



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario

*P. Conti, D. Della Vista, F. Fantozzi, G. Fasano, W.Grassi, R. Manetti,
E. Menchetti, E. Schito, P. Signoretti, D. Testi*



Università di Pisa

Report RdS/2011/143

DEFINIZIONE DI UNA METODOLOGIA PER L'AUDIT ENERGETICO NEGLI EDIFICI AD USO
RESIDENZIALE E TERZIARIO

W. Grassi, F. Fantozzi, D. Testi, E. Menchetti, P. Conti, D. Della Vista, E. Schito, R. Manetti
(Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi - DESE, Università di Pisa)

G. Fasano, P. Signoretti (ENEA)

Settembre 2011

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: Tecnologie per il risparmio elettrico
nel settore civile

Responsabile Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

INDICE

	pag.
Capitolo 1 – Introduzione	6
1.1 Finalità	6
1.2 Definizioni	7
1.2.1 Diagnosi energetica	7
1.2.2 Auditor	7
1.2.3 Oggetto della diagnosi	7
1.3 Quadro normativo di riferimento	8
1.4 Schema della procedura	11
Capitolo 2 – Analisi del sito e dell’utenza	16
2.1 Contesto geografico, climatico e urbano	16
2.2 Dati di progetto	19
2.2.1 Involucro	19
2.2.2 Impianto elettrico	19
2.2.3 Impianti termici	20
2.2.4 Impianti di produzione da fonti rinnovabili	20
2.3 Destinazione d’uso e profili di utilizzo dell’immobile	21
2.3.1 Sopralluogo e rilevazioni sul campo	21
2.3.2 Intervista all’utenza	23
2.4 Acquisizione e analisi dei dati storici relativi alla fatturazione energetica	25
2.4.1 Ripartizione delle spese energetiche presenti in fattura	25
2.4.2 Energia elettrica	28
2.4.2.1 Profilo di utilizzo	28
2.4.2.2 Profilo di produzione	31
2.4.3 Energia termica	31
2.4.3.1 Profilo di utilizzo di combustibile	32
2.4.3.2 Scambio con rete di teleriscaldamento	34
2.5 Valutazione dei contratti di fornitura	35
Capitolo 3 – Involucro edilizio	37
3.1 Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dell’edificio	37
3.1.1 Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento	37
3.1.2 Definizione del periodo di riscaldamento	38
3.1.3 Dispersioni e apporti gratuiti	39
3.1.4 Energia dispersa per radiazione infrarossa verso la volta celeste	39
3.1.5 Resistenza termica superficiale esterna	40
3.1.6 Infiltrazioni	41
3.1.7 Ventilazione per apertura delle finestre	42
3.1.8 Apporti termici interni	44
3.2 Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento dell’edificio	45
3.2.1 Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento	45
3.2.2 Definizione del periodo di raffrescamento	46
3.2.3 Carichi termici e dispersioni	46

3.3	Schede di raccolta dati e tabelle semplificative	46
Capitolo 4 – Impianti di climatizzazione e produzione di ACS		57
4.1	Metodologia di analisi	57
4.1.1	Schematizzazione modulare dell'impianto	57
4.1.2	Costruzione delle equazioni di bilancio energetico	60
4.2	Impianto di climatizzazione per la stagione di riscaldamento	67
4.2.1	Sottosistema di emissione	67
4.2.2	Sottosistema di regolazione	68
4.2.3	Sottosistema di distribuzione	68
4.2.4	Sottosistema di accumulo	73
4.2.5	Sottosistema di generazione	73
4.2.5.1	Generatori tradizionali a combustione	75
4.2.5.2	Pompe di calore	76
4.2.5.3	Dispositivi a riscaldamento diretto	86
4.3	Impianto di climatizzazione per la stagione di raffrescamento	91
4.3.1	Sottosistema di emissione	91
4.3.2	Sottosistema di regolazione	92
4.3.3	Sottosistema di distribuzione	92
4.3.4	Sottosistema di accumulo	94
4.3.5	Sottosistema di generazione	94
4.4	Impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria	97
4.4.1	Sottosistema di erogazione	97
4.4.2	Sottosistema di distribuzione dell'acqua calda sanitaria	98
4.4.3	Sottosistema di accumulo	98
4.4.4	Perdite recuperate	98
4.4.5	Sottosistema di generazione	98
4.5	Centrali di trattamento aria	98
4.5.1	Fabbisogno di energia per il trattamento dell'aria	99
4.5.2	Fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari	101
4.5.3	Fabbisogno di energia primaria per il trattamento dell'aria	101
4.6	Elenco degli elementi da rilevare per l'analisi energetica degli impianti	103
Capitolo 5 – Impianti e utenze elettrici		105
5.1	Illuminazione	105
5.1.1	Requisiti minimi	106
5.1.2	Fabbisogno energetico	106
5.1.3	Schede di raccolta dati	116
5.2	Altre utenze elettriche	117
5.3	Schede di raccolta dati per gli impianti elettrici	122

Capitolo 6 – Produzione di energia da fonti rinnovabili	124
6.1 Introduzione	124
6.2 Impianti fotovoltaici	124
6.3 Impianti solari termici	130
6.4 Impianti di generazione di calore a biomasse	147
6.4.1 Generalità	147
6.4.2 Scelta delle biomasse	147
6.4.3 Caratteristiche della caldaia	147
6.4.4 Prestazioni della caldaia	148
6.4.5 Rilievo di parametri caratteristici di generatori a biomasse	149
6.4.6 Calcolo dell'energia richiesta agli ausiliari	151
6.4.7 Caminetti, stufe ed impianti simili	154
6.4.8 Sistemi polivalenti	156
6.4.9 Procedure di calcolo	157
Capitolo 7 – Metodi più accurati per la stima dei flussi energetici	162
7.1 Misure	162
7.1.1 Misure ambientali	163
7.1.2 Misure sull'involucro	164
7.1.3 Misure sull'impianto	164
7.1.4 Misure meteorologiche	165
7.2 Metodi di simulazione	166
7.2.1 Metodo quasi-stazionario mensile (MQSM)	166
7.2.2 Metodo dinamico semplificato (MDS)	167
7.2.3 Confronto tra MQSM e MDS	168
7.2.4 Metodi dinamici	169
7.2.5 Vantaggi e svantaggi della simulazione dinamica	170
Prossimi obiettivi	172
Bibliografia	173
Normative tecniche	173
Legislazione	176
Libri, riviste ed altri riferimenti	177

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

1.1 Finalità

Il presente rapporto descrive la ricerca svolta presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi (DESE) dell'Università di Pisa sul tema "Definizione di una metodologia per l'audit energetico negli edifici residenziale e terziario". Tale compito è stato affidato al DESE – riconosciuto quale Istituto Universitario nazionale competente nel settore dell'Energia – dall'Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), nell'ambito dell'Accordo di Programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) ed ENEA, per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale 2009-2011. Lo studio si colloca all'interno del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2008-2009, Area "Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica", tematica di ricerca "Risparmio di energia elettrica nel settore civile"; nello specifico, si riferisce all'obiettivo B "Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, Applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani" e all'obiettivo del progetto "Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile".

Con la presente attività, si è voluta definire una metodologia di riferimento per la diagnosi energetica degli edifici, in conformità del D.Lgs. 115/08 e del D.Lgs. 192/05 e s.m.i. per gli edifici ad uso residenziale e terziario, mirata al contenimento degli usi finali di energia elettrica e termica. Nel rapporto sono descritte le procedure per:

- rilevare i parametri significativi del sistema edificio-impianto;
- acquisire e analizzare i dati storici di fatturazione energetica;
- valutare i contratti di fornitura dell'energia;
- calcolare i fabbisogni e gli utilizzi di energia primaria per gli impianti elettrici, l'illuminazione, il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda sanitaria, il trattamento dell'aria;
- calcolare l'energia prodotta da fonti rinnovabili (fotovoltaico, solare termico, biomasse);
- individuare i sottosistemi in cui le energie disperse sono maggiori;
- individuare le migliori modalità di conduzione e gestione dell'edificio;
- valutare, da un punto di vista tecnico-economico, gli interventi di retrofit energetico;
- valutare l'opportunità di impiego di metodi più accurati per stimare i flussi energetici (campagne di misure e monitoraggio, simulazioni dinamiche del sistema).

Le procedure di calcolo sono corredate da tabelle e schede tecniche di riferimento, che hanno lo scopo di facilitare il lavoro del soggetto che dovrà svolgere l'audit, e rimandano alle normative tecniche del settore in vigore in Italia e in Europa.

L'obiettivo finale del lavoro è colmare un vuoto normativo in materia di diagnosi energetica e favorire soprattutto le Pubbliche Amministrazioni che promuovono tali iniziative e non hanno a disposizione uno strumento metodologico di riferimento per una chiara definizione delle procedure che i tecnici competenti dovrebbero seguire.

1.2 Definizioni

1.2.1 Diagnosi energetica

Il D.Lgs. 115/08 definisce «diagnosi energetica» (in maniera equivalente, sarà usato anche il termine «audit energetico») una procedura sistematica volta a:

- fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impianto industriale o di servizi pubblici o privati;
- individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici;
- riferire in merito ai risultati.

In maniera pressoché equivalente, il progetto di norma europea prEN 16247-1:2011 "Energy audits – Part 1: General requirements", definisce così l'«energy audit»:

systematic inspection and analysis of energy use and energy consumption of a system or organization with the objective of identifying energy flows and the potential for energy efficiency improvements.

1.2.2 Auditor

L'auditor (o REDE, Referente della Diagnosi Energetica) è la figura tecnica esperta che esegue ed è responsabile della procedura di audit. Tale funzione può essere svolta da un singolo professionista (libero o associato), da una società di servizi (pubblica o privata, incluse le società d'ingegneria) oppure da un ente pubblico competente. L'auditor può poi avvalersi di subcontratti per lo svolgimento di specifiche attività comprese nella diagnosi.

I tecnici chiamati a svolgere la diagnosi energetica devono essere esperti nella progettazione degli edifici e degli impianti ad essi asserviti. Nel caso in cui il tecnico non sia competente in tutti i campi necessari all'esecuzione della diagnosi, dovrà operare in collaborazione con altri tecnici, in modo che il gruppo così costituito sia in grado di coprire tutti gli ambiti professionali richiesti.

In analogia a quanto avviene per la certificazione energetica degli edifici, sarebbe opportuno che Regioni e Province Autonome istituissero un'abilitazione al ruolo di auditor, identificando chiaramente quali titoli di studio tecnico-scientifici ne garantiscano l'accesso e predisponendo opportuni corsi di formazione, a seguito dei quali il soggetto possa ottenere la qualifica da parte delle suddette amministrazioni.

1.2.3 Oggetto della diagnosi

Il committente deve indicare chiaramente all'auditor quali sono i confini dell'edificio che delimitano la zona soggetta a diagnosi. Essa viene anche chiamata «sistema energetico». Tale definizione vale infatti anche nel caso più generale in cui l'oggetto d'indagine sia un sistema, un processo o un servizio in grado di generare, gestire o controllare una richiesta di energia. All'interno del sistema energetico possono essere presenti diverse destinazioni d'uso e zone termiche, intese come parti dell'ambiente climatizzato mantenute a temperatura uniforme per mezzo del solito impianto.

1.3 Quadro normativo di riferimento

All'articolo 3 bis del D.Lgs. 192/05 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia" (integrato e modificato dal D.Lgs. 311/06), si richiede alle Regioni e alle Province Autonome di Trento e Bolzano di predisporre un programma di sensibilizzazione e riqualificazione energetica del parco immobiliare territoriale sviluppando in particolare alcuni aspetti, tra i quali la realizzazione di diagnosi energetiche a partire dagli edifici presumibilmente a più bassa efficienza.

Nello stesso decreto, nell'allegato I, comma 3, viene richiesto di allegare alla relazione tecnica una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto che individui gli interventi di riduzione della spesa energetica, i relativi tempi di ritorno degli investimenti, i miglioramenti di classe energetica dell'edificio, motivando le scelte impiantistiche che si vanno a realizzare nel caso di nuova installazione e ristrutturazione di impianti termici o sostituzione di generatori di calore con:

- potenze nominali al focolare ≥ 100 kW;
- impianti termici individuali per i quali la somma delle potenze dei singoli generatori o la potenza nominale dell'impianto termico preesistente risulta essere ≥ 100 kW.

Nel D.Lgs. 115/08 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE" vengono toccati vari aspetti concernenti la diagnosi energetica.

All'articolo 13 viene previsto l'obbligo di diagnosi energetiche degli edifici pubblici o ad uso pubblico, in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici o di ristrutturazioni edilizie che riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato.

All'articolo 16 è prevista l'approvazione con uno o più decreti del Ministro dello sviluppo economico, a seguito dell'adozione di apposita norma tecnica da parte dell'UNI-CEI, di una procedura (di certificazione) per le diagnosi energetiche.

All'articolo 18 vengono previste una serie di misure che riguardano:

- la definizione da parte dell'Agenzia nazionale per l'efficienza energetica (funzione svolta dall'ENEA) delle modalità con cui assicurare la disponibilità di sistemi di diagnosi energetica efficaci e di alta qualità destinati a individuare eventuali misure
- di miglioramento dell'efficienza energetica applicate in modo indipendente a tutti i consumatori finali, prevedendo accordi volontari con associazioni di soggetti interessati (comma 1);
- la predisposizione, da parte dell'Agenzia, di altre misure – quali i questionari e programmi informatici disponibili su internet o inviati per posta – per i segmenti del mercato aventi costi di transazione più elevati e per strutture non complesse, garantendo comunque la disponibilità delle diagnosi energetiche per i segmenti di mercato in cui esse non sono commercializzate (comma 2).

Sempre nello stesso articolo (comma 3) viene stabilita l'equivalenza tra certificazione energetica (D.Lgs. 192/05) e diagnosi energetica rispondente a requisiti indicati.

Nell'Allegato 3 vengono indicate le Norme tecniche da adottare per le metodologie di calcolo per l'esecuzione delle diagnosi energetiche degli edifici ("Metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici e degli impianti"):

- a. UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- b. UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2-1: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso di utilizzo dei combustibili fossili;
- c. UNI TS 11300 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2-2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso di:
 - 1) utilizzo di energie rinnovabili (solare-termico, solare fotovoltaico, bio-masse);
 - 2) utilizzo di altri sistemi di generazione (cogenerazione, teleriscaldamento, pompe di calore elettriche e a gas).

Le ultime due specifiche tecniche sono in realtà state pubblicate, rispettivamente, come UNI/TS 11300-2 "Prestazioni energetiche degli edifici, Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria" e UNI/TS 11300-4 "Prestazioni energetiche degli edifici, Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria" (attualmente in inchiesta pubblica fino al 23 settembre 2011).

Nel D.P.R. 59/09, "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia", viene confermato, per potenze nominali al focolare ≥ 100 kW e in caso di:

- nuova installazione di impianti termici,
- ristrutturazione integrale di impianti termici,
- sostituzioni di generatori di calore,

l'obbligo di allegare alla relazione tecnica una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto. In tale diagnosi vanno individuati gli interventi di riduzione della spesa energetica con i relativi tempi di ritorno degli investimenti, e i possibili miglioramenti di classe dell'edificio.

Nel D.M. 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", all'articolo 8 dell'Allegato A viene riportata la procedura di certificazione energetica degli edifici che comprende il complesso di operazioni svolte dai Soggetti certificatori quali:

- l'esecuzione di una diagnosi, o di una verifica di progetto;
- la classificazione dell'edificio in funzione degli indici di prestazione energetica;
- il rilascio dell'attestato di certificazione energetica.

La diagnosi viene finalizzata alla determinazione della prestazione energetica dell'immobile e all'individuazione degli interventi di riqualificazione energetica che risultano economicamente convenienti e si sviluppa attraverso:

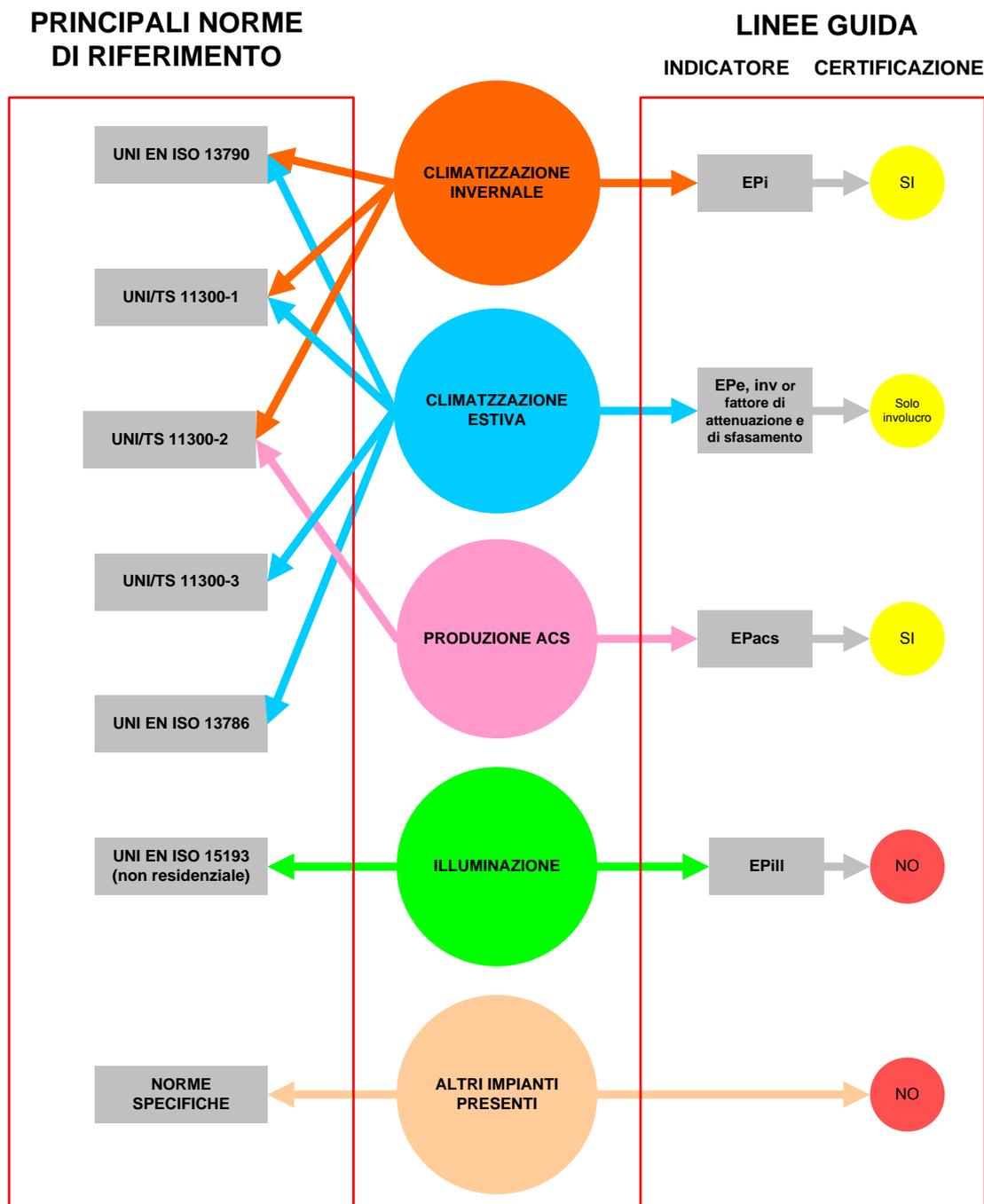
- a. il reperimento dei dati d'ingresso, relativamente alle caratteristiche climatiche della località, alle caratteristiche dell'utenza, all'uso energetico dell'edificio e alle

- specifiche caratteristiche dell'edificio e degli impianti, avvalendosi, in primo luogo dell'attestato di qualificazione energetica;
- b. la determinazione della prestazione energetica mediante applicazione di appropriata metodologia, relativamente a tutti gli usi energetici, espressi in base agli indici di prestazione energetica EP totale e parziali;
 - c. l'individuazione delle opportunità d'intervento per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici e ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarle.

Al comma 3 dello stesso articolo viene specificato che le modalità esecutive della diagnosi energetica possono essere diverse e commisurate al livello di complessità della metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione della prestazione energetica; viene altresì aggiunto che il Soggetto certificatore, nell'ambito della sua attività di diagnosi, verifica o controllo, può procedere alle ispezioni e al collaudo energetico delle opere, avvalendosi, ove necessario, di tecniche strumentali.

Dal quadro normativo descritto emerge chiaramente come la diagnosi energetica sia lo strumento necessario alla certificazione energetica per individuare gli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della prestazione energetica del sistema edificio-impianto. Nella pratica, la seconda parte dell'attestato di certificazione energetica, definita comunemente «raccomandazioni», può essere chiamato ugualmente «diagnosi energetica», così come il documento a sé stante.

Nello schema seguente sono mostrate le relazioni tra le principali norme tecniche e gli attuali indicatori per la certificazione energetica.



1.4 Schema della procedura

Per diagnosi energetica del sistema edificio-impianto s'intende una procedura sistematica finalizzata alla conoscenza degli usi finali di energia e all'individuazione e all'analisi di eventuali inefficienze e criticità energetiche dell'edificio e degli impianti presenti.

La diagnosi energetica prevede una serie di operazioni consistenti nel rilievo ed analisi di dati relativi al sistema edificio-impianto in condizioni standard di esercizio (dati geometrico-dimensionali, termofisici dei componenti l'involucro edilizio, prestazionali del sistema impiantistico, ecc.) nell'analisi e nelle valutazioni economiche dei consumi energetici dell'edificio.

La finalità di una diagnosi energetica è quella di individuare modalità con cui ridurre il fabbisogno energetico e valutare sotto il profilo costi-benefici i possibili interventi, che vanno dalle azioni di retrofit a modelli di esercizio/gestione ottimizzati delle risorse energetiche.

Nel momento in cui viene "fotografato" energeticamente l'edificio, la diagnosi si pone l'obiettivo di capire in che modo è utilizzata l'energia (ricostruzione di un bilancio in usi finali), individuare eventuali cause di sprechi e quali interventi possono essere posti in essere, al fine di valutare non solo la fattibilità tecnica, ma anche e soprattutto quella economica delle azioni proposte.

Gli obiettivi di una diagnosi energetica sono:

- definire il bilancio energetico del sistema edificio-impianto e individuare i possibili recuperi delle energie disperse;
- valutare le condizioni di comfort e di sicurezza necessarie;
- individuare appropriate tecnologie *energy-saving* e valutarne le opportunità tecnico-economiche;
- ottimizzare le modalità di gestione del sistema edificio-impianto (contratti di fornitura di energia, modalità di conduzione, ecc.) ai fini di una riduzione dei costi di gestione.

In merito a quest'ultimo punto è importante sottolineare che, in caso di complessi edilizi particolarmente energivori, per la committenza è opportuno scegliere adeguatamente una serie di parametri contrattuali che definiscono le modalità della fornitura; una non corretta scelta di tali parametri può indurre rilevanti aggravii nei costi energetici annuali.

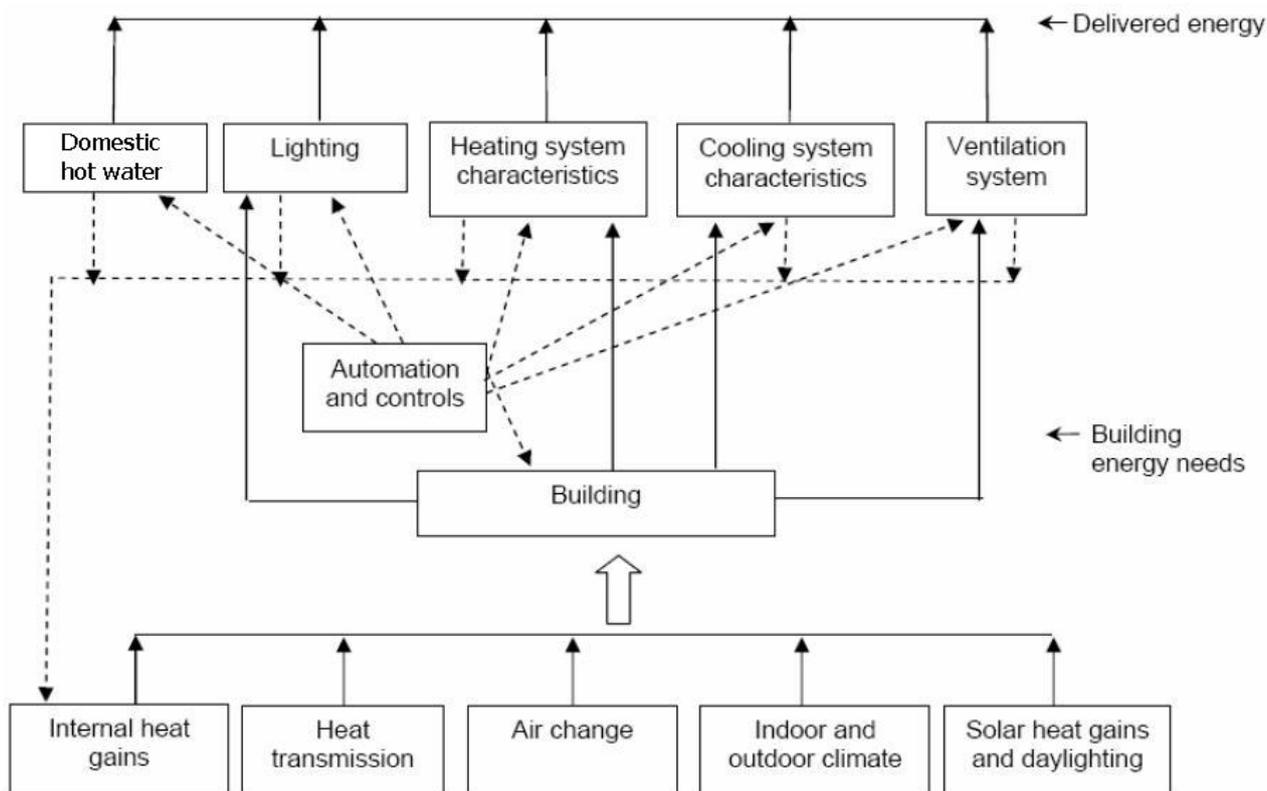
Gli obiettivi evidenziati sono perseguiti attraverso due distinte fasi:

- 1) Caratterizzazione del sistema edificio-impianto, stesura dei modelli energetici, valutazione dei consumi specifici, elaborazione dei bilanci di energia e confronto con tecnologie e dati di riferimento.
- 2) Valutazione della fattibilità tecnico-economica di eventuali interventi finalizzati ad un incremento dell'efficienza energetica del sistema edificio-impianto.

Al fine di valutare la prestazione energetica del sistema edificio-impianto occorre predisporre:

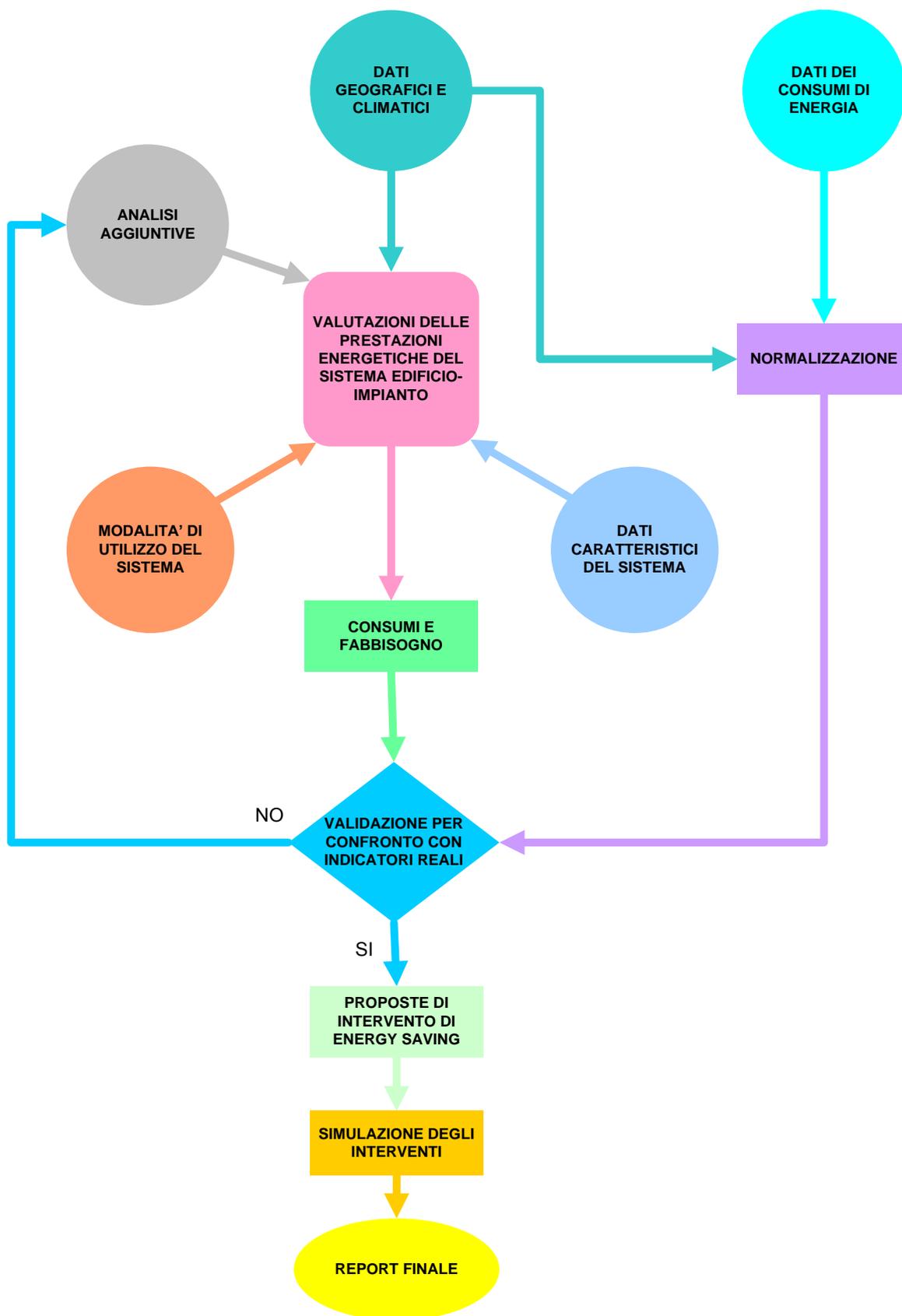
- un modello energetico (termico ed elettrico) che riassume la tipologia di utenza, le potenze installate, i profili di utilizzazione e le ore di funzionamento degli impianti;
- un bilancio energetico che descriva l'andamento dei flussi energetici caratteristici dell'edificio in modo da valutare in maniera puntuale i consumi specifici, le criticità e gli interventi da considerare.

Nello schema seguente, tratto dalla UNI EN 15265:2008 "Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici – Criteri generali e procedimenti di validazione", sono mostrati i principali flussi energetici di un edificio.



L'esito della diagnosi energetica consente, in conclusione, di valutare il fabbisogno caratteristico del sistema edificio-impianto e di individuare degli indicatori specifici di richiesta di energia primaria (kWh/m^2 o kWh/m^3), rappresentativi della prestazione energetica dell'edificio.

Eventuali differenze emerse dal confronto degli indicatori con quelli "reali" ricavati dalle fatturazioni energetiche consentono di valutare l'accuratezza delle ipotesi assunte, eventuali disfunzioni riscontrabili nell'effettivo esercizio degli impianti installati, nonché una gestione non ottimale da parte dell'utenza. Dato che il calcolo energetico è svolto rispetto ad un anno meteorologico "statistico", i dati di fatturazione, ove possibile, andrebbero "normalizzati" e resi indipendenti dagli anni climatici a cui si riferiscono. Per la normalizzazione si possono utilizzare indici di severità climatica riferiti agli anni di fatturazione, ad esempio i Gradi Giorno invernali e i Gradi Giorno estivi basati sulla temperatura sole-aria. Se lo storico è sufficientemente lungo, l'operazione di media delle fatturazioni tra i vari anni disponibili può essere sufficiente ad annullare gli effetti di stagioni particolarmente calde o fredde. In definitiva, il confronto può portare alla validazione del procedimento o alla sua revisione, con l'introduzione di analisi aggiuntive. Nella figura seguente è riportato un diagramma di flusso della metodologia.



Nella seconda fase della diagnosi saranno individuati e valutati gli interventi per migliorare le prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto.

Una volta verificata la possibilità di poter ottenere una diminuzione sostanziale dei fabbisogni energetici dell'edificio, si procede alla simulazione degli interventi, ipotizzandone la

realizzazione a livello di involucro, di impianti termici, di impianto di illuminazione, di impianti di produzione da fonti rinnovabili. Sono da valutare non solo le singole azioni, ma anche possibili interventi integrati su più sistemi, in modo da evidenziare eventuali conflitti o sinergie (ad esempio, ottenere una sostanziale diminuzione del fabbisogno di energia termica dell'involucro senza contemporaneamente prevedere la sostituzione del generatore di calore può portare quest'ultimo a lavorare costantemente a fattori di carico troppo bassi e dunque inefficienti).

Nella relazione finale di diagnosi energetica saranno descritti soltanto i possibili interventi di riqualificazione energetica del sistema edificio-impianto di cui sia stata accertata la fattibilità tecnica (incluso il rispetto dei vincoli paesaggistici, ambientali, architettonici, archeologici ...) ed economica. I principali indicatori economici d'investimento che è possibile utilizzare in queste valutazioni sono:

- VAN (valore attuale netto);
- IP (indice di profitto);
- TIR (tasso interno di rendimento) o IRR (*internal rate of return*);
- TRA (tempo di ritorno attualizzato);
- TR (tempo di ritorno semplice) o SP (*simple payback time*).

La determinazione del valore dei flussi energetici deve essere effettuata preferibilmente sulla base dei dati e delle informazioni ricavabili dalla documentazione disponibile, dalle interviste all'utenza e nella fase di sopralluogo, prestando comunque attenzione a salvaguardare l'economicità in termini di tempo e risorse delle operazioni di diagnosi. Qualora alcuni dati non fossero disponibili o se la loro rilevazione risultasse troppo impegnativa, si possono utilizzare le procedure semplificate e i valori pre-calcolati forniti dalle normative e citati in questo rapporto. In particolare l'impegno di maggiori risorse da parte dell'auditor va concentrato nei sottosistemi e nelle zone termiche più energivore.

CAPITOLO 2 – ANALISI DEL SITO E DELL’UTENZA

Si descrive qui la prima fase della diagnosi energetica di un edificio. Ci sono molti passi preparatori al momento del sopralluogo e fondamentali per la corretta raccolta e analisi dei dati. In particolare si riportano le schede di raccolta dati che l’auditor dovrà tener presente per contestualizzare e analizzare la zona soggetta ad audit e il suo utilizzo. Si ritiene che tali indicazioni siano utili, anche se non necessariamente esaustive, sia per la standardizzazione del procedimento (affinché sia lo stesso per più edifici analizzati da uno stesso progettista o tra progettisti diversi), sia per rendere tale fase efficiente, non gravosa e inutilmente lunga.

2.1 Contesto geografico, climatico e urbano

Per la contestualizzazione geografica e urbana, si consiglia in questa prima fase la raccolta di estratti di mappa fisica e satellitare aggiornati del luogo in cui è ubicata la zona soggetta ad audit, la raccolta di fotografie esterne eventualmente disponibili prima del sopralluogo.

In tal modo si riesce visivamente a comprendere il contesto naturale in cui l’edificio è ubicato, l’orografia del territorio, la presenza di piante, di flussi d’acqua, di infrastrutture, di schermature; la presenza di altri edifici e la loro posizione.

In questa prima fase, se il progettista è fornito di macchina termografica ad infrarossi, si consiglia l’uso di questa per una prima stima delle temperature di superficie, per l’individuazione degli eventuali punti critici per la dispersione termica e dei ponti termici e per ogni altra criticità rilevabile (infiltrazioni di acqua, condensa superficiale...).

Si riportano quindi le sopracitate schede di raccolta dati.

Contestualizzazione urbana		
Periodo di costruzione dell'immobile	[-]	
Destinazione d’uso della zona soggetta ad audit	[-]	
Contesto (campagna, città, periferia)	[-]	
Altezza e distanza edifici vicini	[m]	

Contestualizzazione geografica		
Indirizzo della zona	[-]	
Latitudine	[°"]	
Longitudine	[°"]	
Altezza del sito	[m s.l.m.]	
...		

Per la caratterizzazione climatica, invece, le variabili di cui occorre avere i dati sono principalmente:

- Temperatura. Valore medio mensile (da UNI 10349:1994 o da database meteo di enti pubblici locali). Se sono disponibili, valori massimo e minimo del giorno medio mensile o addirittura valori puntuali orari (da database meteo di enti pubblici locali o dai dati climatici CTI, pubblicati nel 2011 per le province delle regioni del Nord Italia: Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Liguria, Lombardia, Piemonte, Toscana, Trentino Alto Adige, Valle d'Aosta e Veneto).
- Irraggiamento solare su piano orizzontale. Valore medio mensile diretto e diffuso (da UNI 10349 o da database meteo di enti pubblici locali). Se sono disponibili, valori puntuali orari (dai dati CTI o da una centrale meteo in loco).
- Valore medio annuale della velocità media giornaliera e direzione prevalente del vento (da UNI 10349). Se sono disponibili, valori puntuali orari (dai dati CTI o da una centrale meteo in loco).
- Valore medio mensile di pressione parziale media giornaliera del vapore nell'aria (da UNI 10349). Se sono disponibili, valori puntuali orari dell'umidità relativa (dai dati climatici CTI per le regioni del Nord Italia o da una centrale meteo in loco).
- Gradi giorno del comune di appartenenza (come da all. A del D.P.R. 412/93 e s.m.i.).

Per il Centro-Sud Italia, se le temperature massime (T_{max}) e minime (T_{min}) del giorno medio mensile non sono disponibili, esse possono essere determinate tramite il parametro σ_{mese} , scarto quadratico medio mensile della temperatura, definito dalla UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica), appendice G:

$$\sigma_{mese} = 1.8 + H_{mese} * 0.16 + \Delta\sigma_{mese}$$

dove

- $H_{mese} = H_{dh} + H_{bh}$ è la somma dell'irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale diffusa (H_{dh}) e diretta (H_{bh})
- $\Delta\sigma_{mese} = \Delta\sigma_{max} k_{corr, \sigma, mese}$
- $k_{corr, \sigma, mese}$ è ricavabile dal prospetto a fianco
- $\Delta\sigma_{max} = -0.502 - 0.15825(T_{genn} - T_{progetto}) + 0.06375(T_{mese} - T_{progetto})^2 - 0.16H_{genn}$
- T_{genn} è la temperatura esterna media del mese di gennaio
- $T_{progetto}$ è la temperatura esterna di progetto, secondo la norma UNI EN 12831:2006
- T_{mese} è la temperatura esterna media nel mese in esame
- H_{genn} è la media nel mese di gennaio dell'irradiazione giornaliera globale sul piano orizzontale

Mese	$k_{corr, \sigma, mese}$
dicembre	0,5
gennaio	1,0
febbraio	0,5
altri mesi	0,0

Si può dunque assumere che $T_{max} = T_{mese} + 2\sigma_{mese}$ e $T_{min} = T_{mese} - 2\sigma_{mese}$.

Volendo costruire l'andamento orario delle temperature nel giorno medio mensile, si utilizza la formula:

$$T(t) = T_{max} - F(t)(T_{max} - T_{min})$$

dove i fattori di distribuzione F(t) sono riportati, ora per ora, nel seguente prospetto, tratto dalla norma UNI 10349:1994:

ora	F(t)	ora	F(t)	ora	F(t)
1	0,87	9	0,71	17	0,10
2	0,92	10	0,56	18	0,21
3	0,96	11	0,39	19	0,34
4	0,99	12	0,23	20	0,47
5	1,00	13	0,11	21	0,58
6	0,98	14	0,03	22	0,68
7	0,93	15	0,00	23	0,76
8	0,84	16	0,03	24	0,82

Anche in questo caso si riportano le schede di raccolta dati:

Contestualizzazione climatica		
Presenza di database meteo locali (ARPA, CNR...)		[-]
Presenza di una centrale climatica in zona		[-]
Andamento temperatura media mensile		[°C]
Andamento irraggiamento medio mensile		[kWh]
Velocità e direzione del vento media annuale		[m/s]
Gradi Giorno		[K*giorno/anno]

Andamento temperatura esterna media mensile	Temperatura media esterna	Temperatura massima esterna media mensile	Temperatura minima media esterna media mensile
	[°C]	[°C]	[°C]
Gen			
Feb			
...			
Dic			

Andamento irraggiamento globale medio mensile su piano	Irraggiamento medio mensile diretto	Irraggiamento medio mensile diffuso	Irraggiamento medio mensile globale
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Gen			
Feb			
...			
Dic			

2.2 Dati di progetto

Oltre alla contestualizzazione naturale dell'edificio, risulta fondamentale acquisire dalla persona di riferimento, se sono disponibili e in modo più preciso possibile, i progetti esecutivi termico, elettrico e di impianti di produzione da fonti rinnovabili eventualmente presenti. Inoltre sono altrettanto importanti tutti i documenti che attestano la ristrutturazione o la manutenzione straordinaria di qualsiasi elemento della zona interessata all'audit e tutte le dichiarazioni di conformità degli impianti e i libretti d'impianto presenti.

In particolare si riportano i documenti di utilizzo per ogni settore a partire dai vari progetti disponibili.

Le schede utilizzate da compilare con tutti i dati disponibili nei progetti sono quelle riportate nei paragrafi successivi.

2.2.1 Involucro

Documenti di utilizzo: progetto esecutivo architettonico, ex legge 10/91 (attuale all. E del D.Lgs. 311/2006 e s.m.i.), eventuale piano di manutenzione e tutte le modifiche ed integrazioni.

In particolare è fondamentale l'acquisizione delle planimetrie e dei prospetti aggiornati.

Tutti i dati disponibili in tali progetti vanno utilizzati per la compilazione delle schede presenti nel capitolo 3.

2.2.2 Impianto elettrico

Documenti di utilizzo: progetto esecutivo elettrico, eventuale piano di manutenzione e tutte le modifiche ed integrazioni, Dichiarazioni di Conformità.

L'analisi dei progetti dell'impianto elettrico può essere utile almeno per i seguenti motivi:

- permette di conoscere:
 - come è strutturata la distribuzione;
 - l'ubicazione dei quadri e sottoquadri elettrici di distribuzione;
 - quali apparati di controllo e gestione dell'energia sono installati e la loro ubicazione (es.: sistemi di regolazione dei consumi, centraline di rifasamento, contatori parziali, ecc.);
 - quali sono le linee eventualmente da monitorare;
- permette di verificare la rispondenza dell'impianto attuale con quello di progetto evidenziando modifiche apportate in seguito;
- permette di controllare la rispondenza con le Dichiarazioni di Conformità.

Tutti i dati disponibili in tali progetti vanno utilizzati per la compilazione delle schede presenti nel capitolo 5.

2.2.3 Impianti termici

Documenti di utilizzo: progetto esecutivo termico e meccanico, eventuale piano di manutenzione, ex legge 10/91 (attuale all. E del D.Lgs. 311/2006 e s.m.i.) e tutte le modifiche ed integrazioni, libretto di impianto, eventuale Certificato di Prevenzione Incendi (CPI). Si ricorda che le centrali termiche con potenzialità superiore a 100.000 kcal (116 kW) sono attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco, come individuato dal punto 91 del Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982; pertanto queste devono avere il CPI.

In particolare è fondamentale, oltre alla relazione tecnica, l'acquisizione delle tavole di progetto (layout di impianto e terminali per locale).

È inoltre indispensabile reperire il libretto di impianto aggiornato.

Tutti i dati disponibili in tali progetti saranno poi utilizzati nelle procedure di calcolo descritte nel capitolo 4.

2.2.4 Impianti di produzione da fonti rinnovabili

Documenti di utilizzo: Relazione tecnica di progetto. Schemi d'impianto.

Tutti i dati disponibili in tali progetti vanno utilizzati per la compilazione delle schede presenti nel capitolo 6.

Nel caso di presenza di un impianto alimentato da fonti rinnovabili per il quale non si possa disporre di modelli per il calcolo in proprio della producibilità ottenibile, ad esempio un impianto eolico o idroelettrico, va compilata la scheda sottostante a partire dai dati di progetto o dai dati monitorati. In questo caso la presenza di una relazione tecnica di progetto risulta fondamentale per determinare il flusso di energia elettrica prodotta dalla zona soggetta ad audit.

Dati impianto eolico o idroelettrico o altro impianto alimentato da fonti rinnovabili		Impianto n°:
Potenza di picco di impianto	[Wp]	
Numero ore di funzionamento equivalenti annue ipotizzate da progetto	[h]	
Stima energia elettrica annua prodotta	[kWh]	
Stima energia termica annua prodotta	[kWh]	
Data di entrata in esercizio dell'impianto	[-]	
Tipologia di scambio/cessione energia prodotta	[-]	
Presenza di impianto di monitoraggio	[-]	
Acquisizione dati di monitoraggio	[-]	

2.3 Destinazione d'uso e profili di utilizzo dell'immobile

Per completare la raccolta d'informazioni relative all'edificio, occorre conoscere come viene vissuto dagli utenti, in termini di occupazione, di attività che vi sono svolte, di abitudini quotidiane. Tutte queste informazioni sono fondamentali per un calcolo energetico veritiero e il più possibile concorde con l'effettiva spesa energetica che gli utenti sostengono; e d'altro canto tali dati non sono deducibili dalle relazioni e dai dati progettuali o vi si discostano in modo considerevole. Quindi è fondamentale reperire il maggior numero di informazioni e col maggior dettaglio possibile.

2.3.1 Sopralluogo e rilevazioni sul campo

Il primo sopralluogo ha due funzioni principali:

1. verificare e completare tutte le schede precedentemente compilate a partire dai dati di progetto, e prendere nota di tutte le discordanze;
2. effettuare delle prove, delle verifiche e delle misurazioni in campo che già erano emerse come necessarie dall'analisi dei dati di progetto.

È preferibile che il primo sopralluogo avvenga in presenza dell'utenza (con la quale poi si svolgerà l'intervista) e dell'amministratore o del responsabile di impianto. Si consiglia di assicurarsi che ci sia la possibilità di accedere a tutti i locali significativi e che quindi vi siano le chiavi di ogni locale o le autorizzazioni dovute (nel caso di edifici pubblici).

I sopralluoghi integrativi successivi (spesso non si riesce a completare il reperimento dati in una volta sola) possono essere effettuati anche senza la presenza dell'utenza.

Per quanto riguarda le prove da effettuare per la verifica che i dati reali siano concordi con quanto inserito nelle schede dei capitoli 3, 4, 5 e 6 a partire dai dati di progetto, se ne fornisce un elenco esemplificativo, ma di certo non esaustivo, dato le innumerevoli discordanze possibili tra realtà e progetto. Si consiglia inoltre, magari nei sopralluoghi successivi, l'effettuazione di semplici misure volte alla verifica del corretto funzionamento di alcuni dispositivi d'impianto. A titolo di esempio, per verificare il corretto funzionamento del termostato di zona si confronti al momento del sopralluogo la temperatura di locale segnata con quella rilevata da un opportuno termometro. Analogamente per verificare il corretto funzionamento dei dispositivi termostatici di locale, si blocchi la valvola su una temperatura di *set-point* fissata e si confronti poi a regime questa con quella registrata da un opportuno termostato. Per tutte le verifiche più specifiche si rimanda soprattutto a quanto detto nel capitolo 7.

Verifiche semplici		
1	Verifica dimensionale dei disegni di progetto e del fattore di scala utilizzato	
2	Verifica dimensioni degli infissi	
3	Verifica spessore degli elementi dell'involucro	
4	Verifica dei sistemi di ombreggiamento presenti	
5	Verifica della potenza termica/frigorifera installata	
6	Verifica del corretto funzionamento dei dispositivi di controllo e regolazione segnalati in progetto	
7	Verifica del corretto funzionamento dei sistemi di contabilizzazione segnalati in progetto	
8	Verifica del corretto funzionamento del dispositivo di regolazione climatica in centrale termica segnalato in progetto	
9	Verifica dei locali e dei macchinari alimentati da un certo punto di presa elettrica	
10	Verifica dei terminali d'impianto termico o frigorifero alimentati da un certo generatore (gruppo frigorifero o caldaie o impianti di cogenerazione o altro)	
11	Verifica, con pinze amperometriche o con analizzatore di rete, del bilanciamento dei carichi sulle tre fasi	
12	Misura il fattore di potenza $\cos \phi$ (se non risulta dalle fatture del fornitore)	
13	Verifica la temperatura dei quadri e sottoquadri elettrici	
14	Verifica con luxmetro dell'illuminamento delle zone di lavoro e dei percorsi di esodo	
Verifiche specifiche		
15	Verifica della trasmittanza dei componenti tramite prove distruttive o tramite l'uso del termoflussimetro.	
16	Verifica della trasmittanza dei componenti tramite prove distruttive o tramite l'uso del termoflussimetro.	
17	Verifica della portata di ventilazione nei condotti tramite misuratore di portata	

Note alle verifiche 11, 12, 13:

- Le misure di cui sopra andrebbero effettuate ipotizzando alcuni scenari di utilizzo normale dell'energia; magari in fasce orarie diverse e basandosi su quanto riferito dalle persone intervistate.
- Per quanto riguarda il bilanciamento, l'obiettivo è quello di avere la minore corrente possibile sul conduttore di neutro (conduttore blu); in un impianto con molte utenze monofase è più difficile ottenere valori bassi, ma con una buona progettazione o, una volta evidenziato il problema, con un intervento di redistribuzione dei carichi, si possono ottenere valori accettabili.
- Per quanto riguarda il fattore di potenza $\cos \phi$, l'obiettivo è quello di avere un valore medio più vicino possibile a 1; nel caso tale valore fosse nettamente inferiore (0,7 ÷ 0,8) andrebbe installata una centralina di rifasamento.
- La lettura della corrente sulle tre fasi effettuata con una sola pinza amperometrica può falsare la misura, in quanto i carichi possono variare mentre si sposta la pinza da una

fase all'altra. Disponendo di una sola pinza amperometrica è preferibile misurare la corrente sul conduttore di neutro (colore blu), che dovrà essere la più bassa possibile.

- All'interno dei quadri e sottoquadri elettrici non si devono raggiungere temperature alte, in particolare non si devono superare i 55°C nemmeno nelle situazioni più gravose (es.: massima richiesta di corrente in piena estate).

2.3.2 Intervista all'utenza

Il momento dell'intervista alla persona di riferimento giunge alla fine del percorso preventivo di acquisizione dati e si concentra su tutti gli aspetti legati alla presenza delle persone all'interno dell'edificio. Questi dati, uniti a quelli ricavabili dai progetti, rappresenteranno gli input per la simulazione termica della zona soggetta ad audit. Si suggerisce di richiedere informazioni tecniche sull'involucro o sugli impianti all'utenza soltanto se non è presente alcun progetto e se non è possibile effettuare alcuna prova per determinarli.

È importante che in tale intervista vi sia una bozza precisa di domande, affinché il conduttore non divaghi e fornisca informazioni che non sono utili alla diagnosi.

Si fa notare che si consiglia il reperimento dei dati di occupazione e termostatazione delle zone confinanti per stabilire il coefficiente correttivo utilizzato nel calcolo delle dispersioni e per individuare possibili fonti di errore della simulazione rispetto al caso reale.

Come si vede in fondo alla scheda d'intervista, in questa occasione si consiglia di reperire tutti i dati di spesa energetica che serviranno poi per la stima della spesa reale.

Occupazione e profili di fabbisogno	Orario	Numero persone presenti	Apertura finestre	Richiesta acqua calda sanitaria	Accensione apparecchi elettrici
				[l/orario]	[W/orario]
Lunedì					
Martedì					
...					
Domenica					

Conduzione impianti	Orario accensione impianto riscaldamento	Temperatura <i>set-point</i> impianto riscaldamento	Orario accensione impianto raffrescamento	Temperatura <i>set-point</i> impianto di raffrescamento
		[°C]		[°C]
Lunedì				
Martedì				
...				
Domenica				

Caratteristiche zone confinanti	Occupazione della zona confinante	Temperatura di termostatazione della zona confinante
Sud		
Est		
Ovest		
Nord		
Solaio inferiore		
Solaio superiore		

Acquisizione dati di fatturazione energetica/contratti/documenti di ripartizione	
Periodo vacanza	
Acquisizione fatture di fornitura energia elettrica relative agli ultimi tre anni solari	
Acquisizione fatture di fornitura di gas naturale e/o GPL e/o gasolio e/o altro relative agli ultimi tre anni solari	
Acquisizione documenti di ripartizione delle spese energetiche in edifici con impianto centralizzato negli ultimi tre anni	
Acquisizione contratto di fornitura energia elettrica	
Acquisizione contratto di fornitura di gas naturale e/o GPL e/o gasolio e/o altro	
Acquisizione atto o convenzioni per fornitura energetica tramite sistemi centralizzati esterni (teleriscaldamento o altro).	
Acquisizione fatture di produzione di energia elettrica da impianti propri relative agli ultimi tre anni solari (fatture GSE)	

2.4 Acquisizione e analisi dei dati storici relativi alla fatturazione energetica

Per effettuare una diagnosi energetica, è fondamentale la definizione di un bilancio energetico dell'edificio: in particolare in questo paragrafo è studiata la raccolta dei dati per l'individuazione degli ingressi energetici della zona/edificio soggetto ad audit e quindi del profilo caratteristico di assorbimento energetico. Tali ingressi possono riguardare differenti vettori energetici, i più comuni dei quali sono l'energia elettrica e il gas naturale (metano). Si trascura in questo studio il vettore acqua (potabile o meno), perché non strettamente energetico, anche se può risultare molto interessante per la valutazione di interventi di risparmio energetico.

Tali consumi energetici sono deducibili o dall'acquisizione e lo studio dei dati di contabilizzazione termica (diretta o indiretta, in base alla UNI 10200) eventualmente presente o dall'acquisizione e lo studio delle fatturazioni sui pagamenti relativi alle forniture elettriche e dei combustibili. Questo ultimo deve essere molto accurato e deve tenere in considerazione molti fattori, in particolare: la condivisione di un unico punto di fornitura per numerosi edifici, l'utilizzo differenziato di un combustibile per usi finali diversi, i fattori di utilizzo dell'edificio servito, i fattori climatici caratteristici del periodo analizzato, la saltuarietà della fatturazione e molti altri.

Una volta determinati i consumi energetici reali è possibile utilizzarli per effettuare un *tuning* dei profili di utilizzo degli impianti termico ed elettrico e dell'edificio in generale da parte dell'utenza. Inoltre, sarà altrettanto importante confrontare i dati di consumo reale con i risultati delle simulazioni termiche dell'edificio per validare il modello di calcolo e tutte le ipotesi adottate, e per stimare in modo preciso la bontà degli interventi di riqualificazione energetica proposti e il loro tempo di ritorno economico.

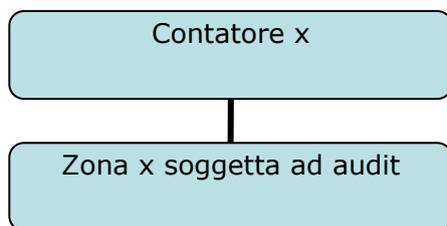
La verifica dei consumi normalizzati con i risultati dei consumi derivanti dalla diagnosi energetica permette al tecnico esperto di avere una prima indicazione sull'attendibilità dei dati rilevati e/o ipotizzati relativamente al sistema edificio-impianto, che può portare alla validazione del procedimento od alla revisione della procedura per l'acquisizione dei dati.

Si propone nei paragrafi 2.4.2 e 2.4.3 una procedura di acquisizione dei dati e di interpretazione degli stessi per poter giungere a dei valori di spesa energetica il più possibile reali.

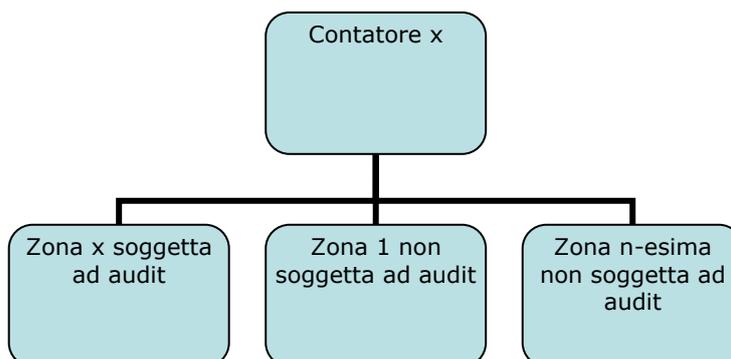
2.4.1 Ripartizione delle spese energetiche presenti in fattura

Per valutare il profilo di assorbimento di energia elettrica e di combustibili occorre associare le spese energetiche della zona soggetta ad audit alla fatturazione (relativa ad un certo vettore energetico) disponibile. Non sempre la fatturazione disponibile si riferisce alla sola zona soggetta ad audit e non sempre la zona soggetta ad audit ha una sola fatturazione. Per praticità si propone subito vari casi che coprono la maggior parte delle possibilità presenti (non si specifica il vettore energetico perché tale suddivisione è valida sia per la fornitura di energia elettrica che di combustibili):

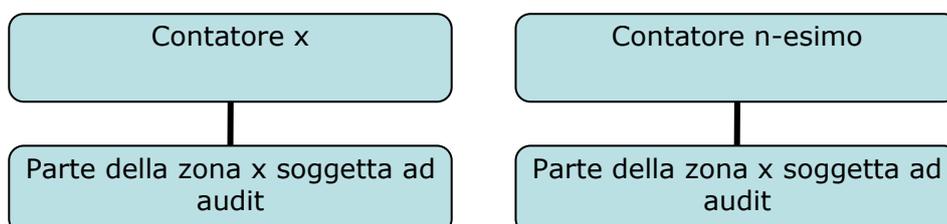
Caso 1. Zona soggetta ad audit servita da un solo contatore che non serve nessun altro:
Caso frequente per la fornitura di combustibile per riscaldamento in villette, case monofamiliari, poderi. Caso molto frequente per fornitura di energia elettrica.



Caso 2. Zona soggetta ad audit servita un contatore che serve anche altre zone.
Caso frequente per la fornitura di combustibile in condomini o case plurifamiliari con riscaldamento centralizzato o teleriscaldamento. Caso frequente in grande edificio terziario per la fornitura di energia elettrica (tipicamente cabina di media tensione che serve più utenze diverse).

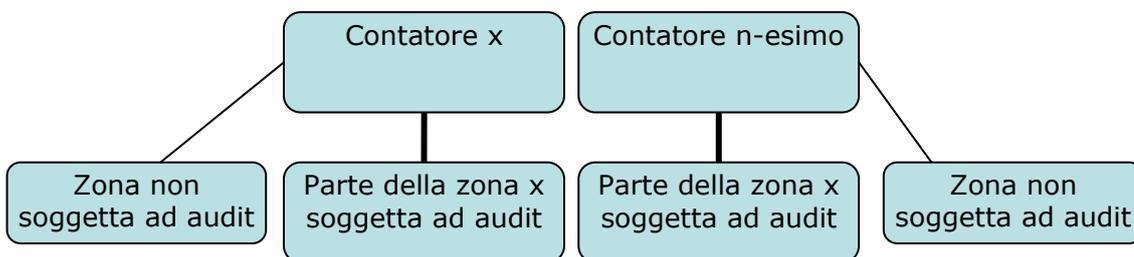


Caso 3. Zona soggetta ad audit servita da due o più contatori (relativi ad un unico vettore energetico) che servono esclusivamente quella zona.
Caso frequente per la fornitura di combustibile in condomini con riscaldamento autonomo o grandi edifici del terziario in cui la zona di audit sia l'intero edificio. Caso frequente in grande edificio terziario per la fornitura di energia elettrica con singoli contatori per utenza.

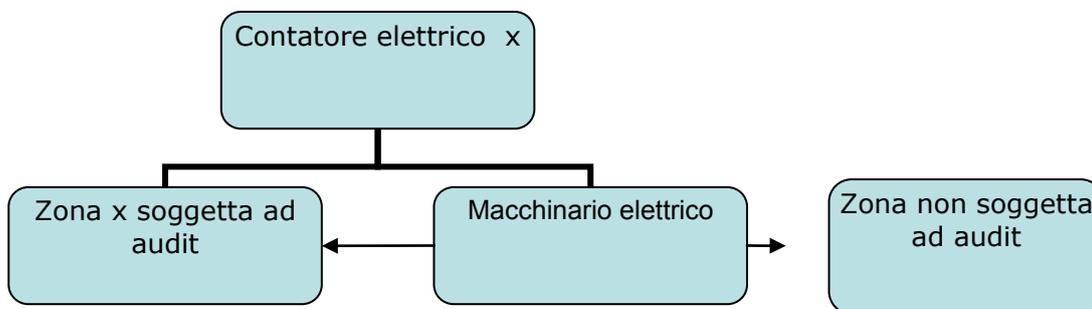


Caso 4. Zona soggetta ad audit servita da due o più contatori (relativi ad un unico vettore energetico) che servono anche altre zone.
Caso frequente per la fornitura di combustibile in condomini o case plurifamiliari con riscaldamento centralizzato o teleriscaldamento. Caso frequente in grande

edificio terziario per la fornitura di energia elettrica (tipicamente cabina di media tensione che serve più utenze diverse, e in aggiunta piccoli contatori di bassa tensione).



Caso. 5 Zona soggetta ad audit servita da un contatore elettrico, ma che alimenta anche un macchinario elettrico di uso comune ad un'altra zona (ad esempio un gruppo frigorifero). Caso molto frequente nel terziario.



La ripartizione delle spese energetiche tra le varie zone risulta necessaria soltanto nei casi 2, 4 e 5, mentre nel caso 3, se l'audit viene effettuato a livello di zona (e non di sottozona), è sufficiente sommare le due spese energetiche relative ai due contatori. Per il caso 5 risulta fondamentale conoscere le caratteristiche di utilizzo del macchinario elettrico da parte delle due zone e aver effettuato le prove elettriche per determinare gli apparecchi alimentati da tale macchinario.

La ripartizione delle spese energetiche (ed economiche) viene comunemente effettuata in base:

1. Alle quote millesimali, ovvero in base alla superficie calpestabile delle varie zone servite dallo stesso contatore.
2. Al sistema di contabilizzazione termica diretto o indiretto (con riferimento a quanto specificato nella UNI 10200:2005).
3. Ad altri sistemi di contabilizzazione termica che rispettino la UNI/TR 11388:2010 e la UNI 9019:1987.
4. Ad un sistema di contatori per il monitoraggio dei carichi elettrici nel tempo (caso 5).

Si può capire quanto sia importante:

- conoscere e aver verificato *in situ* quali terminali e quali apparecchiature sono alimentate da un certo contatore (tali verifiche sono ricordate ai paragrafi 2.3.1 e 2.4.2 e 2.4.3);

- viceversa conoscere e avere verificato *in situ* quali locali sono alimentati da quelle stesse apparecchiature e terminali (tali verifiche sono ricordate ai paragrafi 2.3.1 e 2.4.2 e 2.4.3);
- conoscere le caratteristiche (superficie calpestabile o altro) delle zone non soggette ad audit, ma comunque servite dal medesimo contatore (tali verifiche sono ricordate ai paragrafi 2.4.2 e 2.4.3).

Come si capisce in questo paragrafo, si è affrontata la ripartizione delle spese tra zone/edifici diversi, ma ancora non si è analizzata la suddivisione della spesa nei suoi vari usi finali.

2.4.2 Energia elettrica

Si riportano qui delle possibili schede compilative per l'acquisizione e la raccolta dei dati connessi alla fatturazione dell'energia elettrica assorbita e prodotta dalla zona soggetta ad audit.

Si ricorda che quando, successivamente, si riporta la dicitura "consumi reali", questa si riferisce ai consumi rilevati dalla società di distribuzione dell'energia elettrica (ad esempio Enel Distribuzione o altri). Spesso i consumi riportati nella fattura per il mese fatturato non sono reali. Occorre quindi servirsi dello storico riportato su ogni fattura, relativo ai mesi precedenti.

Si riporta anche che per le utenze di media tensione, è obbligatoria la tele lettura ogni quarto d'ora e la visualizzazione dell'andamento dei consumi per la consultazione telematica da parte dell'utente. Quindi l'auditor se ne può servire, consultando l'apposito sito, per la raccolta dati successiva.

2.4.2.1 Profilo di utilizzo

Dati di tipo generale:

- A1) Edifici o parti di edificio serviti dal contatore (è il solo che serve la zona interessata dall'audit?). Si consiglia di segnare sulla planimetria generale dell'edificio o del quartiere, le zone e i macchinari serviti da questo contatore.
- A2) Presenza di multimetri o contatori a defalco a valle del contatore di rete (ci sono contatori sui quadri di singolo piano?). Si consiglia di segnare la presenza e la lettura al momento del sopralluogo sullo schema elettrico di cabina o di quadro.
- A3) Eventuali sostituzioni o interventi sul contatore, con relativa data d'intervento.

Si consiglia di segnare sulla planimetria dell'edificio l'ubicazione esatta del contatore.

Dati deducibili dalla fatturazione:

- A4) Dati di intestazione fattura:
- A5) Società di fornitura:
- A6) Indirizzo di fornitura:
- A7) Punto di dispacciamento (POD):
- A8) Potenza installata:
- A9) Tipologia di contratto e opzione tariffaria:

A10) Andamento consumi negli ultimi tre anni solari (da compilare una tabella per anno):

Nota: per fatturazioni non mensili, la spesa economica mensile viene suddivisa percentualmente in base ai valori di consumo energetico mensile.

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Spesa economica [€]												
Consumo energetico reale F1 [kWh]												
Consumo energetico reale F2 [kWh]												
Consumo energetico reale F3 [kWh]												
Consumo energetico reale complessivo [kWh]												
Potenza reale F1[kW]												
Potenza reale F2[kW]												
Potenza reale F3[kW]												

A11) Prezzi di fornitura dell'energia elettrica:

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Prezzo fornitura F1 [€/kWh]												
Prezzo fornitura F2 [€/kWh]												
Prezzo fornitura F3 [€/kWh]												

Nota: con prezzo di fornitura s'intende soltanto la quota variabile del servizio di acquisto e vendita. Sono escluse le imposte, i corrispettivi per il dispacciamento e lo sbilanciamento, per l'uso della rete, e il servizio di misura e ogni altra voce.

Valutando in prima analisi i dati ricavati al punto precedente, si può giungere a due possibili risultati di interesse:

- B1. Valore medio aritmetico o pesato della richiesta annua di energia elettrica.
In particolare questo può essere correlato ad usi differenti o particolari dell'edificio negli anni (eventuale chiusura, periodo di non utilizzo ...).
- B2. Andamento dei carichi interni collegati all'utenza.
Per effettuare una verifica approssimativa e un *tuning* dei carichi interni ipotizzati e dell'utilizzo dell'edificio da parte dell'utenza, si può prendere in esame un periodo di riferimento recente al momento della diagnosi in cui sia abbia una ragionevole conoscenza del profilo di utilizzo (a titolo di esempio il mese di chiusura nel caso del terziario). Ipotizzando quindi i carichi fissi relativi a quel periodo (impianto di illuminazione, ausiliari per gli impianti o altro), si possono confrontare con la potenza suddivisa per fasce, e in seconda analisi si può ricavare il numero di ore equivalenti. Si procede quindi al confronto tra il numero di ore equivalenti ricavate e il numero di ore di

utilizzo dell'edificio. In base alla concordanza dei dati si può effettuare delle operazioni di *tuning* e di correzioni successive sulle ipotesi di simulazione.

Si riporta la seguente tabella per chiarezza e per facilitare un'eventuale analisi in tal senso.

nno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Consumo energetico reale F1[kWh]												
Consumo energetico reale F2[kWh]												
Consumo energetico reale F3[kWh]												
Potenza per illuminazione F1[kW]												
Potenza per illuminazione F2[kW]												
Potenza per illuminazione F3[kW]												
Potenza per altre apparecchiature elettriche F1 [kW]												
Potenza per altre apparecchiature elettriche F2 [kW]												
Potenza per altre apparecchiature elettriche F3 [kW]												
Ore equivalenti [h]												
Ore di utilizzo dell'edificio [h]												

B3. Calcolo dell'energia elettrica eventualmente utilizzata a scopo cottura.

Al fine di ripartire la spesa energetica in base agli usi finali, oltre allo studio dei carichi interni, si può calcolare la quota di energia elettrica dedicata ad uso cottura, se questo è di tipo elettrico e se ci si trova in ambito residenziale.

A tale scopo si utilizza la tabella fornita nella normativa UNI/TS 11300-2:2008, che riporta i valori giornalieri standard di fabbisogno di energia per uso cottura. Tali dati sono già quelli finali detraibili dalla fattura (non necessitano di alcuna conversione):

Fabbisogni standard di energia per usi di cottura

Superficie dell'abitazione	Fabbisogno specifico [kWh/G]
Fino a 50 m ²	4
Oltre 50 m ² e fino a 120 m ²	5
Oltre 120 m ²	6

2.4.2.2 Profilo di produzione

Dati di tipo generale:

- A1) Tipologia d'impianto di produzione.
- A2) Presenza e tipologia di sistema di monitoraggio.
- A3) Modalità di vendita/scambio sul posto.

Dati deducibili dalla fatturazione:

- A4) Dati d'intestazione fattura (nome, cognome ...):
- A5) Società di acquisto della produzione/ente di scambio sul posto:
- A6) Indirizzo di produzione:
- A7) Punto di dispacciamento (POD):
- A8) Profilo produzione negli ultimi tre anni solari (da compilare una tabella per anno):

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Guadagno economico [€]												
Energia elettrica prodotta [kWh]												

Valutando in prima analisi i dati ricavati al punto precedente e combinandoli con i dati relativi al profilo di assorbimento elettrico, si può giungere a due possibili risultati di interesse:

- B1. Eventuali malfunzionamenti o interruzioni di produzione o cali di rendimento.
- B2. Periodi del giorno o dell'anno in cui conviene concentrare i carichi elettrici perché si ha energia autoprodotta.

2.4.3 Energia termica

Per quanto riguarda il monitoraggio delle spese di energia termica, l'individuazione dei consumi reali di combustibile in un certo periodo di tempo è più complicata rispetto al caso elettrico.

In particolare si riportano qui delle possibili schede compilative suddivise per tipologia di combustibile (gas naturale, gas di petrolio liquefatto o GPL, gasolio), per l'acquisizione e la raccolta dei dati connessi alla fatturazione dell'energia elettrica assorbita e prodotta dalla zona soggetta ad audit.

Si ricorda per la fornitura di gas naturale che, a differenza dell'energia elettrica, i consumi reali vanno calcolati in base alle sole letture vere presenti in fattura. Non è ancora

presente la telelettura dei contatori di gas naturale, come invece si ha quasi dappertutto per quelli dell'energia elettrica. La società di distribuzione del combustibile è obbligata ad effettuare fisicamente (tramite il personale tecnico) un numero di letture del contatore annuo commisurato in base alla classe di consumo del contatore (circa due all'anno per piccoli contatori, fino ad una mensile per quelli medio-grandi). Quindi non tutti i consumi presenti in fattura sono reali, ma anzi spesso sono stimati e quindi fuorvianti al nostro scopo. Un'altra conseguenza di questo calcolo aggiuntivo è che non si ha un profilo di assorbimento veritiero: la quantità di combustibile utilizzata viene distribuita uniformemente su tutto il periodo che intercorre tra le due letture, senza possibilità di differenziazione. Questo chiaramente peggiora la situazione al diminuire delle letture vere effettuate.

Inoltre, per tener conto della variazione del volume del combustibile in base alla temperatura e alla pressione atmosferica del sito, la quantità di combustibile dato dalla differenza tra due letture (vere o stimate che siano) viene moltiplicato per un coefficiente correttivo (C), stabilito dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas. Questo avviene a meno che il contatore non abbia un dispositivo correttore al suo interno, cosa visibile in fattura.

Si sottolinea invece che per la fornitura di GPL o di gasolio in serbatoi di stoccaggio è molto difficile stabilire un fabbisogno mensile di combustibile corretto: infatti di solito la fornitura di combustibile avviene in modo discontinuo. Occorre quindi prendere nota del livello di riempimento del serbatoio prima di ogni ricarica, e dell'entità della ricarica stessa, nonché dell'intervallo di tempo tra una ricarica ed un'altra. Tale quantità di combustibile assorbito dalla zona soggetta ad audit va poi diviso per i giorni del periodo di riferimento. In base alla frequenza delle ricariche si avranno dati più o meno precisi.

2.4.3.1 Profilo di utilizzo di combustibile

Dati di tipo generale:

- A1) Edifici o parti di edificio serviti dal contatore (è il solo che serve la zona interessata dall'audit?). Si consiglia di segnare sulla planimetria generale dell'edificio o del quartiere, le zone e le macchine servite da questo contatore.
- A2) Presenza di contabilizzatori di tipo diretto a valle del contatore di rete. Si consiglia di segnare la presenza e la lettura al momento del sopralluogo.
- A3) Eventuali sostituzioni o interventi sul contatore, con relativa data d'intervento.
Si consiglia di segnare sulla planimetria dell'edificio l'ubicazione esatta del contatore.

Dati deducibili dalla fatturazione per fornitura di gas naturale:

- AGM4) Dati d'intestazione fattura (nome, cognome ...):
- AGM5) Società di fornitura:
- AGM6) Indirizzo di fornitura:
- AGM7) Punto di riconsegna (PDR):
- AGM8) Classe del contatore:
- AGM9) Tipologia di contratto e opzione tariffaria:
- AGM10) Valore del coefficiente correttivo dei consumi (C):
- AGM11) Potere calorifico inferiore convenzionale del combustibile:
- AGM12) Andamento consumi negli ultimi tre anni solari (da compilare una tabella per anno):

Il dato di consumo mensile si ricava dalla formula:

$$Q_{\text{fuel,mese}} = (L_{v,p,1} - L_{v,p,2}) * C * 30 / (T_1 - T_2)$$

dove $L_{v,p,1}$ è l'ultima lettura effettiva disponibile del contatore effettuata nel giorno T_1 , mentre $L_{v,p,2}$ è la lettura effettiva disponibile precedente alla $L_{v,p,1}$, effettuata nel giorno T_2 ; la differenza $(T_1 - T_2)$ rappresenta il periodo di riferimento, in giorni, sul quale si hanno consumi effettivi.

Nota: per fatturazioni non mensili, la spesa economica mensile è suddivisa percentualmente in base ai valori di consumo energetico mensile ricavati.

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Spesa economica [€]												
Consumo energetico reale [Sm ³]												

AGM13) Prezzi di fornitura del combustibile:

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Prezzo fornitura [€/m ³]												

Nota: con prezzo di fornitura s'intende soltanto la quota variabile del servizio di acquisto e vendita. Sono escluse le imposte, i corrispettivi per i servizi di rete, la quota fissa del servizio vendita e le addizionali.

Dati deducibili dalla fatturazione per fornitura di GPL o gasolio:

AGG4) Dati di intestazione fattura (nome, cognome...):

AGG5) Società di fornitura:

AGG6) Indirizzo di fornitura:

AGG7) Volume del serbatoio:

AGG8) Livello di riempimento al momento della ricarica:

AGG9) Potere calorifico inferiore convenzionale del combustibile:

AGG10) Andamento consumi negli ultimi tre anni solari [da compilare una tabella per anno]:

Il dato di consumo mensile si ricava dalla formula:

$$Q_{\text{fuel,mese}} = (Q_{\text{carica}} + (L_{v,p,2} - L_{v,p,1})) * 30 / (T_1 - T_2)$$

dove $L_{v,p,1}$ è l'ultimo valore disponibile del livello di riempimento del serbatoio nel giorno T_1 , mentre $L_{v,p,2}$ è il valore disponibile precedente a $L_{v,p,1}$, e precedente alla ricarica effettuata nel giorno T_2 ; Q_{carica} è la quantità di combustibile ricaricato al momento T_2 (che rappresenta il giorno di ricarica); la differenza $(T_1 - T_2)$ rappresenta il periodo di riferimento, in giorni, sul quale si hanno consumi effettivi.

Nota: la spesa economica mensile è suddivisa percentualmente in base ai valori di consumo energetico mensile ricavati.

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Spesa economica [€]												
Consumo energetico reale [l]												

AGG11) Prezzi di fornitura del combustibile:

Anno xxxx	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Prezzo fornitura [€/l]												

Nota: con prezzo di fornitura s'intende soltanto la quota variabile del servizio di acquisto e vendita. Sono escluse le imposte e ogni altro corrispettivo addizionale.

Valutando in prima analisi i dati ricavati al punto precedente, si può giungere a tre possibili risultati di interesse:

- B1. Valore medio aritmetico o pesato della richiesta annua di combustibile.
In particolare questo può essere correlato ad usi differenti o particolari dell'edificio negli anni (eventuale chiusura, periodo di non utilizzo ...).
- B2. Verifica e confronto dei dati di consumo reale con quello simulato/calcolato. Su questa base si possono effettuare degli aggiustamenti o delle correzioni successive.
- B3. Calcolo del fabbisogno di combustibile utilizzato a scopo cottura.
Al fine di ripartire la spesa energetica in base agli usi finali e al fine di isolare l'uso di combustibile al solo riscaldamento, per un più corretto confronto con i dati di simulazione, si può calcolare la quota di combustibile dedicata ad uso cottura, se ci si trova in ambito residenziale.
A tale scopo si utilizza la tabella fornita nella normativa UNI/TS 11300-2:2008, già mostrata nel paragrafo 2.4.2.1, che riporta i valori giornalieri standard di fabbisogno di energia per uso cottura. Per ottenere la quota di combustibile per uso cottura tali dati vanno divisi per il potere calorifico inferiore del gas naturale o del GPL.

2.4.3.2 Scambio con rete di teleriscaldamento

Nel caso la zona soggetta ad audit sia parte di un impianto di teleriscaldamento, non vi saranno fatture per fornitura di combustibile, ma andranno analizzati i documenti di ripartizione energetica o le convenzioni di fornitura di calore.

2.5 Valutazione dei contratti di fornitura

La valutazione dei contratti di fornitura ha essenzialmente due scopi:

1. La verifica della corretta applicazione delle tariffe contrattuali e l'ottimizzazione economica degli assorbimenti di energia elettrica e di combustibili senza cambiamento della società fornitrice.

In particolare, a titolo di esempio si propongono alcuni suggerimenti:

- Se l'utenza ha residenza nella zona servita dal contatore, accertarsi che il piano tariffario e il contratto ne tengano conto.
 - Concentrare il consumo elettrico nelle fasce F2 e F3 (corrispondenti al fine settimana e alla sera) in base al piano tariffario stipulato per usufruire dei minori prezzi della quota energia.
 - Diminuire quanto più possibile la potenza disponibile da contratto, garantendo però la copertura dei carichi massimi (min 3 kW), in modo da avere minori costi fissi in fattura. Tale scopo si raggiunge cercando di distribuire i carichi durante la giornata e non concentrarli in un unico momento.
 - Comunicare l'autolettura dei contatori del gas metano secondo modi e tempi prestabiliti per evitare che la società fornitrice fatturi una quantità di combustibile maggiore di quella effettivamente assorbita dall'edificio.
2. La verifica della convenienza economica di un cambio di società fornitrice di energia elettrica e/o di combustibile.

Infatti, la completa liberalizzazione del mercato elettrico è avvenuta in Italia a partire dal 1 luglio 2007 (D.L. 18 giugno 2007 n. 73/07, convertito con legge 3 agosto 2007, n. 125); da questa data tutti i clienti, anche quelli domestici, possono scegliere un nuovo venditore di energia elettrica o cambiare contratto. La scelta di cambiare venditore non è obbligatoria e la fornitura viene assicurata a chi non passa al mercato libero in due modi diversi, a seconda delle caratteristiche dell'utenza:

- alle utenze più piccole (clienti finali domestici e piccole imprese in bassa tensione) è garantito il servizio detto "di maggior tutela";
- alle altre utenze è garantito il servizio detto "di salvaguardia".

Il servizio di maggior tutela prevede che la fornitura sia garantita dall'impresa di distribuzione e i prezzi di riferimento per questa fornitura sono stabiliti dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas. Nel caso del servizio di salvaguardia, invece, l'esercente viene selezionato, per aree territoriali (individuate dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas - AEEG), attraverso procedure concorsuali organizzate da Acquirente Unico Spa (Società per azioni del gruppo Gestore dei Servizi Elettrici a cui è affidato per legge il ruolo di garante della fornitura di energia elettrica ai piccoli consumatori). A seguito di queste procedure concorsuali vengono individuati, per zone geografiche, gli esercenti del servizio di salvaguardia.

La prima verifica e comparazione potrebbe essere effettuata tra la società attualmente fornitrice e il servizio di salvaguardia o di maggior tutela. Si ricorda che soltanto la quota di fornitura è soggetta a libero mercato, mentre tutte le altre quote che compongono la tariffa (imposte, costi per dispacciamento e trasporto, quota per servizio rete e misura...) sono fisse e imposte dall'autorità.

In seguito possono essere fatti studi e analisi di mercato per rilevare un piano tariffario più adatto alle esigenze e alle caratteristiche di consumo dell'utente.

CAPITOLO 3 – INVOLUCRO EDILIZIO

3.1 Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dell'edificio

3.1.1 Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento

La temperatura standard di regolazione interna dei locali (*set-point*) dipende dalla destinazione d'uso della zona termica in esame. In particolare, in funzione della categoria dell'edificio (definita dall'articolo 3 del D.P.R. 412/93), si assumono i seguenti valori:

CATEGORIA	DESTINAZIONE D'USO	TEMPERATURA STANDARD DI SET-POINT [°C]
E.1(1)	Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo	20
E.1(2)	Abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria	20
E.1(3)	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	20
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili	20
E.3	Edifici adibiti a uffici e assimilabili	20
E.4(1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	20
E.4(2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	20
E.4(3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	20
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	20
E.6(1)	Piscine, saune e assimilabili	28
E.6(2)	Palestre e assimilabili	18
E.6(3)	Servizi di supporto alle attività sportive	20
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	20
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	18

Nel caso in cui il conduttore dei locali della zona termica indichi, a seguito dell'intervista descritta nel paragrafo 2.3.2 della presente relazione, una regolazione della temperatura differente da quella standard, si utilizzeranno per i calcoli i dati forniti dall'utenza.

Se vengono utilizzate due temperature di regolazione – è il caso, per esempio, dell'attenuazione tramite cronotermostato durante le ore notturne o di non utilizzo dei locali (come il fine-settimana per uffici e scuole) – la temperatura media di esercizio dei locali si calcola secondo il seguente schema:

Temperatura principale di <i>set-point</i>	T_{set1}	
Temperatura di attenuazione	T_{set2}	
Tempo di esercizio al <i>set-point</i> principale	t_{set1}	
Tempo di attenuazione	t_{set2}	
Costante di tempo della zona termica (rapporto tra la capacità termica interna e il coefficiente globale di scambio termico, corretto in funzione della differenza di temperatura interno-esterno)	τ	
Temperatura media dell'ambiente interno (in accordo con la UNI EN ISO 13790:2008, par. 13.2.1.2)	se $5\tau < t_{set2}$	$T_{set,m} = (T_{set1}t_{set1} + T_{set2}t_{set2}) / (t_{set1} + t_{set2})$
	se $T_{set1} - T_{set2} < 3K$	$T_{set,m} = (T_{set1}t_{set1} + T_{set2}t_{set2}) / (t_{set1} + t_{set2})$
	se $\tau > 3t_{set2}$	$T_{set,m} = T_{set1}$
	in tutti gli altri casi	$T_{set,m} = T_{set1}$ e, una volta calcolato il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, esso verrà moltiplicato per un coefficiente di riduzione, minore di 1, definito dall'equazione 68 della UNI EN ISO 13790:2008

3.1.2 Definizione del periodo di riscaldamento

Secondo l'articolo 9 del D.P.R. 412/93, l'esercizio degli impianti termici è consentito nei seguenti limiti, dipendenti dalla zona climatica della località in cui è ubicato l'edificio:

ZONA CLIMATICA	GRADI GIORNO	ACCENSIONE	SPEGNIMENTO	ORE GIORNALIERE
A	≤ 600	1 dicembre	15 marzo	6
B	> 600 e ≤ 900	1 dicembre	31 marzo	8
C	> 900 e ≤ 1400	15 novembre	31 marzo	10
D	> 1400 e ≤ 2100	1 novembre	15 aprile	12
E	> 2100 e ≤ 3000	15 ottobre	15 aprile	14
F	> 3000	nessuna limitazione		

Il precedente prospetto definisce dunque la durata standard della stagione di riscaldamento ai fini del calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio.

Al di fuori dei periodi indicati, gli impianti termici possono comunque essere attivati in presenza di situazioni climatiche che ne giustifichino l'esercizio. Per una diagnosi energetica è dunque ragionevole adottare, al posto della durata standard, una durata "reale" della stagione di riscaldamento, calcolando il periodo durante il quale è necessario fornire calore attraverso l'impianto di riscaldamento per mantenere una temperatura interna non inferiore a quella di *set-point*, come specificato nel paragrafo 10.1.2 della UNI/TS 11300-1:2008.

3.1.3 Dispersioni e apporti gratuiti

Il fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) vale, per ogni zona e per ogni mese (scelto come periodo di riferimento):

$$Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - (Q_{int} + Q_{sol})\eta_H$$

dove

- $Q_{H,tr}$ è il totale delle perdite termiche per trasmissione verso l'ambiente esterno (incluso l'extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste), il terreno, ambienti non climatizzati e diversamente climatizzati, attraverso componenti opachi, componenti trasparenti e ponti termici
- $Q_{H,ve}$ è il totale dell'energia dispersa a causa dei ricambi d'aria per infiltrazioni e per ventilazione naturale o meccanica (se è presente un impianto di trattamento dell'aria, questo contributo deve essere posto uguale a zero, essendo già considerato nella sezione relativa agli impianti termici)
- Q_{int} sono gli apporti termici interni
- Q_{sol} è il totale degli apporti termici solari su componenti opachi e trasparenti
- η_H è il fattore di utilizzazione degli apporti termici

La procedura di calcolo descritta nella norma UNI/TS 11300-1:2008 (con errata corrige del 2010) permette di calcolare $Q_{H,tr}$ (al capitolo 11), $Q_{H,ve}$ (capitolo 12), Q_{int} (capitolo 13), Q_{sol} (capitolo 14), e η_H (capitolo 15). Per adattare il calcolo all'utenza, sfruttando le informazioni raccolte nelle precedenti fasi dell'audit, si suggeriscono alcune modifiche e integrazioni a questo metodo, che sono descritte nelle sezioni seguenti.

3.1.4 Energia dispersa per radiazione infrarossa verso la volta celeste

Un termine non trascurabile, sebbene spesso sottovalutato, nel bilancio energetico di un edificio sono le dispersioni per radiazione infrarossa verso la volta celeste. Per il calcolo dell'extra flusso termico è necessario conoscere la cosiddetta temperatura del cielo (T_{sky}). Essa dipende dal livello di nuvolosità e dall'umidità atmosferica. Nel caso in cui T_{sky} non sia disponibile tra i dati climatici, può essere stimata tramite le seguenti formule:

$$T_{sky} = [9.36 \cdot 10^{-6} (T_{a,e})^6]^{1/4}$$

tratta dalla UNI EN ISO 13791:2005 e valida per cielo sereno ($T_{a,e}$ è la temperatura dell'aria esterna, in gradi Kelvin), oppure

$$T_{sky} = T_{a,e} - 11$$

tratta dalla UNI EN ISO 13790:2008, dove 11 gradi Kelvin sono la differenza media tra la temperatura dell'aria esterna e quella del cielo in zone a clima temperato.

Il fattore di vista tra il componente esterno dell'involucro e il cielo (F_{sky}) si può considerare pari a 1 per superfici orizzontali e a 0.5 per superfici verticali. Una stima, prevista dalla UNI EN ISO 13791:2005, che tiene conto del contesto urbano, assegna a superfici verticali:

- $F_{sky}=0.33$ in centro città;
- $F_{sky}=0.41$ in aree suburbane;
- $F_{sky}=0.45$ in aree rurali.

Noti T_{sky} ed F_{sky} , l'energia dispersa verso la volta celeste (Q_{sky}) si calcola dunque con la seguente formula, tratta dalla UNI EN ISO 13790:2008:

$$Q_{sky}=F_{sky} R_{se} U_c A_c h_r (T_{a,e}-T_{sky}) t$$

dove

- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente edilizio
- U_c è la trasmittanza termica del componente
- A_c è l'area del componente
- t è il tempo di riferimento rispetto al quale si calcola il fabbisogno di energia
- h_r è il coefficiente di scambio termico radiativo, dato da $h_r=1/2*\epsilon \sigma (T_{a,e}+T_{sky})^3$, con l'emissività $\epsilon=0.9$ per i materiali da costruzione ed $\epsilon=0.837$ per i vetri senza deposito superficiale e la costante di Stefan-Boltzmann $\sigma=5.67*10^{-8} W/(m^2K^4)$.

3.1.5 Resistenza termica superficiale esterna

La resistenza superficiale esterna, detta anche liminare, tiene conto di due scambi termici che avvengono in parallelo:

- la convezione tra un componente edilizio e l'aria esterna;
- l'irraggiamento tra il componente e l'ambiente circostante.

Per ottenere la trasmittanza delle pareti e nel calcolo degli apporti solari su componente opaco e dell'extra flusso termico verso la volta celeste è necessario conoscere il valore di R_{se} . Esso è fissato dalla norma UNI EN ISO 6946:2008: $R_{se}=0.04 m^2K/W$. Volendo un risultato più accurato, che tenga conto anche dell'intensità del vento (v), si può utilizzare la seguente formula:

$$R_{se}=1/[4 \epsilon \sigma (T_{a,e})^3+(4+4v)]$$

Valori di R_{se} per diverse velocità del vento

Velocità del vento m/s	R_{se} $m^2 \cdot K/W$
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

3.1.6 Infiltrazioni

Ipotesi.

Serramenti classificati secondo la norma UNI EN 12207:2000 "Finestre e porte – Permeabilità all'aria – Classificazione" o la UNI 7979:1979 "Edilizia. Serramenti esterni (verticali). Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento."

Dati di input.

- Area della superficie totale del serramento (A) [m²].
- Classe di permeabilità all'aria del serramento secondo UNI EN 12207 o UNI 7979.
- Sovrappressione di prova sul serramento di riferimento (P) [Pa]. Questo valore si può ricavare dalla normativa UNI EN 15242:2008 "Ventilazione degli edifici – Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni", attraverso il calcolo del coefficiente di pressione (Cp), che è funzione della velocità e della direzione del vento.

Algoritmo di calcolo.

Il calcolo della permeabilità all'aria di un serramento classificato (come specificato nelle ipotesi) segue la seguente equazione:

$$Q = Q_{100} * (P/100)^{2/3} \quad [m^3/h]$$

dove Q₁₀₀ è la permeabilità all'aria di riferimento calcolata ad una sovrappressione di prova di 100 Pa; tale valore è specificato nelle normative UNI EN 12207 e UNI 7979 (si considera il valore massimo della classe).

Si riporta quindi l'algoritmo semplificato e le tabelle per i valori di riferimento secondo quanto specificato nelle due norme di classificazione di riferimento.

$$Q = q_s A = [Q_{100} (1/100)^{2/3}] P^{2/3} A = k P^{2/3} A \quad [m^3/h]$$

Classificazione secondo UNI 7979	k
Classe A1	2,23
Classe A2	0,93
Classe A3	0,33

Classificazione secondo UNI EN 12207	k
Classe 1	2,33
Classe 2	1,26
Classe 3	0,42
Classe 4	0,14

Per calcolare poi il coefficiente complessivo di ricambio aria per infiltrazioni (n) attraverso i serramenti di una zona termica occorre conoscere la permeabilità all'aria di ogni singolo serramento; si sommano poi tutti i valori di permeabilità (Q [m^3/h]) calcolati nella zona e infine si divide la somma ottenuta per il volume netto della zona stessa (V_n [m^3]):

$$n = \sum_i(Q_i)/V_n \quad [1/\text{h}]$$

3.1.7 Ventilazione per apertura delle finestre

Ipotesi.

Per la valutazione del ricambio d'aria si segue puntualmente il metodo riportato nella normativa UNI EN 15242:2008.

Dati di input.

- Area della superficie apribile del serramento (A_{ow}) [m^2].
- Orario di apertura e modalità di apertura finestre da parte dell'utenza [-].

Tale informazione si ricava dall'intervista fatta all'utenza, come da paragrafo 2.3.2.

- Temperatura esterna media mensile (T_e) [$^{\circ}\text{C}$].

Tale dato può essere il valore medio mensile riportato nella UNI 10349:1994, ma si consiglia, una volta noto l'orario giornaliero di apertura dei serramenti, di utilizzare il profilo di temperatura esterna del giorno medio mensile costruito secondo il paragrafo 2.1 e di mediare la temperatura solo su tale orario.

- Velocità del vento media mensile misurata a 10 m sul livello del suolo (V_{met}) [m/s].

Tale dato può essere ripreso dalla normativa UNI 10349:1994, che riporta il valore medio annuale della velocità del vento media giornaliera. Nel caso invece si abbiano dati anemometrici più precisi, si possono utilizzare per effettuare una media mensile più corretta. In particolare, se il dato di velocità del vento viene misurato ad una altezza diversa da quella richiesta, si può utilizzare la seguente correlazione (presente in appendice A della UNI EN 15242:2008 e valida per $v > 2$ m/s, per $h > 20 \cdot z$ e per valori di fattore di rugosità z non troppo elevati):

$$v_1/v_2 = \ln(h_2/z)/\ln(h_1/z)$$

dove v_1 [m/s] è la velocità del vento nota, misurata all'altezza h_1 [m], mentre la velocità v_2 [m/s] rappresenta l'incognita all'altezza h_2 [m]. Il parametro z [m] è il fattore di rugosità del sito (si riportano i valori di riferimento presenti nella UNI EN 15242:2008).

Terrain class	Roughness parameter z_0 at site [m]
open terrain	0,03
Country	0,25
Urban/City	0,5

- Altezza dell'area libera della finestra (H_{ow}) [m].
- Temperatura dell'aria interna (T_{int}) [°C].

Algoritmo di calcolo.

Per calcolare il ricambio per ventilazione (n_{air}) dato dall'apertura delle finestre, quando presente e specificato dagli utenti della zona, si segue la normativa UNI EN 15242:2008, che prescrive la seguente equazione, in funzione della velocità del vento (V_{met}), della temperatura interna ed esterna (T_i e T_e), della superficie apribile della finestra (A_{ow}) e dell'altezza dell'area apribile (H_{ow}) e del volume netto della zona (V_n):

$$n_{air} = (3.6 * 500 * A_{ow} * V^{0.5}) / V_n \quad [1/h]$$

dove la variabile V è data dalla seguente equazione:

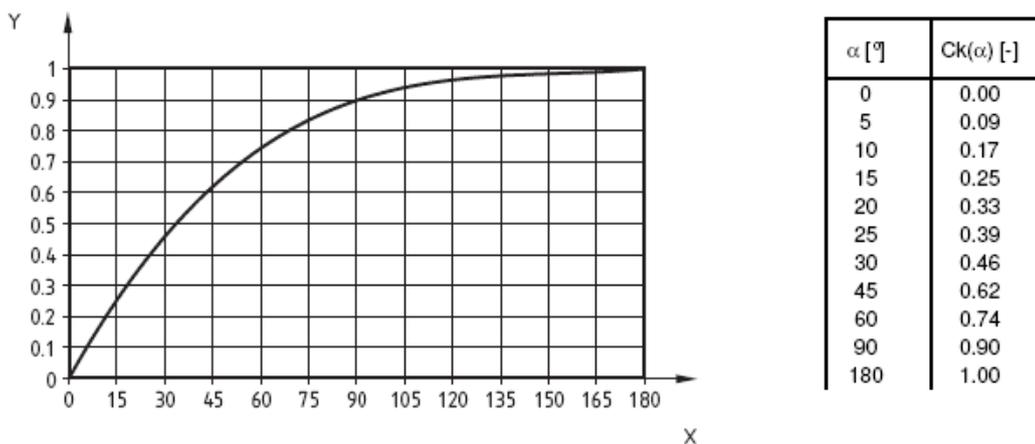
$$V = 0.01 + 0.001 * V_{met}^2 + 0.0035 * H_{ow} * |T_i - T_e|$$

Nel caso di finestre a singolo battente, la superficie apribile è pari a quella della finestra stessa; nel caso di finestre vasistass (ovvero con apertura alta), occorre calcolare la superficie apribile in funzione dell'angolo di apertura (α) nel seguente modo:

$$A_{ow} = A_w * c_k(\alpha)$$

dove A_w è la superficie del serramento completamente aperto e $c_k(\alpha)$ è un coefficiente che segue l'equazione:

$$C_k(\alpha) = 2.60 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha^3 - 1.19 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 + 1.86 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha$$



3.1.8 Apporti termici interni

Per la stima degli apporti interni, ci si può riferire in prima analisi ai dati convenzionali contenuti nel prospetto 8 della UNI/TS 11300-1, suddivisi per destinazione d'uso non residenziale. Per le abitazioni, vale invece la formula:

$$Q_{int} = (5.294S_u - 0.01557S_u^2)t \quad \text{per } S_u \leq 170 \text{ m}^2$$

$$Q_{int} = 450t \quad \text{per } S_u > 170 \text{ m}^2$$

dove S_u è la superficie utile di pavimento.

Per valutazioni più precise, si possono utilizzare altri prospetti della UNI/TS 11300-1, consigliati per calcoli adattati all'utenza. Essi forniscono, per edifici residenziali (prospetto 9) e uffici (prospetto 10), i profili temporali degli apporti termici globali. Inoltre, in funzione della classe di densità di occupazione (profilo 11) e della categoria di edificio (prospetto 12) si possono ricavare, rispettivamente, gli apporti termici degli occupanti e delle apparecchiature.

Avendo preliminarmente censito il numero di occupanti e il tipo di attività che essi svolgono all'interno della zona termica, è possibile stimare con accuratezza ancora maggiore i loro apporti interni, utilizzando il seguente prospetto, tratto dalla norma UNI EN ISO 7730:2006 "Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale":

Energia metabolica

Attività	Energia metabolica	
	W/m ²	met
Disteso	46	0,8
Seduto, rilassato	58	1,0
Attività sedentaria (ufficio, casa, scuola, laboratorio)	70	1,2
Attività leggera in piedi (compere, laboratorio, industria leggera)	93	1,6
Attività media in piedi (commesso, lavori domestici, lavori a macchina)	116	2,0
Camminare a:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

La cosiddetta energia metabolica rappresenta in realtà una potenza dissipata per unità di superficie corporea. Quest'ultima, per un essere umano medio (maschio, 30 anni, 70 kg di peso), è di 1.8 m².

Volendo valutare gli apporti termici provenienti dal solo sistema d'illuminazione artificiale, essi si assumono pari al fabbisogno di energia elettrica, calcolato nel paragrafo 5.1.2, considerando che la quota di energia luminosa dispersa fuori dall'edificio sia trascurabile (in un edificio con superficie perimetrale trasparente molto ampia, questa approssimazione non è più valida).

Analogamente, l'energia elettrica richiesta dalle utenze, stimata nel paragrafo 5.2, si trasforma in un apporto interno per la zona termica in esame, ad esclusione degli elettrodomestici che prevedono il riscaldamento dell'acqua con successivo scarico all'esterno (lavatrici e lavastoviglie). Tra le utenze elettriche in grado di fornire apporti interni si escludono anche gli ausiliari degli impianti termici, il cui recupero di energia è trattato separatamente nel capitolo 4, e tutte le apparecchiature situate al di fuori della zona termica, lampade incluse.

Infine, nel caso delle abitazioni, si considera di poter recuperare nell'ambiente interno tutta l'energia impiegata per cottura, una cui stima è fornita nel paragrafo 2.4. In presenza di cappe aspiranti tipiche di cucine professionali, questa energia va invece considerata come dispersa nell'ambiente esterno.

3.2 Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento dell'edificio

Il calcolo del fabbisogno di energia termica per il raffrescamento è del tutto analogo a quello del riscaldamento. Le differenze sono evidenziate nei paragrafi seguenti.

3.2.1 Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento

In assenza d'informazioni più precise ottenute dai conduttori, si considera una temperatura di *set-point* di 26°C per tutte le categorie di edifici, ad esclusione di piscine, saune

e assimilabili – categoria E.6(1) – e palestre e assimilabili – categoria E.6(2) – per cui si assumono, rispettivamente, 28°C e 24°C.

Il caso del raffrescamento intermittente e dell’attenuazione su due *set-point* è trattato con la stessa procedura del riscaldamento.

3.2.2 Definizione del periodo di raffrescamento

A differenza del periodo di riscaldamento, la legge non stabilisce limiti per l’esercizio degli impianti di raffrescamento. È dunque necessario calcolare la stagione “reale” di raffrescamento, definita come il periodo durante il quale è necessario un apporto dell’impianto di climatizzazione per mantenere una temperatura interna non superiore a quella di *set-point*, come specificato nel paragrafo 10.2 della UNI/TS 11300-1:2008.

3.2.3 Carichi termici e dispersioni

Il fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento ($Q_{C,nd}$) vale, per ogni zona e per ogni mese:

$$Q_{C,nd} = Q_{int} + Q_{sol} - (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \eta_C$$

dove

- $Q_{C,tr}$ è l’energia termica scambiata per trasmissione
- $Q_{C,ve}$ è l’energia termica scambiata per ventilazioni e infiltrazioni
- η_C è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

La procedura di calcolo di queste grandezze è descritta nella UNI/TS 11300-1:2008. Rispetto al caso del fabbisogno di energia per il riscaldamento, ovviamente cambiano i segni di alcuni scambi di calore. Quelli che nella stagione invernale sono considerati recuperi di calore, nella stagione estiva vanno intesi come carichi termici aggiuntivi.

3.3 Schede di raccolta dati e tabelle semplifcative

Si riportano di seguito le schede per la raccolta dei dati d’involucro e alcune tabelle semplifcative per svolgere la procedura di calcolo descritta nei precedenti paragrafi 3.1 e 3.2.

Individuate le diverse utenze dell’edificio e le corrispondenti tipologie d’impianto di climatizzazione, si arriva alla definizione delle zone termiche.

Si procede quindi a determinare il volume interno di ciascuna zona termica. In alternativa alla misura effettuata per ciascun ambiente, esso può essere stimato moltiplicando il volume lordo per un coefficiente di riduzione, dipendente dalla tipologia edilizia, secondo il prospetto seguente, tratto dalla norma UNI/TS 11300-1:2008:

Fattore di correzione del volume lordo climatizzato

Categoria di edificio	Tipo di costruzione	
	E.1, E.2, E.3, E.7	Pareti di spessore maggiore di 45 cm
0.6		0.7
E.4, E.5, E.6, E.8	Con partizioni interne	Senza partizioni interne

	0.8	0.9
--	-----	-----

Abaco delle facciate e delle chiusure superiori e inferiori.

Per ogni facciata dell'edificio e per ogni copertura si procede a rilevare:

- l'orientamento;
- le dimensioni;
- la posizione, le dimensioni e la tipologia degli infissi.

Si procede quindi a rilevare le dimensioni del basamento.

Caratterizzazione dei componenti dell'involucro e della struttura edilizia.

Per i componenti opachi si procederà a rilevare:

- la tipologia costruttiva;
- lo spessore;
- l'ambiente confinante (esterno, locale non riscaldato, terrapieno, ecc.);
- la finitura esterna;
- la finitura interna;
- la tipologia dell'eventuale isolamento termico;
- la tipologia di struttura portante.

Per gli infissi si procederà a rilevare:

- la tipologia di vetro;
- la tipologia di telaio;
- la tipologia dell'eventuale oscuramento esterno;
- le dimensioni dell'eventuale cassonetto;
- le dimensioni del sottofinestra.

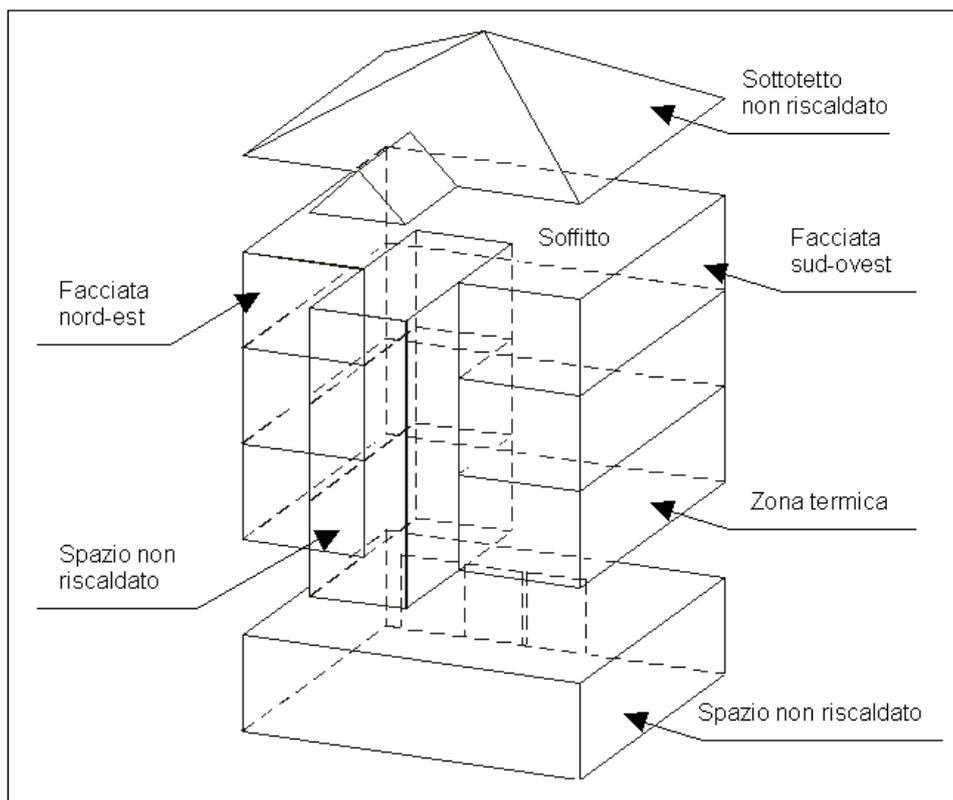
Si procede infine all'individuazione dei ponti termici significativi, attraverso la definizione della tipologia e delle dimensioni.

Schema planimetrico dell'edificio.

Lo schema planimetrico dovrebbe contenere anche gli edifici circostanti ed ogni altro elemento atto a schermare la radiazione solare o a influenzare il profilo dei venti.

Schema per l'individuazione delle zone termiche, degli spazi non riscaldati e delle facciate.

Nella seguente figura si riporta un esempio d'individuazione delle zone termiche, degli spazi non riscaldati e delle facciate.



Abaco delle facciate.

Per ogni facciata si compilino le tabelle seguenti.

Facciata n.:

Orientamento della facciata:

Dimensioni della facciata:

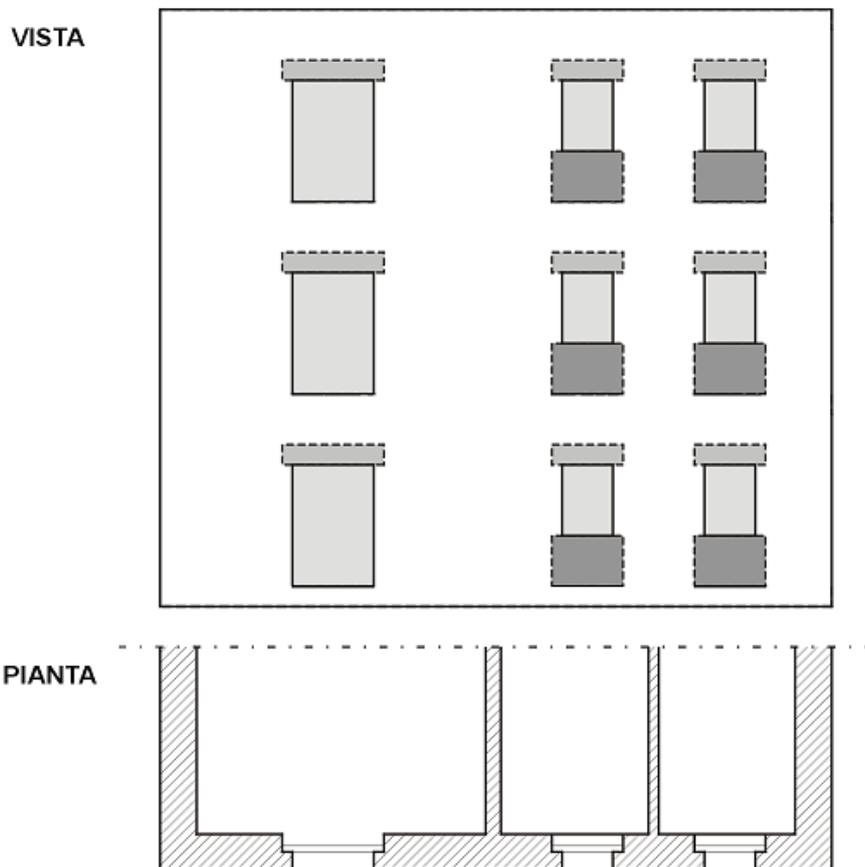
Sigla identificativa del componente	Tipo di componente (*)	Area [m ²]	F _s (solo per infissi)

(*) Parete perimetrale verticale, infisso esterno verticale, sottofinestra, cassonetto, ...

Sigla identificativa del ponte termico	Tipo di ponte termico (**)	Lunghezza [m]

(**) Si veda la classificazione riportata nella norma UNI EN ISO 14683:2001.

Nella seguente figura si riporta un esempio di suddivisione di una facciata in superfici tra loro omogenee.



Abaco delle chiusure superiori.

Per ogni insieme di chiusure superiori si compilino le tabelle seguenti.

Chiusura superiore n.:

Orientamento della chiusura superiore:

Dimensioni della chiusura superiore:

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente (***)	Area [m ²]	F _s (solo per infissi)

(***) Copertura, lucernario, ecc.

Sigla identificativa del ponte termico	Tipo di ponte termico	Lunghezza [m]

Abaco delle chiusure inferiori.

Per ogni insieme di chiusure inferiori si compilino le tabelle seguenti.

Chiusura inferiore n.:

Orientamento della chiusura inferiore:

Dimensioni della chiusura inferiore:

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Area [m ²]	Tipo di ambiente confinante

Sigla identificativa del ponte termico	Tipo di ponte termico	Lunghezza [m]

Abaco delle partizioni interne.

Per le partizioni interne si compili la seguente tabella:

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Area [m ²]	Tipo di ambiente confinante

Caratterizzazione dei componenti opachi.

Per tutti i tipi di componente opaco si compili la seguente tabella:

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Tipologia costruttiva (****)	Spessore [m]	U [W/m ² K]	χ [J/m ² K]

(****) Copertura superiore verso l'esterno, solaio verso sottotetto non ventilato, solaio verso sottotetto ventilato, pareti verticali esterne, pareti verticali verso locale freddo, solaio inferiore verso esterno, solaio inferiore verso vano freddo, solaio inferiore verso terreno, ...

Caratterizzazione degli infissi.

Per tutti i tipi d'infisso si compili la seguente tabella:

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Tipologia di vetro	Tipologia di telaio	Tipologia di oscuramento esterno	U [W/m ² K]	g	F _F

Caratterizzazione dei ponti termici.

Per tutti i tipi di ponte termico individuati si compili la seguente tabella:

Sigla identificativa del ponte termico	Tipologia di ponte termico	ψ [W/(mK)]

Superfici trasparenti.

Per quanto riguarda le strutture disperdenti trasparenti, si adotteranno, se disponibili, informazioni specifiche sulla qualità dei singoli serramenti installati, applicando le norme vigenti e le leggi di riferimento. In alternativa, si adotterà una tabella semplificata, che, in funzione della tipologia della tamponatura trasparente (trasmissione termica della vetrata U_{gl}) e del tipo di telaio (trasmissione termica della telaio U_f), offre un valore della trasmissione unitaria del serramento.

**Trasmittanza termica di vetrate verticali doppie e triple riempite con diversi gas
[W/(m²K)]**

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas ≥90%)				
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni mm	Aria	Argon	Krypton	SF6	Xenon
Vetrata doppia	Vetro normale	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,8	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,20	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,15	4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
			4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
			4-20-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,10	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1	1,4
			4-8-4	2,2	1,9	1,4	2,2	1,3
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3	2,3	1,4
			4-20-4	1,6	1,4	1,4	2,3	1,4
Una lastra con trattamento superficiale	≤0,05	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0	1,2	
		4-8-4	2,1	1,7	1,3	2,1	1,1	
		4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,1	1,2	
		4-16-4	1,4	1,2	1,2	2,2	1,2	
		4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2	1,2	
Vetrata tripla	Vetro normale	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,20	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,3	0,8
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,15	4-6-4-6-4	1,7	1,4	1,1	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,2	0,9	1,2	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,7	1,3	0,7
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,10	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,1	0,8
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8	1,1	0,7
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2	0,6
Due lastre con trattamento superficiale	≤0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9	1,1	0,7	
		4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7	1,1	0,5	
		4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	0,5	

Trasmittanza termica di telai per finestre, porte e porte-finestre

Materiale	Tipo	Trasmittanza termica U_f [W/(m²K)]
Poliuretano	con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5 mm	2,8
PVC - profilo vuoto	con due camere cave	2,2
	con tre camere cave	2,0
Legno duro	spessore 70 mm	2,1
Legno tenero	spessore 70 mm	1,8
Metallo con taglio termico	distanza minima di 20 mm tra sezioni opposte di metallo	2,4

Trasmittanza termica di finestre con percentuale dell'area di telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra

Tipo di vetrata	U_{gl} [W/(m²K)]	U_f [W/(m²K)]												
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0
Doppia o tripla	3,3	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1
	3,2	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,9
	3,0	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,8
	2,8	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,7
	2,7	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,6
	2,6	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,5
	2,5	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,5
	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	3,3
	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1
	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1
	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,9
	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,8
	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,7
	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,7
1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6	
1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,5	
1,1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,4	
1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,3	
0,9	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3	
0,8	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	2,2	
0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	2,1	
0,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	2,0	
0,5	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,9	

Resistenza termica addizionale per finestre con chiusure oscuranti

Tipo di chiusura	Resistenza termica caratteristica della chiusura R_{shut} (m ² K/W)	Resistenze termiche addizionali per una specifica permeabilità all'aria delle chiusure		
		ΔR (m ² K/W)		
		Alta permeabilità all'aria	Media permeabilità all'aria	Bassa permeabilità all'aria
Chiusure avvolgibili in alluminio	0,01	0,09	0,12	0,15
Chiusure avvolgibili in legno e plastica senza riempimento in schiuma	0,10	0,12	0,16	0,22
Chiusure avvolgibili in plastica con riempimento in schiuma	0,15	0,13	0,19	0,26
Chiusure in legno da 25 mm a 30 mm di spessore	0,20	0,14	0,22	0,30

Trasmittanza termica dei cassonetti [W/(m²K)]

Tipologia di cassonetto	Trasmittanza termica
Cassonetto non isolato	6
Cassonetto isolato	1

Nota: si considerano isolate le strutture con isolamento termico non inferiore ai 2 cm.

Superfici opache.

Le stratigrafie dei vari elementi costituenti l'involucro opaco sono valutate con una o più delle seguenti metodologie:

- documentazione tecnica progettuale;
- verifiche in sito;
- tabelle tipologiche;
- misure strumentali.

I dati riportati nelle tabelle seguenti, riguardanti le trasmittanze degli elementi delle strutture, sono utilizzabili qualora non si possano effettuare valutazioni precise di calcolo, sulla base di dati derivanti da ispezioni o altre fonti più attendibili. Gli edifici costruiti dopo l'entrata in vigore delle leggi 373/1976 prima e 10/1991 poi si dovrebbero ritenere isolati secondo i livelli prescritti da tali norme. Con queste informazioni è possibile riconoscere le tipologie delle strutture senza ispezioni invasive e procedere al calcolo secondo la normativa vigente.

Trasmittanza termica delle pareti perimetrali verticali¹ [W/(m²K)]

¹ I sottofinestra devono essere computati come strutture a parte.

Spessore [cm]	Muratura di pietrame intonacata	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Pannello prefabbricato in cls	Parete a cassa vuota ² con mattoni forati	Struttura isolata ³
	A1	B1	C1	D1	E1
15	-	2,31	4,03	-	0,59
20	-	1,84	3,64	-	0,57
25	3,55	1,54	3,36	1,20	0,54
30	3,19	1,33	3,15	1,15	0,52
35	2,92	1,18	2,98	1,11	0,50
40	2,70	1,06	2,84	1,11	0,48
45	2,52	0,97	2,73	1,11	0,46
50	2,37	0,89	2,63	1,11	0,44
55	2,24	0,82	2,54	1,11	0,42
60	2,13	0,77	2,46	1,11	0,40

Trasmittanza termica delle pareti interne verticali [W/(m²K)]

Spessore [cm]	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Muratura di mattoni forati intonacati sulle due facce	Parete in cls intonacata	Parete a cassa vuota con mattoni forati	Struttura isolata
	A2	B2	C2	D2	E2
15	1,91	1,38	2,96	1,16	0,56
20	1,67	1,11	2,79	1,12	0,54
25	1,43	0,93	2,62	1,08	0,52
30	1,19	0,80	2,46	1,04	0,50

Trasmittanza termica delle coperture piane e a falde [W/(m²K)]

Spessore [cm]	Soletta piana non coibentata in laterocemento	Soletta piana coibentata	Tetto a falda in laterizio non coibentato	Tetto a falda in laterizio coibentato	Tetto in legno poco isolato	Tetto in legno mediamente isolato
	A3	B3	C3	D3	E3	F3
15	2,00	0,77	2,77	0,87	1,31	0,72
20	1,76	0,72	2,39	0,81		
25	1,53	0,67	2,02	0,75		
30	1,30	0,61	1,65	0,68		
35	1,06	0,56	1,28	0,62		

Trasmittanza termica dei solai sotto ambienti interni [W/(m²K)]

² Le trasmittanze sono calcolate considerando la camera d'aria a tenuta.

³ In un presenza di strutture isolate dall'esterno (isolamento a cappotto), la trasmittanza della parete viene calcolata sommando alla resistenza termica della struttura di categoria D la resistenza termica dello strato isolante.

Spessore [cm]	Soletta in laterocemento	Soletta in laterocemento confinante con sottotetto	Solaio prefabbricato in cls tipo Predalle	Soletta generica coibentata
	A4	B4	C4	D4
20	1,59	1,68	2,16	0,68
25	1,39	1,47	2,01	0,63
30	1,19	1,25	1,87	0,58
35	1,00	1,03	1,73	0,53

Trasmittanza termica dei solai a terra, su spazi aperti o su ambienti non riscaldati
[W/(m²K)]

Spessore [cm]	Soletta in laterocemento su cantina	Soletta in laterocemento su vespaio o pilotis	Basamento in laterocemento su terreno	Basamento in cls su terreno	Soletta generica coibentata su cantina-vespaio-pilotis
	A5	B5	C5	D5	E5
20	1,54	1,76	1,37	1,35	0,71
25	1,35	1,53	1,24	1,31	0,66
30	1,16	1,30	1,11	1,27	0,61
35	0,97	1,06	0,98	1,23	0,55

Ponti termici.

Per la valutazione dei ponti termici, in mancanza di dati attendibili, si applicano delle maggiorazioni ai valori delle dispersioni termiche delle strutture di riferimento secondo il seguente prospetto, tratto dalla UNI/TS 11300-1:2008.

Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%]

Descrizione della struttura	Maggiorazione
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

CAPITOLO 4 – IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE E PRODUZIONE DI ACS

La seguente sezione illustra la metodologia per il calcolo del rendimento e del fabbisogno di energia primaria degli impianti di climatizzazione e per la produzione di acqua calda sanitaria all'interno degli edifici di tipo terziario e residenziale. Vengono standardizzati gli input e gli output della procedura di calcolo, in modo da ottenere un comune riferimento metodologico per il bilancio energetico degli impianti.

Il presente documento rimanda, mediante riferimenti, ai contenuti e alle metodologie contenute all'interno di normative tecniche citate nei punti appropriati del testo.

Il metodo di calcolo proposto prevede che l'analisi energetica dell'intero impianto – di climatizzazione o per produzione di acqua calda sanitaria (ACS) – venga scorporata nei suoi differenti sottosistemi: emissione, regolazione, distribuzione, accumulo, generazione.

La direzione del calcolo è opposta ai flussi di energia: si parte dai fabbisogni ideali e "risalendo" i sottosistemi coerentemente alla struttura ed alle connessioni tra i componenti, si ottiene il consumo totale di energia primaria.

La procedura consente di determinare: rendimento, perdite e consumo energetico degli *ausiliari* di ogni sottosistema permettendo il controllo e la valutazione dell'impatto che ognuno di questi ha sulla prestazione energetica totale del sistema edificio-impianto.

Vengono inoltre forniti prospetti contenenti esempi di calcolo e schede-tipo che siano di supporto alla comprensione ed all'applicazione della metodologia proposta.

4.1 Metodologia di analisi

4.1.1 Schematizzazione modulare dell'impianto

Prima di iniziare le operazioni di valutazione energetica dell'impianto di climatizzazione o di produzione di ACS è bene fare attenzione a come l'intero impianto è strutturato e come provvede a servire le diverse zone termiche dell'edificio.

Si ricorda che una zona termica è costituita da parti dell'ambiente climatizzato, aventi proprie caratteristiche di dispersione, esposizione e modalità di utilizzo, servite dallo stesso impianto di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione.

La prima operazione che porta alla diagnosi energetica degli impianti è quindi una *schematizzazione* della sua struttura, della sua interfaccia con le zone termiche dell'edificio e una suddivisione in *sottosistemi* più facilmente analizzabili.

Le tipologie di sottosistemi si suddividono in:

- Emissione (o erogazione in caso di ACS)
- Regolazione
- Distribuzione
- Accumulo
- Generazione

A partire da ogni zona termica si provvede all'individuazione dei terminali di impianto presenti e alla ricostruzione schematica dell'intera struttura dell'impianto, definendo i diversi sottosistemi e come essi sono collegati energeticamente tra di loro.

Si ricorre quindi ad uno *schema a blocchi* di tipo modulare che consenta di fornire una rappresentazione immediata e sinottica dei collegamenti e dei flussi energetici tra i diversi

sottosistemi che definiscono la struttura dell'impianto. Per ogni blocco, rappresentativo di un sottosistema, viene impostato il bilancio energetico e successivamente si procede ad una riaccorpamento dei diversi flussi coerentemente con la schematizzazione adottata.

Questa prima operazione può risultare difficile o ambigua soprattutto nei casi in cui siano presenti schemi impiantistici complessi, ad esempio:

- diversi tipi di terminali d'impianto a servizio di una stessa zona termica;
- differenti zone termiche servite dallo stesso impianto o da una parte di esso (es un solo generatore, impianti centralizzati);
- impianto di riscaldamento e di produzione ACS serviti da un unico impianto di generazione;
- diverse tipologie di impianti di generazione (es caldaia a gas e pannelli solari termici) tra loro connessi ed integrati.

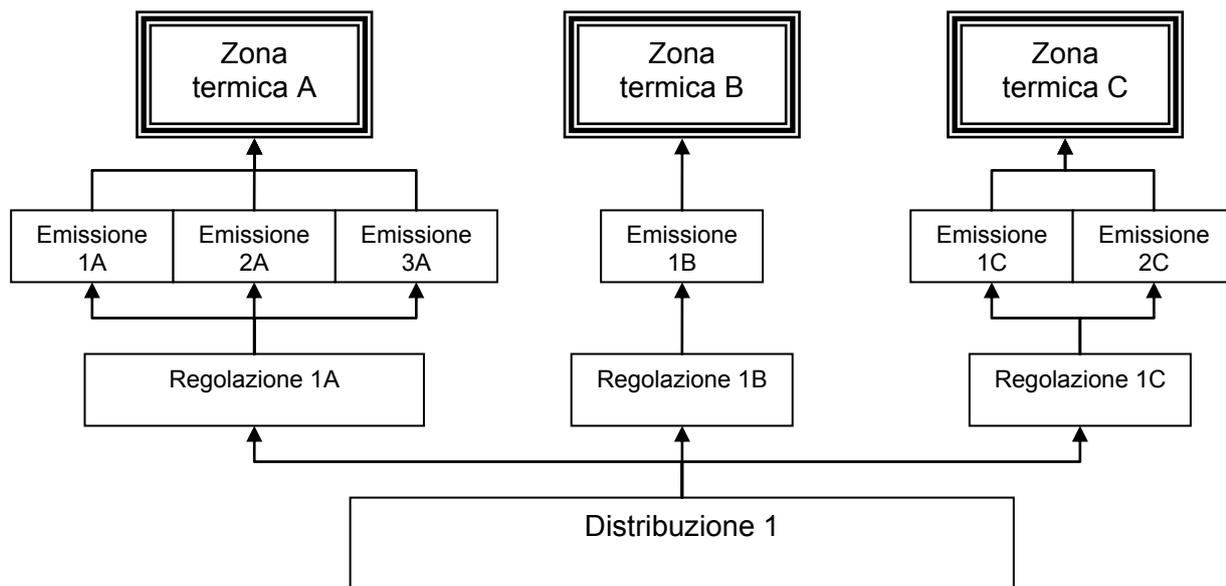
Si sottolinea come in un impianto complesso non sia necessariamente presente un unico blocco per ogni tipologia di sottosistema. Ad esempio la rete di distribuzione di un impianto di riscaldamento centralizzato per un condominio non può essere rappresentata da un unico blocco.

Bisogna effettuare una suddivisione gerarchica tra le diverse reti, coerentemente ai flussi energetici e alla struttura reale: in questo caso i blocchi che rappresentano le reti di distribuzione delle singole abitazioni (un blocco per ogni rete) sono collegati ad un unico blocco di distribuzione primaria rappresentativo delle colonne di risalita e al tratto di tubazioni che collega la centrale termica.

In generale si procede all'individuazione di diversi sottosistemi ricalcando la struttura "fisica" dell'impianto coerentemente al livello di dettaglio desiderato. Di seguito vengono presentati alcuni esempi.

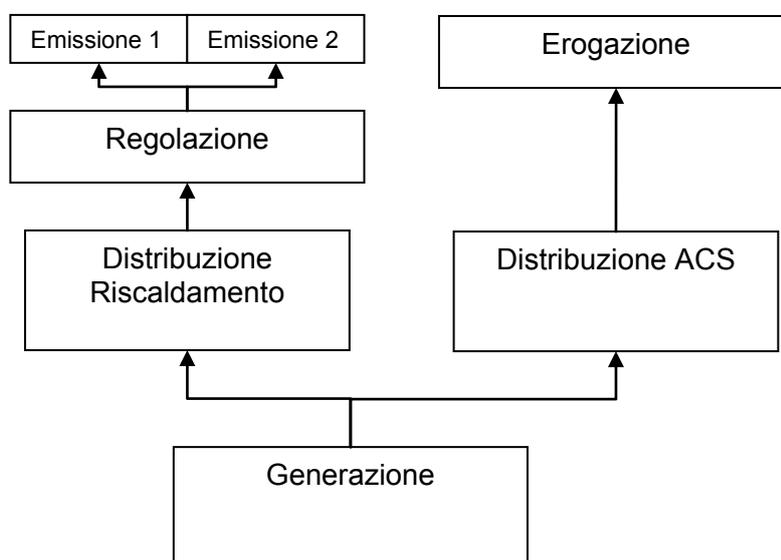
Un unico impianto di distribuzione serve diversi terminali d'impianto situati in diverse zone termiche.

Si esegue l'analisi e il bilancio dei sottosistemi di emissione di ogni singola zona e una volta calcolati i singoli fabbisogni di energia, questi vengono sommati per determinare l'energia in uscita dal sottosistema di distribuzione.



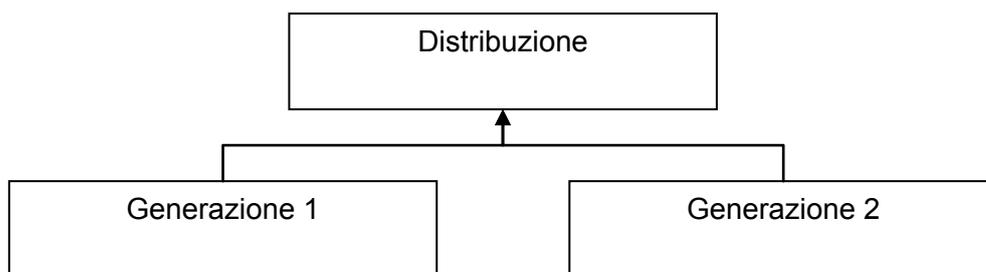
Un unico sottosistema di generazione fornisce energia termica per la climatizzazione e per la produzione di ACS.

Vengono calcolati i fabbisogni di energia del sottosistema di distribuzione dei diversi servizi e si procede ad una somma degli stessi, ottenendo l'energia totale che deve essere fornita dal generatore.



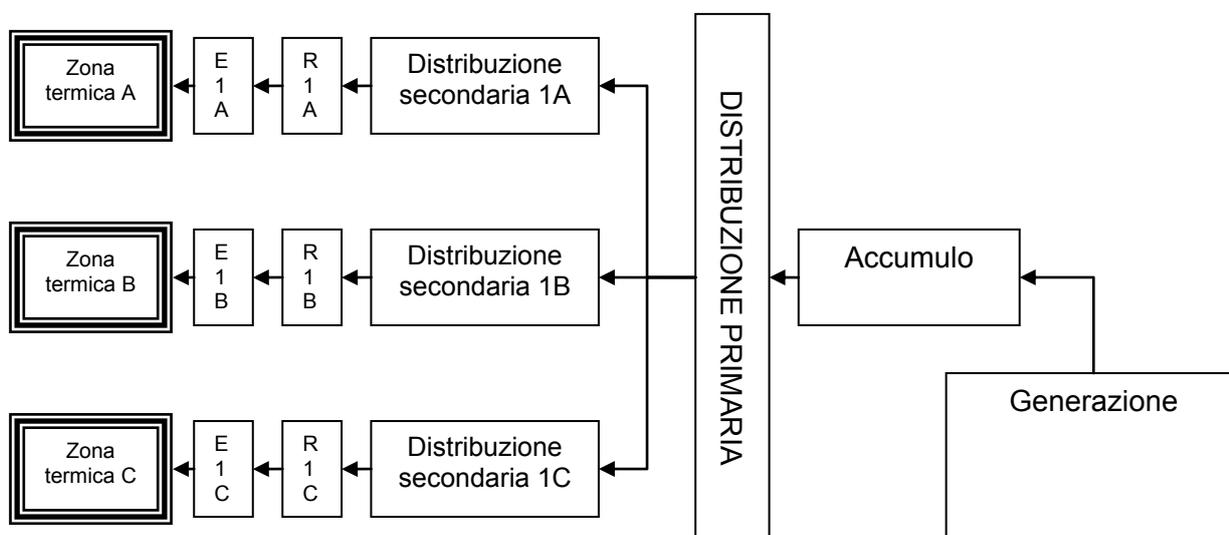
Un unico sottosistema di distribuzione è servito da più tipologie di generatori.

Si procede ad una ripartizione dei fabbisogni tra i diversi sottosistemi di generazione seguendo una logica coerente con le modalità di funzionamento dell'impianto. La descrizione dettagliata della procedura è descritta nella sezione 4.2.5.



Rete di distribuzione di un impianto centralizzato.

Il diagramma modulare d'impianto ricalca la struttura reale dell'impianto. Alle reti di distribuzione primaria e secondaria corrispondono blocchi (sottosistemi) di distribuzione primaria e secondaria.



4.1.2 Costruzione delle equazioni di bilancio energetico

La diagnosi energetica dell'impianto deve portare a due risultati principali:

- Il calcolo dei consumi energetici durante il funzionamento
- Il calcolo dell'energia primaria corrispondente

Il calcolo dei consumi energetici è eseguito attraverso l'equazione di bilancio eseguita per ogni blocco (sottosistema) in cui è rappresentato ciascuno dei diversi impianti a servizio dell'edificio (riscaldamento, raffrescamento, trattamento aria, produzione ACS). I termini da individuare sono:

- Energia termica in ingresso fornita
- Energia termica utile in uscita
- Perdite di energia termica
- Perdite di energia termica recuperate
- Energia fornita agli ausiliari

La procedura di bilancio dei flussi di energia prevede che i fabbisogni energetici del sistema edificio-impianto vengano calcolati a partire dai fabbisogni ideali delle diverse zone termiche e dal calcolo delle perdite dei sottosistemi di emissione, controllo, distribuzione,

accumulo e di generazione. Si procede in *direzione contraria* ai flussi energetici, in quanto si parte dall'utilizzatore finale (zona termica) risalendo il diagramma a blocchi dell'impianto fino alla generazione.

Per ogni blocco (sottosistema) riguardanti i sottosistemi di *emissione, controllo, distribuzione e accumulo e generazione* si procede alla risoluzione delle equazioni di bilancio valide per *l'energia termica e l'energia elettrica necessaria al funzionamento degli ausiliari*. In questi bilanci non si devono impiegare fattori di conversione in energia primaria.

Per quanto riguarda *l'energia termica* vale il bilancio descritto dall'equazione seguente:

$$Q_{in,x} = Q_{out,x} + (Q_{l,x} - Q_{lrh,x}) - Q_{aux,lrh,x} \quad [Wh]$$

dove:

$Q_{in,x}$ è l'energia termica richiesta in ingresso dal sottosistema x

$Q_{out,x}$ è l'energia termica utile fornita in uscita dal sottosistema x

$Q_{l,x}$ è la perdita di energia termica del sottosistema x

$Q_{lrh,x}$ è la perdita di energia termica recuperata

$Q_{aux,lrh,x}$ è l'energia termica recuperata degli ausiliari elettrici del sottosistema x

In accordo alla UNI/TS 11300-2:2008 si considera che il recupero delle perdite avvenga all'interno dello stesso blocco, anche se realmente sono recuperate da un altro sottosistema. Questo è lecito poiché si ottiene ugualmente una riduzione dell'energia richiesta ai blocchi (sottosistemi) situati al livello superiore.

In generali le perdite non recuperabili di un sottosistema si determinano in base alla seguente espressione:

$$Q_{inr,x} = Q_{out,x} \times \frac{1-\eta_x}{\eta_x} \quad [Wh]$$

dove η_x è definito *rendimento termico del sottosistema*.

Per quanto riguarda *l'energia elettrica necessaria al funzionamento degli ausiliari* vale il bilancio descritto dalla formula:

$$Q_{aux,in,x} = Q_{aux,out,x} + (Q_{aux,l,x} - Q_{aux,lrh,x})$$

dove:

$Q_{aux,in,x}$ è l'energia elettrica richiesta dagli ausiliari del sottosistema x

$Q_{aux,out,x}$ è l'energia elettrica utilizzata dagli ausiliari del sottosistema x

$Q_{aux,l,x}$ sono le perdite di energia termica non recuperate degli ausiliari elettrici del sottosistema x

Il calcolo del fabbisogno di energia primaria è eseguito a partire dai fabbisogni di energia degli impianti di generazione: a seconda della tipologia di fonte utilizzata ad ogni vettore energetico viene associato uno specifico fattore di conversione in energia primaria. I valori dei differenti fattori di conversione sono riportati nel seguente prospetto, tratto dalla UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Classificazione dei vettori energetici	Vettore energetico	Fattori di conversione in energia primaria
Combustibili fossili	Gas Naturale GPL Gasolio Olio Combustibile	1
Energia elettrica da rete o autoprodotta	Energia Elettrica	Valore deliberato dall'Autorità dell'energia, in TEP/kWhel per l'anno in corso
Energie rinnovabili o assimilabili a rinnovabili	Solare Biomasse (solide, liquide, gassose) Energia a bassa entalpia prelevata dall'ambiente in pompe di calore	0

L'equazione per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS $Q_{p,H,W}$ è fornita dalla norma UNI/TS 11300-2:2008 nella sezione 6.1:

$$Q_{p,H,W} = \sum_i Q_{H,c,i} f_{p,i} + \sum_i Q_{W,c,i} f_{p,i} + \sum_i Q_{CTA,c,i} f_{p,i} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) f_{p,el}$$

dove:

$Q_{H,c,i}$ è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico i (combustibili, energia elettrica, ecc.).

$f_{p,i}$ è il fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico i

$Q_{W,c,i}$ è il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico i (combustibili, energia elettrica, ecc.)

$Q_{H,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento

$Q_{W,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di produzione acqua calda sanitaria

$Q_{INT,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione

$Q_{el,exp}$ è l'energia elettrica esportata dal sistema

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia elettrica

Il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento $Q_{C,P}$ nel periodo considerato si calcola con la seguente formula:

$$Q_{C,P} = \sum_k Q_{aux,k} f_{p,el} + \sum_i \left[\frac{Q_{Cr,k,i}}{\eta_{mm,k,i}} f_{p,i} \right] + \sum_i \frac{Q_{CTA,Cr,i}}{\eta_{mm,CTA,i}} f_{p,CTA}$$

dove:

$Q_{aux,k}$ è il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari k

$Q_{Cr,k,i}$ è il fabbisogno effettivo per il raffrescamento ad acqua

Q_v è il fabbisogno di energia per il trattamento d'aria

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia elettrica

$f_{p,i}$ è il fattore di conversione del vettore energetico i

$f_{p,CTA}$ è il fattore di conversione del vettore energetico che alimenta il gruppo frigorifero che serve la centrale di trattamento aria (CTA)

η_{mm} è il coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera

La precedente equazione è basata sulla formula 1 della sezione 5.1 della norma UNI/TS 11300-3:2010, ma è stata modificata la metodologia con cui vengono valutati i fabbisogni di energia per il trattamento aria. La descrizione della procedura è illustrata nella sezione 4.5. Il fabbisogno di energia primaria comprende anche la quota di energia elettrica necessaria per il funzionamento degli ausiliari.

Periodo di calcolo.

In accordo alla normativa UNI/TS 11300-2:2008 la diagnosi energetica dell'impianto è suddivisa in periodi denominati "di calcolo" corrispondenti ai mesi dell'anno. Ogni procedura di calcolo del bilancio energetico riportata in questo documento, salvo diverse indicazioni, deve essere ripetuta per ogni mese durante il periodo di accensione dell'impianto. I risultati andranno poi sommati al fine di stabilire il fabbisogno annuale.

Durata della stagione di riscaldamento e di raffrescamento – Periodo di accensione dell'impianto.

L'operazione di diagnosi energetica deve riguardare tutto il periodo di funzionamento degli impianti, ovvero il periodo di accensione. Per valutazioni in condizioni effettive di utilizzo o basate sul rilievo dei consumi, il periodo di riferimento deve coincidere con il periodo di funzionamento reale dell'impianto (si vedano i paragrafi 3.1.2 e 3.2.2).

Procedura di calcolo.

La procedura di calcolo del bilancio energetico dell'impianto è riassumibile nei seguenti passaggi:

1. Creazione del diagramma a blocchi modulare rappresentativo dell'impianto e dei flussi energetici.

2. Determinazione dei periodi di funzionamento dell'impianto per le tre tipologie di servizio: riscaldamento invernale, raffrescamento estivo, fornitura di ACS.
3. Determinazione dei fabbisogni ideali di energia per la climatizzazione e il consumo di ACS delle diverse zone termiche. Con questa operazione si ottiene il valore di energia che deve essere fornito dai diversi blocchi (sottosistemi) di emissione.
4. Calcolo del bilancio energetico dei blocchi (sottosistemi) classificati come "emissione". Con questa operazione si ottiene il valore di energia che deve essere fornito dai diversi blocchi (sottosistemi) di regolazione.
5. Calcolo del bilancio energetico dei blocchi (sottosistemi) classificati come "regolazione". Con questa operazione si ottiene il valore di energia che deve essere fornito dai diversi blocchi (sottosistemi) di distribuzione.
6. Calcolo del bilancio energetico dei blocchi (sottosistemi) classificati come "distribuzione". Con questa operazione si ottiene il valore di energia che deve essere fornito dai diversi blocchi (sottosistemi) di accumulo.
7. Calcolo del bilancio energetico dei blocchi (sottosistemi) classificati come "accumulo". Con questa operazione si ottiene il valore di energia che deve essere fornito dai diversi blocchi (sottosistemi) di generazione.
8. Calcolo del bilancio energetico dei blocchi (sottosistemi) classificati come "generazione". Con questa operazione si ottiene il valore del fabbisogno di energia termica dell'impianto.
9. Si sommano i fabbisogni di energia elettrica per il funzionamento degli ausiliari dei diversi sottosistemi.
10. Calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'impianto.

I punti da 4 a 9 devono essere eseguiti per le tre tipologie di servizio (riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria), se esso è erogato nel periodo di calcolo considerato.

Fabbisogni ideali di energia.

Il primo passo è la raccolta dei risultati della procedura di calcolo dei fabbisogni di energia ideali delle diverse zone termiche. Questi sono costituiti da:

- Fabbisogno di energia ideale per il riscaldamento
- Fabbisogno di energia ideale per il raffrescamento
- Fabbisogno di ACS

I valori dei fabbisogni ideali per il riscaldamento e il raffrescamento sono ricavabili, rispettivamente, dalle sezioni 3.1 e 3.2.

Si fa notare che al fabbisogno di energia ideale per il riscaldamento, secondo la norma UNI/TS 11300-2:2008, va sottratto il valore delle perdite recuperate dell'impianto di fornitura di ACS. Tale valore è determinabile attraverso l'equazione 33 della sezione 6.9.5 della suddetta norma.

Analogamente il fabbisogno di energia ideale per il raffrescamento va invece incrementato dalle perdite recuperate dell'impianto di fornitura di ACS, in quanto queste perdite di calore rappresentano un carico termico aggiuntivo per l'impianto di condizionamento.

Il fabbisogno di energia per la produzione di ACS è calcolato attraverso una delle seguenti procedure ordinate per livello di complessità e di accuratezza.

Costruzione del programma di utilizzo giornaliero dei prelievi di acqua calda.

Con questo metodo si determinano dei diagrammi orari giornalieri che indicano il numero di prelievi, la quantità d'acqua utilizzata, la temperatura di erogazione e l'energia associata agli usi di ACS. Per maggiori dettagli si rimanda alle norme UNI EN 15316-3-1:2008 e UNI EN 13203-2:2007.

Stima del volume d'acqua utilizzato.

Il metodo utilizzato dalla norma UNI/TS 11300-2:2008 è caratterizzato dalla valutazione del volume d'acqua utilizzato giornalmente e dalla temperatura di erogazione. Attraverso la seguente formula si valuta il fabbisogno di energia termica per riscaldare la quantità d'acqua alla temperatura desiderata:

$$Q_{h,w} = \rho \times c \times V_w \times (T_{er} - T_0) \times G \quad [Wh]$$

dove:

ρ è la massa volumica dell'acqua [kg/m³]

c è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg °C]

V_w è il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m³/G]

T_{er} è la temperatura di erogazione [°C]

T_0 è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [°C]

G è il numero dei giorni del periodo di calcolo

La temperatura di erogazione dell'acqua T_{er} è funzione dell'utenza. In riferimento alla UNI/TS 11300-2:2008, convenzionalmente ci si riferisce ad una temperatura di erogazione di 40°C e ad una temperatura di ingresso di 15°C. Il salto termico di riferimento è quindi di 25 K. Qualora l'ente erogatore o l'Amministrazione Comunale forniscano la temperatura di acquedotto media mensile, questo valore va utilizzato ai fini del calcolo.

Il volume di acqua calda sanitaria richiesto è determinato dalla destinazione d'uso dell'edificio secondo la formula:

$$V_w = \frac{V_{w,f,day} \times f}{1000} \quad [m^3 / G]$$

dove:

$V_{w,f,day}$ è il volume di ACS richiesto per unità specifica al giorno

f è l'unità specifica di riferimento che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio

I valori di $V_{w,f,day}$ e di f dipendono da:

- Tipo di edificio
- Tipo di attività svolta nell'edificio
- Livello di qualità dell'attività svolta nell'edificio (es., numero di stelle di un hotel)

Alcuni valori di riferimento per i parametri $V_{W,f,day}$ e f sono riportati nella norma UNI/TS 11300-2:2008, nei prospetti 12 e 13.

Accorgimenti per l'individuazione dei termini di bilancio e calcolo delle perdite di energia per i sottosistemi d'impianto.

Una volta determinati i fabbisogni ideali delle diverse zone termiche, si procede al calcolo del bilancio energetico dei diversi sottosistemi, coerentemente con la schematizzazione modulare costruita in precedenza.

L'obiettivo è quello di sommare ai fabbisogni ideali le perdite dei sottosistemi di emissione, controllo, distribuzione, accumulo e generazione: in questo modo è possibile determinare la quantità di energia in entrata alla totalità del sistema edificio-impianto.

La determinazione del valore dei singoli termini dell'equazione di bilancio deve essere effettuata preferibilmente sulla base dei dati e delle informazioni recuperabili secondo le procedure descritte nel capitolo 2, prestando comunque attenzione a salvaguardare l'economicità in termini di tempo e risorse delle operazioni di diagnosi. Qualora alcuni dati non fossero disponibili o se la loro rilevazione risultasse troppo impegnativa, si possono utilizzare i valori pre-calcolati forniti dalle normative e citati in questo rapporto.

Quando si utilizzano i valori di rendimento pre-calcolati forniti dai prospetti, non si considerano recuperi di energia (termica o elettrica).

In riferimento alla norma 11300-2:2008, per le valutazioni energetiche classificate come A3 "*Valutazione in condizioni effettive di utilizzo*" (per esempio nel caso di diagnosi energetiche) si riportano nel prospetto seguente i metodi da adottare per le valutazioni riguardanti gli impianti di climatizzazione e di produzione di ACS.

Valutazioni di calcolo per gli impianti di riscaldamento/raffrescamento

Sottosistema	
Emissione	Valori da normativa Metodologia riportata nelle sezioni 4.2.1 e 4.3.1
Regolazione	Valori da normativa Metodologia riportata nelle sezioni 4.2.2 e 4.3.2
Distribuzione	Metodo analitico adattato all'impianto reale Metodologia riportata nella sezione 4.2.3 e 4.3.3
Accumulo	Metodo analitico adattato all'impianto reale Metodologia riportata nelle sezioni 4.2.4 e 4.3.4
Generazione	Metodo analitico adattato all'impianto reale Metodologia riportata nelle sezioni 4.2.5 e 4.3.5

Valutazioni di calcolo per gli impianti di produzione di ACS

Sottosistema	
Erogazione	Valori da normativa Metodologia riportata nella sezione 4.4.1
Distribuzione	Metodo analitico adattato all'impianto reale Metodologia riportata nella sezione 4.4.2
Accumulo	Metodo analitico adattato all'impianto reale Metodologia riportata nella sezione 4.4.3
Generazione	Metodo analitico adattato all'impianto reale Metodologia riportata nella sezione 4.4.5

4.2 Impianto di climatizzazione per la stagione di riscaldamento

Il punto di partenza per l'analisi energetica degli impianti di riscaldamento è rappresentato dal fabbisogno di energia termica utile delle zone termiche, a cui vengono sommate le perdite dei diversi sottosistemi di emissione, regolazione, distribuzione, accumulo e generazione.

Il bilancio dei diversi blocchi (sottosistemi) deve essere effettuato sempre coerentemente alla schematizzazione modulare dell'impianto, secondo quanto riportato nella sezione 4.1.1.

Fabbisogno netto di energia.

Il fabbisogno ideale netto per il riscaldamento deve considerare le eventuali perdite recuperate dal sistema di acqua calda sanitaria secondo l'equazione:

$$Q'_H = Q_H - Q_{W,thr} \quad [Wh]$$

dove:

$Q_{W,thr}$ sono le perdite recuperate dal sistema dell'acqua calda sanitaria calcolate secondo la procedura descritta nella sezione 4.4.4.

4.2.1 Sottosistema di emissione

Il bilancio dei blocchi classificati come sottosistemi di emissione si basa sul valore del fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione e consente di ricavare l'energia termica utile che deve essere fornita dal sottosistema di regolazione.

Per questioni di semplicità ed economia delle operazioni di diagnosi energetica, la valutazione del bilancio termico dei sottosistemi di emissione viene effettuato sulla base di valori di riferimento pre-calcolati del rendimento termico di emissione riportati nei prospetti 17 e 18 della sezione 6.6.1 della norma UNI EN 11300-2:2008.

I consumi elettrici non sono considerati all'interno del rendimento termico e devono essere calcolati separatamente.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

Il consumo di energia elettrica per ausiliari è necessario per quei terminali d'impianto che utilizzano motori elettrici per migliorare il trasferimento di calore tra il fluido termovettore e l'ambiente climatizzato ed è calcolato secondo le equazioni 19 e 20 della sezione 6.7.1 della norma UNI/TS 11300-2:2008.

I valori di \dot{W}_{vn} (potenza elettrica nominale dell'ausiliare) devono essere preferibilmente rilevati durante le operazioni di sopralluogo basandosi sulle indicazioni fornite dai costruttori. Nel caso queste informazioni non fossero reperibili si possono usare i valori di riferimento riportati nel prospetto 25 della norma UNI/TS 11300-2:2008.

Tutti i consumi elettrici si considerano recuperati come energia termica utile in ambiente. Nel caso si utilizzino i valori pre-calcolati dei prospetti, il contributo è già incluso nei prospetti del rendimento di emissione.

Nel caso di sistemi ad aria calda le bocchette di immissione si considerano unità terminali prive di fabbisogni elettrici. Tali fabbisogni vengono considerati nel sottosistema di distribuzione e/o nel sottosistema di produzione, a seconda della configurazione del sistema.

4.2.2 Sottosistema di regolazione

La qualità della regolazione dipende dalle caratteristiche del sistema di controllo, dalla tipologia e dal posizionamento dei sensori e dalle caratteristiche dell'impianto di riscaldamento. Un buon sistema di controllo deve essere capace di sfruttare al meglio gli apporti gratuiti interni (per persone, apporti solari, apparecchiature) ed adattare "rapidamente" il punto di funzionamento dell'impianto.

Una regolazione non ideale causa scostamenti e oscillazioni più o meno ampi della temperatura dell'ambiente climatizzato intorno al valore di *set-point*. Può quindi verificarsi un aumento delle perdite attraverso la struttura dell'edificio rispetto al valore calcolato con l'ipotesi di una temperatura costante.

Per questioni di semplicità ed economia delle operazioni di diagnosi energetica la valutazione del bilancio termico dei sottosistemi di regolazione viene effettuato sulla base di valori di riferimento pre-calcolati del rendimento termico di emissione riportati nel prospetto 20 della sezione 6.6.2 della norma UNI EN 11300-2:2008.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

In riferimento alla sezione 6.7.2 della norma UNI EN 11300-2:2008 non si considerano fabbisogni elettrici.

4.2.3 Sottosistema di distribuzione

Il bilancio energetico e il calcolo delle perdite di distribuzione parte dall'individuazione della struttura della rete che costituisce il sottosistema.

Questa procedura può risultare semplice nel caso di piccoli impianti autonomi, mentre per sistemi complessi è richiesta una più dettagliata analisi del sottosistema di distribuzione.

In fase di costruzione del diagramma modulare d'impianto (sezione 4.1.1) è necessario individuare i circuiti che compongono il sottosistema di distribuzione ed applicare a ciascuno di

essi le procedure di bilancio energetico al fine di individuare perdite di energia termica (recuperabili e non) e i fabbisogni di energia elettrica per i dispositivi ausiliari.

Nei sistemi edificio-impianto più semplici si può avere un solo circuito mediante il quale il generatore di calore alimenta direttamente i terminali di erogazione. In sistemi di media complessità si può avere un circuito primario e più circuiti secondari. Infine nei casi più complessi si possono avere tre tipi di circuiti.

In riferimento alla norma UNI/TS 11300-2:2008 si prevede la seguente suddivisione della distribuzione:

- *Circuito primario*, nel quale sono inseriti il generatore (o i generatori) di calore e gli eventuali circuiti serviti dal circuito primario che alimentano circuiti secondari (distribuzione primaria).
- *Circuiti primari secondari*, costituiti dalla parte di rete che collega il circuito di generazione ai vari circuiti secondari di zona, ad esempio dalle colonne di risalita di edifici condominiali.
- *Circuiti secondari di zona*, costituiti dalla parte di rete che alimenta i terminali d'impianto di una zona termica. S'individua un circuito secondario per ogni zona termica.

Calcolo delle perdite di distribuzione – Sistemi con fluido termovettore ad acqua.

Per ogni blocco del diagramma modulare d'impianto classificato come "sottosistema di distribuzione con fluido termovettore ad acqua" si esegue il metodo di calcolo delle perdite e dei fabbisogni di energia elettrica per gli ausiliari secondo la procedura descritta dall'appendice A della UNI/TS 11300-2:2008.

Si eseguono i seguenti adattamenti:

1. La quantità denominata $Q_{d,out}$ corrisponde al flusso di energia utile in uscita dal blocco (sottosistema) analizzato. $Q_{d,out}$ corrisponde al flusso in entrata del blocco (sottosistema) di regolazione nel caso di reti di distribuzione *secondarie di zona*. Vale la formula seguente:

$$Q_{d,out} = Q_h' + Q_{l,e} + Q_{l,rg} \quad [Wh]$$

dove:

$Q_{d,out}$ è l'energia termica utile in uscita dal blocco (sottosistema) di distribuzione considerato

Q_h' è il fabbisogno ideale netto per il riscaldamento della zona termica considerata

$Q_{l,e}$ sono le perdite di emissione della zona termica considerata

$Q_{l,rg}$ sono le perdite di regolazione della zona termica considerata

Nel caso di reti di distribuzione primarie, la quantità $Q_{d,out}$ corrisponde ai fabbisogni delle reti secondarie servite:

$$Q_{d,out} = \sum_i Q_{d,in,i}$$

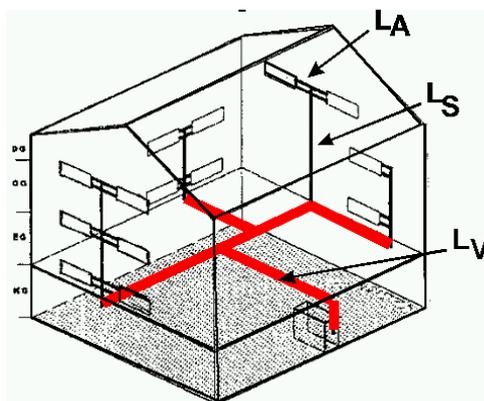
dove:

$Q_{d,in,i}$ sono i fabbisogni di energia termica in ingresso dei blocchi (sottosistemi) di distribuzione secondaria serviti dal blocco (sottosistema) di distribuzione primaria considerato

2. La lunghezza delle tubazioni L_i (comprendente mandata e ritorno) non è un dato facilmente misurabile, si deve comunque cercare di ottenere una misura quanto più precisa in base a considerazioni fatte durante le operazioni di sopralluogo.

Quando non sia in nessun modo possibile compiere una misurazione in loco, si può ricorrere ad una valutazione approssimata dipendente dalle dimensioni della struttura edilizia o della zona termica considerata.

In base alla procedura semplificata descritta nell'appendice A della norma UNI EN 15316-2-3:2007 è possibile approssimare la lunghezza delle tubazioni basandosi sulla lunghezza (L_L) e larghezza (L_W), l'altezza (h_{lev}) e il numero di piani (N_{lev}) dell'edificio considerato.



Per maggiore chiarezza:

L_V è la lunghezza delle tubazioni primarie che collegano i sistemi di generazione ai circuiti primari secondari. Di solito sono a disposizione orizzontale e possono attraversare ambienti non climatizzati (seminterrati);

L_S è la lunghezza delle tubazioni primarie secondarie (colonne di risalita). Di solito sono a disposizione verticale e possono essere posizionate sia all'interno di ambienti climatizzati, oppure all'interno di pareti esterne;

L_A è la lunghezza delle tubazioni dei circuiti secondari di zona. Il circuito collega la distribuzione primaria secondaria ai dispositivi di emissione.

Le equazioni per il calcolo delle lunghezze sopra descritte sono riportate nelle tabelle A.4 e A.5 della sezione A.3.3 della norma UNI EN 15316-2-3:2007.

3. La temperatura media dell'acqua $T_{w,avg}$ nel circuito durante il periodo di calcolo è determinata come segue:

nel caso di reti secondarie, a servizio di una sola tipologia di terminale, la temperatura media dell'acqua è in funzione del fattore di carico e del tipo di terminali serviti:

$$T_{w,avg} = \Delta T_{e,des} \times FC_{u,e}^{1/n} + T_a$$

dove:

$\Delta T_{e,des}$ è la differenza di temperatura di progetto dei terminali

FC è il fattore di carico nel periodo considerato

T_a è la temperatura ambiente di progetto di zona

$FC = \frac{Q_{d,out}}{\Phi_{e,des} \times t_H}$ è il fattore di carico della distribuzione nel periodo considerato

$Q_{d,out}$ è l'energia in uscita dal blocco (sottosistema) di distribuzione

$\Phi_{e,des}$ è la potenza termica di progetto delle unità terminali servite dal sottosistema di distribuzione.

t_H è il tempo di attivazione dell'impianto nel periodo di calcolo considerato

n è l'esponente della curva caratteristica dei terminali di erogazione determinati secondo le norme vigenti (UNI EN 442-2; UNI EN 1264-2 ; UNI EN 14037). In riferimento all'errata corrige EC 1-2010 della UNI/TS 11300-2:2008, i valori dell'esponente n sono riportati nel seguente prospetto:

Tipo terminale	di	n
Radiatori		1,30
Termoconvettori		1,50
Ventilconvettori		1,00
Pannelli radianti.		1,10

Nel caso di reti che servono diverse tipologie di terminali il valore $T_{w,avg}$ è calcolato come la media pesata sulle portate delle temperature medie calcolate per ogni tipologia di terminale.

Nel caso di reti primarie la temperatura media dell'acqua è calcolata come la media pesata sulle portate delle temperature medie delle reti secondarie servite.

Per maggiori dettagli sul calcolo della temperatura media di una rete di distribuzione si rimanda alla sezione 8 della normativa UNI EN 15316-2-3:2007 nella quale sono descritte le metodologie per la valutazione di $T_{w,avg}$ a seconda del tipo di regolazione ed alla presenza di valvole miscelatrici, dispositivi di by-pass, ecc.

- Il valore calcolato a fine procedura indicato nella norma 11300-2:2010 come $Q_{d,in}$ non corrisponde necessariamente alla quantità di calore richiesto dalla generazione, ma coerentemente con i flussi energetici del diagramma modulare costruito per l'impianto analizzato può essere l'output di un altro blocco (sottosistema) di distribuzione.

Calcolo delle perdite di distribuzione – Sistemi con fluido termovettore ad aria.

Per ogni blocco del diagramma modulare d'impianto classificato come "sottosistema di distribuzione con fluido termovettore ad aria" si esegue il metodo di calcolo delle perdite e dei

fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari secondo la procedura descritta dall'appendice A della UNI/TS 11300-3:2010.

Le perdite sono date dalla somma delle perdite termiche per trasmissione e le perdite di massa (trafilamenti) dalle canalizzazioni.

Si eseguono i seguenti adattamenti:

1. L'equazione A.3 viene sostituita dalla seguente:

$$Q_{l,d} = U' \times (T_{int,d}(F_k) - T_{e,k}) \times D_d \times h_k$$

I termini hanno lo stesso significato indicato nella norma.

2. La lunghezza dei canali dell'aria deve essere determinata o stimata nelle operazioni di sopralluogo. A differenza degli impianti ad acqua, per le canalizzazioni ad aria non esistono procedure semplificate in normativa.

Perdite termiche recuperate.

Le perdite termiche di una tubazione posta all'esterno del volume riscaldato sono completamente perse. Se, però, la tubazione si trova all'interno del volume riscaldato, le perdite sono considerate totalmente recuperate.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

Per ogni blocco (sottosistema) di distribuzione, se dotato di elettropompa o elettroventilatore, bisogna calcolare il relativo fabbisogno di energia elettrica.

Per gli impianti ad acqua si rimanda alla metodologia per la determinazione del fabbisogno di energia elettrica per elettropompe presentata nella sezione 6.7.3 della norma UNI/TS 11300-2:2008. Il calcolo richiede la conoscenza del valore della prevalenza H_{idr} . Qualora questo dato non fosse ricavabile dalla documentazione di progetto si può stimare attraverso la procedura semplificata proposta nella sezione A.1.2.2 della norma UNI EN 15316-2-3:2007.

Per gli impianti ad aria, se il valore della prevalenza aeraulica è ricavabile dalla documentazione di progetto, si utilizza la metodologia per la determinazione del fabbisogno di energia elettrica per la distribuzione presentata nella sezione 6.7.3 della norma UNI/TS 11300-2:2008. In alternativa si può utilizzare l'equazione 13 della sezione 5.4.3 della norma UNI/TS 11300-3:2010 utilizzando come F_k il valore del coefficiente di carico medio della CTA.

Per quanto riguarda gli elettrocircolatori posti all'interno dei dispositivi di generazione (ad esempio delle caldaie), essi vengono comunque considerati come ausiliari di distribuzione. Si applica quindi la metodologia appena descritta.

Recupero di energia dagli ausiliari di distribuzione.

Una parte dell'energia elettrica necessaria alle elettropompe e agli elettroventilatori viene dissipata in energia termica riducendo il fabbisogno della distribuzione.

Per quanto riguarda i sistemi di distribuzione ad acqua la norma UNI/TS 11300-2:2008 prevede che una quota pari all' 85% dell'energia assorbita dall'elettrocircolatore sia recuperata.

Per quanto riguarda i sistemi di distribuzione ad aria si suppone che l'energia elettrica dissipata in calore sia totalmente recuperata se il motore elettrico è posizionato all'interno della

canalizzazione ed è quindi investito dall'aria trattata. Se il motore si trova all'esterno, tali perdite sono considerate non recuperabili.

Nota: una metodologia per il calcolo semplificato delle prevalenze richieste nella distribuzione, la valutazione degli incrementi di temperatura subita dall'aria durante l'attraversamento della girante, l'influenza dello stato di manutenzione dei filtri negli impianti aeraulici e la stima delle perdite recuperate dai motori elettrici sono tutti argomenti che meritano futuro approfondimento, vista l'importanza che rivestono e la mancanza di normativa tecnica dedicata.

4.2.4 Sottosistema di accumulo

L'impianto di riscaldamento ad acqua può essere dotato di un serbatoio di accumulo. In questo caso il bilancio dei blocchi (sottosistemi) classificati come "accumuli" viene effettuato attraverso la determinazione delle perdite termiche di accumulo come descritto nella sezione 6.9.3 della norma UNI/TS 11300-2:2008.

Sebbene la sezione si riferisca all'acqua calda sanitaria, in accordo a quanto riportato nella sezione 6.6.4, l'equazione 31 è utilizzabile anche per l'acqua di riscaldamento.

Calcolo delle perdite di accumulo.

Secondo la norma UNI/TS 11300-2:2008 le perdite del circuito di collegamento accumulatore-generatore si considerano nei casi riportati nella sezione 6.9.4, vale a dire:

- Distanza tra serbatoio e generatore ≤ 5 m e tubazioni di collegamento non isolate. Le perdite per la distribuzione devono essere calcolate secondo il metodo riportato nell'appendice A utilizzando appropriate temperature dell'acqua nel circuito primario.
- Distanza tra serbatoio e generatore > 5 m.

Perdite termiche recuperate.

Le perdite di accumulo si considerano totalmente recuperate durante il periodo di riscaldamento, se l'accumulatore è installato in un ambiente riscaldato. Si considerano invece non recuperabili durante il periodo nel quale il riscaldamento è inattivo (estate).

4.2.5 Sottosistema di generazione

La valutazione energetica dei blocchi (sottosistemi) classificati come generazione è un'operazione complessa, vista la molteplicità delle soluzioni impiantistiche e dei fenomeni fisici da considerare ed analizzare.

In questo documento si sono presentate le metodologie di analisi delle tre tipologie più comuni di sottosistemi di generazione: caldaie a combustione, pompe di calore e centrali di trattamento aria.

Viene anche presentata la metodologia da seguire nei casi di più tipologie di generazione integrati tra loro (sottosistemi multipli) e nel caso di servizio combinato di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (sottosistemi misti).

Sottosistemi multipli.

In riferimento alla normativa UNI/TS 11300-2:2008, si definiscono sottosistemi multipli i sottosistemi di generazione formati da più dispositivi di generazione adibiti a servire un unico sottosistema di distribuzione.

Se sono presenti più blocchi (sottosistemi) di generazione il carico può essere distribuito in modi diversi a seconda del tipo di generazione. Si considerano:

- Sistemi con ripartizione uniforme del carico (senza priorità).
- Sistemi con regolazione di cascata e ripartizione del carico con priorità.

Nel primo caso tutti i generatori sono contemporaneamente in funzione e il fattore di carico FC_u del singolo blocco (sottosistema) è lo stesso per tutti i dispositivi:

$$FC_u = \frac{\Phi_{gn,out}}{\sum \Phi_{gn,Pn}}$$

dove:

$\Phi_{gn,out} = \frac{Q_{d,in}}{t_H}$ è la potenza termica media utile da fornire al blocco (sottosistema) di

distribuzione primario a cui sono collegati i diversi generatori

$Q_{d,in}$ è il fabbisogno energia termica richiesta dal blocco (sottosistema) di distribuzione primario nel periodo di calcolo

t_H sono le ore di accensione dell'impianto nel periodo di calcolo

$\Phi_{gn,Pn}$ è la potenza termica nominale del singolo generatore

Nel secondo caso i generatori a più alta priorità funzionano per primi. Un generatore successivo nell'elenco di priorità funziona solo se i generatori precedenti funzionano a pieno carico ($FC_u = 1$)

Il fattore di carico per il generatore a funzionamento intermittente si calcola attraverso la formula:

$$FC_{u,j} = \frac{(\Phi_{gn,out} - \sum \Phi_{gn,Pn,j})}{\sum \Phi_{gn,Pn}}$$

dove:

$\Phi_{gn,Pn,j}$ è la potenza nominale dei generatori a priorità superiore

Nel caso d'impianti alimentati anche da fonti rinnovabili (solare, biomasse) o da altri sistemi di generazione (pompe di calore, cogenerazione, teleriscaldamento) a essi si attribuisce la priorità per soddisfare il fabbisogno di energia termica utile dell'impianto, mentre alla generazione tradizionale con combustibili fossili si attribuisce una funzione d'integrazione.

Sottosistemi misti.

In riferimento alla normativa UNI/TS 11300-2:2008, si definiscono sottosistemi misti i sottosistemi di generazione adibiti al servizio di riscaldamento e di produzione di ACS. Si considerano due periodi di funzionamento:

- Il periodo di attivazione del riscaldamento durante il quale si ha il servizio misto.
- Il periodo di non attivazione del riscaldamento durante il quale si ha solo il servizio di ACS.

Durante il primo periodo la quantità di energia fornita dai blocchi (sottosistemi) di generazione deve essere pari al fabbisogno di energia dei blocchi (sottosistemi) rappresentativi dei circuiti di distribuzione primaria di acqua per il riscaldamento e per ACS:

$$Q_{gn,out} = Q_{d,H,in} + Q_{d,W,in} \quad [Wh]$$

Durante il secondo periodo si ha solo richiesta di ACS, per cui:

$$Q_{gn,out} = Q_{d,W,in} \quad [Wh]$$

4.2.5.1 *Generatori tradizionali a combustione*

In generale le perdite di generazione sono determinate dalle caratteristiche del generatore, ma anche dalle modalità di accoppiamento con l'impianto e in particolare dal suo dimensionamento rispetto al fabbisogno dell'edificio (fattore di carico), dalle modalità di installazione e dalla temperatura dell'acqua (mandata, ritorno) nelle condizioni di esercizio.

La procedura per il calcolo del bilancio per i generatori a combustibili gassosi o liquidi sono descritti nell'appendice B della norma UNI/TS 11300-2:2008. La normativa descrive due metodi di calcolo:

1. Metodo basato sui dati dei generatori di calore dichiarati secondo la Direttiva 92/42/CEE.
2. Metodo analitico basato su dati forniti dai costruttori o rilevati in campo.

In riferimento alla suddetta norma, il metodo 1 si applica nei casi di generatori di calore per i quali i dati siano dichiarati dal fabbricante ai sensi della Direttiva 92/42/CEE. Questo metodo è il più comune per i generatori certificati.

Il metodo 2 può essere basato su valori di prova, dati rilevati in campo o pre-calcolati forniti dalla normativa. Questo metodo si applica per dispositivi di generazione di costruzione antecedente alla Direttiva 92/42/CEE o per valutare l'effetto delle condizioni reali di esercizio in generatori a condensazione. Si rimanda alla sezione B.3 della norma UNI/TS 11300-2:2008 per maggiori dettagli.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

I consumi di energia elettrica per il funzionamento degli ausiliari del sottosistema di generazione devono essere determinati per ogni dispositivo presente a partire dal fattore di carico FC del generatore e dalla sua potenza elettrica nominale $W_{el,aux}$. Quest'ultimo valore può essere:

- letto nei dati di targa fornito dal costruttore;

- misurato nelle fasi di sopralluogo.
- calcolato.

Le procedure di calcolo sono riportate nella normativa UNI/TS 11300-2:2008: si rimanda alla sezione B.2.8 per i generatori di calore dichiarati secondo la Direttiva 92/42/CEE e alla sezione B.3.4 per il metodo analitico.

4.2.5.2 *Pompe di calore*

L'analisi energetica dei blocchi (sottosistemi) di generazione costituiti da pompe di calore deve consentire il calcolo dei seguenti flussi energetici:

1. Energia termica utile fornita al sistema di accumulo, se presente, o di distribuzione dalla pompa di calore nel periodo di calcolo considerato.
2. Energia termica utile fornita al sistema di accumulo, se presente, o di distribuzione a carico di sistemi di generazione d'integrazione.
3. COP (Coefficient Of Performance) o GUE (Gas Utilization Efficiency) medio nel periodo di calcolo considerato.
4. Fabbisogno di energia (elettrica o termica) in ingresso al sistema.
5. Energia elettrica per il funzionamento degli ausiliari.

La presente sezione è basata sulla metodologia proposta nella norma UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) ed è valida per le pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore elettrico e per pompe di calore ad assorbimento. Non si considerano le pompe di calore a compressione di vapore azionate da motori endotermici.

Classificazione e periodo di calcolo.

Ai fini dell'analisi energetica la classificazione delle pompe di calore è eseguita a seconda della natura della sorgente fredda. Questa infatti modifica gli intervalli di calcolo del bilancio energetico, in quanto, come è noto, le prestazioni delle pompe di calore sono fortemente influenzate dalla temperatura della sorgente calda e della sorgente fredda.

Nel caso che un'unica coppia di temperature medie (calda e fredda) riferita all'intero intervallo di calcolo non sia sufficiente ad effettuare una valutazione corretta, si procede alla suddivisione del periodo di calcolo standard (mese) in intervalli più brevi denominati "bin".

Ciascun bin, in accordo con la norma UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) è definito da un intervallo di temperatura di ampiezza 1 K ed è identificato dalla temperatura T_{bin} .

Il "bin" indica il numero di ore del mese di riferimento con temperatura compresa nell'intervallo di definizione del bin stesso. Ad esempio nel caso di sorgente fredda costituita da aria esterna, la simbologia $t_{20,6} = 20 \text{ h}$ indica che nel mese di Giugno (mese 6), la temperatura dell'aria esterna è compresa per 20 ore fra 19,5 e 20,5 °C.

Nel prospetto seguente sono indicati gli intervalli di calcolo da utilizzare per la valutazione energetica delle pompe di calore secondo la norma UNI/TS 11300-4:

Tipologia di sorgente fredda	
Aria esterna	Bin mensili
Aria interna (recupero) dipendente dalle condizioni climatiche esterna	Bin mensili
Aria interna (recupero) indipendente dalle condizioni climatiche esterne	Mese
Terreno/roccia	Mese
Acqua di mare/fiume/lago	Mese
Acqua di risulta e liquami di processi tecnologici	Mese
Liquami urbani	Mese

Determinazione dei bin.

In base alle considerazioni fatte nel paragrafo precedente, si può concludere che nel periodo di calcolo considerato (mese) l'eventuale applicazione del metodo basato sui "bin" è necessario solo per la temperatura esterna, in quanto per la temperatura al condensatore (pozzo caldo) si assume un unico valore medio, determinato dalla tipologia della sorgente.

I bin mensili si determinano a partire dai dati climatici reali, se disponibili, oppure secondo l'appendice G della UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Temperatura della sorgente fredda.

La temperatura dipende dal tipo di sorgente fredda considerata:

- **Aria:** nel caso di aria esterna o aria interna di recupero si adotta la temperatura del bin corrispondente. Limitatamente a pompe di calore destinate alla sola produzione di ACS posizionate all'interno dell'ambiente climatizzato si assume la temperatura della sorgente fredda pari alla temperatura dell'aria interna.
- **Acqua, terreno e roccia:** per queste tipologie di sorgenti fredde non bisogna ricorrere ai bin, ma è sufficiente il valore medio mensile. Sono da preferirsi i dati di progetto o rilevati in loco.

Per sonde a sviluppo orizzontale, in mancanza di tali informazioni, si può assumere in prima approssimazione un valore costante di temperatura pari alla media annua della temperatura dell'aria esterna. Per informazioni aggiuntive, si rimanda alle norme UNI EN ISO 13370:2008 e UNI EN 15450:2008.

Temperatura della sorgente calda.

La temperatura del pozzo caldo coincide con la temperatura di produzione di acqua calda sanitaria o per riscaldamento degli ambienti nel caso di condensatore ad espansione diretta.

Nel caso di sistemi con fluido termovettore acqua, per ciascun bin si determina la temperatura media del blocco (sottosistema) di distribuzione secondo quanto specificato nella sezione 4.2.3. La temperatura del pozzo caldo è assunta pari alla temperatura media di distribuzione primaria, in quanto corrispondente alla temperatura media del fluido termovettore tra ingresso ed uscita al condensatore.

Nel caso di sistemi con fluido termovettore aria, qualora la pompa di calore tratti direttamente l'aria di ventilazione, si assume la temperatura dell'aria esterna in base al bin in esame. Nel caso di recupero termico, si assume la temperatura di ciascun bin del mese tenendo conto del rendimento del recuperatore.

Procedura di calcolo del bilancio energetico per la pompa di calore di tipo elettrico.

Una volta determinate le condizioni a contorno (temperatura del pozzo caldo, temperatura del pozzo freddo) e del periodo di calcolo di riferimento (bin o mesi), si procede con il calcolo del fabbisogno di energia per il blocco (sottosistema) rappresentativo della pompa di calore. La procedura comprende i seguenti punti:

1. Determinazione dei fabbisogni di energia del sistema di accumulo (se presente) e delle reti di distribuzioni primarie servite dalla pompa di calore. In caso di presenza di più generatori, anche di tipo classico a combustione, si procede alla ripartizione del carico come illustrato nella sezione 4.2.5 (sottosistemi multipli). Analogamente si procede al calcolo dei fabbisogni totali nel caso di pompe di calore a servizio sia del riscaldamento, sia della produzione di ACS (sottosistemi misti), la procedura è illustrata nella sezione 4.2.5.
2. Se ci si riferisce al periodo di tempo dei bin è necessario effettuare una ripartizione dell'energia richiesta mensile $Q_{gn,out}$ nei diversi sottoperiodi. La procedura si effettua come segue:

- a. Si calcolano i *gradi/ora* $GH_{bin,mese}$ con riferimento alla durata totale di attivazione dell'impianto e scartando i bin a temperatura maggiore di progetto dell'aria interna $T_{a,des}$:

$$GH_{bin,mese} = t_{bin,mese} \times (T_{a,des} - T_{bin})$$

dove

$t_{bin,mese}$ sono le ore del bin nel mese considerato.

- b. Si calcola l'energia richiesta all'uscita della pompa di calore per ciascun bin come:

$$Q_{hp,out,bin} = Q_{hp,out} \times \frac{GH_{bin,mese}}{\sum GH_{bin,mese}}$$

3. Per ogni periodo di calcolo si determina il fattore di carico della pompa di calore. In accordo con la simbologia della norma UN/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) si utilizzerà l'espressione CR (Capacity Ratio). Nel caso di periodo basato sui bin esso è definito come:

$$CR = \frac{Q_{hp,out,bin}}{t_{H,bin} \times \Phi_{hp,bin,max}}$$

Nel caso di periodo di calcolo mensile:

$$CR = \frac{Q_{hp,out}}{t_H \times \Phi_{hp,max}}$$

dove:

$t_{H,bin}$ e t_H sono le ore di accensione della pompa di calore all'interno del bin o rispettivamente nel mese considerato

$Q_{hp,out,bin}$ e $Q_{hp,out}$ rappresentano l'energia richiesta in uscita dalla pompa di calore nel bin o nel mese considerato.

$\Phi_{hp,bin,max}$ e $\Phi_{hp,max}$ è la potenza massima erogabile dalla pompa di calore nel bin o nel mese considerato. Questo valore dipende dalle temperature delle sorgenti calda e fredda ed è calcolato come:

$$\Phi_{hp,bin,max} = COP_{max,bin} \times W_{el,max}$$

$$\Phi_{hp,mese,max} = COP_{max,mese} \times W_{el,max}$$

La procedura per il calcolo del COP_{max} in funzione delle temperature delle sorgenti calda e fredda è illustrata nel paragrafo seguente.

4. Si calcola il valore del COP nelle condizioni di funzionamento a seconda del valore di CR . La metodologia è illustrata nei paragrafi seguenti.
5. Si calcola il fabbisogno di energia elettrica della pompa di calore $Q_{hp,el,in}$ nel periodo di tempo considerato come:

$$Q_{hp,bin,el,in} = \frac{Q_{hp,out,bin}}{COP_{bin}} [Wh]$$

o:

$$Q_{hp,el,in} = \frac{Q_{hp,out,bin}}{COP_{mese}} [Wh]$$

6. Si calcola il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari nel periodo di tempo considerato.
7. Dati i consumi elettrici totali (compressore e ausiliari), si calcola il fabbisogno di energia primaria utilizzando il fattore di conversione dell'energia elettrica $f_{P,el}$.

Correzione del COP nominale per prestazione a pieno carico al variare delle temperature delle sorgenti calda e fredda – Determinazione del COPmax.

A partire dai dati forniti dal fabbricante nelle condizioni climatiche di riferimento definite dal progetto di norma europea prEN14825:2010, si esegue una doppia interpolazione basata sulla metodologia proposta dalla UN/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Si definisce il COP_{max} come il massimo teorico, secondo la formula:

$$COP_{max} = \frac{(T_c + 273,15)}{T_c - T_f}$$

dove:

T_c è la temperatura del pozzo caldo (temperatura media al condensatore) [°C]
 T_f è la temperatura del pozzo freddo (temperatura media all'evaporatore) [°C]

Si definisce rendimento di secondo principio da COP della pompa di calore:

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{max}} = COP \times \frac{T_c - T_f}{(T_c + 273,15)}$$

Per interpolare il valore del COP a pieno carico della pompa di calore funzionante tra due temperature generiche $T_{c,x}$ e $T_{f,x}$ si procede ad una doppia interpolazione a partire da una coppia di valori per la temperatura di sorgente calda $T_{c,1}$ e $T_{c,2}$ e da una coppia di valori per la temperatura di sorgente fredda $T_{f,1}$ e $T_{f,2}$.

$$\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,1}) = \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,1}) + \frac{\eta_{II}(T_{c,2}/T_{f,1}) - \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,1})}{(T_{c,2} - T_{c,1})} \times (T_{c,x} - T_{c,1})$$

$$\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,2}) = \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,2}) + \frac{\eta_{II}(T_{c,2}/T_{f,2}) - \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,2})}{(T_{c,2} - T_{c,1})} \times (T_{c,x} - T_{c,1})$$

Il passo successivo:

$$\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,x}) = \eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,1}) + \frac{\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,2}) - \eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,1})}{(T_{f,2} - T_{f,1})} \times (T_{f,x} - T_{f,1})$$

Si riporta di seguito un esempio.

Si supponga di avere a disposizione le informazioni sulla macchina riportate nella tabella seguente e di voler calcolare il valore del COP per i valori $T_{c,x} = 40$ [°C] e $T_f = 5$ [°C].

		T_c	
		35°C	45°C
T_f	2 °C	3	2,5
	7 °C	3,5	2,8

1. Si procede al calcolo del COP_{max} e del rendimento di secondo principio η_{II} .

Valori del COP_{max}

		T_c	
		35°C	45°C
T_f	2 °C	9,34	7,40
	7 °C	11,0	8,37

		Valori del η_{II}	
		T_c	
T_f		35°C	45°C
		2 °C	0,321
7 °C	0,318	0,334	

2. Si interpolano i valori di η_{II} a partire dalla T_c , tenendo fissi il valore di T_f .

$$\eta_{II}(40/2) = \eta_{II}(35/2) + \frac{\eta_{II}(45/2) - \eta_{II}(35/2)}{(45 - 35)} \times (40 - 35) = 0,330$$

$$\eta_{II}(40/7) = \eta_{II}(35/7) + \frac{\eta_{II}(45/7) - \eta_{II}(35/7)}{(45 - 35)} \times (40 - 35) = 0,326$$

3. Si interpolano i valori di η_{II} calcolati al punto precedente in base al valore della T_f

$$\eta_{II}(40/5) = \eta_{II}(40/2) + \frac{\eta_{II}(40/7) - \eta_{II}(40/2)}{(7 - 2)} \times (5 - 2) = 0,328$$

Procedura di calcolo del bilancio energetico per la pompa di calore ad assorbimento.

Le operazioni da eseguire nel caso di pompa di calore ad assorbimento sono analoghe a quelle elettriche con alcune modifiche.

S'inizia dalla determinazione delle condizioni a contorno (temperatura del pozzo caldo, temperatura del pozzo freddo) e del periodo di calcolo di riferimento (bin o mesi), si procede quindi con il calcolo del fabbisogno di energia per il blocco (sottosistema) rappresentativo della pompa di calore. La procedura comprende i seguenti punti:

1. Determinazione dei fabbisogni di energia del sistema di accumulo (se presente) e delle reti di distribuzioni primarie servite dalla pompa di calore. In caso di presenza di più generatori, anche di tipo classico a combustione, si procede alla ripartizione del carico come illustrato nella sezione 4.2.5 (sottosistemi multipli). Analogamente si procede al calcolo dei fabbisogni totali nel caso di pompe di calore a servizio sia del riscaldamento, sia della produzione di ACS (sottosistemi misti), la procedura è illustrata nella sezione 4.2.5.
2. Se ci si riferisce al periodo di tempo dei bin è necessario effettuare una ripartizione dell'energia richiesta mensile $Q_{gn,out}$ nei diversi sottoperiodi. La procedura si effettua come segue:
 - a. Si calcolano i *gradi/ora* $GH_{bin,mese}$ con riferimento alla durata totale di attivazione dell'impianto e scartando i bin a temperatura maggiore di progetto dell'aria interna $T_{a,des}$:

$$GH_{bin,mese} = t_{bin,mese} \times (T_{a,des} - T_{bin})$$

dove:

$t_{bin,mese}$ sono le ore del bin nel mese considerato.

- b. Si calcola l'energia richiesta all'uscita della pompa di calore per ciascun bin come:

$$Q_{hp,out,bin} = Q_{hp,out} \times \frac{GH_{bin,mese}}{\sum GH_{bin,mese}}$$

3. Per ogni periodo di calcolo si determina il fattore di carico della pompa di calore. In accordo con la simbologia della norma UN/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) si utilizzerà l'espressione CR (Capacity Ratio). Nel caso di periodo basato sui bin esso è definito come:

$$CR = \frac{Q_{hp,out,bin}}{t_{H,bin} \times \Phi_{hp,bin,max}}$$

Nel caso di periodo di calcolo mensile:

$$CR = \frac{Q_{hp,out}}{t_H \times \Phi_{hp,max}}$$

dove:

$t_{H,bin}$ e t_H sono le ore di accensione della pompa di calore all'interno del bin o rispettivamente nel mese considerato

$Q_{hp,out,bin}$ e $Q_{hp,out}$ rappresentano l'energia richiesta in uscita dalla pompa di calore nel bin o nel mese considerato.

$\Phi_{hp,bin,max}$ e $\Phi_{hp,max}$ è la potenza massima erogabile dalla pompa di calore nel bin o nel mese considerato. Questo valore dipende dalle temperature delle sorgenti calda e fredda ed è calcolato come:

$$\begin{aligned} \Phi_{hp,bin,max} &= GUE_{max,bin} \times \Phi_{burn,max} \\ \Phi_{hp,mese,max} &= GUE_{max,mese} \times \Phi_{burn,max} \end{aligned}$$

dove:

$\Phi_{burn,max}$ è la potenza termica massima del bruciatore.

La procedura per il calcolo del GUE_{max} in funzione delle temperature delle sorgenti calda e fredda, analoga a quella precedentemente illustrata per il COP_{max} , verrà descritta nel paragrafo seguente. Si procede con una doppia interpolazione del

rendimento di secondo principio delle macchine ad assorbimento dipendente dai valori delle temperature delle sorgenti.

4. Si calcola il valore del GUE nelle condizioni di funzionamento a seconda del valore di CR . La metodologia è illustrata nei paragrafi seguenti.

5. Si calcola il fabbisogno di energia termica al generatore della pompa di calore $Q_{hp,gen,in}$ nel periodo di tempo considerato come:

$$Q_{hp,bin,gen,in} = \frac{Q_{hp,out,bin}}{GUE_{bin}} \quad [Wh]$$

o:

$$Q_{hp,gen,in} = \frac{Q_{hp,out,bin}}{GUE_{mese}} \quad [Wh]$$

6. Si calcola il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari nel periodo di tempo considerato.

7. Per il calcolo del fabbisogno di energia primaria si utilizza l'equazione proposta nella sezione 4.1.2 considerando:

$$Q_{hp,gen,in} = Q_{H,c,i}$$

Correzione del GUE nominale per prestazione a pieno carico al variare delle temperature delle sorgenti calda e fredda – Determinazione del GUE_{max}.

A partire dai dati forniti dal fabbricante nelle condizioni di riferimento definite dalla norma UNI EN 12309-2:2002, si esegue una doppia interpolazione basata sulla metodologia proposta dalla UN/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Si definisce il GUE_{max} come il massimo teorico, secondo la formula:

$$GUE_{max} = \frac{(T_c + 273,15) \times (T_{gen} - T_f)}{(T_{gen} + 273,15) \times (T_c - T_f)}$$

dove:

T_{gen} è la temperatura del generatore della pompa di calore ad assorbimento [°C]

T_c è la temperatura del pozzo caldo (temperatura media al condensatore) [°C]

T_f è la temperatura del pozzo freddo (temperatura media all'evaporatore) [°C]

Si definisce rendimento di secondo principio da COP della pompa di calore:

$$\eta_{II} = \frac{GUE}{GUE_{max}}$$

Per interpolare il valore del GUE a pieno carico della pompa di calore funzionante tra due temperature generiche $T_{c,x}$ e $T_{f,x}$ si procede ad una doppia interpolazione a partire da una

coppia di valori per la temperatura di sorgente calda $T_{c,1}$ e $T_{c,2}$ e da una coppia di valori per la temperatura di sorgente fredda $T_{f,1}$ e $T_{f,2}$.

$$\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,1}) = \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,1}) + \frac{\eta_{II}(T_{c,2}/T_{f,1}) - \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,2})}{(T_{c,2} - T_{c,1})} \times (T_{c,x} - T_{c,1})$$

$$\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,2}) = \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,2}) + \frac{\eta_{II}(T_{c,2}/T_{f,2}) - \eta_{II}(T_{c,1}/T_{f,2})}{(T_{c,2} - T_{c,1})} \times (T_{c,x} - T_{c,1})$$

Il passo successivo:

$$\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,x}) = \eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,1}) + \frac{\eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,2}) - \eta_{II}(T_{c,x}/T_{f,1})}{(T_{f,2} - T_{f,1})} \times (T_{f,x} - T_{f,1})$$

Correzione del COP a pieno carico in funzione del fattore di carico della pompa di calore – Determinazione del COP.

Le pompe di calore (elettriche od ad assorbimento) non modulabili operano passando ciclicamente da una condizione di accensione ad una di stand-by (o spegnimento). Questo può causare una riduzione del COP o del GUE.

Invece per le macchine modulabili, ad esempio con inverter per il controllo della potenza del compressore o con bruciatore a modulazione di fiamma per i dispositivi ad assorbimento, può addirittura verificarsi un incremento del COP o del GUE durante il funzionamento a carico parziale.

In ogni caso, in presenza di un dimensionamento adeguato della macchina, le perdite dovute al ciclo ON/OFF sono piccole. In accordo con la norma UNI EN 15316-4-2:2008, esse possono essere trascurate ai fini del calcolo a meno di disporre di valori di test a carico ridotto da interpolare (in analogia alla metodologia per le macchine frigo).

In alternativa si possono utilizzare i metodi proposti dalla UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) nella sezione 9.4.4.

Ausiliari elettrici.

A seconda delle dimensioni e della tipologia della pompa di calore, il consumo energetico degli ausiliari possono essere inclusi nei flussi energetici della macchina principale, oppure devono essere valutati a parte. In particolare per gli ausiliari esterni devono essere considerati:

- gli ausiliari come eventuali elettropompe primarie per la distribuzione se installate all'interno della pompa di calore;
- gli ausiliari per la captazione di energia dalla sorgente fredda.

L'estrazione dell'energia dalla sorgente fredda può infatti essere realizzata con i dispositivi interni alla pompa di calore (unità *split*) oppure con circuiti di estrazione esterni dotati di propri ausiliari elettrici (pompe geotermiche).

Nel primo caso i fabbisogni di energia elettrica per ausiliari sono generalmente compresi nel COP. Bisogna però prestare attenzione ai ventilatori ausiliari posizionati negli evaporatori e nei condensatori: se questi consumi non dovessero essere considerati all'interno del COP

bisogna valutarli a parte seguendo una metodologia analoga a quella degli ausiliari di emissione illustrata nella sezione 4.2.1.

Nel caso di pompe di calore che utilizzano come fluido termovettore freddo acqua o miscela glicolata, il circuito idraulico di estrazione (sonde geotermiche orizzontali o verticali, pozzi ...) si considera separato dalla macchina principale. Il consumo degli elettrocircolatori ausiliari va calcolato a parte.

Si riporta il prospetto 29 della 11300-4 (in inchiesta pubblica) con le tipologie più comuni di sistemi di estrazione del calore dalla sorgente fredda.

Sorgente fredda	Estrazione energia da sorgente fredda	Ausiliari esterni di estrazione
Espansione diretta in Aria	Unità evaporatrice con consumo elettrico integrato nel fabbisogno della macchina principale e nel valore del COP	Non sono previsti altri ausiliari salvo in caso di presenza di circuito canalizzato con ventilatore: il suo fabbisogno di energia elettrica è da considerare come ausiliario del sottosistema di distribuzione
	Unità evaporatrice con consumo elettrico non integrato nel fabbisogno della macchina principale e nel valore del COP	Il fabbisogno di energia elettrica del ventilatore è considerato come ausiliario In caso di canalizzazioni vale quanto scritto sopra
Acqua/miscela glicolata	Circuito idraulico indipendente a servizio dell'evaporatore	Il fabbisogno elettrico dell'elettropompa è considerato come ausiliario Il consumo è determinato in analogia alle elettropompe per la distribuzione con la metodologia illustrata nella sezione 4.2.3
Espansione diretta in terreno o roccia	Il circuito idraulico interrato funge da evaporatore. Il COP comprende l'energia elettrica per la circolazione del fluido	Non presenti

4.2.5.3 *Dispositivi a riscaldamento diretto*

Per dispositivi di emissione a riscaldamento diretto s'intendono tutti quei dispositivi posizionati all'interno dell'ambiente climatizzato, i quali grazie ad un bruciatore interno o ad una resistenza elettrica producono ed emettono energia termica all'interno della stessa macchina (es. strisce radianti, termoconvettori con bruciatore interno, stufe ...).

Per queste apparecchiature non si possono individuare i sottosistemi di emissione, regolazione, distribuzione, accumulo e generazione. Si considera infatti un unico blocco e il bilancio assume la forma:

- Nel caso di apparecchio con bruciatore, focolare interno:

$$Q_{H,c,i} = \Phi_{H,n} \times FC_H \times t_H \quad [Wh]$$

- Nel caso di apparecchio elettrico:

$$Q_{H,c,el} = W_{H,e} \times FC_H \times t_H \quad [Wh]$$

dove:

$Q_{H,c,i}$ è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da vettore di tipo fossile nel periodo di calcolo considerato

$Q_{H,c,el}$ è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da vettore di tipo elettrico nel periodo di calcolo considerato

$\Phi_{H,n}$ è la potenza termica nominale del dispositivo

$W_{H,e}$ è la potenza elettrica nominale ai morsetti di alimentazione del dispositivo

t_H sono le ore di riscaldamento nel periodo di calcolo

Il fattore di carico dipende dal tipo di controllo del dispositivo:

- Terminale sempre in funzione:

$$FC_H = 1$$

- Ausiliare con arresto al raggiungimento di una temperatura prefissata:

$$FC_H = \frac{Q'_h}{\Phi_{H,n} \times t_H} \quad \text{è il fattore di carico utile nel caso di dispositivo con bruciatore}$$

o focolare interno

$$FC_H = \frac{Q'_h}{W_{H,e} \times t_H} \quad \text{è il fattore di carico utile nel caso di dispositivo elettrico}$$

Nota: per i metodi di calcolo dei sistemi che impiegano energia termica utile derivante da generazione remota (teleriscaldamento) e dei sistemi che convertono l'energia chimica di combustibili fossili per produzione combinata di energia elettrica ed energia termica (cogenerazione), si rimanda, rispettivamente, ai capitoli 10 e 11 della UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Flow chart per gli impianti di riscaldamento

Fase	Sottosistema analizzato	Parametri e/o dati da determinare		Modalità di rilievo
1	Emissione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Tipologia, numero, esponente curva caratteristica e numero di terminali Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
2		Calcolo delle perdite termiche con il metodo delle efficienze secondo UNI/TS 11300-2	Rendimento di emissione	Metodologia proposta
3		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria		Metodologia proposta
4		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso Fabbisogno di energia ausiliaria	Metodologia proposta
5	Regolazione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Tipologia di sistema di regolazione	Rilievi in loco
6		Calcolo delle perdite termiche secondo UNI/TS 11300-2	Rendimento di controllo	Metodologia proposta
7		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso	Metodologia proposta
8	Distribuzione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Tipologia di sistema di distribuzione (singolo/doppio condotto) Dati tubazioni/canalizzazioni: diametro, materiale, coibentazione, lunghezza, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato)	Rilievi in loco

			riscaldato), trasmissione termica lineare	
			Lunghezza tubazioni/canalizzazioni	Rilievi in loco metodologia proposta
			Temperatura media Tipologia di fluido termovettore Temperatura dell'ambiente circostante le tubazioni di distribuzione	Metodologia proposta
			Potenza idraulica di progetto	Rilievi in loco o metodologia proposta
9		Calcolo delle perdite termiche	Calcolo dispersioni	Metodologia proposta
			Recuperi di energia termica	Metodologia proposta
10		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
11		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso al sottosistema Energia elettrica per gli ausiliari	
12	Accumulo	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Caratteristiche di dispersione: Valutazione della trasmissione	Rilievi in loco
13		Calcolo delle perdite termiche	Calcolo dispersioni	Metodologia proposta
			Recuperi di energia	Metodologia

			termica	proposta
14		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso al sottosistema	Metodologia proposta
15	Generazione Generatori a combustione interna	Definizione delle caratteristiche del sottosistema: Sistemi multipli e misti	Suddivisione e/o aggregazione dei fabbisogni termici delle reti di distribuzione	Metodologia proposta
16		Scelta della metodologia di analisi	Certificazione Direttiva 92/42/CEE o Metodo analitico	
17		Definizione delle caratteristiche del sottosistema richieste dalla metodologia scelta		Rilievo in loco
18		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso Fabbisogno di energia ausiliaria	Metodologia proposta
19		Calcolo energia primaria		Metodologia proposta
20	Generazione Pompe di calore	Definizione delle caratteristiche del sottosistema:	Tipologia di sorgenti (aria/aria-aria/acqua-acqua/acqua-terreno/acqua ...)	
19		Periodo di calcolo di riferimento	Bin o Mesi	
20		Determinazione temperature sorgenti		Rilievo in loco o Metodologia proposta
21		Calcolo coefficienti di prestazione	Calcolo COPmax/GUEmax	Metodologia proposta

			Calcolo CR Calcolo COP/GUE	
22		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
23		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso Fabbisogno di energia ausiliaria	
24	Generazione CTA	Definizione delle caratteristiche del sottosistema		
25		Calcolo del fabbisogno per il trattamento aria		Metodologia proposta
26		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
27		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso (nel caso di caldaia dedicata, utilizzare il "fabbisogno per il trattamento aria" come punto di partenza per la valutazione del fabbisogno di energia per le caldaie) Fabbisogno di energia ausiliaria	Metodologia proposta
28		Calcolo energia primaria		Metodologia proposta

4.3 Impianto di climatizzazione per la stagione di raffrescamento

L'analisi dell'impianto di climatizzazione estiva (condizionamento) si effettua in analogia all'analisi dell'impianto di climatizzazione invernale (riscaldamento).

Il punto di partenza è sempre il fabbisogno di energia termica utile delle zone termiche, a cui vengono sommate le perdite dei diversi sottosistemi di emissione, regolazione, distribuzione, accumulo e generazione.

Il bilancio dei diversi blocchi (sottosistemi) deve essere effettuato sempre coerentemente alla schematizzazione modulare dell'impianto, secondo quanto riportato nella sezione 4.1.1.

La scrittura dell'equazione di bilancio termico presentata nella sezione 4.1.2 deve essere affrontata con attenzione, in quanto alcune perdite denominate "recuperate" nel periodo di condizionamento estivo rappresentano un carico termico aggiuntivo (ad esempio le perdite del

sistema di ACS o l'energia dissipata dagli ausiliari elettrici), mentre in altri casi si ha un vero e proprio recupero di energia (ad esempio dai sistemi di distribuzione ed accumulo).

Deve quindi essere modificato il segno di alcune perdite recuperate all'interno del bilancio energetico.

Periodo di calcolo.

La norma 11300-3:2010 si basa su valutazioni di tipo medio mensile: il periodo di riferimento è quindi il mese.

La norma è tuttavia in corso di aggiornamento per introdurre una metodologia basata sui bin in analogia alla trattazione per le pompe di calore riportata nella UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Fabbisogno di energia termica ideale per il raffrescamento.

Il fabbisogno ideale di energia per il raffrescamento viene determinato in funzione del fabbisogno di energia termica sensibile, sia della quota di energia latente per il controllo dell'umidità. La procedura per il calcolo di $Q_{C,nd}$ è illustrata nella sezione 3.2.3.

Il fabbisogno ideale netto per il raffrescamento deve considerare le eventuali perdite recuperate dal sistema di acqua calda sanitaria, che costituiscono un carico termico aggiuntivo e che quindi modificano il valore di $Q_{C,nd}$. Per la stagione di raffreddamento vale la formula:

$$Q'_{C,nd} = Q_{C,nd} + Q_{W,lrh} \quad [Wh]$$

dove:

$Q_{W,lrh}$ sono le perdite recuperate dal sistema dell'acqua calda sanitaria.

4.3.1 Sottosistema di emissione

Il calcolo delle perdite dei blocchi relativi al sottosistema di emissione si basa sul valore del fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione e consente di ricavare l'energia termica che deve essere fornita dal sottosistema di regolazione.

Per questioni di semplicità ed economia delle operazioni di diagnosi energetica la valutazione del bilancio termico dei sottosistemi di emissione viene effettuato sulla base di valori di riferimento pre-calcolati del rendimento termico di emissione riportati nel prospetto 6 della sezione 5.2.3 della norma UNI EN 11300-3:2010.

I consumi elettrici non sono considerati all'interno del rendimento termico e devono essere calcolati separatamente.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

Il consumo di energia elettrica per ausiliari è necessario per quei terminali d'impianto che utilizzano motori elettrici per migliorare il trasferimento di calore tra il fluido termovettore e l'ambiente climatizzato ed è calcolato secondo le equazioni 10 e 11 della sezione 5.4.2 della norma UNI/TS 11300-3:2010.

I valori di $\Phi_{\Sigma m}$ (potenza elettrica nominale dei ventilatori) devono essere preferibilmente rilevati durante le operazioni di sopralluogo basandosi sulle indicazioni fornite

dai costruttori. Nel caso queste informazioni non fossero reperibili si possono usare i valori di riferimento riportati nel prospetto 8 della norma UNI/TS 11300-3:2010.

Tutti i consumi elettrici si considerano "recuperati" come energia termica utile in ambiente e costituiscono un carico termico aggiuntivo per l'impianto.

4.3.2 Sottosistema di regolazione

In analogia alla stagione di riscaldamento, per questioni di semplicità ed economia delle operazioni di diagnosi energetica, la valutazione del bilancio termico dei sottosistemi di regolazione è effettuato sulla base di valori di riferimento pre-calcolati del rendimento termico di emissione riportati nel prospetto 7 della sezione 5.2.3 della norma UNI EN 11300-3:2010.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

Non si considerano fabbisogni elettrici.

4.3.3 Sottosistema di distribuzione

Il calcolo delle perdite di distribuzione si esegue sulla base della metodologia illustrata nell'appendice A della UNI/TS 11300-3:2010.

Calcolo delle perdite di distribuzione – Sistemi con fluido termovettore ad acqua.

Per ogni blocco del diagramma modulare d'impianto classificato come "sottosistema di distribuzione con fluido termovettore ad acqua" si esegue il metodo riportato nella sezione A.3 dell'appendice A della UNI/TS 11300-3:2010 che richiama la metodologia dell'appendice A alla UNI/TS 11300-2:2008 illustrata nella sezione 4.2.3 del presente documento.

Anche nel caso di reti di distribuzione per impianti di condizionamento si eseguono i seguenti adattamenti:

1. La quantità denominata $Q_{d,out}$ corrisponde al flusso di energia utile in uscita dal blocco (sottosistema) analizzato. La logica per la determinazione di tale valore è la medesima seguita per gli impianti di riscaldamento a seconda che si tratti di una rete di distribuzione primaria o secondaria.
2. La lunghezza delle tubazioni L_i (comprendente mandata e ritorno) non è un dato facilmente misurabile, si deve comunque cercare di ottenere una misura quanto più precisa in base a considerazioni fatte durante le operazioni di sopralluogo. Quando non sia in nessun modo possibile compiere una misurazione in loco, si può ricorrere ad una valutazione approssimata dipendente dalle dimensioni della struttura edilizia o della zona termica considerata. La procedura semplificata è descritta nell'appendice A della norma UNI EN 15316-2-3:2007.
3. La temperatura media dell'acqua $T_{w,avg}$ nel circuito durante il periodo di calcolo è determinata come in analogia alle reti di distribuzione per il riscaldamento.
4. Il valore calcolato a fine procedura indicato nella norma 11300-2:2010 come $Q_{d,in}$ non corrisponde necessariamente alla quantità di calore richiesto dalla generazione, ma coerentemente con i flussi energetici del diagramma modulare

costruito per l'impianto analizzato può essere l'output di un altro blocco (sottosistema) di distribuzione.

Calcolo delle perdite di distribuzione – Sistemi con fluido termovettore ad aria.

Per il calcolo delle perdite di distribuzione delle canalizzazioni di aria trattata si utilizza la metodologia proposta nella sezione A.2 dell'appendice A della UNI/TS 11300-3:2010. Sono previsti due metodi, uno analitico ed uno semplificato.

Si ricorda che la lunghezza dei canali dell'aria deve essere determinata o stimata nelle operazioni di sopralluogo. A differenza degli impianti ad acqua, per le canalizzazioni ad aria non esistono procedure semplificate in normativa.

Perdite termiche recuperate.

Le perdite termiche di una tubazione posta all'esterno del volume raffrescato sono completamente perse. Se la tubazione si trova invece all'interno del volume raffrescato, le perdite si considerano totalmente recuperate.

Consumo di energia elettrica per ausiliari.

Per ogni blocco (sottosistema) di distribuzione, se dotato di elettropompa o elettroventilatore, bisogna calcolare il relativo fabbisogno di energia elettrica.

La metodologia impiegata è analoga a quella utilizzata per gli impianti di riscaldamento.

Recupero di energia dagli ausiliari di distribuzione.

Una parte dell'energia elettrica necessaria alle elettropompe e agli elettroventilatori viene dissipata in energia termica aumentando il fabbisogno della distribuzione.

Per quanto riguarda i sistemi di distribuzione ad acqua la norma UNI/TS 11300-2:2008 prevede che una quota pari all'85% dell'energia assorbita dall'elettrocircolatore si trasformi in calore, aumentando il fabbisogno della distribuzione.

Per quanto riguarda i sistemi di distribuzione ad aria si suppone che l'energia elettrica dissipata in calore sia totalmente recuperata se il motore elettrico è posizionato all'interno della canalizzazione ed è quindi investito dall'aria trattata. Se il motore si trova all'esterno, tali perdite sono considerate non recuperabili.

4.3.4 Sottosistema di accumulo

Le perdite di accumulo sono valutate in analogia a quelle relative all'accumulo per l'impianto di riscaldamento. Il calcolo deve tener conto:

- delle *perdite di calore del serbatoio*: la metodologia è descritta nell'appendice B della norma 11300-3:2010;
- delle *perdite di calore del circuito di collegamento* generatore-serbatoio: la metodologia è quella del calcolo delle perdite di distribuzione della sezione 4.3.4.

Le perdite del circuito di collegamento serbatoio-gruppo frigorifero si considerano trascurabili quando la distanza tra serbatoio e gruppo frigorifero non è maggiore di 5 m e le tubazioni di collegamento sono isolate.

4.3.5 Sottosistema di generazione

Determinazione del coefficiente di prestazione medio mensile.

Il coefficiente di prestazione delle macchine frigorifere viene determinato secondo la procedura prevista dalla sezione 5.5 della norma 11300-3:2010, basata sull'interpolazione dei dati sperimentali forniti dal costruttore nelle condizioni di riferimento, definite dal progetto di norma europea prEN 14825:2010.

I parametri di maggior influenza per il rendimento di generazione sono:

- caratteristiche e configurazione impiantistica del gruppo frigorifero;
- fattore di carico della macchina;
- condizioni climatiche esterne ed interne (temperatura della sorgente calda e fredda).

Il fattore di carico di una macchina frigo è definito come:

$$F = \frac{Q_{gn,out}}{\Phi_n \times t_C}$$

dove:

$Q_{gn,out}$ è la quantità di energia termica richiesta in uscita della macchina frigorifera nel periodo di calcolo considerato (mese)

Φ_n è la potenza nominale della macchina frigorifera

t_C sono le ore del periodo di raffrescamento all'interno del periodo di calcolo considerato

L'interpolazione del valore di EER (Energy Efficiency Ratio) della macchina frigorifera è eseguita a partire dai valori forniti dal costruttore in funzione di F .

Vengono successivamente forniti dei fattori correttivi dipendenti da:

1. Temperature operative della sorgente fredda e calda.
2. Velocità del ventilatore del terminale.
3. Per sistemi *split*: lunghezza equivalente della tubazione di aspirazione per il collegamento fra unità interna ed esterna.
4. Perdite di carico dei canali dell'unità interna.
5. Perdite di carico di canali d'aria dell'unità esterna.
6. Per sistemi ad acqua: variazione del ΔT al condensatore in funzione della portata di fluido.
7. Fattore di sporramento degli scambiatori.
8. Peggioramento del coefficiente di scambio al condensatore in caso di utilizzo di acqua miscelata a glicole.

Nota: il coefficiente correttivo numero 1 per macchine aria-aria o aria-acqua dipende dalla temperatura esterna; si consiglia dunque, una volta noto l'orario giornaliero di accensione della macchina frigorifera, di utilizzare la distribuzione di temperatura esterna del giorno medio mensile costruita secondo il paragrafo 2.1 e di mediare la temperatura solo su tale orario.

Flow chart per gli impianti di raffrescamento

Fase	Sottosistema analizzato	Parametri e/o dati da determinare		Modalità di rilievo
1	Emissione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Tipologia e numero di terminali Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
2		Calcolo delle perdite termiche	Rendimento di emissione	Metodologia proposta
3		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria		Metodologia proposta
4		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso Fabbisogno di energia ausiliaria	Metodologia proposta
5	Regolazione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Tipologia di sistema di regolazione	
6		Calcolo delle perdite termiche secondo UNI/TS 11300-2	Rendimento di controllo	
7		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso	Metodologia proposta
8	Distribuzione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Tipologia di sistema di distribuzione (singolo/doppio condotto) Dati tubazioni/canalizzazioni: diametro, materiale,	Rilievi in loco

			coibentazione, lunghezza, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato), trasmittanza termica lineare	
			Lunghezza tubazioni/canalizzazioni	Rilievi in loco o metodologia proposta
			Temperatura media Tipologia di fluido termovettore Temperatura dell'ambiente circostante le tubazioni di distribuzione	Metodologia proposta
			Potenza idraulica di progetto	Rilievi in loco o metodologia proposta
9		Calcolo delle perdite termiche	Calcolo dispersioni	Metodologia proposta
10		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
11		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso al sottosistema Energia elettrica per gli ausiliari	
12	Accumulo	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Caratteristiche di dispersione: Valutazione della trasmittanza	Rilievi in loco
13		Calcolo delle perdite termiche	Calcolo dispersioni	Metodologia proposta
14	Generazione Gruppi frigoriferi	Definizione delle caratteristiche del sottosistema Sistemi multipli e misti	Suddivisione e/o aggregazione dei fabbisogni termici delle reti di distribuzione	Metodologia proposta
15		Calcolo EER	Calcolo fattore di carico F Calcolo coefficienti correttivi	

			Calcolo EER	
16		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	Rilievi in loco
17		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso Fabbisogno di energia ausiliaria	Metodologia proposta
18	Generazione CTA	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	Sistema <i>roof-top</i> Sistema CTA con gruppo frigorifero e caldaia dedicati	Generazione CTA
19		Calcolo del fabbisogno per il trattamento aria		
20		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	
21		Calcolo dell'energia in ingresso	Fabbisogno di energia termica in ingresso. Nel caso di caldaia dedicata utilizzare il "fabbisogno per il trattamento aria" come punto di partenza per la valutazione del fabbisogno di energia per i gruppi frigoriferi Fabbisogno di energia ausiliaria	
22		Calcolo energia primaria		Metodologia proposta

4.4 Impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria

Il calcolo dell'energia necessaria per la produzione di ACS è determinato a partire dal fabbisogno di ACS così come calcolato nella sezione 4.1.2.

La procedura da seguire è analoga a quella degli impianti di climatizzazione: si parte dal fabbisogno di energia ideale, e si risale l'impianto secondo lo schema modulare costruito ed applicando ad ogni blocco (sottosistema) l'equazione di bilancio energetico.

Per ogni blocco (sottosistema) vengono calcolate le perdite, il fabbisogno di energia termica in entrata e il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari.

L'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria si suddivide in erogazione, distribuzione, accumulo e generazione. Quest'ultimo può essere costituito dalla stessa macchina che produce l'energia termica per il riscaldamento: in questo caso si segue la procedura illustrata nella sezione 4.2.5 riguardante la produzione mista di ACS e acqua per il riscaldamento.

4.4.1 Sottosistema di erogazione

In accordo con la norma UNI/TS 11300-2:2008 si assume il valore di rendimento di erogazione riportato nella sezione 6.9.1, pari a:

$$\eta_{w,er} = 0,95$$

Le perdite di erogazione si considerano tutte non recuperabili.

4.4.2 Sottosistema di distribuzione dell'acqua calda sanitaria

Il calcolo dell'energia dispersa dalle reti di distribuzione di ACS si effettua secondo la procedura illustrata nella sezione 6.9.2 della norma UNI/TS 11300-2:2008.

Il calcolo delle perdite, in presenza di ricircolo, si effettua in maniera dettagliata secondo quanto descritto dall'appendice A della norma UNI/TS 11300-2:2008.

In assenza di ricircolo si possono utilizzare i coefficienti di perdita $f_{l,w,d}$ del prospetto 30 della norma UNI/TS 11300-2:2008.

4.4.3 Sottosistema di accumulo

In analogia alle perdite di accumulo per l'impianto di riscaldamento, si esegue la procedura riportata nella sezione 6.9.3 della norma UNI/TS 11300-2:2008.

4.4.4 Perdite recuperate

In accordo alla normativa UNI/TS 11300-2:2008, le perdite totali recuperate dal sistema di ACS diminuiscono il fabbisogno di energia ideale per il riscaldamento.

Costituiscono invece un carico termico aggiuntivo per il raffrescamento.

La formula per il calcolo delle dispersioni dei sistemi di acqua calda sanitaria è la seguente:

$$Q_{W,lrh} = Q_{W,lrh,d} + Q_{W,lrh,s} \quad [Wh]$$

dove:

$Q_{W,lrh}$ sono le perdite recuperate del sistema di ACS

$Q_{W,lrh,d}$ sono le perdite recuperate dal sistema di accumulo

$Q_{W,lrh,s}$ sono le perdite recuperate dalla rete di distribuzione

Si ricorda che le perdite si considerano recuperate se le tubazioni o il serbatoio di accumulo si trovano all'interno dell'ambiente climatizzato.

4.4.5 Sottosistema di generazione

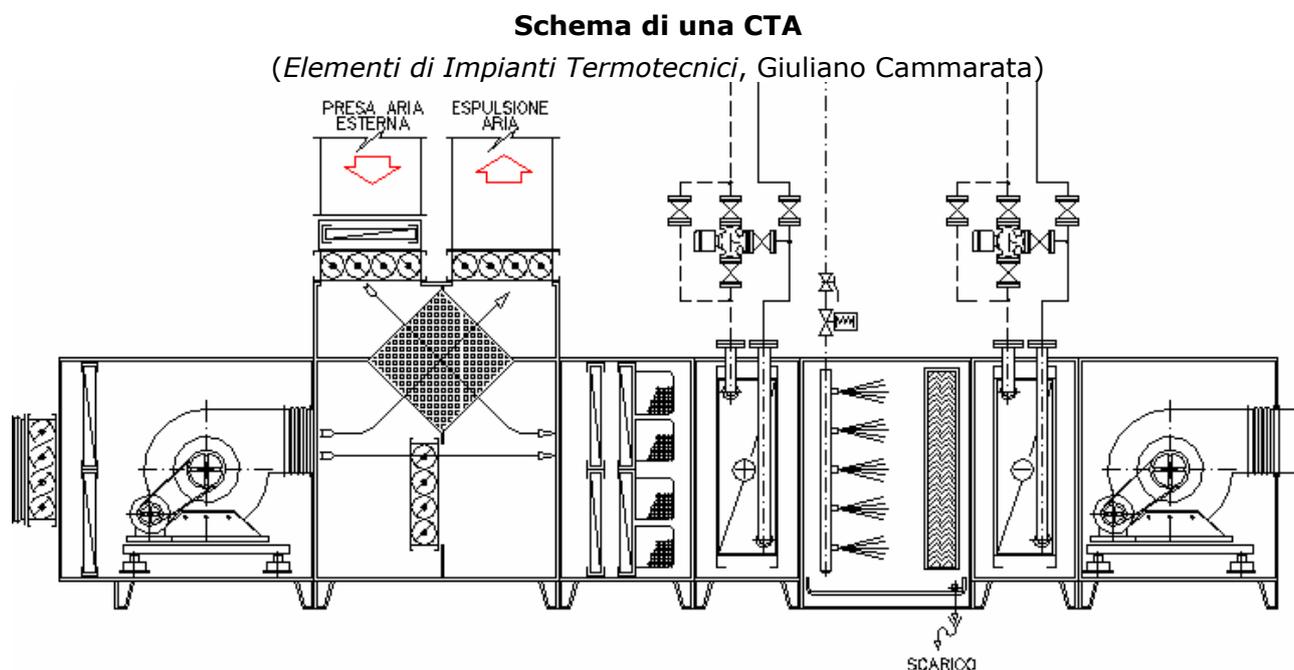
Il calcolo del bilancio energetico del blocco (sottosistema) di generazione per ACS si effettua in maniera analoga ai generatori per il riscaldamento descritto nella sezione 4.2.5.

In caso d'impianti misti, dove un unico generatore è dedicato alla produzione combinata dei due servizi, si effettua la procedura illustrata nella sezione 4.2.5.

4.5 Centrali di trattamento aria

Le centrali di trattamento aria sono macchine complesse costituite da diversi dispositivi ognuno adibito ad una funzione ben precisa. I componenti principali sono:

- Il recuperatore.
- I filtri.
- Le batterie di scambio termico calda e fredda.
- L'umidificatore (ad acqua o vapore).
- I ventilatori di mandata e/o ripresa.



Per questioni di semplicità ed economicità dell'analisi energetica, la CTA non viene analizzata in ogni suo singolo componente, ma viene trattata come un unico blocco (sottosistema) caratterizzato dal fabbisogno di energia in uscita per il trattamento d'aria, dai sottosistemi di generazione e distribuzione a servizio delle batterie calda e fredda e dal consumo di energia elettrica per gli ausiliari.

4.5.1 Fabbisogno di energia per il trattamento dell'aria

Il calcolo dei fabbisogni di energia per il trattamento dell'aria è illustrato nella normativa UNI/TS 11300-3:2010. Le equazioni riportate nella normativa sono basate su uno studio statistico che permette una valutazione rapida dei consumi energetici dovuti ai trattamenti dell'aria a partire dai dati climatici esterni (*Procedura Semplificata per la Valutazione dei Fabbisogni Energetici dei Trattamenti dell'Aria*, Livio de Santoli e Francesco Mancini).

La configurazione di riferimento è quella più classica costituita da una CTA a tre batterie con umidificazione di tipo adiabatico.

L'equazione di riferimento è la 7 della sezione 5.3 della normativa UNI/TS 11300-3:2010:

$$Q_v = Q_{v,m,h} \times q \times t \quad [kWh]$$

dove:

Q_v è il fabbisogno di energia per il trattamento d'aria nel periodo di calcolo considerato

$Q_{v,m,h}$ è il fabbisogno specifico orario medio per il trattamento dell'aria. Nei prospetti seguenti sono riportate le equazioni per il periodo di riscaldamento invernale e per il periodo di raffrescamento estivo (come indicato i valori devono essere presi in modulo).
 q è la portata dell'aria di ventilazione

t è il numero di ore del periodo di calcolo considerato

Il valore di $Q_{v,m,h}$ dipende dall'entalpia dell'aria esterna (h_k). Le equazioni per il calcolo di (h_k) a partire dai dati climatici della UNI 10349:1994 sono riportate nel paragrafo seguente.

Il calcolo del fabbisogno di energia termica per il trattamento d'aria per il riscaldamento invernale viene effettuato secondo il seguente prospetto (*Procedura Semplificata per la Valutazione dei Fabbisogni Energetici dei Trattamenti dell'Aria*, Livio de Santoli e Francesco Mancini).

Ore di accensione		Fabbisogno orario medio [(kWh/h)/(kg/s)]
24 ore	0 ÷ 24	$Q_{v,m,h} = -17,201 \times \ln(h_k) + 66,412 $
12 ore	7 ÷ 18	$Q_{v,m,h} = -17,372 \times \ln(h_k) + 65,502 $
10 ore	8 ÷ 17	$Q_{v,m,h} = -17,354 \times \ln(h_k) + 65,08 $
8 ore	9 ÷ 16	$Q_{v,m,h} = -17,359 \times \ln(h_k) + 64,75 $
6 ore	10 ÷ 15	$Q_{v,m,h} = -17,339 \times \ln(h_k) + 64,399 $

Il calcolo del fabbisogno di energia termica per il trattamento d'aria per il condizionamento estivo viene effettuato secondo la metodologia illustrata nella sezione 5.3 e nell'appendice F della UNI/TS 11300-3:2010. Si riportano le espressioni per il calcolo del fabbisogno orario medio per trattamento dell'aria.

Ore di accensione		Fabbisogno orario medio [(kWh/h)/(kg/s)]
24 ore	0 ÷ 24	$Q_{v,m,h} = -1,3615 \times h_k + 58,54 $

12 ore	7 ÷ 18	$Q_{v,m,h} = -1,5187 \times h_k + 63,438 $
10 ore	8 ÷ 17	$Q_{v,m,h} = -1,5338 \times h_k + 63,519 $
8 ore	9 ÷ 16	$Q_{v,m,h} = -1,5853 \times h_k + 65,492 $
6 ore	10 ÷ 15	$Q_{v,m,h} = -1,5807 \times h_k + 64,751 $

Calcolo dell'entalpia dell'aria esterna.

La norma UNI 10349 fornisce il valore della temperatura media mensile T_e e della pressione parziale media mensile del vapor d'acqua p_v dell'aria esterna. Dai due valori è possibile ricavare il valore dell'entalpia media mensile dell'aria esterna attraverso le seguenti formule.

$$h_k = 1,005 \times T_e + (2501,3 + 1,82 \times T_e) \times x_e \quad [kJ/kg]$$

dove:

x_e è l'umidità specifica media mensile dell'aria esterna

Il valore di x_e si determina attraverso la formula:

$$x_e = 0,622 \times \frac{P_v}{(101325 - p_v)}$$

4.5.2 Fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari

Il calcolo del fabbisogno di energia per la CTA comprende il consumo di tutti i dispositivi elettrici ausiliari posizionati al suo interno.

Si ricorda che tutti gli eventuali ventilatori posizionati all'interno delle canalizzazioni vanno considerati come ausiliari di distribuzione e devono essere analizzati secondo la metodologia riportata nella sezioni 4.2.3 e 4.3.3.

Per tutti gli altri dispositivi installati all'interno della CTA bisogna rilevare la potenza elettrica assorbita durante il funzionamento e valutare i consumi di energia in analogia agli ausiliari di distribuzione dipendenti dal fattore di carico della CTA. Il valore F_{CTA} è calcolato come segue:

$$F_{CTA} = \frac{Q_{d,CTA,in}}{\Phi_{H,CTA} \times t_H} \text{ durante il periodo di riscaldamento}$$

$$F_{CTA} = \frac{Q_{d,CTA,in}}{\Phi_{Cr,CTA} \times t_{Cr}} \text{ durante il periodo di raffrescamento}$$

dove

$Q_{d,CTA,in}$ è il fabbisogno di energia termica in entrata alle tubazioni che alimentano le batterie di scambio

$\Phi_{H,CTA}$ è la potenza termica nominale di riscaldamento della CTA

$\Phi_{Cr,CTA}$ è la potenza termica nominale di raffrescamento della CTA

t_H sono le ore di funzionamento in modalità riscaldamento della CTA all'interno del periodo di calcolo

t_{Cr} sono le ore di funzionamento in modalità raffrescamento della CTA all'interno del periodo di calcolo

4.5.3 Fabbisogno di energia primaria per il trattamento dell'aria

Le Centrali Trattamento Aria sono dotate di gruppi di generazione (caldaie o gruppi frigo) a servizio delle batterie calde e fredde. Questi circuiti possono essere trattati come dei veri e propri impianti in cui la batteria è il terminale. Può quindi rivelarsi necessario un'analisi dettagliata dei dispositivi e degli impianti a servizio della CTA.

Nel periodo di riscaldamento, essendo attive solo le batterie calde, si applica la stessa metodologia riportata nella sezione 4.2 relativa agli impianti di riscaldamento. I passi da seguire sono:

1. Il fabbisogno di energia per il trattamento d'aria Q_v è il valore di partenza della procedura. Esso è l'analogo del fabbisogno di energia ideale per il calcolo dell'energia richiesta per il riscaldamento.
2. Non si considerano i rendimenti di emissione e di regolazione, per cui vale l'eguaglianza:

$$Q_v = Q_{d,CTA,out}$$

3. La valutazione delle perdite delle tubazioni che alimentano le batterie è effettuata secondo la procedura per il calcolo delle dispersioni delle reti di distribuzione riportata nella sezione 4.2.3.
Tale calcolo è richiesto nei casi in cui la distanza tra la CTA e la generazione sia maggiore di 5 m e le tubazioni di collegamento non siano isolate.
4. Si calcola il fabbisogno degli ausiliari della distribuzione in analogia agli impianti di riscaldamento, secondo la procedura riportata nella sezione 4.2.3.
5. Si calcola il fabbisogno di energia per la generazione in analogia agli impianti di riscaldamento, secondo la procedura riportata nella sezione 4.2.5. Il fabbisogno di energia termica del dispositivo di generazione della CTA è il termine $Q_{CTA,c}$ dell'equazione per il calcolo del fabbisogno di energia primaria.

Nel periodo di raffrescamento il fabbisogno di energia è valutato con la metodologia proposta per gli impianti di condizionamento. Seguendo la procedura descritta nella UNI/TS 11300-3:2010, non si attribuiscono quote di energia per il post-riscaldamento al generatore di calore, ma si considera che il fabbisogno sia totalmente a carico della macchina frigorifera. I passi da seguire sono:

1. Il fabbisogno di energia per il trattamento d'aria Q_v è il valore di partenza per la procedura. Esso è l'analogo del fabbisogno di energia ideale per il calcolo dell'energia richiesta per il raffrescamento.
2. Non si considerano i rendimenti di emissione e di regolazione, per cui vale l'eguaglianza:

$$Q_v = Q_{d,CTA,out}$$

3. La valutazione delle perdite delle tubazioni che alimentano le batterie è effettuata secondo la procedura per il calcolo delle dispersioni delle reti di distribuzione riportata nella sezione 4.3.3.
Tale calcolo è richiesto nei casi in cui la distanza tra la CTA e la generazione sia maggiore di 5 m e le tubazioni di collegamento non siano isolate.
Il fabbisogno di energia termica delle tubazioni a servizio della CTA è il termine $Q_{CTA,Cr}$ dell'equazione per il calcolo del fabbisogno di energia primaria.
4. Si calcola il fabbisogno degli ausiliari della distribuzione in analogia agli impianti di raffrescamento, secondo la procedura riportata nella sezione 4.3.3.
5. Si calcola il valore del coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera $\eta_{mm,CTA}$, secondo la procedura riportata nella sezione 4.3.5. Tale valore è utilizzato per il calcolo del consumo di energia primaria della generazione in analogia agli impianti di raffrescamento.

4.6 Elenco degli elementi da rilevare per l'analisi energetica degli impianti

IMPIANTI TERMICI

- Profilo di accensione giornaliero e stagionale

EMISSIONE

- Tipologia, numero e potenza dei terminali per ogni zona termica
- Esponente n (curva di emissione)
- Potenza ausiliari elettrici

REGOLAZIONE

- Tipologia di sistema di regolazione in ambiente (climatica, di zona, di locale)
- Tipo di regolatore (on/off, proporzionale, PI, PID)

DISTRIBUZIONE

- Tipologia di fluido termovettore (aria, acqua)
- Caratteristiche tubazioni/canalizzazioni: diametro, materiale, coibentazione, lunghezza, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato), trasmittanza termica lineare
- Temperatura di mandata (se impostata manualmente)
- Potenza idraulica di progetto
- Lunghezza di tubazione posta rispettivamente in ambiente riscaldato e non riscaldato
- Potenza elettrica elettropompa/elettrocircolatore

ACCUMULO

- Caratteristiche: dimensioni, coibentazione, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato), trasmittanza termica lineare
- Temperatura di accumulo (se impostata manualmente)

GENERAZIONE

- Tipologia di generatore (a combustione, pompa di calore a compressione, pompa di calore ad assorbimento, gruppo frigorifero, centrale di trattamento aria).
- Configurazione di sistemi misti e multipli
- Tipo di combustibile
- Potenza ausiliari elettrici

GENERATORI A COMBUSTIONE

- Tipologia (condensazione, modulante)
- Potenza utile a carico nominale
- Potenza al focolare a carico nominale
- Potenza a carico parziale
- Potenza minima
- Potenza ausiliari elettrici

POMPE DI CALORE

- Temperature sorgenti fredda e calda
- COP (o GUE) nominale e a carichi parziali
- Potenza ausiliari elettrici

RISCALDAMENTO DIRETTO

- Potenza termica/elettrica nominale

CTA

- Potenza riscaldamento/raffrescamento nominale
- Potenza ausiliari elettrici
- Lunghezza e isolamento tubazioni generatore-CTA
- Caratteristiche tubazioni generatore caldo
- Caratteristiche gruppo frigorifero

GRUPPO FRIGORIFERO

- Valori di riferimento EER (o GUE)
- Potenza ausiliari elettrici

IMPIANTO DI PRODUZIONE ACS

- Profilo di utilizzazione

DISTRIBUZIONE ACS

- Caratteristiche tubazioni: diametro, materiale, coibentazione, lunghezza, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato), trasmittanza termica lineare

ACCUMULO ACS

- Caratteristiche: dimensioni, coibentazione, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato), trasmittanza termica lineare

GENERAZIONE ACS

- Configurazione di sistemi misti e multipli

CAPITOLO 5 – IMPIANTI E UTENZE ELETTRICI

5.1 Illuminazione

5.1.1 Requisiti minimi

I luoghi di lavoro in generale devono disporre di una buona illuminazione, inoltre i percorsi di esodo devono avere anche un'illuminazione supplementare con alimentazione propria (batterie) sufficiente a consentire il deflusso in sicurezza dei lavoratori, e di tutte le persone presenti all'interno dell'attività, in caso di emergenza.

Il paragrafo 1.10, cap. 1 dell'allegato IV – Requisiti dei luoghi di lavoro – del Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro", prescrive che *"i luoghi di lavoro devono disporre di sufficiente luce naturale. In ogni caso, tutti i locali e luoghi di lavoro devono essere dotati di dispositivi che consentano un'illuminazione artificiale adeguata per salvaguardare la sicurezza, la salute e il benessere di lavoratori"*.

Per valutare se l'illuminamento di una zona di un luogo di lavoro è adeguato, si può fare riferimento al paragrafo 5.2 della UNI 12464-1:2004 "Illuminazioni dei posti di lavoro – parte 1: Posti di lavoro in interni". La norma prescrive il valore dell'Illuminamento Medio Mantenuto (\bar{E}_m) necessario per molte attività (zone) raggruppate in prospetti.

Si riportano alcune parti dei prospetti della suddetta norma a solo titolo di esempio:

1.2 Sale di riposo, infermeria e pronto soccorso		
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m [lx]
1.2.1	Mense	200
1.2.2	Locali di riposo	100
1.2.3	Locali per l'esercizio fisico	200
1.2.4	Guardaroba, gabinetti, bagni, toilette	200
1.2.5	Infermeria	500
1.2.6	Locali per visita medica	500

1.5 Magazzini con scaffali		
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m [lx]
1.5.1	Corridoi senza personale – (illuminamento a livello pavimento)	20
1.5.2	Corridoi con presenza personale – (illumin. a livello pavimento)	150
1.5.3	Stazione di controllo	150

2.6 Industria elettrica		
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m [lx]
2.6.6	Laboratorio elettronico, prove, messa a punto	1500

2.16 Stamperie		
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m [lx]
2.16.6	Incisione su acciaio e rame	2000

3 Uffici		
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m [lx]
3.1	Archiviazione, copiatura, ecc.	300
3.2	Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500
3.3	Disegno tecnico	750
3.4	Postazioni CAD	500
3.5	Sale conferenze e riunioni	500
3.6	Ricezione (reception)	300
3.7	Archivi	200

4 Vendita al dettaglio		
N° riferimento	Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m [lx]
4.1	Zone di vendita	300
4.2	Zona delle casse	500
4.3	Tavolo imballaggio	500

Da notare che il valore dell'illuminamento può variare da 20 lux, ad esempio per i corridoi dei magazzini, fino a raggiungere 1500 o 2000 lux per i laboratori elettronici o per le incisioni su metalli.

Il paragrafo 3.13 dell'allegato III del Decreto Ministeriale 10 marzo 1998, "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro", prescrive che *"tutte le vie di uscita, inclusi anche i percorsi esterni, devono essere adeguatamente illuminati per consentire la loro percorribilità in sicurezza fino all'uscita su luogo sicuro"*.

Per valutare se l'illuminamento dei percorsi di esodo è adeguato, si fa riferimento a norme tecniche specifiche di prevenzione incendi, ad esempio il Decreto Ministeriale 9 aprile 1994 e successivo Decreto Ministeriale 6 ottobre 2003 per gli alberghi e il Decreto Ministeriale 19 agosto 1996 per i locali di pubblico spettacolo prescrivono un illuminamento minimo dei percorsi di esodo pari a 5 lux misurato a un metro di altezza dal piano di calpestio.

5.1.2 Fabbisogno energetico

Norma di riferimento: UNI EN 15193:2008 "Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione".

Ambiti di applicazione: Edifici esistenti, nuovi e ristrutturati.

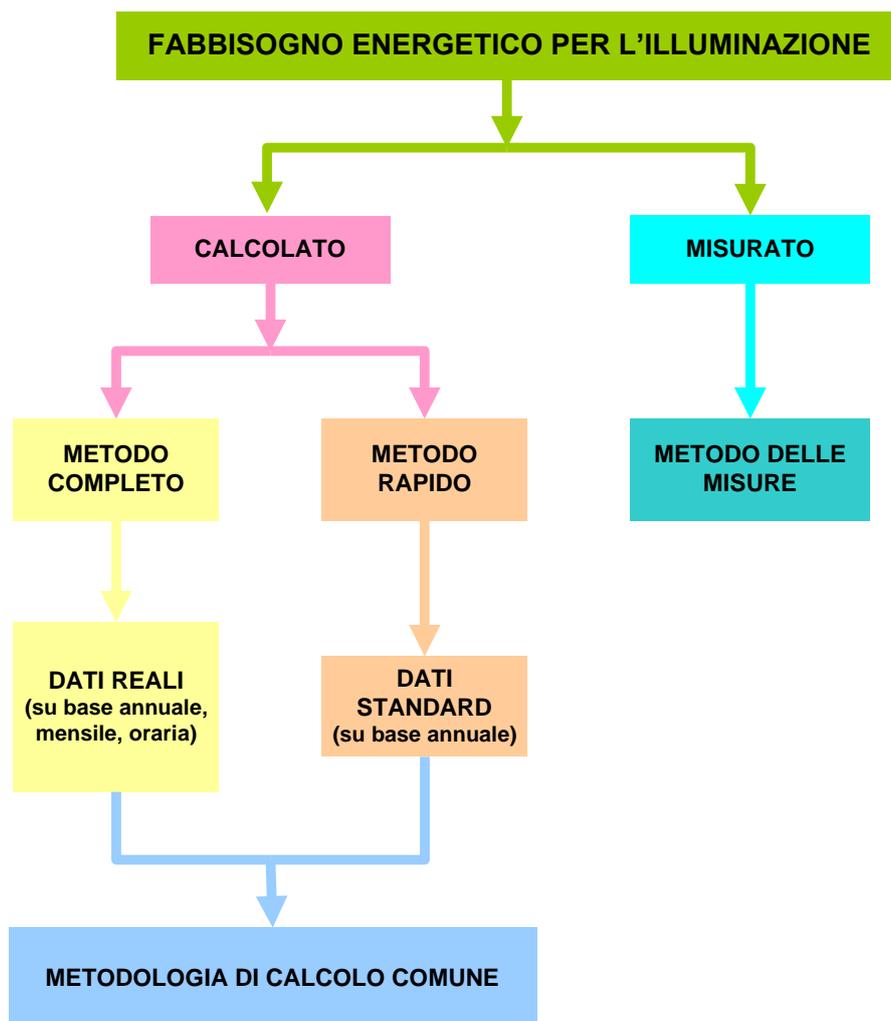
Tipologie di edifici: uffici, scuole, università (in generale edifici per l'istruzione), ospedali, alberghi, ristoranti, strutture sportive, strutture commerciali (vendita al dettaglio e all'ingrosso), aziende manifatturiere.

Per la valutazione del fabbisogno energetico per l'illuminazione è necessario individuare una serie d'informazioni concernenti le caratteristiche degli impianti, il sito dell'edificio e il contributo della luce diurna (daylight).

Si riporta di seguito l'elenco dei principali dati richiesti dalla metodologia di calcolo prevista dalla norma UNI EN 15193:2008:

- latitudine del sito;
- individuazione delle zone dell'edificio con accesso alla luce diurna e delle modalità di ricezione (facciate verticali, lucernari);
- parametri dimensionali dei locali interessati;
- ostruzioni che riducono la luce incidente (lineari, sporgenze, cortili e atri, doppie facciate in vetratura);
- tipologia superfici trasparenti;
- livello di illuminamento mantenuto;
- caratteristiche dei sistemi di controllo del daylight;
- caratteristiche dei sistemi di controllo di presenza;
- caratteristiche dei sistemi di controllo ad illuminamento costante;
- tipologia degli impianti di illuminazione presenti (lampade, alimentatori, ecc.);
- potenza degli apparecchi di illuminazione;
- potenza installata per la carica degli apparecchi di emergenza;
- potenze parassite (apparecchio illuminante, sistema di emergenza, sistemi di controllo);
- numero di ore in uso degli impianti di illuminazione;
- tempo di carica degli apparecchi di emergenza.

La metodologia e il flusso delle procedure previste per il calcolo del fabbisogno energetico sono rappresentati nella figura seguente.



Il calcolo dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione (E_{pill}) prevede la valutazione dell'energia totale annuale utilizzata W (kWh/anno); questa può essere espressa attraverso la somma di due distinte componenti:

$$W = W_L + W_p$$

dove

- W_L = energia necessaria a soddisfare il servizio di illuminazione richiesto;
- W_p = energia (parassita) necessaria al funzionamento in condizioni di standby dei sistemi di controllo (con gli apparecchi di illuminazione spenti), e alla carica delle batterie degli apparecchi di illuminazione di emergenza.

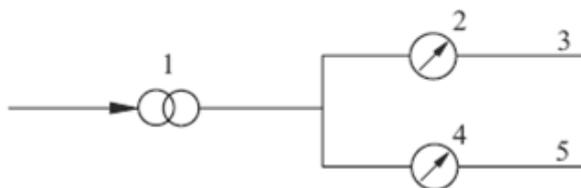
Metodi di valutazione – Misurazione.

I metodi di misura considerati sono di carattere generale e prevedono la possibilità di una misura diretta attraverso strumentazione dedicata oppure tramite l'utilizzo di sistemi di gestione dell'illuminazione (elaborazione dati specifici, misura dei consumi, ecc.).

I metodi possibili sono:

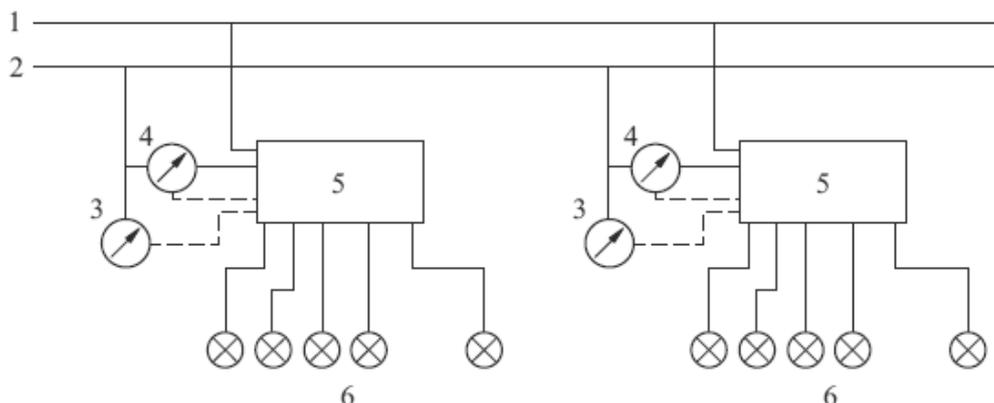
- Misure dirette
 - Contatori di energia sui circuiti della distribuzione elettrica dedicati all'illuminazione.

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Quadro di alimentazione generale | 4 | Contatore di kWh di illuminazione |
| 2 | Contatore di kWh altri circuiti | 5 | Circuito di illuminazione |
| 3 | Circuito di alimentazione | | |



- Wattmetri accoppiati o integrati alle centraline di illuminazione di un sistema di gestione dell'illuminazione.

- | | | | |
|---|------------------------|---|---------------------------------------|
| 1 | Linea bus | 4 | Amperometro |
| 2 | Linea di potenza 230 V | 5 | Centralina di controllo illuminazione |
| 3 | Voltmetro | 6 | Apparecchi di illuminazione |



- Sistemi di gestione dell'illuminazione
 - Sistema in grado di calcolare l'energia locale consumata e di fornire questa informazione a un sistema di gestione dell'edificio (BMS).
 - Sistema in grado di calcolare l'energia consumata per sezione di edificio e di fornire questa informazione in un formato esportabile, per esempio un foglio elettronico.
 - Sistema in grado di registrare le ore di funzionamento, la loro proporzionalità (livello di regolazione del flusso luminoso) e che correla queste informazioni a una base di dati interna sul carico installato.

Metodi di valutazione – Calcolo.

Il metodo di calcolo rapido (semplificato) consente di stimare per eccesso il fabbisogno energetico annuale per l'illuminazione.

Il metodo di calcolo completo consente di stimare in modo accurato il fabbisogno energetico per l'illuminazione.

Entrambi i metodi di calcolo prevedono una stima delle componenti W_L e W_P attraverso i medesimi algoritmi.

P_n = Potenza complessiva degli apparecchi di illuminazione installati [W] presenti in una zona o in un locale;

P_{pc} = Potenza di tutti i sistemi di controllo degli apparecchi di illuminazione installati, presenti in una zona o in un locale, durante il periodo di non accensione delle sorgenti luminose [W];

P_{em} = Potenza necessaria alla carica delle batterie degli apparecchi di illuminazione di emergenza installati in una zona o in un locale [W];

F_c = fattore di illuminamento costante. È legato alla presenza di un sistema di controllo a illuminamento costante ed è pari al rapporto tra la potenza effettiva e la potenza installata iniziale dell'apparecchio di illuminazione (in assenza di tale sistema $F_c = 1$);

F_o = fattore di presenza (dipende dalla tipologia dei relativi dispositivi di controllo utilizzati e dal tempo di non occupazione dello spazio)

F_D = fattore di dipendenza dal daylight (valuta il contributo dell'illuminazione naturale vista sia in termini di disponibilità sia in termini di utilizzazione; $F_D = 1$ se non c'è il contributo del daylight)

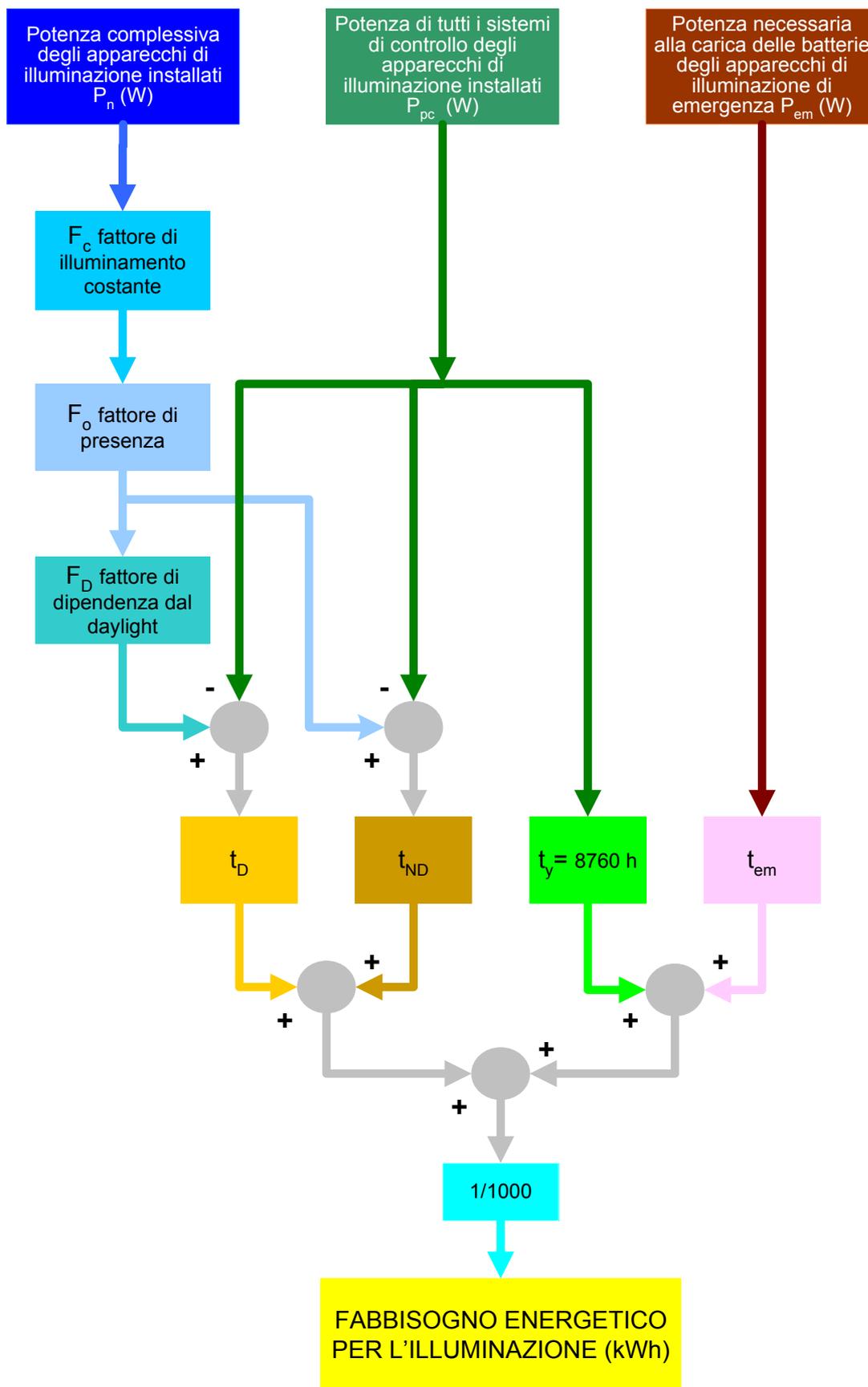
t_D = ore di funzionamento durante il periodo di disponibilità del daylight [h]

t_N = ore di funzionamento durante il periodo di non disponibilità del daylight [h]

t_y = numero di ore nell'anno standard di riferimento (8760 h)

t_{em} = tempo di carica delle batterie degli apparecchi di illuminazione di emergenza [h]

Il diagramma di flusso della procedura di calcolo è mostrato di seguito:



L'energia annuale richiesta per ogni ambiente o gruppi di ambienti omogenei, come caratteristiche illuminotecniche e di destinazione d'uso, viene calcolata come segue:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} = \frac{\sum [P_n \times F_c \times F_o \times (t_N + t_D \times F_D)]}{1000} + \frac{\sum \{P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \times t_{em})\}}{1000} \quad [kWh]$$

Per gli edifici esistenti, nei quali non sono note né le potenze dei singoli apparecchi di illuminazione P_i ($P_n = \sum P_i$), né l'energia parassita consumata, tali grandezze possono essere stimate come:

- *Potenza del singolo apparecchio di illuminazione P_i*
 - Lampade ad alimentazione diretta (incandescenza, CFL ...)
Potenza nominale della singola lampada × numero di lampade presenti
 - Lampade alimentate attraverso trasformatori, reattori, ecc.
1.2 × potenza nominale della singola lampada × numero di lampade presenti
- *Energia parassita consumata*
 - Energia parassita WP = 6 kWh/(m2anno)
 - Energia per i comandi di illuminazione automatici (sistemi di controllo) = 5 kWh/(m2anno)
 - Energia per l'illuminazione di emergenza = 1 kWh/(m2anno)

Metodo di calcolo rapido.

Questo metodo semplificato prevede l'utilizzo di grafici e prospetti attraverso i quali è possibile valutare le grandezze t_D , t_N , F_D , F_o , F_c .

Orario operativo annuale predefinito correlato al tipo di edificio

Tipo di edificio	Ore di funzionamento delle attività all'interno dell'edificio per anno		
	t_D	t_N	$t_O = t_D + t_N$
Uffici	2250	250	2500
Edifici scolastici	1800	200	2000
Ospedali	3000	2000	5000
Hotel	3000	2000	5000
Ristoranti	1250	1250	2500
Impianti sportivi	2000	2000	4000
Commerciale	3000	2000	5000
Impianti di produzione industriale	2500	1500	4000

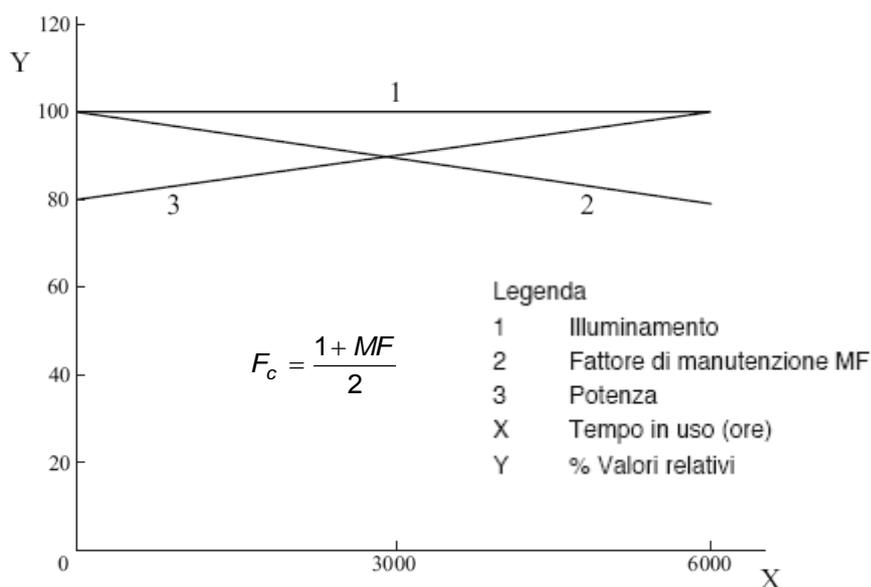
Impatto della luce diurna in edifici con sistemi di controllo

Impatto del daylight		
Tipo di edificio	Tipo di controllo	F_o
Uffici, strutture sportive, impianti produttivi	Manuale	1
	Regolazione delle fotocellule con rilevamento del daylight ($\geq 60\%$ carico)	0,9
Ristoranti, commerciale	Manuale	1
Edifici scolastici, ospedali	Manuale	1
	Regolazione delle fotocellule con rilevamento del daylight ($\geq 60\%$ carico)	0,8

Fattore di occupazione per edifici con sistemi di controllo

Impatto del daylight		
Tipo di edificio	Tipo di controllo	F_o
Ufficio	Manuale	1
Scuola	Automatico $\geq 60\%$ del carico collegato	0,9
Ristoranti, commerciale, strutture sportive e impianti produttivi	Manuale	1
Hotel	Manuale	0,7
Ospedali	Manuale (qualche comando automatico)	0,8

Diagramma di illuminamento costante



La presenza di un sistema di controllo a illuminamento costante permette di regolare la potenza fornita dall'impianto di illuminazione in modo da mantenere costante il valore di illuminamento richiesto. Questo consente una riduzione dei consumi elettrici in quanto, sia per motivi di taglia commerciale delle lampade e degli apparecchi, sia per il sovradimensionamento dell'impianto in termini di potenza (dell'ordine del 25%) dovuto al decadimento naturale delle lampade (fattore di manutenzione MF), la densità di potenza elettrica installata $P_n/A = PN$ (dove A è l'area della zona o del locale) è superiore alla densità di potenza elettrica teorica, necessaria a mantenere il valore di illuminamento richiesto.

Per le grandezze viste, nella norma sono proposti dei valori di riferimento, variabili in funzione della classe dei criteri di progettazione dell'illuminazione (*classi di qualità*).

Valori predefiniti di riferimento

	Classe di Qualità	Parassita Emergenza P_{em} kWh/(m ² × anno)	Parassita Controllo P_{pc} kWh/(m ² × anno)	PN W/m ²	t_D h	t_N h	F_C		F_D		F_D		Senza controllo dell'illuminamento costante		Con controllo dell'illuminamento costante			
							Senza controllo dell'illuminamento costante	Con controllo dell'illuminamento costante	Manu	Auto	Manu	Auto	LENI	LENI	LENI	LENI		
							Valore limite		Valore limite		Valore limite		Valore limite		Valore limite		Valore limite	
							Manu	Auto	Manu	Auto	Manu	Auto	Manu	Auto	Manu	Auto	Manu	Auto
Ufficio	*	1	5	15	2 250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9	42,1	35,3	38,3	32,2		
	**	1	5	20	2 250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9	54,6	45,5	49,6	41,4		
	***	1	5	25	2 250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9	67,1	55,8	60,8	50,6		
Scuola	*	1	5	15	1 800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8	34,9	27,0	31,9	24,8		
	**	1	5	20	1 800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8	44,9	34,4	40,9	31,4		
	***	1	5	25	1 800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8	54,9	41,8	49,9	38,1		
Ospedale	*	1	5	15	3 000	200	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	70,6	55,9	63,9	50,7		
	**	1	5	25	3 000	200	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	115,6	91,1	104,4	82,3		
	***	1	5	35	3 000	200	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8	160,6	126,3	144,9	114,0		
Hotel	*	1	5	10	3 000	200	1	0,9	0,7	0,7	1	1	38,1	38,1	34,6	34,6		
	**	1	5	20	3 000	200	1	0,9	0,7	0,7	1	1	72,1	72,1	65,1	65,1		
	***	1	5	30	3 000	200	1	0,9	0,7	0,7	1	1	108,1	108,1	97,6	97,6		
Ristorante	*	1	5	10	1 250	125	1	0,9	1	1	1	-	29,6	-	27,1	-		
	**	1	5	25	1 250	125	1	0,9	1	1	1	-	67,1	-	60,8	-		
	***	1	5	35	1 250	125	1	0,9	1	1	1	-	92,1	-	83,3	-		
Impianto sportivo	*	1	5	10	2 000	200	1	0,9	1	1	1	0,9	43,7	41,7	39,7	37,9		
	**	1	5	20	2 000	200	1	0,9	1	1	1	0,9	83,7	79,7	75,7	72,1		
	***	1	5	30	2 000	200	1	0,9	1	1	1	0,9	123,7	117,7	111,7	106,3		
Vendita al dettaglio	*	1	5	15	3 000	200	1	0,9	1	1	1	-	78,1	-	70,6	-		
	**	1	5	25	3 000	200	1	0,9	1	1	1	-	128,1	-	115,6	-		
	***	1	5	35	3 000	200	1	0,9	1	1	1	-	178,1	-	160,6	-		
Fabbrica	*	1	5	10	2 500	150	1	0,9	1	1	1	0,9	43,7	41,2	39,7	37,5		
	**	1	5	20	2 500	150	1	0,9	1	1	1	0,9	83,7	78,7	75,7	71,2		
	***	1	5	30	2 500	150	1	0,9	1	1	1	0,9	123,7	116,2	111,7	105,0		

Detta A l'area della zona o del locale e $P_n/A = PN$ la densità di potenza installata per illuminazione (W/m^2), per tutte le tipologie di edificio è stato assunto:

- Classe * $PN = 15 W/m^2$
- Classe ** $PN = 20 W/m^2$
- Classe *** $PN = 25 W/m^2$

$$P_{pc} t_y/A = 5 \text{ kWh}/(m^2\text{anno}) \quad P_{em} t_{em}/A = 1 \text{ kWh}/(m^2\text{anno})$$

$$LENI = \{F_C + PN/1000[(t_D F_D F_0) + (t_N F_0)]\} + 1 + \{5/t_y[t_y - (t_D + t_N)]\} \quad [\text{kWh}/(m^2\text{anno})]$$

Manu/Auto è il sistema di controllo manuale/automatico dell'illuminazione.

Classi di qualità

	Classe dei criteri di progettazione dell'illuminazione		
	*	**	***
illuminamento mantenuto sui compiti visivi orizzontali (E_m orizzontale)	o	o	o
Controllo appropriato dell'abbagliamento molesto (UGR)	o	o	o
Prevenzione di sfarfallamento ed effetti stroboscopici	x	x	x
Controllo appropriato di riflessioni velanti e abbagliamento riflesso	-	x	x
Resa migliorata del colore	-	o	o
Prevenzione delle ombre dure o delle luci troppo diffuse per fornire un buon modellato	-	x	x
Corretta distribuzione della luminanza nel locale ($E_{verticale}$)	-	x	x
Attenzione speciale alla comunicazione visiva con adeguato illuminamento dei volti ($E_{cilindrica}$)	-	-	x
Attenzione speciale alle questioni legate alla salute (Nota)	-	-	x

o: In conformità ai valori richiesti dai prospetti 5.3 della UNI EN 12464-1:2004

x: In conformità ai requisiti descritti dalla UNI EN 12464-1:2004

Nota: per motivi legati alla salute degli utenti, possono essere richiesti illuminamenti anche molto superiori e quindi valori maggiori di PN.

Classe *	Soddisfazione base dei requisiti
Classe **	Buona soddisfazione dei requisiti
Classe ***	Soddisfazione completa dei requisiti

Metodo di calcolo completo.

Questo metodo di calcolo prevede una valutazione accurata dei fattori di controllo F_D , F_o e F_c .

5.1.3 Schede di raccolta dati

Si riporta qui un esempio di scheda di raccolta dati per gli apparecchi di illuminazione e di illuminazione d'emergenza. Alcuni dati si possono rilevare dal sopralluogo attraverso la lettura dei dati di targa, altri si possono rilevare con misurazioni strumentali e altri ancora prevedono la consultazione delle schede tecniche del fabbricante.

Verificare l'eventuale presenza di sistemi di controllo dell'illuminazione (Illuminamento Costante Controllato) (Appendice D UNI EN 15193:2008). In caso affermativo, rilevarne le caratteristiche e la potenza in stand-by.

ILLUMINAZIONE		
Numero apparecchi uguali		
Descrizione Apparecchio/i		
Marca – Tipo - Modello		
Anno di acquisto – Stato di manutenzione		
Ubicazione		
Potenza nominale	[W]	
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Modalità di utilizzo	[ore/anno]	

Nota: redigere almeno una scheda per ambiente e per tipo di apparecchio.

ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA e/o EMERGENZA		
Numero apparecchi uguali		
Descrizione Apparecchio/i		
Marca – Tipo - Modello		
Anno di acquisto – Stato di manutenzione		
Ubicazione		
Potenza nominale	[W]	
Potenza in stand-by	[W]	
Autonomia Batteria	min.	
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Modalità di utilizzo	[ore/anno]	

Si ricorda di tenere presente quanto già detto nel capitolo 5.1.1 in merito ai requisiti minimi.

Per quanto riguarda l'autonomia delle batterie, riferirsi a quanto dichiarato dal costruttore tenendo presente il minimo di 60 minuti richiesto dalle normative di sicurezza.

5.2 Altre utenze elettriche

Si riporta qui un esempio di scheda di raccolta dati per gli apparecchi elettrici (utenze). Alcuni dati si possono rilevare dal sopralluogo attraverso la lettura dei dati di targa, altri si possono rilevare con misurazioni strumentali e altri ancora prevedono la consultazione delle schede tecniche del fabbricante.

CARICHI ELETTRICI – APPARECCHI (Utenze)		
Descrizione Apparecchio		
Marca – Tipo – Modello		
Anno di acquisto – Stato di manutenzione		
Ubicazione		
Potenza nominale	[W]	
Potenza in stand-by	[W]	
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Classe di rendimento		
Modalità di utilizzo	[ore/anno]	

Elenco non esaustivo di possibili utenze:

Elettrodomestici:	Asciugatrici Congelatori Forni/Microonde Friggitrici Frigoriferi/Banchi frigo Lavastoviglie Lavatrici Piastr Televisori/Audio-video ...	Strumenti per Ufficio:	Calcolatrici Computer/Server Fax Fotocopiatrici Monitor Scanner Stampanti/Plotter Periferiche varie ...
Apparecchi vari:	Automatismi Distributori automatici Utensili portatili ...	Macchine Utensili:	Combinato Frese Pialle Seghe circolari/a nastro Torni Trapani a colonna Toupie ...

CLIMATIZZAZIONE		
Descrizione Apparecchio		
Marca – Tipo – Modello		
Anno di acquisto – Stato di manutenzione		
Ubicazione (Unità esterna e Unità interna/e)		
Potenza elettrica nominale	[W]	
Potenza/e Frigorifera/e	[BTU]	
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Classe di rendimento		
Modalità di utilizzo	[ore/anno]	

MOTORI - POMPE		
Descrizione Apparecchio		
Marca – Tipo – Modello		
Anno di acquisto – Stato di manutenzione		
Ubicazione		
Potenza nominale	[W]	
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Classe di efficienza		
Modalità di utilizzo	[ore/anno]	

Elenco non esaustivo di possibili apparecchi con motori o pompe:

Autoclavi
 Cappe Aspiranti
 Estrazione acqua
 Innaffiamento
 Sollevamento Materiali
 Sollevamento Persone
 ...

Si riportano a titolo di esempio due tabelle di consumi annui medi per alcuni elettrodomestici; la prima è stata pubblicata da alcune Associazioni di Consumatori, mentre la seconda è stata pubblicata dall'ENEA.

Consumi annui medi (Fonte: Associazioni Consumatori)

Apparecchio	Potenza [W]	Consumo [kWh/anno]	Utilizzo medio
Affettatrice	50	0,4	10 min/sett.
Arricciacapelli	50	0,1	10 min/sett.
Asciuga biancheria	3000	250	2 volte/sett. (6 mesi)
Asciugacapelli	1000	26	30 min/sett.
Aspirapolvere	1000	39	45 min/sett.
Boiler elettrico	1200	3000	120 L/giorno
Congelatore	300	600	Continuo
Cappa Aspirante	100	21	4 h/sett
Coltello elettrico	100	0,4	5 min/sett
Cucina elettrica	3000	1100	2 fuochi 45 min/giorno
Ferro da stiro	1000	26	1 h/sett
Forno elettrico	2000	65	1 h 20 min/sett.
Friggitrice	2000	78	45 min/sett.
Frullatore	150	2	15 min/sett.
Giradischi/CDrom	20	3.1	3 h/sett.
Grill	1000	26	30 min/sett.
Illuminazione	720	260	3x60W 4 h/giorno
Lavastoviglie	3000	700	1 lavag./giorno
Lavatrice	3000	210	2 lavag./sett.
Lucidatrice	300	3,9	15 min/sett.
Macchina per cucire	100	1,2	1 h/mese
Macina caffè	20	0,01	5 min/sett.
Personal Computer	200	21	14 h/sett
Radiatore	2000	400	10h/sett. (6 mesi)
Radio	10	7.3	14 h/sett.
Radiosveglia	10	87	Continuo
Registratore	20	4,2	4 h/sett.
Riscaldamento elettrico	15000	10000	6 mesi/anno
Segreteria telefonica	5	40	Continuo
Spremiagrumi	70	0,6	10 min/sett.
Taglia-erba	1000	8	15 min/sett. (8 mesi)
Televisore	100	105	20 h/sett.
Tostapane	1000	13	15 min/sett.
Trapano	500	6,5	15 min/sett.
Tritacarne	200	0,8	5 min/sett.
Umidificatore	20	4,5	14 h/sett.
Videoregistratore	100	36,5	7 h/sett.
Yogurtiera	20	3	1 volta/sett.

Consumi annui medi (Fonte: ENEA)

Apparecchio	Potenza [W]	Consumo [kWh/anno]	Utilizzo medio
Scaldabagno elettrico	1000	2000	3 h 30 min/giorno
Stufa elettrica	2000	120	1 h/giorno per 2 mesi
Condizionatore	1000	420	4 h/giorno per 2 mesi
Frigorifero 300 litri con congelatore	200	240	Continuo
Congelatore	200	420	Continuo
Illuminazione	60-100	360	3 h 30 min/giorno
Lavatrice	2000	300	4 lavag./sett a 60°
Lavastoviglie	2000	330	4 lavag./sett.
Televisore	100	235 - (130)	4 h/giorno (senza stand-by)
Forno elettrico	1000	100	4 volte/sett.
Videoregistratore	80	165 - (55)	2 h/giorno (senza stand-by)
Computer	100	170 - (70)	2 h/giorno (senza stand-by)
Hi-Fi	30	80 - (20)	2 h/giorno (senza stand-by)

In merito ai consumi dei monitor è stata stilata da Euro Topten (progetto di ricerca online rivolto ai consumatori) una tabella di dati di consumo limite, al di sopra dei quali lo schermo non è considerato efficiente. Si riporta una tabella con i consumi massimi consentiti, dei monitor, per essere considerati efficienti. I monitor con il contrassegno "Energy Star" rispettano questi consumi.

Stato di attivazione	Consumo massimo [W]
on (schermo 17")	23
on (schermo 19" - 20")	30
on (schermo 21" - 22")	40
on (schermo 24")	60
sleep	2
off	1

Analogamente, per le stampanti si può fare riferimento all'indice di efficienza degli apparecchi TEC (Typical Electricity Consumption), che indica il consumo elettrico tipico settimanale secondo il criterio *Energy Star*. Si riporta una tabella di tale indice in funzione del valore di pagine formato A4 massimo stampabile al minuto (ppm).

Pagine/min	TEC massimo (kWh/settimana)		Pagine/min	TEC massimo (kWh/settimana)	
	b/n	colori		b/n	colori
4	0,60	1.40	32	2,70	5,04
8	0,60	1,80	36	3,10	5,52
12	0,60	2,20	40	3,50	6,00
16	0,88	2,60	50	4,95	7,80
20	1,20	3,00	70	15,00	19,60
24	1,71	3,74	90	26,65	33,00
28	2,07	4,18	100	31,85	39,00

5.3 Schede di raccolta dati per gli impianti elettrici

Si riporta qui un esempio di scheda di raccolta dati per gli impianti elettrici. Alcuni dati si possono rilevare dal sopralluogo attraverso la lettura dei dati di targa, altri si possono rilevare con misurazioni strumentali e altri ancora prevedono la consultazione delle schede tecniche del fabbricante.

PUNTO DI CONSEGNA E MISURA		
Descrizione Contatore - Nominativo		
Numero cliente	[n°]	
Tariffa		
Lettura periodo precedente (A1-A2-A3)	[n°]	
Lettura periodo attuale (A1-A2-A3)	[n°]	

QUADRI ELETTRICI		
Descrizione Quadro		
Dati costruttore		
Anno di costruzione		
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Grado di protezione IP		

CENTRALINA RIFASAMENTO		
Marca - Tipo - Modello		
Potenza	[kW o kVA]	

SISTEMI DI REGOLAZIONE E GESTIONE DEI CONSUMI (Building Management Systems)		
Marca - Tipo - Modello		
Caratteristiche		

GENERATORI ENERGIA ELETTRICA		
Marca - Tipo - Modello		
Potenza	[kW] o [kVA]	
Anno di costruzione		
Tensione	[V]	
Corrente	[A]	
Modalità di utilizzo	[ore/anno]	

Nota: si ricorda che l'installazione di gruppi elettrogeni con potenza superiore a 25 kW è un'attività soggetta al controllo dei Vigili del Fuoco, come individuato dal punto 64 del Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982; pertanto questi devono avere il Certificato di Prevenzione Incendi (CPI).

CAPITOLO 6 – PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI

6.1 Introduzione

Si riportano in questa sezione le schede di rilievo e raccolta dati per impianti di produzione di energia elettrica e termica alimentati da fonti rinnovabili eventualmente presenti nella zona soggetta ad audit in esame.

Di tutte le possibili fonti, se ne sono individuate tre principali, sia perché rappresentano quelle maggiormente diffuse negli edifici, sia perché presentano procedure di calcolo della producibilità energetica presenti in normativa. Si tratta di impianti fotovoltaici per la produzione elettrica e di impianti solari termici e a biomasse per la produzione di energia termica. Per tutte le altre tipologie di impianto eventualmente presenti (mini-eolico, mini-idroelettrico, sfruttamento dell'energia geotermica ...), si può far riferimento al paragrafo 2.2.4 per la scheda di raccolta dati e, per la stima della producibilità, si fa riferimento a metodologie specifiche o alla stima presente nella relazione di progetto dell'impianto stesso.

La procedura di calcolo della producibilità dell'impianto può essere eventualmente utilizzata in prima analisi anche per valutare interventi di installazione ex novo e i relativi tempi di ritorno economici.

Si sottolinea l'importanza, come già ricordato nel paragrafo 2.2.4, del coinvolgimento della persona di riferimento con la quale concordare la raccolta di informazioni (progetto di impianto ...), le date dei sopralluoghi, le modalità di accesso all'area degli impianti, le eventuali convenzioni di gestione/scambio/vendita dell'energia prodotta e così via. Inoltre occorre individuare le modalità di utilizzo dell'energia prodotta e le eventuali tipologie di regolazione ed integrazione dell'impianto a fonte rinnovabile con gli impianti tradizionali.

6.2 Impianti fotovoltaici

Si riporta qui la scheda di raccolta dati per il rilievo dei parametri caratteristici degli impianti fotovoltaici presenti nella zona soggetta ad audit, al fine del calcolo della produzione di energia elettrica e del confronto con dati storici eventualmente presenti.

Scheda raccolta dati		Impianto n°:
Numero di moduli	[-]	
Tipologia di moduli	[-]	
Potenza di picco di ogni modulo	[Wp]	
Area netta di ogni modulo	[m ²]	
Angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale (tilt)	[°]	
Orientamento	[°]	
Tipologia di struttura di supporto	[-]	
Tipologia di ventilazione dei moduli	[-]	
Ombreggiamento presente	[-]	
Potenza motore di movimentazione moduli (per impianto ad inseguimento)	[W]	
Data di allaccio alla rete elettrica nazionale	[-]	

È inoltre importante reperire le seguenti informazioni (come già ricordato al paragrafo 2.2.4 e 2.4.2.2):

1. Dati storici monitorati della produzione di energia elettrica dell'impianto, se presenti.
2. Tipologia di interfaccia con la rete elettrica nazionale.
3. Tipologia di regime di scambio/vendita dell'energia prodotta.
4. Contatore di energia elettrica di riferimento se impianto in regime di scambio sul posto.

In particolare si riportano, per alcuni dati da rilevare, alcune possibili scelte, ricavate dalla normativa di riferimento europea (UNI EN 15316-4-6:2008) o semplicemente riportate a titolo di esempio.

Orientamento	
Sud	0°
Sud-est	-45°
Est	-90°
Sud-ovest	45°
Ovest	90°
Variabile	

Tipologia di moduli	
	Silicio monocristallino
	Silicio policristallino
	Silicio amorfo a film sottile
	Film sottile in Cadmio-Tellurio
	Film sottile in Rame-Indio-Gallio
	Altre tipologie di film sottile
Tipologia di struttura di supporto	
	Struttura ad angoli fissi
	Struttura ad inseguimento monoassiale
	Struttura ad inseguimento biassiale

Tipologia di ventilazione	
	Moduli non ventilati
	Moduli moderatamente ventilati
	Moduli molto ventilati o con ventilazione forzata

Metodo di calcolo per la stima della producibilità di impianti solari fotovoltaici.

Nel caso di impianti solari fotovoltaici che rispettino le ipotesi sotto riportate, il calcolo della producibilità di energia elettrica segue puntualmente lo standard europeo semplificato espresso dalla UNI EN 15316-4-6:2008, che qui si riporta nelle sue linee essenziali.

Ipotesi di validità del calcolo:

1. Impianti solari fotovoltaici installati su edifici;
2. Impianti solari fotovoltaici connessi alla rete (non stand-alone);
3. Assenza di recupero termico (non moduli fototermici);
4. Angoli d'inclinazione e orientamento fissi;
5. Ombreggiamento sui moduli trascurabile.

Dati di input:

1. Area totale dei moduli netta (A) [m²];
2. Irraggiamento solare annuo su superficie inclinata (E_{sol}) [kWh/(m²anno)];
Tale valore si calcola moltiplicando l'irraggiamento solare annuo su superficie orizzontale per i fattori di conversione dovuti a inclinazione e orientamento.
Il primo dato si desume dai valori riportati nella normativa sui dati climatici (UNI 10349:1994) relativa alla provincia d'interesse, sommando le due quote di irraggiamento diretto e diffuso su tutti i mesi dell'anno. Si precisa che in questo modo è trascurata la quota di irraggiamento riflesso dagli oggetti circostanti l'impianto.
Il secondo invece può essere dedotto o da calcoli sviluppati in proprio in base alla normativa UNI/TR 11328-1:2009 (che sostituisce la UNI 8477-1:1983) o dalle tabelle presenti in coda a questo paragrafo. I dati sono desunti dal portale europeo PhotoVoltaic Geographical Information System (PVGIS). Come si nota, sono prese in considerazione soltanto cinque località significative dell'intero paese, che hanno come discriminante il fattore latitudine. Per chi intenda adottare tali fattori di conversione, si raccomanda di effettuare delle valutazioni accurate per stabilire a quale dei cinque standard fare riferimento.
3. Potenza di picco dell'impianto (P_{pk}) [W_p]. Tale dato è ottenuto sotto condizioni standard di test (valori di riferimento di temperatura della cella di 25°C, di irraggiamento pari a 1000 W/m² su piano orizzontale e massa d'aria AM=1,5, come specificato nella normativa EN 61829). Nel caso non sia disponibile tale dato, si può utilizzare il coefficiente di potenza di picco (k_{pk}) [-], che tiene in considerazione la modalità di integrazione dell'impianto all'interno dell'edificio:
$$P_{pk} = k_{pk} * A [-]$$
4. Fattore di performance del sistema (f_{pf}) [-].
Tale fattore tiene in considerazione il rendimento globale dell'impianto e in particolare il sistema di conversione della corrente elettrica da continua ad alternata, la temperatura operativa dei moduli fotovoltaici, il grado di integrazione (e quindi di ventilazione) dell'impianto nell'edificio, il buon funzionamento dei componenti elettrici. Tale parametro è estremamente importante per effettuare una analisi di retrofit e per verificare possibili anomalie. In sede di stima si adottano di solito valori cautelativi che oscillano tra il 70% e l'80%.
5. Irradiazione di riferimento (I_{ref}), pari a 1000 W/m²;

Algoritmo di calcolo:

$$E_{el} = E_{sol} * P_{pk} * f_{pf} / I_{ref} \quad [kWh/anno]$$

Output:

Energia elettrica prodotta annualmente [kWh/anno]

Nel caso invece di impianti solari fotovoltaici non installati su un edificio e non caratterizzati da angoli di inclinazione e orientamento fissi, si può far ricorso al portale europeo PhotoVoltaic Geographical Information System (PVGIS).

Nel caso in cui l'ombreggiamento non sia trascurabile, è allora fondamentale l'analisi dei dati monitorati o semplicemente registrati dai componenti dell'impianto (in particolare dall'inverter o da un datalogger dedicato), come specificato nel paragrafo successivo. In alternativa, si dovrà svolgere il calcolo delle ombre portate nel periodo dell'anno di interesse tramite software specifici.

Nel caso non si tratti di un'analisi della producibilità di un impianto esistente, ma altresì si voglia compiere un primo studio di fattibilità di un impianto solare fotovoltaico applicato su edifici, si può utilizzare questa scheda ipotizzando i dati di input. Si dovrà però effettuare una corretta analisi delle ombre, che esula da questo studio, per evitare ombreggiamenti permanenti o occasionali. Inoltre sarà necessario, nel caso si voglia effettuare una analisi tecnico-economica, anche tenere in considerazione l'andamento dei consumi elettrici dell'edificio nell'anno (vedi scheda di acquisizione consumi) e tutte le possibili incentivazioni presenti a livello nazionale.

Diagnostica e analisi dei dati storici di produzione elettrica da impianto fotovoltaico (nel caso di impianto esistente).

Nel caso si abbiano a disposizione i dati storici di produzione dell'impianto fotovoltaico in esame, è di particolare importanza il confronto tra la producibilità stimata secondo il metodo di cui al paragrafo precedente e quella reale monitorata dal sistema. In particolare andranno confrontati i valori di energia elettrica prodotta.

Se i valori stimati e quelli monitorati, sullo stesso arco di tempo (annuale), risultano diversi, questo può essere attribuito a due cause:

1. Errata stima dell'irraggiamento solare incidente sui moduli;
2. Errata stima del fattore di performance del sistema.

In particolare per la prima causa si propongono qui alcuni dei possibili interventi migliorativi:

- 1.1 Minimizzazione di eventuali ombreggiamenti sul modulo (camini, antenne ...) che non erano stati considerati nella producibilità stimata.
- 1.2 Pulizia dei moduli per togliere lo sporco superficiale, che determina un ombreggiamento diffuso.
- 1.3 Sostituzione/adozione di moduli con caratteristiche tali da non risentire troppo di ombreggiamenti occasionali.

Per quanto riguarda invece la seconda causa (nel caso non si abbiano i problemi sopra elencati, o si sia già provveduto alla loro risoluzione), si propongono qui alcuni dei possibili controlli o interventi migliorativi:

- 2.1 Controllare il corretto funzionamento e rendimento dell'inverter. Eventualmente sostituirlo.
- 2.2 Controllare il corretto funzionamento e rendimento dei moduli fotovoltaici.
- 2.3 Aumentare la ventilazione dei moduli per evitare eccessivo surriscaldamento degli stessi.
- 2.4 Controllare il grado di degradazione delle celle solari.

Oltre alla diagnosi delle criticità eventualmente presenti, l'analisi dei dati di produzione monitorati è molto utile anche per creare uno storico e per cercare di abbinare la produzione di energia elettrica al consumo della stessa da parte dell'utenza collegata (vedi capitolo 2.4.2.2).

Valori di riferimento.

Valori di riferimento del fattore di conversione dell'irraggiamento solare annuo per differenti valori di orientamento e d'inclinazione rispetto all'orizzontale:

Località	Latitudine [° ' "]	Longitudine [° ' "]	Altezza sul livello del mare [m]	Irraggiamento su piano orizzontale
Bolzano	46 29 48	11 21 28	262	1180
Bologna	44 29 39	11 27 47	75	1270
Roma	41 53 25	12 29 39	34	1470
Catania	37 30 8	15 5 16	18	1720

Bolzano		Sud	Sud-est	Sud-ovest	Est	Ovest
Angolo tilt	0°	1	1	1	1	1
	10°	1.07	1.04	1.05	0.99	1
	20°	1.11	1.07	1.08	0.97	0.98
	30°	1.14	1.07	1.08	0.93	0.96
	40°	1.13	1.05	1.08	0.89	0.92
	50°	1.10	1.02	1.04	0.83	0.87
	90°	0.75	0.68	0.72	0.53	0.57

Bologna		Sud	Sud-est	Sud-ovest	Est	Ovest
Angolo tilt	0°	1	1	1	1	1
	10°	1.06	1.05	1.05	0.99	0.99
	20°	1.11	1.07	1.07	0.98	0.98
	30°	1.13	1.08	1.08	0.95	0.95
	40°	1.12	1.06	1.06	0.91	0.91
	50°	1.09	1.03	1.03	0.87	0.87
	90°	0.74	0.71	0.70	0.57	0.57

Roma		Sud	Sud-est	Sud-ovest	Est	Ovest
Angolo tilt	0°	1	1	1	1	1
	10°	1.07	1.05	1.05	0.99	0.99
	20°	1.12	1.08	1.08	0.97	0.97
	30°	1.14	1.09	1.09	0.95	0.95
	40°	1.14	1.07	1.07	0.91	0.91
	50°	1.11	1.04	1.04	0.86	0.86
	90°	0.74	0.71	0.71	0.56	0.56

Catania		Sud	Sud-est	Sud-ovest	Est	Ovest
Angolo tilt	0°	1	1	1	1	1
	10°	1.07	1.05	1.05	0.99	0.99
	20°	1.12	1.08	1.07	0.97	0.97
	30°	1.13	1.08	1.08	0.94	0.94
	40°	1.12	1.06	1.06	0.90	0.90
	50°	1.09	1.02	1.02	0.85	0.85
	90°	0.70	0.68	0.67	0.54	0.54

Valori di riferimento per il fattore di performance del sistema, f_{pf} (si riportano qui i valori presenti nella normativa europea UNI EN 15316-4-6:2008, suddivisi in base alla modalità di ventilazione del modulo fotovoltaico):

Type of building integration of the photovoltaic modules	f_{perf}
Unventilated modules	0,70
moderately ventilated modules	0,75
strongly ventilated or forced ventilated modules	0,80

Valore di riferimento per il coefficiente di potenza di picco, k_{pk} (si riportano qui i valori

presenti nella normativa europea UNI EN 15316-4-6:2008, suddivisi in base alla tipologia di modulo fotovoltaico):

Table B.3 — Informative values of peak power coefficient

Type of photovoltaic module	K_{pk} kW/m ²
Mono crystalline silicon ^a	0,12 to 0,18
Multi crystalline silicon ^a	0,10 to 0,16
Thin film amorphous silicon	0,04 to 0,08
Other thin film layers	0,035
Thin film Copper-Indium-Gallium-diselenide	0,105
Thin film Cadmium-Telluride	0,095
^a With a minimum package density of 80 %.	

6.3 Impianti solari termici

Si riporta qui la scheda di raccolta dati per il rilievo dei parametri caratteristici degli impianti solari termici su edifici per la produzione di acqua calda, al fine del calcolo della produzione di energia. Alcuni dati si possono rilevare dal sopralluogo, altri invece prevedono la consultazione delle schede tecniche dei componenti.

Scheda raccolta dati		Impianto n°:
Area lorda dei collettori (A)	[m ²]	
Tipologia di collettore	[-]	
Angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale (tilt)	[°]	
Orientamento	[°]	
Tipologia di struttura di supporto	[-]	
Utilizzo e tipologia del fluido vettore	[-]	
Profilo medio mensile di richiesta di acqua calda sanitaria	[l/giorno]	Si veda la tabella sotto
Temperatura dell'acqua calda sanitaria richiesta	[°C]	
Profilo medio mensile di richiesta di acqua calda per riscaldamento	[kWh/mese]	Si veda la tabella sotto
Temperatura dell'acqua calda per riscaldamento	[°C]	
Temperatura di acquedotto (T _{acq})	[°C]	
Presenza del/dei serbatoio/i di accumulo	[-]	
Volume del serbatoio di accumulo (V _{nom})	[l]	
Coefficiente di scambio termico del serbatoio di accumulo (U _{st})	[W/(m ² K)]	
Coefficiente di scambio termico del collettore di ordine zero (η ₀)	[W/(m ² K)]	
Coefficiente di scambio termico del collettore di primo ordine (a ₁)	[W/(m ² K)]	
Coefficiente di scambio termico del collettore di secondo ordine (a ₂)	[W/(m ² K)]	

Potenza della pompa di circolazione (P_{aux})	[W]	
Caratteristiche dell'eventuale sistema integrativo di produzione di acqua calda sanitaria o per riscaldamento	[-]	
Ombreggiamento presente	[-]	
Data di entrata in funzione dell'impianto	[-]	

Tabella per inserimento del profilo medio mensile del fabbisogno di ACS

Fabbisogno medio mensile	Produzione ACS [kWh/mese]	Riscaldamento [kWh/mese]
Gennaio		
Febbraio		
...		
Dicembre		
Totale		

È inoltre importante reperire le seguenti informazioni (come già ricordato al paragrafo 2.2.4):

1. Schema di impianto (se presente nel progetto, altrimenti cercare di riprodurlo durante il sopralluogo).
2. Scheda di gestione e utilizzo dell'acqua calda prodotta.
3. Schema di controllo della gestione del funzionamento dell'impianto in tutti i suoi componenti (in particolar modo della pompa di circolazione, del sistema di produzione integrativo e del serbatoio di accumulo).

In particolare si riportano, per alcuni dati da rilevare, alcune possibili scelte, ricavate dalla normativa di riferimento europea (UNI EN 15316-4-3:2008) o semplicemente riportate a titolo di esempio. Inoltre in coda a questo paragrafo sono riportati alcuni valori di riferimento.

Orientamento	
Sud	0°
Sud-est	-45°
Est	-90°
Sud-ovest	45°
Ovest	90°
Variabile	

Tipologia di moduli	
	Collettori tubulari sottovuoto con assorbitore
	Collettori tubulari sottovuoto con assorbitore
	Collettori piani a doppio vetro
	Collettori piani a singolo vetro
	Collettori piani senza vetro

Tipologia di struttura di supporto	
	Struttura ad angoli fissi
	Struttura ad inseguimento monoassiale
	Struttura ad inseguimento biassiale

Utilizzo e tipologia del fluido vettore	
	Tipologia: liquido o aria
	Uso: Produzione di acqua calda sanitaria
	Uso: Produzione di acqua per riscaldamento
	Uso: Produzione di acqua calda sanitaria e per riscaldamento

Presenza del serbatoio di accumulo	
	Unico
	Uno di preriscaldamento, uno sanitario
	Unico, costituito dalle tubazioni del riscaldamento

Metodo di calcolo per la stima del fattore di copertura del carico da impianto solare termico.

Nel caso di impianti solari termici che rispettino le ipotesi sotto riportate, il calcolo della producibilità di energia termica e del fattore di copertura segue puntualmente lo standard europeo semplificato espresso dalla UNI EN 15316-4-3:2008, che qui si riporta nelle sue linee essenziali.

Ipotesi di validità del calcolo:

1. Utilizzo del metodo semplificato di calcolo sviluppato presso l'Università del Wisconsin-Madison (USA) da Klein, Beckmann e Duffie, conosciuto con il nome di

"metodo carta-f" ottenuto sulla base dei risultati di numerose simulazioni dinamiche del comportamento di alcuni impianti di riferimento;

2. Periodo di calcolo mensile;
3. Necessità di stimare le perdite termiche del sistema di distribuzione dal serbatoio/i ai terminali di distribuzione (sia per impianto di produzione di acqua calda sanitaria, che per riscaldamento che combi system). Tali perdite vanno aggiunte alla richiesta di energia termica negli usi finali.
4. Le perdite termiche riferite al circuito solare e al serbatoio di accumulo non sono aggiunte alla richiesta termica, ma sono considerate eventualmente soltanto come riscaldamento aggiuntivo all'ambiente in cui si trovano;
5. Per i sistemi combi system si ipotizza la suddivisione dell'area totale del collettore e del volume del serbatoio di accumulo (se impianto a serbatoio singolo) in una percentuale dedicata alla produzione di acqua calda sanitaria e nella restante percentuale dedicata alla produzione di acqua per riscaldamento. Tale percentuale è data dal rapporto tra le due quote di fabbisogno termico per produzione di ACS e per riscaldamento;
6. Metodo applicato ad impianti a liquido.

Dati di input per sistema di produzione di acqua calda sanitaria o per riscaldamento:

1. Area totale dei collettori netta (A)[m²]
2. Irradiazione solare media mensile su superficie inclinata (I_m)[W/(m²mese)].

Tale valore si calcola moltiplicando l'energia radiante (irraggiamento) solare medio mensile su superficie orizzontale per i fattori di conversione dovuti a inclinazione e orientamento, e in seguito si procede alla divisione del valore ottenuto (che è un valore di energia) per la durata del giorno espressa in secondi. In tal modo si ottiene il valore della potenza d'irradiazione media mensile incidente sul collettore.

Il primo dato (irraggiamento solare medio mensile) si desume dai valori riportati nella normativa sui dati climatici (UNI 10349:1994) relativi alla provincia d'interesse, sommando le due quote d'irraggiamento diretto e diffuso su superficie orizzontale per ogni mese dell'anno. Si precisa che in questo modo è trascurata la quota d'irraggiamento riflesso dagli oggetti circostanti l'impianto.

Il secondo dato invece (ovvero il fattore di conversione dovuto all'inclinazione e all'orientamento) può essere dedotto o da calcoli sviluppati in proprio in base alla normativa UNI TR 11328-1:2009 (che sostituisce la UNI 8477-1:1983) o dalle tabelle presenti in appendice. I dati sono desunti dal portale europeo PhotoVoltaic Geographical Information System (PVGIS). Come si nota, sono prese in considerazione soltanto cinque località significative dell'intero paese, che hanno come discriminante il fattore latitudine. Per chi intenda adottare tali fattori di conversione, si raccomanda di effettuare delle valutazioni accurate per stabilire a quale dei cinque standard fare riferimento.

Se si ha poco ombreggiamento permanente (con altezza dell'ostacolo minore di 20°) o se si ha ombreggiamento occasionale, questo può essere trascurato (secondo UNI EN 15316-4-3:2008). Se invece l'ombreggiamento è permanente e significativo, allora (secondo UNI EN 15316-4-3:2008), si può applicare un fattore cautelativo di

0.8 all'irradiazione incidente sui collettori oppure, meglio ancora, si procede ad un calcolo più preciso degli ombreggiamenti.

3. Temperatura media mensile della località (T_{est}), secondo UNI 10349:1994;
4. Coefficiente di scambio termico del collettore di ordine zero (η_0) [W/m^2K];
5. Coefficiente di scambio termico del collettore di ordine uno (a_1) [W/m^2K];
6. Coefficiente di scambio termico del collettore di ordine due (a_2) [W/m^2K];
7. Coefficiente di scambio termico delle tubazioni del circuito solare ($U_{loop,p}$) [W/m^2K];
8. Efficienza termica del circuito solare (η_{loop}) [-];
9. Profilo di carico termico per produzione di acqua calda sanitaria o per riscaldamento, con una maggiorazione per tenere conto anche delle perdite termiche nella distribuzione dal serbatoio di accumulo al terminale di erogazione ($Q_{use,ACS}$ e $Q_{use,risc}$) [kWh/mese]; si consiglia di compilare la tabella come riportata nella scheda di raccolta dati;
10. Temperatura dell'acqua di acquedotto media annuale (costante su tutti i mesi) (T_{acq}) [$^{\circ}C$];
11. Volume nominale del serbatoio di accumulo (V_{nom}) [l];
12. Valore del fattore correttivo dell'angolo di incidenza (IAM) [-];
13. Temperatura di *set-point* del serbatoio di accumulo (T_{set}) [$^{\circ}C$].

Algoritmo di calcolo.

La produzione di energia termica mensile dall'impianto solare ($Q_{sol,out}$) è data dalla seguente formula:

$$Q_{sol,out} = Q_{use} * f \quad [kWh/mese]$$

dove f rappresenta la frazione del fabbisogno termico mensile (per produzione di acqua calda sanitaria e/o per riscaldamento) coperto dall'impianto solare termico e Q_{use} è la richiesta di energia termica per produzione di ACS ($Q_{use,ACS}$) o per riscaldamento ($Q_{use,risc}$).

Anche la produzione di energia termica mensile si può suddividere in base all'utilizzo: $Q_{sol,out,ACS}$ per la produzione di ACS e $Q_{sol,out,risc}$ per il riscaldamento.

Nel caso di combi system, si effettuano due calcoli distinti, uno per la copertura del carico termico per produzione di acqua calda sanitaria, una per riscaldamento suddividendo l'area del collettore e del volume come precedentemente specificato, con distinti valori dei parametri X , Y e f .

Il valore del fattore di copertura solare (f) è dato, secondo il metodo *carta-f* dal quale prende il nome, dalla seguente formula empirica:

$$f = 1.029 * Y - 0.065 * X - 0.245 * Y^2 + 0.0018 * X^2 + 0.0215 * Y^3 \quad [-]$$

Per impianti solari per riscaldamento a pavimento in cui il volume di accumulo sia costituito dalla tubazione di riscaldamento stessa, i coefficienti dell'equazione cambiano. Si riporta qui l'equazione:

$$f = 0.863 * Y - 0.14 * X - 0.263 * Y^2 + 0.008 * X^2 + 0.029 * Y^3 + 0.025 * X^3 \quad [-]$$

Il parametro X è così definito:

$$X = A * U_{loop} * \eta_{loop} * f_{st} * (T_{ref} - T_{est}) * t_m / (Q_{use} * 1000) \quad [-]$$

dove t_m è il periodo mensile espresso in ore, T_{ref} è la temperatura di riferimento per l'utilizzo dell'acqua calda, U_{loop} è il coefficiente di scambio termico del circuito solare e f_{st} è il fattore correttivo legato al volume di accumulo presente.

Per sistemi di produzione di ACS la temperatura di riferimento è dato dalla seguente equazione:

$$T_{ref} = 11.6 + 1.18 * T_{utilizzo} + 3.86 * T_{acc} - 1.32 * T_{est} \quad [^{\circ}C]$$

dove la temperatura di utilizzo dell'acqua ($T_{utilizzo}$) è assunta costantemente pari a 40°C.

Per i sistemi di produzione di acqua calda per riscaldamento la temperatura di riferimento (T_{ref}) è assunta costantemente pari a 100°C.

Il valore del fattore correttivo legato alle dimensioni dell'accumulo è dato dalla seguente equazione:

$$f_{st} = (V_{ref} / V_{nom} * f_{bu})^{0.25} \quad [-]$$

dove V_{ref} è il volume tipico per area di collettore pari a 75 l/m². Con il simbolo V_{nom} si intende il volume nominale dell'intero serbatoio di accumulo e f_{bu} tiene conto dell'eventuale percentuale di serbatoio dedicato al riscaldamento integrativo.

Se all'interno del serbatoio non si ha una quota dedicata al riscaldamento integrativo (ovvero se il serbatoio è di preriscaldamento), f_{bu} ha valore unitario. Si precisa che nel caso di combi system con serbatoio unico, il volume nominale del serbatoio (V_{nom}) va suddiviso nelle due quote relative agli usi finali, a prescindere dall'eventuale sistema integrativo di riscaldamento dedicato all'uno o all'altro uso.

Il valore del coefficiente di scambio termico del circuito solare è dato dalla seguente equazione:

$$U_{loop} = a_1 + a_2 * 40 + U_{loop,p} / A \quad [W/m^2K]$$

Il parametro solare Y è invece definito dalla relazione:

$$Y = A * IAM * \eta_{loop} * \eta_0 * I_m * t_m / (Q_{use} * 1000) \quad [-]$$

dove IAM è il fattore correttivo dell'angolo di incidenza e dipende principalmente dal prodotto trasmittanza-assorbanza del collettore e quindi dalla sua tipologia.

Il consumo di energia per i componenti ausiliari (sistema di pompaggio e controllo), se presenti, si calcola sempre secondo la normativa europea UNI EN 15316-4-3:2008, ipotizzando un periodo di funzionamento di 2000 ore annue, suddivise per ogni mese in base all'irraggiamento solare (maggiore è la quota di insolazione, maggiore si ipotizza che funzioni l'impianto e che quindi si azioni il sistema di pompaggio). In particolare si riporta l'equazione:

$$W_{aux} = P_{aux} * t_{aux,m} / 1000 \quad [\text{kWhel/mese}]$$

Il calcolo delle perdite termiche recuperate dal serbatoio di accumulo e dal sistema di distribuzione tra serbatoio e sistema integrativo, secondo la normativa europea UNI EN 15316-4-3:2008, segue le seguenti equazioni:

- perdite recuperate come riscaldamento dell'ambiente interno, nel caso di tubazioni di distribuzione non isolate:

$$Q_{rec,dis} = 0.05 Q_{sol,use} (Q_{sol,out} / Q_{sol,use}) \quad [\text{kWh/mese}]$$

- perdite recuperate come riscaldamento dell'ambiente interno, nel caso di tubazioni di distribuzione isolate:

$$Q_{rec,dis} = 0.02 Q_{sol,use} (Q_{sol,out} / Q_{sol,use}) \quad [\text{kWh/mese}]$$

- perdite recuperate come riscaldamento dell'ambiente interno dovute al serbatoio di accumulo:

$$Q_{rec,acc} = U_{st} (T_{set} - T_{amb}) (Q_{sol,out} / Q_{sol,use}) t_m / 1000 \quad [\text{kWh/mese}]$$

dove T_{set} è la temperatura di *set-point* del serbatoio (valore tipico: 60°C) e T_{amb} è la temperatura dell'ambiente in cui è ubicato il serbatoio (20°C o altro).

Tutte le perdite termiche sono recuperate al 100% se i componenti in oggetto sono ubicati in un ambiente riscaldato; al 50% se i componenti sono ubicati in un ambiente non riscaldato; sono invece non recuperate se i componenti sono ubicati all'esterno.

Output:

- Energia termica prodotta mensilmente per la produzione di ACS o di riscaldamento [kWh/mese]
- Fattore di copertura del carico di produzione di ACS o del fabbisogno per riscaldamento con l'impianto solare termico (f) [-]
- Energia termica prodotta mensilmente per riscaldamento dei locali dovuta al recupero delle perdite termiche [kWh/mese]
- Energia elettrica assorbita mensilmente dai sistemi ausiliari se presenti [kWhel/mese]

In particolare si consiglia l'uso delle seguenti tabelle riepilogative.

Tabella riepilogativa per impianti per produzione di ACS

	Fabbisogno medio mensile ($Q_{use, ACS}$) per produzione ACS [kWh/mese]	X [-]	Y [-]	f [-]	Fabbisogno medio mensile ($Q_{sol,out,ACS}$) coperto dall'impianto [kWh/mese]
Gennaio					
Febbraio					
...					
Dicembre					
Totale					

Tabella riepilogativa per impianti per riscaldamento

	Fabbisogno medio mensile ($Q_{use, risc}$) per riscaldamento [kWh/mese]	X [-]	Y [-]	f [-]	Fabbisogno medio mensile ($Q_{sol,out,risc}$) coperto dall'impianto [kWh/mese]
Gennaio					
Febbraio					
...					
Dicembre					
Totale					

Tabella riepilogativa per perdite recuperate

	Perdite recuperate dai sistemi ausiliari (W_{aux}) [kWh/mese]	Perdite recuperate dai serbatoio di accumulo ($Q_{rec,acc}$) [kWh/mese]	Perdite recuperate dal sistema di distribuzione ($Q_{rec,dis}$) [kWh/mese]
Gennaio			
Febbraio			
...			
Dicembre			
Totale			

Procedimento di calcolo per sistema combi system (produzione di acqua calda sanitaria e per riscaldamento).

Tutto il procedimento di stima del fattore di copertura del fabbisogno termico nel caso di sistemi combi system per produzione di acqua calda sanitaria e per riscaldamento, calcolati separatamente, è identico a quello sopra riportato.

Si sottolinea come già scritto precedentemente che vanno però adottati i seguenti accorgimenti:

- l'area del collettore (A) va suddivisa, mese per mese, tra i due utilizzi sulla base della quota di fabbisogno richiesto, secondo le seguenti equazioni:

$$A_{ACS} = A * Q_{use,ACS} / (Q_{use,ACS} + Q_{use,risc})$$

$$A_{risc} = A * Q_{use,risc} / (Q_{use,ACS} + Q_{use,risc})$$

- il volume del serbatoio di accumulo, se è unico per tutti e due gli usi e non vi sono specificate le due quote, va suddiviso, mese per mese, tra i due utilizzi analogamente all'area del collettore:

$$V_{nom,ACS} = V_{nom} * Q_{use,ACS} / (Q_{use,ACS} + Q_{use,risc})$$

$$V_{nom,risc} = V_{nom} * Q_{use,risc} / (Q_{use,ACS} + Q_{use,risc})$$

Si ricorda che, nel caso di sistema di serpentina per riscaldamento ausiliario all'interno del serbatoio, dedicata all'uno o all'altro utilizzo, va calcolato anche il fattore già nominato f_{aux} .

Tabella riepilogativa per impianti combi system, quota di produzione ACS

	Fabbisogno medio mensile ($Q_{use, ACS}$) per riscaldamento [kWh/mese]	A_{ACS} [m ²]	V_{ACS} [l]	X [-]	Y [-]	f [-]	Fabbisogno medio mensile ($Q_{sol,out,ACS}$) coperto dall'impianto [kWh/mese]
Gennaio							
Febbraio							
...							
Dicembre							
Totale							

Tabella riepilogativa per impianti combi system, relativa alla quota per riscaldamento

	Fabbisogno medio mensile ($Q_{use, risc}$) per riscaldamento [kWh/mese]	A_{risc} [m ²]	V_{risc} [l]	X [-]	Y [-]	f [-]	Fabbisogno medio mensile ($Q_{sol,out,risc}$) coperto dall'impianto [kWh/mese]
Gennaio							
Febbraio							
...							
Dicembre							
Totale							

Tabella riepilogativa per perdite recuperate, impianti combi system

	Perdite recuperate dai sistemi ausiliari (W_{aux}) [kWh/mese]	Perdite recuperate dal serbatoio di accumulo ($Q_{rec,acc}$) [kWh/mese]	Perdite recuperate dal sistema di distribuzione ($Q_{rec,dis}$) [kWh/mese]
Gennaio			
Febbraio			
...			
Dicembre			
Totale			

Note:

- Nel caso di impianti solari termici non caratterizzati da angoli di inclinazione e orientamento fissi, si può far ricorso al portale europeo PhotoVoltaic Geographical Information System (PVGIS) per determinare la radiazione solare incidente mensilmente.
- Nel caso si voglia effettuare un primo studio di fattibilità di un impianto solare termico applicato su edifici, si può utilizzare questa scheda ipotizzando i dati di input.

Valori di riferimento del fattore di conversione dell'irradiazione solare media mensile per differenti valori di orientamento e di inclinazione rispetto all'orizzontale.

Località	Latitudine [° ' "]	Longitudine [° ' "]	Altezza sul livello del mare [m]	Irraggiamento annuo su piano orizzontale [kWh/m ²]
Bolzano	46 29 48	11 21 28	262	1180
Bologna	44 29 39	11 27 47	75	1270
Roma	41 53 25	12 29 39	34	1470
Catania	37 30 8	15 5 16	18	1720

Bolzano	Sud			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,45	1,56	1,43
Febbraio	1,00	1,42	1,52	1,34
Marzo	1,00	1,25	1,28	0,99
Aprile	1,00	1,11	1,09	0,70
Maggio	1,00	1,01	0,95	0,53
Giugno	1,00	0,98	0,91	0,47
Luglio	1,00	1,00	0,93	0,49

Agosto	1,00	1,07	1,03	0,62
Settembre	1,00	1,21	1,21	0,88
Ottobre	1,00	1,36	1,45	1,21
Novembre	1,00	1,43	1,53	1,37
Dicembre	1,00	1,26	1,30	1,09
Totale	1,00	1,13	1,12	0,75

Bolzano	Sudest/sudovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,43	1,54	1,39
Febbraio	1,00	1,30	1,36	1,10
Marzo	1,00	1,15	1,16	0,85
Aprile	1,00	1,06	1,03	0,67
Maggio	1,00	0,99	0,94	0,56
Giugno	1,00	0,98	0,91	0,53
Luglio	1,00	0,99	0,93	0,55
Agosto	1,00	1,04	1,00	0,64
Settembre	1,00	1,12	1,11	0,78
Ottobre	1,00	1,24	1,28	1,00
Novembre	1,00	1,39	1,48	1,30
Dicembre	1,00	1,21	1,23	0,99
Totale	1,00	1,09	1,06	0,72

Bolzano	Est/ovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,11	1,08	0,76
Febbraio	1,00	0,97	0,92	0,62
Marzo	1,00	0,95	0,90	0,59
Aprile	1,00	0,94	0,89	0,56
Maggio	1,00	0,94	0,87	0,53
Giugno	1,00	0,94	0,87	0,53
Luglio	1,00	0,94	0,87	0,54
Agosto	1,00	0,95	0,89	0,56
Settembre	1,00	0,94	0,89	0,57
Ottobre	1,00	0,96	0,91	0,61
Novembre	1,00	1,07	1,03	0,70
Dicembre	1,00	0,99	0,92	0,54
Totale	1,00	0,95	0,89	0,56

Bologna	Sud			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,52	1,67	1,57
Febbraio	1,00	1,34	1,41	1,20
Marzo	1,00	1,21	1,22	0,92
Aprile	1,00	1,09	1,05	0,67
Maggio	1,00	1,01	0,94	0,51
Giugno	1,00	0,97	0,89	0,44
Luglio	1,00	0,99	0,92	0,46
Agosto	1,00	1,06	1,02	0,59
Settembre	1,00	1,20	1,21	0,86
Ottobre	1,00	1,34	1,41	1,17
Novembre	1,00	1,45	1,58	1,44
Dicembre	1,00	1,51	1,66	1,57
Totale	1,00	1,12	1,10	0,74

Bologna	Sudest/sudovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,34	1,42	1,22
Febbraio	1,00	1,22	1,24	0,97
Marzo	1,00	1,12	1,12	0,80
Aprile	1,00	1,05	1,02	0,66
Maggio	1,00	0,99	0,94	0,56
Giugno	1,00	0,97	0,90	0,51
Luglio	1,00	0,99	0,93	0,53
Agosto	1,00	1,04	1,00	0,64
Settembre	1,00	1,13	1,12	0,78
Ottobre	1,00	1,22	1,25	0,96
Novembre	1,00	1,30	1,36	1,13
Dicembre	1,00	1,34	1,41	1,22
Totale	1,00	1,08	1,05	0,70

Bologna	Est/ovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	0,63	0,92	0,63
Febbraio	1,00	0,59	0,90	0,59
Marzo	1,00	0,57	0,89	0,57
Aprile	1,00	0,57	0,89	0,57
Maggio	1,00	0,55	0,88	0,55
Giugno	1,00	0,52	0,86	0,52
Luglio	1,00	0,54	0,87	0,54
Agosto	1,00	0,58	0,90	0,58
Settembre	1,00	0,58	0,90	0,58
Ottobre	1,00	0,61	0,91	0,61
Novembre	1,00	0,62	0,92	0,62
Dicembre	1,00	0,61	0,91	0,61
Totale	1,00	0,57	0,89	0,57

Roma	Sud			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,55	1,72	1,61
Febbraio	1,00	1,36	1,45	1,23
Marzo	1,00	1,23	1,26	0,93
Aprile	1,00	1,09	1,06	0,64
Maggio	1,00	1,00	0,92	0,46
Giugno	1,00	0,95	0,87	0,39
Luglio	1,00	0,98	0,89	0,41
Agosto	1,00	1,06	1,01	0,56
Settembre	1,00	1,19	1,20	0,83
Ottobre	1,00	1,36	1,43	1,18
Novembre	1,00	1,52	1,66	1,53
Dicembre	1,00	1,60	1,79	1,72
Totale	1,00	1,14	1,12	0,74

Roma	Sudest/sudovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,37	1,46	1,25
Febbraio	1,00	1,24	1,27	1,00
Marzo	1,00	1,15	1,15	0,82
Aprile	1,00	1,05	1,01	0,64
Maggio	1,00	0,99	0,93	0,54
Giugno	1,00	0,96	0,89	0,49
Luglio	1,00	0,98	0,91	0,51
Agosto	1,00	1,03	0,98	0,60
Settembre	1,00	1,12	1,10	0,75
Ottobre	1,00	1,23	1,26	0,96
Novembre	1,00	1,35	1,42	1,19
Dicembre	1,00	1,41	1,51	1,33
Totale	1,00	1,08	1,06	0,71

Roma	Est/ovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	0,97	0,93	0,64
Febbraio	1,00	0,96	0,91	0,61
Marzo	1,00	0,96	0,90	0,59
Aprile	1,00	0,95	0,89	0,56
Maggio	1,00	0,94	0,88	0,55
Giugno	1,00	0,93	0,87	0,53
Luglio	1,00	0,94	0,87	0,53
Agosto	1,00	0,94	0,87	0,54
Settembre	1,00	0,95	0,89	0,56
Ottobre	1,00	0,96	0,90	0,59
Novembre	1,00	0,97	0,92	0,63
Dicembre	1,00	0,98	0,94	0,65
Totale	1,00	0,94	0,89	0,56

Catania	Sud			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,52	1,68	1,52
Febbraio	1,00	1,37	1,45	1,19
Marzo	1,00	1,21	1,23	0,86
Aprile	1,00	1,08	1,02	0,58
Maggio	1,00	0,98	0,89	0,40
Giugno	1,00	0,93	0,83	0,32
Luglio	1,00	0,96	0,86	0,35
Agosto	1,00	1,03	0,97	0,48
Settembre	1,00	1,16	1,16	0,75
Ottobre	1,00	1,34	1,40	1,10
Novembre	1,00	1,49	1,62	1,43
Dicembre	1,00	1,58	1,75	1,63
Totale	1,00	1,13	1,10	0,70

Catania	Sudest/sudovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	1,35	1,42	1,17
Febbraio	1,00	1,24	1,26	0,97
Marzo	1,00	1,13	1,12	0,77
Aprile	1,00	1,04	0,99	0,60
Maggio	1,00	0,97	0,90	0,50
Giugno	1,00	0,94	0,86	0,45
Luglio	1,00	0,96	0,87	0,46
Agosto	1,00	1,01	0,96	0,55
Settembre	1,00	1,10	1,08	0,70
Ottobre	1,00	1,22	1,24	0,91
Novembre	1,00	1,32	1,38	1,12
Dicembre	1,00	1,38	1,47	1,25
Totale	1,00	1,08	1,04	0,67

Catania	Est/ovest			
Angolo tilt	0°	30°	45°	90°
Gennaio	1,00	0,96	0,91	0,60
Febbraio	1,00	0,95	0,90	0,58
Marzo	1,00	0,95	0,89	0,57
Aprile	1,00	0,94	0,87	0,53
Maggio	1,00	0,93	0,86	0,52
Giugno	1,00	0,93	0,86	0,50
Luglio	1,00	0,93	0,85	0,50
Agosto	1,00	0,94	0,87	0,53
Settembre	1,00	0,94	0,87	0,54
Ottobre	1,00	0,95	0,90	0,58
Novembre	1,00	0,96	0,91	0,60
Dicembre	1,00	0,97	0,92	0,62
Totale	1,00	0,94	0,87	0,54

Valori di riferimento per il tempo di funzionamento della pompa di circolazione e per la sua potenza installata.

Per quanto riguarda la potenza della pompa di circolazione nel caso in cui non si abbiano dati più precisi, forniti ad esempio dalla scheda tecnica del prodotto, si possono utilizzare questi dati tipici, presenti nella normativa europea UNI EN 15316-4-3:2008. Tali valori sono suddivisi in valore detto di penalizzazione (per la mancanza di dati, e quindi più cautelativo) e in uno tipico:

$$P=50+5A \quad [W] \text{ valore di penalizzazione}$$

$$P=25+2A \quad [W] \text{ valore tipico}$$

Valore di riferimento per il fattore (f_{bu}) di volume di accumulo dedicato al riscaldamento integrativo.

Se non si hanno informazioni più precise sul volume di accumulo dedicato al sistema integrativo, allora si può far riferimento ai due valori di default presenti nella normativa europea UNI EN 15316-4-6:2008:

$$f_{bu} = 0.5 \quad [-] \text{ per serbatoio verticale}$$

$$f_{bu} = 0.66 \quad [-] \text{ per serbatoio orizzontale}$$

Valore di riferimento per il coefficiente di scambio termico del serbatoio di accumulo (U_{st}).

Se non si hanno informazioni più precise, ad esempio date dalla scheda tecnica del prodotto, si può far riferimento all'equazione presente nella normativa europea UNI EN 15316-4-3:2008:

$$U_{st} = 0.16V_{nom}^{1/2} \quad [W/(m^2K)]$$

Valore di riferimento per i coefficienti di scambio termico del collettore solare e del circuito di impianto.

Nel caso in cui non si abbiano dati più precisi, forniti ad esempio dalla scheda tecnica del prodotto, si possono utilizzare questi dati tipici, presenti nella UNI EN 15316-4-3:2008, suddivisi in base alla tipologia di collettore. Si precisa che in alcuni casi la normativa propone un intervallo di valori (uno detto di penalizzazione, per la mancanza di dati, e quindi più cautelativo) che qui si riporta fedelmente.

Tipologia di moduli	Collettori tubulari sottovuoto con assorbitore piano	Collettori tubulari sottovuoto con assorbitore tubolare	Collettori piani a doppio vetro	Collettori piani a singolo vetro	Collettori piani senza vetro
Coefficiente di scambio termico del collettore di ordine zero (η_0)	0.6-0.8	0.6-0.8	0.6-0.8	0.6-0.8	0.6-0.8
Coefficiente di scambio termico del collettore di primo ordine (a_1)	3-1.8	3-1.8	6-3.5	6-3.5	20-15
Coefficiente di scambio termico del collettore di secondo ordine (a_2)	0	0	0	0	0
Efficienza termica del circuito solare (η_{loop})	0.8-0.9	0.8-0.9	0.8-0.9	0.8-0.9	0.8-0.9
Coefficiente di scambio termico delle tubazioni ($U_{loop,p}$)	$5+0.5*A$	$5+0.5*A$	$5+0.5*A$	$5+0.5*A$	$5+0.5*A$

Valore di riferimento per il fattore correttivo dell'angolo di incidenza (IAM).

Nel caso in cui non si abbiano dati più precisi si possono utilizzare questi dati tipici, presenti nella UNI EN 15316-4-3:2008, suddivisi in base alla tipologia di collettore.

Tipologia di moduli	Collettori tubulari sottovuoto con assorbitore piano	Collettori tubulari sottovuoto con assorbitore tubolare	Collettori piani a doppio vetro	Collettori piani a singolo vetro	Collettori piani senza vetro
IAM	0.97	1	0.94	0.94	1

Valore di riferimento per la maggiorazione del carico termico per la produzione di ACS dovuta alle perdite termiche tra serbatoio e terminali di erogazione.

Per valutare le perdite termiche del tratto di tubazione che collega il serbatoio di accumulo e i terminali di erogazione, in mancanza di dati più precisi si riporta il valore indicativo presente nella normativa europea UNI EN 15316-4-3:2008, pari al 10%.

6.4 Impianti di generazione di calore a biomasse

6.4.1 Generalità

Il funzionamento delle caldaie a biomasse risulta essere sostanzialmente lo stesso di quelle tradizionali: all'interno del bruciatore si miscelano aria e biomasse; le reazioni di combustione liberano l'energia che viene ceduta con un certo rendimento al fluido – vettore termico, attraverso appositi scambiatori, in genere di tipo shell-tube. Come per le caldaie tradizionali, anche queste possono essere a tiraggio naturale o meccanico. Una peculiarità delle caldaie a biomassa è la modalità di caricamento, che può essere manuale o automatica. Inoltre può essere compreso nel sistema un idroaccumulatore, per migliorare la resa di combustione, limitando il numero di transitori e la formazione di fumi densi ed inquinanti. L'idroaccumulatore inerziale è infatti un serbatoio di acqua, termicamente isolato, che serve ad immagazzinare il calore prodotto con la combustione delle biomasse nei generatori per poterlo utilizzare in un secondo momento ed è collegato alla mandata tramite un'apposita pompa. Come per le caldaie a combustibile fossile, possono essere presenti ventilatori, pompe, valvole ed altri dispositivi ausiliari.

6.4.2 Scelta delle biomasse

Le biomasse usate per la combustione devono essere scelte tra quelle ammissibili ai sensi dell'Allegato X alla parte quinta del D.Lgs. 152/2006 e successive modifiche ed integrazioni.

6.4.3 Caratteristiche della caldaia

Secondo il D.P.R. 59/09, una caldaia a biomassa deve soddisfare i requisiti indicati dal punto 12 dell'articolo 4:

- "a) rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma Europea UNI EN 303-5;⁴*
- b) limiti di emissione conformi all'allegato IX alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni, ovvero i più restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti;*
- c) utilizzano biomasse combustibili ricadenti fra quelle ammissibili ai sensi dell'allegato X alla parte quinta del medesimo decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni".*

⁴ L'appartenenza alla classe 3, secondo la UNI EN 303-5, implica per la caldaia un rendimento $\geq 67 + 6 \log Q_N$, con Q_N potenza termica nominale in kW.

Inoltre, la UNI-EN 303-5:2004 stabilisce che:

- il costruttore debba indicare eventuali raccomandazioni da seguire in caso di temperature eccessive sia dei fumi sia delle superfici adiacenti alla caldaia, per assicurare il corretto tiraggio al camino e scongiurare pericoli di combustione delle strutture.
- Il costruttore evidenzi, nella documentazione tecnica, eventuali superamenti dei valori massimi di tiraggio previsti dalla Normativa stessa.
- La potenza termica minima non debba essere maggiore del 30% della potenza termica nominale. È prevista comunque una deroga per le caldaie per riscaldamento ad alimentazione manuale.
- Il volume del serbatoio di accumulo (per caldaie a caricamento manuale) debba essere calcolato con l'equazione.

$$V_{acc} = 15 \cdot T_{comb} \cdot Q_N \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \frac{Q_{des}}{Q_{min}} \right)$$

dove V_{acc} è il volume del serbatoio di accumulo in litri; T_{comb} è il periodo di combustione, che deve essere misurato in ore e fornito dal costruttore: deve essere almeno di 2 ore per caldaie a caricamento manuale o almeno 6 ore per caldaie a caricamento automatico; Q_N , Q_{des} e Q_{min} sono rispettivamente la potenza (espressa in kW) nominale della caldaia, termica richiesta dal locale e minima della caldaia.

- Il volume del serbatoio di accumulo (per caldaie a caricamento automatico) debba essere calcolato con l'equazione:

$$V_{acc} = 25 \cdot Q_{des}$$

dove V_{acc} è il volume del serbatoio di accumulo espresso in litri e Q_{des} è il valore della potenza termica richiesta dall'edificio in kW.

- Le emissioni di CO, OGC e polveri risultino minori dei valori limite riportati nel prospetto 7 della Normativa.
- Prove di tipo termico, meccanico, elettrico, idrauliche e di controllo di costruzione siano condotte durante le fasi di costruzione della caldaia sino al collaudo finale, per determinarne le principali caratteristiche prestazionali. Al termine di tali operazioni deve essere redatto un rapporto di prova; inoltre le principali caratteristiche devono essere contenute nella documentazione tecnica fornita con la caldaia.

Per maggiori dettagli si rimanda comunque alla lettura della Normativa suddetta.

6.4.4 Prestazioni della caldaia

Si fa riferimento alla UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica). Tale Normativa prende spunto dalle metodologie previste dalla UNI EN 303-5 e dalla UNI EN 15316-4-7:2009. Sinteticamente, tale Normativa prevede che:

- le emissioni di CO₂ di tali caldaie siano pari a 0;
- il fattore di conversione dell'energia da biomassa in energia primaria sia pari a 0.

Per il calcolo delle prestazioni si può utilizzare:

- la metodologia di calcolo prevista dalla UNI/TS 11300-2:2008, facendo riferimento ai dati del generatore determinati secondo la UNI EN 303-5;

- la metodologia riportata dalla UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica), con valori pre-calcolati, qualora siano rispettate le condizioni al contorno previste.

L'utilizzo di valori pre-calcolati è obbligatorio nel caso di generatori a biomassa solida a caricamento manuale; negli altri casi, per una diagnosi più precisa, sarebbe preferibile l'utilizzo dei dati effettivi relativi al sottosistema, limitando l'uso di valori forfettari. Ad esempio, il valore effettivo del rendimento del sottosistema di generatore è influenzato dal dimensionamento dell'impianto rispetto al fabbisogno dell'edificio, dalla modalità di installazione della caldaia, dalle temperature di mandata e di ritorno dell'acqua nell'impianto e dalle condizioni di esercizio: l'utilizzo di un valore pre-calcolato risulterebbe quindi poco significativo ai fini di un corretto audit energetico.

La Normativa UNI/TS 11300-2 definisce la metodologia analitica da seguire per i tradizionali sottosistemi di generazione: per l'esposizione di tale metodo si rimanda dunque al capitolo 4.

L'algoritmo di calcolo per il rendimento previsto dalla UNI-TS 11300-4 è del tipo:

$$\eta_{eff} = \eta_{base} + \sum_k f_k$$

dove η_{base} è il rendimento calcolato secondo il metodo diretto previsto dalla UNI EN 303-5 e gli f_k sono fattori correttivi che assumono valori diversi in base ad alcune caratteristiche della caldaia e vengono forniti da vari prospetti. Solamente nel caso in cui non si disponga del η_{base} si possono usare dei valori di riferimento.

Nel caso in cui, per il calcolo del rendimento, si sia utilizzata la metodologia analitica della UNI/TS 11300-2, si può fare riferimento alla stessa anche per il calcolo dell'energia richiesta dai sistemi ausiliari: secondo il paragrafo 6.7.4 della normativa medesima è preferibile usare i valori dichiarati dai costruttori.

Se si è utilizzata la metodologia con i valori forfettari per il rendimento, si utilizza la procedura riportata nella UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica).

Per quanto riguarda le perdite del sottosistema, si considerano:

- perdite recuperabili: le perdite termiche al mantello e al serbatoio di accumulo (quando questi si trovino all'interno dell'ambiente riscaldato) e la quota di energia idraulica trasmessa come energia termica al circuito dalla pompa primaria;
- perdite non recuperabili: le perdite al camino, le perdite delle ceneri e le perdite termiche al mantello e al serbatoio di accumulo (quando questi si trovano all'esterno dello spazio riscaldato).

Se per il calcolo del rendimento si sono utilizzati valori pre-calcolati, le perdite di calore vengono considerate tutte non recuperabili. Se si è utilizzata la metodologia analitica descritta dalla UNI/TS 11300-2, l'energia termica recuperata complessiva si calcola secondo il procedimento descritto dall'Appendice B.2.9 della normativa medesima. Nel caso in cui sia presente un sistema di accumulo, le perdite relative andranno anch'esse calcolate secondo la metodologia descritta dalla UNI/TS 11300-2.

6.4.5 Rilievo di parametri caratteristici di generatori a biomasse

Si devono innanzitutto recuperare le seguenti informazioni:

		Impianto n°:
Potenza richiesta dal sistema φ_{des}	[kW]	
Potenza Nominale del Generatore φ_N	[kW]	
φ_N/φ_{des}	[-]	
Anno di costruzione	[-]	
Temperatura di mandata nel mese più freddo	[°C]	
Temperatura di ritorno nel mese più freddo	[°C]	

È presente un idroaccumulatore inerziale? (1)	
Sì	
No	

(1) L'idroaccumulatore inerziale è obbligatorio secondo la UNI EN 303-5 quando $\varphi_N/\varphi_{des} \geq 1,5$

Fluido termo-vettore del sistema	
Acqua	
Aria	

Biomassa utilizzata	Solida	
	Tipologia: _____ _____ _____	
	Liquida	
	Tipologia: _____ _____ _____	

Se la biomassa utilizzata è di tipo solido, si può seguire la metodologia della UNI/TS 11300-2 oppure quella riportata di seguito.

Se la biomassa utilizzata è di tipo liquido, si deve invece utilizzare obbligatoriamente la metodologia della UNI/TS 11300-2.

FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA			
Tipo di caricamento			
Manuale	È presente un ventilatore per l'aria comburente?	Sì (vedere pag. corrispondente)	
		No (vedere pag. corrispondente)	
Automatico NB: viene considerato sempre presente il ventilatore per l'aria comburente	La caldaia è a condensazione?	Sì (vedere pag. corrispondente)	
		No (vedere pag. corrispondente)	

FLUIDO TERMO-VETTORE: ARIA			
Tipo di caricamento: solo automatico, con ventilatore			
Vedere pagina corrispondente			

A seconda delle caratteristiche della caldaia e dell'impianto, l'auditor dovrà utilizzare la relativa metodologia di calcolo delle prestazioni. L'insieme delle procedure stabilite dalla UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) sono riportate nel paragrafo 6.4.9.

6.4.6 Calcolo dell'energia richiesta agli ausiliari

È necessario recuperare le seguenti informazioni:

		Impianto n°:
Tempo di funzionamento del generatore t_{ON}	[h]	
Tempo di non funzionamento del generatore t_{OFF}	[h]	
Valore del fattore di carico $FC_{Px} = P_{des}/P_N$	[-]	
Valore del fattore di carico in condizioni di carico intermedio (secondo i dati di targa) $FC_{Pint} = P_{int}/P_N$	[-]	
Potenza richiesta a generatore spento $P_{aux,off}$	[W]	

<p>Sono conosciuti i valori della potenza richiesta agli ausiliari nelle varie condizioni di carico P_N (potenza nominale), P_{int} (carico intermedio, riportato tra i dati di targa) e P_0 (carico nullo)?</p> <p>Se la caldaia è costruita conformemente a quanto previsto dalla UNI-EN 303-5, tali valori dovrebbero essere riportati nella documentazione tecnica.</p>			
Sì (riportare a lato tali valori)		Valore di $P_{aux,Pn}$	
		Valore di $P_{aux,Pint}$	
		Valore di $P_{aux,P0}$	
No			

Nel caso in cui non siano riportati, tra i dati di targa, i valori della potenza richiesta agli ausiliari in condizioni di pieno carico, carico intermedio e carico nullo, si utilizza il seguente algoritmo di calcolo:

$$P_{aux} = A + B \cdot \left(\frac{\phi_{Pn}}{1000} \right)^n$$

dove ϕ_{Pn} è la potenza termica nominale del generatore espressa in kW e P_{aux} è la potenza richiesta agli ausiliari, espressa in W, a pieno carico, a carico intermedio o a carico nullo. I valori di A, B ed n devono essere scelti dalla seguente tabella a seconda delle caratteristiche del sistema generatore – impianto, in particolare in base alla presenza o meno di ventilatore e al tipo di fluido termo-vettore.

FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA				
Tipo di generatore	Carico al generatore	A	B	n
Generatori atmosferici	Carico a regime P_N	40	0,35	1
	Carico intermedio P_{int}	20	0,1	1
	Carico nullo P_0	15	0	0
Generatori con ventilatore	Carico a regime P_N	0	45	0,48
	Carico intermedio P_{int}	0	15	0,48
	Carico nullo P_0	15	0	0

FLUIDO TERMO-VETTORE: ARIA				
Tipo di generatore	Carico al generatore	A	B	n
Generatori privi di ausiliari	Carico a regime P_N	0	0	0
	Carico intermedio P_{int}	0	0	0
	Carico nullo P_0	0	0	0
Generatori con ventilatori	Carico a regime P_N	0	45	0,48
	Carico intermedio P_{int}	0	15	0,48
	Carico nullo P_0	15	0	0

Una volta noti i valori di $P_{aux,Pn}$, $P_{aux,Pint}$ e $P_{aux,P0}$, il carico P_{des} , e dunque il fattore di carico $FC_{Px} = P_{des}/P_N$, si trova la potenza richiesta agli ausiliari (in W) alla condizione di design con adeguata interpolazione lineare:

$$P_{aux,Px} = P_{aux,P0} + \frac{FC_{Px}}{FC_{Pint}} (P_{aux,Pint} - P_{aux,P0}) \quad \text{se } 0 < FC_{Px} < FC_{Pint}$$

$$P_{aux,Px} = P_{aux,Pint} + \frac{FC_{Px} - FC_{Pint}}{FC_{Pn} - FC_{Pint}} (P_{aux,Pn} - P_{aux,Pint}) \quad \text{se } FC_{Pint} < FC_{Px} < FC_{Pn}$$

Infine:

$$Q_{aux} = \frac{P_{aux,Px} \cdot t_{ON} + P_{aux,off} \cdot t_{OFF}}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

6.4.7 Caminetti, stufe ed impianti simili

Le biomasse possono essere utilizzate anche per la produzione di energia termica in impianti di potenza minore, quali caminetti, stufe ed impianti simili. In genere tali impianti sono poco efficienti, in quanto non garantiscono una combustione completa.

Le direttive da seguire per la fabbricazione, la costruzione, la manutenzione e il mantenimento delle condizioni di sicurezza, unitamente alle specifiche sul rendimento, sulle emissioni e sui metodi di prova, sono descritte dalle Normative UNI EN 13229:2006 "Inseriti e caminetti aperti alimentati a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova", UNI EN 13240:2006 "Stufe a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova" e UNI EN 12815:2006 "Termocucine a combustibile solido - Requisiti e metodi di prova".

Anche in questo caso, la normativa UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) raccomanda l'utilizzo dei valori di riferimento effettivi, sconsigliando, per quanto possibile, l'utilizzo di valori pre-calcolati. L'algoritmo di calcolo è lo stesso di quello valido per le caldaie a biomassa:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{base}} + F_1 + F_3$$

FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA						
TERMOCAMINI, TERMOSTUFE E TERMOCUCINE A BIOMASSA						
Periodo di costruzione	Valore di base	F₁⁵			F₃	
		Φ_N/Φ_{des}⁶			Altezza del camino maggiore di 10 m	
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	Si	No
Prima del 1978	50	0	-2	-6	-4	0
1978 - 1994	60	0	-2	-6	-4	0
Dopo il 1994	70	0	-2	-6	-4	0
	Valore secondo la UNI EN 13229 UNI EN 13240 UNI EN 12815	0	-2	-6	-4	0

⁵ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di Φ_N/Φ_{des} , si deve prendere F₁ pari a 1.

⁶ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

FLUIDO TERMO-VETTORE: ARIA CAMINETTI, INSERTI, STUFE E CUCINE A BIOMASSA						
Periodo di costruzione	Valore di base	F₁⁷			F₃	
		φ_N/φ_{des}⁸			Altezza del camino maggiore di 10 m	
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	Si	No
Prima del 1978	50	0	-2	-6	-4	0
1978 - 1994	60	0	-2	-6	-4	0
Dopo il 1994	65	0	-2	-6	-4	0
	Valore secondo la UNI EN 13229 UNI EN 13240 UNI EN 12815	0	-2	-6	-4	0

6.4.8 Sistemi polivalenti

Sia per il riscaldamento, sia per la produzione di acqua calda sanitaria, i generatori di calore a biomassa possono essere affiancati da altri sistemi di generazione quali, ad esempio, caldaie a combustibile fossile, generatori elettrici o pannelli solari: si parla in questo caso di sistemi polivalenti.

La normativa UNI/TS 11300-4 (in inchiesta pubblica) impone che siano soddisfatti i seguenti requisiti:

- la quota di energia termica fornita dall'impianto a biomasse non può superare i valori percentuali definiti dai prospetti riportati di seguito, che devono essere scelti in base alle caratteristiche dell'impianto e del generatore;
- i terminali di erogazione devono essere forniti di dispositivi di regolazione individuale della temperatura ambiente, altrimenti il contributo di energia da biomassa deve essere preso pari a 0;
- in presenza di sistema solare termico, la quota massima di energia termica da biomasse non comprende la quota che deve essere fornita dall'impianto solare.

⁷ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di φ_N/φ_{des} , si deve prendere F₁ pari a 1.

⁸ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA		
USO: RISCALDAMENTO O USO COMBINATO (RISCALDAMENTO E PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA)		
Tipo di generatore	Quota massima fornita dall'impianto a biomassa (%)	
	<i>Impianto con accumulo</i>	<i>Impianto senza accumulo</i>
Caricamento manuale e controllo manuale dell'aria comburente	55	40
Caricamento manuale e controllo automatico dell'aria comburente	75	65
Caricamento automatico e controllo automatico dell'aria comburente	90	90

FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA		
USO: PRODUZIONE DI SOLA ACQUA CALDA SANITARIA		
Tipo di generatore	Quota massima fornita dall'impianto a biomassa (%)	
	<i>Impianto con accumulo</i>	<i>Impianto senza accumulo</i>
Generatore installato nel locale	-	-
Generatore a caricamento manuale installato in centrale termica	50	-
Generatore a caricamento automatico installato in centrale termica	90	-
Generatore a caricamento automatico con ventilatore a condensazione	90	0

FLUIDO TERMO-VETTORE: ARIA	
USO: RISCALDAMENTO DI EDIFICI O PORZIONI DI EDIFICIO	
Tipo di generatore	Quota massima fornita dall'impianto a biomassa (%) (riferita solo ai locali serviti dall'impianto a biomassa)
Caricamento manuale e controllo manuale dell'aria comburente	30
Caricamento automatico e controllo automatico dell'aria comburente	50

6.4.9 Procedure di calcolo

GENERATORI A CARICAMENTO MANUALE ASPIRATI

FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA

BIOMASSA: SOLIDA

Algoritmo di calcolo:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{base}} + F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

NB: Laddove sia possibile, fare riferimento al valore del η_{base} calcolato alla potenza nominale con la UNI EN 303-5.

Periodo di costruzione del boiler	Valore di base del rendimento η_{base}	F₁⁹			F₂		F₃		F₄	
		$\varphi_N/\varphi_{\text{des}}$¹⁰			Installazione all'esterno		Altezza del camino maggiore di 10 m		T_{media} in caldaia maggiore di 65°C in condizioni di progetto	
		1	2	4	Sì	No	Sì	No	Sì	No
Prima del 1978	79	0	-2	-6	-9	0	-2	0	-2	0
1978-1994	80	0	-2	-6	-9	0	-2	0	-2	0
Dopo 1994	82	0	-2	-6	-9	0	-2	0	-2	0
Secondo la UNI EN 303-5	Valore calcolato con la UNI EN 303-5	0	-2	-6	-8	0	-2	0	-2	0

⁹ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di $\varphi_N/\varphi_{\text{des}}$, si deve prendere F₁ pari a 1.

¹⁰ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

*GENERATORI A CARICAMENTO MANUALE CON VENTILATORE
FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA
BIOMASSA: SOLIDA*

Algoritmo di calcolo:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{base}} + F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

NB: Laddove sia possibile, fare riferimento al valore del η_{base} calcolato alla potenza nominale con la UNI EN 303-5.

Periodo di costruzione del boiler	Valore di base del rendimento η_{base}	F_1 ¹¹			F_2		F_3		F_4	
		$\varphi_N/\varphi_{\text{des}}$ ¹²			Installazione all'esterno		Altezza del camino maggiore di 10 m		T_{media} in caldaia maggiore di 65°C in condizioni di progetto	
		1	2	4	Sì	No	Sì	No	Sì	No
Prima del 1978	81	0	-2	-5	-9	0	-2	0	-2	0
1978-1986	83	0	-2	-5	-9	0	-2	0	-2	0
1986-1994	85	0	-2	-5	-9	0	-2	0	-2	0
Dopo 1994	86	0	-2	-5	-9	0	-2	0	-2	0
Secondo la UNI EN 303-5	Valore calcolato con la UNI EN 303-5	0	-2	-5	-8	0	-2	0	-2	0

¹¹ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di $\varphi_N/\varphi_{\text{des}}$, si deve prendere F_1 pari a 1.

¹² Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

*GENERATORI A CARICAMENTO AUTOMATICO CON VENTILATORE
NON A CONDENSAZIONE
FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA
BIOMASSA: SOLIDA*

Algoritmo di calcolo:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{base}} + F_1 + F_2 + F_4 + F_5 + F_6$$

NB: Laddove sia possibile, fare riferimento al valore del η_{base} calcolato alla potenza nominale con la UNI EN 303-5.

Valore di base del rendimento η_{base}	F₁ ¹³			F₂		F₄		F₅		F₆	
	Φ_N/Φ_{des} ¹⁴			Installazione all'esterno		T _{media} in caldaia maggiore di 65°C in condizioni di progetto		Generatore monostadio		Camino di altezza maggiore di 10 m, in assenza di chiusura per l'aria comburente	
	1	1,5	2	Sì	No	Sì	No	Sì	No	Sì	No
90	0	-1	-2	-2	0	-1	0	-1	0	-2	0
Valore calcolato con la UNI EN 303-5	0	-1	-2	-2	0	-1	0	-1	0	-2	0

¹³ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di Φ_N/Φ_{des} , si deve prendere F₁ pari a 1.

¹⁴ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

*GENERATORI A CARICAMENTO AUTOMATICO CON VENTILATORE
A CONDENSAZIONE
FLUIDO TERMO-VETTORE: ACQUA
BIOMASSA: SOLIDA*

Algoritmo di calcolo:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{base}} + F_1 + F_2 + F_5 + F_6 + F_7$$

NB: Laddove sia possibile, fare riferimento al valore del η_{base} calcolato alla potenza nominale con la UNI EN 303-5.

Valore di base del rendimento η_{base}	F_1 ¹⁵			F_2		F_5		F_6		F_7			
	$\varphi_N/\varphi_{\text{des}}$ ¹⁶			Installazione all'esterno		Generatore monostadio		Camino di altezza maggiore di 10 m, in assenza di chiusura per l'aria comburente		T di ritorno in caldaia nel mese più freddo ¹⁷			
	1	1,5	2	Sì	No	Sì	No	Sì	No	40	50	60	>60
92	0	-1	-2	-1	0	-2	0	-2	0	0	-3	-5	-6
Valore calcolato con la UNI EN 303-5	0	-1	-2	-1	0	-2	0	-2	0	0	-3	-5	-6

¹⁵ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di $\varphi_N/\varphi_{\text{des}}$, si deve prendere F_1 pari a 1.

¹⁶ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

¹⁷ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

*GENERATORI A CARICAMENTO AUTOMATICO CON VENTILATORE
FLUIDO TERMO-VETTORE: ARIA
BIOMASSA: SOLIDA*

Algoritmo di calcolo:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{base}} + F_1$$

NB: Laddove sia possibile, fare riferimento al valore del η_{base} calcolato alla potenza nominale con la UNI EN 14785.

Valore di base del rendimento η_{base}	F_1 ¹⁸		
	Φ_N/Φ_{des} ¹⁹		
	1	1,5	2
80	0	-1	-2
Valore calcolato con la UNI EN 14785	0	-1	-2

¹⁸ Se è presente un idroaccumulatore inerziale, qualunque sia il valore di Φ_N/Φ_{des} , si deve prendere F_1 pari a 1.

¹⁹ Per valori intermedi tra quelli presenti, usare un'interpolazione lineare.

CAPITOLO 7 – METODI PIÙ ACCURATI PER LA STIMA DEI FLUSSI ENERGETICI

7.1 Misure

La diagnosi energetica si pone l'obiettivo di quantificare gli usi dell'energia attraverso un'analisi dettagliata delle caratteristiche del sistema zona condizionata-impianto. L'analisi può includere misure in situ, per stimare parametri che condizionano significativamente i flussi energetici; schematizzando, le variabili misurabili possono essere suddivise in quattro categorie:

- Misure di ambiente/benessere
- Misure sull'involucro
- Misure sull'impianto
- Misure climatiche esterne

7.1.1 Misure ambientali

Si individuano cinque grandezze fisiche nell'ambiente climatizzato:

- Temperatura dell'aria
- Temperatura media radiante
- Umidità assoluta dell'aria
- Velocità dell'aria
- Temperatura delle superfici interne delle pareti

Il rilievo di questi parametri, condotto attraverso le modalità e con gli strumenti specificati nella normativa UNI EN ISO 7726:2002, consente di ottenere informazioni per:

- Calcolo dei parametri di benessere ambientale (normativa UNI EN ISO 7730:2006). Il livello di benessere all'interno di un ambiente climatizzato può avere importanti implicazioni dal punto di vista energetico: è infatti noto che il mancato raggiungimento di determinati livelli di comfort porta a delle pratiche scorrette di gestione del condizionamento, come l'apertura delle finestre per aumentare le dispersioni in ambienti troppo caldi/freddi in inverno/estate.
- Confronto dei valori misurati con i parametri di *set-point*, funzione del livello di benessere atteso, proposti nella UNI EN 15251:2008.
- Stima delle reali temperature di *set-point* degli ambienti, da utilizzare come dato di input per i modelli di simulazione: la norma EN ISO 13790:2008, al punto 13.2.3, consiglia di adottare come temperatura di *set-point* la minima (massima) temperatura operativa nel periodo di riscaldamento (raffrescamento). La temperatura operativa può essere rilevata direttamente con un globo termometro. Il rilievo della temperatura operativa in zone dell'ambiente climatizzato aventi differenti carichi termici (dovuti all'esposizione, all'uso, alla regolazione...) può fornire inoltre indicazioni per suddividerlo in zone termiche, secondo i criteri esposti nella UNI EN ISO 13790:2008, cap. 6.3.2.1.

7.1.2 Misure sull'involucro

Le misure *in situ* sull'involucro permettono di colmare le eventuali lacune di dati di progetto sulla zona; si rendono necessarie, inoltre, nel caso si voglia procedere ad analisi dei consumi dettagliate (simulazione dinamica), per ottenere informazioni più precise sulle proprietà termofisiche delle strutture e sul contesto ambientale in cui il sistema è collocato.

Nella forma più generale, questo tipo di rilievo può essere schematizzato come segue:

Tipo di dato	Dati rilevati	Strumenti
Dati generali	Ubicazione	
	Destinazione d'uso	
	Anno di costruzione/riqualificazione	
Caratteristiche geometriche	Mappa generale del complesso	Carte tecniche regionali, dati di tipo GIS, Google Earth
	Schema di planimetria (individuazione e numerazione delle superfici disperdenti)	Rilievi fotografici, appunti, metro
	Presenza di ostacoli (per il calcolo degli ombreggiamenti)	Rilievi fotografici, appunti, metro
Pareti opache e coperture	Proprietà geometriche della parete	Metro
	Proprietà termofisiche della parete	Indagine invasiva con endoscopio per il rilievo della stratigrafia (richiede di fare un foro nella parete di circa 5 mm)
		Uso del termoflussimetro per misura della trasmittanza (si veda la norma ISO 9869)
	Tipologia e temperatura zone confinanti (locali, terreno, vespaio areato, pilotis, locali ...)	Termometro
Serramenti	Proprietà geometriche del serramento	Metro, spessimetro per vetro
	Tipologia vetro	
	Tipologia di telaio	
	Classe di tenuta all'aria/stato di manutenzione	Blower door test (si veda la norma UNI EN 13829:2002)
	Presenza di dispositivi di oscuramento	
Ponti termici	Indagine qualitativa sulla presenza di ponti termici strutturali o dovuti alla scorretta messa in opera degli elementi costruttivi	Termografia a raggi infrarossi

7.1.3 Misure sull'impianto

Le misure strumentali sui vari elementi dell'impianto forniscono informazioni sull'entità delle dispersioni, sui valori reali di potenza e di ricambi di aria forniti dall'impianto alla zona, sulle modalità di funzionamento (regime intermittente, modulazione) e sul tipo di regolazione effettiva dei generatori.

Elemento	Dati rilevati	Dati ricavati
Centrale termica	T aria	Temperatura di riferimento per il calcolo delle dispersioni
Caldaia	T mandata T ritorno Portata	Potenza termica erogata, programma di regolazione, modalità di funzionamento
	Analisi fumi Temperatura fumi	Qualità della combustione Dispersioni
	T mantello	Dispersioni
Gruppo Frigorifero	T mandata T ritorno Portata	Potenza frigorifera fornita alla zona, programma di regolazione, modalità di funzionamento
	T mantello	Dispersioni
Accumulo	T mantello	Dispersioni
Collettore di zona	T mandata T ritorno Portata	Potenza termica fornita alla zona
	T superficie	Dispersioni
Terminale "svantaggiato"	Portata	Verifica del bilanciamento dell'impianto
Tubazioni di distribuzione (idronici)	T superficie	Dispersioni
Canalizzazioni	Portata	Ricambi d'aria effettivi per ventilazione meccanica
	Δp del filtro	Usura filtro

7.1.4 Misure meteorologiche

Le misure meteorologiche *in situ* possono essere usate come dato di input per la fase di validazione del modello energetico; il loro rilievo è particolarmente delicato: la normativa UNI EN ISO 15927, che si occupa di definire le modalità di trattamento dei dati raccolti, rimanda,

per la metodologia e la tipologia di strumento da adottare, alla pubblicazione della World Meteorological Organization dal titolo "Guide to meter instruments and methods of observation". Questa pubblicazione fissa uno standard (standard WMO o OMM) al quale gli strumenti di misura utilizzati e le modalità di presa dati devono essere conformi. Di seguito si riportano le grandezze di maggiore interesse per la stima dei flussi energetici, con le raccomandazioni (parziali) WMO per l'installazione dei sensori, integrate da considerazioni della Environmental Protection Agency statunitense (EPA).

Grandezza Misurata	Indicazioni sul posizionamento del sensore
- Temperatura dell'aria - Umidità relativa	Altezza del sensore: 1.25-2.0 m. Collocazione: in una cavità ventilata e schermata dalla radiazione. Distanza minima di 30 m da vaste superfici pavimentate; distanza minima da un ostacolo di 4 volte l'altezza dell'ostacolo; l'area d'installazione deve essere coperta per un diametro di almeno 9 m da erba o terra.
Intensità e direzione del vento	Altezza del sensore: 1.25-2.0 m. Distanza minima da un ostacolo di 10 volte l'altezza dell'ostacolo.
Radiazione solare	È accettabile la presenza di ostacoli al di sotto di 10° rispetto all'orizzonte
Pioggia	Altezza del sensore: almeno 30 cm Distanza minima da un ostacolo di 4 volte l'altezza dell'ostacolo. L'orifizio del sensore deve essere sopra il livello di accumulo della neve e non deve raccogliere spruzzi di acqua dal basso.
Temperatura del terreno	Profondità del sensore: 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, 100 cm. L'area di misura deve essere almeno 1 m ² e deve essere al solito livello dell'area circostante (10 m di raggio)

7.2 Metodi di simulazione

Come visto al paragrafo 1.3, le normative vigenti rimandano, anche per la diagnosi energetica, alle serie UNI/TS 11300; queste, come noto, definiscono le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008, con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento, ma non precludono, ritenendolo anzi in alcuni casi preferibile, l'utilizzo di metodi di simulazione più dettagliati, che permettano di tener conto in maniera adeguata dei fenomeni dinamici, purché tali metodi siano validati in conformità alla UNI EN 15265:2008 "Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici - Criteri generali e procedimenti di validazione".

Per orientare nella scelta del metodo vengono di seguito descritti e confrontati (si veda anche *Energy Performance of Buildings; Outline for Harmonised EP Procedures*, H.A.L. Van Dijk e M.E. Spiekman) tre modelli definiti nella UNI EN ISO 13790: quasi-stazionario mensile, dinamico semplificato, dinamico dettagliato (di quest'ultimo la normativa traccia solo le proprietà generali); in particolare, saranno analizzate le correlazioni tra i parametri più rilevanti per la dinamica del sistema, quali:

- dati meteorologici;
- accumulo di energia nelle masse del sistema;
- curve di variazione nel tempo della domanda di energia (cambiamento della temperatura di termostatazione, richiesta di ACS, richiesta di ventilazione, ecc.);
- variazione delle proprietà dei componenti con il tempo, la temperatura o la radiazione solare (si pensi all'efficienza di una pompa di calore, ai sistemi di pompaggio a velocità variabile, alle infiltrazioni);
- fenomeni dipendenti dalla direzione della radiazione solare.

7.2.1 Metodo quasi-stazionario mensile (MQSM)

Dati meteorologici richiesti:

- temperatura media mensile esterna del sito;
- irradianza solare totale media mensile sul piano orizzontale;
- irradianza solare totale media mensile per ciascun orientamento.

L'accumulo di energia nelle masse del sistema è conteggiato attraverso il fattore di utilizzo dei guadagni interni, funzione della massa del sistema e del rapporto tra apporti termici totali e scambi termici totali (si veda il capitolo 3). Il valore del fattore di utilizzo si basa su studi di sensibilità condotti su un numero rappresentativo di simulazioni dettagliate; *è da notare che il fattore di utilizzo dei guadagni interni è definito indipendentemente dal tipo di impianto e il suo calcolo si basa sull'ipotesi di controllo ideale della temperatura ed infinita flessibilità del sistema: un sistema di riscaldamento ad alta inerzia ed un sistema di controllo imperfetto possono cambiare i risultati in maniera significativa* (UNI EN ISO 13790:2008, cap. 12.2.1.1, Nota 2).

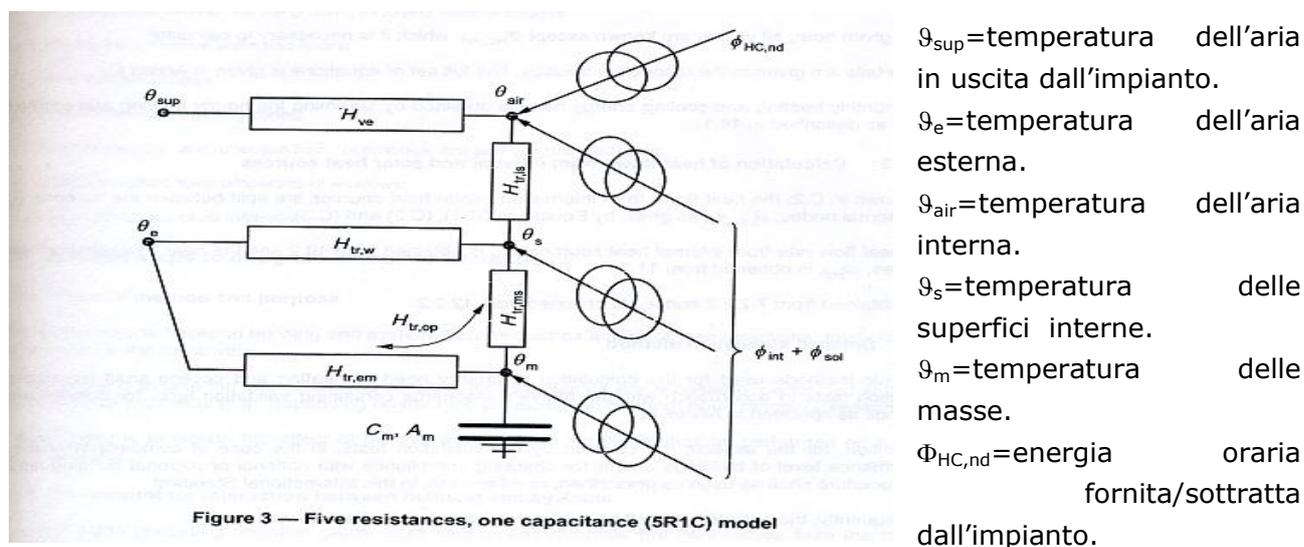
Gli effetti della variazione del punto di *set-point*, quando ritenuti significativi, vengono conteggiati usando come riferimento la temperatura di termostatazione media nel periodo di calcolo considerato se il periodo minimo di attenuazione è maggiore di cinque volte la costante di tempo dell'ambiente climatizzato; se il periodo minimo di attenuazione è invece inferiore a tale valore, il fabbisogno energetico viene corretto con un fattore moltiplicativo, detto fattore di riduzione per utilizzo intermittente del riscaldamento/raffrescamento (si veda il paragrafo 3.1.1). Per modalità di utilizzo che la norma definisce "complicate", come quelle in cui sono presenti picchi di potenza per raggiungere velocemente le condizioni di regime (*boost mode*), non viene specificata una metodologia di calcolo affidabile. Gli altri carichi dipendenti dal tempo e dalla temperatura esterna (ad esempio la ventilazione) sono valutati usando i valori medi mensili della temperatura e l'effettivo tempo di funzionamento dei dispositivi quando possibile, altrimenti si ricorre a tabelle con valori calcolati su base statistica.

Si utilizzano valori dei fattori di schermatura rispetto all'irradianza media mensile; questi valori sono tabellati e dedotti da considerazioni di carattere statistico o tramite simulazioni numeriche condotte su un elevato numero di casi.

Il metodo produce risultati di consumo medio mensile.

7.2.2 Metodo dinamico semplificato (MDS)

Il metodo, schematizzato in figura, è un modello a resistenza-capacità che cerca di modellare direttamente la massa del sistema.



ϑ_{sup} = temperatura dell'aria in uscita dall'impianto.
 ϑ_e = temperatura dell'aria esterna.
 ϑ_{air} = temperatura dell'aria interna.
 ϑ_s = temperatura delle superfici interne.
 ϑ_m = temperatura delle masse.
 $\Phi_{HC,nd}$ = energia oraria fornita/sottratta dall'impianto.

Φ_{int} = energia oraria fornita da sorgenti interne.

Φ_{int} = energia oraria fornita dal sole.

Si analizzano ora, come per il modello precedente, le peculiarità dal punto di vista degli aspetti dinamici.

Dati meteorologici richiesti:

- temperatura media oraria esterna del sito;
- irradianza solare totale media oraria sul piano orizzontale;
- irradianza solare totale media oraria per ciascun orientamento;

L'accumulo di energia nelle masse del sistema è conteggiato con l'introduzione dell'elemento capacitivo. La determinazione del valore della capacità e il modo in cui il nodo M è collegato, attraverso le resistenze conduttive, al nodo esterno ed a quello interno rappresentano il punto critico del metodo. Definite infatti le pareti, costituite complessivamente da n strati con area A_j , capacità areica k_j e spessore d_j , si calcola la capacità termica interna come:

$$C_m = \sum d_j * k_j * A_j$$

e da questa l'area effettiva:

$$A_m = C_m^2 / (\sum d_j * k_j^2 * A_j)$$

Il modo in cui i guadagni interni si ripartiscono tra i nodi M, S ed A, nonché il valore delle due resistenze in cui si divide la resistenza conduttiva globale della parete $H_{tr,op}$, sono funzioni di A_m ; tali funzioni giocano un ruolo simile a quello dei fattori di utilizzazione nel metodo precedente. Si può anche notare un limite intrinseco del metodo, che concentra in un unico elemento capacitivo le masse del sistema: la curva di sfasamento dell'onda termica all'aumentare della capacità satura in corrispondenza di uno sfasamento pari a 6 ore (ovvero un quarto di periodo, vedi dinamica dei filtri passa-basso), un valore modesto nelle costruzioni.

Le curve di termostatazione, i profili di richiesta di ventilazione, i guadagni interni possono essere modellati tramite schede orarie di funzionamento, oltre che con la metodologia del modello precedente.

Come per il punto precedente, le schede dei sistemi di ombreggiamento possono essere orarie.

Il metodo produce risultati su base oraria, ma i risultati sulla singola ora non sono validati e possono essere affetti da alti errori relativi, dunque, come il metodo precedente, fornisce una stima dei consumi su base media mensile.

7.2.3 Confronto tra MQSM e MDS

Caratteristiche comuni:

- Trasparenza, ovvero facilità nel tracciare la procedura di calcolo passo dopo passo, il che li rende particolarmente adatti ad essere implementati su fogli di calcolo.
- Robustezza, ovvero la capacità di produrre risultati significativi in un ampio spettro di configurazioni, che deriva dall'uso di modelli fisici semplificati ma pregnanti.
- Riproducibilità (scarsa dipendenza dei risultati dall'operatore), le regole di calcolo sono chiare.
- Entrambi coinvolgono parametri di controllo (fattore di utilizzo dei guadagni interni in un caso, capacità termica concentrata nell'altro) che, sebbene ricavati da indagini di statistiche qualificate, introducono una certa arbitrarietà nel modello.

Vantaggi e svantaggi:

- Il maggior vantaggio che si ha nell'utilizzo del MDS è la possibilità di introdurre in maniera diretta i parametri di controllo della simulazione, pagando un costo nella necessità di raccogliere i dati in un intervallo temporale più dettagliato.
- Usando il MDS si possono simulare componenti i cui parametri operativi sono correlati in maniera significativa a variabili dinamiche (si pensi ad esempio all'efficienza di una pompa di calore al variare della temperatura esterna).

7.2.4 Metodi dinamici

Una diagnosi energetica può avvalersi di strumenti di simulazione sofisticati, modelli che cercano di simulare in maniera più dettagliata i fenomeni dinamici coinvolti nella determinazione del carico termico a cui è soggetta la zona; tali fenomeni diventano rilevanti quando i carichi che maggiormente influenzano l'andamento della temperatura interna variano notevolmente nell'arco della giornata: è il caso dell'irraggiamento solare durante il periodo estivo o dei carichi interni fortemente variabili nel tempo presenti in alcune tipologie di edificio del settore terziario. Il D.P.R. 59/09 recepisce la problematica, specificando che nel calcolo rigoroso della prestazione energetica, per gli edifici di nuova costruzione del settore terziario, con volumetria maggiore di 10.000 m³, occorre tener conto dell'influenza dei fenomeni dinamici, attraverso l'uso di opportuni modelli di simulazione, salvo che si possa dimostrare la scarsa rilevanza di tali fenomeni nel caso specifico (D.P.R. 59/09, Art.4, Comma 27, punto o).

La norma UNI EN ISO 13791:2005 fornisce un esempio di algoritmo per l'implementazione di un modello dinamico; altri modelli sono stati sviluppati da Enti Pubblici o Privati (esempi: DOE2, EnergyPlus, TRNSYS, Odesse). Nel descrivere come sono trattati gli aspetti dinamici del sistema zona-impianto si farà riferimento ai programmi più diffusi.

I dati meteorologici vengono richiesti con passo orario e di solito coinvolgono:

- Temperatura esterna
- Umidità relativa
- Radiazione diretta normale
- Radiazione diffusa su piano orizzontale
- Indice di nuvolosità
- Velocità del vento
- Direzione del vento

In mancanza di rilievi locali certificati delle grandezze interessate, alcuni programmi hanno dei database con i dati meteorologici delle principali località elaborati statisticamente, in maniera da formare quello che viene chiamato «anno tipico meteorologico» della località (TMY, Typical Meteorological Year). Indicazioni per costruire l'anno tipico meteorologico a partire da dati orari pluriennali si trovano nella normativa UNI EN ISO 15927-4:2005 "Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Parte 4: Dati orari per la valutazione del fabbisogno annuale di energia per il riscaldamento e il raffrescamento".

Per alcune regioni Italiane recenti rilevazioni di dati ed elaborazioni sono stata eseguite per conto del Comitato Termotecnico Italiano e rese disponibili in rete; dati per tutte le regioni ma risalenti a rilievi compiuti negli anni che vanno dal 1951 al 1970 sono disponibili sotto il nome "*Insieme Dati Climatici Giovanni De Giorgio*", sul sito del Department of Energy del governo statunitense, nella sezione dati climatici per il programma di calcolo Energy Plus.

Se sono disponibili rilievi meteorologici *in situ*, ottenuti con strumenti e metodologie certificati, è possibile usare tali dati per validare il modello dinamico rispetto ai consumi reali; per le stime dei consumi standard ed eventuali proposte di intervento (anche per valutazioni a supporto di investimenti per conto terzi da parte di ESCO) sarà invece necessario utilizzare i dati trattati secondo la normativa precedentemente citata.

Nella simulazione del comportamento delle masse, i metodi dinamici implementano algoritmi per la soluzione diretta delle equazioni differenziali che governano la conduzione attraverso le pareti. In questa maniera, rispetto alle metodologie precedentemente descritte, sono ridotte le semplificazioni di carattere fisico e migliora la sensibilità dei risultati rispetto alle proprietà inerziali della struttura.

La simulazione dinamica, determinando un andamento orario realistico del profilo di carico termico interno alla zona, consente di accoppiare in maniera più corretta l'impianto all'involucro, simulando sistemi di controllo ed elementi impiantistici la cui efficienza varia a seconda del tempo, delle condizioni esterne, del fattore di carico; a questo proposito c'è da osservare che la dinamica di un impianto può avere dei tempi caratteristici sensibilmente inferiori a quelli della zona, e di questo si deve tener conto per determinare il passo della simulazione.

I fattori di ombreggiamento dei sistemi di schermatura vengono calcolati ora per ora; inoltre alcuni programmi consentono anche di tener conto degli ostacoli esterni.

La geometria della zona è un dato di input del calcolo, dunque si può tener conto degli scambi radiativi tra pareti opache e trasparenti tramite i rispettivi fattori di vista. Ciò consente di calcolare accuratamente le temperature dei singoli elementi costruttivi e dunque di valutare in maniera più precisa le condizioni di benessere locali e le dispersioni verso l'esterno.

7.2.5 Vantaggi e svantaggi della simulazione dinamica

Come già detto, le norme vigenti richiedono che un modello di calcolo dinamico venga validato secondo la normativa UNI EN 15265. Tale norma si propone di validare i risultati mensili dei calcoli rispetto a dodici casi test derivanti dalle combinazioni seguenti:

- riscaldamento/raffrescamento intermittente/continuo;
- pareti leggere/pesanti
- guadagni interni elevati/bassi
- tetto pesante/leggero

I test non coinvolgono gli scambi termici verso il terreno e verso zone adiacenti e non trattano la dinamica degli impianti asserviti alla zona, inclusi i sistemi di regolazione.

Nell'ambito della diagnosi energetica è necessario introdurre un altro criterio di validazione del modello: infatti, come mostra il diagramma di flusso di diagnosi energetica proposto al capitolo 1, un punto cruciale per la verifica del modello energetico e del bilancio energetico che ne consegue è la corrispondenza tra:

- a) risultati ottenuti dalla simulazione in termini di consumo di energia;
- b) dati di consumo effettivo ottenuti con l'analisi delle fatture.

Una volta ottenuta una buona stima del modello di occupazione (si veda il capitolo 2), i problemi nel raggiungimento di questo obiettivo possono sorgere dalle limitazioni dei modelli di calcolo adottati; il principale limite dei modelli semplificati, mensile ed orario, sta nel modo in cui vengono conteggiate le proprietà inerziali delle strutture. In particolare, nell'MQSM è stata rilevata una scarsa sensibilità alla capacità termica. Ad esempio, calcoli condotti sul modello proposto dalla normativa UNI/TS 11300 (*Procedure di calcolo semplificate e valutazioni dinamiche*, Simone Ferrari) forniscono differenze di fabbisogno di

raffrescamento/riscaldamento contenute entro il 5% (dunque poco realistiche) per due edifici tipo, distinti da valori di capacità termica pari a 165 kJ/(m²K) per la struttura più "massiva" e pari a 85 kJ/(m²K) per la struttura più "leggera" (valori estremi di capacità termica areica riportati nella specifica tecnica per gli edifici esistenti con numero di piani ≥3), con medesime trasmittanze termiche d'involucro. Per quanto riguarda l'MDS, si è già parlato della saturazione al valore limite di 6 ore dello sfasamento dell'onda termica all'aumentare della massa. Si fa inoltre notare che la mancanza di un profilo orario delle variabili nell'MQSM e la scarsa attendibilità dei valori orari nell'MDS fanno sì che le proprietà dipendenti da valori puntuali delle variabili (in alcuni casi anche in maniera non lineare, come per l'efficienza di una pompa di calore, il rendimento dei sistemi di pompaggio, i fattori di schermatura, ecc.) possano essere valutate solo con l'utilizzo di coefficienti di correlazione, introducendo ulteriori errori. In una simulazione dinamica dettagliata queste limitazioni vengono meno, a fronte di un maggior costo nella raccolta dei dati.

La scelta del metodo da utilizzare dipenderà da vari fattori, il primo dei quali è il livello di dettaglio col quale si conoscono i dati di input del modello: se questo è scarso si dovrà ricorrere ai metodi nei quali gli effetti della dinamica vengono stimati con dei valori medi o con dei coefficienti di correlazione (come nel caso dei fattori di utilizzazione dei guadagni interni o dei fattori di schermatura presenti nella UNI/TS 11300), ma oramai la metodologia di simulazione dinamica degli edifici è adottata e ritenuta indispensabile per:

- stimare con accuratezza i fabbisogni energetici in sistemi complessi e con differenti destinazioni d'uso (per esempio, in edifici ad uso ospedaliero: si veda *Simulazione del Comportamento Dinamico di Edifici Ospedalieri e Validazione*, W. Grassi, D. Testi, D. Della Vista ed E. Menchetti);
- individuare le leggi più efficienti di regolazione degli impianti termici in termini di risparmio energetico e livelli di comfort dell'ambiente abitato, specialmente in presenza di componenti impiantistici ad elevata inerzia (per esempio, nella regolazione climatica per il riscaldamento tramite pannelli radianti affogati nelle strutture edilizie: si veda *Development of a Simple Transient Model for Radiant Heating and Cooling Systems and Coupling with Building Energy Simulation*, W. Grassi, P. Conti e D. Testi);
- modellare sistemi edificio-impianto con ampie superfici vetrate; simulare il comportamento di edifici ad alta o altissima efficienza energetica (*Green Energy Audit*, Giuliano Dall'Ò);
- valutare in maniera accurata i risparmi energetici, quindi economici, ottenibili con determinati interventi di retrofit (*Handbook of Energy Audits, Seventh Edition*, Albert Thumann, William J. Younger).

PROSSIMI OBIETTIVI

Nel presente rapporto è stata sviluppata una metodologia per la diagnosi energetica negli edifici ad uso residenziale e terziario con l'obiettivo di essere maggiormente flessibile ed adattabile all'utenza rispetto alle procedure mirate alla certificazione energetica e alla valutazione di fabbisogni standard. Pur seguendo, dove possibile, la struttura fornita dalla serie di norme UNI/TS 11300, se ne discosta nei punti in cui esse non sono sufficientemente dettagliate e cerca di integrarne le lacune dove necessario, per esempio per tener conto di un maggior numero di soluzioni impiantistiche. Si sente la necessità di codificare una robusta metodologia di calcolo per la diagnosi energetica all'interno di un'apposita specifica tecnica nazionale, al fine di garantire trasparenza e riproducibilità dei risultati.

La struttura delle procedure di raccolta dei dati si presta alla realizzazione di schede di input da implementare in un programma o in fogli di calcolo. Al momento dell'audit, questi strumenti, calibrati per mezzo dei consumi reali (dati di fatturazione), potrebbero essere utilizzati per la valutazione dei flussi energetici. Nella seconda fase della diagnosi, essi consentirebbero di simulare rapidamente interventi di riqualificazione energetica in modo realistico, portando a valutazioni economiche attendibili.

Riguardo agli interventi da suggerire nella diagnosi, si auspica che vengano predisposte linee guida sulle migliori pratiche energetiche, divise per settore, in grado di orientare le scelte dell'auditor verso le soluzioni più efficienti ed economicamente convenienti.

BIBLIOGRAFIA

Normative Tecniche

- Direttiva Consiglio UE n. 92/42/CEE, *Requisiti di rendimento per le nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi*, 1992
- EN 61829, *Crystalline silicon photovoltaic array – On-site measurement of I-V characteristics*, 1998
- ISO 9869, *Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance*, 1994
- prEN 14825, *Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance*, 2010
- prEN 16247-1, *Energy audits – Part 1: General requirements*, 2011
- UNI 7979, *Edilizia - Serramenti esterni (verticali) - Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento*, 1979
- UNI 9019, *Ripartizione delle spese di riscaldamento basata sulla contabilizzazione dei gradi-giorno*, 1987
- UNI 10200, *Impianti di riscaldamento centralizzati – Ripartizione delle spese di riscaldamento*, 2005
- UNI 10348, *Riscaldamento degli edifici – Rendimenti dei sistemi di riscaldamento: metodo di calcolo*, 1993
- UNI 10349, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici*, 1994
- UNI 12464-1, *Illuminazioni dei posti di lavoro – parte 1: Posti di lavoro in interni*, 2004
- UNI EN 303, *Caldaie per riscaldamento – Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale ed automatica, con una potenza termica nominale fino a 300 kW – Parte 5: Terminologia, requisiti, prove e marcatura*, 2004
- UNI EN 442-2, *Radiatori e convettori – Metodi di prova e valutazione*, 2004
- UNI EN 1264-2, *Riscaldamento a pavimento – Impianti e componenti – Determinazione della potenza termica*, 1999
- UNI EN 12207, *Finestre e porte – Permeabilità all'aria – Classificazione*, 2000
- UNI EN 12309-2, *Apparecchi di climatizzazione e/o pompe di calore ad assorbimento e adsorbimento, funzionanti a gas, con portata termica nominale non maggiore di 70 kW - Utilizzazione razionale dell'energia*, 2002
- UNI EN 12815, *Termocucine a combustibile solido – Requisiti e metodi di prova*, 2006
- UNI EN 12831, *Impianti di riscaldamento negli edifici – Metodo di calcolo del carico termico di progetto*, 2006
- UNI EN 13203-2, *Apparecchi a gas domestici per la produzione di acqua calda – Apparecchi di portata termica nominale non maggiore di 70 kW e capacità di accumulo di acqua non maggiore di 300 l*, 2007
- UNI EN 13229, *Inseriti e caminetti aperti alimentati a combustibile solido – Requisiti e metodi di prova*, 2006
- UNI EN 13240, *Stufe a combustibile solido – Requisiti e metodi di prova*, 2006
- UNI EN 13829, *Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore*, 2002

- UNI EN 14037, *Strisce radianti a soffitto alimentate con acqua a temperatura minore di 120°C*, 2005
- UNI EN 14785, *Apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati con pellet di legno – Requisiti e metodi di prova*, 2008
- UNI EN 15193, *Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione*, 2008
- UNI EN 15242, *Ventilazione degli edifici – Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni*, 2008
- UNI EN 15251, *Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica*, 2008
- UNI EN 15265, *Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici - Criteri generali e procedimenti di validazione*, 2008
- UNI EN 15316-2, *Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto – Parte 2.3: Sistemi di distribuzione di calore negli ambienti*, 2007
- UNI EN 15316-3, *Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto – Parte 3.1: Impianti per la produzione di acqua calda sanitaria, caratterizzazione dei fabbisogni (fabbisogni di erogazione)*, 2008
- UNI EN 15316-4-1, *Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto – Parte 4-1: Sistemi di generazione per il riscaldamento degli ambienti, sistemi a combustione (caldaie)*, 2008
- UNI EN 15316-4-3, *Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto – Parte 3: Sistemi di generazione del calore, sistemi solari termici*, 2008
- UNI EN 15316-4-6, *Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 6: Sistemi di generazione del calore, sistemi fotovoltaici*, 2008
- UNI EN 15316-4-7, *Impianti di riscaldamento degli edifici – Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto – Parte 4-7: Sistemi di generazione per il riscaldamento degli ambienti, sistemi di combustione a biomassa*, 2009
- UNI EN 15450, *Impianto di riscaldamento negli edifici – Progettazione degli impianti di riscaldamento a pompa di calore*, 2008.
- UNI EN ISO 6946, *Componenti ed elementi per l'edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo*, 2008
- UNI EN ISO 7726, *Ergonomia degli ambienti termici – Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche*, 2002
- UNI EN ISO 7730, *Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*, 2006
- UNI EN ISO 13370, *Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo*, 2008
- UNI EN ISO 13790, *Prestazioni energetiche degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento*, 2008

UNI EN ISO 13791, *Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati in calcestruzzo*, 2005

UNI EN ISO 14683, *Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento*, 2001

UNI EN ISO 15927, *Prestazione termo-igrometrica degli edifici – Calcolo e presentazione dei dati climatici*, 2005

UNI/TR 11328-1, *Energia solare – Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia*, 2009

UNI/TR 11388, *Sistemi di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale utilizzando valvole di corpo scaldante e totalizzatore dei tempi di inserzione*, 2010

UNI/TS 11300-1, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*, 2008

UNI/TS 11300-2, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*, 2008

UNI/TS 11300-3, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva*, 2010

UNI/TS 11300-4, *Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*, progetto di norma sottoposto ad inchiesta pubblica fino al 23 settembre 2011

Legislazione

- D.L. 18.06.07 n. 73, *Misure urgenti per l'attuazione di disposizioni comunitarie in materia di liberalizzazione dei mercati dell'energia*, 2007 (convertito con legge 3 agosto 2007, n. 125)
- D.Lgs. 192/2005 *Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*, 2005
- D.Lgs. 152/2006, *Norme in materia ambientale*, 2006
- D.Lgs. 311/2006, *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*, 2006
- D.Lgs.81/2008, *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*, 2008
- D.Lgs. 115/2008, *Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE*, 2008
- D.M. 16.02.82, *Modificazioni del decreto ministeriale 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi*, 1982
- D.M. 09.04.94, *Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la costruzione e l'esercizio delle attività ricettive turistico-alberghiere*, 1994
- D.M. 19.08.96, *Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo*, 1996
- D.M. 10.03.98, *Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*, 1998
- D.M. 06.10.03, *Approvazione della regola tecnica recante l'aggiornamento delle disposizioni di prevenzione incendi per le attività ricettive turistico-alberghiere esistenti di cui al decreto 9 aprile 1994*, 2003
- D.M. 11.03.08, *Attuazione dell'art. 1 comma 24 lettera a) della legge 24.02.07/244 per la definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione dei commi 344 e 345 dell'art.1 della legge 27.12.06/296*, 2008
- D.M. 26.06.09, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*, 2009
- D.P.R. n. 412/1993, *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento di energia, in attuazione dell'art.4, comma 4, della legge 9 Gennaio 1991, n.10*, 1993
- D.P.R. n. 660/1996, *Regolamento per l'attuazione della direttiva 92/42/CEE concernente i requisiti di rendimento delle nuove caldaie ad acqua, alimentate con combustibili liquidi o gassosi*, 1996
- D.P.R. n. 59/2009, *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b) del decreto legislativo 19 Agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*, 2009
- Legge 30.04.76, n. 373, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*, 1976
- Legge 09.01.91, n.10, *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*, 1991

Libri, riviste ed altri riferimenti

- Cammarata G., *Elementi di Impianti Termotecnici*, Università di Catania, 2006
- Dall'Ò G., *Green Energy Audit*, 2011
- Department of Energy, *Insieme Dati Climatici Giovanni De Giorgio*
- De Santoli L., Mancini F., *Procedura Semplificata per la Valutazione dei Fabbisogni Energetici dei Trattamenti dell'Aria*, Università La Sapienza, Roma, Condizionamento Dell'Aria, AICARR, 2005
- Euro Topten
- Ferrari S., *Procedure di calcolo semplificate e valutazioni dinamiche*, Ricerca, 2009
- Grassi W., Testi D., Della Vista D., E. Menchetti E., *Simulazione del Comportamento Dinamico di Edifici Ospedalieri e Validazione*, Atti del III Congresso Nazionale AIGE, Parma, 2009
- Grassi W., Conti P., Testi D., *Development of a Simple Transient Model for Radiant Heating and Cooling Systems and Coupling with Building Energy Simulation*, Proceedings of the XXIX UIT Heat Transfer Conference, Torino, 2011
- PhotoVoltaic Geographical Information System
- Thumann A., Younger W. J., *Handbook of Energy Audits*, Seventh Edition, 2007
- Van Dijk H.A.L. e Spiekman M.E., *Energy Performance of Buildings; Outline for Harmonised EP Procedures*, Rapporto finale del Progetto EU ENPER, TNO Building and Construction Research, Delft, Paesi Bassi, 2004
- World Meteorological Organization, *Guide to Meter Instruments and Methods of Observation*, 2006