. Se i livelli di illuminazione non soddisfano i requisiti normativi le azioni progettuali dovranno prioritariamente agire in tal senso, l'efficientamento potrà essere ricercato sono nell'accurata scelta delle tecnologie e nella gestione degli usi. Nel caso, per altro frequente, che i requisiti siano ampiamente superati si può agire anche limitando il livello di illuminazione presente realizzando forti economie sui costi operativi.

Il censimento dei sistemi utilizzati per l'illuminazione, così come la definizione di un profilo di utilizzo degli ambienti sono già stati effettuati nella diagnosi preliminare; in questa fase si effettuano le indagini volte alla verifica del livello di illuminazione presente negli ambienti rispetto ai limiti richiesti dalla normativa per le diverse attività svolte. La normativa di riferimento, per gli ambienti interni, è la UNI EN 12464-1 che specifica i requisiti illuminotecnici per i posti di lavoro che corrispondono alle esigenze di comfort e di prestazione visiva.

Tabella 13. Prospetto della UNI EN 12464-1 illuminazione dei posti di lavoro. Parte 1 -uffici.

Tipo di interno compito o attività	E_m lux	UGR_L	R_a	Note
Archiviazione, copiatura	300	19	80	
Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	
Disegno tecnico	750	16	90	
Postazioni CAD	500	19	80	
Sale conferenze e riunioni	500	19	80	L'illuminazione deve essere regolabile
Ricezione (reception)	300	22	80	
Archivi	200	25	80	

Per i dettagli sullo stato dell'arte e sulle metodologie e strumenti utilizzati per lo studio del microclima e dell'illuminazione nei due casi studio, si rimanda ai report ad esso dedicato, redatti dallo stesso gruppo di ricerca (Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu PAR 2017).

2.4.1.2 La misura dei consumi

La misura dei consumi è volta a definire i consumi reali per vettore (elettricità, GAS, GPL,..) e per servizio energetico (Climatizzazione, ACS, Ventilazione, Illuminazione, ..). Nell'ambito della diagnosi energetica tale attività è da concepire come completamento dello studio dei dati delle serie storiche dei consumi già raccolti durante la prima fase della diagnosi, rispondendo ai seguenti obiettivi:

- definire i costi operativi ed i consumi (annui, stagionali) dei vettori energetici che approvvigionano i diversi servizi energetici dell'edificio (climatizzazione, ACS,..) in modo da valutare i margini effettivi per l'ammortamento degli interventi di efficientamento;
- definire uno o più profili di consumo di minore intervallo temporale (orario, giornaliero, settimanale,..) utili a supportare nella definizione di soluzioni per la gestione della domanda;
- identificare eventuali consumi non previsti o fortemente disallineati con altre realtà di riferimento o con quelli ricavabili dalla letteratura in modo da indirizzare verso la definizione di azioni di efficientamento e miglioramento tecnologico;
- confrontare i consumi reali con i risultati del modello energetico in modo da raffinare la modellazione.

La misura ed il monitoraggio dei consumi deve essere svolta con specifiche tipologie di sensore in funzione del vettore energetico (potenziometri, misuratori di flusso, ..). Il tipo di misurazioni necessarie e le metodologie per effettuate dipendono fortemente dalla configurazione impiantistica, dalle risorse disponibili e dagli obiettivi che si vuole raggiungere. La misura ottimale sarebbe quella di un sistema di monitoraggio continuo di tutti i vettori energetici utilizzati nell'edificio separato per servizio con alto dettaglio temporale, tuttavia ciò è difficilmente realizzabile nei casi più comuni per limiti economici e temporali.

Le misurazioni dei consumi si basano sulla conoscenza approfondita del sistema impiantistico presente e dei suoi diversi profili di utilizzo. Un approccio volto a limitare i costi delle attività di rilievo, punta all'utilizzo delle attività di monitoraggio dei consumi come integrazione ai dati ufficiali delle fatturazioni e delle bollette che rimangono il principale riferimento per lo studio del retrofit delle ipotesi progettuali. Esso può essere indirizzato a studiare i consumi per un breve periodo di tempo sufficientemente rappresentativo (ore, giorno, settimane, ...) degli usi abituali dell'edificio (inverno, estate, eventi specifici, ...). Lo scopo può essere riuscire a definire uno o più profili giornalieri tipici che potranno essere opportunamente aggregati per definire il profilo su base settimanale mensile o stagionale utile allo studio di sistemi di ottimizzazione della domanda. Tale aspetto è anche fondamentale per la predisposizione dei sistemi di accumulo energetico da accoppiare a tecnologie di produzione da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER).

Gli approcci adottati e gli strumenti utilizzati sono di norma riportati nel report della diagnosi energetica in quanto possono essere specifici per ogni caso studio. I casi studio analizzati in questo lavoro riguardano edifici che utilizzano esclusivamente il vettore elettrico del quale, sfortunatamente, non è disponibile uno storico dei consumi in quanto sono collegati ad un punto di presa comune a tutto il complesso della Grande Miniera di Serbariu. Rimanendo coerenti con le premesse iniziali di limitazione dei costi della diagnosi si è adottato un approccio orientato alla definizione di un profilo di consumo di "giorno tipo" definito in base ai servizi presenti nell'edificio (per i dettagli si rimanda agli allegati 1-2).

2.4.1.3 Le indagini sugli elementi edilizi

Le Misure e le indagini su elementi edilizi sono volte a definire le caratteristiche termofisiche e di conservazione degli elementi dell'involucro edilizio qualora esse non siano deducibili con approssimazione accettabile dalla documentazione disponibile e da attività di indagine visiva. Senza entrare nel campo delle indagini orientate alla determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali ed alla stabilità delle strutture, gli elementi importanti nel campo delle diagnosi energetiche perché possono influenzare la prestazione, il comfort interno e le possibilità di retrofit energetico possono essere:

- la verifica delle ipotesi costruttive sugli elementi di fabbrica sulla base delle documentazioni disponibili (disposizione dei solai, presenza di cavedi o impianti non visibili, discontinuità materiche,..);
- studio dei ponti termici;
- misura delle prestazioni termiche delle strutture in opera;
- misura delle caratteristiche termo fisiche delle dei materiali fuori opera;
- indagini circa presenza di umidità (infiltrazioni, umidità di risalita, perdite..) negli elementi edilizi e degrado delle finiture

Nel campo delle diagnosi energetiche si fa in genere riferimento agli strumenti ed alle metodologie ascrivibili alle prove non distruttive (PND) sugli edifici (la termocamera, i termoflussimetri, le prove in laboratorio su campioni di materiale simile,..) o, qualora sia possibile, anche le Prove Moderatamente Distruttive (PMD) in situ tramite carotaggi e saggi nella struttura. Seguono alcune schede delle tecniche di misurazione ed indagine più utilizzate sull'involucro edilizio, la selezione della tecnologia da utilizzare dipende dai fenomeni che si vuole indagare e dalle risorse disponibili. Per garantire la qualità e la confrontabilità delle misure le prove sono tutte regolate da normative tecniche precise circa: le caratteristiche degli strumenti di misura, le modalità di effettuazione della misura e i metodi di trattazione dei dati raccolti. In caso di edifici di particolare pregio dove sia necessario misurare e/o verificare aspetti specifici delle strutture si possono sviluppare metodologie personalizzate facendo riferimento alla vasta letteratura scientifica disponibile.

Nei nostri casi di studio l'involucro edilizio è caratterizzato da murature lapidee portanti ed orizzontamenti latero cementizi storici. Fortunatamente si è avuto accesso a documentazioni sufficientemente dettagliate sugli elementi dell'involucro presenti e sulle tecnologie utilizzate per il loro recupero e restauro.

L'elemento caratterizzato da maggiore incertezza sono le caratteristiche termo-fisiche della muratura lapidea costituita da una pietra effusiva locale molto utilizzata come materiale da costruzione nell'ambito di studio. Per motivo si è sviluppato uno strumento di prova in laboratorio oggetto di una delle attività del lavoro (Prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis-Iglesiente (PAR 2017) paragrafo 2.6).

Si sono comunque effettuate su entrambi gli edifici delle indagini termografiche (FLUKE TiS40) esplorative volte a: verificare le informazioni documentali di base sulle strutture edilizie ed impianti; studiare l'entità e l'origine di alcuni fenomeni si infiltrazione di acqua meteorica ed umidità di risalita molto presenti nelle strutture.

Tabella 14. Termocamera utilizzata per le indagini.

FLUKE TiS40	
Resolution	160x120
Focus	Fixed
Distance to spot	252:1
Thermal sensitivity (NETD)	90 mK
Temperature range	-20 °C to +350 °C



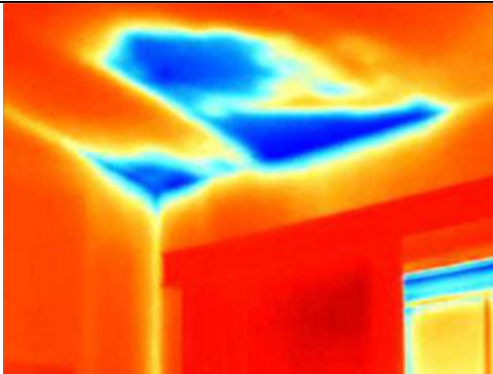
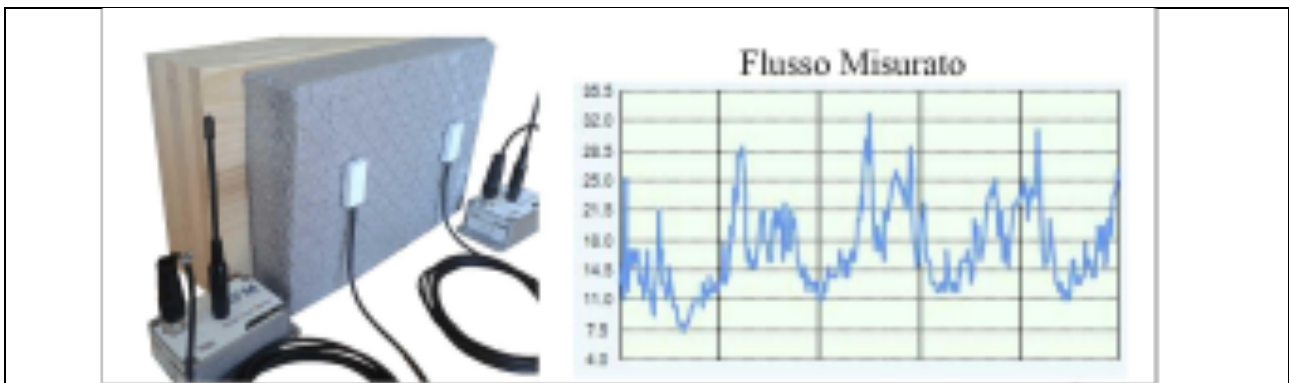


Tabella 15. Prove Non Distruttive (PND)

<p>TERMOCAMERA</p> <p>Il video radiometro ad infrarossi (termocamera) permette di visualizzare la temperatura superficiale apparente riflessa dei corpi e di conseguenza analizzarne lo stato di conservazione, il comportamento e le performance quando vengono attraversati da un flusso termico.</p> <p>Gli strumenti attualmente disponibili sul mercato (anche con fasce di prezzo accessibili) hanno raggiunto ottime risoluzioni di rilievo ed affidabilità nelle misure; in genere possono accoppiare il rilievo termico con la fotografia digitale permettendo di redigere report molto accurati e comunicativi.</p> <p>Si tratta comunque di uno strumento di natura prettamente qualitativa molto utilizzato anche per indagini di tipo esplorativo sulle caratteristiche dell'edificio.</p> <p>Condizioni di Prova (UNI EN 13187:2000; UNI 10824 - 1:2000)</p> <p>La termografia può essere passiva o attiva, durante la quale si sottopone la parete ad un flusso termico artificioso al fine di enfatizzare le differenze di emissione all'infrarosso. Si dovrebbe rispettare le seguenti condizioni di prova:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, la temperatura dell'aria esterna non deve essere maggiore di oltre $\pm 10^{\circ}\text{C}$, rispetto alla temperatura all'inizio della prova. Per struttura pesanti con grande massa termica, è necessario tenere conto degli effetti di immagazzinamento di calore. - Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, e durante la prova stessa, la differenza di temperatura dell'aria attraverso l'involucro edilizio non deve essere minore del valore numerico di $3/U$, dove U rappresenta il valore teorico del coefficiente di trasmissione termica della parete, espresso in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e comunque mai minore di 5°C. - Per almeno 12 h prima dell'inizio della prova e durante la prova, le superfici dell'involucro in esame, non dovrebbero essere esposte alla radiazione solare diretta. - Durante la prova, la temperatura dell'aria esterna ed interna non devono variare, rispetto ai valori rilevati all'inizio della prova, di oltre $\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $\pm 2^{\circ}\text{C}$ rispettivamente. Gli effetti delle variazioni di temperatura durante la prova, possono essere verificati sovrapponendo l'immagine definitiva e quella iniziale. Se la variazione è minore di 1°C o 2°C, il requisito di prova si considera soddisfatto. 	
<p>Principali utilizzi</p> <p>Indagine sulle caratteristiche costruttive e conservazione dell'involucro; Indagini sulla disposizione impiantistica; Presenza di acqua (umidità capillare, infiltrazioni, perdite,..); Verifica di serramenti (Infiltrazioni di d'aria, condense, ...); Discontinuità del flusso termico nei componenti edilizi (ponti termici, difetti di isolamento,..); Indagini sul malfunzionamento di alcuni elementi impiantistici. con opportune condizioni può essere usata anche per determinare la trasmittanza di una parete</p>	<p>Punti di forza e criticità</p> <p>Lo strumento è di facile ed economico utilizzo, con grande versatilità d'uso. Risente notevolmente delle condizioni ambientali durante prova e della esperienza dell'operatore, per questo la normativa tecnica detta rigide condizioni d'uso per garantire l'attendibilità delle misure.</p>
	

TERMOMETRO AD INFRAROSSO	
<p>Il termometro ad infrarosso prende diversi nomi, dal più comune pirometro (alte temperature) a termometro ad infrarossi o pistola ad infrarossi, a seconda delle caratteristiche che lo contraddistinguono. Esso permette di misurare la temperatura superficiale apparente di un punto utilizzando essenzialmente la stessa tecnologia delle termo camere ma con intervalli di misura maggiori soprattutto alle alte temperature. Esistono strumenti più o meno affidabili e con diversi intervalli di misura, di particolare interesse per i gli scopi della diagnosi sono quelli miniaturizzati settabili attraverso computer e data logger che possono essere utilizzati per monitoraggi dinamici per intervalli di tempo più o meno lunghi.</p>	
Principali utilizzi	Punti di forza e criticità
<p>Indagine speditiva sulle temperature superficiali degli elementi edilizi</p>	<p>Lo strumento è di facile ed economico utilizzo, ma in parte si sovrappone con l'utilizzo delle termocamere</p>
	

TERMOFLUSSIMETRO	
<p>Si tratta di un sistema di misura della conduttanza in opera è costituito da: data logger, termoflussimetro; alcune termocoppie (2 esterne e 1-2 interne). Il termoflussimetro è un dispositivo contenente un trasduttore che genera un segnale elettrico in funzione del flusso di calore che lo attraversa. Le termocoppie sono trasduttori a funzione monotona della temperatura che permettono la misura della temperatura superficiale di un elemento o dell'aria. Il termoflussimetro è il naturale prosieguo dell'indagine termografica: una volta individuati i punti di discontinuità termica di un componente dell'involucro edilizio può essere usato per misurarne la trasmittanza in opera. I valori (operativi) ottenuti vengono così confrontati con lo stato di progetto (valori previsionali) per verificare se le prestazioni effettive del continuo corrispondono con quelle dichiarate in fase di progetto e cantierizzazione (posa in opera).</p>	
<p>Condizioni di prova (norma UNI ISO 9869-1:2015)</p> <ul style="list-style-type: none"> - La misura del termoflussimetro è dinamica, dovrebbe essere fatta per almeno 12 ore consecutive e per almeno tre notti, ma per avere buoni coefficienti di sicurezza possono servire settimane. - Salto termico maggiore 12-20k, e variazione di non più del 30% durante la prova. - Variazione della T esterna non più del 5c° durante la notte - Variazione della t interna non più di 2°c - Evitare irraggiamento solare della parete durante la prova - Evitare e/o monitorare la ventilazione della superficie esterna - Non mettere i sensori in corrispondenza di parti particolari della struttura (ponti termici, irregolarità, ..) - Metodo della hotbox o dell'irraggiamento 	
Principali utilizzi	Punti di forza e criticità
<p>Misura e/o verifica della trasmittanza degli elementi edilizi in opera Studio delle discontinuità dell'involucro Studio degli effetti di umidità nelle murature</p>	<p>Lo strumento è di facile utilizzo, ma richiede molto tempo per la misura e risente notevolmente delle condizioni ambientali durante prova</p>



TERMOFUSSIMETRO CON HOT BOX O IRRAGGIAMENTO

Si tratta di una metodologia di misura della conduttanza in opera che unisce l'uso di un termoflussimetro con un sistema che elimina i fattori ambientali che possono inficiare la misura. Esso si configura in una scatola che isola la porzione di parete da valutare e ne garantisce il riscaldamento uniforme.

Principali utilizzi	Punti di forza e criticità
Misura e/o verifica della trasmittanza degli elementi edilizi in opera	Misure più attendibili, è possibile effettuare la misura anche in condizioni ambientali avverse. Costoso utilizzo e necessità di tempo e della disponibilità di spazi per effettuare la prova. Lo strumento deve essere ben calibrato in quanto è una metodologia con ancora forti aspetti sperimentali.



TERMOMETRO E IGROMETRO A CONTATTO

Il termometro a contatto permette di misurare e quantificare la temperatura dei materiali delle murature (pavimenti, soffitti, ...) senza effettuare carotaggi, fori o intaccarne le superfici. Ne esistono diversi tipi: a sonda (utili per raggiungere punti poco agevoli o in fori appositamente fatti), a piastra (che si appoggiano semplicemente dove si desidera effettuare la misura), o collegati a data logger per avere una misura continua per un maggiore intervallo di tempo.

Servono per evidenziare in maniera semplice ed immediata le differenze di temperatura superficiale tra differenti punti dei componenti edilizi, individuando le possibili discontinuità dell'isolante dovute ad una errata progettazione o posa.

Principali utilizzi	Punti di forza e criticità
Misura e/o verifica delle discontinuità dell'involucro. Studio della umidità nelle murature e valutazione del rischio muffa	Lo strumento è di facile ed economico utilizzo. Eseguisce una misura puntuale.



IGROMETRO A CONTATTO

L'igrometro a contatto permette di misurare e quantificare la umidità dei materiali delle murature (pavimenti, soffitti, ..) senza effettuare carotaggi, fori o intaccarne le superfici. Ne esistono diversi tipi basati su metodologie di misura differenti: resistivi, dielettrici ed a microonde.

Il primo tipo è quello più economico ed affidabile per alcuni tipi di materiali (soprattutto il legno), stabilisce il contenuto d'acqua del materiale fino a circa 10mm di profondità. Perciò è adatto a misure superficiali su materiali morbidi che comunque verranno un po' danneggiati dai fori effettuati dagli elettrodi.

Il sistema dielettrico stabilisce il contenuto d'acqua (in digit tipicamente) al semplice contatto col materiale per una profondità di circa 40mm. E perciò adatto a misure superficiali su materiali duri o che non possono essere danneggiati in alcun modo.

Il sistema a microonde stabilisce il contenuto d'acqua (in digit tipicamente) al semplice contatto col materiale per una profondità di 300mm. E perciò adatto a misure in profondità, accoppiato a misure superficiali può definire un profilo completo della umidità nella massa muraria.

Principali utilizzi

Misura e/o verifica delle discontinuità dell'involucro
Studio della umidità nelle murature e valutazione del rischio muffa


Punti di forza e criticità

Lo strumento è di facile ed economico utilizzo
Esegue una misura puntuale
Danno delle indicazioni di massima, per avere il reale contenuto di umidità di un materiale sono necessarie prove di laboratorio (carburo, ponderale,..)



BLOWER DOOR TEST (BDT)	
<p>Il BDT permette di misurare l'ermeticità di un edificio/infisso dopo aver imposto una determinata differenza di pressione tra interno ed esterno. Attraverso un apposito ventilatore l'aria viene immessa o aspirata dell'edificio oggetto del test, in modo che tra pressione interna e pressione esterna ci sia una prestabilita differenza di pressione. La differenza di pressione tra due punti dell'atmosfera è la causa dei flussi d'aria. Il ventilatore viene incassato in un telaio che viene applicato alla porta d'ingresso, da qui il nome inglese Blower (=Ventilatore) -Door (=porta)-Test.</p> <p>Attraverso il BDT è possibile quantificare la corretta tenuta all'aria (sigillatura) dell'edificio ed analizzarne i punti critici come ad esempio gli spifferi conseguenti dalla posa errata degli infissi o comprendere la causa di una eventuale presenza di condensa sui serramenti, spesso attribuibile a danni/consunzioni subite dall'infisso durante l'uso o ad una (ben più comune) erronea posa dello strato di tenuta all'aria nella fase di costruzione o risanamento dell'edificio.</p> <p>Il BDT consente di verificare se i ricambi d'aria per ventilazione sono conformi al progetto o se sussistono maggiorazioni o diminuzioni conseguenti a difetti e/o patologie edilizie dovute a montaggio e/o consunzione delle guarnizioni di porte e finestre.</p>	
Principali utilizzi	Punti di forza e criticità
<p>Verifica sugli infissi (posa corretta, tenuta all'aria dell'infisso,..);</p> <p>Verifica della tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio</p> <p>Determinazione e/verifica dei ricambi d'aria</p>	<p>Lo strumento non è di facile utilizzo e segue la norme UNI EN 13829.</p>
	

Tabella 16. Prove Moderatamente Distruttive (PDM)

ENDOSCOPIO, CAROTAGGI E SAGGI SULLA MURATURA	
<p>Lo scopo principale di queste prove è determinare la stratigrafia dell'involucro ed eventualmente ottenere un campione del materiale per effettuare prove di laboratorio nel caso dei carotaggi. Si tratta di prove moderatamente distruttive, ossia che effettuano dei saggi sull'involucro creando un piccolo danno.</p> <p>Il metodo con l'endoscopio consiste nell'effettuare un foro nella muratura per far entrare un endoscopio che può essere munito di diversi sensori (telecamera, termometri, igrometri, ..). In questo caso difficilmente si hanno campioni di materiale da analizzare ma il danno sulle strutture è minimo.</p> <p>Il carotaggio è un foro passante di opportuna sezione per ottenere un campione di materiale su cui effettuare prove termo-fisico-meccaniche in laboratorio. L'intervento è più invadente in quanto il foro deve essere di dimensione maggiore rispetto a quello necessario all'endoscopio, tuttavia le prove sul materiale si discostano abbastanza dalle condizioni in opera.</p> <p>Il saggio consiste nella demolizione esplorativa di parte dell'involucro, e può essere utilizzato per avere un campione di dimensioni maggiori della stratigrafia su cui effettuare prove più simili alla condizione in opera. Molto invasivo, di solito può effettuare solo se giustificato da altre opere sull'edificio che prevedono demolizioni e ricostruzioni parziali.</p>	
Principali utilizzi	Punti di forza e criticità
<p>Misura e verifica della stratigrafia Analisi delle caratteristiche termo-fisico-meccaniche dei materiali e della stratigrafia.</p>	<p>Limitata invasività (endoscopia) Possibilità di effettuare test di laboratorio ma invasività spesso non accettabile (Carotaggi, saggi) Difficoltà di ad ottenere in laboratorio le condizioni in opera dei materiali Si tratta comunque di prove puntuali</p>
	

2.4.2 Modellazione energetica

Questa parte rappresenta il centro della diagnosi, essa è dedicata a sviluppare un modello energetico del sistema edificio-impianto nelle sue condizioni reali d'uso, che verrà poi utilizzato per valutare le diverse ipotesi di riqualificazione dell'immobile.

Una diagnosi energetica di secondo livello adotta generalmente una modellazione energetica coerente con le normative tecniche vigenti, opportunamente settate per simulare le condizioni attuali di esercizio dell'edificio. Per modello *standard* ci si riferisce in genere alle procedure di calcolo adottate per le verifiche di legge (UNI TS 11300 parti 1-2-3-4 s.m.i. e altre norme collegate) ed all'utilizzo di software commerciali certificati (certificazione del Comitato Termotecnico Italiano -CTI)⁶ per la simulazione e la valutazione delle azioni di efficientamento. La maggior parte dei software permette la personalizzazione di alcuni parametri di calcolo per definire dei modelli adattati all'utenza (temperature interne, presenza e numero di utenti,..) garantendo tuttavia una certa confrontabilità delle procedure, la facilità d'uso ed il riferimento alle normative tecniche.

La normativa tecnica prevede il calcolo del fabbisogno energetico utile invernale ed estivo tramite un metodo semi stazionario su base mensile (UNI TS 11300 parte 1) e la stima dei rendimenti di emissione, regolazione, distribuzione, accumulo e generazione dei diversi servizi del sistema edificio-impianto (Riscaldamento, Raffrescamento, Acqua Calda Sanitaria – ACS) tramite approcci tabellari (UNI 11300 – parti 2-3-4). Tali risultati sono utili ad evidenziare gli elementi dell'edificio che nello, stato attuale, influiscono negativamente sull'efficienza e che perciò possono essere oggetto privilegiato di intervento.

Al modello stazionario si associa solitamente il calcolo dei carichi estivi (metodo Carrier – Pizzetti) ed invernali (UNI EN 12831) adatti a determinare le potenze di dimensionamento degli impianti nelle condizioni di picco. Il software utilizzato per effettuare i calcoli sarà specificato nella diagnosi esso dovrà essere certificato dal Comitato Termotecnico Italiano che ne garantisce la rispondenza all'apparato normativo vigente.

Da marzo 2018, è disponibile l'aggiornamento normativo del CEN delle UNI EN ISO 52016-1 e UNI EN ISO 52017-1 sul calcolo in regime dinamico orario degli edifici. Le norme propongono nuove procedure che si basano su un modello dinamico semplificato per la valutazione di alcuni parametri dell'edificio: fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne, carichi termici sensibili e latenti. Il modello dinamico soppianderà quello attualmente vigente, tuttavia finché non verranno pubblicati gli allegati tecnici nazionali e il legislatore non si pronuncerà a loro favore, si continuerà ad utilizzare il metodo semi stazionario con le medie mensili descritto nelle norme UNI/TS 11300. Questo vale per tutti gli ambiti di calcolo (redazione di un APE, di una Legge 10 o di una diagnosi energetica). Tutti gli strumenti di analisi dinamica al momento disponibili, sia già legati ai modelli della norma EN ISO 52016 o basati su altri modelli (es: software basati sul motore di calcolo gratuito EnergyPlus) restano solo strumenti facoltativi per approfondire le valutazioni energetiche. Solo quando verranno indicati come obbligatori i metodi di calcolo dinamici degli allegati nazionali della UNI EN ISO 52016 sarà necessario usare software conformi a tale scopo.

In questa sede non si riportano i dettagli delle formule utilizzate e dei calcoli effettuati dai modelli energetici, rimandando per approfondimenti all'ampia letteratura tecnica esistente ed alle normative citate, il report del modello energetico che è articolato perciò in tre macro sezioni:

1. *Dati di ingresso e parametri del modello energetico* che riporta: la definizione delle zone termiche (temperature interne, ricambi d'aria, persone, ..); il settaggio della ventilazione, e l'impostazione del clima di riferimento.
2. *Risultati* che riportano senza commenti ed approfondimenti: i risultati finali di prestazione e consumo; alcuni risultati parziali più rilevanti coerenti con la normativa vigente; i risultati più importati della modellazione dinamica.
3. *Discussione dei risultati* della modellazione che riporta: un confronto critico tra i risultati dei diversi modelli di calcolo; indirizzi progettuali riguardanti gli elementi che costituiscono il sistema edificio impianto basati sui risultati del modello.

⁶ Elenco software certificati CTI -

<https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62>

2.4.2.1 Dati di ingresso e parametri del modello energetico

La normativa tecnica per il calcolo delle prestazioni standard o di progetto prevede alcuni settaggi convenzionali per quanto riguarda il profilo di uso degli edifici e degli impianti. Nel nostro caso invece, quando disponibili, saranno adottate le condizioni di uso specifiche al fine di calibrare il modello energetico in maniera che possa simulare le condizioni di uso attuali. Tali settaggi riguardano nello specifico:

- la definizione delle zone termiche (estive, invernali),
- il fabbisogno di ACS calcolato sulle persone presenti e l'uso effettivo,
- le temperature interne abitualmente mantenute nei locali climatizzati e non riscaldati adiacenti,
- il numero di presenti e le attività svolte dagli utilizzatori abituali nei diversi locali,
- la valutazione dei carichi termici aggiuntivi (apparecchi elettrici, attrezzature varie, ...),
- il profilo reale di utilizzo degli impianti e delle schermature mobili.

2.4.2.2 Risultati

I risultati dell'analisi svolta sulla base della normativa vigente sono presentati tramite una selezione e rielaborazione dei contenuti dei documenti tecnici che il software redige per alcune attività tecniche di analisi delle prestazioni dell'edificio (APE, Legge 10, Diagnosi, ...). Essi sono articolati secondo le principali fasi e risultati della procedura di calcolo della normativa (fabbisogni utili, potenze, Fabbisogni di energia primaria,..) ma per rendere efficace la rappresentazione dei risultati in un'ottica comunicativa, si sono effettuati anche i calcoli degli indici di prestazione energetica e la verifica dei requisiti minimi di progetto (Decreto Inter. 26 giugno 2015 – Dlgs 19 agosto 2005, n. 192 (e s.m.i.)). Questi ultimi calcoli permettono di rappresentare in maniera efficace e sintetica l'efficienza complessiva dell'edificio e dei suoi diversi sottosistemi e ne esplicitano immediatamente la distanza da un edificio costruito con standard attuali.

2.4.2.3 Discussione dei Risultati della modellazione

Questa parte del report affronta due aspetti principali: il primo riguarda una discussione critica rispetto ai calcoli ed i risultati ottenuti dalle modellazioni energetiche, il secondo si concentra su indirizzi progettuali derivanti dalla modellazione energetica.

I contenuti della discussione dipendono molto dal caso studio ed in generale possono riguardare:

- eventuali omissioni o punti di debolezza dei modelli energetici sviluppati, in modo da indirizzare verso altre verifiche;
- il confronto tra i risultati dei diversi modelli (*Asset rating, Tailored rating,..*)
- confronto tra fabbisogni teorici e le serie storiche dei consumi dei diversi vettori energetici dell'edificio (firma energetica).

In particolare, l'attività di confronto con le serie reali dei consumi avviene anche durante l'impostazione del modello energetico in quando può essere necessario testare diversi settaggi dei parametri di input prima di ottenere una buona verosimiglianza del modello. Le indicazioni progettuali, basate su entrambe le modalità di calcolo, possono essere articolate rispetto ai principali fattori che influenzano la prestazione energetica (Involucro, Fabbisogno di energia utile, Fabbisogno di Energia Primaria,..) e completano le indicazioni preliminari che precedono la valutazione delle ipotesi progettuali.

2.5 Valutazione degli scenari di riqualificazione

La diagnosi energetica prevede la valutazione della fattibilità economica ed energetica di alcune ipotesi di intervento sul sistema edificio impianti esistente. La normativa per l'esecuzione delle diagnosi energetiche deve seguire le procedure previste dalle UNI EN 15459. A tal fine si sono utilizzati dei software certificati CTI che consentono di svolgere i passaggi essenziali costituenti una diagnosi energetica conforme alla normativa: confronto tra i consumi calcolati ed i consumi reali (validazione del modello di calcolo); modellazione dei possibili interventi di riqualificazione energetica; analisi economica delle opere di risparmio energetico; formulazione del "rapporto finale" o "relazione di diagnosi energetica".

Il tipico risultato delle diagnosi è l'analisi economica dell'investimento (tempo di ritorno, VAN, ..) di diversi scenari singoli o multipli di recupero e riqualificazione dell'edificio identificando se possibile quello migliore o il più desiderabile.

Anche alla luce dei tempi di ritorno e dei costi di investimento non è sempre facile la scelta, specie se essa riguarda un edificio pubblico, perciò si vuole proporre una metodologia che aggiunge alcune valutazioni qualitative che supporteranno il decisore nell'individuazione di uno scenario di intervento considerando anche altri parametri oltre a quelli meramente legati all'efficientamento energetico.

La metodologia parte dal tracciare lo "scenario di non progetto" o "ipotesi zero" che consiste nel definire i consumi energetici ed i costi operativi che si avrebbero mantenendo inalterato lo stato attuale del sistema edificio- impianti con il suo relativo profilo d'uso abituale. Tale scenario è definito principalmente sulla base delle serie dei consumi opportunamente integrate e combinate con i risultati del modello energetico. Partendo dallo scenario zero, si definiscono le azioni progettuali degli scenari singoli di intervento incrociando i principali risultati del modello energetico con le strategie progettuali delineate nella fase preliminare della diagnosi energetica.

L'obiettivo della metodologia è facilitare e stimolare il confronto anche con alcuni fruitori degli edifici, perciò si è reputato utile sviluppare un approccio valutativo semplice basato anche su parametri qualitativi. La valutazione delle ipotesi di intervento sarà effettuata rispetto allo scenario di non progetto utilizzando alcuni criteri di fattibilità tecnico- economica (tempo di ritorno semplice, investimento iniziale, costo operativo, fabbisogno energetico – tabella 17) ed altri criteri di tipo più qualitativo (qualità architettonica interna ed esterna, comfort interno, livelli di fruizione – tabella 18). Ogni ipotesi di intervento sarà corredata da un giudizio qualitativo del suo impatto sui diversi criteri di valutazione e da uno sintetico che individua il grado di desiderabilità dell'intervento.

Le ipotesi d'intervento verranno poi combinate tra loro per definire scenari multipli di intervento orientati al perseguimento di specifici obiettivi. Questi si comporranno sulla base dei giudizi ottenuti dalle singole ipotesi di intervento in modo da massimizzare i diversi criteri di valutazione (risparmio energetico, comfort interno, ...).

2.5.1 Definizione dello scenario di non progetto

Lo scenario di non progetto prevede l'accoppiamento dei risultati del modello energetico dello stato attuale con le serie dei consumi in modo da ottenere un profilo operativo stagionale ed annuo il più possibile attendibile (costi, emissioni, combustibili, ...). Tale profilo individua lo scenario di non progetto che verrà confrontato con quello che può ottenere dopo gli interventi di miglioramento. Fanno parte dello "Stato Attuale" anche l'enunciazione finale degli obiettivi strategici di intervento che tengano conto delle analisi precedentemente svolte e della consultazione con gli attori coinvolti. Tali obiettivi saranno di indirizzo per la valutazione dei singoli scenari di intervento e per la composizione degli stessi a definire gli scenari multipli. Gli scenari multipli saranno così composti da singoli interventi orientati a soddisfare espliciti obiettivi strategici che, a titolo di esempio, possono essere:

- rispetto completo delle strutture e degli elementi storici dell'edificio (in caso sia pertinente);
- scenario di intervento approfondito che punta ad utilizzare tutte le tecnologie disponibili per massimizzare l'efficientamento energetico;
- scenario di intervento leggero che punta ad avere un miglioramento dell'efficienza ma mantenendo minimi i costi;

- scenario che si pone come priorità il miglioramento delle condizioni di comfort interne, minimizzando i costi e salvaguardando l'efficienza;
- scenario di forte miglioramento della qualità architettonica e/o del livello dei servizi prestati dall'edificio;

2.5.2 Definizione e valutazione delle ipotesi di intervento

Un primo elenco delle *ipotesi di intervento* è stato definito nella diagnosi preliminare, in questa fase esso sarà perfezionato, integrato o semplificato in funzione delle attività di misura e di modellazione energetica svolte in precedenza. Una volta definito l'elenco definitivo, ogni ipotesi di intervento pertinente verrà valutata tramite il modello energetico al fine di calcolare i principali fattori di rendimento economico e formulare anche gli altri giudizi di valore previsti.

Prima di effettuare la valutazione delle ipotesi di intervento, è presente una parte sintetica che ne descrive le caratteristiche e la metodologia adottata per valutare l'impatto sullo scenario di base. In generale, si tratterà di lievi modifiche al modello di calcolo (variazione di trasmittanza, sostituzione impianti simili,..) ma in taluni casi possono essere necessarie modifiche rilevanti di impostazione (nuove zone termiche, nuovi servizi impiantistici,..) oppure altre attività di simulazione e valutazione separate come per il caso delle FER. Partendo da alcune esperienze riportate in letteratura, si sono elaborati alcuni criteri per la valutazione delle ipotesi di intervento, per facilitare la partecipazione essi dovranno essere semplici e significativi e considerare i principali valori che caratterizzano l'immobile. Una parte di essi dovrà fare riferimento alle prestazioni del sistema edificio-impianto, altri possono invece considerare aspetti non direttamente legati all'efficientamento ma che possono influenzare in modo preponderante i progetti di efficientamento e riuso del patrimonio immobiliare. Si propongono alcuni criteri che sono stati utilizzati per lo sviluppo dei due casi di studio ma che non hanno la pretesa di essere esaustivi di tutte le casistiche possibili in quanto sono stati definiti in funzione delle strategie delle priorità dei casi studio sviluppati. I primi quattro criteri sono di natura tecnico-economica e perciò direttamente basati sul risultato del modello energetico, gli altri sono giudizi di tipo qualitativo.

2.5.2.1 Criteri di fattibilità tecnico economica

I primi elementi da valutare sono quelli legati al miglioramento delle prestazioni del sistema edificio-impianto per i quali il modello energetico è stato sviluppato.

Cr_1 Fabbisogno energetico

Il Fabbisogno Energetico di Energia Primaria non rinnovabile, è il parametro principale che qualifica un intervento di efficientamento energetico, esso dovrebbe sempre produrre una sua diminuzione. La diminuzione del fabbisogno è generalmente direttamente correlata alla diminuzione delle emissioni e dei costi operativi; tuttavia i vettori energetici sono caratterizzati da diversi costi e livelli emissione al kW, perciò il fabbisogno non basta a definire l'efficienza di una soluzione progettuale. Inoltre in caso i livelli di servizio siano molto bassi (sistemi di climatizzazione insufficienti, variazione del volume riscaldato, nuovi impianti, ..) lo scenario potrebbe generare un aumento del fabbisogno ed eventualmente dei parametri ad esso collegati, in questo caso diventa fondamentale valutare anche altri parametri quali il livello dei servizi o la qualità degli ambienti interni. La valutazione di questo criterio è articolata su sette livelli di giudizio basati sulla variazione del fabbisogno globale rispetto allo scenario di non progetto (tabella 17).

Cr_2 Costo operativo

L'altro parametro principale che caratterizza un intervento di efficientamento energetico è la diminuzione del costo operativo rispetto allo scenario di riferimento. Tale aspetto non va valutato solo sui consumi ma anche considerando le attività di manutenzione programmata previste nel tempo di vita della soluzione tecnologica proposta. Se l'intervento non genera una diminuzione dei costi non si può avere tempo di ritorno dell'investimento e tutti i parametri economici sono negativi, tuttavia nei casi l'intervento sia fortemente innovativo per l'edificio i costi potrebbero aumentare (es: installazione di impianto di climatizzazione estivo

dove non presente). La valutazione di questo criterio è articolata su sette livelli di giudizio basati sulla variazione del fabbisogno globale rispetto allo scenario di non progetto (tabella 17).

Cr_3 Investimento Iniziale

In letteratura si individua nell'investimento iniziale una delle barriere più forti all'efficientamento del patrimonio edilizio. Se esso supera la disponibilità dei proprietari porta al ricorso di soluzioni creditizie ai quali non tutti possono accedere, e che aumentano inevitabilmente il tempo di ritorno dell'investimento. Non conoscendo la disponibilità economica del gestore dell'immobile si è valutato, il livello di investimento con sette livelli di giudizio basati sull'incidenza dei costi iniziali sui costi operativi abitualmente sostenuti (tabella 17). L'ipotesi è che il gestore sia più propenso ad effettuare interventi che non si discostano troppo della somma che abitualmente ha a disposizione. Non è sempre detto che bassi investimenti iniziali siano legati a ottimi tempi di ritorno, in determinate condizioni alcune tecnologie costose possono avere ottimi tempi di ritorno (Es: impianti fotovoltaici,..) altre, meno costose, possono dare origine ad economie molto inferiori o trascurabili ma tuttavia essere preferite in quanto richiedono un impegno finanziario inferiore. Inoltre nel caso l'intervento generi un aumento dei costi e/o del fabbisogno l'investimento iniziale diventa l'unico parametro quantitativo utilizzabile.

Cr_4 Tempo di Ritorno dell'Investimento

È il parametro su cui si basano le attività di retrofit energetico degli edifici, ampiamente utilizzato nelle analisi economiche dell'investimenti. In accordo con le linee guida delle diagnosi energetiche il TR deve essere inferiore alla vita utile della nuova tecnologia e, per favorire l'investimento, dovrebbe essere inferiore ai 10 anni. Al fine di facilitare la comprensione e la comparabilità dei risultati si propone inoltre l'utilizzo del tempo di ritorno semplice.

Tabella 17. Criteri di valutazione economica degli impatti delle ipotesi progettuali

	Criteri	Cr_1 - Cr_2	Cr_3	Cr_4
punti	giudizio	Cr_1 - Fabbisogno energetico Cr_2 - Costi operativi	Investimento iniziale	Tempo di Ritorno
4	Molto positivo	Risparmio > 50%	<= 10% costo op. annuo (CA)	TR <= 3 anni
2	Positivo	20% < risparmio <= 50%	10%< investimento <= 40% CA	3 < TR <=5 anni
1	Moderatamente positivo	5% < risparmio <= 20%	40%< investimento <= 70% CA	5 < TR <=8 anni
0	Trascurabile (Cr_1, Cr_2) Moderato (Cr_3, Cr_4)	risparmio <= 5% aumento <= 5%	70%< investimento <= 100% CA	8 < TR <=10 anni
-1	Moderatamente negativo	5% < Aumento <= 20%	100%< investimento <= 200% CA	10 < TR <=15 anni
-2	Negativo	20% < Aumento <= 50%	200%< investimento <= 300% CA	15 < TR <= 20 anni
-5	Molto Negativo	Aumento > 50%	> 300% Costo op. annuo	> della vita utile

2.5.2.2 Criteri qualitativi

Il secondo gruppo di elementi ha una natura qualitativa adattata al caso studio, essi sono basati su un giudizio esperto che stima l'impatto atteso dell'intervento su alcuni aspetti che caratterizzano l'edificio come: Cr_5 il microclima interno, Cr_6 la fruibilità dell'edificio, Cr_7 la qualità architettonica interna, Cr 8 la qualità architettonica paesaggistica esterna. La valutazione è stata effettuata nell'ambito della redazione della diagnosi coinvolgendo i decisori legati alla gestione dell'edificio ed altri professionisti del settore.

Il miglioramento del microclima interno è valutato a partire delle condizioni attuali e può essere indirizzato al miglioramento di diversi aspetti del sistema edificio impianto (temperature superficiali, il movimento d'aria, regolare l'irraggiamento solare diretto, migliorare i sistemi di emissione degli impianti, ...).

Per livello di fruizione si intende il livello dei servizi che l'edificio fornisce per i suoi fruitori (accessibilità, spazi riscaldati disponibili, ...)

L'impatto sulla qualità architettonica del complesso e sul contesto paesaggistico di relazione è un altro aspetto fondamentale per la selezione degli interventi che potrebbero non consentire nessuna alterazione essere o accettare un livello minimo di alterazione.

Tabella 18. Criteri di valutazione qualitativa degli impatti delle ipotesi progettuali

	Criteri	Cr_5	Cr_6	Cr_7	Cr_8
punti	giudizio	<i>Microclima interno</i>	<i>Fruibilità dell'edificio</i>	<i>Qualità arc. Interna</i>	<i>Qualità arc. Esterna e paesaggio</i>
4	Molto positivo	Valutazione qualitativa	Valutazione qualitativa	Valutazione qualitativa	Valutazione qualitativa
2	Positivo				
1	Moderatamente positivo				
0	Trascurabile (Cr_1, Cr_2)				
-1	Moderatamente negativo				
-2	Negativo				
-5	Molto Negativo				

2.5.3 Definizione e valutazione degli scenari di intervento multipli

Le ipotesi d'intervento precedente valutate verranno poi combinate tra loro per definire scenari di intervento orientati al perseguimento di specifici obiettivi. Questi si comporranno sulla base dei giudizi ottenuti dalle singole ipotesi di intervento in modo da massimizzare i diversi criteri di valutazione (risparmio energetico, comfort interno, ...). L'attività di composizione degli scenari multipli si dovrebbe svolgere coinvolgendo anche gli attori interessati al processo di efficientamento dell'edificio che utilizzeranno i giudizi dati per ogni singolo intervento come supporto alla creazione della propria strategia progettuale. Gli scenari dovranno poi essere ulteriormente analizzati con l'ausilio del modello energetico in quanto la composizione di più azioni di retrofit non è la mera somma dei singoli risparmi energetici. In questo caso i parametri da valutare sono quelli tecnico – economici che saranno associato all'obiettivo dello scenario, saranno nuovamente i decisori ad effettuare le scelte tra diversi scenari di efficientamento compatibili ma orientati a diversi obiettivi.

ESEMPIO DI UN INDICE DEI CONTENUTI DI UNA DIAGNOSI STANDARD

1. Report delle indagini e delle misure

- 1.1 Il microclima interno
- 1.2 Il microclima interno (temperatura aria, temperatura operativa, velocità aria, umidità, illuminazione ..)
- 1.3 Il monitoraggio e stima del profilo dei consumi dei diversi vettori energetici utilizzati dal sistema edificio impianto
- 1.4 Il monitoraggio degli usi volto a definire il profilo d'uso degli ambienti e dei sistemi impiantistici
- 1.5 Le indagini sugli elementi dell'involucro
- 1.6 Le indagini sugli elementi degli impianti

2. Report della modellazione energetica

- 2.1 Dati di ingresso e parametri del modello energetico
 - 2.1.1 *Impostazione delle zone termiche*
 - 2.1.2 *Settaggio della Ventilazione*
 - 2.1.3 *Impostazione del clima di riferimento*
- 2.2 Risultati
 - 2.2.1 *Irradiazione solare e ombreggiamento (UNI TS 11300 - parte 1)*
 - 2.2.2 *Involucro (Caratteristiche termo-igrometriche degli elementi, stratigrafie, ..)*
 - 2.2.3 *Fabbisogno di Energia Utile (UNI EN ISO 13790 e UNI TS 11300-1)*
 - 2.2.4 *Fabbisogno di Potenza Termica Invernale (UNI EN 12831)*
 - 2.2.5 *Potenza Estiva (Secondo - Carrier Pizzetti)*
 - 2.2.6 *Fabbisogno di Energia Primaria clim. invernale (UNI/TS 11300-parti 2-4)*
 - 2.2.7 *Fabbisogno di Energia Primaria climatizzazione estiva (UNI/TS 11300-3)*
 - 2.2.8 *Fabbisogno di Energia Primaria Servizio Acqua Calda Sanitaria (UNI/TS 11300 – parti 2-4)*
 - 2.2.8 *Prestazione energetica e verifiche dei requisiti minimi (Decreto Interm. 26 giugno 2015 – Dlgs 19 agosto 2005, n. 192 (e s.m.i.)*
- 2.3 Discussione dei risultati della modellazione
 - 2.3.1 *Discussione critica dei calcoli e dei risultati*
 - 2.3.2 *Indirizzi progettuali*

3 Valutazione degli scenari di riqualificazione

- 3.1 Definizione dello scenario di non progetto
- 3.2 Definizione e valutazione delle ipotesi di intervento
- 3.3 Definizione e valutazione degli scenari di intervento

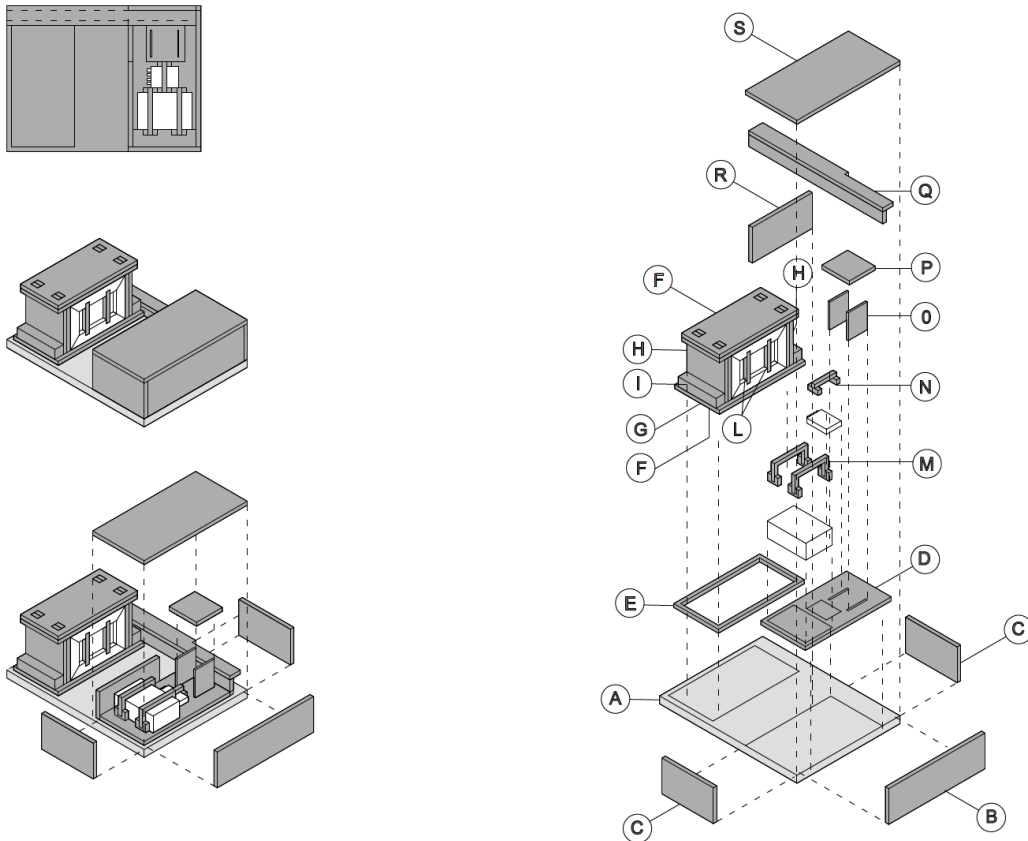
2.6 Prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis-Iglesiente

Sotacarbo ha avviato già dalla precedente annualità 2016 una collaborazione con il LabEE del DICAAR (Facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Cagliari) un'attività di studio e realizzazione di un prototipo di piastra termoflussimetrica per la misura dinamica in laboratorio di grandezze relative alle proprietà termiche dei materiali utilizzati nelle costruzioni. A valle della attività PAR 2016, che aveva previsto la fase di progettazione del prototipo e l'individuazione dei suoi componenti principali (celle Peltier e controller della temperatura), in questo PAR 2017 sono state eseguite attività relative alla individuazione, acquisto e lavorazione dei materiali per la realizzazione dell'involucro contenitore.

Si è inoltre proceduto con la scrittura del programma di gestione della regolazione dei componenti, della visualizzazione, registrazione ed elaborazione dei dati di output del prototipo

Infine sono stati eseguiti i test di misurazione termoflussimetrica di materiali standard (poliestere estruso, fibrocemento, sughero e PPMA- Polimetilmetacrilato) e valutata l'incertezza di misura dello strumento.

Per i dettagli sulle metodologie utilizzate ed i risultati ottenuti si rimanda all'allegato 1.



3 Risultati Diagnosi energetiche del Museo dei Paleo Ambienti Sulcitani (PAS) e del Museo del Carbone

Si espone qui una sintesi dei risultati delle attività di diagnosi svolte durante questa annualità a supporto delle conclusioni della ricerca, rimandando agli allegati per i dettagli. Le diagnosi energetiche riguardano Il Museo dei Paleo Ambienti Sulcitani (PAS) e il Museo del Carbone che occupano due edifici del complesso della “Grande Miniera di Serbariu” situata nella periferia sud occidentale dell’abitato di Carbonia. Gli edifici sono realizzati in muratura portante lapidea storica tipica della zona di Carbonia, ossia in una roccia effusiva altamente porosa di colore rossastro localmente denominata “*trachite rossa*”. Le strutture di copertura orizzontale sono costituite prevalentemente dagli originali solai latero cementizi: il museo del carbone è caratterizzato dalla sua originale imponente struttura a volta intelaiata in CA, mentre nel Museo PAS la struttura originale del volume principale è stata sostituita da una copertura lignea di recente costruzione.



Figura 8. Edifici della Grande Miniera di Serbariu oggetto di diagnosi (Ortofoto 2013 RAS)



Figura 9. Museo PAS Prospetto Nord-ovest



Figura 10. Complesso del Museo del Carbone, prospetto sud-est

Entrambi gli edifici sono stati oggetto di restauro (Museo PAS 2007, Museo Carbone 2006) che ne ha risanato e rinnovato l'involucro edilizio e ne ha adeguato la dotazione tecnologico impiantistica alle esigenze di un'area museale. L'interventi hanno avuto un approccio conservativo ma attualmente entrambi gli immobili mostrano diversi fenomeni di degrado e scarse condizioni di comfort interno (tabella 19).

Tabella19. Interventi di restauro e fenomeni di degrado

Edificio	Restauro	Degrado
Museo PAS	Ripristino dell'involucro, con isolamento (5 cm EPS + 10 cm Cemento & Perlite) nelle chiusure orizzontali; Sostituzione delle chiusure finestrate; Realizzazione di alcune nuove coperture lignee; Installazione di un impianto di climatizzazione realizzato con pompa di calore (Aria – Acqua) e ventilconvettori; Realizzazione ed adeguamento di impianti tecnici (ACS, elettrico, idrico, fognario, antincendio, sorveglianza...).	Infiltrazioni di acqua meteorica; Impianto di climatizzazione non funzionante
Museo Carbone	Ripristino dell'involucro, con isolamento (2 cm EPS) nelle coperture; Installazione di un impianto di climatizzazione realizzato con pompa di calore (Aria – Acqua) e ventilconvettori e UTA; Realizzazione ed adeguamento di impianti tecnici (ACS, elettrico, idrico, fognario, antincendio, sorveglianza...).	Forti infiltrazioni di acqua meteorica; Impianto di climatizzazione non adeguato al comfort interno; circuito idronico non funzionante umidità di risalita

3.1 Profilo d'uso e consumi

Entrambi gli edifici sono caratterizzati dall'uso fortemente discontinuo degli ambienti espositivi che costituiscono la gran parte del volume edilizio e da un uso continuo delle residuali zone ufficio. Si tratta di ambienti espositivi privi di climatizzazione caratterizzati da un flusso di visitatori invernale molto limitato che cresce durante la stagione primaverile ed estiva.

Il Museo PAS non ha sistemi di climatizzazione attivi (salvo stufette elettriche per gli uffici) mentre nel museo del Carbone sono climatizzati durante l'orario di apertura (8h giorno; 6/7 gg settimana) i locali ufficio (ventilconvettori), BAR e la Libreria (Tutt'aria).

Entrambi gli edifici utilizzano solamente energia elettrica ma non sono disponibili serie storiche dei consumi in quanto afferiscono ad un punto di prelievo comune a tutto il complesso della Miniera. Al fine di definire dei profili di consumo, si sono effettuate delle misure in loco per ricavare alcuni profili giornalieri tipo (estivo ed invernale).

3.1.1 Condizioni microclimatiche interne e comfort percepito

Le misure dei parametri microclimatici interni (*oggetto del report: Analisi del comfort microclimatico degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu. - PAR-2017*) hanno evidenziato scarse condizioni di comfort interno nel Museo PAS, causate, ovviamente, dalla mancanza di sistemi di controllo climatico. Anche il museo del Carbone è caratterizzato da non buone condizioni di comfort interno causate dalle copiose infiltrazioni meteoriche e dalla cattiva regolazione del sistema a tutt'aria che crea fastidiosi movimenti d'aria e non riesce a controllare correttamente la temperatura interna.

Sono state svolte interviste ad alcuni decisori (direttori del museo, responsabili della manutenzione, politici e tecnici della PA) e sottoposti questionari ai dipendenti ed ai visitatori (14 dipendenti, 42 visitatori tra i due musei) che hanno confermato le condizioni di disagio interno soprattutto nella stagione estiva.

3.2 Risultati modellazione energetica

La modellazione energetica si è concentrata sulla zona degli edifici climatizzata in maniera pressoché continua durante le ore di apertura. Per le altre aree non è possibile definire un profilo d'uso attendibile, inoltre l'uso saltuario dei sistemi rende antieconomico qualsiasi intervento di efficientamento. La mancanza di consumi reali non ha reso possibile la calibrazione del modello energetico perciò le valutazioni si sono basate sul modello teorico. Per il museo PAS è stato considerato funzionante il sistema impiantistico che riguarda i locali abitualmente utilizzati dai dipendenti (Uffici, Ingresso).

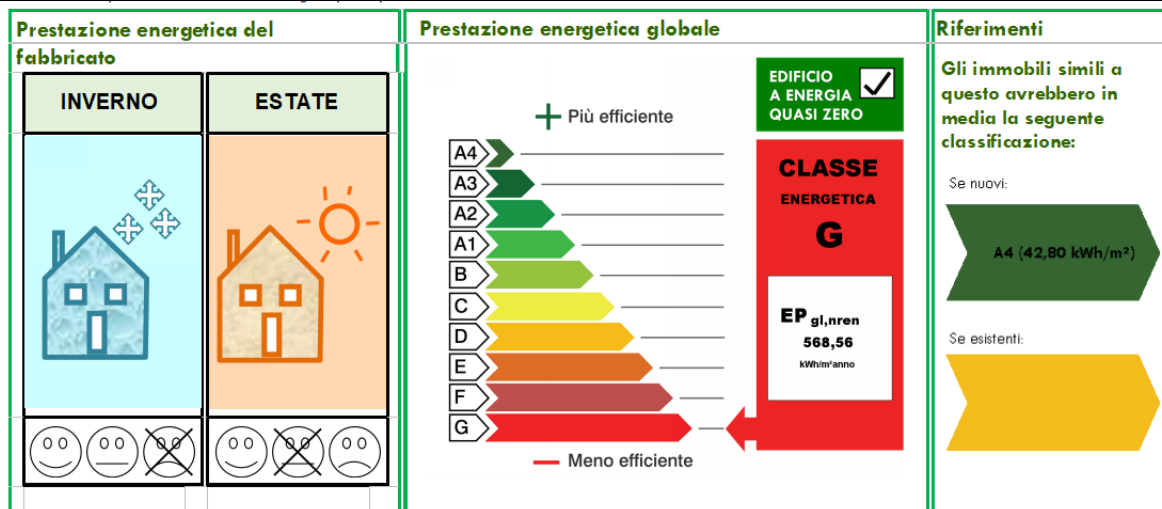
I risultati mostrano scarsa efficienza, il Museo del Carbone è caratterizzato dalla scarsa performance dell'involucro e dalla scarsa capacità modulante della pompa di calore che ne abbassa drasticamente il rendimento stagionale. Inoltre nel museo del Carbone il fabbisogno energetico per ventilazione dei locali Bar e libreria (circuito aerulico UTA) incide fortemente sulla efficienza globale del sistema. Il Museo PAS ha un generatore di prestazioni paragonabili con quelle del museo del carbone, ma ha un involucro nettamente più performante grazie alla presenza di orizzontamenti ben isolati e di finestre con doppi vetri e non è gravato dal fabbisogno aggiuntivo per il servizio di ventilazione.

In entrambi i casi il fabbisogno di energia utile dell'involucro mostra una netta preponderanza della stagione invernale (energia e carichi termici) rispetto a quelli estivi. Le potenze degli impianti sono coerenti con i carichi di picco, che però sono molto maggiori di quelli medi; ciò porta l'impianto a operare spesso con rendimenti ridotti dal fattore di carico. I risultati della modellazione energetica unitamente alle misurazioni di consumo dei giorni tipo, hanno definito lo stato attuale su cui sono state effettuate le valutazioni di fattibilità economica (figura 11 -12). Il calcolo personalizzato (*Tailored Rating*) mostra un fabbisogno teorico di energia elettrica minore di circa in quarto rispetto a quello ricavato dal calcolo standard (*Asset Rating*). Tale differenza è ancora maggiore se si considera che la diminuzione di fabbisogno fa scendere anche l'efficienza stagionale degli impianti, infatti il fabbisogno di energia utile dell'involucro valutato col calcolo in *Tailored Rating* è circa la metà di quello valutato in *Asset Rating*.

Servizi energetici del Museo del Carbone		Consumo annuo	Costo Operativo annuo [euro]
Consumo teorico climatizzazione zona termica +	kWh	40271	8135
Riscaldamento zona termica della diagnosi +	kWh	23099	4666
Raffrescamento zona termica della diagnosi +	kWh	13102	2647
Ventilazione zona termica della diagnosi +	kWh	4070	822
ACS, zona termica diagnosi	kWh	0	0
Illuminazione ed altri apparecchi*	kWh	2336	472

+ consumi calcolati col modello energetico;

* consumo stimato da misure reali a campione;

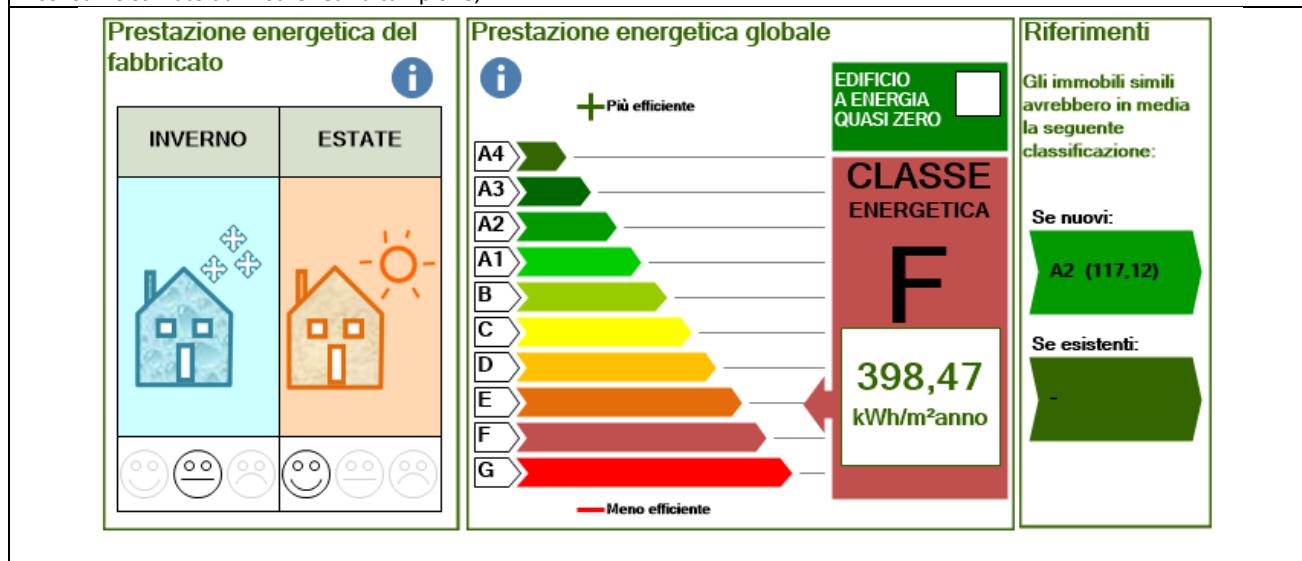


	Museo Carbone	um	Condizioni STD	Condizioni TAILORED	Rapporto [%]
<i>Fabbisogno Energia Utile H</i>		kWh	27.416	11.928	-56
<i>Fabbisogno Energia Utile C</i>		kWh	8.189	3.029	-63
<i>Consumo teorico totale (elettricità)</i>		kWh	53.301	40.271	-24
Consumo H		kWh	29.763	23.099	-22
Consumo C		kWh	18.815	13.102	-30
Consumo V		kWh	4.723	4.070	-14
<i>Costo teorico</i>		€	10.660	8.054	-24

Figura 11. Sintesi dei risultati del modello energetico (stato attuale, calcolo asset rating) Museo del Carbone

Servizi energetici del Museo PAS	Consumo annuo	Costo Operativo Annuo [euro]
Riscaldamento zona termica della diagnosi +	8092	1620
Raffrescamento zona termica della diagnosi +	2305	460
ACS, zona termica diagnosi +	282	71,91
Illuminazione ed altri apparecchi*	14037	3579
Riscaldamento stato attuale (stufette Ufficio_1, Ingresso) *	3000	750
totale	22376	5730

+ consumi calcolati col modello energetico;
 * consumo stimato da misure reali a campione;



	Museo PAS	um	Condizioni STD	Condizioni TAILORED	Rapporto [%]
Fabbisogno Energia Utile H		kWh	19.631	11.598	-41
Fabbisogno Energia Utile C		kWh	2.786	1.507	-46
Consumo teorico totale (elettricità)		kWh	14.121	10.392	-26
Consumo H		kWh	11.086	8.092	-27
Consumo C		kWh	3.035	2.300	-24
Consumo V		kWh	0,00	0,00	
Costo teorico		€	2.824	2.078	-26

Figura 12. Sintesi dei risultati del modello energetico (stato attuale, calcolo Asset rating) Museo PAS

3.2.1 Valutazione degli Scenari singoli di efficientamento

Sono stati valutati scenari singoli di efficientamento riferiti all’involucro ed ai sistemi di climatizzazione, che implicano interventi importanti sul sistema edificio impianto, ma si sono studiati anche interventi minori volti al miglioramento del comfort interno.

Le tabelle riportano una sintesi degli scenari singoli valutati, rimandando agli allegati sulle diagnosi per i dettagli, si osserva che gli interventi di sostituzione dei vecchi generatori monostadio con sistemi maggiormente modulanti è sempre caratterizzato da buone performance economiche. Al contrario gli interventi sull’involucro sembrano essere generalmente sfavoriti, tuttavia sono legati a forte miglioramento delle condizioni ambientali interne e possono essere convenienti in caso siano presenti altri fenomeni di degrado (umidità risalita, infiltrazioni,...) che richiedono interventi di manutenzione (Museo del Carbone).

Si sono proposti interventi di migliore confinamento delle zone termiche in entrambi gli edifici basati sull'osservazione che sono una piccola parte dei locali è usata in maniera continua e perciò necessita di climatizzazione.

La climatizzazione invernale dei servizi igienici per i dipendenti e un migliore controllo dei sistemi per la produzione della ACS sono stati proposti per entrambi gli edifici, in quanto a fronte di una trascurabile crescita del fabbisogno, possono portare ad un buon miglioramento del comfort interno.

Anche l'integrazione del fotovoltaico può influire in maniere molto positiva sui fabbisogni perché gli edifici utilizzano solo il vettore elettrico, ma richiedono alti investimenti iniziali e soprattutto per il Museo del Carbone potrebbero essere necessari interventi di mitigazione dell'impatto paesaggistico tali da inficiarne la produttività.

Tabella 20. Sintesi degli scenari singoli per il museo del Carbone

Interventi museo del Carbone	invest. [Euro]	PBT [anni]	Energia [%]	C. Oper. [%]	Cr_1	Cr_2	Cr_3	Cr_4	Cr_5	Cr_6	Cr_7	Cr_8
Isolamento muratura	31650	36	-8,3	-8,3	1	1	-2	-2	1	0	0	0
Isolamento Copertura	10300	25	-3,9	-3,9	0	0	0	-2	2	0	0	0
Pellicole selettiva	800	3,1	-2,4	-2,4	0	0	4	4	2	1	1	0
Sostituzione infissi	4100	226	-0,5	-0,5	0	0	2	-5	1	0	0	0
Isolamento solaio di base	10100	nessuno	0,6	0,6	0	0	0	-5	1	0	0	0
Sostituzione HP (aria-acqua) di pari potenza e maggiore capacità modulante	15000	7,7	-18,3	-18,3	-1	-1	-1	1	1	0	0	0
Sostituzione HP (aria-acqua) di minore potenza e maggiore capacità modulante	10000	4,6	-20,5	-20,5	0	0	0	2	1	0	0	0
Regolazione:	8000	9,9	-7,5	-7,5	0	0	0	1	4	2	-1	0
Stufe irraggiamento bagni dipendenti	500	nessuno	0,2	0,2	0	0	4	-5	4	4	0	0
Boiler elettrico bagni dipendenti	200	nessuno	0,3	0,3	0	0	4	-5	0	4	0	0
Impianto fotovoltaico	32000	10,9	-45	-45	-5	4	4	2	0	0	0	-2

Tabella 21. Sintesi degli scenari singoli per il Museo PAS

Interventi Museo PAS	invest. [Euro]	PBT [anni]	Energia [%]	C. Oper. [%]	Cr_1	Cr_2	Cr_3	Cr_4	Cr_5	Cr_6	Cr_7	Cr_8
Isolamento muratura	11000	49,5	-8,2	-8,2	1	1	-1	-5	1	0	0	0
Schermatura solare e modifica della vetrata	35000	nessuno	0	0	0	0	-5	-5	4	4	4	0
Intervento sui lucernai	6000	nessuno	0	0	0	0	-1	-5	2	1	1	0
Modifica delle porte di accesso all'ambiente "Ingresso"	5000	35,5	-3,78	-3,78	0	0	0	-5	4	0	0	0
Riparazione del sistema di generazione esistente	5000	nessuno	0	0	0	0	4	-5	4	4	0	0
Sostituzione del generatore con uno di minore potenza	8000	15,5	-17,7	17,7	1	1	-1	-2	4	2	0	0
Installazione di un Sistema di climatizzazione HP multi split per gli uffici	7000	5,5	-41,9	-44,5	2	2	-1	-1	4	2	-1	-1
Stufe irraggiamento nei bagni	320	nessuno	2	2	-1	-1	4	-5	4	2	0	0
Scaldabagni a pompa di calore	3600	14,3	-1,8	-1,8	0	0	1	-2	0	1	0	0
Scaldabagno istantaneo a GAS	1600	9	-0,3	-2	0	0	2	0	0	1	0	0
Sistema di ottimizzazione dei boiler elettrici	300	3	-2	-2	0	0	4	4	0	0	0	0
Ventola per areazione del ripostiglio	150	nessuno	1	1	0	0	4	-5	1	1	0	0
Impianto fotovoltaico 14kWp, su tetto piano o pergola lignea/metallica	25200	8	-74	-55,46	4	4	-2	1	0	0	0	-1

3.2.2 Valutazione degli Scenari multipli

Gli scenari multipli sono stati composti insieme con gli utenti coinvolti nel processo di progettazione (dipendenti, direttori dei musei, politici) sulla base dei giudizi assegnati in precedenza alle singole azioni di efficientamento. In generale le azioni riferite all’involucro sono state scartate in quanto costose ed impattanti sulle attività del museo, con la sola eccezione della copertura del museo del carbone che necessita un urgente intervento di ripristino della impermeabilizzazione. Gli scenari singoli a basso costo ed alto potenziale di miglioramento delle condizioni interne, sono stati quasi sempre selezionati; mentre particolare cautela da parte dei Decisori è stata messa nella selezione degli interventi di sostituzione degli impianti e di installazione delle FER. Si riportano gli scenari che hanno ricevuto maggiore interesse da parte degli stakeholders coinvolti e quelli relativi ad un intervento completo di efficientamento, lasciando al report per ulteriori approfondimenti.

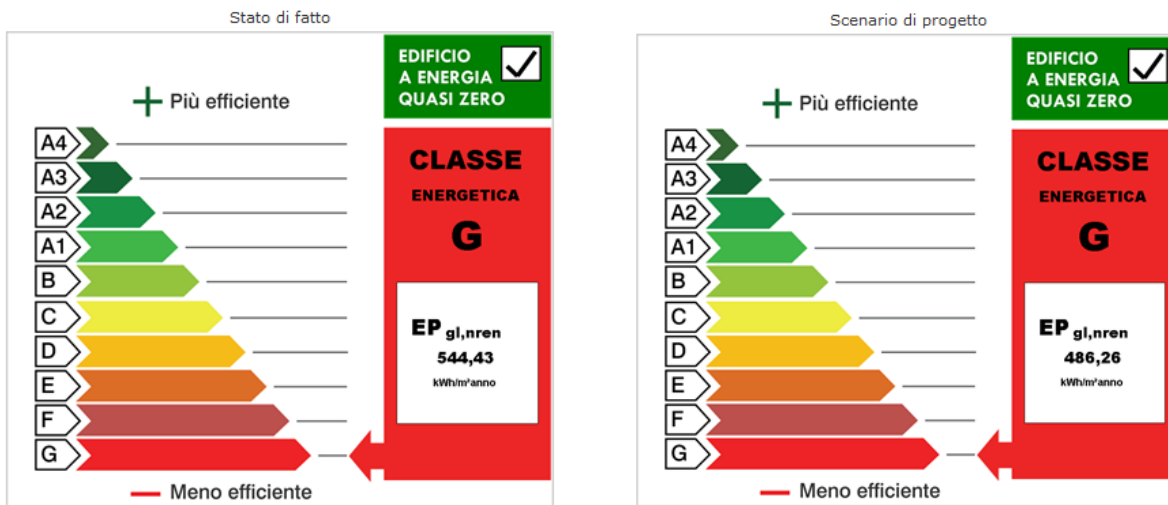
Museo del Carbone: Scenario condiviso

Il processo di progettazione ha coinvolto: 3 dipendenti non tecnici, un dipendente responsabile del museo che gestisce anche gli impianti della struttura, un decisore appartenente alla amministrazione comunale di Carbonia. I bisogni maggiormente sentiti dai dipendenti sono la manutenzione della impermeabilizzazione della copertura e la difesa dal surriscaldamento estivo.

I partecipanti hanno ritenuto gli interventi sulla muratura troppo invasivi rispetto alle attività del museo, e non percepiscono disagio rispetto alle condizioni dell’impianto a tutt’aria probabilmente perché utilizzano solo quando sono presenti visitatori i locali BAR e Libreria. Ritengono invece prioritario l’aumento dei livelli del servizio circa ACS e il riscaldamento del bagno dei dipendenti.

Lo scenario punta a massimizzare il comfort percepito dai dipendenti che utilizzano abitualmente l’edificio, essi però sono diffidenti sulla installazione di chiusure automatiche nelle porte della zona commerciale in quanto reputano che debbano stare aperte per invogliare l’ingresso dei visitatori. Perciò lo scenario considera solo l’effetto della installazione dei termostati in ogni locale riscaldato.

Scenario:	Scenario multiplo 1: Scenario condiviso	
Obiettivo:	Mette insieme le azioni scelte dalla maggioranza degli stakeholders	
Elemento	Azione	Costo intervento
involucro	<i>Az_inv_02_isolamento copertura</i>	10300
	<i>Az_inv_03_Pellicole selettive (lo vorrebbero su tutto l’edificio)</i>	800
Riscaldamento Raffrescamento	Az_clima_03 (solo riparazione del termostato)	600
	Az_clima_04_Stufe irraggiamento nei Bagni	500
ACS	AZ_ACS_01_Installaizione boiler elettrico	200
Ventilazione		
FER		
Illuminazione		
altro		
	TOTALE INVESTIMENTO	12000
	TEMPO RITORNO semplice	13,7 anni
<i>NOTE</i>		



Confronto di classe in modalità di calcolo Asset Rating

Museo PAS: Scenario condiviso

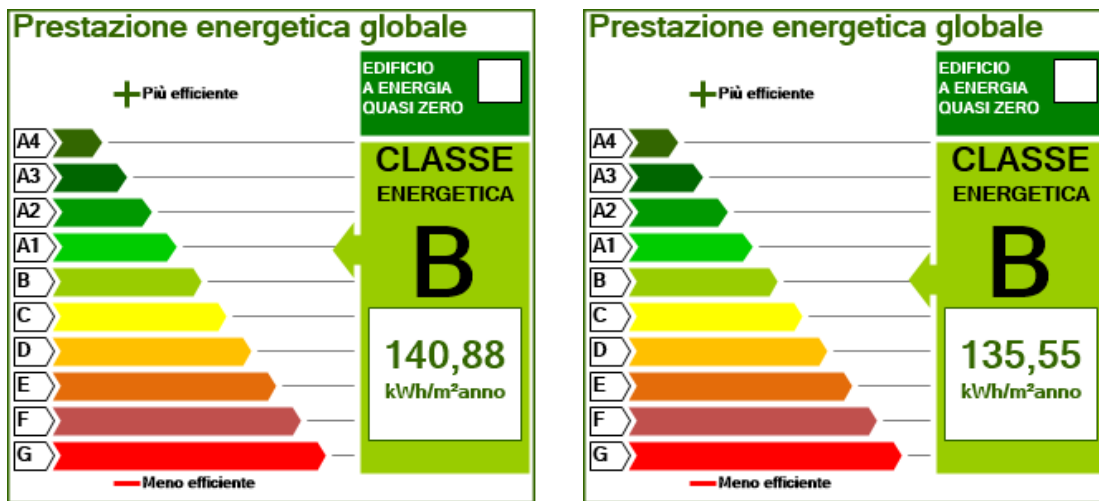
Il processo di progettazione ha coinvolto: 5 dipendenti non tecnici, un dipendente responsabile del museo che gestisce anche gli impianti della struttura, un decisore appartenente alla amministrazione comunale di Carbonia. I bisogni maggiormente sentiti sono: il miglioramento del comfort invernale ed estivo, e, in secondo luogo, il recupero delle situazioni di degrado dell'edificio (le infiltrazioni meteoriche).

I partecipanti al processo di progettazione hanno ritenuto gli interventi sulla muratura troppo invasivi rispetto alle attività del museo, ritengono fondamentale la riparazione/sostituzione del generatore esistente e condividono la proposta di installare un sistema di riscaldamento del bagno dei dipendenti e di prevedere un sistema più efficiente per gestire le porte del locale ingresso. Il gruppo coinvolto ha in larga parte escluso l'installazione del multisplit dedicato alla sola zona uffici in quanto lo si ritiene impattante per la qualità architettonica interna ed esterna dell'edificio e, soprattutto, perché ritengono importante non diminuire i livelli di servizio limitando la climatizzazione alla sola parte utilizzata di continuo. Perciò il recupero e/o sostituzione del generatore esistente sembra essere un aspetto non derogabile in quanto garantirebbe il controllo climatico a buona parte dei locali dell'edificio ripristinando i livelli di servizio ottenuti col restauro del 2007. Lo scenario punta chiaramente a massimizzare il comfort percepito dai dipendenti che utilizzano abitualmente l'edificio, ed a limitare i costi.

Scenario:	Scenario 1: scenario condiviso	
Obiettivo:	Raggiungimento del comfort della zona uffici, massimo contenimento dei costi di intervento	
Elemento	Azione	Costo intervento
involucro	AZ_inv_05_modifica porte di accesso	5000
Riscaldamento	Az_clima_01_riparazione HP	4000
Raffrescamento	Az_clima_04_riscaldamento dei Bagni	320
ACS	AZ_ACS_03_sistema di controllo dell'ACS	300
Ventilazione	AZ_Vent_01_ventilazione del deposito	150
FER		0
Illuminazione	Az_III_01	
altro		
	TOTALE INVESTIMENTO	5000/10000
	TEMPO RITORNO	nessuno

NOTE

Si tratta dello scenario di minimo intervento che nel nostro caso è simile allo Scenario base in quanto inderogabile perché volto al recupero delle condizioni accettabili di comfort interno.
La modifica delle porte di accesso all'ingresso è da valutare in caso si voglia migliorare il comfort interno limitando il fabbisogno energetico, ma non ha buoni tempi di TR e non è strettamente necessaria.

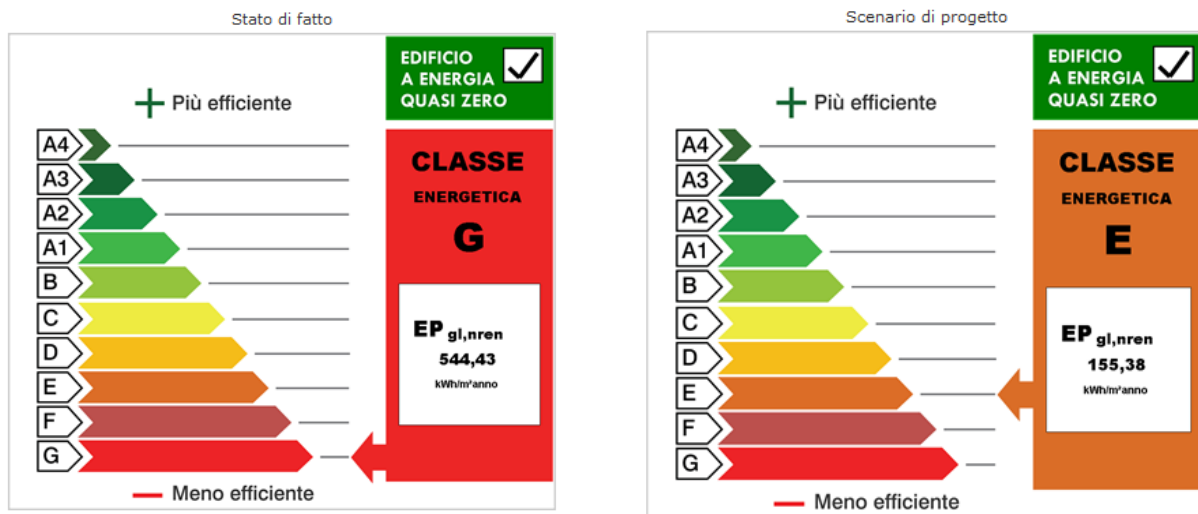


Confronto di classe in modalità di calcolo Tailored Rating

Museo del Carbone: Scenario Completo con FER

Questo scenario raccoglie tutti gli interventi di efficientamento, al fine di valutare la prestazione ottenibile con un intervento completo. Solo la sostituzione degli infissi è stata esclusa in quanto il suo effetto sulla prestazione è trascurabile a fronte di alti costi di investimento. In questo caso si è prevista l’installazione di un generatore di minore potenza perché l’involucro è stato fortemente rinnovato e si è valutata l’installazione di un campo fotovoltaico da 20kWp

Scenario:	Scenario multiplo 5: scenario completo con FER	
Obiettivo:		
Elemento	Azione	Costo intervento
involucro	Az_inv_01_isolamento muratura	31650
	Az_inv_02_isolamento copertura	10300
	Az_inv_03_Pellicole selettive	800
	AZ_inv_05_isolamento solaio di base	10100
	AZ_inv_06_Porte automatiche locali BAR e Libreria	6000
	AZ_inv_07_Vetrata Uffici	1500
	Riscaldamento Raffrescamento	AZ_clima_02_sostituzione HP (meno potenza)
	Az_clima_03_Regolazione	600
	Az_clima_04_Stufe irraggiamento nei Bagni	500
ACS	AZ_ACS_01_Installazione boiler elettrico	200
Ventilazione		
FER	AZ_FER_01_fotovoltaico (20kWp)	33200
Illuminazione		
altro		
	TOTALE INVESTIMENTO	70850
	TEMPO RITORNO semplice (modello standard)	13,7 anni
NOTE		



Confronto di classe in modalità di calcolo Asset Rating

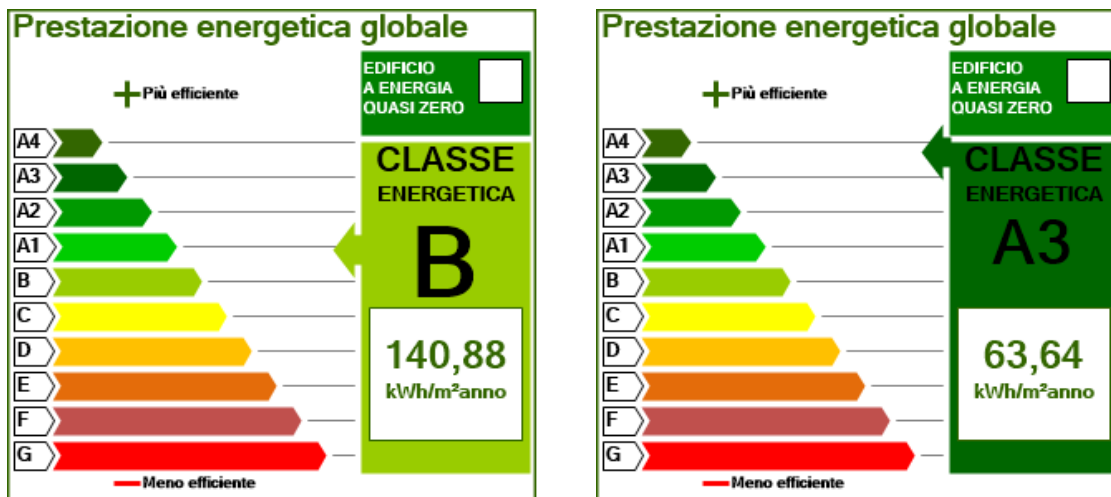
Museo PAS: Scenario Completo, di massimo efficientamento con FER

Questo scenario raccoglie tutti gli interventi di efficientamento, al fine di valutare la prestazione ottenibile con un intervento profondo di efficientamento. Lo scenario prevede principalmente: la sostituzione della pompa di calore con una HP (aria-acqua) avente maggiore capacità modulante e minore potenza, l'intervento di isolamento della muratura perimetrale, l'installazione di un campo fotovoltaico da 14kwp.

Scenario 3: scenario di massimo efficientamento		
Scenario:	Scenario 3: scenario di massimo efficientamento	
Obiettivo:	Raggiungimento del comfort della zona uffici, avvicinamento alla definizione di nZEB	
Elemento	Azione	Costo intervento
involucro	Az_inv_01_isolamento della muratura	11000
	Az_inv_05_modifica delle porte	5000
Riscaldamento	Az_clima_02_sostituzione HP (aria-acqua) minore potenza	4000
Raffrescamento	Az_clima_04_riscaldmaento bagni	320
ACS	AZ_ACS_01_regolazione_ACS	300
Ventilazione	AZ_Vent_01_ventola del ripostiglio	150
FER	Az_FER_01_impinato da 14kwp	25200
illuminazione		
altro		
TOTALE INVESTIMENTO		46000
TEMPO RITORNO		> 15 anni

NOTE

Lo scenario punta a massimizzare l'efficienza del sistema edificio - impianto e la produzione da FER avvicinandolo alla definizione di nZEB. Il TR è maggiore dello scenario di ottimo economico in quanto gli interventi sull'involucro sono costosi e poco influenti sul fabbisogno.



Confronto di classe in modalità di calcolo Tailored Rating

4 Conclusioni

La ricerca si è concentrata sulla sperimentazione di una procedura di analisi applicabile in diversi edifici del contesto territoriale volta ad esplicitare le caratteristiche ricorrenti del patrimonio immobiliare ed a valutare le principali criticità che le attività di Audit possono incontrare (mancanza di dati, costo delle attività di rilievo, limiti di affidabilità della modellazione energetica, ...).

Le attività di indagine svolte durante questa annualità si integrano con quelle svolte in quelle precedenti che hanno riguardato la diagnosi energetica di altri edifici pubblici (Scuole, Uffici, ..) contribuendo ad individuare alcuni punti di forza e di debolezza dell'approccio adottato ed alcune caratteristiche che accomunano i diversi edifici analizzati.

4.1 *Lezioni apprese: punti di forza e criticità*

La procedura adottata sembra essere adatta ad una valutazione preliminare del potenziale di retrofit energetico dell'edificio, ed ha il pregio di innescare un processo di formazione e sensibilizzazione che coinvolge i fruitori ed i decisori legati all'edificio pubblico. L'articolazione su due livelli di approfondimento (preliminare e standard) è coerente nei contenuti con la normativa delle diagnosi energetiche ed ha favorito la definizione preliminare della conoscenza di base per impostare il confronto con gli stakeholders.

La doppia formulazione delle ipotesi di soluzione, la preliminare più liberamente basata sulle richieste dei partecipanti e la seconda orientata alla simulazione energetica hanno permesso di inquadrare l'intervento di efficientamento in un'ottica più prossima alla riqualificazione e valorizzazione dell'edificio.

L'approccio è coerente con i contenuti minimi di una diagnosi energetica (UNI CEI EN 16247: 2012 e 2014) ma è adattabile a diversi contesti in quanto è prettamente basato sull'utilizzo della documentazione disponibile combinata ad un protocollo di misura speditivo da effettuare con brevi sopralluoghi e strumentazione commerciale di uso comune. La modellazione energetica è basata su approcci standard ben conosciuti dai professionisti ed integrati in numerosi software commerciali certificati e validati dal CTI.

Tuttavia i casi studio sviluppati hanno mostrato diverse criticità alcuni legate ad aspetti peculiari degli edifici trattati ed altri procedurali legati alla struttura stessa dell'approccio adottato.

4.1.1 *Accesso ai dati sull'edificio*

L'approccio adottato nella diagnosi si basa sullo studio dei dati disponibili (documentazione progettuale, pubblicazioni storiche, schede tecniche, ..) e su un accurato sopralluogo nell'edificio.

L'amministrazione Comunale di Carbonia sta lavorando da diversi anni alla raccolta e alla catalogazione di dati relativi alla documentazione progettuale depositata presso gli uffici comunali e alla raccolta dei dati di consumo energetico (bollette, forniture di combustibile, ..) dei propri edifici pubblici. Tuttavia per quanto la raccolta di dati sia notevole nel suo insieme, rimane fortemente incompleta per molti edifici. Nel nostro caso solo il Museo PAS aveva disponibile adeguata documentazione dei lavori di ristrutturazione avvenuti, mentre per il museo del Carbone ci si è dovuto accontentare di informazioni frammentarie e delle attività di rilievo sul posto.

Le strutture edilizie sono ben documentate in foto storiche e pubblicazioni specifiche relative al complesso della Grande Miniera, nel caso del Museo del Carbone le foto del cantiere, per quanto parziali, sono state sufficienti a ricavare le informazioni sui materiali e sulle tecnologie costruttive dell'involucro. Più difficile invece è definire lo stato di conservazione degli edifici: nei nostri casi studio la termocamera ha dato solo una indicazione generica sulla severità dei fenomeni di infiltrazione meteorica e di risalita per capillarità. Considerando la diffusione nel contesto locale di questo tipo di apparecchiatura costruttiva e la ricorrenza dei fenomeni di degrado, può essere utile prevedere delle indagini sulla umidità nelle strutture edilizie.

I dati mancanti più difficili da reperire tramite rilievo sono stati quelli dei sistemi impiantistici: in quanto le targhe spesso non erano presenti e le informazioni tecniche disponibili erano parziali e non adeguate agli standard attuali. Nei casi studio le curve di carico parziale e le modalità di funzionamento degli ausiliari delle HP e delle UTA (pompe di ricircolo, ventole, aspiratori, ..) non erano disponibili, rendendo necessario il ricorso a curve standard di generatori attuali o a dati tipologici.

In mancanza dei dati di progetto diventa importante definire una campagna di indagine sul sistema impiantistico operante (consumi, transitori, temperature dei fluidi, velocità dell'aria..) al fine di definire i

parametri di funzionamento. In presenza di serie storiche dei consumi sufficientemente complete, lo studio delle caratteristiche tecniche degli impianti potrebbe essere affrontato in maniera speditiva in quanto i consumi danno già una misura reale della efficienza del sistema (firma energetica), tuttavia in caso non si abbiano dati sui consumi approfondire la conoscenza degli impianti diventa di fondamentale importanza per definire un modello energetico affidabile. Inoltre per raggiungere alti livelli di efficienza la progettazione del sistema impiantistico deve essere piuttosto accurata e calibrata sullo specifico edificio, considerando attentamente l'utilizzo degli ausiliari (ventole, pompe,..) che in caso di edifici con involucri e generatori performanti può costituire un elemento di inefficienza del sistema.

4.1.2 Accesso ai dati sui consumi

L'approccio adottato si basa sulla acquisizione dei dati consumo disponibili (bollette o altre fatturazioni per energia) e la specificazione degli stessi nei diversi servizi tracciando dei profili giornalieri tipo (invernale, estivo, eventi,..) tramite attività di misurazione diretta.

L'elemento più critico dello studio è la mancanza delle serie storiche dei consumi causato dal fatto che i due edifici afferiscono allo stesso punto di prelievo dalla rete di tutto il complesso della Grande Miniera di Serbariu. La mancanza dei consumi, anche solo noti su base annuale, influisce sulla affidabilità della diagnosi a più livelli: non si possono definire con precisione i costi operativi dello stato di fatto che sono la base per la proposta delle azioni di efficientamento; non permette la calibrazione del modello, rendendone i risultati puramente teorici.

Per effettuare una diagnosi energetica affidabile, è necessario analizzare le serie dei consumi divise per vettore energetico e per servizio (riscaldamento, raffrescamento, ACS,..). a tal fine sono state sviluppate delle attività di indagini volte a definire i consumi giornalieri tipo, che però se non confrontati con i valori complessivi annuali o stagionali possono portare a forti errori di stima soprattutto in caso di livelli di fruizioni fortemente variabili come nei casi studio analizzati.

I casi di studio sviluppati hanno confermato l'importanza di avere informazioni più dettagliate sullo stile di consumo e dei profili di presenza, soprattutto nei casi di utenza discontinua e particolarmente variabile in intensità, pena la poca significatività dello studio.

Per quanto lo scopo del lavoro fosse applicare una metodologia ripetibile e poco costosa, in casi come quelli analizzati potrebbe essere accettabile l'impostazione di una campagna di monitoraggio di lunga durata. Le attuali tecnologie di Smart metering e della domotica possono essere utili allo scopo mantenendo i costi contenuti. Tali costi però possono essere percepiti come non trascurabili dai decisori che hanno mostrato di essere prevalentemente orientati ad interventi di minimo di efficientamento. Potrebbe essere utile inquadrare l'installazione di un sistema di monitoraggio all'interno di attività di sensibilizzazione e educazione di più ampio respiro (efficienza energetica, qualità edilizia, qualità dei servizi,..), in modo che venga percepito come la prima tappa di un processo virtuoso di efficientamento e valorizzazione del Patrimonio Pubblico, soprattutto se impreziosito da significati storici.

4.1.3 La modellazione energetica

La modellazione energetica segue il calcolo (*Tailored Rating*) previsto dal pacchetto normativo nazionale attualmente vigente (UNI 11300 TS parti 1-2-3-4, e norme collegate). Il modello semi stazionario in modalità Tailored Rating ha ricavato fabbisogni energetici molto rispetto a quelli ricavati da quelli in modalità Asset Rating. Per quanto adattato alle condizioni d'uso, si tratta di una modellazione in regime stazionario mensile che non riesce a valutare accuratamente l'influenza della inerzia termica dei materiali massivi (come quelli dei nostri casi studio) ed i fabbisogni aggiuntivi per i transitori che incidono fortemente e per gli usi intermittenti soprattutto in stagione estiva.

Lo sviluppo dei casi studio ha mostrato che la valutazione degli scenari di efficientamento deve essere molto accurata soprattutto riguardo i sistemi impiantistici che sono il principale elemento su cui si può intervenire per migliorare l'efficienza del sistema. Un elemento chiave per il miglioramento della efficienza del sistema è il corretto dimensionamento delle potenze degli impianti, tuttavia i modelli semi stazionari non sono particolarmente affidabili soprattutto in regime estivo e con profili d'uso fortemente discontinui, sembra

perciò necessario utilizzare un motore di calcolo dinamico per valutare correttamente i carichi termici e le temperature operative.

Nei nostri casi studio le serie di consumi reali non erano disponibili, ed anche i dati tecnici sui sistemi installati erano molto parziali perché non riportavano le prestazioni a carico parziale e le potenze degli ausiliari non sempre erano note (pompe circolatori, ventilatori della UTA,...). Queste mancanze dei dati iniziali unitamente alle limitazioni della modellazione stazionaria rendono i risultati ottenuti con poco affidabili. Il motore di calcolo dinamico permette di ricavare una firma energetica di progetto molto più verosimile rispetto alle condizioni d'uso specifiche, che risulta indispensabile in questi casi.

Gli edifici analizzati inoltre si caratterizzano per avere degli ampi locali (le sale espositive dei musei) non climatizzati ma utilizzati dai visitatori che scambiano flussi d'aria con gli ambienti analizzati. Perciò la modellazione dinamica di questi locali (in regime di free floating) potrebbe essere importante per valutare meglio le performance delle zone termiche e per stimare le condizioni di comfort dei visitatori.

Da marzo 2018 sono disponibili le nuove norme UNI EN ISO 52016-1 e UNI EN ISO 52017-1 sul calcolo in regime dinamico orario degli edifici. Si tratta di un aggiornamento normativo legato alla revisione del pacchetto "EPBD" a cura del CEN (Comitato di Normazione Europeo) su mandato della Commissione Europea. Le norme propongono nuove procedure che si basano su un modello dinamico semplificato per la valutazione di alcuni parametri dell'edificio: fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne, carichi termici sensibili e latenti. Il motore dinamico implica maggiore formazione dei professionisti e strumenti adeguati, tuttavia sono già disponibili sul mercato alcuni strumenti che integrano questo nuovo motore di calcolo con una tipica interfaccia dei software certificati CTI, comunemente utilizzati dai professionisti per le verifiche di prestazione energetica degli edifici. In sintesi i vantaggi del calcolo dinamico orario sono molteplici, infatti esso consente una maggiore affidabilità dei risultati e nuove opzioni di controllo del progetto, tra le quali:

- l'analisi di un più realistico fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio;
- la verifica delle condizioni di comfort all'interno degli ambienti;
- lo studio delle potenze richieste dai diversi servizi energetici e quindi un'ottimizzazione del dimensionamento degli impianti;
- la valutazione dell'efficacia dei sistemi di controllo solare e del comportamento inerziale dell'involucro.

4.1.4 Profilo d'uso e partecipazione

L'uso attuale e le attese degli stakeholders condizionano fortemente le possibilità di retrofit forse al pari degli aspetti normativi e costruttivi, dai casi studio sviluppati si possono desumerne le seguenti criticità:

- gli utilizzatori degli ambienti spesso stanno in condizioni di comfort inaccettabili per la mancanza degli impianti e la cattiva manutenzione del sistema edificio-impianto;
- i consumi reali sono generalmente inferiori a quelli che si avrebbero per un uso standard degli ambienti e spesso non sono sufficienti a raggiungere le condizioni di comfort;
- la PA non sempre riesce a mantenere sotto controllo in maniera efficace i suoi consumi: le serie sono incomplete, alcune volte non le può avere i dati, i dati non hanno un adeguato dettaglio temporale e non sono ripartiti per servizi);
- la PA non riesce a tenere sotto controllo lo stato dei propri edifici: essi mostrano diffusi fenomeni di degrado nelle strutture e molti apparati impiantistici sono operativi in condizioni di non perfetta;

L'obiettivo prioritario dell'intervento passa spesso dal miglioramento dell'efficienza al recupero dei livelli di servizio (climatizzazione, infiltrazioni, degrado, ...) che può anche portare ad un aumento dei costi operativi rispetto allo stato attuale, mettendo in difficoltà le valutazioni prettamente basate su indici di fattibilità economica. A tal fine la procedura di valutazione basata anche su criteri qualitativi è sembrata semplice, ma efficacia a livello comunicativo e di individuazione della soluzione condivisa.

I questionari sviluppati sono stati ritenuti adeguati nei contenuti ma poco efficaci nella modalità di somministrazione. Alcuni intervistati hanno richiesto supporto nella compilazione ed inoltre la quasi totalità dei questionari è stata ottenuta in presenza di un intervistatore che ne proponeva la compilazione. Le copie

dei questionari lasciate presso la biglietteria per la compilazione autonoma da parte dei visitatori sono rimaste per lo più non utilizzate, segno che i dipendenti non lo hanno proposto con regolarità e che i visitatori non si sono sentiti coinvolti. Si rende necessario ripesare il sistema di coinvolgimento, magari utilizzando tecnologie digitali ed inserendo il questionario in un feedback generale della visita al museo.

La metodologia partecipativa ha portato alla individuazione di uno scenario condiviso per ogni edificio, ma questi sembrano essere piuttosto riduttivi rispetto alle potenzialità di efficientamento in quanto coincidono, per lo più, con lo scenario di minimo intervento che risponde principalmente alle esigenze di contenimento dei costi portate dai decisori coinvolti. Per motivare un investimento maggiore da parte dei decisori serve un progetto complessivo di valorizzazione, probabilmente inserito in tutto il complesso della miniera per raccogliere l'interesse di investitori e dei decisori.

La mancanza di proposte da parte degli utenti coinvolti (specialmente i decisori) è stata una criticità della fase partecipativa. Forse è opportuno prevedere il coinvolgimento di professionisti locali che possono essere in grado di contribuire più attivamente alla definizione degli obiettivi ed alla valutazione e nella individuazione dei possibili fondi di finanziamento.

4.2 Futuri sviluppi della ricerca

La ricerca proseguirà seguendo il suo approccio generale (*par: 2.1 Approccio metodologico generale*), ossia: da una parte approfondendo e raffinando le attività di diagnosi energetica sulla base delle criticità individuate con le attività di ricerca già svolte e, dall'altra, sviluppando alcune parti nuove parti della ricerca volte a sperimentare una metodologia per la comunicazione della conoscenza acquisita.

L'attività di studio ed approfondimento della conoscenza del patrimonio edilizio costituisce sempre uno degli elementi portanti dell'attività e proseguirà analizzando altri casi studio ed approfondendo le seguenti tematiche:

- testare la modellazione energetica con motore dinamico orario semplificato (UNI EN ISO 52016) e valutarne i vantaggi e le difficoltà di esecuzione in rapporto al metodo semi-stazionario (UNI 11300 e norme collegate) ed eventualmente rispetto ad altri motori dinamici già consolidati in letteratura (Energyplus, Trnsys,..);
- introdurre nelle attività svolte nei sopralluoghi altre misurazioni per migliorare lo studio del degrado delle murature (umidità, rischio muffa,..) e dei parametri di funzionamento degli impianti (portata, temperatura e UR dell'aria, temperature dei fluidi termovettore,..);
- definire un approccio semplificato al monitoraggio stagionale dei consumi e dei profili di utilizzo dei locali (presenza, clima interno,..) in caso di mancanza o di forte incompletezza della serie storica dei consumi o per migliorare l'affidabilità della modellazione in caso di uso fortemente intermittente.

Le attività di ricerca si potranno orientare verso lo studio di strumenti per il riordino e la rappresentazione della conoscenza basata sui risultati dei casi studio sviluppati ed i dati raccolti (fase 3-4 figura 3. Framework approccio generale). Lasciando ai futuri sviluppi della ricerca l'onere di definire sulla base dello stato dell'arte i contenuti dettagliati queste fasi; si può preliminarmente affermare che le attività potranno riguardare i seguenti aspetti:

- rappresentazione della consistenza del patrimonio pubblico tramite strumenti di condivisione via web (WebGIS, GeoBlog,..), al fine di definire uno strumento partecipativo per cittadinanza e la pubblica amministrazione;
- definizione e sperimentazione uno strumento per il riordino della conoscenza acquisita sul patrimonio immobiliare capace di favorire la partecipazione degli operatori del settore nella sua costruzione;
- sperimentare una metodologia per la sensibilizzazione ed il coinvolgimento della cittadinanza anche rispetto agli edifici privati

5 Riferimenti bibliografici

1. U. Eicker et al; "Polycity – Energy Networks in Sustainable Cities – Best Practice from three European Communities", Karl Kraemer Verlag Struttgart Zurich (2012), ISBN 978-3-7828-4051-4; <http://www.polycity.net/pdf/POLYCITY-Book.pdf>
2. S. Joss, D. Tomozeiu, R. Cowley, "Eco-Cities – A Global Survey", Published by University of Westminster International Eco-Cities Initiative; Copyright c 2011 University of Westminster; ISBN: 978-0-9570527-0-3
3. P. De Pascali, "Città ed Energia: La valenza energetica dell'insediamento", Franco Angeli (2008), Milano
4. P. Gupta, S. S. Anand, H. Gupta, "Developing a roadmap to overcome barriers to energy efficiency in buildings using best worst method", Sustainable Cities and Society 31 (2017) 244–259, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.005>
5. D.E. Yeatts, D. Auden, C. Cooksey C., C. F. Chen, "A systematic review of strategies for overcoming the barriers to energy-efficient technologies in buildings", Energy Research & Social Science Volume 32, October 2017, Pages 76-85, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.03.010>
6. L. Kranzl and the ENTRANZE consortium, "Laying Down The Pathways To Nearly Zero-Energy Buildings A toolkit for policy makers", Final Report of the Policies to enforce the transition to nearly zero energy buildings in the EU-27 (ENTRANZE) founded by IEE (2014), <http://www.entranze.eu/pub/pub-policies>
7. Z. Ma, P. Cooper, D. Daly, L. Ledo, "Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art", Energy and Buildings 55 (2012) 889–902, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>
8. A. Mickaitytė, E. Zavadskas, A. Kaklauskas, L. Tupėnaitė, "The concept model of sustainable buildings refurbishment", International Journal of Strategic Property Management (2008) 12, 53–68
9. F. Roberti, U. Filippi Oberegger, E. Lucchi, A. Troi, "Energy retrofit and conservation of a historic building using multi-objective optimization and an analytic hierarchy process", Energy and Buildings 138 (2017) 1–10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.028>
10. E. Genova, G. Fatta, C. Vinci, "The recurrent characteristics of historic buildings as a support to improve their energy performances: the case study of Palermo", 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY, Energy Procedia 111 (2017) 452 – 461
11. G. Semprini, C. Marinosci, A. Ferrante, G. Predari, G. Mochi, M. Garai, R. Gulli, "Energy management in public institutional and educational buildings: The case of the school of engineering and architecture in Bologna", Energy and Buildings 126 (2016) 365–374, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.009>
12. T. Ahmad, M. J. Thaheem, "Economic sustainability assessment of residential buildings: A dedicated assessment framework and implications for BIM", Sustainable Cities and Society 38 (2018) 476–491, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.035>
13. K. Kass, A. Blumberga, D. Blumberga, G. Zogla, A. Kamenders, E. Kamendere, "Pre-assessment method for historic building stock renovation evaluation", International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies", CONECT 2016, 12-14 October 2016, Riga, Latvia, Energy Procedia 113 (2017) 346 – 353, doi: 10.1016/j.energypro.2017.04.004
14. C. Sousa Monteiroa, A. Pinaa, C. Cerezob, C. Reinhart, P. Ferrão, "The use of multi-detail building archetypes in urban energy modelling", 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY, Energy Procedia 111 (2017) 817 – 825, doi: 10.1016/j.energypro.2017.03.244

15. A. Kylili, P. A. Fokaides, “European smart cities: The role of zero energy buildings “, *Sustainable Cities and Society* Volume 15, July 2015, Pages 86-95, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.003>
16. N. H. Ramli, et alt., “A Comparative Study of Green School Guidelines”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 50 (2012) 462 – 471, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.08.050
17. M. Rota, S. P. Corgnati, L. Di Corato, “The museum in historical buildings: Energy and systems. The project of the Fondazione Musei Senesi”, *Energy and Buildings* 95 (2015) 138–143, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.008>
18. L. A. Webb, “Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (2017) 748–759
19. E. Vieites, I. Vassileva, E. J. Arias, “European initiatives towards improving the energy efficiency in existing and historic buildings”, *The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015, Energy Procedia* 75 (2015) 1679 – 1685, doi:10.1016/j.egypro.2015.07.418
20. ASHRAE Guideline 34P, *Energy Guideline for Historical Buildings Second Public Review Draft*, https://www.techstreet.com/ashrae/ashrae_standards.html
21. MiBACT - Segreteria tecnica, “Linee di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel patrimonio culturale, Architettura, centri e nuclei storici ed urbani”, <http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/>
22. G. Carbonara, “Energy efficiency as a protection tool” *Energy and Buildings* 95 (2015) 9–12, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.052>
23. L. Mazzarella, “Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view”, *Energy and Buildings* 95 (2015) 23–31, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.073>
24. A. Power, “Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?”; *Energy Policy* 36 (2012), 4487–4501
25. F. Ascione, N. Bianco, R.F. De Masi, F. De Rossi, G. P. Vanoli, “Energy retrofit of an educational building in the ancient centre of Benevento. Feasibility study of energy savings and respect of the historical value”, *Energy Buildings*, Article in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.072>
26. A. Thomas Phoenix (2015), *Lessons learned: ASHRAE’s approach in the refurbishment of historic and existing buildings*, *Energy and Buildings* 95 (2015) 13–14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.034>
27. A. Galatioto, G. Ciulla, R. Ricciu, “An overview of energy retrofit actions feasibility on Italian historical buildings”, *Energy* 137 (2017) 991e1000
28. L. De Santoli, “Guidelines on energy efficiency of cultural heritage”, *Energy and Buildings* 86 (2015) 534–540, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.050>
29. M. Filippi, “Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy”, *Energy and Buildings* 95 (2015) 15–22

6 Allegati

- 6.1 *Allegato 1 - Prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis-Iglesiente*
 - 6.2 *Allegato 2 - Diagnosi Energetica del Museo dei Paleo Ambienti Sulcitani (PAS)*
 - 6.3 *Allegato 3 - Diagnosi Energetica del Museo del Carbone*
-