



Ricerca di Sistema elettrico

Criteri di stima di risparmi energetici
conseguiti in reali condizioni d'uso per la
produzione di acqua calda sanitaria in
edifici scolastici e metodologia per
l'individuazione di inefficienze sugli usi
elettrici dell'edificio.

R. Armani, S. Erba, A. Sangalli, L. Pagliano

Criteri di stima di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per la produzione di acqua calda sanitaria in edifici scolastici e metodologia per l'individuazione di inefficienze sugli usi elettrici dell'edificio.
R. Armani, S.Erba, A. Sangalli, L. Pagliano

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Local Energy District

Linea di attività: LA1.32 Individuazione canali informativi da implementare nel PELL. Definizione risparmi energetici per servizio di acqua calda sanitaria

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Metodo semplificato per la stima dei risparmi energetici su determinati canali di uso dell'energia in edifici scolastici: integrazione, revisione e preparazione di un documento guida per l'implementazione finale.*"

Responsabile scientifico ENEA: Michele Zinzi

Responsabile scientifico: Prof. Lorenzo Pagliano (Politecnico di Milano)

Indice

SOMMARIO.....	4
SUMMARY.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
1 INTRODUZIONE	5
2 DEFINIZIONI.....	6
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	8
3.1 DEFINIZIONE RISPARMI ENERGETICI PER SERVIZIO DI ACQUA CALDA SANITARIA.	8
3.2 ANALISI DI SENSITIVITÀ RISPETTO AI VALORI DI BENCHMARK DEFINITI PER QUANTIFICARE I RISPARMI ENERGETICI PER SERVIZIO DI ACQUA CALDA SANITARIA.	15
3.3 CARICO ELETTRICO DI BASE CONSUMATO DA UN EDIFICIO SCOLASTICO, NON LEGATO ALLA RICHIESTA DI CLIMATIZZAZIONE DEGLI AMBIENTI INTERNI E INDIVIDUAZIONE DI BANCHE DATI DISPONIBILI.	20
3.3.1 <i> Criteri di acquisto per l'illuminazione d'interni a LED.</i>	22
4 CONCLUSIONI.....	30
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	31
6 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	33

Sommario

Questo rapporto è stato strutturato come parte integrante del precedente rapporto dal titolo *“Criteri di normalizzazione dei KPI di riferimento e di stime di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per edifici scolastici esistenti”* [1].

Nel precedente rapporto è stata proposta una prima metodologia semplificata per la valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio scolastico rispetto ad alcuni usi finali. La presente integrazione ha lo scopo di completare la precedente metodologia inserendo un approccio parametrico per la prevalutazione dei risparmi energetici che si possono ottenere applicando interventi di efficienza al servizio di erogazione di acqua calda sanitaria.

Ulteriormente la metodologia è stata arricchita con una procedura per l'individuazione di eccessivi consumi elettrici non dovuti alla climatizzazione dell'edificio. Il tutto accompagnato da una ricerca in rete di database liberi, affidabili ed in costante aggiornamento che possono supportare il gestore dell'edificio nella selezione di acquisto di prodotti efficienti per l'illuminazione dei locali e di dispositivi elettrici che sono propri del normale funzionamento dell'edificio e che spesso rappresentano un canale di consumo non più trascurabile (PC, Monitor, stampanti, macchine per la conservazione ed erogazione di cibi e bevande).

Si ricorda che il metodo che è stato proposto ha lo scopo di caratterizzare gli edifici nel loro stato di fatto, al fine di valutare le potenzialità di risparmio energetico dovute a possibili interventi di riqualificazione energetica da attuare sull'organismo edilizio, in previsione di interventi edilizi da programmare nel prossimo futuro.

In alcuni casi, le diagnosi energetiche che applicano le procedure di calcolo normativo restituiscono indicazioni della domanda di energia consegnata poco verosimile con l'effettiva richiesta dell'edificio. Una possibile causa di questo effetto indesiderato è dovuta ad una conduzione da parte dell'occupante o del gestore dell'edificio che difficilmente è descrivibile in una procedura di calcolo normativa. L'occupante infatti, con le sue azioni e logiche di gestione dell'edificio può influenzare significativamente i profili di consumo a servizio dei diversi usi finali. Il risultato è una stima dei possibili risparmi energetici e conseguentemente una valutazione della sostenibilità economica dell'intervento che difficilmente rappresenta le reali potenzialità dell'edificio. Si pensi al caso specifico del presente rapporto. La quantificazione dell'erogazione di acqua calda sanitaria in un edificio scolastico è molto ardua. Questo dipende dal numero di alunni, dal comportamento degli alunni e dalle buone pratiche che gli insegnanti trasmettono agli studenti. Si rifletta come a fronte della pandemia da COVID-19, la frequenza e la durata di un semplice gesto come il lavaggio delle mani sia radicalmente cambiato nella nostra quotidianità. A maggior ragione in un istituto scolastico dove vengono attuati protocolli di prevenzione per la limitazione della diffusione del virus pandemico.

La metodologia che è stata definita è da intendersi come una prima proposta di analisi e calcolo della domanda di energia fornita (per ciascun vettore energetico), di un generico edificio scolastico, a supporto dello sviluppo di una piattaforma informatica finalizzata alla categorizzazione, analisi prestazionale e monitoraggio remoto dei consumi, da mettere a disposizione dei tecnici e degli amministratori locali come aiuto al processo decisionale di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio scolastico esistente.

Come nel precedente rapporto [1] è stata effettuata una attenta ricerca nella letteratura scientifica di metodologie analoghe.

Sulla base della fase esplorativa viene proposto un metodo semplificato che si basa sullo storico dei consumi al fine di permettere una valutazione qualitativa degli effetti di un determinato canale di intervento di efficientamento energetico in termini di risparmio.

Il metodo proposto non esclude altre metodologie che la letteratura scientifica propone per questo tipologia di valutazioni. Il metodo si propone come possibile alternativa.

Il metodo non è stato testato su casi reali. Possibili sviluppi potrebbero essere l'applicazione del metodo su interventi di riqualificazione energetica di istituti scolastici di cui si dispone di dati che descrivono puntualmente l'edificio prima dell'intervento edilizio e almeno un anno, meglio due o tre, di esercizio dell'edificio a valle della riqualificazione.

Questa fase di test permetterebbe di valutare l'introduzione di eventuali ulteriori semplificazioni del metodo che, allo stato attuale, non è possibile studiare.

Introduzione

È usuale nella pratica comune di programmazione degli interventi di efficientamento energetico di un edificio scolastico di pensare quasi esclusivamente alla riduzione dei fabbisogni termici per la climatizzazione invernale.

All'interno dell'edificio scolastico sono presenti altri canali di consumo che possono avere un peso non trascurabile sulla richiesta di energia importa per soddisfare lo specifico uso finale.

Ecco perché in questo rapporto, che è stato concepito come parte integrante del precedente studio *“Criteri di normalizzazione dei KPI di riferimento e di stime di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per edifici scolastici esistenti”* [1], è stata focalizzata l'attenzione sui quei canali di consumo a volte trascurati, come: la produzione di acqua calda sanitaria ed i fabbisogni elettrici non legati agli impianti di climatizzazione.

Nell'ottica di avere edifici sempre più efficienti, è stato ritenuto che anche questi capitoli di spesa non strettamente legati alla climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio debbano rientrare in una strategia di efficientamento degli edifici scolastici. Ecco perché abbiamo valutato utile sviluppare questo approfondimento che possa essere di supporto alle amministrazioni scolastiche all'interno del loro processo decisionale.

L'altro ostacolo all'efficienza che è tutt'oggi si configura come superabile, risulta essere la carenza di informazioni relative a prodotti disponibili sul mercato “etichettabili” come efficienti.

Spesso la scelta di un prodotto nella sostituzione di un componente elettrico o ad esempio di un corpo illuminante viene demandata al fornitore senza che ci sia una selezione di mercato basata su criteri di efficienza.

Per cercare di colmare anche questa lacuna presente all'interno del processo decisionale gli scriventi hanno selezionato dei database di prodotti efficienti disponibili in rete che possano aiutare il gestore dell'edificio scolastico a selezionare i nuovi acquisti secondo criteri di efficienza e che al loro interno hanno una raccolta di prodotti presenti sul mercato che hanno superato una selezione rispetto a criteri di efficienza, risparmio e riduzione dell'impatto ambientale.

Al fine di concludere la definizione metodologica delle procedure di stima proposte sui canali di consumo analizzati, è stato ritenuto opportuno anticipare parte delle linee di attività previste nella seconda annualità (ricerca in letteratura del carico elettrico di base consumato da un edificio scolastico, non legato alla richiesta di climatizzazione degli ambienti interni; analisi di sensitività al fine di valutare come varia il risparmio energetico conseguibile al variare dei principali dati di ingresso sul canale d'uso dell'acqua calda sanitaria). Nello specifico, nella trattazione che segue, è stata sviluppata la ricerca di benchmark propedeutici alla quantificazione, seppur sommaria, di un carico elettrico di base medio di un edificio scolastico, per tutti quei servizi non connessi alla climatizzazione degli edifici o alla produzione di acqua calda sanitaria. Questa stima è risultata complessa data la carenza di dati conosciuti e informazioni presenti in letteratura, ma a parere degli scriventi tali usi elettrici legati alla funzionalità e gestione dei plessi scolastici risultano spesso fuori controllo oltre a rappresentare un capitolo di spesa non più trascurabile. Abbiamo ritenuto necessario definire un valore soglia di allarme che permettesse alle amministrazioni scolastiche di valutare la necessità di provvedere ad indagini più approfondite al fine di comprendere le cause delle eccessive domande di energia importata elettrica, prima ancora di provvedere a campagne di sostituzione di dispositivi e apparecchiature obsolete o particolarmente energivore.

Ulteriormente, nel presente rapporto è stata anticipata una analisi di sensitività, svolta per mezzo di simulazioni numeriche in regime dinamico, per la verifica dei valori di benchmark ricavati dalla letteratura relativi ai risparmi associati all'uso di acqua calda sanitaria, in quanto coerente con gli obiettivi metodologici raggiunti con il presente rapporto.

1 Definizioni

Viene di seguito proposto un breve glossario di armonizzazione delle definizioni che sono state utilizzate all'interno del rapporto e che hanno trovato riscontro nella terminologia riportata nella normativa e nella legislazione nazionale vigente.

Fabbisogno di energia termica (utile).

Quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo [1].

Fabbisogno netto di energia termica utile.

Fabbisogno diminuito della quantità di perdite recuperate [3].

Ad esempio per l'acqua calda sanitaria da intendersi come energia necessaria per innalzare la temperatura dell'acqua di fornitura dell'acquedotto alla temperatura desiderata, al netto delle perdite del sistema impiantistico.

Apporti termici utili.

Porzione degli apporti termici interni e solari che contribuisce alla riduzione del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento [4].

Energia totale usata per l'illuminazione.

Energia consumata nel periodo t, espressa dalla somma delle potenze degli apparecchi di illuminazione con le lampade attive, alla quale si sommano i carichi parassiti quando le lampade sono inattive, in un locale o zona, misurata in kWh [5].

Energia consegnata o fornita.

Energia espressa per vettore energetico finale, fornita al confine dell'edificio agli impianti tecnici per produrre energia termica o elettrica per i servizi energetici dell'edificio [6].

Confine del sistema o confine energetico dell'edificio.

Confine che include tutte le aree di pertinenza dell'edificio, sia all'interno che all'esterno dello stesso, dove l'energia è consumata o prodotta [6].

Energia da fonti rinnovabili.

Energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idro-termica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas [6].

Energia primaria

Energia, da fonti rinnovabili e non, che non ha subito alcun processo di conversione o trasformazione [6].

Energia prodotta in situ: energia prodotta o captata o prelevata all'interno del confine del sistema [6].

Fattore di conversione in energia primaria.

Rapporto adimensionale che indica la quantità di energia primaria impiegata per produrre un'unità di energia fornita, per un dato vettore energetico; tiene conto dell'energia necessaria per l'estrazione, il processamento, lo stoccaggio, il trasporto e, nel caso dell'energia elettrica, del rendimento medio del sistema di generazione e delle perdite medie di trasmissione del sistema elettrico nazionale e nel caso del teleriscaldamento, delle perdite medie di distribuzione della rete. Questo fattore può riferirsi all'energia primaria non rinnovabile, all'energia primaria rinnovabile o all'energia primaria totale come somma delle precedenti [6].

Fattore di conversione in energia primaria totale [7,] $f_{p,tot}$ è pari a:

$$f_{p,tot} = f_{p,nren} + f_{p,ren}$$

dove:

$f_{p,nren}$: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile

$f_{p,ren}$: fattore di conversione in energia primaria rinnovabile

Confine del sistema o confine energetico dell'edificio.

Confine che include tutte le aree di pertinenza dell'edificio, sia all'interno che all'esterno dello stesso, dove l'energia è consumata o prodotta.

Edificio.

È un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti [6].

Fabbricato.

Sistema costituito dalle strutture edilizie esterne, costituenti l'involucro dell'edificio, che delimitano un volume definito e dalle strutture interne di ripartizione dello stesso volume. Sono esclusi gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno [6].

Involucro di un edificio.

Elementi e componenti integrati di un edificio che ne separano gli ambienti interni dall'ambiente esterno [6].

Superficie disperdente S (m²).

Superficie che delimita il volume climatizzato "V" rispetto all'esterno, al terreno, ad ambienti a diversa temperatura o ambienti non dotati di impianto di climatizzazione [7].

Ambiente climatizzato.

Vano o spazio chiuso che, ai fini del calcolo, è considerato riscaldato o raffrescato a determinate temperature di regolazione [1].

Ambiente non climatizzato.

Vano o spazio chiuso che non fa parte di un ambiente climatizzato [4].

Area climatizzata.

Area del pavimento degli ambienti climatizzati, comprendente l'area di tutti i piani se più di uno, esclusi piani interrati o altri ambienti non abitabili. Ai fini del calcolo degli apporti termici interni, è intesa al netto delle pareti perimetrali e di tutti i divisori verticali [1].

Apporti termici interni.

Calore generato all'interno dell'edificio dagli occupanti (calore metabolico sensibile) e dalle apparecchiature, quali apparecchi domestici, dispositivi d'ufficio, ecc., diverse dall'energia intenzionalmente fornita per il riscaldamento, il raffrescamento o la preparazione dell'acqua calda sanitaria [4].

Apporti termici solari.

Calore fornito dalla radiazione solare entrante nell'edificio, direttamente o indirettamente (in seguito all'assorbimento negli elementi edilizi), attraverso le finestre, le pareti opache e le coperture, o i dispositivi solari passivi come le serre solari, l'isolamento trasparente e le pareti solari [4].

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 *Definizione risparmi energetici per servizio di acqua calda sanitaria.*

Interventi di efficienza mirati sul canale d'uso di produzione di acqua calda sanitaria (ACS), passano molte volte in secondo piano rispetto a strategie di riduzione della domanda di energia importata per la climatizzazione invernale. Frequentemente, a valle di un intervento di ristrutturazione, si ottengono comunque delle riduzioni dei fabbisogni di energia termica per ACS, ma come conseguenza indiretta di interventi ritenuti più prioritari come la sostituzione del generatore di calore per la climatizzazione invernale, che in molti casi risulta essere un generatore combinato per il riscaldamento e la produzione di ACS.

Nella direzione di massimizzare quanto più possibile la riduzione della domanda di energia importata per la climatizzazione invernale, ed in alcuni casi estiva, di un edificio scolastico dopo un intervento di ristrutturazione, il fabbisogno termico per la produzione di ACS acquisisce sempre più peso sul totale dei consumi dell'edificio.

Come emerso dallo studio europeo sugli erogatori di flusso per utenze domestiche e non residenziali [33], si stima che mediamente a livello europeo, all'interno degli edifici scolastici (inclusi tutti i livelli di istruzione) siano messi a disposizione un erogatore standard ed un erogatore per doccia ogni cento studenti.

In via del tutto generale la disponibilità di risorse idriche varia nei territori e regioni Europee, così come accade per il contesto italiano. La disponibilità di acqua, a differenza di altre risorse energetiche, è influenzata dalla disponibilità di acqua nel territorio (in funzione delle caratteristiche idrologiche e idrogeologiche del sito) e dalla frequenza ed entità delle precipitazioni atmosferiche. La disponibilità di acqua per usi igienici risulta quindi dipendente delle caratteristiche del sito, della regione geografica e dalla durata delle riserve idriche in termini di tempo. All'interno del contesto nazionale possono esserci aree caratterizzate da più o meno siccità. Sempre in [33] viene riportata e in questo rapporto ripresa, la variazione dell'indice di siccità CDI (Combined Drought Index) in Europa in tre diversi periodi (maggio 2003, maggio 2011, maggio 2012) [Figura 1]

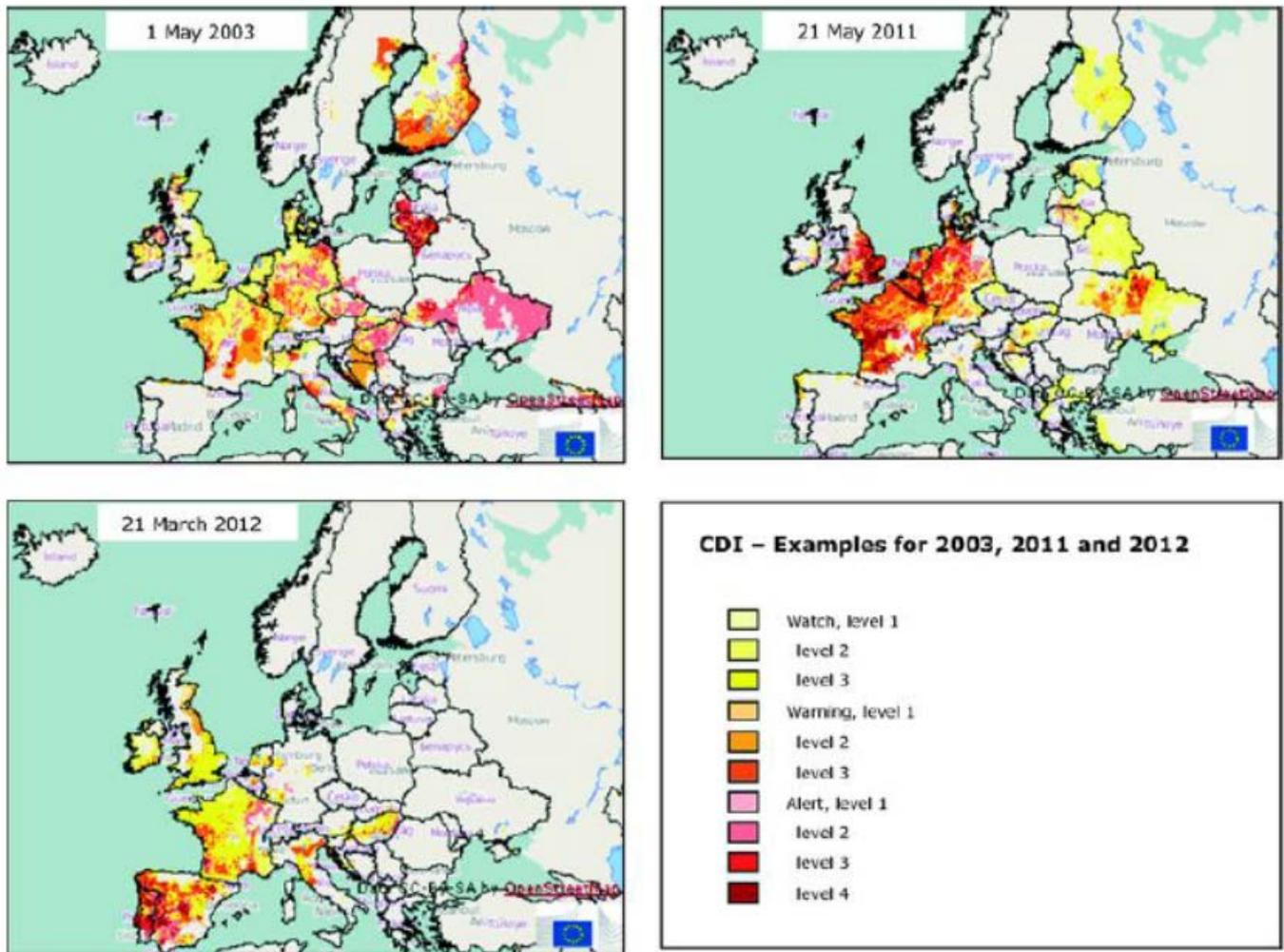


Figura 1: condizioni di siccità in Europa (CDI = Combined Drought Index) [33]

Dalla [Figura 1] si osserva come in diverse aree del territorio nazionale ci siano regioni che sono connotate con un livello attenzione rispetto al pericolo di siccità. Nello stesso studio è presente un altro indicatore (Water Exploitation Index [WEI]) che esprime la percentuale di acqua dolce disponibile in una certa regione, territorio, nazione, che viene prelevata per soddisfare il fabbisogno idrico della popolazione. Quando tale indice WEI si attesta al di sopra di una soglia di attenzione condivisa con l’Agenzia Europea per l’Ambiente del 20%, la regione interessata viene distinta con scarsità di acqua. Se tale soglia supera il valore del 40% si manifesta una grave scarsità di acqua.

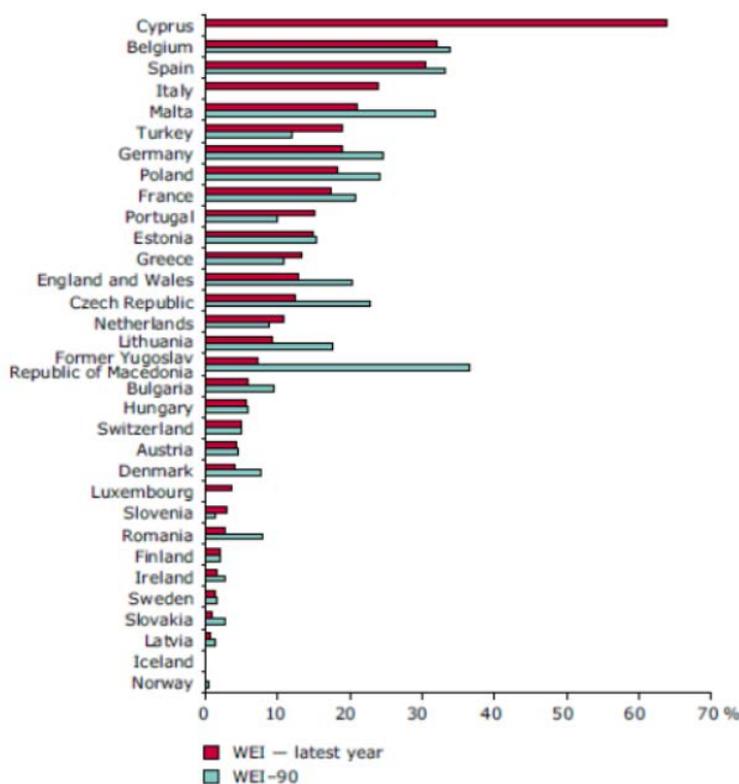


Figura 2: Water Exploitation Index in Europa fine anni 80 / inizio anni 90 comparato con lo stesso indice nell’arco temporale ricompreso tra gli anni 1998 - 2007

Dai risultati di questo secondo livello di analisi [Figura 2] è stato mostrato come la richiesta di acqua per i diversi usi nel contesto italiano sia superiore alla soglia di attenzione del 20%.

I quantitativi di acqua valutati sono riferiti a tutti gli usi e settori. La parte dedicata all’acqua sanitaria a servizio degli edifici ricopre solo una parte del totale delle estrazioni quantificate, circa il 20% (come media Europea), comprendendo sia gli usi domestici che non domestici. Della quantità di acqua estratta per usi sanitari il 57% circa viene assorbita dagli edifici residenziali ed il 23% dagli altri edifici. A livello Europeo l’Italia risulta essere tra i maggiori estrattori di acqua dal sottosuolo, in base al consumo pro-capite giornaliero.

Si è ritenuto doveroso affrontare questa introduzione con lo scopo di inquadrare la problematica della disponibilità di acqua a fronte dei continui mutamenti climatici, allo scopo di rimarcare ulteriormente il ruolo che ha ogni settore, servizio, edificio, seppur in misura apparentemente trascurabile, nel provvedere ad implementare strategie di mitigazione e di riduzione del consumo di risorse, soprattutto quando queste non sono utilizzate in modo ottimale e ben oltre allo stretto necessario. Tra queste risorse rientra anche la disponibilità di acqua dolce delle nostre riserve.

Tabella 1: consumo pro-capite giornaliero suddiviso in base alla tipologia di edificio ed al database di riferimento [33].

	Domestic water use (L/person/day) 2008 (EUREAU ¹²⁸)	Non-domestic water use (L/person/day) 2008 (EUREAU)	Urban water abstraction (L/person/day) 2001 (EEA ¹²⁹)	Urban water abstraction (L/person/day) 2008-2012 (FAO ¹³⁰)
Austria	143	70	203	226
Belgium	105	47	192	189
Bulgaria	114	25	372	360
Croatia	136	95		333
Cyprus	269	40	140	47
Czech Republic	97	55	209	188
Denmark	124	68	216	190
Estonia	128	45	144	110
Finland	138	92	212	209
France	169	28	269	256
Germany	126	29	185	170
Greece	218	22	225	206
Hungary	135	17	201	182
Ireland	188	129	335	
Italy	200	67	479	434
Latvia	115 ^a	30 ^a	20	187
Lithuania	102	14	100	126
Luxembourg	154	66	234	235
Malta	75	55	141	234
Netherlands	122	62	213	206
Poland	78	25	157	262
Portugal	71	36	208	170
Romania	118	76	301	192
Slovakia	86	41	200	161
Slovenia	138 ^b	61 ^b	302	222
Spain	190	93	256	340
Sweden	185	118	284	291
UK	168	74	291	333
EU-28	149	53	262	267
(a) Estimated as average of Estonia and Lithuania.				
(b) Estimated as average of Austria, Croatia and Hungary.				

E' quindi altresì importante e strategico, avere chiare quali siano le possibili strategie di facile attuazione per la riduzione della domanda di energia importata per ACS.

Il canale di consumo ACS per un edificio scolastico risulta sempre di difficile quantificazione e stima a meno che non si abbiano generatori dedicati e dei dispositivi di contabilizzazione di acqua sulla linea di distribuzione.

E' possibile inquadrare quattro "sezioni" di analisi sui quali si può intervenire per migliorare l'efficienza di tale sistema impiantistico: la generazione, la presenza o meno di un accumulo termico, la distribuzione (con o senza la rete di ricircolo), l'erogazione. In questo paragrafo, alla luce delle premesse relative all'inquadramento iniziale sulla disponibilità delle riserve di acqua dolce, i problemi legati ai cambiamenti climatici, con l'estensione di periodi di siccità idrica, è stata posta l'attenzione sulle possibilità di risparmio agendo direttamente sugli erogatori. Questo perché sono interventi semplici, che non richiedono interventi distruttivi all'interno dell'edificio, rapidi ed economici e sono particolarmente efficaci nella riduzione del consumo idrico dell'edificio. Nello specifico è stato valutato il beneficio ottenibile con la sostituzione degli erogatori tradizionali esistenti con Erogatori a Basso Flusso (EBF). Sul mercato sono disponibili diverse tecnologie EBF che lavorano su principi di intercettazione e ridistribuzione dell'acqua erogata in diversi modi. Indipendentemente dalla tecnologia, tutti questi sistemi hanno come scopo quello di ridurre il flusso erogato senza compromettere la percezione di comfort da parte dell'utente.

Partendo dall'assunto che l'energia erogata al terminale è direttamente proporzionale al flusso, è possibile stimare sia il volume di acqua erogato che l'energia contenuta in essa mediante le seguenti equazioni:

$$W_s = V' \times T_{av} \times n_e \times n_d$$

$$E_{PW,nd,s} = W_s \times \rho_w \times cp_w \times (t_{hw} - t_{cw})$$

Dove

W_s :	volume di acqua erogato (m ³)
$E_{PW,nd,s}$:	energia termica associata al volume erogato (kWh)
V' :	flusso di acqua (l/min)
T_{av} :	tempo di erogazione medio del flusso d'acqua per singolo evento (min)
n_e :	numero di eventi medi giornalieri (n/giorno)
n_d :	numero di giorni di utilizzo (giorni/anno)
ρ_w :	densità dell'acqua (kg/m ³)
cp_w :	calore specifico dell'acqua (kWh/kg K)
t_{hw} :	temperatura dell'acqua in erogazione (°C)
t_{cw} :	temperatura dell'acqua da acquedotto (°C)

Apparentemente le equazioni sopra riportate sembrano essere di facile risoluzione. Al contrario risulta molto difficile quantificare il tempo di erogazione del flusso d'acqua all'erogatore, il numero medio giornaliero degli eventi e il numero di giorni in cui suddetti eventi si assumano vengano regolarmente ripetuti. In particolare quando si tratta di un servizio dedicato ad un edificio scolastico. Infatti non è possibile definire a priori i parametri temporali e di frequenza dell'uso degli erogatori, in quanto questi sono spesso in funzione delle attività sviluppate all'interno della scuola, delle abitudini di ogni singolo alunno o di buone pratiche di igiene imposte dagli insegnanti, nonché dalla presenza o meno di laboratori didattici. Inoltre ci sono istituti scolastici che sono dotati di palestre con spogliatoi e locali docce. Questi locali possono essere utilizzati o meno al termine di una attività o evento sportivo all'interno delle ore scolastiche ma anche in periodi extrascolastici, quando ad esempio tali locali sono messi a disposizione della comunità per lo svolgimento di attività sportive.

Per i suddetti motivi, in questo rapporto, non si è volutamente cercato di individuare i risparmi ottenibili per la produzione di ACS attraverso l'applicazione di equazioni matematiche, ma di definire dei benchmark di risparmio sulla base della letteratura scientifica e degli studi effettuati da diversi enti di ricerca.

L'ipotesi alla base degli indici di risparmio indicati in seguito, sta nel fatto che con l'applicazione di erogatori a basso flusso, si può ragionevolmente stimare la riduzione del volume d'acqua erogato e quindi dell'energia termica ad esso associato, conoscendo la prestazione dell'erogatore selezionato.

Questo risulta abbastanza veritiero in presenza di un sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria diretta ed istantanea, oppure in casi di presenza di un accumulo termico ben isolato termicamente. Le perdite di distribuzione con o senza rete di ricircolo, rimane un termine importante ma difficilmente rilevabile e quantificabile in un edificio esistente, in quanto non è possibile conoscere in dettaglio la lunghezza e le caratteristiche di isolamento termico dei tratti di tubo che caratterizzano questa rete.

Per tali motivi, gli indici percentuali di risparmio individuati devono essere applicati al consuntivo di spesa per la produzione di acqua calda sanitaria e non su un calcolo energetico di difficile implementazione che raffronti la situazione prima e dopo l'installazione di erogatori a basso flusso.

Tale consuntivo può essere ricavato direttamente dalle letture al contatore, nel caso ci sia una linea dedicata alla sola produzione di acqua calda sanitaria, oppure qualora siano installati sistemi di contabilizzazione del calore dedicati ai singoli canali d'uso.

Nei casi in cui il generatore di calore sia unico, con un servizio combinato di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, è ragionevole stimare la domanda di energia importata per la produzione di ACS attraverso le letture del contatore al di fuori dei periodi di riscaldamento dell'edificio. In tali periodi l'attivazione del generatore di calore, salvo casi eccezionali, è dedicata esclusivamente alla produzione di ACS [31].

Come indicato in [33] è possibile ottenere dei risparmi di acqua erogata dell'ordine del 20-25% utilizzando degli erogatori da 5 l/min per utenze quali lavabi e lavelli, in sostituzione di erogatori standard non riconosciuti come basso flusso con portate di erogazione standard di 7 l/min. Per quanto riguarda le docce l'utilizzo di erogatori a basso flusso da 6-8 l/min al posto di erogatori tradizionali da 10-11 l/min potrebbe generare un risparmio sullo specifico uso (docce) ricompreso in un intervallo del 20-35%.

I risparmi percentuali di acqua nel sopracitato studio [33], risultano confermati da un ulteriore riferimento da letteratura [34]. In una recente ricerca sviluppata ad Honk Kong [35] sono stati monitorati i risparmi di acqua e di energia termica ad essa associata con diversi erogatori di acqua per docce. Gli autori concludono sostenendo che, attraverso l'utilizzo di questi dispositivi, è possibile ottenere una riduzione del 37% del fabbisogno di acqua a cui consegue un risparmio energetico del 25%.

Alla luce delle evidenze emerse dalla consultazione della letteratura scientifica a disposizione, per lo scopo della presente procedura semplificata, è possibile definire una percentuale di risparmio di fabbisogno di acqua calda ed energia termica ad essa associata da utilizzare come riferimento per il generico edificio scolastico. In via del tutto prudenziale, un edificio scolastico in cui viene programmata la sostituzione di erogatori tradizionali con erogatori a basso flusso, potrebbe generare un risparmio rispetto alla situazione in essere del 25% rispetto ai volumi di acqua e del 20% rispetto all'energia termica ad essi associati per portarli alla temperatura di erogazione. Qualora, ulteriormente a tali interventi, è prevista la completa ristrutturazione del sistema impiantistico dedicato all'acqua calda sanitaria (sostituzione del generatore di calore, isolamento termico del sistema di distribuzione, ecc...), i valori target individuati potrebbero essere considerati come valori di minimo a vantaggio di tutto il processo di efficientamento dell'edificio.

Esistono diverse tipologie di erogatori a basso flusso. Essi si differenziano per principio di riduzione del flusso emesso, presenza o meno di regolatori di temperatura, temporizzatori, ecc...

In Tabella 2 è stata riportata un'analisi dei possibili risparmi di acqua erogata e di energia in funzione delle diverse tecnologie di erogazione. Le percentuali riportate confermano i valori di benchmark prudenziali definiti per gli scopi del presente studio.

Tabella 2: possibili risparmi ottenibili in termini di acqua erogata e risparmi energetici in funzione delle diverse tipologie di erogatori, comparate con erogatori tradizionali. [34]

Product	Water and energy saving
Conventional taps – domestic	0%
Taps with aerators and flow regulators only (improved performance)	20% - 24%
Taps with flow booster	20% - 29%
Two-stage cartridge taps	20% - 29%
Water meters	0% - 3%
Conventional taps – non-domestic	0%
Push tap	20% - 29%
Sensor tap	20% - 31%
Conventional showers – domestic	0%
Shower systems with thermostatic mixers	17% - 39%
Water-saving showers based on automatic valves, flow boosters, mechanical brakes	17% - 39%
Water-saving showers based on flow pattern design, aerators and flow regulators only	17% - 34%
Water meters	0% -3%

Note: i risparmi calcolati in termini di acqua erogata ed energia si basano sulle seguenti ipotesi:

IP1: 6.8 m³/anno di acqua erogata da un erogatore tradizionale a servizio di unità residenziali

IP2: 29.5 m³/anno di acqua erogata da un erogatore tradizionale a servizio di unità non residenziali

IP3: 21.1 m³/anno di acqua erogata da un erogatore tradizionale per doccia a servizio di unità non residenziali

La riduzione della domanda di energia termica necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria, attraverso l'impiego di erogatori a basso flusso, secondo quanto riportato dalla letteratura scientifica, comporterebbe ulteriori vantaggi in termini impiantistici: la riduzione degli accumuli termici e la riduzione della potenza termica impegnata dai generatori di calore che lavorano con un regime di produzione istantaneo.

Progettualmente è noto che per garantire una produzione istantanea di acqua calda sanitaria per una doccia con erogatore standard (11 litri/minuto), sia necessaria una potenza termica erogata dal generatore di almeno 20 kW termici. Nel caso in cui tale erogatore venisse sostituito con un dispositivo tipo EBF (ad esempio con una portata di acqua di 7 litri/minuto), la potenza richiesta al generatore per garantire la stessa temperatura di erogazione di ACS, a parità di comfort, scenderebbe a 10 – 12 kW. In Tabella 3 è stata riportata la portata di acqua calda sanitaria garantita, in produzione istantanea, al variare della potenza termica erogata dal generatore e dalla differenza di temperatura tra l'acqua di rete e la temperatura di setpoint da erogare di ACS.

Tabella 3: portata di acqua calda sanitaria garantita, in produzione istantanea, al variare della potenza termica erogata dal generatore e dalla differenza di temperatura tra l'acqua di rete e la temperatura di setpoint da erogare di ACS [34].

Potenza richiesta [kW]	Erogazione garantita con una differenza di temperatura tra acqua di rete e acqua calda erogata di 45°C [l/min]	Erogazione garantita con una differenza di temperatura tra acqua di rete e acqua calda erogata di 25°C [l/min]
1.5	0.5	0.9
2	0.6	1.1
3	1.0	1.7
4	1.3	2.3
6	1.9	3.4
8	2.6	4.6
10	3.2	5.7
12	3.8	6.9
16	5.1	9.2
18	5.7	10.3
21	6.7	12.1
24	7.7	13.8
27	8.6	15.5
30	9.6	17.2

2.2 *Analisi di sensitività rispetto ai valori di benchmark definiti per quantificare i risparmi energetici per servizio di acqua calda sanitaria.*

Nella scrittura di questo rapporto non è stato possibile disporre di dati di monitoraggio che permettessero di valutare la coerenza dei valori di benchmark presenti in letteratura, riferiti ai risparmi energetici nella produzione di acqua calda sanitaria, ottenibili a fronte dell'installazione di erogatori a basso flusso, in particolare se riferiti ad un profilo di utilizzo tipico di un edificio scolastico.

Per questo motivo è stato ritenuto opportuno implementare diversi modelli di simulazioni numeriche semplificati in regime dinamico. Come più volte ribadito, la domanda di energia importata per la produzione di acqua calda sanitaria è legata ad un bilancio di massa di acqua erogata spesso sconosciuto e difficilmente stimabile a priori. Nei modelli di simulazione dinamica che sono stati costruiti si è fatto riferimento ad un profilo di erogazione di acqua calda sanitaria per ciascun canale di consumo. Il primo canale ha riguardato la stima dei risparmi energetici in caso di sostituzione di erogatori tradizionali con erogatori a basso flusso per i servizi igienici (rubinetti). Questo canale si addice soprattutto ai gradi di istruzione delle scuole dell'infanzia e asili nido. Il secondo canale invece si è interessato alla creazione di un modello di calcolo semplificato tipico di uno spogliatoio al fine di poter valutare il potenziale di risparmio attraverso l'installazione di tecnologia EBF alle docce. Questo canale invece meglio rappresenta il consumo di ACS degli istituti e plessi scolastici che hanno la disponibilità di uno spazio dedicato alla motoria, che oltre all'uso prettamente didattico, viene reso disponibile per attività sportive al di fuori del percorso di formazione scolastico.

Nella preparazione dei modelli di simulazione è stato necessario definire dei profili di richiesta di ACS. Questo passaggio è stato necessario per poter valutare sistemi impiantistici dedicati al servizio di erogazione di ACS che

prevedano la presenza di accumuli termici. In questo modo è stato possibile considerare il comportamento dinamico di un accumulatore, in fase di ricarica e riscaldamento dell'acqua a fronte di una chiamata di erogazione, tenendo conto anche dei termini di dispersione dell'involucro del componente impiantistico nel mantenimento della temperatura di setpoint.

I profili di erogazione di acqua sono stati ipotizzati sulla base delle richieste caratteristiche dei due canali di consumo valutati. In merito alla simulazione del consumo di acqua calda sanitaria dei servizi igienici è stato caratterizzato un profilo che distribuisce ripetutamente nella mattinata una specifica richiesta di erogazione (erogazione prevista ogni 10 minuti con una durata dell'evento di erogazione assunta pari ad un minuto). Sono stati inclusi anche momenti di richiesta di acqua calda sanitaria prima dell'ingresso degli studenti nell'edificio per tener conto di eventuali attività preparatorie prima dell'inizio della didattica oppure associate ad attività di pulizia al termine della mattinata scolastica. Nelle ipotesi di calcolo non sono modellate richieste di erogazione di acqua calda sanitaria dopo le ore 14:00 e la domenica.

Relativamente al profilo di utilizzo delle docce degli spogliatoi a servizio delle palestre è stato simulato un profilo di consumo che prevede l'utilizzo contemporaneo di otto docce per 20 minuti, in due turni, ipotizzando che tali eventi si manifestino nel tardo pomeriggio, con una distanza temporale di due ore a partire dalle ore 17:00 (primo turno 17:00 – 17:20; secondo turno 19:00 – 19:20). Tale profilo di utilizzo viene ripetuto per tutti i giorni della settimana ad eccezione della domenica.

Nella creazione dei modelli di simulazione numerica sono state implementate diverse configurazioni impiantistiche con lo scopo di quantificare il potenziale di risparmio energetico al variare del generatore di calore e della tipologia di erogazione.

I generatori di calore valutati sono stati:

- resistenza elettrica;
- generatore a gas;
- pompa di calore aria-acqua.

Le tipologie di erogazione considerate sono state:

- erogazione con generatori istantanei;
- erogazione con sistemi di accumulo termico.

I due canali di consumo osservati (erogatori per servizi igienici ed erogatori per docce), hanno però requisiti ben distinti a cui devono rispondere e che devono soddisfare, sia in termini di portata, sia in termini di durata temporale di erogazione del servizio. Per questi motivi sono state modellate solo le configurazioni impiantistiche ritenute coerenti rispetto allo specifico uso, evitando di modellare architetture di impianto non tecnicamente fattibili o inopportune, che difficilmente trovano riscontro con la realtà impiantistica dello stato in essere e della buona pratica progettuale.

In Tabella 4 è riportata la descrizione delle configurazioni impiantistiche modellate.

Nelle simulazioni numeriche che sono state condotte in regime dinamico è stata valutata la sola sostituzione degli erogatori di flusso con tecnologia EBF. In particolare, sugli erogatori dei servizi igienici è stato simulato il risparmio energetico ottenibile per la produzione di acqua calda sanitaria passando da un erogatore standard con portata nominale di erogazione 7 litri/minuto ad un erogatore a portata ridotta di 5 litri/minuto. Parimenti valutazioni sono state effettuate prevedendo negli spogliatoi delle palestre la sostituzione di erogatori standard per docce da 11 litri/minuto ad erogatori con portata nominale pari a 7 litri/minuto.

In queste analisi non sono stati considerati gli effetti di possibili altri interventi possibili di efficientamento energetico da applicare all'architettura di impianto destinata alla produzione di acqua calda sanitaria (sostituzione del generatore con generatori più efficienti, sostituzione dei circolatori con circolatori a portata variabile o dotati di inverter, ristrutturazione del sistema di distribuzione, riduzione della taglia del generatore di calore, ecc...). Questa semplificazione è stata introdotta con lo scopo di poter confrontare i valori di benchmark di risparmio ricavati da letteratura, eliminando l'influenza di altre possibili strategie che avrebbero avuto sui risultati finali.

In tutte le simulazioni numeriche è stata ipotizzata una temperatura di ingresso da acquedotto al sistema impiantistico pari a 10°C ed una temperatura di erogazione pari a 40°C.

Il valore di risparmio energetico di benchmark ricavato dalla letteratura scientifica, che prudenzialmente in questo rapporto è stato quantificato in un 20%, risulta coerente con i risultati delle simulazioni numeriche condotte, di seguito riportate in Tabella 5.

I risultati mostrano come si possa ottenere una maggior percentuale di risparmio sui sistemi istantanei di produzione di acqua calda sanitaria, quando questi risultano a servizio degli erogatori dei servizi igienici. Questo risultato del tutto prevedibile è giustificato dal fatto che nei sistemi di generazione istantanea viene meno il termine di dispersione dovuta alla presenza di un accumulo termico, migliorando così l'efficienza del sistema impiantistico.

Il sistema di accumulo è consigliato nel caso in cui il sistema impiantistico sia a servizio di spogliatoi con docce. Tali utenze sono generalmente contraddistinte da importanti portate di erogazione, che spesso si configurano con una richiesta di picco, con il rischio di avere generatori istantanei sovradimensionati, in particolare nei casi in cui non sia presente un circuito primario e uno scambiatore di calore tra circuito primario e secondario.

Tabella 4: identificazione delle tipologie impiantistiche modellate

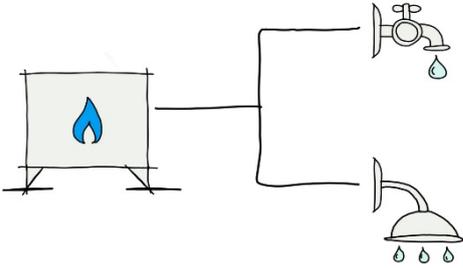
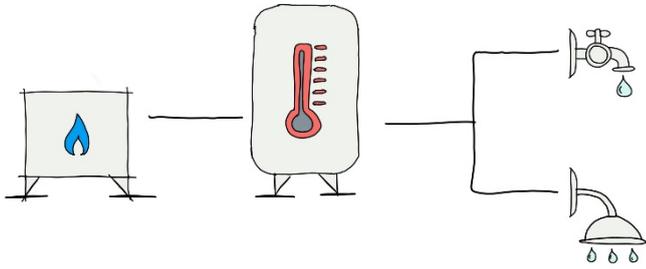
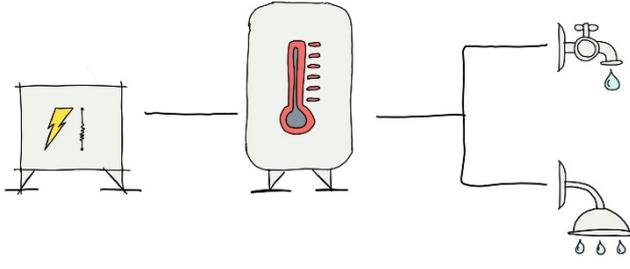
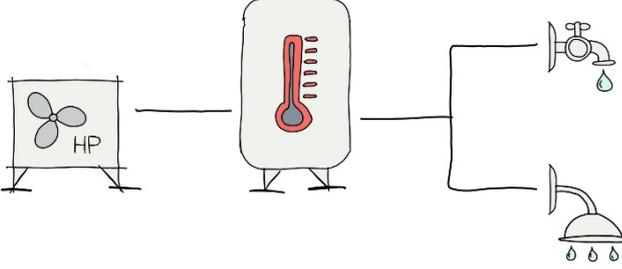
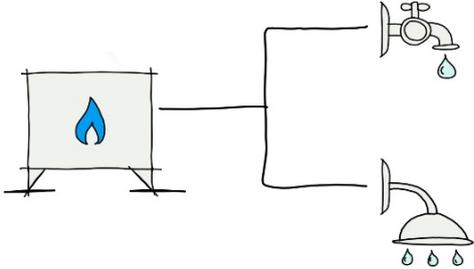
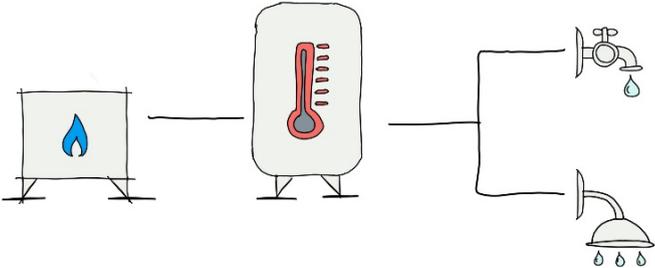
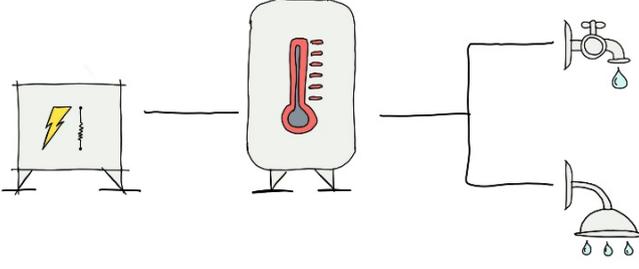
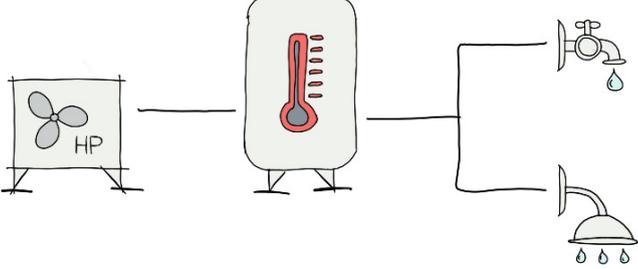
TIPOLOGIA DI GENERAZIONE E PRODUZIONE	SERVIZI IGIENICI (rubinetti)	SPOGLIATOI (Docce)
<p>Generazione istantanea a gas</p> 	<p>Nessuna richiesta specifica. Potenza del generatore 24 kWt.</p>	<p>Sistema impiantisco non coerente rispetto al servizio che deve garantire.</p>
<p>Generazione a gas con accumulo</p> 	<p>Accumulo termico centralizzato da 300 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2,5W/K. Potenza del generatore 24 kWt.</p>	<p>Accumulo termico centralizzato da 1500 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2,5W/K. Potenza del generatore 50 kWt.</p>
<p>Generazione con resistenza elettrica e accumulo</p> 	<p>Accumulo termico localizzato da 100 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2W/K. Potenza di generazione 2500 W.</p>	<p>Sistema impiantisco non coerente rispetto al servizio che deve garantire.</p>
<p>Generazione in pompa di calore con accumulo</p> 	<p>Accumulo termico localizzato da 280 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2W/K. Potenza di generazione 2400 W. COP 2,4. Integrazione con resistenza elettrica da 1500 W</p>	<p>Accumulo termico centralizzato da 1500 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2,5W/K. Potenza del generatore 50 kWt. COP 2,4. Integrazione con resistenza elettrica da 5000 W</p>

Tabella 5: percentuale di risparmio energetico per la produzione di acqua calda sanitaria raggiungibile con l'installazione di erogatori a basso flusso al variare della tipologia di utenza e dell'architettura impiantistica di generazione.

TIPOLOGIA DI GENERAZIONE E PRODUZIONE	SERVIZI IGIENICI (rubinetti)	SPOGLIATOI (Docce)
<p>Generazione istantanea a gas</p> 	28%	Sistema impiantistico non coerente rispetto al servizio che deve garantire.
<p>Generazione a gas con accumulo</p> 	26%	25%
<p>Generazione con resistenza elettrica e accumulo</p> 	18%	Sistema impiantistico non coerente rispetto al servizio che deve garantire.
<p>Generazione in pompa di calore con accumulo</p> 	13%	23%

2.3 *Carico elettrico di base consumato da un edificio scolastico, non legato alla richiesta di climatizzazione degli ambienti interni e individuazione di banche dati disponibili.*

Rispetto agli usi finali analizzati nei paragrafi precedenti, all'interno degli edifici scolastici, come in via più generale all'interno di qualsiasi destinazione d'uso di edificio, sono presenti dei canali di consumo che non vengono normalmente considerati nella valutazione della prestazione energetica dell'edificio. Tali canali sono riferiti a tutti gli assorbimenti elettrici necessari per il corretto funzionamento della funzione scolastica, quali PC, proiettori, lavagne elettroniche, oppure necessari a garantire un servizio legato alla conservazione e vendita di prodotti e bevande alimentari: macchine da caffè, vending machine.

La domanda di energia elettrica importata per il funzionamento di tali dispositivi spesso ricopre un capitolo di spesa non trascurabile all'interno del bilancio energetico ed economico della gestione del plesso scolastico. A puro titolo di esempio, è noto come le macchine dedicate alla conservazione e vendita di prodotti alimentari o bevande, le cosiddette "vending machine", non di ultima generazione, possano generare per ciascuna macchina una domanda di energia importata pari a quella di una unità immobiliare residenziale, ovvero circa 2000 – 2500 kWh/anno. Moltiplicando tale consumo medio stimato per il numero di vending machine presenti nell'edificio scolastico, è chiaro come la spesa energetica legata a tale servizio accessorio possa risultare importante.

Nell'ottica di avere edifici sempre più efficienti, riteniamo che anche questi capitoli di spesa non strettamente legati alla climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio o alla produzione di acqua calda sanitaria debbano rientrare in una strategia di efficientamento degli edifici scolastici. Ecco perché abbiamo sviluppato questo approfondimento tecnico come supporto alle amministrazioni pubbliche all'interno del loro processo decisionale.

Alla luce di suddette considerazioni, abbiamo ritenuto che ad oggi sia molto difficile stimare a priori, seppur in via semplificata, quale sia la domanda di energia elettrica importata per questi canali di consumo. Anche se avessimo a disposizione l'elenco di tutti i dispositivi elettrici presenti quali PC per usi amministrativi, PC per usi didattici, stampanti, proiettori, frigoriferi, distributori di alimenti e bevande, senza delle misure dirette sulle rispettive linee dedicate, risulta arduo quantificare a calcolo il loro consumo in kWh. Si pensi ad esempio che il numero e la tipologia ed il profilo di funzionamento di tali apparecchi varia di scuola in scuola, a seconda della tipologia e del grado, dell'orientamento e del calendario didattico.

Si ritiene che sia più utile e funzionale individuare degli indicatori che possano aiutare il gestore dell'edificio scolastico a riconoscere eccessivi consumi energetici legati al funzionamento standard del proprio istituto. In quest'ottica sono stati selezionati alcuni studi e alcune ricerche che permettano di definire dei benchmark di riferimento.

In un precedente studio ENEA [36] sono stati raccolti e analizzati i dati di consumo elettrico di 103 scuole italiane dislocate sul territorio nazionale in zone climatiche E ed F. Il campione analizzato risulta sufficientemente differenziato in termini di numero di alunni, numero di classi, occupazione giornaliera, prestazione termica dei componenti di involucro. Da tale studio, basato su raccolta dati e non su simulazioni o calcoli energetici, viene individuato un benchmark di riferimento di energia elettrica importata dalla rete pari a 15 kWh/(m²anno). Tale valore viene poi confrontato con un benchmark analogo stabilito per le scuole inglesi pari a 30 kWh/(m²anno).

È bene però evidenziare che gli indicatori individuati in [36] sono consumi ricavati dalle bollette energetiche o da misure effettuate al contatore. Questo significa che oltre alle apparecchiature elettriche discusse sopra, in questi indici parametrici sono ricompresi anche gli assorbimenti elettrici associati all'illuminazione e a tutte le componenti impiantistiche dell'impianto di riscaldamento che utilizzano il vettore elettrico (pompe di circolazione, ventilatori dei generatori di calore, ecc...). Dalla lettura di un altro studio simile sviluppato da ENEA in collaborazione con Ricerca Sistema Elettrico - RSE [37] è possibile individuare un benchmark medio di 20 kWh/(m²anno) di energia importata dalla rete. Come nello studio precedente [36] l'indicatore specifico individuato tiene conto di tutti gli usi finali che necessitano di una alimentazione elettrica per il loro funzionamento.

Rispetto alle considerazioni iniziali in premessa alla ricerca di questi indicatori, è importante sottolineare che i consumi elettrici legati all'uso di apparecchiature elettriche non legati ai servizi di climatizzazione, produzione di acqua calda sanitaria ed illuminazione sono solo una parte dei valori di benchmark ricavati dai due rapporti ENEA e RSE. In questo campo indeterminato riteniamo che possa essere di aiuto quanto riportato nello standard SIA 2024:2015 [38]. Questo Standard Svizzero si configura come riferimento per lo svolgimento dei calcoli energetici in fase di progettazione quando non è noto come i locali all'interno dell'edificio verranno utilizzati, come saranno

i profili di occupazione e di utilizzo degli apparecchi. Nello standard sono riportate indicazioni progettuali per 45 differenti tipologie di utilizzo degli ambienti, scuole incluse. Gli ambienti scolastici sono scorporati in più tipologie di destinazione d'uso dei locali: locale d'insegnamento, sala docenti, biblioteca, auditorio, aule speciali (laboratori di fisica, chimica e cucina). Per ognuno di essi lo standard definisce il fabbisogno elettrico annuale per il funzionamento degli apparecchi non legati alla climatizzazione degli ambienti, alla ventilazione, alla produzione di acqua calda sanitaria e all'illuminazione.

Per gli edifici a destinazione scolastica, dalla norma SIA 2024:2015 è quindi possibile estrapolare un indicatore di riferimento nella valutazione del fabbisogno elettrico annuale per il funzionamento degli apparecchi. Tale valore corrisponde a 7 kWh/(m²anno).

A valle dell'analisi della letteratura esistente sull'argomento si delineano due possibilità di controllo da parte del gestore dell'edificio scolastico.

La prima è quella di analizzare i dati di bollettazione o le letture al contatore della domanda di energia elettrica importata dall'edificio quando non sono presenti pompe di calore elettriche ed impianti di trattamento dell'aria primaria. Nel caso in cui venga riscontrato che i consumi elettrici siano risultati superiori ad un valore cautelativo di benchmark di 25 kWh/(m²anno), sarebbe opportuno interpretare tale superamento di soglia come una indicazione che all'interno dell'istituto scolastico sono presenti situazioni di inefficienza non sostenibili, che meritano indagini diagnostiche più mirate. Questo permetterebbe di individuarne la causa e progettare quanto prima degli interventi correttivi.

La seconda, qualora sia possibile intercettare il quadro elettrico legato ai soli circuiti di presa da forza motrice e quindi registrare ed analizzare i dati di consumo annuali legati a quella/e linea/e dedicata/e, il valore di benchmark di "allarme" scende a 7 kWh/m²anno. Nel caso in cui, a fronte di questi controlli semplificati, si manifestassero superamenti importanti dei valori soglia individuati è necessario approfondirne le cause.

Coerentemente con lo scopo di tale paragrafo, si consiglia di procedere con un inventario di tutte le apparecchiature installate (PC, stampanti, vending machine, ecc...), verificarne l'eventuale obsolescenza e procedere con una progressiva campagna di sostituzione.

Alcuni studi riportano che la sostituzione di vecchie stampanti, macchine per erogazione del caffè, distributori automatici di bevande e alimenti possano generare dei risparmi di energia per il loro funzionamento nell'ordine del 25% - 30% [39] [40] [41]. A titolo di esempio si intuisce come, ipotizzando la sostituzione dei distributori standard, non di ultima generazione, con un consumo a distributore di circa 2000-2500 kWh/anno, con macchine più efficienti, moltiplicato per il numero di distributori presenti nella scuola, si possano generare degli interessanti risparmi energetici ed economici. Ragionamenti analoghi sono facilmente affrontabili per tutti i dispositivi elettrici in dotazione alla scuola quali ad esempio PC e stampanti.

Qualora, a fronte di evidenti extra-consumi dovuti all'obsolescenza dei dispositivi elettronici in dotazione alla scuola, si decidesse di procedere alla loro sostituzione, è altresì importante che chi ha la responsabilità di scegliere ed acquistare le nuove apparecchiature più efficienti, sia in grado di orientarsi agevolmente rispetto all'offerta presente sul mercato. Riteniamo quindi utile suggerire la consultazione di database liberamente disponibili in rete, per permettere all'operatore di procedere alla scelta dei nuovi prodotti sulla base di criteri di efficienza.

Il portale di riferimento individuato di supporto al decisore finale è TopTen: <http://www.topten.ch>

Topten mette a confronto diversi dispositivi elettrici ed elettronici, suddivisi per categoria. I criteri generali di selezione dei prodotti che vengono resi disponibili online sono: elevata efficienza energetica, basso inquinamento ambientale, garanzia di qualità del prodotto. La selezione dei prodotti avviene esaminando le dichiarazioni di prodotto fornite dagli stessi produttori rispetto ai più recenti rapporti e standard di mercato. Quando necessario, prima che un articolo venga inserito in questo database di prodotti efficienti, vengono richieste ai produttori informazioni aggiuntive rispetto al prodotto specifico e segnalati eventuali incongruenze nei valori dichiarati, richiedendone la correzione immediata. Tale processo di controllo e verifica è una forma di garanzia sull'affidabilità dei valori pubblicati e dichiarati per ciascun prodotto. Il portale Topten, per ogni categoria di prodotto, individua dei criteri di selezione e fornisce dei consigli per l'acquisto che possono essere di supporto al gestore dell'edificio per confezionare una gara d'appalto per la fornitura di beni che tenga anche in considerazione i criteri di efficienza energetica, basso inquinamento ambientale, qualità del prodotto messo a bando di gara. Le categorie di prodotto

raccolte nel portale Topten sono svariate. Si citano a titolo di esempio le seguenti categorie: distributori automatici di bevande e alimenti, tubi LED, corpi illuminati, stampanti, monitor PC, notebook, pompe di circolazione, pompe di calore reversibili mono/multisplit, ecc...

Si rimanda al portale per la descrizione dei dettagli ed una visualizzazione della struttura del portale stesso.

Solo per quanto riguarda la selezione di corpi illuminanti in sostituzione di quelli esistenti è possibile far riferimento ad alti criteri di selezione. Come rimarcato nel paragrafo 3.3.5 del rapporto di cui in [1], l'illuminazione artificiale di un edificio scolastico si configura come un canale di consumo sempre più importante all'interno del bilancio energetico dell'edificio. Ancor di più in quegli interventi di riqualificazione energetica realizzati con il solo scopo di ridurre esclusivamente la domanda di energia importata per il riscaldamento dell'edificio.

Prevedere la sostituzione completa dei corpi illuminanti di un edificio scolastico non è quasi mai una operazione banale. Basti pensare al numero di apparecchi che normalmente troviamo installati nelle aule didattiche e nelle connessioni orizzontali e verticali dell'edificio.

Per tali motivi è importante orientarsi molto bene in un mercato in continua evoluzione, dove l'offerta di prodotti può apparire spesso dispersiva e poco funzionale.

In questo processo di selezione risulta strategico supportare i processi di appalto dell'illuminazione LED. Per tale motivo viene proposta una traccia dei criteri di acquisto per l'illuminazione di spazi interni attraverso la tecnologia LED, ricavati dal progetto di ricerca Premium Light Pro [42] [par. 3.3.1].

Ulteriormente, per la scelta dei nuovi corpi illuminanti, è stato selezionato come riferimento, oltre al sopraccitato portale topten, un altro database disponibile in rete. Il portale è consultabile al seguente indirizzo web: <http://www.lumsearch.com>.

Questo portale web risulta al momento un affidabile riferimento a livello europeo in quanto viene aggiornato di continuo ed è liberamente consultabile. Il database è organizzato in modo da permettere la selezione di prodotti presenti sul mercato per tipologia di installazione (interno/esterno, a soffitto, a parete, a incasso, sospesa, ecc...) e per tipologia di fascio luminoso emesso.

2.3.1 Criteri di acquisto per l'illuminazione d'interni a LED.

Nel presente paragrafo è proposta la struttura di una possibile griglia di valutazione per un documento di gara per l'acquisto di nuovi corpi illuminanti a LED. Nella struttura sono stati selezionati diversi criteri di qualità e di efficienza a supporto delle amministrazioni pubbliche/scolastiche per un acquisto più consapevole dei corpi illuminanti, sia in caso di sostituzione su edifici esistenti, sia in caso di nuova costruzione.

Critero	Requisito	Requisito obbligatorio	Critero premiale	
Efficienza energetica				
Potenza e consumo energetico	Illuminamento richiesto secondo EN 12464-1-1 (lx)	W/m ²	X	X
	20	0,5		
	50	1		
	100	2		
	200	4		
	300	6		
	500	10		
	1000	20		
	1500	30		
	2000	40		
Efficienza delle fonti luminose	<p>≥ 120 lm/W per sorgenti luminose a LED non direzionali con emissione ≥ 100 lm.</p> <p>≥ 100 lm/W per sorgenti luminose a LED direzionali con emissione ≥ 100 lm.</p> <p>≥ 150 lm/W per sorgenti luminose a LED lineari di lunghezza nominale compresa tra 550 mm e 1500 mm.</p> <p>≥ 120 lm/W per piccoli sistemi di illuminazione a LED integrati (compreso il driver esterno) con emissione compresa tra 100 lm e 2500 lm.</p> <p>≥ 135 lm/W per grandi sistemi di illuminazione a LED integrati (compreso il driver esterno) che emettono tra 2500 lm e 50.000 lm.</p>	X		
Consumi di standby	<p>Informazioni sull'entità dei consumi (W) di tutti i tipi di standby presenti. Valore massimo di potenza per standby pari a 0,5 W, con un valore raccomandato di 0,3 W.</p> <p>Informazioni sulla presenza di alimentazione elettrica per tutti i componenti del driver in modalità standby e come questa influenzi la durata della vita utile del driver.</p> <p>Informazioni sull'interoperabilità (utilizzo di protocolli di comunicazione aperti).</p>	X		
Controlli di illuminazione	<p>L'autorità appaltante informi l'installatore in merito alle modalità di occupazione e utilizzo degli spazi in oggetto, oltre a particolari requisiti relativi ai controlli di illuminazione, compresi i problemi legati alla sicurezza. Nel contratto siano incluse clausole prestazionali che specifichino che tutti i controlli di illuminazione devono funzionare correttamente. Siano fornite linee guida per gli occupanti, per assicurarsi che gli stessi utilizzino in maniera appropriata i sistemi di controllo dell'illuminazione. Il personale addetto alla manutenzione sia formato anche in merito all'adeguamento del sistema di illuminazione in caso di variazioni d'uso degli spazi.</p>	X		

Critero	Requisito	Requisito obbligatorio	Critero premiale
Qualità e progettazione dell'illuminazione			
Livello di illuminamento	EN 12464-1:2011	X	
Uso della luce naturale, distribuzione dell'illuminazione, uniformità, contrasto	Dovrebbe essere indicato e descritto nell'offerta.	X	
Temperatura di colore, tolleranza e mantenimento	CCT Nominale (K)	Punto centrale del cerchio	
		CCT (K)	Duv
	2200	2238	0
	2500	2460	0
	2700	2725	0
	3000	3045	0,0001
	3500	3465	0,0005
	4000	3985	0,001
	4500	4503	0,0015
	5000	5029	0,002
	5700	5667	0,0025
6500	6532	0,0031	
	Raggio del cerchio		0,0044 nel diagramma (u', v')
	<p>La raccomandazione di PremiumLight-Pro è di selezionare uno dei CCT nominali presentati in tabella, coerentemente con il quadrato cromatico e le tolleranze di Duv.</p> <p>La raccomandazione riguardante il mantenimento del colore è di richiedere che lo scostamento nelle coordinate cromatiche dopo 6000 ore di funzionamento si mantenga al di sotto di un valore massimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta u', v' (6000 \text{ ore}) \leq 0,004$. <p>Rispetto al metodo per passi successivi di MacAdam, i requisiti ANSI di cui sopra sono preferibili, dato che i requisiti sono specificati per tutti i CCT nominali e i punti centrali sono specificati.</p>		
	<p>Tuttavia, se si volesse applicare comunque il metodo di MacAdam, le raccomandazioni sono le seguenti:</p> <p>Requisiti relativi alla tolleranza di colore dei LED: ≤ 5 SDCM come criterio minimo generale. ≤ 3 SDCM per attività che comportano compito visivo.</p> <p>Requisiti relativi alla mantenimento del colore dei LED dopo 6000 ore: ≤ 7 SDCM come criterio minimo in generale. ≤ 5 SDCM per attività che comportano compito visivo.</p>		
Resa di colore	CRI ≥ 80 e R9 > 0 come criterio minimo generale	X	X
	CRI ≥ 90 e R9 > 0 per lavori che comportano un'alta priorità del compito visivo, come ad esempio le aree cliniche negli ospedali e negli altri tipi di assistenza sanitaria, i musei, i teatri, i lavori con attività di ispezione/controllo/selezione dei colori e alcuni tipi di negozi come ad esempio quelli di abbigliamento.		

Critero	Requisito	Requisito obbligatorio	Critero premiale		
Vita utile	I requisiti di PremiumLight-Pro relativi ai valori minimi di vita utile nominale sono riferiti a F80B50, che è un po' più alto del livello 2, e ad un fattore di manutenzione del flusso luminoso della lampada a 6000 ore:	X	X		
	Lampada/ apparecchio di illuminazione			Vita utile nominale minima L80B50	Manutenzione del flusso luminoso, 6000 ore
	Lampade a LED direzionali e non direzionali			20.000	≥ 93,5 % del flusso iniziale
	Tubi lineari a LED			35.000	≥ 96,2 % del flusso iniziale
	Piccoli apparecchi di illuminazione a LED integrati (< 2500 lm)			40.000	≥ 96,7 % del flusso iniziale
	Grandi apparecchi di illuminazione a LED integrati (2500 – 50.000 lm)			50.000	≥ 97,4 % del flusso iniziale
	La raccomandazione [1] riguardante un tasso di guasto prematuro prevede di richiedere un massimo di 5% di guasti prematuri a 6.000 ore. Si raccomanda inoltre di richiedere la documentazione riguardante i rapporti delle prove effettuate del produttore (incluse le estrapolazioni per raggiungere la vita utile nominale).				
Temperatura ambiente e tipo di driver	A seconda dell'applicazione, la raccomandazione di PremiumLight-Pro è di garantire che gli apparecchi abbiano un valore di temperatura ambiente $t_a = 30\text{ }^\circ\text{C}$, dato che questa può essere la temperatura dell'ambiente in estate, con aria ferma intorno al soffitto. In merito alla longevità dei sistemi di illuminazione a LED, si raccomanda di richiedere l'inclusione di controlli che assicurino che la temperatura di funzionamento rimanga al di sotto del valore limite t_a . Se il driver è sostituibile, per la manutenzione si raccomanda di verificare se il driver è di tipo SELV (Safety Extra Low Voltage) o NON-SELV.				

Critério	Requisito	Requisito obbligatorio	Critério premiale	
Fattore di potenza e distorsione armonica	Lampade non direzionali e direzionali: < 25 W: ≥ 25 W: Tubi a LED lineari (lampade con self-ballast): Piccoli e grandi apparecchi di illuminazione integrati a LED: PF > 0,90 Per quanto riguarda la distorsione armonica, per prodotti con potenza > 25 W si raccomanda di applicare i requisiti validi per gli apparecchi di classe C nello standard IEC 61000-3-2, mostrati in tabella. PF > 0,50 PF > 0,90 PF > 0,90	X		
	Ordine di armonica (n)			Massima corrente armonica possibile espressa in percentuale sulla corrente di ingresso alla frequenza fondamentale (%)
	2			2
	3			30 – CPF (CPF è il fattore di potenza del circuito)
	5			10
	7			7
	9			5
	10 ≤ n ≤ 39 (solo armoniche dispari)			3
Sfarfallio	Sulla base delle indicazioni del nuovo imminente regolamento UE, la raccomandazione di PremiumLight-Pro è di richiedere: Misurazione dello sfarfallio a breve termine per lo sfarfallio visibile PstLM ≤ 1,0. Misura di visibilità stroboscopica SVM < 0,4. In merito al dimmeraggio, si raccomanda di richiedere che non avvenga nessuno sfarfallio in tutti i livelli importanti di dimmeraggio (ad esempio 50% e 25%).	X		
Abbagliamento e sicurezza fotobiologica	1 In merito all’abbagliamento diretto [EN 12464-1]: Indicazione dell’angolo di schermatura minimo in tutte le direzioni, a seconda della luminanza della lampada. Indicazione del valore di abbagliamento di discomfort secondo l’UGRL. 2 In merito all’abbagliamento da luminanza ad alto angolo: Quando l’angolo gamma (γ) è maggiore di 60°, la luminanza della fonte luminosa non deve superare il valore di 10.000 cd/m2. 3 In merito alla sicurezza fotobiologica, per evitare danni alla vista provocati da un’intensa esposizione alla radiazione luminosa di colore blu (rischio da luce blu): • Le lampade e gli apparecchi di illuminazione a LED siano di classe RG0 o RG1 [cfr. standard IEC 62471/CIE S009].			

Critero	Requisito	Requisito obbligatorio	Critero premiale
Compatibilità del dimmer e del trasformatore	Riguardo alla compatibilità dei dimmer, si raccomanda che il fornitore: Fornisca il riferimento di una pagina web che riporti l'elenco dei dimmer compatibili. Per ogni dimmer compatibile, elenchi l'intervallo di livelli di flusso luminoso che un determinato accoppiamento dimmer-apparecchio di illuminazione può raggiungere. In merito al funzionamento del dimmer si raccomanda di richiedere che: Si garantisca un dimmeraggio graduale in affievolimento fino al 30% del flusso luminoso totale, senza che si creino sfarfallamenti visibili e ronzii udibili. Quando il dimmer è impostato al 100%, il valore di emissione luminosa dovrebbe essere pari al 90% di quello in assenza di dimmer.	V	
Manutenzione	PremiumLight-Pro raccomanda di richiedere: Fattore di manutenzione della lampada (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF). Fattore di manutenzione dell'apparecchio di illuminazione (Luminaire Maintenance Factor, LMF). Fattore di manutenzione (Maintenance Factor, MF). Il piano di manutenzione dovrebbe essere fornito con l'indicazione di specifici intervalli per la manutenzione e la pulizia. Si raccomanda inoltre di considerare i seguenti requisiti: Apparecchi di illuminazione con controllo di flusso luminoso costante per alcuni impieghi. Apparecchi di illuminazione a LED con chiusura stagna per impieghi in ambienti particolarmente sporchi.	V	
Criteri di costo			
Life Cycle costs	PremiumLight-Pro raccomanda di richiedere che: • Le diverse alternative dei sistemi tra sistemi di illuminazione siano confrontate mediante calcoli di LCC secondo il metodo LCC specificato dal fornitore.	V	V
Costi di investimento	Da fornire solo in caso sia impossibile calcolare il life cycle cost.	V	
Installazione, funzionamento, riparazione e riciclo			
Esperienza e obblighi dell'appaltatore	L'appaltatore deve assicurarsi dei seguenti aspetti: Installazione Il sistema di illuminazione sia installato esattamente come specificato/richiesto. Consegna del calendario dell'installazione del sistema di illuminazione con allegate le fatture dei produttori o le bolle di consegna. Fornitura di informazioni in modo tale che gli occupanti sappiano come controllare l'illuminazione e gli addetti alla manutenzione possano fare aggiustamenti se necessario (ad esempio se la distribuzione interna delle stanze dovesse cambiare).	V	V
Esperienza e obblighi dell'appaltatore	Funzionalità I sistemi di illuminazione nuovi o riqualificati stiano lavorando correttamente e non stiano consumando più energia di quanto specificato. I controlli legati alla luce naturale dovrebbero essere calibrati, per assicurarsi che spengano la luce quando la luce naturale è sufficiente. I sensori di occupazione dovrebbero essere verificati per assicurarsi che rilevino gli oggetti in movimento. I controlli temporizzati (fisici e/o software) dovrebbero essere settati su impostazioni di spegnimento appropriate. Se, in seguito al processo di commissioning, parti del sistema di illuminazione sembrano non soddisfare tutte le specifiche e i requisiti, l'appaltatore è tenuto ad aggiustare/ricallibrare il sistema. Formazione Il contratto dovrebbe preferibilmente prevedere la formazione degli utenti, con particolare attenzione su funzionamento, controlli di illuminazione e manutenzione	V	V

Installazione, funzionamento, riparazione e riciclo			
<p>Esperienza e obblighi dell'appaltatore</p>	<p>Valutazione delle prestazioni</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il contratto dovrebbe preferibilmente prevedere l'installazione di un sistema di monitoraggio per l'identificazione dei guasti e per assicurarsi che i consumi energetici siano conformi a quanto specificato. <p>Disponibilità dei prodotti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si raccomanda di richiedere che i produttori di tutti i sistemi LED acquistati garantiscano la disponibilità per un determinato periodo di tempo. 	<p>V</p>	<p>V</p>
	<p>Sostanze potenzialmente pericolose</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si raccomanda di richiedere che i produttori non utilizzino sostanze potenzialmente pericolose nei propri prodotti. L'Agenzia Chimica Europea lavora di concerto con la Commissione Europea e con gli stati membri della UE per garantire la sicurezza della salute umana e dell'ambiente, identificando le necessità per la gestione regolatoria del rischio a livello europeo, comprendendo le norme REACH. A questo proposito, ad esempio, l'Agenzia danese per la Salvaguardia dell'Ambiente (EPA) ha prodotto una "Lista di sostanze indesiderate" (LOUS) che include 40 sostanze. La lista LOUS è rivolta al mercato danese e funge da segnale e linea guida in merito alle sostanze che il mercato dovrebbe impiegare in misura minore o dismettere completamente nel lungo periodo. Alcuni Comuni danesi richiedono nei propri criteri d'appalto che nessuna sostanza presente nella lista LOUS sia impiegata nei prodotti inclusi nella gara d'appalto <p>Gestione dei rifiuti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante l'installazione di sistemi di illuminazione nuovi o riqualificati, i rifiuti vanno ridotti al minimo e tutte le parti vanno separate e raccolte in conformità alla Direttiva WEEE. Ad esempio, alcuni Comuni danesi richiedono che tutte le parti in plastica e in metallo dei prodotti siano etichettate, in modo da poter essere riciclate. 		

Criterio premiale	Peso [%]
Costo	
Life Cycle Cost	30
Efficienza energetica	
Potenza e consumo energetico	20
Qualità e progettazione dell'illuminazione	
Resa di colore	10
Vita utile	15
Controllo di illuminazione (a seconda dell'entità delle caratteristiche aggiuntive di controllo incluse)	5
Installazione, funzionamento, manutenzione, riparazione, riciclo	
Formazione dell'appaltatore (presente o non presente)	10
Garanzia e disponibilità di pezzi di ricambio	10
Totale	100

3 Conclusioni

Tale rapporto è stato costruito come completamento della metodologia di calcolo delineata in [1]. Nello sviluppo del lavoro di ricerca si è voluto ulteriormente definire dei riferimenti utili per tutto il processo decisionale relativamente a possibili criteri di acquisto e selezione di prodotti efficienti. Questo perché abbiamo ritenuto che la buona riuscita di un intervento di efficienza non si debba limitare solamente a dei calcoli energetici.

In generale le metodologie proposte all'interno di standard nazionali ed internazionali non si basano su benchmark reali. Questo risulta essere un problema nel momento in cui si voglia analizzare un edificio rispetto alle reali condizioni d'uso e di esercizio e non, come spesso accade, attraverso una procedura di calcolo standardizzata, con tutte le sue limitazioni e approssimazioni. Per questo motivo, consapevoli dell'imprecisione dei modelli di calcolo si è preferito quantificare i possibili risparmi raggiungibili con i diversi interventi di efficienza in termini percentuali, rispetto ad uno stato di fatto di riferimento, evitando così di quantificare risparmi energetici assoluti (in kWh), non coerenti o perfino superiori ai consumi monitorati dell'edificio scolastico oggetto di valutazione.

Consapevoli delle limitazioni della procedura semplificata proposta e alla luce della carenza di benchmark di riferimento nella valutazione della prestazione edificio-impianto di edifici scolastici, nella annualità successiva verrà predisposto un documento operativo che possa permettere la traduzione della metodologia in una applicazione digitale da parte di un operatore terzo. Una volta che l'applicazione digitale sarà messa a disposizione, sarà auspicabile prevedere una sua versione provvisoria (beta-test), in modo da permettere l'avvio della fase di test, prima della sua ufficiale diffusione.

4 Riferimenti bibliografici

1. R. Armani, L.Pagliano, M.Pietrobon, S. Erba, *“Criteri di normalizzazione dei KPI di riferimento e di stime di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per edifici scolastici esistenti”*, Report ENEA 2018.
2. UNI/TS 11300-1, *“Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”*.
3. 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”*.
4. UNI EN ISO 13790, *“Prestazione energetica degli edifici: Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”*.
5. UNI EN 15193, *“Prestazione energetica degli edifici Requisiti energetici per illuminazione”*.
6. Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia e successive modifiche ed integrazioni.
7. Decreto interministeriale 26 giugno 2015, *“Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”* e relative allegati.
8. M.A. Piette, L.W. Wall, B.L. Gardien, *“Measured Performance”*, ASHRAE J. (January 1986), 72-78.
9. D. Marchio, A. Rabl, *“Energy-Efficient Gas-Heated Housing in France: Predicted and Observed Performance”*, Energy and Building, 17 (1991), 131-139.
10. S.P. Corgnati, F. Ariaudo, L. Rollino, *“definizione di un indice semplificato per la previsione dei consumi per il riscaldamento di un patrimonio edilizio esistente a destinazione d'uso prevalentemente scolastica”*, III Congresso Nazionale AIGE Parma (2009).
11. F. Ariaudo, S.P. Corgnati, M. Filippi, *“Heating consumption assessment and forecast of existing buildings: investigation on Italian school building”*, Proceedings of the 5th IBPC, Kyoto (2012), 929-936.
12. A. Capazzoli, D. Grassi, F. Causone, *“Estimation models of heating energy consumption in schools for local authorities planning”*, Energy and Buildings 105 (2015), 302-313.
13. Z. Yu, F. Haghighat, B.C.M. Fung, H. Yoshino, *“A decision tree method for building energy demand modeling”*, Energy and Buildings 42 (2010), 1637-1646.
14. L. Magnier F. Haghighat, *“Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network”*, 45 (2010), 739-746.
15. J.F. Kreider, P.S. Curtiss, A. Rabl, *“Heating and Cooling of Building”*, Mc Graw Hill Editore, 2002.
16. E-TOOL Handbook, user's manual for energy rating of existing building, IEE Project. www.e-tool.org.
17. UNI EN ISO 15927-6, *“Hygrothermal performance of building – Calculation and presentation of climatic data – part 6: Accumulated temperature difference (degree-days)”*.
18. Decreto Ministeriale 10 marzo 1977, *“Determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici globali di dispersione termica”*.
19. Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993, *“Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10.”*
20. J.D.N. Nisson, G. Dutt, *“the Superinsulated Home Book”*, Wiley, New York (1985).
21. D.G. Erbs, S.A. Klein, W.A. Beckman, *“Estimation of Degree-Days and Ambient Temperature Bin Data from Monthly-Average Temperature”*, Ashrae J., June (1983), 60-65.
22. V. Martinaitis, *“Analytic calculation of degree-days for the regulated heating season”*, Energy and building, 28 (1998), 185-189.

23. R. Armani, L. Pagliano, M. Pietrobon, S. Erba, "Definizione di indicatori prestazionali energetico-ambientali per la caratterizzazione degli edifici scolastici", Enea, Par2016.
24. M. Zinzi, A. Mangione, G. Fasano, "Studio preliminare per la definizione di una metodologia di calcolo per la determinazione del fabbisogno per illuminazione artificiale degli edifici.", Enea, Par2013.
25. P. Waide, S. Tanishima, "Light's labour's lost: policies for energy efficient lighting", OECD/IEA (2006), Paris.
26. W. Pohl, M. Werner, "Lighting, comfort and energy and evaluation of the recommendations of EN 15251", Intell Energy Eur (2010).
27. F. Linhart, JL. Scartezini, "Evening office lighting – visula comfort vs. energy efficiency vs. performance?", Build Environ, 46(5) (2011), 981-989.
28. DHW. Li, KL Cheung, SL Wong, TNT Lam, "An analysis of energy-efficient light fitting and lighting controls", Appl Energy, 87(2) (2010), 558-567.
29. SIA 387/4:2017, "Elettricità negli edifici – Illuminazione: calcolo e requisiti".
30. Ashrae's guideline 14-2002 for measurement of energy and demand savings: how to determine what was really saved by the retrofit.
31. L. Blaso, A. Brutti, P. Clemente, S. Fumagalli, N. Gessa, S. Giovinazzi, G. Giuliani, N. Gozo, F. Moretti, M. Pollino, S. Pizzuti, V. Rosato, M. Zinzi, "Piattaforma PELL: avvio all'uso sperimentale del PELL IP e progettazione del PELL Edifici Scuole", Report RdS/PTR2019.
32. UNI 10349-1:2016, "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata".
33. M. Cordella, E. Garbarino, M. Calero, F. Mathieux, O. Wolf, "MEErP Preparatory Study on Taps and Showers – Final Report, Joint Research Centre JRC, 2014.
34. R. Kaps, O. Wolf, "Development of European Ecolabel and Green Public Procurement. Criteria for Sanitary tapware – Taps and Showerheads", Joint Research Centre JRC, 2014.
35. L. Wong, K.Mui, Y. Zhou, "Impact Evaluation of Low Flow Showerheads for Hong Kong Residents", Water, 2016.
36. S.P. Corgnati, E. Fabrizio, F. Ariaudo, L. Rollino, "Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici) applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani", Report RSE/2010/190.
37. F. Bianchi, M. Altomonte, M.E. Cannata, G. Fasano, "Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici adibiti a scuole – consumi energetici delle scuole primarie e secondari", Report RSE/2009/119.
38. SIA 2024:2015, "Dati d'utilizzo di locali per l'energia e l'impiantistica degli edifici", Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti.
39. I. Rothwell, E. Bush, "Preliminary study on tertiary hot beverage equipment. Standards, energy consumption and effective measures for exploiting saving potential", Report 31 July 2017, Federal Department of the Environment, Traffic, Energy and Communications DETEC.
40. E. Geilinger, E. Bush, "Preliminary study on refrigerated vending machines and water dispensers. Standard, saving potential, recommendations", Report August 2016, Federal Department of the Environment, Traffic, Energy and Communications DETEC.
41. ProCold Project, "Periodical Technical Report - Part B", 2018, Project Number 649293.
42. Premium Light Pro Project, *H2020-EE-2014-2015/H2020-EE-2015-3-MarketUptake Grant Agreement number 695931 PremiumLight-Pro.*

5 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

eERG è il Gruppo di ricerca sull'efficienza negli usi finali dell'energia, attivo dal 1996 presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano. L'approccio interdisciplinare di eERG connette ricerca in nuove tecnologie e in fisica degli edifici, analisi economica e delle politiche energetiche, audit e progettazione d'interventi, e comprende: ricerca scientifica e tecnologica svolta in partnership con gruppi accademici e agenzie europee e statunitensi; trasferimento dei risultati verso l'applicazione, attraverso cooperazione con l'industria, istituzioni italiane ed europee, enti locali; didattica universitaria e post-universitaria e attività di formazione e divulgazione.

eERG è stata ed è attualmente impegnata in attività di ricerca sui edifici Passive House e nearly Zero Energy, partecipando a diversi progetti di ricerca europei e internazionali, occupandosi di monitoraggio di edifici a energia zero, supporto all'ottimizzazione dei controlli per impianti ed edifici, simulazione energetica dinamica, supporto alla progettazione, applicazione di tecniche di ottimizzazione per la progettazione.

Il gruppo, grazie alla sua dotazione strumentale, è in grado di effettuare lo studio e l'analisi delle condizioni di benessere degli ambienti confinati (benessere igro-termico, benessere visivo, qualità dell'aria ed efficienza dei sistemi di ventilazione meccanica incluso la rilevazione di inquinanti come TVOC, formaldeide, CO₂, SO₂, NO₂, O₃, particolati).

Per maggiori informazioni si invita a consultare il sito internet del gruppo all'indirizzo: www.eerg.it.

Il direttore di eERG, **Lorenzo Pagliano**, laureato in Fisica *cum laude*, Dottore di Ricerca in Energetica, è stato Visiting Researcher presso il Lawrence Berkeley Laboratory (California, USA). Sue aree di ricerca sono gli edifici a bassa energia, il comfort termico e l'analisi delle politiche energetiche. Tiene il corso di Fisica dell'Edificio presso la facoltà di Ingegneria Edile e Architettura è Direttore del Master RIDEF, è membro del Comitato editoriale della rivista Energy Efficiency (Springer) e Advances in Building Energy Research, è membro del Consiglio Direttivo dello European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE).

Roberto Armani, laureato in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Milano nel 2007. Da sempre svolge l'attività della libera professione specializzandosi in efficienza energetica degli edifici, in acustica ambientale ed architettonica. Dal 2009 collabora con il gruppo di ricerca eERG diretto dal Professor Lorenzo Pagliano lavorando su progetti europei, occupandosi di misure di comfort degli ambienti interni, di simulazione energetica in regime dinamico degli edifici e di cost optimal design negli interventi edilizi (nuovi o ristrutturati).

Silvia Erba, PhD in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, svolge attività di ricerca presso il Politecnico di Milano dal 2012, prima collaborando con il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito e dal 2015 con il gruppo di ricerca eERG presso il Dipartimento di Energia. Le aree di ricerca sono edifici a energia quasi zero, studio del comportamento termofisico di edifici storici e di nuova costruzione, comfort termico e simulazioni energetiche in regime dinamico. Esperienze nel campo della diagnostica e delle indagini non distruttive, in particolare termografia all'infrarosso.

Andrea Sangalli, laureato in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Milano, dal 2012 svolge attività di ricerca collaborando con il gruppo eERG del Politecnico di Milano, principalmente nell'ambito di progetti europei. Le tematiche di interesse comprendono il monitoraggio energetico e ambientale degli edifici prima e dopo interventi di riqualificazione profonda, le valutazioni di comfort di lungo periodo e le prestazioni termiche dinamiche di componenti opachi dell'involucro edilizio.