

## 2 Fabbisogno energetico per illuminazione degli edifici scolastici

Il presente capitolo è volto ad illustrare la metodologia e le analisi eseguite per giungere alla definizione di benchmark di fabbisogno energetico per illuminazione per edifici scolastici.

Il lavoro prende le mosse da un'attenta analisi di quello che è lo stato dell'arte della simulazione energetica in regime dinamico per quanto riguarda gli edifici a destinazione d'uso scolastica. Inoltre viene proposto un metodo di costruzione degli archetipi che, in analogia con quanto suggerito dalla letteratura scientifica, prevede un duplice approccio: da una parte un'analisi delle caratteristiche costruttive tipiche degli edifici in analisi riscontrabili in strutture reali ed esistenti, dall'altra l'analisi dei requisiti normativi e legislativi previsti dalla legge e dalla normativa vigente.

Dopo una preambolo introduttivo (§*Introduzione*) si passa all'analisi di quanto propone la letteratura scientifica in ambito simulazione dinamica di edifici scolastici e costruzione di archetipi (§*Ricerca scientifica nell'ambito di edifici scolastici*).

Si passa successivamente a descrivere come son stati costruiti i modelli di calcolo, e quali ipotesi son state fatte al proposito (§*La costruzione dei modelli di calcolo*). Infine vengono proposti i risultati ottenuti dall'attività di simulazione e una discussione dei medesimi (§*Risultati di simulazione*).

### 2.1 Introduzione

L'illuminazione artificiale è negli edifici non residenziali una delle voci maggiori di consumo di energia elettrica, che costituisce circa il 20-30% del carico totale di energia dell'edificio [Li, Lam & Wong]. Recentemente, c'è stato un crescente interesse per valutare l'uso della luce naturale nei progetti architettonici al fine di risparmiare sull'uso di energia per illuminazione artificiale [Li & Lam 2001, Atif & Galasiu]. Molti studi hanno rivelato che un controllo dettagliato dell'illuminazione può ridurre la domanda energetica in edifici non residenziali sfruttando luce naturale in modo più efficace [Kim & Mistrick, Neida, Maniccia & Tweed, Knight]. È stato riportato che, nei corridoi illuminati naturalmente, un controllo fotoelettrico dell'illuminazione può dare un risparmio energetico eccellente [Slater, Bordass & Heasman, Li & Lam 2003]. Avere una conoscenza dettagliata dei consumi e fabbisogni energetici per illuminazione rappresenta un'importante informazione per stabilire alcune norme nel codice energia e linee guida di progettazione [Littlefair & Aizlewood]. Questo dato può essere utilizzato anche da proprietari di edifici e da gestori di servizi energetici per sviluppare strategie di conservazione dell'energia e programmi di gestione [Santamouris et al.].

Tra gli edifici non residenziali, particolare attenzione deve essere riservata alle scuole. L'illuminazione in classe può essere importante per l'apprendimento degli alunni. Studi su piccola scala hanno anche proposto un collegamento tra illuminazione e l'applicazione. Per esempio, Hathaway [Hathaway, 1994] ha trovato legami tra l'uso di lampade fluorescenti a spettro completo e l'applicazione. Utilizzando un campione di grandi dimensioni, Heschong e Knecht [Heschong & Knecht] hanno trovato correlazioni significative sull'applicazione sia nei casi in cui la luce del giorno può essere controllata dal docente, sia nei casi in cui la luce era diffusa in tutta l'aula. Una serie di studi hanno anche osservato cambiamenti nel comportamento sotto regimi di illuminazione particolare. Infine, altri autori si sono occupati dell'effetto di variabili ambientali sul processo di apprendimento stesso. Lione ha suggerito che l'illuminazione a fluorescenza a spettro intero possa migliorare l'apprendimento. Renon e Robbin hanno indicato che la luce diurna aiuta gli studenti a conservare e apprendere le informazioni, mentre Schulz ha esaminato l'importanza di evitare un'illuminazione eccessiva. Alcuni autori hanno posto più l'accento sulla importanza della luce naturale, ma la necessità di sistemi integrati di illuminazione diurna e artificiale è ampiamente accettata (vedi Woolner, Hall, Higgins, McCaughey, & Wall, 2007).

Anche se esistono le raccomandazioni per la migliore gestione dell'illuminazione (CIBSE, 2004; DEE, 1999),

l'illuminazione in classe ha continuato a cambiare, mentre la ricerca nel settore è stata trascurata (Woolner et al., 2007). Stabilire legami causali tra gli aspetti del comfort all'interno dell'aula e i fattori di cui sopra è difficile, in parte a causa delle difficoltà pratiche ed etiche nella conduzione di studi clinici controllati in aula. Alcuni fenomeni e aspetti legati all'illuminazione hanno dimostrato di provocare disagio e alterare la performance delle attività, e che può quindi cominciare a informare i dibattiti di cui sopra. Questi aspetti sono impercettibili "flicker" ("sfarfallii") con frequenza sui 100 Hz da luci fluorescenti, oppure la presenza contemporanea di luce naturale e illuminazione fluorescente.

Il CIBSE (2004) fornisce valori di progetto di illuminamento raccomandato per i diversi tipi di classe, che vanno da 300 lux a 500 lux. L'adozione di tali valori contribuisce a limitare l'abbagliamento a livelli ragionevoli (vale la pena notare che una nuova installazione di nuove lampade può dare un illuminamento del 25% superiore alla illuminazione di progetto, ma questo valore iniziale si dimezza quando le lampade sono vecchie e si è accumulato sporco). Ci sono alcune evidenze di aumento del disturbo con illuminamento superiore a 1000 lux e sopra i 2500 lux (Rea, 1982, 1983; Smith & Rea, 1980) in stanze illuminate in modo uniforme.

A livello normativo, si devono citare e ricordare le norme UNI EN 12464-1:2011 *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*, e , specificatamente dedicata agli ambienti scolastici, la UNI 10840:2007 *Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale*. I principali parametri che quest'ultima norma prende in considerazione per garantire sicurezza comfort e prestazione visive, sono la distribuzione delle luminanze, l'illuminamento e sua uniformità, l'abbagliamento e sua limitazione, gli aspetti cromatici della luce, il fattore di manutenzione, il risparmio energetico, l'illuminazione in presenza di videotermini e l'integrazione della luce diurna.

Parallelamente all'analisi del comfort visivo interno degli edifici, grande attenzione viene dedicata alla valutazione dei fabbisogni energetici dei medesimi. Negli ultimi anni c'è stato infatti un crescente interesse nella valutazione della prestazione energetica degli edifici. Con questo termine si indica la quantità di energia stimata o effettivamente consumata per gli usi connessi a riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria e illuminazione [EPBD 2002/91]. Ciò è certamente dovuto alle attività di ricerca molte sorte dopo la Direttiva Europea 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico degli edifici, oggi "rilanciata" con la Direttiva 2010/31/UE. La direttiva sottolinea che la valutazione del fabbisogno energetico per il controllo climatico di un edificio può essere affrontato solo se il livello del comfort ambientale interno è chiaramente definito: l'indice di prestazione energetica dell'edificio deve essere indicato insieme ad un indice di qualità interna ambientale. Ciò è dovuto al fatto che una riduzione della domanda di energia può anche portare ad una diminuzione insostenibile nel livello di comfort; al contrario, è chiaro che una domanda di energia superiore sarebbe plausibile se associata ad un aumento del livello di comfort, a parità di tutte le altre condizioni [Simmonds]. Alcuni studi sono stati condotti allo scopo di associare il concetto di prestazione energetica dell'edificio al concetto di livello di comfort [Yang & Su, Karyono, Hanqing et al.] perché entrambi questi concetti devono essere espressi e qualificarsi per definire le performance di un edificio. Il livello di qualità microclimatica richiesto ha un effetto diretto sul consumo energetico dell'edificio [Tham & Ullah, Holz et al.]. La classificazione e la certificazione di qualità dell'ambiente interno è l'oggetto della norma UNI EN 15251. Lo scopo di questa norma è quella di specificare non solo le modalità per stabilire i parametri dell'ambiente interno che sono dati di input per la progettazione degli edifici ma anche come eseguire i calcoli di fabbisogno energetico, e descrive i metodi per la valutazione a lungo termine dell'ambiente interno attraverso calcoli o misurazioni. La UNI EN 15251 classifica l'ambiente interno in tre categorie, identificate come A, B e C. categoria A corrisponde al più alto livello di aspettativa relative a comfort interno e quindi il più alto numero di persone soddisfatte. Una revisione critica di tutto il contenuto della presente norma è stato svolto da Filippi et al. In generale, la qualità ambientale e la sua relazione con il consumo di energia può essere analizzata focalizzandosi sul possibile impiego di strategie per il controllo dell'ambiente interno [Karlsson & Moshfegh]. Le possibili strategie dipendono dalle aspettative e dal comportamento degli utenti [Al-Mumin et al.]. Recenti studi hanno sottolineato che in edifici non completamente controllati meccanicamente, le aspettative degli utenti in materia di ambiente termico permettono

un intervallo di temperature accettabili più ampio di quello ottenuto dalla teoria di Fanger, basato sull'indice PMV [Fanger] e incentrato su valori leggermente diversi. Questi studi fanno parte dei risultati delle ricerche condotte da De Dear e Brager, che sono indicati come la teoria "confort" adattivo [De Dear & Brager], che tiene conto dei meccanismi di regolazione adattiva (regolazione fisiologiche, psicologiche o comportamentali) indotte dalle condizioni atmosferiche esterne che le persone possono attivare per modificare la loro percezione del comfort termico.

Il presente lavoro intende determinare il fabbisogno di energia per illuminazione interna degli ambienti attraverso l'uso di uno strumento di simulazione dinamica degli edifici, avendo preventivamente fissato i requisiti di comfort visivo interno. L'edificio di riferimento sarà costruito partendo dai riferimenti bibliografici relativi, dall'analisi dei riferimenti normativi e legislativi e da una dettagliata indagine su quelli che sono gli elementi caratteristici degli edifici scolastici esistenti. I dati, ottenuti facendo variare per l'edificio di riferimento caratteristiche termofisiche, parametri climatici, esposizione e contesto urbano, sono analizzati al fine di determinare dei valori di benchmark di fabbisogno per strutture scolastiche variamente caratterizzate. Inoltre, si effettua un'analisi di quelle che sono le variabili che maggiormente incidono sulla prestazione energetica dell'edificio per sola illuminazione, anche rapportata al fabbisogno totale dell'edificio di energia primaria.

## 2.2 Ricerca scientifica nell'ambito di edifici scolastici

Gli edifici scolastici rivestono un ambito in cui molto si è indagato attraverso l'uso degli strumenti di simulazione dinamica del fabbisogno energetico degli edifici. Molteplici sono stati gli studi svolti per prevedere i fabbisogni degli edifici attraverso l'uso di simulazioni illuminotecniche. Molto interessanti in tal senso sono i lavori di Conceicao et al., che hanno svolto una serie di simulazioni per la determinazione dei fabbisogni energetici delle scuole portoghesi in regime invernale. Da sottolineare come in questi lavori vi sia stata un'attenta definizione dei profili di occupazione per gli edifici analizzati, impiegati come necessario dato di input della simulazione. Le analisi sono state condotte prestando peculiare attenzione al comfort interno degli ambienti, sancendo di fatto il legame inseparabile tra prestazione energetica e comfort mantenuto.

Calise si è invece di recente concentrato sulla simulazione del possibile uso di tecnologie di sfruttamento dell'energia solare per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici pubblici. Il lavoro propone una serie di edifici campione per i quali l'analisi è stata condotta, caratterizzati da differenti collocazione geografica ed elementi costruttivi.

La simulazione energetica di edifici scolastici è stata condotta anche da Al-Rabghi e Hittle per scuole collocate in climi caldo-umidi (quindi con particolare attenzione ai fabbisogni per raffrescamento). Nella pur ricca bibliografia proposta da questi ultimi autori, non si trovano però studi in cui si associ la simulazione energetica e il comfort termico al comfort illuminotecnico.

Soltanto i recenti lavori di Li et al. hanno posto in rilievo come la massimizzazione dell'uso della luce naturale e l'uso di sistemi di controllo adeguati possano consentire una sensibile riduzione dei fabbisogni energetici per illuminazione. Gli autori fanno presente il rischio di abbagliamento che il forte uso di sorgenti di luce naturale porta con sé. Non viene però analizzata la correlazione con i possibili risparmi legati alla diminuzione dei carichi per raffrescamento.

Questo approccio è stato poi seguito da Franzetti et al. con riferimento però non ad edifici scolastici ma ad edifici per uffici. Questi autori svolgono infatti una serie di simulazioni per determinare come la valorizzazione dell'illuminazione naturale incida sui carichi termici invernali ed estivi. Lo studio è molto interessante anche per la determinazione dei parametri che hanno una maggiore influenza sui fabbisogni. Un analogo lavoro è stato svolto da Sezgen e Koomey con riferimento agli edifici commerciali. Questi lavori riprendono l'approccio globale alla stima dei fabbisogni degli edifici proposto da Depecker et al. Da notare come l'interazione tra illuminazione e fabbisogni energetici sia analizzata da Sezgen attraverso l'uso dei "coincidence factors".

Studi sul risparmio energetico derivante dalla valorizzazione dell'illuminazione naturale per gli uffici sono stati condotti da Krarti et al. Da sottolineare in questo caso l'attenta modellazione degli edifici scelti come campione da analizzare. Inoltre si considera un unico sensore per la rilevazione dell'illuminamento all'interno dell'ambiente (al centro della stanza).

L'edilizia scolastica è stata inoltre ampiamente indagata dal punto di vista energetico in modo completo, attraverso tutte le differenti metodologie di valutazione previste per l'analisi della prestazione energetica [Corgnati, Corrado & Filippi.]: sono stati impiegati infatti tanto l'asset quanto l'operational rating.

Dal punto di vista dell'analisi dei consumi reali si noti come siano stati prodotti dei valori di benchmark per il riscaldamento degli edifici scolastici in vari paesi europei. Ad esempio Aernouts et al., riportano 197 kWh/m<sup>2</sup> anno per le Fiandre, e Jones et al., riportano 119 kWh/m<sup>2</sup> anno per gli edifici scolastici nordirlandesi.

Per la Grecia, Santamouris et al. propongono in media 68 kWh/m<sup>2</sup> per il riscaldamento e 27 kWh/m<sup>2</sup> di consumo elettrico. Per il typical building i valori proposti sono rispettivamente 57 kWh/m<sup>2</sup> e 20 kWh/m<sup>2</sup>, mentre per il best practice si ha 32 kWh/m<sup>2</sup> e 10 kWh/m<sup>2</sup>.

Questi ultimi valori sono stati ripresi e fatti propri in un recente lavoro da Dimoudi e Kostarela.

In Inghilterra, sono proposti per le scuole primarie i valori di 157 kWh/m<sup>2</sup> anno e 110 kWh/m<sup>2</sup> anno, come dati rispettivamente di "typical practice" e "best practice" [Good Practice Guide 343].

Hernandez et al. basandosi sul risultato relativo ad un centinaio di scuole irlandesi propone 96 kWh/m<sup>2</sup> anno e 65 kWh/m<sup>2</sup> anno come valori di consumo medio e degli edifici di nuova costruzione.

Valori di riferimento sul territorio italiano sono forniti da Desideri e Proietti per le scuole della Provincia di Perugia, tanto per il riscaldamento quanto per gli usi elettrici collegati allo svolgimento delle previste funzioni. Viene sottolineato come il consumo per riscaldamento rappresenti l'80% circa di tutto il consumo di energia primaria. Questi valori vengono dati come consumi annuali per unità di volume riscaldato, per studente e per classe, riprendendo un'analisi fatta già da Schipper sui diversi indicatori da utilizzarsi per rappresentare i benchmark energetici dei differenti edifici. Desideri e Proietti, per ogni scuola esaminata, calcolano differenti indici di prestazione energetica:

- I<sub>v</sub>, indice di consumo termico specifico per unità di volume (kWh/m<sup>3</sup> anno)
- I<sub>s</sub>, indice di consumo termico specifico per studente (kWh/studente anno)
- I<sub>c</sub>, indice di consumo termico specifico per classe (kWh/classe anno)
- E<sub>v</sub>, indice di consumo elettrico specifico per unità di volume (kWh/m<sup>3</sup> anno)
- E<sub>s</sub>, indice di consumo elettrico specifico per studente (kWh/studente anno)
- E<sub>c</sub>, indice di consumo elettrico specifico per classe (kWh/classe anno)

I risultati medi ottenuti da tale analisi, proposti per tipologia di edificio, per attività didattica prevalente e per combustibile, sono proposti nella Tabella 1 riassuntiva qui sotto riportata.

**Tabella 1 - Indici di consumo energetico proposti da Desideri e Proietti**

Riferimento	I <sub>v</sub> (kWh/m <sup>3</sup> anno)	I <sub>s</sub> (kWh/studente anno)	I <sub>c</sub> (kWh/classe anno)	E <sub>v</sub> (kWh/m <sup>3</sup> anno)	E <sub>s</sub> (kWh/studente anno)	E <sub>c</sub> (kWh/classe anno)
Tipologia edilizia						
Edificio vecchio	17,5	493	10812	3,2	97	2143

Edificio in telaio in c.a. e tamponamenti	21,7	1003	21283	2,9	96	2133
Edificio con pannelli prefabbricati	15,8	744	15352	3,1	146	3034
Attività didattica						
Scientifica	18,3	451	9957	3,1	81	1761
Umanistica	20,3	1326	27059	1,6	104	2142
Tecnica	21,2	989	21135	4,3	234	5155
Commerciale	17,4	569	12022	2,1	81	1703
Industriale	15,7	704	18009	4,5	105	2284
Combustibile						
Gas naturale	18,5	699	14496	-	-	-
Gasolio	17,9	680	13963	-	-	-

Ad un valore medio di circa 110-115 kWh/m<sup>2</sup> anno per riscaldamento e acqua calda sanitaria giungono anche Corgnati e Corrado in un'analisi da loro condotta su oltre 100 scuole della Provincia di Torino. Lo studio mette peraltro in luce come vi sia una forte disomogeneità nelle scuole italiane, ma sostanzialmente gli indici di consumo specifico convergono verso un valore medio.

In un successivo lavoro Ariaudo et al. propongono un modello di previsione dei consumi per riscaldamento per gli edifici scolastici, evidenziando di fatto quelli che sono i parametri di maggior influenza nella determinazione dei consumi.

Peraltro, Fabrizio et al. dimostrano come qualunque ragionamento sul calcolo dei fabbisogni di un edificio debba essere sempre subordinato ad un preciso livello di comfort interno assunto come riferimento.

Gli studi di Yang et al., Tham et al., Holz et al. confermano ed avvalorano lo stretto legame esistente tra consumi termici e comfort interno.

In un recente lavoro, Corgnati et al. propongono un'ulteriore analisi dei consumi reali di edifici scolastici, individuando indici di fabbisogno energetico per riscaldamento ed acqua calda espressi per unità di volume riscaldato, per strutture dal differente profilo d'uso. Il lavoro propone anche un'analisi del valore medio del rendimento medio globale stagionale dell'impianto termico. La maggior parte degli impianti risulta essere piuttosto efficiente, con un rendimento medio stagionale convenzionale compreso fra 85% e 90%. Esiste però una piccola percentuale (13%) di impianti poco efficienti, che presentano infatti rendimenti inferiori al 75%. Il grafico seguente propone appunto i valori di rendimento medio stagionale convenzionale degli impianti di riscaldamento proposti da Corgnati et al. e derivanti dal calcolo sulla base dei dati storici di consumo mensile di energia primaria ed energia utile.

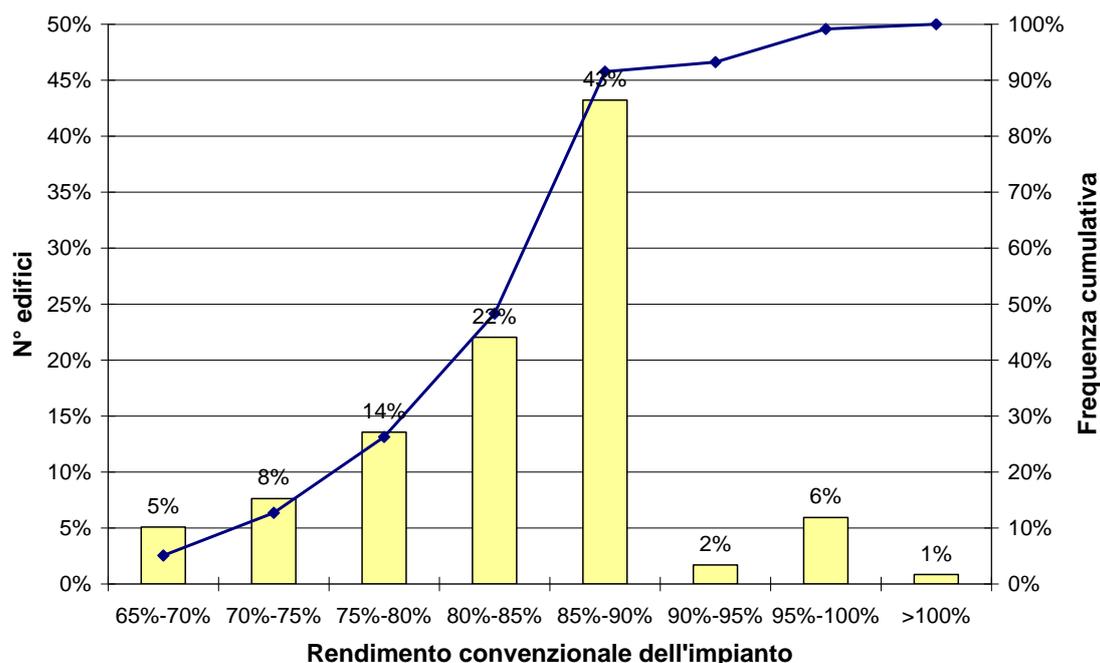


Figura 2.1 - Distribuzione statistica del rendimento medio globale stagionale per edifici scolastici proposta da Corgnati et al.

Il fatto che i consumi energetici nelle scuole siano legati essenzialmente al riscaldamento è stato confermato anche da Kalz e Wagner.

Un analogo risultato può essere dedotto anche dal lavoro proposto da Butala e Novak per le scuole slovene, dove nuovamente i valori sono forniti per unità di volume riscaldato, per studente e per classe. Butala e Novak sottolineano peraltro che i consumi reali degli edifici esistenti siano di molto maggiori (oltre l'80%) rispetto ai fabbisogni previsti per edifici realizzati secondo le correnti normative energetiche. Per gli edifici sloveni emerge un consumo per riscaldamento che si attesta intorno ai 200 kWh/m<sup>2</sup> anno in media e un consumo elettrico pari a 20 kWh/m<sup>2</sup> anno.

A livello extra europeo, un'interessante analisi è stata fatta da Filippin per le scuole del territorio argentino. Da questo studio emerge come il 90% circa del consumo di energia primaria sia da attribuirsi alla climatizzazione invernale, e solo il 10% agli usi elettrici. Filippin sottolinea però come se si sviluppa questa analisi da un punto di vista economico, si giunge a risultati invertiti, in quanto l'energia elettrica è decisamente più costosa rispetto al combustibile fossile.

Tabella 2 - Quadro sinottico degli indici di consumo specifico proposti per le varie nazioni

Autore	Sito geografico	Heating [kWh/m <sup>2</sup> ]	Electric [kWh/m <sup>2</sup> ]
Aernouts et al.	Fiandre	197	-
Jones et al.	Nord Irlanda	119	-
Santamouris et al.	Grecia	68	27
Santamouris et al.	Grecia (typical building)	57	20
Santamouris et al.	Grecia (typical building)	32	10
Hernandez et al.	Irlanda	96	-
Hernandez et al.	Irlanda (nuove costruzioni)	65	-
Corgnati, Corrado, Filippi	Italia (Torino)	110	-
Corgnati et al.	Italia (Torino)	114	15

Ulteriori studi sono stati condotti per analizzare il risparmio conseguente allo sfruttamento dell'illuminazione naturale.

Diversi studi hanno indicato che l'illuminazione naturale può offrire una conveniente alternativa alla illuminazione elettrica per gli edifici non residenziali. Attraverso sensori e controllori, l'illuminazione naturale è in grado di ridurre e addirittura eliminare l'uso di energia elettrica per garantire i livelli di illuminamento previsti all'interno di spazi non domestici. Simulazioni numeriche e monitoraggio sul campo hanno dimostrato che l'illuminazione diurna può fornire un significativo risparmio energetico variabile dal 30% al 77% [Doulos et al., Li et al., Lee & Selkowitz, Onaygil & Guler].

Inoltre, l'illuminazione naturale fornisce un ambiente più piacevole e attraente che può favorire una maggiore produttività e prestazioni migliori [Plympton et al.].

Tuttavia, le indagini hanno dimostrato che le strategie di controllo di illuminazione non sono comunemente incorporate in edifici [Li & Lam]. Il rapporto costo-efficacia dei sistemi di controllo della luce naturale dipende da diversi fattori, tra cui le caratteristiche architettoniche dell'edificio (forma, superficie vetrata, tipo di vetro), nonché l'ubicazione dell'edificio.

Recentemente, un metodo di calcolo semplificato è stato sviluppato da Krarti et al. [Krarti et al.] per stimare la riduzione di energia totale per illuminazione conseguita grazie all'uso della luce naturale con l'impiego di sistemi di controllo negli edifici per uffici.

## 2.3 La costruzione dei modelli di calcolo

Il presente paragrafo è volto ad illustrare la metodologia che ha portato alla costruzione degli edifici archetipo a destinazione d'uso scolastica. La definizione degli archetipi edilizi scolastici ha reso possibile effettuare delle simulazioni volte a determinare il fabbisogno energetico per illuminazione facendo variare di volta in volta le caratteristiche costruttive, climatiche o di gestione dei medesimi. Gli archetipi edilizi sono stati definiti attraverso un duplice approccio: si sono valutate le peculiarità degli edifici esistenti, ricorrendo ad un ampio database di edifici scolastici esistenti, e attraverso una attività di analisi puntuale di edifici esistenti. Parallelamente, si sono indagati i requisiti normativi e legislativi previsti per gli edifici scolastici, al fine di evidenziare gli elementi obbligatoriamente caratterizzanti tali strutture.

Dopo una breve introduzione volta ad illustrare lo stato dell'edilizia scolastica italiana (§L'edilizia scolastica in Italia) si passa all'analisi delle leggi vigenti in Italia nel settore dell'edilizia scolastica (§La legislazione e la normativa nel campo dell'edilizia scolastica dall'Unità d'Italia ad oggi), dei requisiti illuminotecnici e di comfort interno richiesti da legge e norme (§Requisiti illuminotecnici normativi e legislativi per edifici scolastici), e delle caratteristiche edilizie degli edifici scolastici (§Elementi architettonici caratteristici per edifici scolastici).

### 2.3.1 L'edilizia scolastica in Italia

In Italia gli edifici destinati all'istruzione risultano più di 60.000, ed in generale da audit energetici condotti a macchia di leopardo sono apparsi evidenti gli enormi sprechi energetici a carico del sistema scolastico, soprattutto per quelli ante anni '80, ma spesso anche in quelli più recenti per responsabilità ascrivibili a differenti attori del processo progettuale, amministrativo e gestionale degli edifici [Raffellini et al., Corgnati, Corrado & Filippi]. A partire dal 2005, con il D.lgs. 192/05, poi con il D.lgs. 311/06, e recentemente con i vari provvedimenti che si sono succeduti, compresi pure nelle varie leggi finanziarie, si è creata una situazione abbastanza confusa, dove nel vuoto legislativo lasciato dallo Stato hanno trovato spazio talune iniziative Regionali ed addirittura Provinciali/Comunali, in genere non coordinate. La Direttiva europea 2002/91/CE,

rifusa nella Direttiva Europea 2010/31/CE ha messo in moto un meccanismo di riqualificazione energetica nel settore edilizio, che in Italia è stato reso operativo per le nuove costruzioni a partire dall'ottobre 2006 e che dovrebbe diventare pienamente operativo anche per le ristrutturazioni.

In campo normativo e legislativo Riguardo alle Norme vigenti va segnalato che la più recente Legge 11/01/96, n. 23 "Norme per l'edilizia scolastica" di fatto rimanda a norme tecniche (art.5, punto3) che avrebbero dovuto essere emanate entro i fatidici 180 giorni, mentre si abrogavano le Norme del precedente D.M. 18/12/75, salvo poi citarle come da considerare "di riferimento" fino all'emissione delle nuove, per ora non ancora emesse.

Peraltro nel settore dell'edilizia scolastica già da qualche tempo si sono verificate molteplici iniziative di diversi Comuni, Provincie, Università tese a costruire nuovi edifici, ed in qualche caso a ristrutturarne di esistenti, nel rispetto dei criteri di bioedilizia, nel perseguimento di forti risparmi energetici e nell'uso non sporadico di fonti rinnovabili, soprattutto quella solare, ed in molti casi per soluzioni impiantistiche ad esse assimilabili, anche per Decreto. In molti casi, anche documentati in numerose recenti pubblicazioni, i vari progettisti si sono giustamente attenuti a vincoli legati a:

#### 1. fattori ambientali

- condizioni climatiche locali;
- caratteristiche dell'area.

#### 2. fattori tipologici

- caratteristiche tipologiche dell'insediamento e reciproca disposizione degli edifici;
- orientamento e relativa distribuzione delle unità abitative e dei singoli locali ;
- orientamento e sistemi di protezione delle superfici trasparenti, in relazione allo
- sfruttamento degli apporti solari diretti nel periodo invernale, al controllo
- dell'irraggiamento nel periodo estivo e all'ottenimento di un adeguato livello di
- illuminazione naturale;
- utilizzo di sistemi solari passivi;
- installazione di sistemi impiantistici a temperature moderate dell'acqua.

Attualmente, come messo in rilievo da differenti analisi condotte in Italia e in Europa, il patrimonio immobiliare scolastico è composto in modo eterogeneo da edifici di recente o recentissima costruzione, realizzati prestando particolari attenzioni alle più moderne teorie in materia di progettazione architettonica di edifici per l'istruzione, e da edifici più vecchi, riadattati ad ospitare aule e spazi per la didattica. [Raffellini et al., Corgnati, Corrado & Filippi, Andra et al., Corgnati et al.]. I consumi energetici che possono essere rilevati per gli edifici scolastici sono quindi differenti ma mediamente distanti dagli obiettivi di efficienza energetica che si è preposta di raggiungere sul proprio territorio l'Unione Europea [DE 2010/31/UE EPBD recast]. Questo nonostante la stessa Unione Europea abbia dedicato specifici programmi e pubblicazioni per l'efficienza energetica dell'edilizia scolastica [EC-DG TREN].

### **2.3.2 La legislazione e la normativa nel campo dell'edilizia scolastica dall'Unità d'Italia ad oggi**

La scuola e gli edifici scolastici costituiscono da sempre, sin dall'unità d'Italia, son sempre stati al centro

dell'interesse dei governi che si son succeduti e che, giustamente, hanno individuato nell'istruzione e negli edifici ad essa dedicati uno degli strumenti di unificazione sociale e culturale del territorio italiano [Guerracino, Ortoleva & Revelli].

### 2.3.2.1 *Dall'Unità d'Italia alla Prima Guerra Mondiale*

All'origine dell'istruzione scolastica italiana c'è una legge del Regno di Sardegna, la legge Casati, approvata il 13 novembre 1859. Tuttavia solo nel 1888 si avranno le prime prescrizioni dello Stato in materia di costruzioni scolastiche: tra queste due date maturano le scelte progettuali dell'edilizia scolastica italiana, attraverso gli esempi tipologici forniti dagli edifici realizzati dalle amministrazioni comunali per i futuri regolamenti e normative ministeriali.

Le costruzioni si ispirano, dal punto di vista distributivo, al modello tedesco, con una disposizione lineare delle aule lungo un corridoio sufficientemente ampio da fungere anche da luogo di incontro e ricreazione per gli alunni, generalmente orientato a nord per consentire alle aule l'esposizione igienicamente migliore. Il numero di piani generalmente non supera i due, per motivi di spazio ed economia: questa infatti viene spesso assunta come motivazione principale delle scelte progettuali. Gli edifici aspirano sempre ad un grado di rappresentatività, che aumenta all'aumentare del grado e dell'importanza della scuola. L'edificio ha ormai assunto una grande rilevanza nella scena urbana e si carica di nuove valenze: luogo dell'istruzione, ma anche simbolo dell'istituzione da cui l'istruzione promana, richiede una caratterizzazione adeguata alla sua conquistata importanza. Insieme al perfezionamento tipologico, comincia la sua strutturazione di edificio rappresentativo e dotato di una propria specificità architettonica.

Ad inizio Novecento ferve il dibattito su come devono essere realizzate le scuole. Ne si può trovare traccia nei vari articoli comparsi su *L'ingegneria sanitaria*, *L'ingegnere igienista*, sulla *Rivista di ingegneria sanitaria* e sul monumentale *Trattato di igiene* di Pagliani. Quest'ultimo riferimento bibliografico è particolarmente autorevole, poiché affronta il problema della costruzione della scuola a partire dalla scelta del sito, sino ad arrivare alla definizione delle finiture e dei sistemi impiantistici. Per il Pagliani, il primo passo, fondamentale per la riuscita della costruzione, è l'individuazione del sito ove erigere la scuola. La scelta dovrà cadere su terreni in cui preventive verifiche e studi dettagliati abbiano dimostrato sufficientemente profonda la falda acquifera. Il Pagliani indica come profondità sufficiente 1 m circa dal livello delle fondamenta, ed anche altri autori stranieri si esprimono su valori analoghi. Il sito deve comunque essere asciutto e ben ventilato e, comunque, se tali caratteristiche non fossero rilevate, si dovrebbe procedere ad un risanamento del suolo tramite particolari accorgimenti edilizi quali il vespaio areato o difese con cemento ed asfalto. Sempre il Pagliani suggerisce di riservare alle scuole quei suoli destinati "*alla propaganda religiosa*", ossia suoli che godono di una collocazione privilegiata. L'ampiezza del suolo non è univocamente determinata, essendo funzione esplicita del numero di studenti che deve accogliere.

Le dimensioni degli edifici scolastici realizzati in questo periodo risentono dei locali che vi andranno ad essere collocati e che saranno inderogabilmente:

- aule scolastiche, il cui numero sarà tale da riuscire a contenere tutti gli allievi che la scuola raccoglierà (un'aula era in genere progettata capace di contenere 50 alunni circa);
- latrine, in genere una ogni 4 aule;
- latrine per gli insegnanti;
- locale per la Direzione;
- locale per i bidelli;

- spogliatoi per gli alunni (da sostituirsi eventualmente con un corridoio preventivamente dimensionato);
- opportuno locale tecnico, normalmente collocato nel piano interrato.

Il Pagliani raccomanda di disporre le aule tutte lungo lo stesso fronte, necessariamente coincidente con il lato che offriva le migliori garanzie di illuminazione e di isolamento acustico dai rumori esterni. Le scuole realizzate in questo periodo risentono di queste prescrizioni, e presentano pertanto una forma lineare e allungata. Il Pagliani consiglia una organizzazione in cui gli edifici scolastici non superino i 2 piani fuori terra. Il secondo piano fuori terra, se presente, deve essere occupato dagli alloggi per gli insegnanti o per il personale di servizio.

Si ritrovano anche prescrizioni relative alle aule delle scuole: di forma rettangolare, delle dimensioni indicative di 6 m x 8 m ciascuna, capaci di contenere da un minimo di 40 a un massimo di circa 50 studenti. Per le scuole elementari il Pagliani raccomanda 1 mq di pavimento per alunno e un'altezza variabile di 3,5 - 5 m, in modo da garantire a ciascun allievo dai 3,5 ai 5 mc di aria, mentre fa scendere tali valori a 0,8 mq per gli asili e la fa salire a 1,2 mq per le scuole superiori.

Grande attenzione è dedicata alle condizioni di illuminazione interna. Il dibattito su come si dovessero illuminare le classi scolastiche era molto acceso ad inizio Novecento (si vedano al proposito gli articoli su *L'ingegneria sanitaria* su quale fosse l'illuminazione migliore). In genere è prevalsa la tesi, sostenuta peraltro anche dal Pagliani, secondo cui la migliore illuminazione è quella unilaterale sinistra, tale per cui la luce proviene soltanto da finestre situate alla sinistra degli studenti.

In generale si considera come migliore l'illuminazione unilaterale sinistra. Le finestre sarebbero così poste ad un'altezza tale da permettere l'entrata della luce nella classe, in modo che incida obliquamente sul piano di lavoro o sul banco, e tali comunque da nascondere alla vista degli studenti l'esterno, al fine di non distrarli durante le ore di lezione. L'altezza in questione può variare ma i valori sono normalmente compresi tra 1,2 m e 1,5 m.

La dimensione delle finestre può variare, ma è funzione della localizzazione dell'edificio scolastico nel seguente modo:

- la superficie finestrata totale deve essere pari a  $\frac{1}{4}$  della superficie totale dell'aula per edifici scolastici inseriti in un contesto ove vi siano altre costruzioni
- la superficie finestrata totale deve essere pari a  $\frac{1}{6}$  della superficie totale dell'aula per edifici scolastici isolati.

Si vuole favorire un'illuminazione più uniforme costruendo tra una finestra e l'altra maschi murari di dimensioni non superiori a 1,3 m, cosa peraltro prescritta in alcuni decreti normativi esteri oltre che consigliata da Pagliani.

Ovviamente per evitare che i banchi collocati più in fondo nella classe restino in ombra si deve evitare una eccessiva profondità delle aule, a fronte di una larghezza invece superiore (ma non superiore ai 10 m), in modo da avere un lato sufficientemente lungo per aprire almeno 3 o 4 finestre, che poi è il numero raccomandato da più teorici. Una particolarità: l'illuminazione unilaterale sinistra è pensata per cercare di risolvere il problema dell'ombra della mano che altrimenti si proietterebbe sul foglio mentre l'allievo scrive.

Viene data inoltre notevole importanza al controllo della qualità termo-igrometrica delle aule, e per questo il Pagliani si raccomanda di non scendere sotto certi valori di cubatura approssimabili a 25 - 30 mc, anche per ospitare pochi allievi.

La tipologia costruttiva più utilizzata per le scuole di inizio Novecento è inevitabilmente quella in muratura portante, che peraltro ben si adatta alle funzioni che i muri delle scuole dovevano svolgere. I muri verso l'esterno infatti non dovevano essere solo tamponamento, ma dovevano anche limitare al massimo la dispersione verso

l'esterno, nonché isolare acusticamente l'interno dai disturbi del traffico. Ecco quindi che un muro portante, di spessore variabile tra 35 e 50 cm circa assolveva appieno a tali esigenze. Anche i muri interni non dovevano essere semplici elementi separatori, ma si dovevano configurare come elementi di ausilio al mantenimento del benessere termo-igrometrico ed acustico dell'interno.

### 2.3.2.2 Dal Primo Dopoguerra ai giorni nostri

Terminata la **Grande Guerra**, riprese il movimento per migliorare la funzionalità delle scuole e soprattutto le condizioni igieniche degli edifici scolastici. Inoltre, grazie agli studi sui nuovi insediamenti ed alla definizione degli standard urbanistici che disciplinano la dislocazione dei vari ordini di scuole all'interno dei quartieri, l'edificio scolastico può rinnegare l'allineamento sul fronte stradale e ritirarsi all'interno della sua porzione di terreno per organizzarla in ogni elemento, creando nel piccolo quanto non ha la possibilità di realizzare alla grande scala.

Con l'avvento del **Fascismo** in Italia non si ebbero i grandi traumi della forzata interruzione della ricerca architettonica e la vicenda si sviluppò secondo una normale dialettica culturale. Come in altre nazioni europee, anche in Italia, nell'opposizione alla poetica dell'architettura razionalista perdurano ininterrotti motivi di continuità con il passato. Il modello di scuola tardo-ottocentesca trapassò con naturalezza nelle realizzazioni del ventennio successivo alla Prima Guerra Mondiale. Le scuole costruite negli anni '20 e '30 sono spesso improntate a quello stesso decoro cui si rifacevano le istruzioni del 1888: le tipologie si mantengono aderenti ai modelli sperimentati, salvo le modifiche dovute al progresso tecnico, soprattutto nel settore degli impianti.

Nel Secondo **Dopoguerra** il problema dell'edilizia scolastica si rivela drammatico: alle carenze dovute all'immobilismo, agli interessi solo frammentari e alle distruzioni prodotte dal conflitto, si sovrappongono gli effetti di un forte aumento demografico e di una migrazione interna, che accrescono a dismisura i grandi centri urbani e le loro relative metropoli. Dal 1945 al 1949 vengono emesse disposizioni legislative esclusivamente di "emergenza".

Solo nel **1954** si verificano interventi tendenti ad una più incisiva ed autonoma considerazione dell'edilizia scolastica, giustificati però sempre come "*provvidenze straordinarie per i bisogni più urgenti*". Continua a mancare una conoscenza approfondita sulla problematica scolastica.

Nel **1962** si imposta un piano triennale per la scuola e si tenta di snellire la prassi burocratica relativa all'acquisizione dei terreni e alle costruzioni scolastiche.

Si nota un fervore nuovo, dovuto indubbiamente alla spinta che viene dal confronto diretto con le esperienze pedagogico – architettoniche che Inghilterra, Stati Uniti e Svezia avevano già da vario tempo affrontato.

Ci si rende conto gradualmente che la scuola non può essere unicamente vista come standard numerico di aule da costruire, ma come fenomeno che, partendo da esperienze socio – pedagogiche, guardi al problema non solo dal lato quantitativo, ma anche in relazione al ruolo "sociale" della pubblica istruzione.

Dopo un periodo quindi di sostanziale staticità dal dopoguerra fino agli anni Sessanta, per quanto riguarda gli aspetti normativi, finanziari e di attuazione dell'edilizia scolastica, a partire dal **1965** sono stati così introdotti elementi di novità, che nell'arco di vent'anni hanno modificato profondamente il quadro di riferimento.

Sono leggi che finanziavano l'edilizia scolastica di ogni ordine e grado e delle relative normative tecniche che le corredevano: la **legge n° 641 del 28 luglio 1967** e la **legge n° 412 del 5 agosto 1975**.

La legge n° 641 del **1967** scende in minuziosi dettagli con particolari tecnici, costruttivi e di arredamento.

Le novità sono state innanzi tutto di carattere quantitativo. Dall'Unità di Italia non si era mai intervenuti con così consistenti finanziamenti finalizzati a superare le sperequazioni, lo stato di degrado e l'insufficienza in cui la

scuola, salvo iniziative sporadiche, era stata abbandonata. Le due leggi citate, per quanto attivate in modo disomogeneo e con lentezza, hanno tuttavia contribuito in larga misura a ridurre gli aspetti più critici del problema. Altra importante novità, introdotta dalle due leggi, è costituita dall'assunzione da parte dello stato dell'onere integrale di costruzione dell'edificio. In precedenza il carico finanziario era affidato in misura preponderante all'ente locale e ciò aveva contribuito ad accentuare lo squilibrio tra aree ricche e aree arretrate.

Le innovazioni più rilevanti sono state però introdotte con la normativa tecnica, il **DM del 18 dicembre 1975 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica"**, che ha il merito di aver ricondotto lo standard delle scuole italiane a livelli paragonabili al resto d'Europa. Le norme hanno introdotto anche criteri di progettazione avanzati e innovativi, in gran parte ispirati a quanto avveniva nel resto del mondo occidentale, e dettati dalla convinzione che fosse in atto il processo di trasformazione e aggiornamento della scuola italiana. A questo proposito si rilevano, tuttavia, aspetti di contraddizione e di squilibrio all'interno delle norme stesse che, suscettibili di interpretazioni più tradizionali, nell'attuazione pratica hanno consentito spesso il perpetuarsi di tipologie conservatrici. Si sono costruite strutture nuove adeguate come dimensione complessiva, ma molto rigide e dispersive nell'articolazione degli spazi. La tipologia aule – corridoio si è dimostrata assai persistente.

Oggi l'edilizia scolastica è regolata dalla **legge n° 23 dell'11 gennaio 1996 – Norme per l'edilizia scolastica**, normativa ancora incompleta, dato che non sono ancora state emanate le norme tecniche – quadro, che avrebbero dovuto rendere operativa e davvero innovativa questa legge dello Stato, che al momento rimane legata soprattutto all'aspetto economico del rinnovamento del comparto edilizio scolastico. La legge n° 23 (art. 1) si pone come obiettivo quello di assicurare agli edifici scolastici, che costituiscono lo "*elemento fondamentale e integrante del sistema scolastico*" uno "*sviluppo qualitativo e una collocazione sul territorio adeguati alla costante evoluzione delle dinamiche formative, culturali, economiche e sociali*". All'articolo 5 della legge n° 23 - "Norme Tecniche" il Ministro della Pubblica Istruzione, di concerto con il Ministro dei Lavori Pubblici, si impegna "entro novanta giorni" dalla data di entrata in vigore della legge ad adottare, con proprio decreto, le "*norme tecniche – quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali adeguati e omogenei sul territorio nazionale*". In sede di prima applicazione e fino all'approvazione delle norme, possono essere assunti quali indici di riferimento quelli contenuti nel decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 18 dicembre 1975.

Purtroppo tale aggiornamento non vi è stato e a tutt'oggi lo strumento di riferimento rimane proprio il non più giovane decreto del 1975, che deve confrontare le sue prescrizioni con realtà educative e sociali, ma anche costruttive, tecnologiche e normative profondamente mutate.

L'introduzione di concetti quali la necessità di standard di benessere e comfort maggiormente adeguati alle nuove aspettative che la società richiede e pretende dagli ambienti di vita hanno di fatto reso le "*Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica*" una legge ormai svuotata di significato e di forza operativa.

Si riportano di seguito alcune indicazioni, generali e specifiche, presenti all'interno del **DM 18/12/75**, che rimane l'unica normativa tecnica italiana inerente l'edilizia scolastica nel suo complesso

Ulteriori prescrizioni non normative possono poi essere reperite nella **Enciclopedia pratica per progettare e costruire**, Ulrico Hoepli Editore, Milano 1999.

Per quanto riguarda la **morfologia dell'edificio**, si stabilisce quanto segue:

1. l'edificio sarà concepito come un **organismo architettonico omogeneo** e non come una semplice addizione di elementi spaziali;
2. la disposizione, la forma, la dimensione e le interrelazioni degli spazi scolastici saranno concepiti in funzione:

- a. dell'**età degli alunni**, delle **attività** che vi si svolgono;
  - b. delle **unità pedagogiche** determinate dal tipo di insegnamento e dai metodi pedagogici;
  - c. dell'**utilizzo ottimale degli spazi previsti** (superfici costruite) e dei sussidi didattici;
3. L'organismo architettonico della scuola, per l'introduzione nei metodi didattici di attività varie e variabili in un arco temporale definito (un giorno, una settimana ecc.) deve essere tale da consentire la **massima flessibilità dei vari spazi scolastici**.

Le esigenze di **flessibilità nella didattica** fanno scegliere a volte soluzioni distributive caratterizzate da grandi spazi aperti e pareti divisorie mobili. Gli edifici di scuola secondaria di secondo grado sono normalmente su **tre piani**, e solo eccezionalmente su un numero di piani superiore. Sarà consentito ubicare in **piani seminterrati** solamente locali di deposito e per la centrale termica o elettrica; non saranno considerati seminterrati quelli la cui metà del perimetro di base sia completamente fuori terra.

I valori di **illuminamento** dipendono anche dalla posizione dell'edificio scolastico rispetto ad altri circostanti o prospicienti che potrebbero limitare il flusso luminoso proveniente dalla volta celeste: per tale ragione non sono ammessi **cortili chiusi o aperti** nei quali si affacciano spazi ad uso didattico senza una precisa e motivata ragione che giustifichi la loro funzione nella configurazione dell'organismo architettonico, e che dimostri, attraverso il calcolo, il rispetto delle presenti norme per la parte riguardante le condizioni dell'illuminazione. Sono invece consentiti piccoli patii, negli edifici ad uno o a due piani. Per analoga ragione la **distanza libera** tra le pareti contenenti le finestre degli spazi ad uso didattico e le pareti opposte di altri edifici, o di altre parti di edificio, dovrà essere almeno pari ai 4/3 dell'altezza del corpo di fabbrica prospiciente; tale distanza non dovrà comunque essere inferiore a 12 m. La distanza libera dovrà risultare anche se gli edifici prospicienti siano costruiti, o potranno essere costruiti, in osservanza di regolamenti edilizi locali all'esterno dell'area della scuola.

I **parametri dimensionali e di superficie**, nonché il numero **dei locali**, dipendono dalle caratteristiche degli stessi, dai programmi e dal grado di utilizzazione dei servizi e delle attrezzature.

L'**altezza** di questi spazi deve essere pari a 300 cm (con soffitto piano, in caso di soffitto inclinato altezza minima nel punto più basso = 270 cm).

**Gli indici standard di superficie netta**, vengono articolati per categorie di attività: per le scuole secondarie di secondo grado e attività didattiche - attività normali, la superficie deve essere pari a 1.96 m<sup>2</sup>/alunno.

La classe costituisce il raggruppamento convenzionale previsto dai programmi vigenti per ogni tipo di scuola.

Ciò premesso, lo spazio destinato all'unità pedagogica deve essere concepito in funzione del **tipo di scuola**, e del conseguente **grado di generalità o di specializzazione dell'insegnamento**.

Le aule devono inoltre avere forma possibilmente **quadrata** (eccezionalmente rettangolare) ed essere illuminate da due lati, per arredamenti disposti sia liberamente che orientati [Neufert].

Ogni edificio scolastico nel suo complesso e in ogni suo spazio o locale deve essere tale da offrire a coloro che lo occupano **condizioni di abitabilità** soddisfacenti per tutto il periodo di durata e di uso, malgrado gli agenti esterni normali; queste condizioni di abitabilità debbono garantire, inoltre l'espletamento di alcune funzioni in caso di agenti esterni anormali.

Le **condizioni di abitabilità**, alle quali corrispondono determinati requisiti e livelli, possono essere raggruppati come segue:

- **condizioni acustiche** (livello sonoro, difesa dai rumori ecc.);

- **condizioni dell'illuminamento e del colore** (grado e qualità dell'illuminazione naturale e artificiale; eccesso e difetto di luce, regolabilità, qualità del colore e dei suoi rapporti con la luce ecc.);
- **condizioni igrometriche e purezza dell'aria** (livello termico, igrometria, grado di purezza ecc.);
- **condizioni di sicurezza** (statica delle costruzioni, difesa dagli agenti atmosferici esterni, dagli incendi, dai terremoti ecc.);
- **condizioni d'uso dei mezzi elementari o complessi** necessari a stabilire i livelli delle esigenze espresse nei punti precedenti (ricerca dei livelli di agibilità, tipo e complessità di manovre per il funzionamento di apparecchi, per l'apertura di finestre ecc.);
- **condizioni di conservazione dei livelli raggiunti** nel soddisfare le esigenze di cui ai punti precedenti (durata dei materiali o delle parti costituenti la costruzione degli apparecchi impiegati, manutenzione ecc.).

Le attività che hanno luogo nelle **aule** possono essere raggruppate, secondo le indicazioni della CIBSE, Lighting guide 1993 in tre categorie a seconda del tipo di insegnamento:

- **insegnamento formale/tradizionale:** gli studenti hanno postazioni preordinate e ascoltano un insegnante che parla e spiega sempre dalla stessa posizione.
- **insegnamento interattivo:** gli studenti e l'insegnante assumono la posizione che desiderano poiché lavorano in forma di gruppo di discussione e possono muoversi liberamente per sistemarsi in modo più confortevole e utile possibile.
- **insegnamento in attività pratiche (laboratori).**

L'attività svolta all'interno dei **laboratori informatici** è quella strettamente collegata all'uso dei videotermini e si distingue, secondo la norma UNI EN ISO 9241, in due compiti visivi:

- assimilazione di dati presentati sullo schermo video (per esempio leggere testi, vedere grafici, osservare processi o percepire e distinguere simboli sullo schermo del videoterminale);
- assimilazione di dati presentati su mezzi passivi (per esempio leggere testi o vedere grafici su carta oppure percepire e distinguere simboli sulla tastiera del VDT).

### 2.3.3 Requisiti illuminotecnici normativi e legislativi per edifici scolastici

Il comfort visivo all'interno dei locali scolastici viene affrontato in differenti documenti, sia come luogo didattico che deve essere illuminato, sia come luogo di lavoro che deve quindi garantire determinati requisiti al fine di agevolare l'azione di quanti si trovano ad operare al suo interno. Oltre al già citato riferimento legislativo del DM 18/12/1975, devono quindi essere annoverati il D.Lgs. 19/09/1994, n. 626, la UNI EN 12464 e la UNI 10840:2007 *Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale*. Inoltre, gli ambienti in cui sono collocati videotermini, oltre a quanto previsto dai testi appena citati e dalla sopra riportata UNI 9241, devono garantire i requisiti richiesti dal DM 2/10/2000. Esistono peraltro delle raccomandazioni fornite dall'AIDI per l'illuminazione nelle scuole.

Il DM 18/12/1975 prevede che *“L'illuminazione naturale e artificiale degli spazi e dei locali della scuola deve essere tale da assicurare agli alunni il massimo del comfort visivo; pertanto deve avere i seguenti requisiti:*

- *livello dell'illuminazione adeguato;*

- *equilibrio delle luminanze;*
- *protezione dei fenomeni di abbagliamento;*
- *prevalenza della componente diretta su quella diffusa soprattutto nel caso di illuminazione artificiale”*

Son previsti valori minimi di illuminamento (riportati nella Tabella 3) ed equilibrio delle luminanze

**Tabella 3 -Livelli di illuminamento previsti da DM 18/12/1975**

<b>ILLUMINAMENTO SUL PIANO DI LAVORO</b>	<b>lux</b>
Sul piano dei tavoli negli spazi per il disegno, il cucito, il ricamo, ecc.	300
Sulle lavagne e sui cartelloni	300
Sul piano di lavoro negli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori, negli uffici	200

Le condizioni di illuminamento indicate in tabella devono essere *“assicurate in qualsiasi condizione di cielo e in ogni punto dei piani di utilizzazione considerati”*; se ciò non è possibile con l’uso esclusivo della luce naturale, occorre integrarla con quella artificiale. *“Particolare cura dovrà essere posta per evitare fenomeni di abbagliamento sia diretto sia indiretto facendo in modo che nel campo visuale abituale delle persone non compaiano oggetti la cui luminanza superi 20 volte i valori medi”*.

Viene prescritto un fattore medio di luce diurna del 3% per ambienti ad uso didattico. Allo scopo di consentire, durante il giorno, proiezioni di film, ecc., i locali ad uso didattico dovranno essere muniti di dispositivi per attenuare il livello di illuminazione naturale; alcuni locali dovranno essere predisposti per un completo oscuramento

Il D. Lgs. 19/09/1994 n. 626 è relativo alle misure per la tutela della salute e per la sicurezza dei lavoratori durante il lavoro, in tutti i settori di attività privati o pubblici. Per quanto riguarda l’illuminazione naturale e artificiale dei luoghi di lavoro a meno che non sia richiesto diversamente dalle necessità delle lavorazioni e salvo che non si tratti di locali sotterranei, 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 dei lavoratori. La brillantezza e/o contrasto tra i caratteri e lo sfondo dello schermo dei videoterminali devono essere facilmente regolabili da parte dell’utilizzatore del videoterminale e facilmente adattabili alle condizioni ambientali. Lo schermo non deve avere riflessi e riverberi che possano causare molestia all’utilizzatore. L’illuminazione generale e/o specifica (lampade di lavoro) devono garantire un’illuminazione sufficiente ed un contrasto appropriato tra lo schermo e l’ambiente, tenuto conto delle caratteristiche del lavoro e delle esigenze visive dell’utilizzatore. Fastidiosi abbagliamenti e riflessi sullo schermo o su altre attrezzature devono essere evitati. I posti di lavoro devono essere sistemati in modo che le fonti luminose quali le finestre e le altre aperture, le pareti trasparenti o traslucide, nonché le attrezzature e le pareti di colore chiaro non producano riflessi fastidiosi sullo schermo. Le finestre devono essere munite di opportuno dispositivo di copertura regolabile per attenuare la luce diurna che illumina il posto di lavoro.

Il DM 02/10/2000 vuole fornire indicazioni fondamentali per lo svolgimento dell’attività al videoterminale al fine di prevenire l’insorgenza dei disturbi muscoloscheletrici, dell’affaticamento visivo e della fatica mentale che possono essere causati dall’uso del videoterminale. Per quanto riguarda l’illuminazione, *“al fine di evitare riflessi sullo schermo, abbagliamenti dell’operatore ed eccessivi contrasti di luminosità, la postazione di lavoro va correttamente orientata rispetto alle finestre presenti nell’ambiente di lavoro. [...] Va in ogni modo evitato l’abbagliamento dell’operatore e la presenza di riflessi sullo schermo qualunque sia la loro origine. A tale scopo si dovrà illuminare correttamente il posto di lavoro, possibilmente*

*con luce naturale, mediante la regolazione di tende o veneziane, ovvero con l'illuminazione artificiale*“. Le condizioni di maggiore comfort visivo sono raggiunte con illuminamenti non eccessivi e con fonti luminose poste al di fuori del campo visivo e che non si discostino, per intensità, in misura rilevante da quelle degli oggetti e superfici presenti nelle immediate vicinanze, in modo da evitare contrasti eccessivi. Inoltre si procederà al fine di *orientare ed inclinare lo schermo per eliminare, per quanto possibile, riflessi sulla sua superficie*.

La norma UNI EN 12464 individua i parametri che determinano l'ambiente luminoso, i quali sono:

- distribuzione delle luminanze;
- illuminamento;
- abbagliamento;
- direzionalità della luce;
- resa del colore e composizione spettrale della luce;
- sfarfallamento;
- luce naturale.

Raccomanda che vengano evitate luminanze troppo elevate che possono causare l'insorgere di abbagliamento, contrasti di luminanza eccessivi che possono provocare l'affaticamento degli occhi a motivo del costante riadattamento cui gli organi stessi sono sottoposti e luminanze troppo basse o contrasti luminosi troppo bassi per i quali risulterebbe un ambiente di lavoro monotono e non stimolante.

Le luminanze di tutte le superfici sono importanti e dipendono dai fattori di riflessione e dal livello di illuminamento.

Intervalli adeguati di fattori di riflessione per superfici interne sono:

- soffitto: 0.6 ÷ 0.9
- pareti: 0.3 ÷ 0.8
- piani di lavoro: 0.2 ÷ 0.6
- pavimento: 0.1 ÷ 0.5

La sottostante Tabella 4 riporta i valori di illuminamento medio che devono essere mantenuti sui piani di lavoro, mentre la Tabella 5 riporta i valori prescritti per garantire la desiderata uniformità di illuminamento.

**Tabella 4 - Valori di illuminamento previsti da UNI EN 12464: 2011**

Tipo di ambiente interno, compito visivo o attività	$E_m$	Note
Aule, ambienti di insegnamento	300	L'illuminazione deve essere regolabile
Lavagne	500	Prevenire fenomeni di abbagliamento
Laboratori di informatica	300	Rif. ISO 9241 – 7

Tabella 5 - Valori raccomandati da UNI EN 12464: 2011 per garantire l'uniformità di illuminamento

Illuminamento dell'area del compito visivo [lux]	Illuminamento dell'area immediatamente circostante il compito visivo [lux]
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{compito visivo}}$
<b>Uniformità ≥ 0.7</b>	<b>Uniformità ≥ 0.5</b>

La norma propone delle misure utili a prevenire fenomeni di abbagliamento quali la riorganizzazione della disposizione delle postazioni di lavoro e delle sorgenti luminose, curare la finitura delle superfici, la diminuzione della luminanza delle sorgenti, l'aumento della superficie luminosa delle sorgenti, l'aver soffitto e pareti luminosi.

Viene anche preso in considerazione il contenimento dei consumi energetici legati ad illuminazione artificiale. La norma infatti prevede che l'impianto di illuminazione garantire i requisiti previsti senza indurre sprechi di energia. Ciò viene conseguito con sistemi di illuminazione appropriati, con il controllo e l'uso di luce naturale.

Proprio la luce naturale dovrebbe contribuire completamente o in parte l'illuminazione del compito visivo. Provvede a dare un aspetto di variabilità a un ambiente interno essendo caratterizzata da livelli e composizione spettrale non costanti nel tempo. Negli ambienti interni con illuminazione unilaterale il livello di illuminamento decresce rapidamente con la distanza dalla finestra: la norma prevede quindi una sorgente supplementare che assicuri il livello di illuminamento richiesto in ogni postazione di lavoro e che bilanci la distribuzione delle luminanze in ambiente. Interruttori manuali o dispositivi automatici e/o sistemi di regolazione (dimmer) possono essere impiegati per integrare illuminazione naturale e artificiale. Per ridurre l'abbagliamento derivante dalle finestre è necessario prevedere e installare degli elementi schermanti (requisito previsto anche a livello legislativo nazionale per ridurre i carichi termici estivi).

Vengono infine previsti dei limiti di luminanza (valore medio) delle sorgenti luminose che possono essere riflesse sullo schermo.

Tabella 6 - Classi dei monitor e qualità dell'ambiente visivo

Classi dei monitor (ISO 9241 – 7)	I	II	III
Qualità dello schermo	Buona	Media	Pessima
$L_m$ sorgenti luminose potenzialmente riflesse sul video	≤ 1000 cd/m <sup>2</sup>		≤ 200 cd/m <sup>2</sup>

La UNI EN ISO 9241 – 6 è una guida alla determinazione delle condizioni ambientali che migliorano il *benessere* e le *prestazioni* dell'utilizzatore di videoterminali. Vengono infatti prescritte una corretta distribuzione delle luminanze e un apposito controllo dell'abbagliamento (sia diretto sia riflesso).

La ISO 9241 – 7 specifica 3 classi di videoterminali e per ottenere condizioni visive accettabili, si dovrebbe controllare l'ambiente visivo in conformità alla categoria del visualizzatore utilizzato oppure si dovrebbe scegliere

la categoria di visualizzatore adeguata, tenendo conto dell'ambiente visivo. Prevede misure adeguate per controllare l'abbagliamento proveniente dalle finestre.

L'Appendice A della stessa norma suggerisce di riconoscere notevole rilevanza all'illuminamento verticale, soprattutto quando è importante l'impressione di profondità. Oltre al controllo dell'abbagliamento diretto ed indiretto, ed al bilanciamento delle luminanze, dedica particolare attenzione all'uso del colore. Infatti, nell'ambito specificato dai fattori di riflessione raccomandati in letteratura, la disposizione cromatica del locale di lavoro dovrebbe essere stabilita liberamente e facendo riferimento all'illuminazione naturale e artificiale. Le pareti dovrebbero essere più chiare del pavimento e il soffitto più chiaro delle pareti. Per le superfici ampie e come colore di fondo, si dovrebbero scegliere colori tenui a bassa saturazione (tinte pastello). Per gli oggetti più piccoli, la disposizione cromatica dovrebbe puntare su tinte a saturazione più elevata. Infine sottolinea che uno degli aspetti fondamentali da tenere in considerazione è la necessità di usare la luce del giorno o una combinazione di luce artificiale e di luce del giorno durante le ore diurne. Si tengono poi in conto criteri di qualità e di tipo economico. Vengono così individuate un'illuminazione, un'illuminazione diretta strettamente legata al conseguimento del benessere visivo, un'illuminazione diretta – indiretta, un'illuminazione indiretta e un'illuminazione generale con illuminazione delle stazioni di lavoro individuali. Per ciascuna di queste tipologie di illuminazione sono descritti vantaggi e criticità.

### **2.3.4 Elementi architettonici caratteristici per edifici scolastici**

#### **2.3.4.1 Metodologia di indagine**

Al fine di poter definire un edificio scolastico di riferimento, è importante esaminare quali siano gli spazi e quali siano le loro destinazioni d'uso all'interno degli edifici scolastici.

L'indagine viene condotta sotto una duplice direttrice: da una parte si analizzano le caratteristiche dimensionali ed architettoniche degli edifici riscontrabili nei documenti legislativi, in quelli normativi ed in letteratura, scientifica e divulgativa.

Contemporaneamente, si analizzano quelle che sono le caratteristiche degli edifici scolastici italiani a partire da un database generale di tutte le strutture per l'istruzione sul territorio italiano, suddivise e catalogate in base alla collocazione geografica, al contesto climatico in cui sono collocati, alle dimensioni e alle ore di funzionamento. Il database viene ricavato dalle informazioni messe a disposizione dallo Stato italiano attraverso il sito <http://www.acquistinretepa.it>. Parallelamente a questa analisi condotta su un campione molto vasto di edifici su cui si hanno soltanto delle macro-indicazioni, si è effettuata un'analisi di dettaglio di edifici scolastici esistenti, attraverso il ricorso a schedature e sopralluoghi finalizzati alla individuazione delle caratteristiche peculiari. Il metodo sviluppato riprende l'approccio proposto da Filippi et al. all'interno dell'Annex 53 dove le informazioni raccolte sugli edifici fanno parte di un database utile per macroanalisi su ampi campioni edilizi, condotte essendo noti un numero ridotto di descrittori per ciascun edificio, ma comunque sufficienti per poter caratterizzare statisticamente il campione costituito da un elevato numero di edifici (in sintesi, pochi dati per tanti edifici), e per diagnosi energetiche su singoli edifici, che necessitano di un forte dettaglio nella conoscenza delle caratteristiche e dei consumi dell'edificio oggetto di studio (in sintesi, tanti dati per un solo edificio).

Qui di seguito sono riportati gli edifici rientranti nel database generale di strutture scolastiche analizzato come primo riferimento per la costruzione dell'archetipo. Gli edifici scolastici sono suddivisi per Regioni (o per gruppi di Regioni), e caratterizzati in funzione della zona climatica e delle ore di funzionamento.

Tabella 7 - Distribuzione degli edifici scolastici sul territorio italiano

Regioni	Zone climatiche			STIMA DISTRIBUZIONE TERRITORIALE PER ZONA CLIMATICA			Ore di funzionamento impianto di riscaldamento per zona climatica			Stima GR-G per Zona Climatica (valore medio)		
VdA - Piemonte - Liguria	C/D	E	F	10%	65%	25%	1.079	1.294	1.569	1.572	2.554	3.462
Lombardia	D/E/F			100%			1.353			3.312		
Veneto - FVG	D/E	F		88%	12%		1.245	1.569		2.406	3.953	
Trentino Alto Adige	E	F		16%	84%		1.294	1.569		2.634	4.074	
Emilia Romagna	D/E/F	0		100%			1.079			3.027		
Toscana - Umbria	C/D	E/F		53%	47%		1.079	1.432		1.545	2.886	
Lazio	C	D	E/F	10%	48%	42%	961	1.196	1.432	1.163	1.754	2.645
Marche - Abruzzo - Molise	C/D	E/F		48%	52%		1.079	1.432		1.651	3.053	
Campania	C	D	E/F	41%	46%	13%	1.294	1.196	1.432	1.155	1.752	2.773
Basilicata - Calabria - Puglia	B/C	D	E/F	42%	40%	18%	902	1.196	1.432	1.032	1.403	2.398
Sicilia	A/B	C	D/E/F	24%	42%	34%	784	961	1.353	734	1.151	2.355
Sardegna	B	C	D/E	9%	51%	40%	843	961	1.245	822	1.151	1.898

Le informazioni sugli edifici scolastici analizzati nel dettaglio sono state ricavate da precedenti lavori di indagine svolti sulle scuole della Provincia di Torino [Amoretti, Taraglio], nonché dalla consultazione delle pubblicazioni, recenti e non, inerenti le strutture scolastiche in progetto. In tal modo si è effettuata un'analisi di dettaglio tanto di quelle che sono le peculiarità degli edifici progettati ad inizio Novecento, che rappresentano quindi un riferimento per quelli che sono gli edifici scolastici esistenti non recenti, tanto degli edifici scolastici progettati negli ultimi anni, sottoposti ai requisiti previsti dalla vigente legislazione in campo energetico ed illuminotecnico. Qui di seguito sono riportati gli edifici scolastici analizzati, nonché i progetti di edificio consultati al fine di individuare le caratteristiche dell'archetipo scolastico.

Tabella 8 - Progetti di edificio scolastico consultati

**Progetti consultati (Nome, Progettista, data di progettazione e rivista di pubblicazione)**

Scuola superiore per Sarno (Concorso), IPOSTUDIO, 1999, Casabella 691
Scuola superiore per Sarno (Concorso), Massimo Carmassi, 1999, Casabella 691
Scuola superiore per Sarno (Concorso), Franz Prati, 1999, Casabella 691
Scuola materna ed elementare a Casenove di Foligno (Perugia), Paolo Luccioni, 2007, Casabella 758
Liceo Scientifico a Città della Pieve (Perugia), Mario Botta, 2007, Casabella 758
Scuola elementare a Colombella (Perugia), Signorini Associati Architetti, 2007, Casabella 758
Scuola elementare a Azzano Mella (Brescia), Camillo Botticini, 2006, Almanacco di Casabella
Scuola elementare a N <sup>o</sup> Tyeani (Mali), Emilio e Matteo Caravatti, 2006, Almanacco di Casabella
Asilo per l'infanzia a Casale sul Sile (Treviso), Sandro Pittini, 2006, Almanacco di Casabella
Scuola elementare a Seregno (Milano), Romegialli+Pini, 2006, Almanacco di Casabella
Scuola per l'istruzione professionale a Sondrio, Iflarchitetti, 2002-2006, Casabella 742
Zollverein School of Management and design ad Essen (Germania), SANAA, 2003-2006, Casabella 749
Scuole negli Stati Uniti, Richard Neutra, Anni Trenta, Casabella 754
Scuola elementare a Castelldefels (Barcellona, Spagna), Carme Pinòs, 2003-2006, Casabella 755
Scuole in Spagna, architetti vari, Anni Trenta, Casabella 757
Scuola materna ad Arcore (Milano), Gabriella e Massimo Carmassi, 2000-2007, Casabella 764
Asilo a Ponzano Veneto (Treviso), Alberto Campo Baeza, 2006-2007, Casabella 764
Scuola a Malhadais-Odeceixe Aljezur (Portogallo), Joao Nunes de Ornelas, COSTRUIRE giugno 2009
Scuola primaria a Roma, Mars Architetti Associati, COSTRUIRE giugno 2009
Scuola materna a Rosta, Progetto Architettura, COSTRUIRE giugno 2009
Complesso scolastico Bailly a Saint Denis (Francia), Mikou Design Studio, COSTRUIRE maggio 2010

**Tabella 9 – Edifici scoastici esistenti analizzati e principale esposizione delle aule (da Amoretti & Taraglio)**

<b>Edifici scolastici esistenti analizzati</b>	<b>Esposizioni prevalenti delle aule</b>
Liceo artistico "R. Cottini" – Torino	E, S, O
Liceo artistico "R. Cottini" – Torino	S
Istituto professionale per l'industria e l'artigianato "G. Galilei" – Torino	S
Istituto professionale per l'industria e l'artigianato "G. Galilei" – Torino	S-E, N-O
Istituto Tecnico comm. e periti aziendali "R. Luxemburg" – Torino	S, O
Liceo classico "V. Alfieri" – Torino	N, E, S
Istituto Tecnico comm. e periti aziendali "B. Russell" – Torino	E, O
Istituto Tecnico comm. e periti aziendali "A. Moro" – Torino	E
Liceo scientifico "G. Bruno" – Torino	E, O
Istituto Tecnico industriale "G. Grassi" – Torino	N-O
Istituto Tecnico per l'elettronica industriale "G. Peano" – Torino	E, O
Liceo classico "C. Cavour" – Torino	E, S
Liceo classico "C. Cavour" – Torino	E, O

Istituto Tecnico “Santorre di Santarosa” – Torino	S, N
Istituto Tecnico “Santorre di Santarosa” – Torino	E, S, O, N
Istituto professionale per l’industria e l’artigianato “D. Birago” – Torino	S, O
Istituto Tecnico industriale e arti grafiche “G. Bodoni” – Torino	N, S
Istituto Tecnico industriale “A. Avogadro” – Torino	S, N
Liceo classico “V. Gioberti” – Torino	S, O
Istituto Tecnico comm. e periti aziendali e corrisp. lingue estere “V. e L. Arduino” – Torino	E, O
Istituto professionale Per il commercio “C. I. Giulio” – Torino	S
Istituto Tecnico commerciale “C. Levi” – Torino	E, O
Istituto Magistrale “Regina Margherita” – Torino	E, S
Istituto Tecnico commerciale e per geometri “Vittone” – Chieri	N, S, E
Liceo scientifico statale “A. Gramsci” - Ivrea	N-O, S-E

### **2.3.4.2 Caratteristiche morfologiche, edilizie e strutturali degli edifici scolastici**

Una prima distinzione, cui è collegata la tipologia dell’edificio e degli impianti a servizio dello stesso, dipende dal grado dell’edificio scolastico:

- asili nido
- scuole materne
- scuole primarie o elementari
- scuole medie
- scuole superiori
- università

In funzione di tali tipologie scolastiche si hanno di solito differenti tipologie edilizie - per modalità di costruzione, per dimensioni e inserimento nei contesti urbani - differenti modalità di uso degli edifici, diversi gradi di affollamento degli ambienti e quindi diverse tipologie impiantistiche e possibilità di risparmio energetico.

Con l’aumentare del grado scolastico aumentano generalmente le dimensioni degli edifici, il numero di utenti, il grado di affollamento delle aule, la quantità di spazio dedicata ad utilizzi accessori (uffici, attività sportive, servizi mensa, ecc.).

Con l’aumentare del grado scolastico aumentano quindi anche le differenze e le dimensioni degli spazi allocati per le varie funzioni ospitate all’interno degli edifici stessi. Le scuole superiori vedono infatti la differenziazione tra [DM 18/12/1975]:

1. licei classici
2. licei scientifici
3. istituti magistrali

4. istituti tecnici commerciali ed istituti tecnici per geometri
5. istituti professionali.

Pur nella *vacatio legis* che c'è in Italia nel campo della legislazione vigente in materia di edilizia scolastica, e nonostante i profondi cambiamenti dettati dalla recente riforma dell'istruzione pubblica, i riferimenti legislativi comunque ancora vigenti in Italia prevedono differenti spazi per alunno a seconda della tipologia di Istituto superiore [DM 18/12/1975, DPR 616/1977, Legge 11/01/1996, Manuale di progettazione edilizia Hoepli, Standard funzionali e tecnologici per il sistema scolastico distrettuale]. Questa suddivisione degli spazi può essere ritenuta valida per edifici di recente realizzazione, dove deve essere inoltre evidenziato come spesso siano presenti spazi ad uso duplice, quali ad esempio la palestra, l'aula magna e/o sala riunioni, talvolta anche la mensa, in quanto risultano a servizio della scuola negli orari classici di funzionamento, e hanno anche accessi indipendenti per un uso separato nelle ore serali ad uso della comunità [Raffellini & Raffellini]. Questi spazi vengono codificati negli indici standard riportati nel D.M. del 18 dicembre 1975.

Discorso differente deve essere fatto per gli edifici storici riadattati ad ospitare scuole, nonché per quegli edifici scolastici realizzati in tempi passati. Dovendo affrontare una problema di questo genere per le scuole greche, Dimoudi e Kostarela hanno preventivamente proposto una suddivisione per epoca di realizzazione dei vari edifici scolastici greci, avvalendosi di analisi condotte in Grecia sulla caratterizzazione delle scuole. Un'analisi di questo genere potrebbe essere ripetuta anche sul territorio italiano, considerando che gli edifici scolastici di non recente costruzione possono essere divisi in:

- edifici la cui destinazione iniziale non era scolastica ma che son stati adattati ad ospitare aule e spazi per la didattica (è il caso di vecchi edifici residenziali collocati generalmente nei centri storici)
- edifici costruiti all'indomani dell'Unità in seguito alle varie riforme fatte per alfabetizzare la popolazione del neonato Regno d'Italia; questi edifici son il risultato di dibattiti molto vivaci su quale fossero le migliori strategie progettuali per un edificio scolastico, di cui si trova traccia nelle pubblicazioni dell'epoca; questi edifici, sorti all'epoca in zone periferiche delle città, fanno ora parte dei centri storici o comunque delle zone a più alta densità urbana

Gli edifici di più recente costruzione, possono essere caratterizzati da differenti aggregazioni spaziali. La bibliografia più volte citata riporta le più ricorrenti e le più adatte, nonché le collocazioni consigliate di questi edifici in rapporto al contesto. Questo precetto non è casuale, e tantomeno risulta essere spunto di riflessione di origine recente: analoghi dibattiti possono ritrovarsi negli scritti comparsi su l'Ingegnere Sanitarie e analoghe riviste di inizio Novecento. I moderni edifici scolastici devono (dovrebbero) rispondere a requisiti importanti relativi al comfort termoigrometrico, acustico ed illuminotecnico, oltre che a precetti sulla sicurezza strutturale ed antincendio.

Proprio al fine di una ottimizzazione dell'illuminazione naturale può essere letto il requisito di mantenere determinate proporzioni tra altezze degli edifici circostanti ed edifici scolastici. Viene previsto che la distanza libera tra le pareti contenenti le finestre degli spazi a uso didattico e le pareti opposte di altri edifici (o di altre parti di edificio), comunque non inferiore a 12 m, dovrà essere pari almeno ai 4/3 dell'altezza del corpo di fabbrica prospiciente. Non sono ammessi cortili chiusi o aperti nei quali si affaccino spazi ad uso didattico, senza motivate ragioni che giustifichino la loro funzione nella configurazione generale dell'organismo edilizio. Sono invece consentiti piccoli patii in edifici fino a due piani. Le superfici finestrate delle aule devono poi essere di dimensioni pari a 1/5-1/2 delle superfici di pavimento. La luce dovrebbe giungere da una direzione tale da non essere ostacolata da oggetti o parti del corpo umano impegnate nelle varie attività. Deve essere assicurata una sufficiente illuminazione delle parti maggiormente impiegate nell'attività didattica (cattedre, banchi, lavagne). La norme UNI 12464 prevede valori pari a 300 lux come valore medio di illuminamento tanto per i banchi quanto per la lavagna, e prevede 500 lux per gli ambienti destinati ad attività particolari (laboratori artistici). Li et

al. utilizzano però il valore di 500 lux per i loro studi. Così come sottolineato da Raffellini et al., esiste (anche se è di difficile raggiungimento) il limite imposto per le aule di FMLD  $> 3\%$ . Raffellini et al. sottolineano come negli edifici scolastici esistenti di solito le finestre e le disposizioni dei banchi e delle sedie sono rivolte in modo che sui libri e sugli scritti la luce naturale provenga da sinistra, e ciò per favorire gli studenti destrorsi, che nel passato erano la grande maggioranza, ma ora non più. Infine, Raffellini et al. consigliano per un edificio scolastico, dove sono generalmente presenti ambienti piuttosto estesi, di integrare, ove possibile, l'illuminazione naturale delle finestre con illuminazione di tipo zenitale, in modo da ridurre la disuniformità di illuminamento naturale tra le varie zone dell'ambiente.

Dal punto di vista del comfort termoisometrico, esistono requisiti relativi al benessere nella stagione invernale, mentre per la situazione estiva in genere non vengono previsti requisiti specifici, salvo in alcuni casi più recenti per le aule universitarie, e pure negli edifici scolastici di vario genere, ma solo per sala Convegno/Aula Magna, se ad uso duplice, e per gli uffici. Il D.P.R. 412/93 prescrive una temperatura interna di  $20+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  per tutti gli edifici ad eccezione per quelli rientranti nella categoria E.8. Nulla viene prescritto per la stagione estiva, durante la quale peraltro gli edifici scolastici ad eccezione di quelli universitari sono inutilizzati.

Il benessere acustico è spesso trascurato nonostante il D.M. 18/12/1975 al paragrafo 5.1 disciplinasse già le grandezze più importanti: tempo di riverberazione nelle aule, rumore al calpestio, ed isolamento acustico fra le aule, e fra aule e spazi circostanti. Per quanto riguarda la IAQ, la Norma UNI 10339 prevede l'uso di impianti di ventilazione meccanica in tutti gli spazi didattici, coerentemente con quanto previsto dal succitato decreto, ma tanto per edifici nuovi quanto per edifici esistenti questo aspetto è largamente disatteso e il ricambio d'aria è affidato alla sola ventilazione naturale attuata attraverso l'apertura delle finestre.

## **2.4 La costruzione dell'archetipo scolastico**

Dopo l'analisi di quello che è lo "stato dell'arte" della ricerca scientifica in ambito di scuole, e dopo l'analisi delle caratteristiche degli edifici scolastici esistenti (attraverso l'indagine su strutture reali) e di recente realizzazione (grazie ai documenti legislativi e normativi), in questo capitolo vengono definiti gli archetipi edilizi da impiegare come modelli di calcolo nelle simulazioni di calcolo. Alcune caratteristiche saranno fatte variare nelle simulazioni: a tal fine ci si avvarrà delle assunzioni fatte dai vari autori che si sono approcciati ad analoghi problemi in lavori passati.

### **2.4.1 Edificio**

#### **2.4.1.1 Tipologia di scuola**

Stante l'impostazione legislativa italiana, che distribuisce e dimensiona le scuole secondo un principio legato alla consistenza della popolazione, e viste le funzioni che devono essere svolte all'interno degli istituti scolastici, l'archetipo sarà definito con destinazione d'uso di scuola secondaria superiore, come già fatto da altri autori che hanno trattato un tema simile [Pagliano, Pietrobon & Zangheri]. In particolare, le valutazioni saranno fatte per scuole aventi una precisa specializzazione: liceo scientifico/linguistico, caratterizzato da una maggior presenza informatica e tecnologica rispetto al liceo classico, ma comunque meno dotato di spazi ad uso laboratorio come invece avviene per gli istituti tecnici.

#### **2.4.1.2 Caratteristiche edilizie della scuola**

Dal punto di vista edilizio, seguendo i suggerimenti ricavabili dai lavori svolti da Conceicao, da Calise e da Li, si sceglie di impostare l'archetipo con differenti involucri, corrispondenti a differenti periodi storici italiani, emblematici di particolari tecnologie edilizie. Si decide pertanto di impostare la simulazione per:

- un edificio costruito prima del 1945

- un edificio costruito tra il 1945 e il 1976
- un edificio nuovo realizzato secondo la vigente legislazione energetica nazionale.

Tabella 10 - Fonti utilizzate per individuare le caratteristiche degli elementi edilizi dell'archetipo

RIFERIMENTO PER LA DETERMINAZIONE DELLA CARATTERISTICA					
ELEMENTO	EDIFICIO ANTE 1945		EDIFICIO ANNI '60-'70		EDIFICIO DI RECENTE COSTRUZIONE
<b>PARETE ESTERNA</b>	<b>PERIMETRALE</b>	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI EDIFICI VISIONATI /	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO

Tabella 11 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici scolastici ante 1945

ELEMENTO	EDIFICIO ANTE 1945 – TUTTI I CLIMI		
	TIPOLOGIA	U [W/M <sup>2</sup> K]	SPESORE [CM]
<b>PARETE PERIMETRALE ESTERNA</b>	PARETE IN MURATURA PIENA INTONACATA SUI DUE LATI	1,2	2 (INTONACO) + 42 (MURATURA) + 2 (INTONACO)
<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	1,8	10 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 18 (STRATO PORTANTE) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>	SOLAIO NON AERATO SU TERRENO	1,49	15 (VESPAIO IN GHIAIA) + 15 (STRATO IN CEMENTO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 1 (PAVIMENTO CERAMICO)
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>	TELAIO IN LEGNO, VETRI CHIARI SEMPLICI	U <sub>g</sub> = 6,2 W/M <sup>2</sup> K U <sub>r</sub> = 3,6 W/M <sup>2</sup> K	-

Tabella 12 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici scolastici anni '60-'70

ELEMENTO	EDIFICIO ANNI '60-'70 – TUTTI I CLIMI		
	TIPOLOGIA	U [W/M <sup>2</sup> K]	SPESORE [CM]

<b>PARETE PERIMETRALE ESTERNA</b>	PARETE A CASSAVUOTA	1,14	2 (INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 5 (INTERCAPEDINE) + 12 (LATERIZIO) + 2 (INTONACO)
<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	1,8	6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>	SOLAIO NON AERATO SU TERRENO	1,49	15 (VESPAIO IN GHIAIA) + 15 (STRATO IN CEMENTO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 1 (PAVIMENTO CERAMICO)
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>	TELAIO IN LEGNO, VETRI CHIARI DOPPI	$U_g = 3,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_f = 3,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	-

Tabella 13 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici scolastici di recente costruzione realizzati a Torino

EDIFICIO DI RECENTE COSTRUZIONE – SITO: TORINO			
ELEMENTO	TIPOLOGIA	U [W/m <sup>2</sup> K]	SPESORE [CM]
<b>PARETE PERIMETRALE ESTERNA</b>	PARETE IN LATERIZIO ISOLATA	0,3	2 (INTONACO) + 24 (LATERIZIO) + 10 (ISOLANTE) + 12 (LATERIZIO) + 2 (INTONACO)
<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	0,27	6 (ISOLANTE) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)

<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>	SOLAIO SU SPAZIO NON RISCALDATO	0,27	2 (PAVIMENTO CERAMICO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 6 (ISOLANTE) + 2 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>	TELAIO IN LEGNO, VETRI DOPPI BASSO EMISSIVI	$U_g = 1,5 \text{ W/M}^2 \text{ K}$ $U_f = 3,6 \text{ W/M}^2 \text{ K}$	-

Tabella 14 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici scolastici di recente costruzione realizzati a Roma

EDIFICIO DI RECENTE COSTRUZIONE – SITO: ROMA			
ELEMENTO	TIPOLOGIA	U [W/M <sup>2</sup> K]	SPESSORE [CM]
<b>PARETE PERIMETRALE ESTERNA</b>	PARETE IN LATERIZIO ISOLATA	0,35	2 (INTONACO) + 24 (LATERIZIO) + 8 (ISOLANTE) + 12 (LATERIZIO) + 2 (INTONACO)
<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	0,3	4 (ISOLANTE) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>	SOLAIO SU SPAZIO NON RISCALDATO	0,27	2 (PAVIMENTO CERAMICO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 2 (ISOLANTE) + 2 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>	TELAIO IN LEGNO, VETRI DOPPI BASSO EMISSIVI	$U_g = 1,5 \text{ W/M}^2 \text{ K}$ $U_f = 3,6 \text{ W/M}^2 \text{ K}$	-

Tabella 15 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici scolastici di recente costruzione realizzati a Napoli

EDIFICIO DI RECENTE COSTRUZIONE – SITO: NAPOLI			
ELEMENTO	TIPOLOGIA	U [W/M <sup>2</sup> K]	SPESSORE [CM]
<b>PARETE PERIMETRALE ESTERNA</b>	PARETE IN LATERIZIO ISOLATA	0,38	2 (INTONACO) + 24 (LATERIZIO) + 7 (ISOLANTE) + 12 (LATERIZIO) + 2 (INTONACO)

<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	0,3	2 (ISOLANTE) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>	SOLAIO SU SPAZIO NON RISCALDATO	0,43	2 (PAVIMENTO CERAMICO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 2 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>	TELAIO IN LEGNO, VETRI DOPPI BASSO EMISSIVI	$U_g = 1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_f = 3,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	-

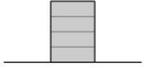
Tabella 16 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici scolastici di recente costruzione realizzati a Palermo

<b>EDIFICIO DI RECENTE COSTRUZIONE – SITO: PALERMO</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>TIPOLOGIA</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup> K]</b>	<b>SPESORE [CM]</b>
<b>PARETE PERIMETRALE ESTERNA</b>	PARETE IN LATERIZIO ISOLATA	0,46	2 (INTONACO) + 24 (LATERIZIO) + 4 (ISOLANTE) + 12 (LATERIZIO) + 2 (INTONACO)
<b>SUPERFICIE DI COPERTURA</b>	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	0,3	2 (ISOLANTE) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>PARTIZIONI INTERNE</b>	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) + 1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>SOLAIO DI ATTACCO A TERRA</b>	SOLAIO SU SPAZIO NON RISCALDATO	0,43	2 (PAVIMENTO CERAMICO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 24 (STRATO PORTANTE IN LATEROCEMENTO) + 2 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
<b>ELEMENTI TRASPARENTI</b>	TELAIO IN LEGNO, VETRI DOPPI BASSO EMISSIVI	$U_g = 1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_f = 3,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	-

### 2.4.1.3 Contesto urbano

Stante le raccomandazioni previste per edifici nuovi, e valutata la collocazione assunta all'interno dei centri urbani degli edifici scolastici storici, si sceglie di impostare le simulazioni utilizzando la seguente collocazione urbana:

Tabella 17 - Contesto urbano per i diversi archetipi edilizi

Edificio	Collocazione 1	Collocazione 2	Collocazione 3
Schematizzazione contesto urbano			
Edifici storici	Collocati in centro urbano	-	-
Edifici risalenti agli anni '60-'70	-	Collocati in contesto periferico, con nell'intorno edifici alti al massimo i 2/3 dell'altezza dell'edificio scolastico, distanziati a sufficienza per poter garantire le distanze minime previste dalla vigente legislazione (ovvero distanza pari almeno all'altezza dell'edificio scolastico)	Collocati in periferia su terreni liberi, per i quali possano essere rispettate le raccomandazioni previste per i nuovi edifici in relazione al contesto
Edifici di nuova costruzione	-	Collocati in contesto periferico, con nell'intorno edifici alti al massimo i 2/3 dell'altezza dell'edificio scolastico, distanziati a sufficienza per poter garantire le distanze minime previste dalla vigente legislazione (ovvero distanza pari almeno all'altezza dell'edificio scolastico)	Collocati in periferia su terreni liberi, per i quali possano essere rispettate le raccomandazioni previste per i nuovi edifici in relazione al contesto

### 2.4.1.4 Tipologia edilizia

Vista la destinazione d'uso prescelta (scuola secondaria) l'edificio campione è di almeno 3 piani fuori terra. La pianta sarà rettangolare. Le aule saranno collocate a tutti i piani ad eccezione del piano terra, seguendo gli schemi distributivi suggeriti in bibliografia. Al piano terra troveranno spazio laboratori, uffici e spazi per la circolazione. Le dimensioni in pianta delle aule saranno fatte variare, pur mantenendo sempre la stessa superficie (cui corrisponde lo stesso numero di studenti). Facendo variare la proporzione delle dimensioni in pianta delle aule, potrà essere valutata la differente penetrazione della luce naturale. Le dimensioni di base sono prese da quanto proposto da Calise, mentre la variazione delle dimensioni di base viene effettuata seguendo quanto già proposto da Krarti et al.

- rapporto tra dimensioni di base: b (base) = 1 (larghezza): aula 7 m x 7 m
- rapporto tra dimensioni di base: b (base) = 1,5 l (larghezza): aula 9 m x 6 m

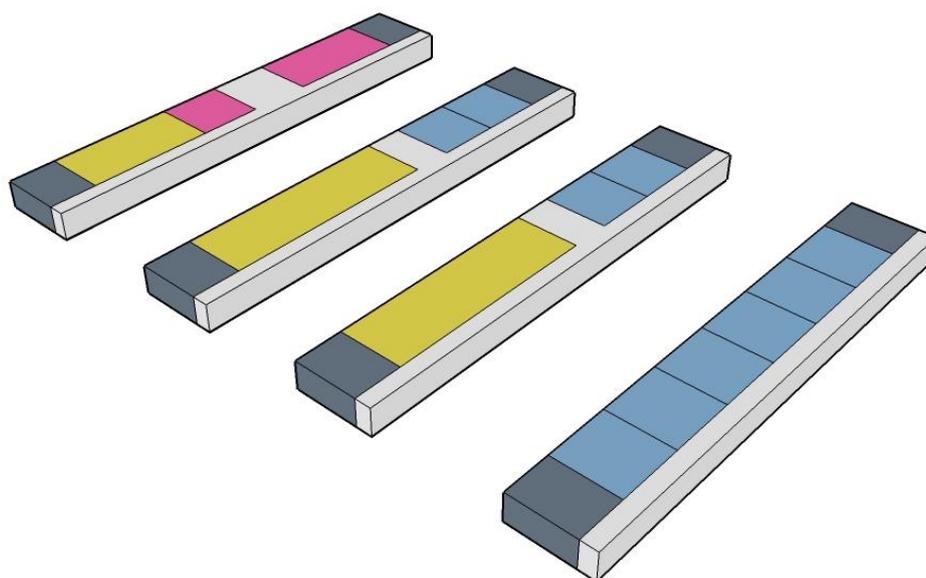
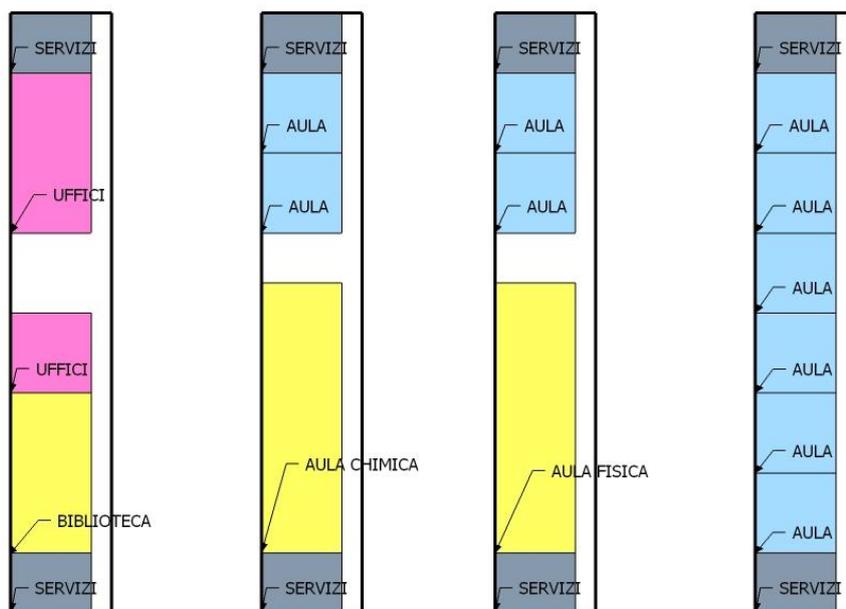


Figura 2 - Schemi architettonici e distribuzione planimetrica dell'edificio archetipo

### 2.4.1.5 Superficie finestrata

L'archetipo scolastico presenta una buona percentuale di superficie vetrata nella porzione di involucro verticale, soprattutto per i volumi che ospitano le aule e le funzioni correlate e gli uffici amministrativi, come richiesto dalle esigenze di comfort visivo in tali ambienti per le funzioni svolte (fattore medio di luce diurna pari almeno al 3% per garantire studio, lettura, lavoro di ufficio, etc.).

La tipologia di vetro viene scelta in funzione del periodo storico cui può essere ricondotto l'edificio. In prima battuta si sceglie di non far variare la tipologia di vetro per gli edifici storici. Per un edificio di nuova costruzione si scelgono vetri doppi bassi emissivi cui viene attribuito un univoco indice di trasmissione luminosa, nonostante

possa essere una variabile da considerare. La percentuale di superficie finestrata viene fatta variare tra 1/5 e 1/2 della superficie di pavimento. L'illuminazione delle aule sarà unilaterale (secondo quanto proposto da molteplici autori e dall'analisi degli edifici storici), e l'orientamento delle finestre verrà fatto variare secondo le principali direzioni cardinali, come già sviluppato da Franzetti et al.

## 2.4.2 Comfort interno

Le condizioni di comfort termico all'interno degli spazi didattici saranno coerenti con quanto previsto dal DPR 412/93 per la stagione invernale (20°C), mentre viene previsto un valore di 26°C come temperatura di comfort durante i mesi di giugno e luglio.

Dal punto di vista illuminotecnico, si fissa un valore di illuminamento medio richiesto sul piano di lavoro in funzione dei vari ambienti. I valori di illuminamento fissati, ripresi da quanto previsto da UNI 12464, sono proposti nella tabella qui sotto riportata:

Tabella 18 - valori di illuminamento medio mantenuti (ricavati da UNI EN 12464)

Ambiente	Valore di illuminamento medio richiesto [lux]
Biblioteca	500
Uffici	300
Connettivo	150
Aula	300
Aula particolare	500

Viene considerato il problema dell'abbagliamento: le simulazioni vengono infatti effettuate dapprima con superfici vetrate prive di sistemi schermanti, poi con superfici vetrate dotate di sistemi schermanti fissi ed infine con sistemi schermanti mobili regolati in modo da evitare fenomeni di abbagliamento molesto. Si verifica che tutti gli ambienti rispondano alla prescrizione di legge di FMLD > 3%.

Dal punto di vista della qualità dell'aria, le prescrizioni legislative e normative sono molto stringenti e purtroppo, come sottolineato da Raffellini et al. non sono mai rispettate all'interno degli edifici scolastici esistenti, privi di sistemi di ventilazione meccanica. Alla luce di questa situazione si sceglie di non prevedere di base nessun sistema di ventilazione meccanica: la ventilazione sarà pertanto totalmente naturale. Potrà essere prevista la ventilazione meccanica solo per gli edifici scolastici di recente costruzione, realizzati a norma di D.Lgs. 192/05, per i quali è ipotizzabile la presenza di questo genere di sistema impiantistico. Quest'ultima soluzione è conforme con la scelta fatta da altri autori [Pagliano et al.]. Nell'edificio di riferimento, le infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro edilizio sono state mediamente assunte pari a 2.5 volumi all'ora per una differenza di pressione pari a 50 Pa (n50), che corrispondono a circa 0.5 volumi all'ora in condizioni medie (per una differenza di pressioni di riferimento di 4 Pa). Questi valori di infiltrazione d'aria corrispondono ad una classe di tenuta all'aria media dell'involucro edilizio secondo norma [UNI 12831].

## 2.4.3 Impianti installati

### 2.4.3.1 Impianti per il mantenimento del comfort interno

Il mantenimento del comfort termico all'interno degli ambienti in regime invernale viene sempre garantito all'interno degli edifici scolastici italiani. Stessa cosa non può essere detta per il comfort termico in regime estivo, poiché raramente vi sono impianti di condizionamento. Tuttavia, considerare gli edifici privi di impianti di condizionamento significa di fatto non considerare tutti gli aspetti del problema, poiché come è stato messo in risalto da precedenti lavori, è proprio nella valutazione dei carichi termici estivi che si hanno maggiori differenze

qualora si decida o meno di ottimizzare l'illuminazione naturale degli ambienti.

A tal proposito si sceglie di effettuare successivamente una seconda valutazione per edifici scolastici dotati di un impianto di climatizzazione realizzato con ventilconvettori a 2 tubi, situazione che può essere considerata rappresentativa per quegli edifici scolastici italiani dotati di impianti di climatizzazione estiva ed invernale.

L'illuminazione interna è affidata a lampade fluorescenti (la cui efficacia in ambito scolastico è stata dimostrata in precedenti studi), gestite con differenti sistemi di controllo. Per determinare gli apporti termici dovuti all'uso dell'impianto di illuminazione si sono considerati i valori di potenza elettrica installata nell'edificio di riferimento. In particolare, si è considerato un valore medio relativo alle diverse zone termiche individuate pari a  $10 \text{ W/m}^2$  (Pagliano et al. propongono  $9 \text{ W/m}^2$ ). Questo valore medio è stato determinato considerando la distribuzione degli spazi e delle corrispondenti funzioni nell'edificio tipico, con le diverse esigenze di illuminazione e comfort visivo. Dapprima si propone un sistema di controllo di tipo on-off (rappresentativo della tecnologia più ricorrente nel patrimonio scolastico italiano), poi si effettuano valutazioni su archetipi scolastici in cui si impiega un sistema di controllo di tipo lineare continuo.

### **2.4.3.2 Apparecchiature elettriche**

Per la determinazione degli apporti termici dovuti ad apparecchiature elettriche utilizzate negli ambienti dell'edificio, si sono considerate possibili dotazioni tipiche di apparecchiature e componenti elettroniche.

In particolare, si è considerata la presenza di laboratori didattici di tipo informatico/linguistico o assimilabili, con la presenza rispettivamente di computer completi di unità e monitor, una stampante, e un piccolo server. Inoltre in ciascuna di queste due zone si è considerata la presenza di una macchina fotocopiatrice di dimensioni medio - grandi a disposizione degli studenti e dei docenti. Si è scelto di prendere in considerazione questo tipo di laboratori, in quanto si sono considerati frequentemente presenti in scuole di diverso livello (medie superiori ed inferiori, elementari, etc.) ed indirizzo. La scelta è stata fatta anche da altri autori per analoghi lavori [Pagliano et al.]

Negli uffici amministrativi e nelle aule per i soli docenti, si è considerata una possibile tipica dotazione da ufficio, in funzione del layout distributivo degli spazi nell'edificio scolastico reale a cui ci si è riferiti. In particolare si è considerata la presenza di alcune apparecchiature, ciascuna con i rispettivi valori di potenza elettrica:

- computer completi da ufficio ( $50 \text{ W/pezzo}$ );
- schermi per computer ( $30 \text{ W/pezzo}$ );
- stampanti ( $100 \text{ W/pezzo}$ );
- macchina fotocopiatrice ( $500 \text{ W/pezzo}$ );
- server di piccole dimensioni per uffici ( $60 \text{ W/pezzo}$ ).

Complessivamente, gli apporti gratuiti legati ad apparecchiature per ufficio sono stimati in  $2 \text{ W/m}^2$ .

### **2.4.4 Dati climatici**

Riprendendo l'impostazione proposta tra gli altri da Calise e da Al-Rabghi e Hittle, gli edifici campione vengono immaginati collocati in diverse località italiane, rappresentative di differenti condizioni climatiche. Si effettueranno simulazioni collocando di volta in volta gli edifici a: Torino (zona climatica E), Roma (zona climatica D), Napoli (zona climatica C), Palermo (zona climatica B).

Tabella 19 - Principali parametri climatici per i siti prescelti

Sito	Zona Climatica	Gradi Giorno Invernali	Temperatura esterna di progetto [°C]	Temperatura media mensile minima [°C]	Temperatura max estiva [°C]	Velocità media del vento [m/s]	Massima irradiazione solare media mensile [MJ/m <sup>2</sup> ]
<b>Milano</b>	E	2404	-5	1,7	31,9	1,1	16,5
<b>Roma</b>	D	1415	0	7,6	33,8	2,6	20,5
<b>Napoli</b>	C	1034	2	10,5	32,4	2,3	20,6
<b>Palermo</b>	B	751	5	11,1	32,6	3,6	21,6

### 2.4.5 Gestione

Tutti i parametri del calcolo energetico relativi al modello d'uso e al regime di utilizzo sono stati definiti nei valori tipici per un edificio scolastico rappresentativo del tipo considerato, in accordo alla norme tecniche di riferimento.

Per determinare i livelli di occupazione e i relativi periodi nel corso dell'anno si è fatto riferimento agli orari e ai livelli di affollamento tipici di una scuola media superiore di indirizzo assimilabile al tipo di un liceo scientifico/linguistico.

Inoltre si sono considerati gli orari di occupazione possibili per gli uffici amministrativi della scuola stessa e l'apertura nel pomeriggio di una porzione delle aule per attività didattiche dei corsi serali e/o di attività extrascolastiche della collettività, ospitate nell'edificio stesso.

Gli spazi della palestra vengono occupati in corrispondenza dello svolgimento delle attività didattiche dei corsi diurni ma non alla sera per attività sportive extrascolastiche.

Si è considerato che gli orari di apertura e l'occupazione descritti possono essere rappresentativi non solo per una scuola media superiore del tipo di un liceo scientifico/linguistico, ma anche di altre tipologie ed indirizzi di scuole che presentano regimi di occupazione simili.

Il non considerare l'apertura serale di una parte ridotta dell'edificio consente di valutare il fabbisogno di energia e le relative riduzioni, senza incorrere in stime eccessive. Allo stesso tempo, si è evitato di rappresentare nel modello di edificio regimi di occupazione poco diffusi e inusuali.

Il profilo di occupazione può essere desunto da quanto proposto da Conceicao, differenziando tra profilo per scuole con occupazione solo al mattino (8-13 per gli spazi per la didattica, 8-14 per gli spazi amministrativi) e profilo per scuole con occupazione anche pomeridiana (8-13 e 14-18 per gli spazi per la didattica, 8-17 per gli spazi amministrativi). Le ore sono considerate di 60 minuti e sono previsti 2 intervalli da 10 minuti a cavallo di seconda e terza ora e quarta e quinta ora (che risultano pertanto di soli 55 minuti). L'occupazione degli spazi per la didattica è nulla durante gli intervalli, dove invece diventa massima l'occupazione degli spazi di circolazione e comuni (corridoi). Nel corso della domenica non si svolgono attività nell'edificio, pertanto non risulta occupato.

In aggiunta, nel corso dell'anno si sono considerati i periodi di vacanza tipici della scuola, per le attività didattiche e assimilabili e per le relative attività amministrative. In tali periodi di vacanza si è considerata la struttura scolastica chiusa e quindi priva di occupazione rilevante. In particolare si sono considerati i seguenti principali periodi di vacanza:

- 8 Dicembre,

- periodo natalizio – dal 24 Dicembre al 6 Gennaio,
- periodo pasquale – dal 10 al 16 Aprile,
- 25 Aprile,
- 1 Maggio,
- 2 Giugno,
- periodo estivo di chiusura totale – dall'1 al 31 Agosto.

In particolare, per tutte le zone, l'occupazione della settimana tipo si ripete nei periodi non di vacanza dal 15 Settembre al 15 Giugno.

In aggiunta le zone del corpo di fabbrica amministrativo hanno occupazione durante tutto l'anno, ad eccezione dei periodi di vacanza elencati sopra. Questo è dovuto allo svolgersi delle attività degli esami a fine anno e delle attività amministrative. Le aule, hanno occupazione anche dal 15 Giugno al 31 Luglio, per lo svolgimento degli esami conclusivi e attività simili.

Nei periodi di apertura, nelle zone individuate si sono considerati i valori massimi di occupazione elencati di seguito concordemente con quanto fatto da altri autori [Pagliano et al., Calise]:

- nelle zone adibite principalmente all'attività didattica (aule, laboratori didattici, etc.): 9,7 m<sup>2</sup>/persona (Pagliano et al. propongono 6.27 m<sup>2</sup>/persona);
- nella zona adibita agli uffici amministrativi e agli ambienti per i solo insegnanti: un'occupazione massima di 30 persone per una presenza stimata di 0,103 persone/ m<sup>2</sup>;
- nella zona adibita a palestra scolastica: un'occupazione massima di 30 persone per una presenza stimata di 0,103 persone/ m<sup>2</sup>.

Il tasso metabolico delle persone viene individuato pari a 0,90 met, valido per persone sedute o in attività di studio o lettura.

Tali valori sono da considerare complessivi in ciascuna zona termica indicata, considerando anche le zone di servizio e comunicazione.

## 2.5 Risultati di simulazione

La costruzione dell'archetipo di edificio scolastico ha reso possibile effettuare la valutazione dei fabbisogni di energia per illuminazione artificiale e per riscaldamento della struttura di riferimento così definita. L'analisi viene condotta facendo variare di volta in volta l'orientazione delle finestre delle aule, per verificare le differenti condizioni e la diversa prestazione energetica, nonché le caratteristiche geometriche e architettoniche dell'edificio, e la sua collocazione urbanistica.

In particolare son condotte molteplici simulazioni nelle quali le seguenti variabili saranno fatte variare nella caratterizzazione dell'edificio archetipo:

1. Profilo d'uso:
  - 1.1.solo mattino (8-13)
  - 1.2.mattino e pomeriggio (8-17)
2. Caratteristiche di involucro
  - 2.1.ante 1945

2.2.1945-1976

2.3.realizzato secondo D.lgs. 192/05 e s.m.i.

3. Dimensioni aule

3.1.7 m x 7 m

3.2.9 m x 6 m

4. Rapporto superficie finestrata / superficie di pavimento

4.1. $A_w/A_f = 0,5$

4.2. $A_w/A_f = 0,33$

4.3. $A_w/A_f = 0,2$

5. Collocazione geografica

5.1.Torino

5.2.Roma

5.3.Napoli

5.4.Palermo

6. Contesto urbano

6.1.Centro città (solo per edifici ante 1945)

6.2.Contesto urbano a bassa densità

6.3.Periferia

Vengono così realizzate 1728 simulazioni da impostare sull'edificio archetipo di volta in volta differentemente caratterizzato.

Di seguito son in sequenza proposti i risultati più significativi desunti da questa attività.

La prima analisi che viene fatta vuole valutare il fabbisogno energetico per illuminazione artificiale medio delle scuole italiane, comparandolo con i dati reperibili in bibliografia.

Il valore di fabbisogno energetico medio per illuminazione in una scuola italiana è pari a  $2,28 \text{ kWh}_e/\text{m}^2$  ( $4,95 \text{ kWh}/\text{m}^2$  in energia primaria), utilizzando come superficie di normalizzazione tutta la superficie netta dell'edificio e non solo quella riscaldata. L'indice globale di prestazione energetica (illuminazione+riscaldamento) è pari a  $32,04 \text{ kWh}/\text{m}^2$ , che diventano  $48,89 \text{ kWh}/\text{m}^2$  se si effettua la normalizzazione con la superficie utile riscaldata, così come richiesto da legislazione italiana. I risultati così ottenuti indicano che l'illuminazione incide per il 15,46% sul fabbisogno energetico globale, valore coerente con quanto reperibile in bibliografia. Inoltre, il basso valore dell'indice di prestazione energetica per riscaldamento può spiegarsi con il fatto che 3 delle 4 città considerate sono caratterizzate da un clima non particolarmente rigido, e quindi tale indice andrebbe raffrontato con valori relativi a località con analoghe caratteristiche. Se ad esempio si compara questo dato con quanto proposto da Santamouris et al., si trova come i risultati siano molto vicini.

Successivamente si è passato ad analizzare il fabbisogno medio di una scuola collocata nei diversi climi (Torino,

Roma, Napoli, Palermo) e l'incidenza di tale dato sul totale. I risultati sono proposti nei grafici seguenti.

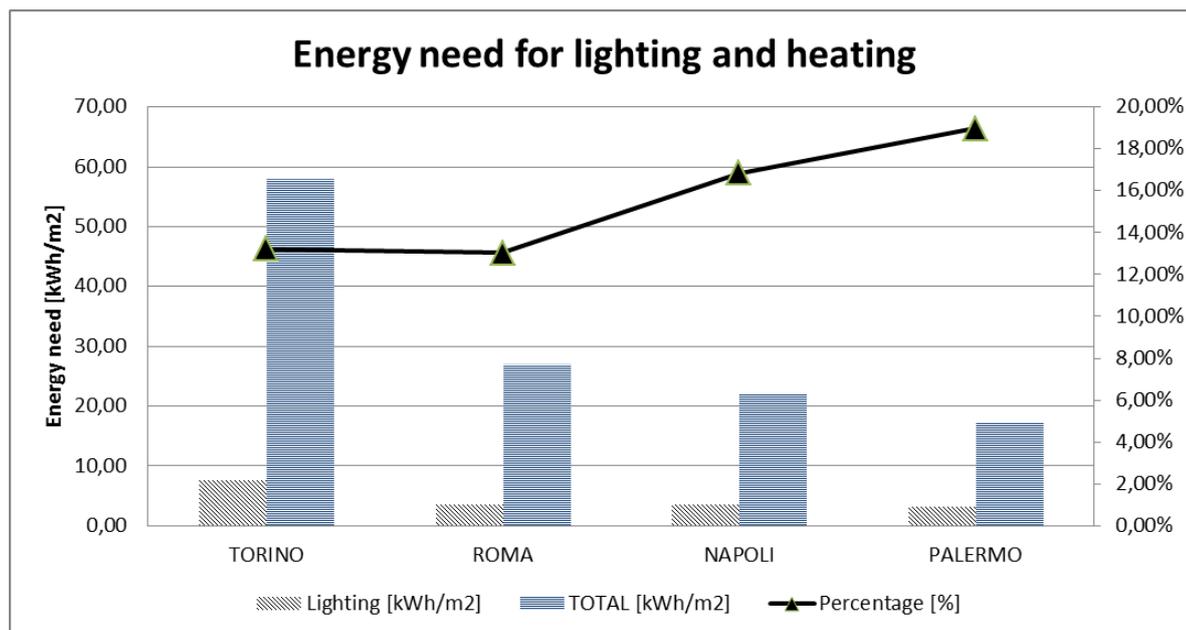


Figura 3 - Fabbisogni energetici medi nelle diverse località italiane

Si analizza poi la prestazione energetica degli stessi edifici caratterizzati da un profilo d'uso differente (solo mattino: profilo M1; mattino e pomeriggio: profilo M2), e l'incidenza della quota di illuminazione sul consumo globale.

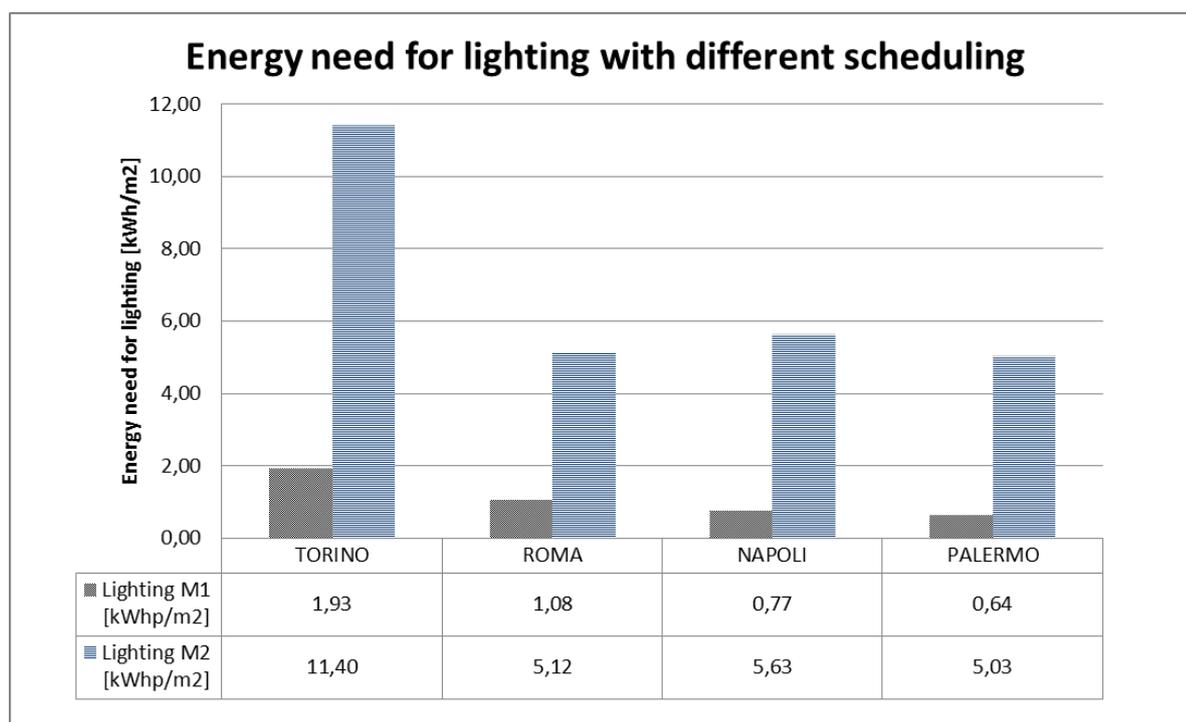


Figura 4 - Fabbisogno per illuminazione con differente profilo d'uso

Si nota immediatamente la grande differenza soprattutto per l'edificio collocato a Torino con i due profili d'uso. La differenza non è così marcata negli altri contesti climatici, dove il fabbisogno per illuminazione con profilo d'uso pomeridiano resta abbastanza costante. Se si analizza l'incidenza percentuale sul fabbisogno globale si

ottiene quanto riportato nel grafico seguente.

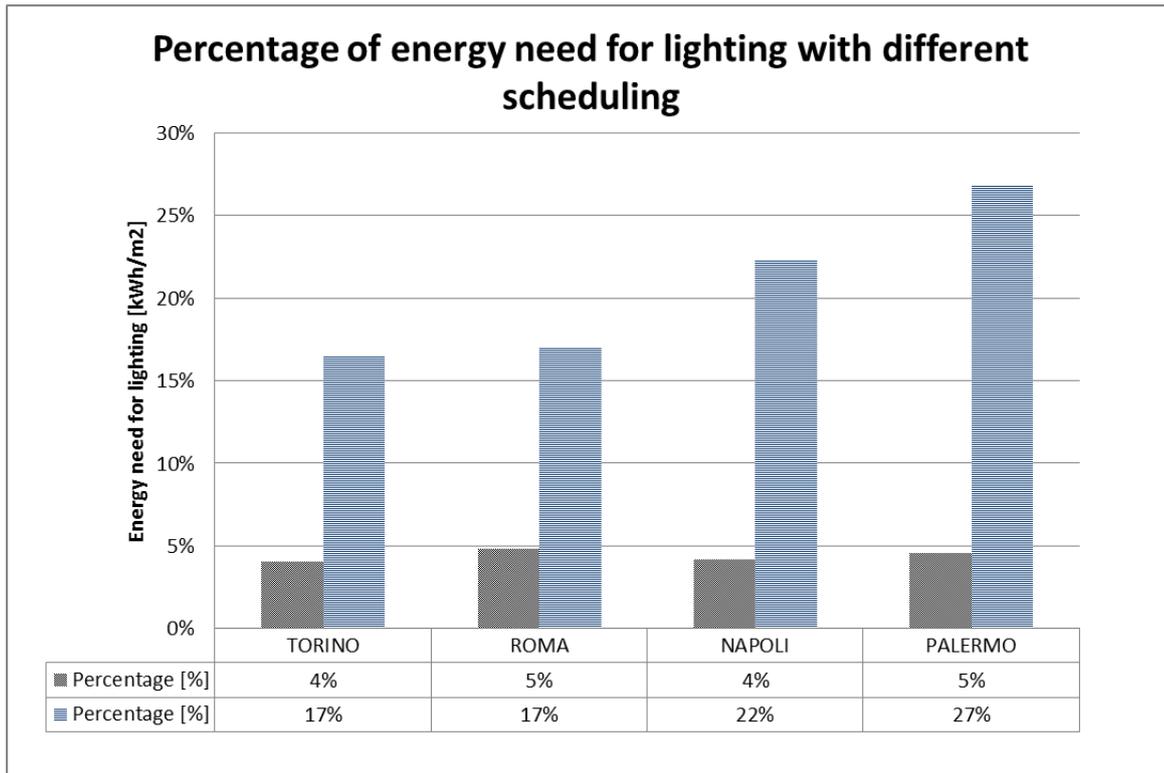


Figura 5 - Incidenza percentuale sul fabbisogno globale con differenti profili d'uso

Mentre con profilo d'uso solo mattutino l'incidenza percentuale resta comunque bassa, indipendentemente dal contesto climatico, col profilo d'uso pomeridiano l'incidenza percentuale del fabbisogno per illuminazione cresce man mano che il clima diventa meno rigido (e quindi il fabbisogno per climatizzazione tende a ridursi).

Si vuole poi valutare come vari il fabbisogno energetico facendo aumentare l'altezza delle superfici finestrate: si parte da un'altezza di 1,5 m (caso B1), poi 1,8 m (caso B2), infine 2 m (caso B3)

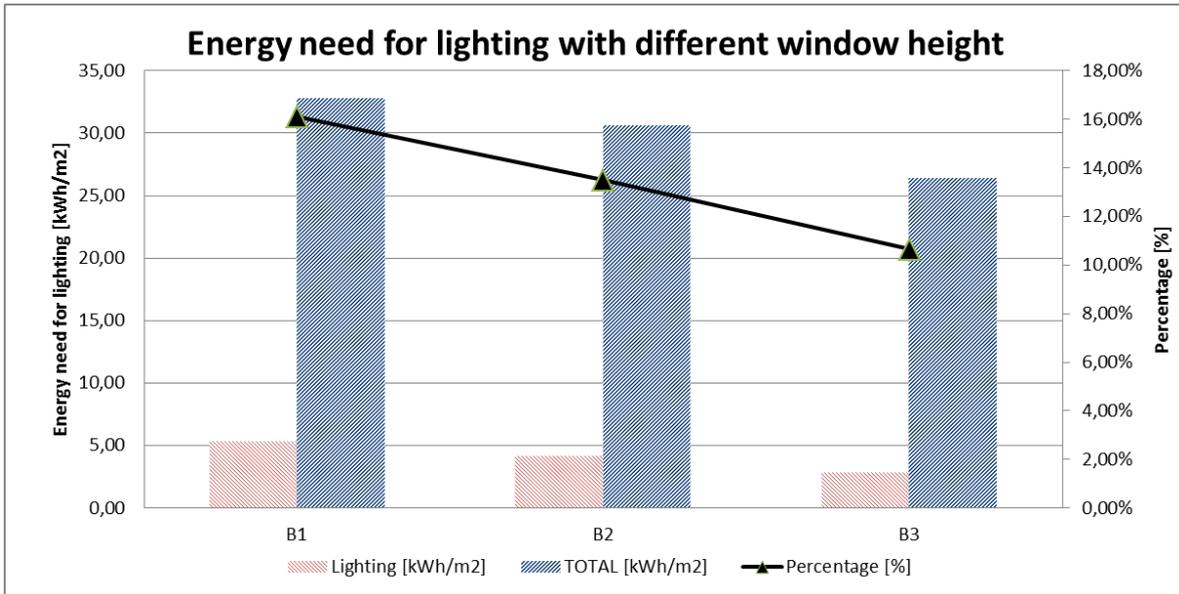


Figura 6 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diverse altezze della finestra

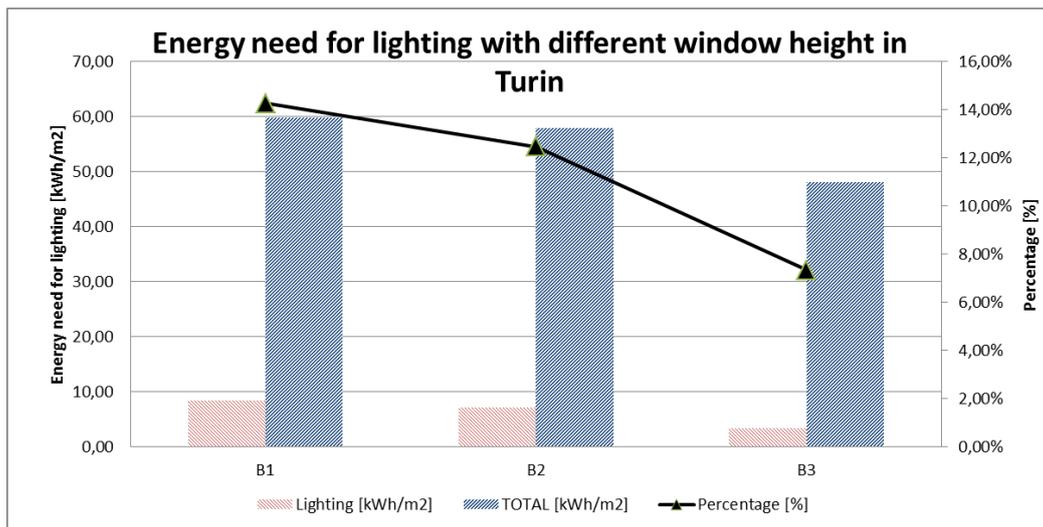


Figura 7 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diverse altezze della finestra in Torino

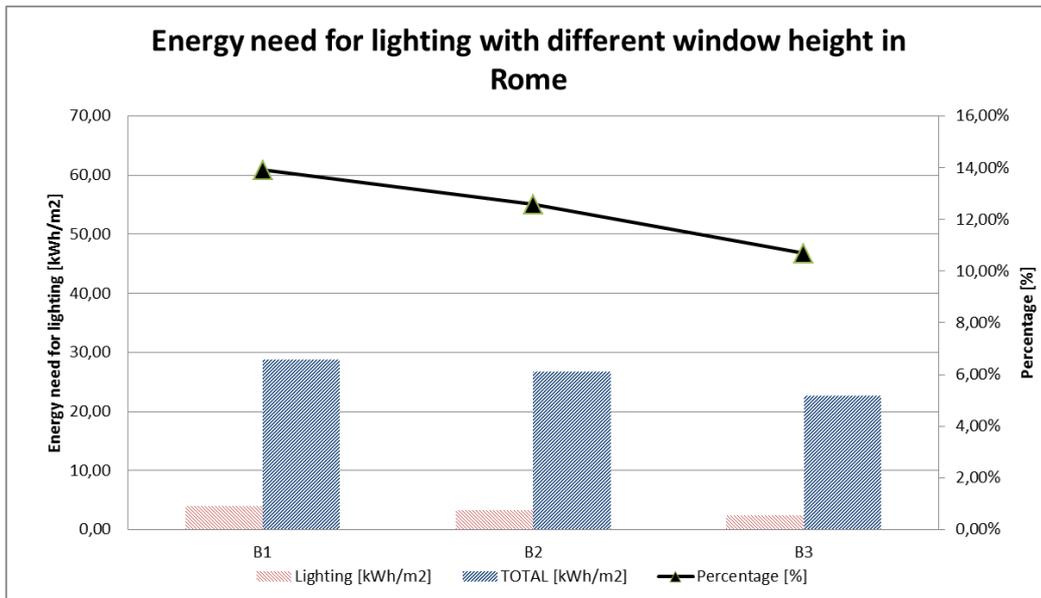


Figura 8 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diverse altezze della finestra in Roma

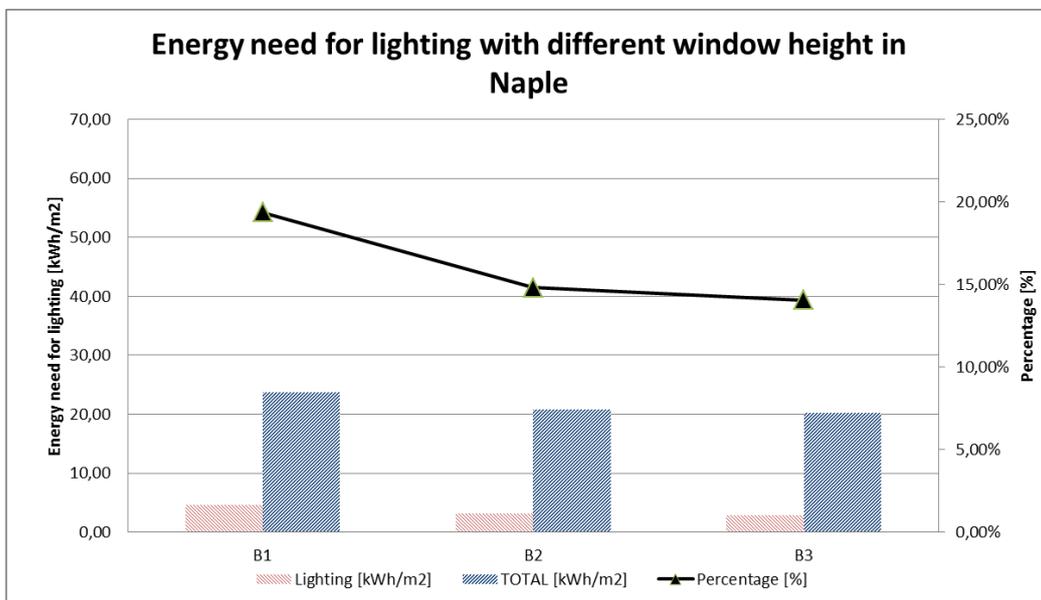


Figura 9 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diverse altezze della finestra in Napoli

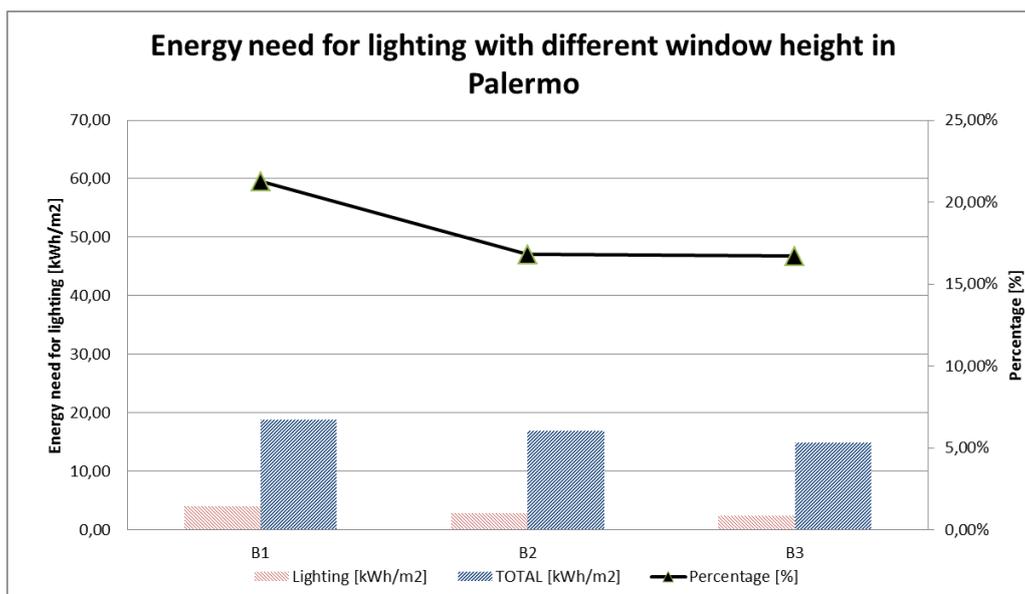


Figura 10 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diverse altezze della finestra in Palermo

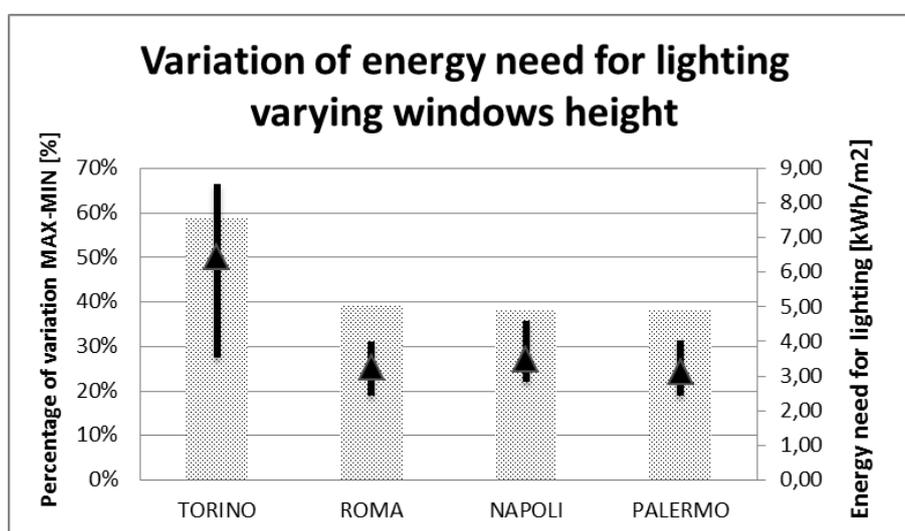


Figura 11 - Incidenza dell'altezza delle finestre sul fabbisogno per illuminazione

Dai grafici sopra riportati si evince come il fabbisogno di energia per illuminazione diminuisca all'aumentare dell'altezza delle finestre, cosa facilmente intuibile e già riscontrata in letteratura. Diminuisce anche l'incidenza sul fabbisogno globale, che però è sempre maggiore nei climi più miti (vedi Palermo e Napoli). Se si vuole analizzare quale sia l'incidenza della variabile "altezza della finestra" sul fabbisogno per illuminazione, si può riscontrare come questa sia maggiore nei climi più rigidi (Torino), dove genera una forte distanza (circa il 60%) tra valore minimo e valore massimo.

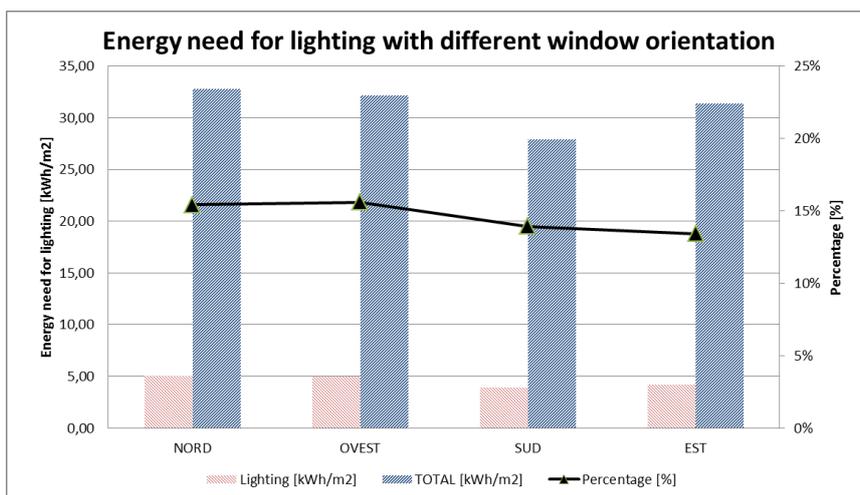


Figura 12 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diversa orientazione della finestra

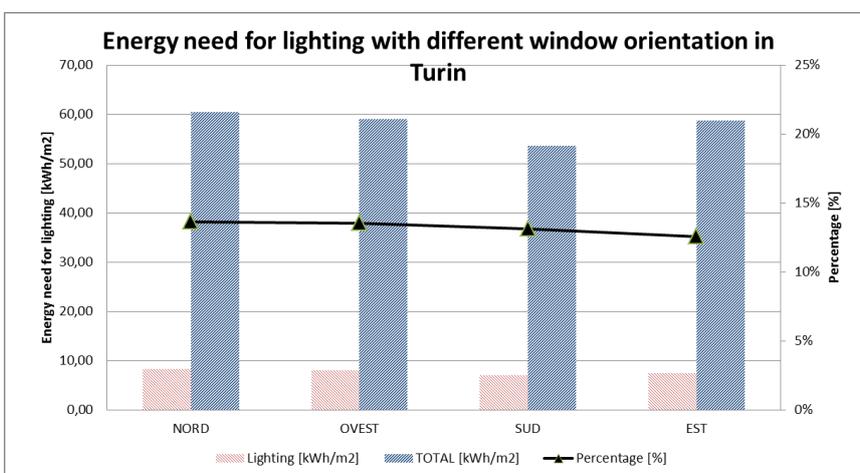


Figura 13 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diversa orientazione della finestra in Torino

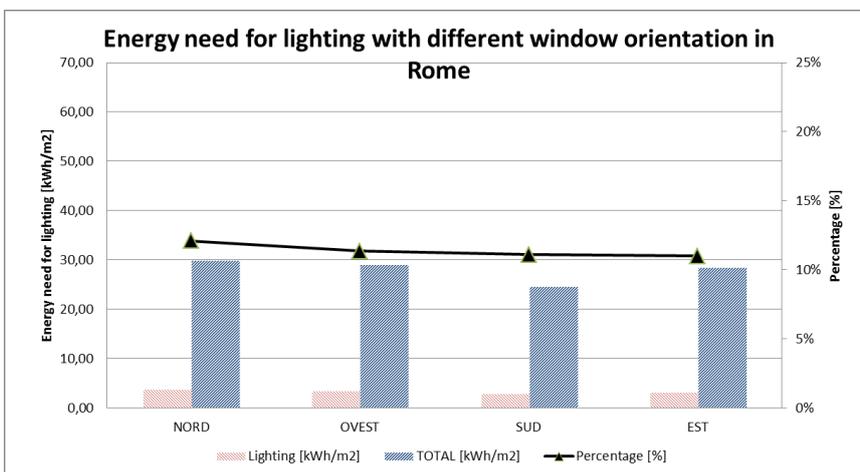


Figura 14 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diversa orientazione della finestra in Roma

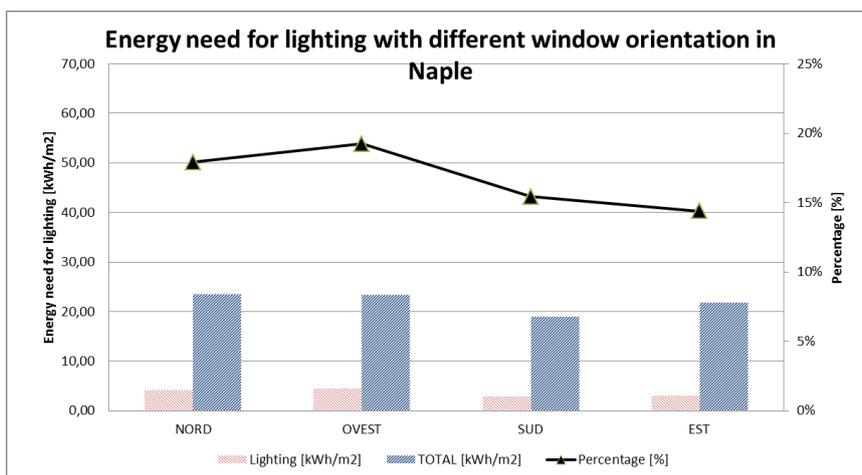


Figura 15 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diversa orientazione della finestra in Napoli

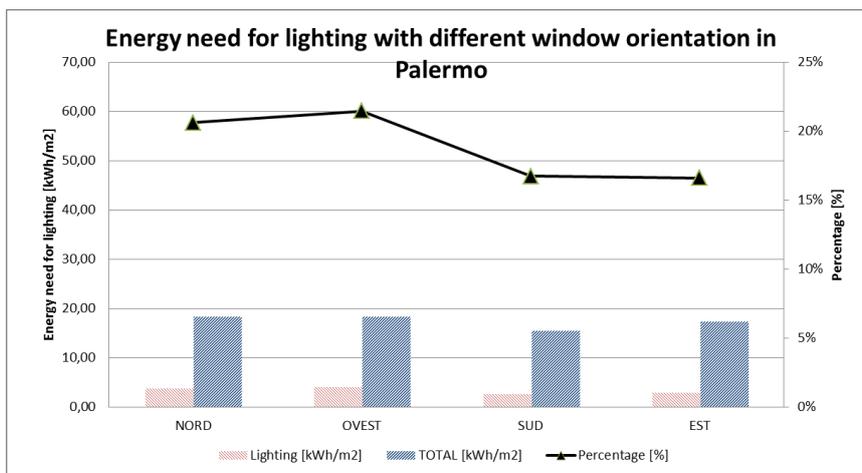


Figura 16 - Variazione del fabbisogno di energia per illuminazione per diversa orientazione della finestra in Palermo

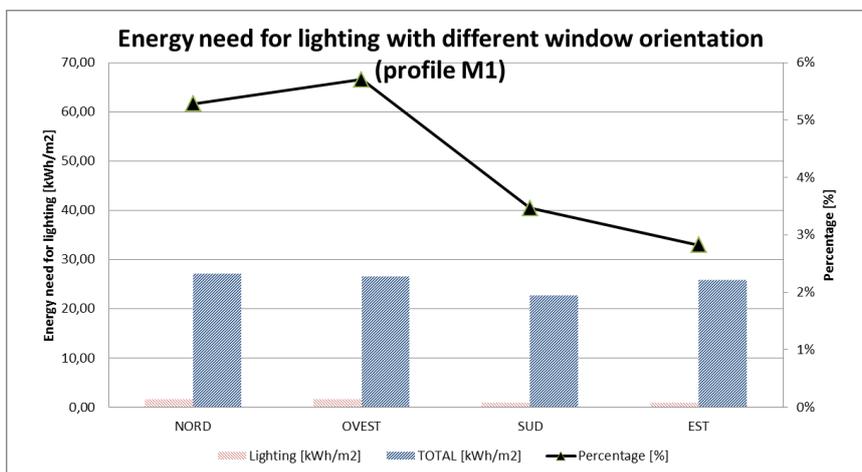


Figura 17 - Variazione del fabbisogno di energia per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso mattutino

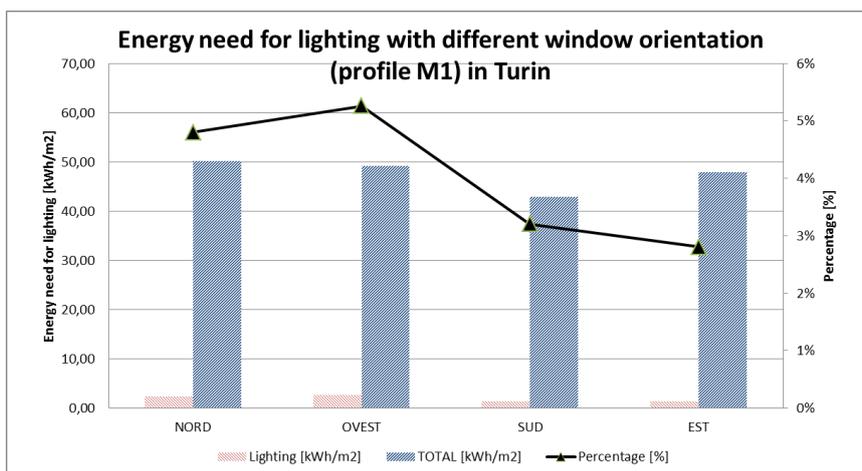


Figura 18 - Variazione del fabbisogno di energia a Torino per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso mattutino

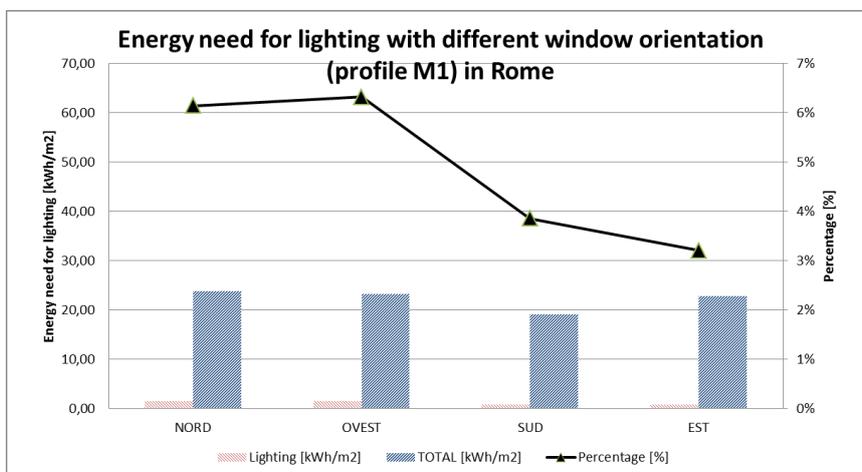


Figura 19 - Variazione del fabbisogno di energia a Roma per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso mattutino

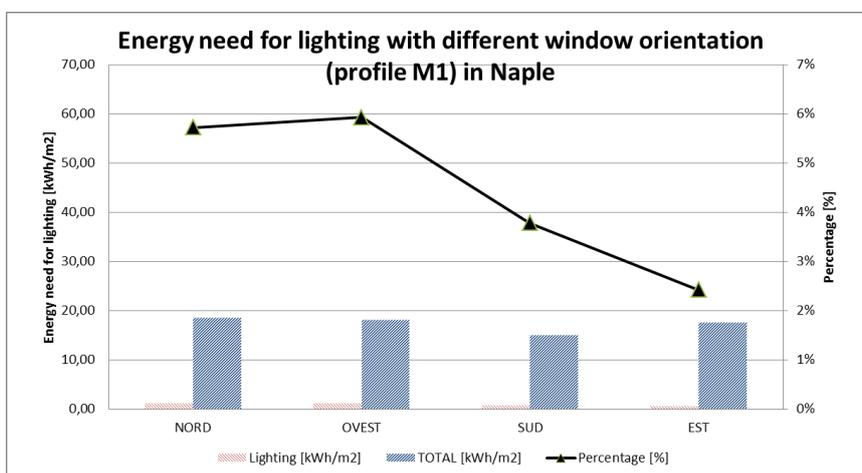


Figura 20 - Variazione del fabbisogno di energia a Napoli per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso mattutino

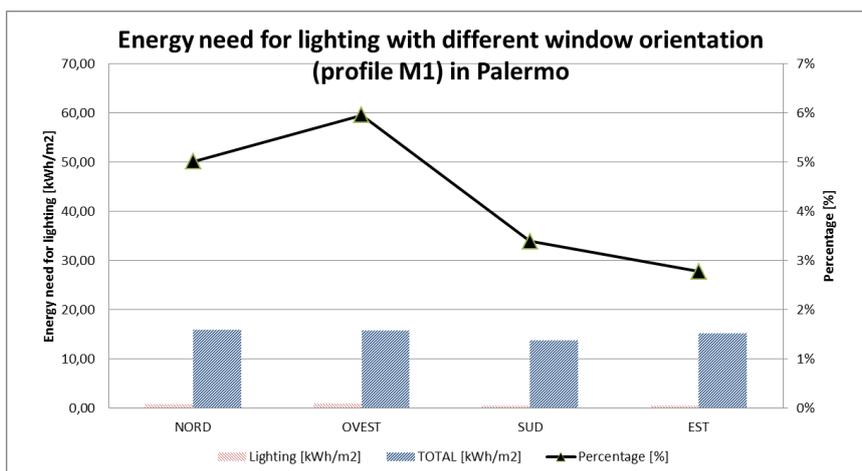


Figura 21 - Variazione del fabbisogno di energia a Palermo per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso mattutino

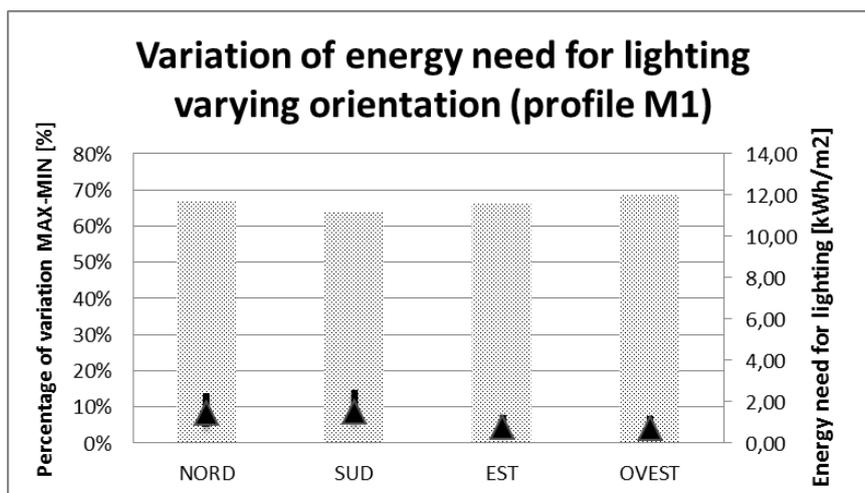


Figura 22 - Incidenza dell'orientamento con profilo d'uso mattutino

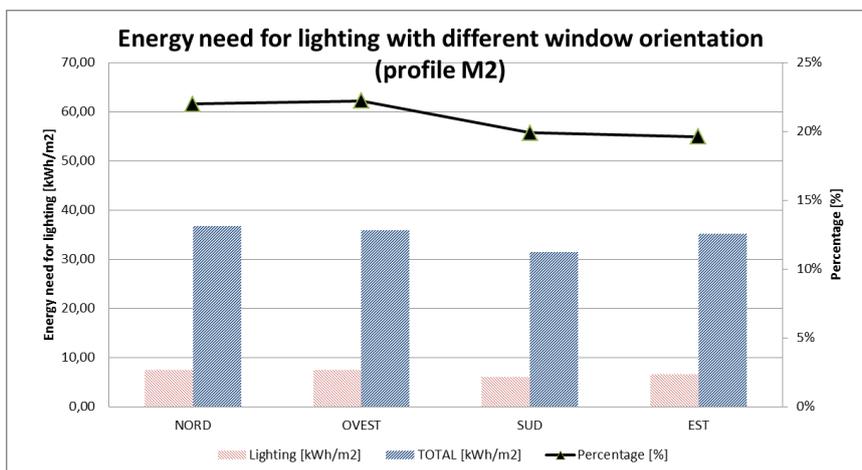


Figura 23 - Variazione del fabbisogno di energia per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso pomeridiano

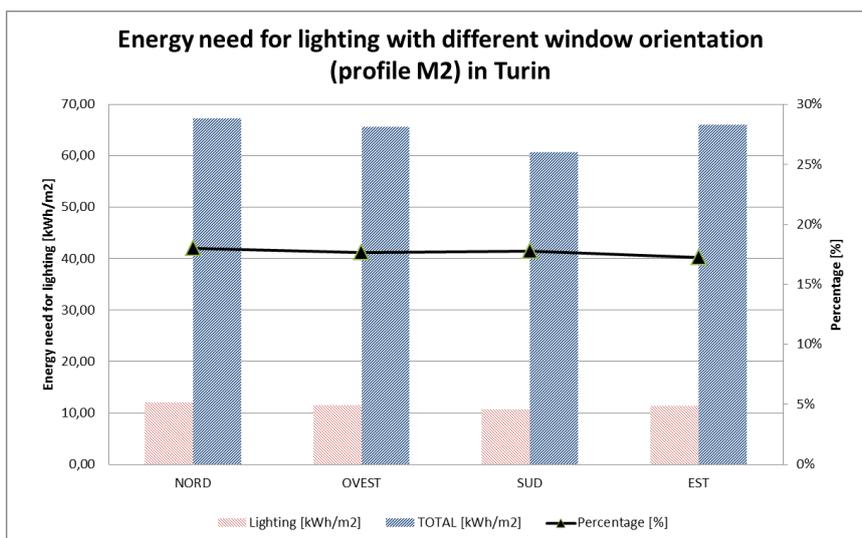


Figura 24 - Variazione del fabbisogno di energia a Torino per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso pomeridiano

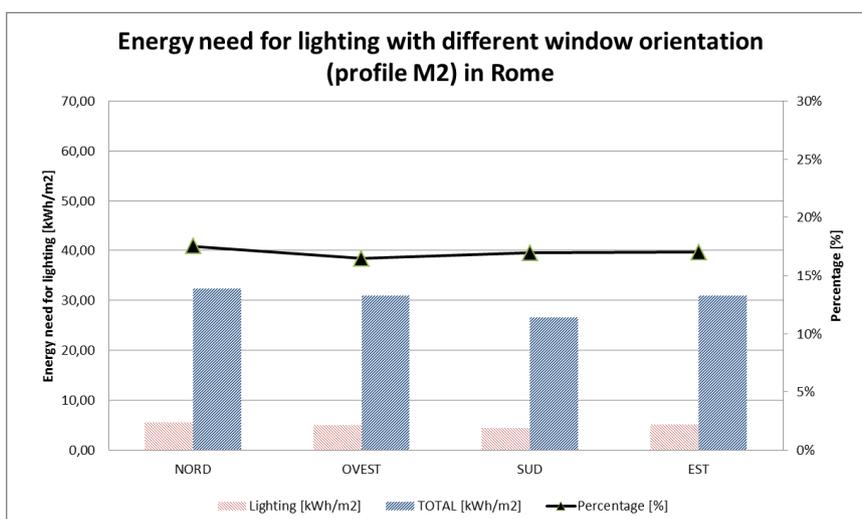


Figura 25 - Variazione del fabbisogno di energia a Roma per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso pomeridiano

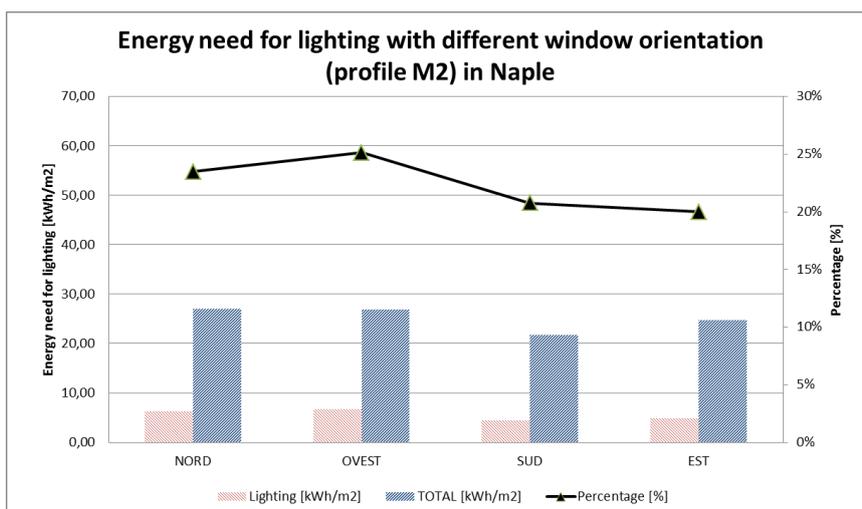


Figura 26 - Variazione del fabbisogno di energia a Napoli per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso pomeridiano

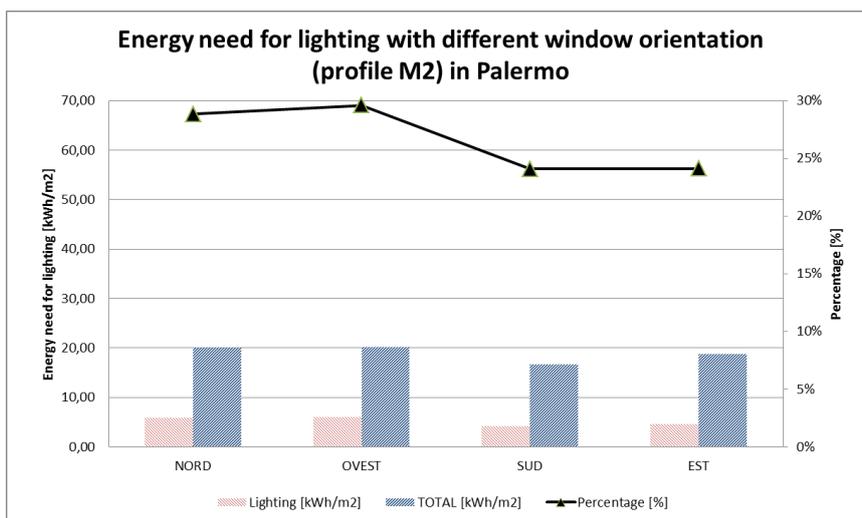


Figura 27 - Variazione del fabbisogno di energia a Palermo per diversa orientazione della finestra con profilo d'uso pomeridiano

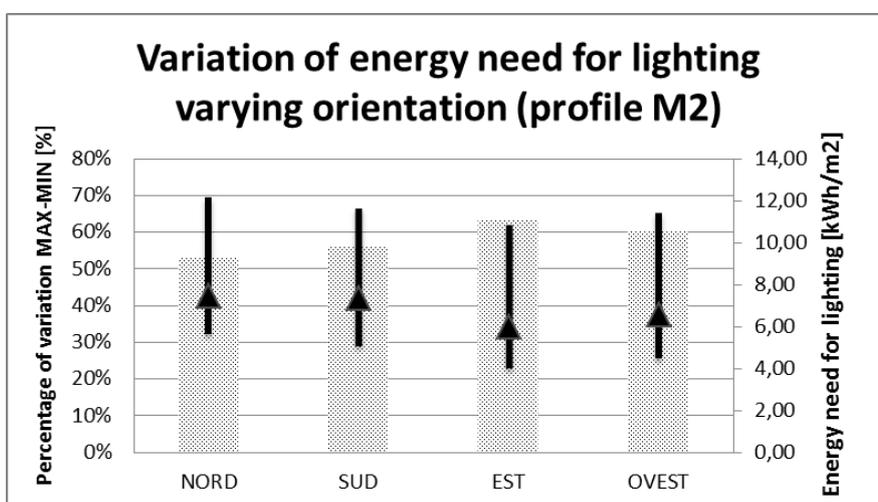


Figura 28 - Incidenza dell'orientamento con profilo d'uso pomeridiano

L'analisi del fabbisogno energetico per illuminazione che si ottiene con un diverso orientamento delle superfici finestrate, fa emergere come l'esposizione a sud sia quella che minimizza il dato, sia con profilo d'uso solo mattutino, sia con profilo d'uso esteso anche al pomeriggio. L'orientamento delle finestre ad ovest fornisce dati molto prossimi a quelli con finestre orientate ad est, ma comunque più alti in termini assoluti rispetto all'orientamento a sud. Nei climi più freddi l'incidenza del fabbisogno per illuminazione variando l'esposizione delle superfici finestrate si mantiene costante (12%-14% a Torino, 10%-11% a Roma) mentre più marcate sono le differenze spostandosi verso climi più miti. Le esposizioni a est, ovest e a nord risultano essere sostanzialmente analoghe per quanto riguarda il fabbisogno per illuminazione, ma non per l'incidenza sul totale: il fabbisogno per illuminazione resta alto e la sua incidenza sul totale aumenta con esposizione a ovest e nei climi più miti (Napoli e Palermo), poiché in tali siti diminuisce il fabbisogno totale di energia primaria, riducendosi le richieste di climatizzazione invernale. Alla luce di questo dato, risulta più conveniente l'esposizione a nord, dove non vi sono effetti di abbagliamento in quanto non vi è radiazione diretta, diversamente dal caso in cui le finestre siano esposte a est o ovest. Le percentuali di incidenza non variano in base all'esposizione con i differenti profili d'uso, ma sensibilmente diverso è il valore assoluto: il fabbisogno energetico per illuminazione è molto basso con profilo M1 e soprattutto per esposizione est e sud. L'esposizione delle superfici finestrate è una variabile che ha una certa incidenza sul fabbisogno energetico per illuminazione, in quanto genera una differenza tra il valore minimo ed il valore massimo riscontrabili nelle diverse scuole nei diversi climi. Tale variazione però con profilo M1 è numericamente poco significativa, mentre è sensibile per profilo d'uso M2 (dell'ordine di 7-8 kWh/m<sup>2</sup>

anno).

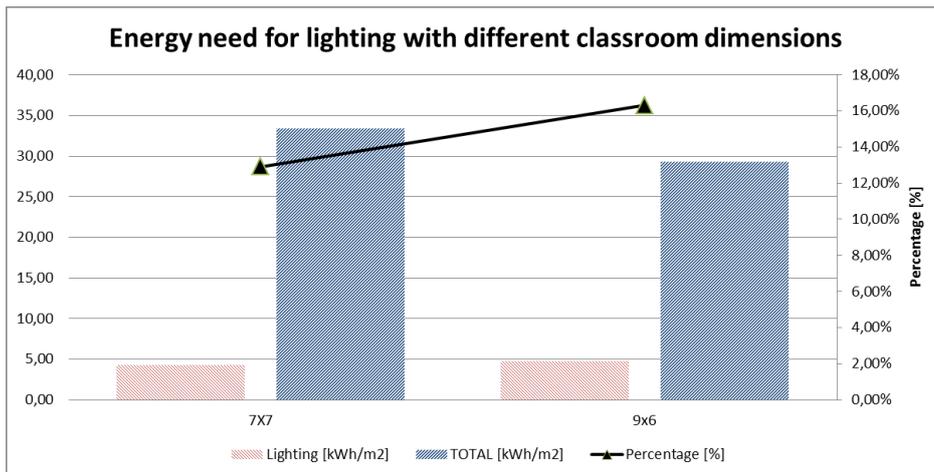


Figura 29 - Variazione del fabbisogno per differenti dimensioni delle aule

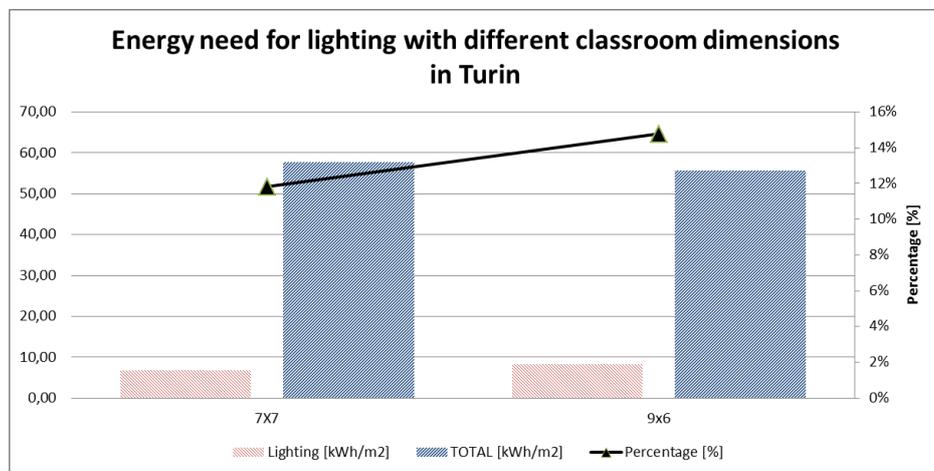


Figura 30 - Variazione del fabbisogno per differenti dimensioni delle aule a Torino

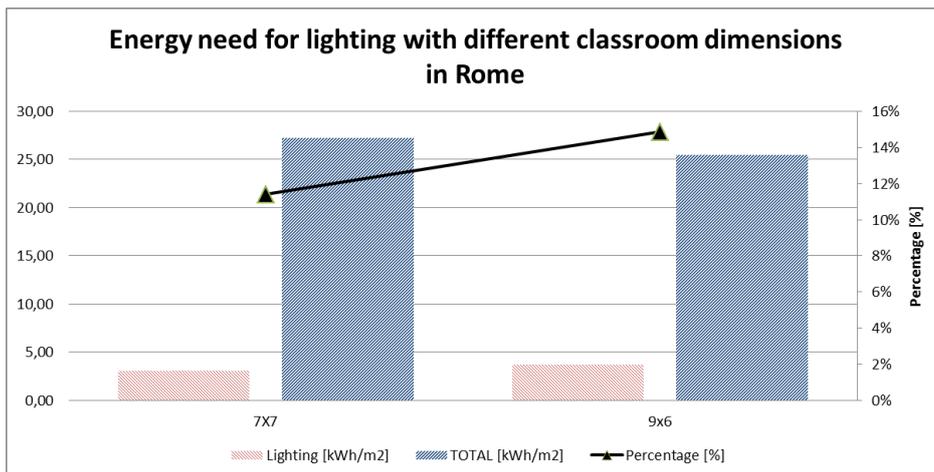


Figura 31 - Variazione del fabbisogno per differenti dimensioni delle aule a Roma

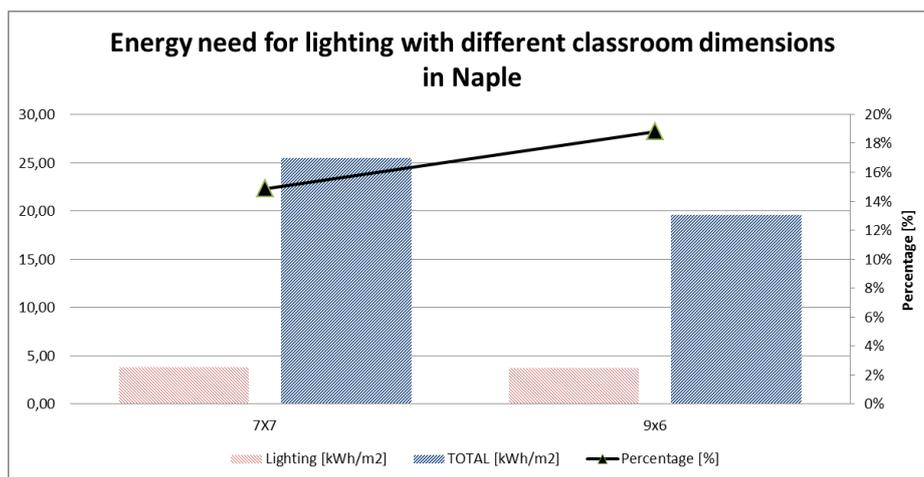


Figura 32 - Variazione del fabbisogno per differenti dimensioni delle aule a Napoli

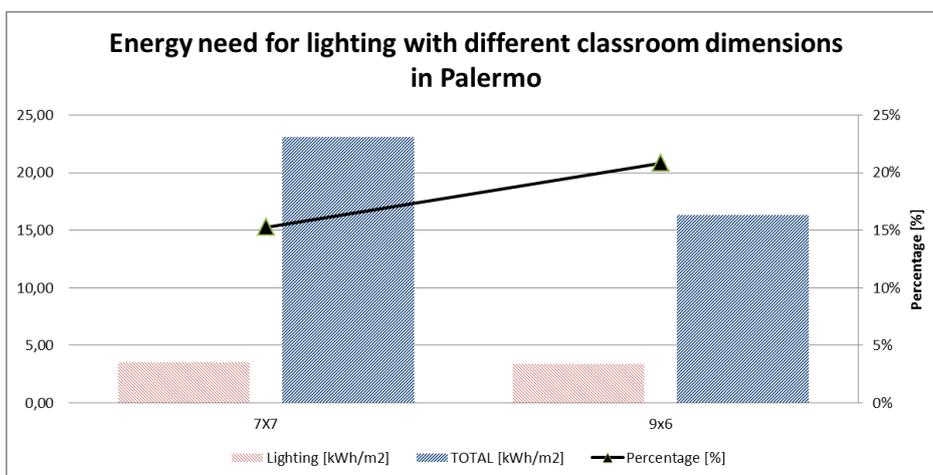


Figura 33 - Variazione del fabbisogno per differenti dimensioni delle aule a Palermo

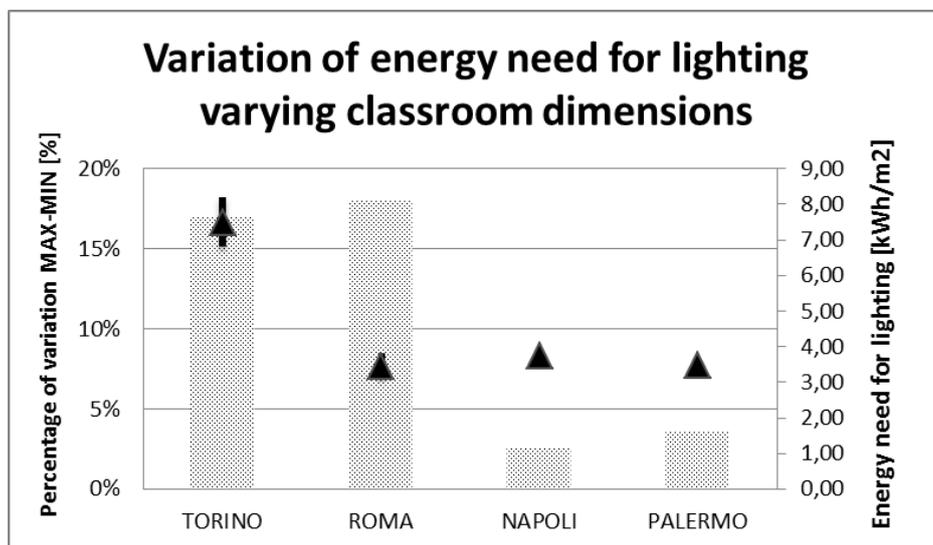


Figura 34 - Incidenza della dimensione delle aule scolastiche sul fabbisogno per illuminazione

Dai grafici sopra riportati risulta chiaro come l'incidenza sul fabbisogno per illuminazione delle dimensioni delle aule scolastiche sia molto bassa in tutti i casi considerati. Si rileva come in generale l'edificio con aule scolastiche di dimensioni 7 m x 7 m abbia un fabbisogno globale di energia primaria sempre superiore, ma tale fatto è collegato ad un maggior fabbisogno per climatizzazione invernale, poiché il fabbisogno energetico per illuminazione risulta essere pressoché invariato. L'incidenza maggiore si ha nei climi più freddi (16% tra valore

massimo e minimo a Torino, 8% a Roma) mentre è pressoché inconsistente per i climi più miti (Napoli e Palermo).

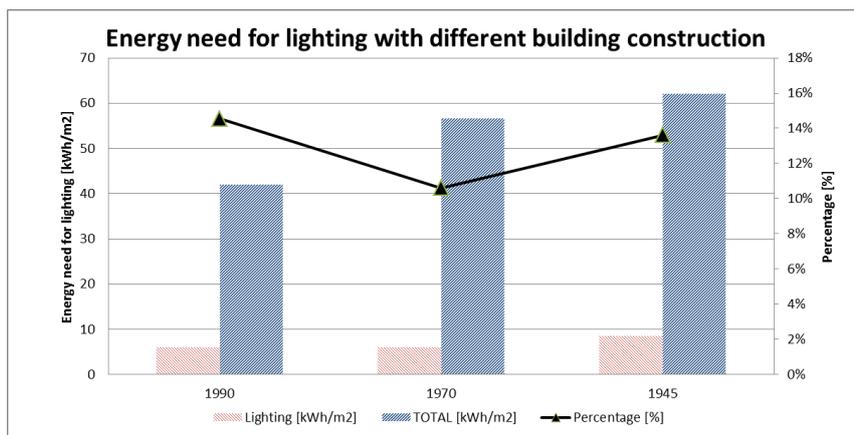


Figura 35 - Fabbisogno energetico per illuminazione in funzione delle differenti epoche di costruzione

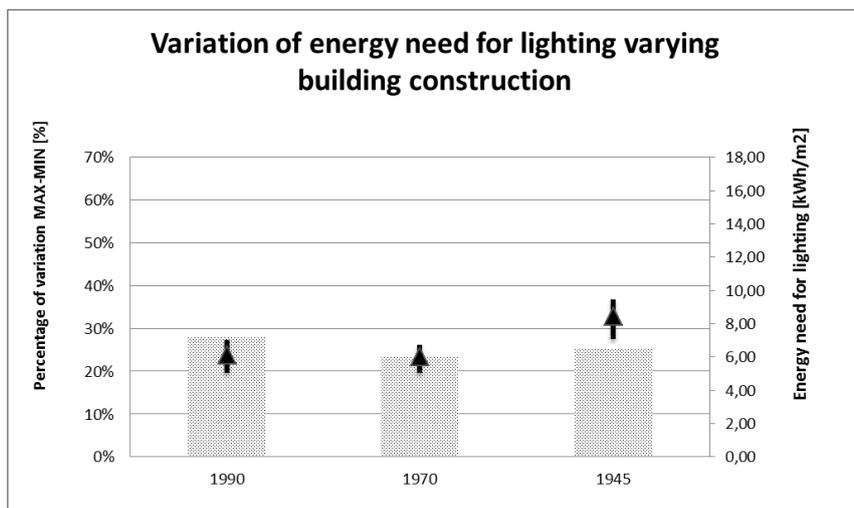


Figura 36 - Incidenza dell'epoca di costruzione sul fabbisogno energetico per illuminazione

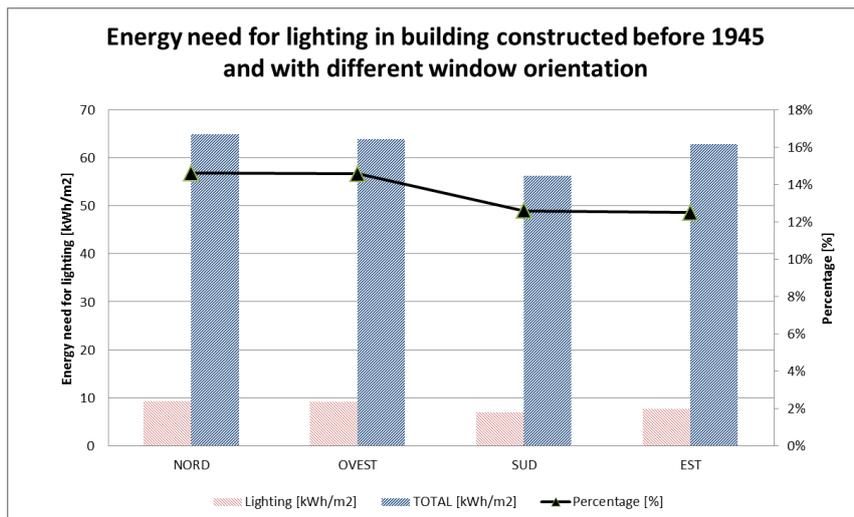


Figura 37 - Fabbisogno per illuminazione in edifici costruiti prima del 1945 con differente esposizione delle superfici finestrate

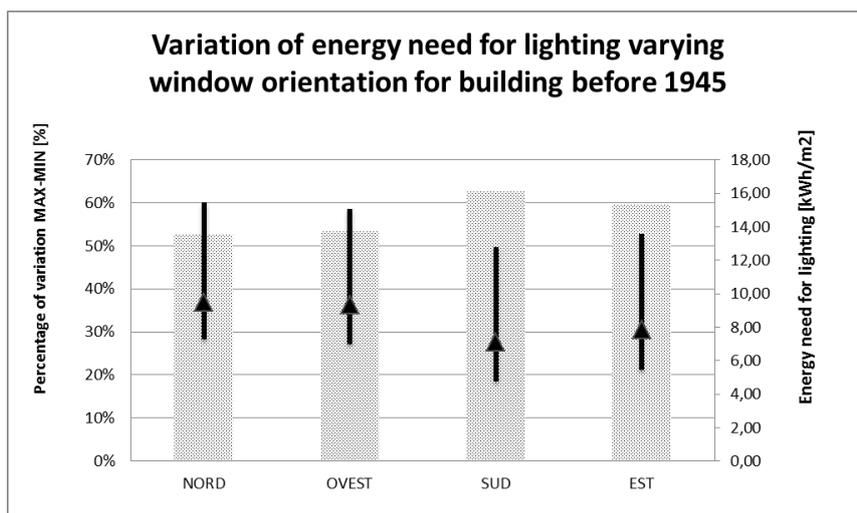


Figura 38 - Incidenza dell'orientazione delle finestre per edifici costruiti prima del 1945

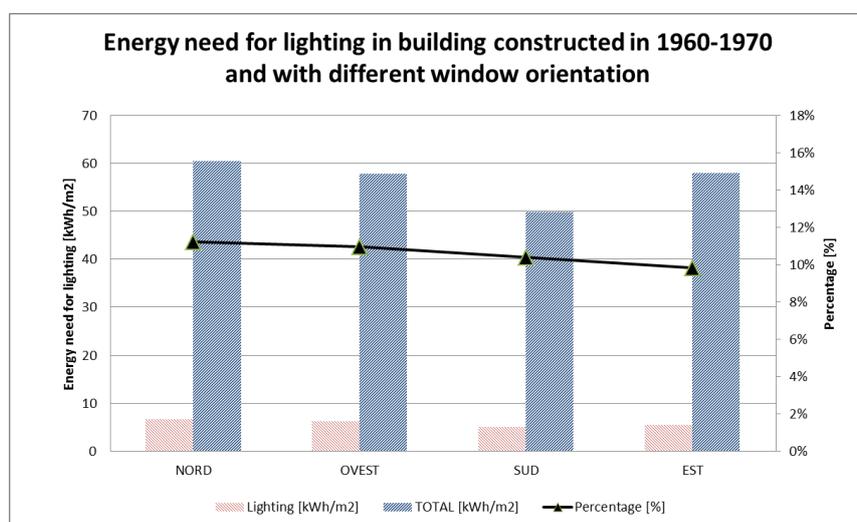


Figura 39 - Fabbisogno per illuminazione in edifici costruiti tra 1960 e 1970 con differente esposizione delle superfici finestrate

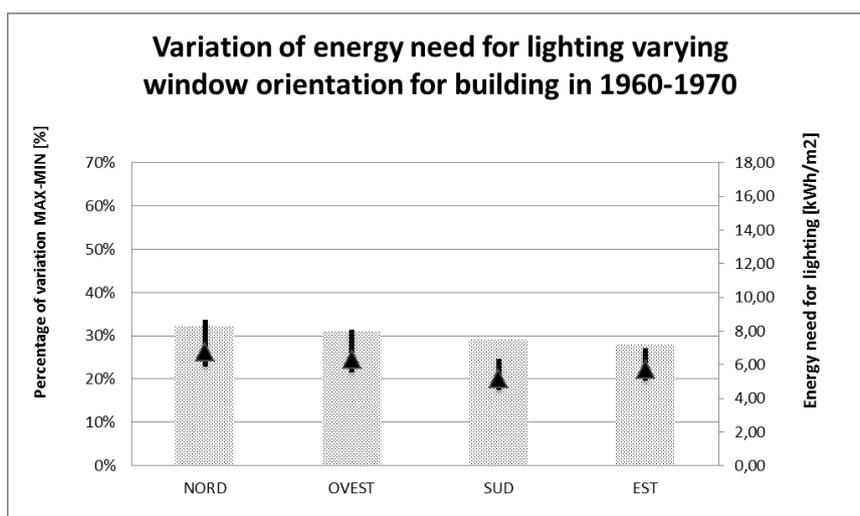


Figura 40 - Incidenza dell'orientazione delle finestre per edifici costruiti tra 1960 e 1970

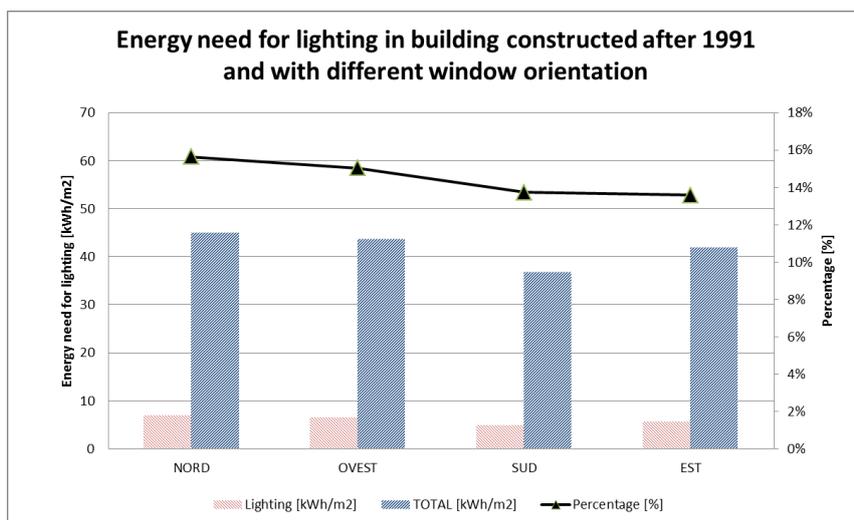


Figura 41 - Fabbisogno per illuminazione in edifici costruiti dopo il 1991 con differente esposizione delle superfici finestrate

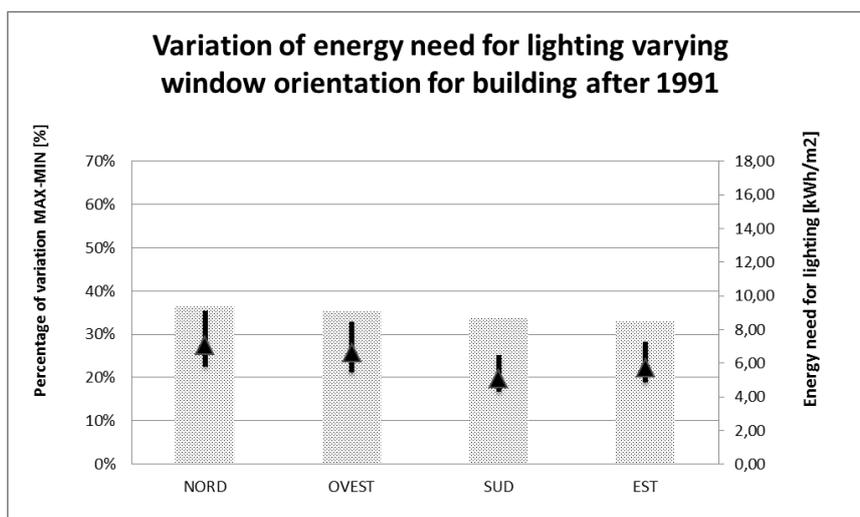


Figura 42 - Incidenza dell'orientazione delle finestre per edifici costruiti dopo il 1991

I grafici sopra riportati illustrano come l'epoca di costruzione abbia una effettiva influenza sulla determinazione del fabbisogno di energia per illuminazione solo quando si consideri edifici costruiti prima del 1945 e li si raffronti ad altri più recenti. In questi casi, la dimensione ridotta delle superfici finestrate di tali edifici rende maggiore in valore assoluto il fabbisogno specifico per illuminazione artificiale, rispetto ad edifici più recenti in cui le superfici vetrate più ampie garantiscono una maggior utilizzazione della luce naturale. Peraltro, negli edifici più recenti è maggiore l'incidenza sul totale del fabbisogno per illuminazione in quanto, grazie ad un sistema edificio-impianto più performante, risulta ridotto il fabbisogno di energia per climatizzazione invernale. Si è inoltre cercato di valutare se, per le diverse epoche di realizzazione, vi fosse un comportamento differente in base all'esposizione delle superfici finestrate. I risultati di tale indagine confermano quanto già emerso: l'esposizione delle superfici finestrate rappresenta una variabile significativa solo per edifici storici, costruiti prima del 1945, per i quali vi è una sensibile variazione (oltre il 50%) tra valore massimo e valore minimo riscontrabile. Per tutte le epoche storiche, l'esposizione energeticamente migliore risulta essere per le finestre quella a sud, immediatamente seguita da quelle ad est e ovest (pressoché identiche), mentre negli edifici con le finestre orientate ad est minore è l'incidenza della variabile "esposizione".

## 2.6 Bibliografia

- AA. VV., Standard funzionali e tecnologici per il sistema scolastico distrettuale, Aire, Angeli, Milano, 1977
- AA.VV., Manuale di progettazione edilizia Hoepli. Fondamenti, strumenti e norme. Volume 1, HOEPLI, 2002
- Achard, G., Franzetti, C., Binesti, D., Etude de l'influence de l'éclairage naturel et artificiel sur les besoins énergétiques globaux des batiments tertiaires, Vème Colloque interuniversitaire franco-quebecois, Lyon, 28–30 May 2001, pp. 463–470.
- Achard, G., Franzetti, C., Binesti, D., Simulation du besoin énergétique global des batiments: modélisation et validation expérimentale de la pénétration de la lumière naturelle IBPSA 2000 Proceedings, Sophia Antipolis, October 2000, pp. 8.
- Acocella, A., L'edilizia scolastica italiana del dopoguerra, Edilizia scolastica e culturale, n. 7, 1988, pp. 55-85
- Airoldi, R., Innovazione didattica e spaziale, Isedi, Milano 1977
- Al-Mumin, A., Khattab, O., Sridhar, G., Occupants' behaviour and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences, Energy and Buildings 35 (6) (2003) 549–559.
- Aloi, G., Scuole, Gorlich, Milano 1960
- Andra, N., Cantin, R., Guarracino G., Energy certification procedure for educational buildings, in: Proceedings of EPIC 2002 AIVC, Lion, France, 2002, p.25
- Ariaudo, F., *L'uso dell'energia in edifici esistenti a destinazione d'uso residenziale, scolastica e per uffici*, Tesi di Dottorato in Innovazione Tecnologica dell'Ambiente Costruito, Torino 2010
- Atif MR, Galasiu AD. Energy performance of daylight-linked automatic lighting control systems in large atrium spaces: report on two field-monitored case studies. Energy and Buildings 2003; 35(5):435–531.
- Baccino, T., Jaschinski, W., & Bussolon, J., Exploring the flicker effect: the influence of in-flight pulsations on saccadic control. Vision Research, 41, 3909–3916, 1999
- Bandi D., Bindi P., Morè “Audit energetico di edifici scolastici”, atti del convegno Nazionale AICARR / SAIE a Bologna, Ott. 2008, pag. 179 – 191
- Banham R., *Architettura della prima età della macchina*, Bologna, Calderini
- Berman, S. M., Greenhouse, D. S., Bailey, I. L., Clear, R. D., & Raasch, T. W., Human electroretinogram responses to video displays, fluorescent lighting, and other high-frequency sources. Optometry and Vision Science, 68(8), 645–662, 1991
- Berman, T., Purchasing and selecting school lighting. School Planning & management, 42(1), 21–22, 2003
- Berne P. Prediction of the concentration decay in a ventilated enclosure by the multi-zone model. In: RoomVent 1994—Fourth international conference on air distribution in rooms, Krakow, Poland.
- Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S., & Yee, R. W., Computer vision syndrome: a review. Survey of Ophthalmology, 50(3), 253–262, 2005
- Brundrett, G. W., Human sensitivity to flicker. Lighting Research and Technology, 6(3), 127–143, 1974
- Butala, V., Novak, P., Energy consumption and potential energy savings in old school buildings, Energy and

Building 1999;29:241-6

Calise, F., Thermoeconomic analysis and optimization of high efficiency solar heating and cooling systems for different Italian school buildings and climates, *Energy and Buildings* 2010;42: 992-1003

Carletti, C., Raddi, B., Sciarpi, F., Analisi energetica, economica ed ambientale di strategie di riqualificazione applicate ad edifici scolastici in atti del seminario “Prestazioni energetiche degli edifici e certificazione” Università degli studi di Pavia, 2007

Casoni, M., Zanoni, G., Un sistema edilizio per la scuola secondaria superiore, Facoltà di Architettura, Firenze 1981

Chasseraut, A., *L'Hygiène générale et appliquée* n° 9 del 1906

CIBSE, Code for lighting, London: CIBSE, 2004

CIBSE. (2004). Code for lighting. London: CIBSE.

Clanton, N., Lighting the school of the future. *School Planning and Management*, 38(12), 33–35, 199

Conceicao, E., Lucio, M., Numerical simulation of the shading effect verified in school buildings with complex topology in winter conditions. In: Fourth international conference on computational heat and mass transfer, Cachan-Paris, France, 17–20 May 2005.

Conceicao, E., Lucio, M., Thermal study of school buildings in winter conditions, *Building and Environment* 2008;43: 782-792

Conceicao, E., Numerical simulation of buildings thermal behaviour and human thermal comfort multi-node models. In: Building simulation 2003—Eighth International IBPSA conference. Eindhoven, Netherlands, August 2003. p. 11–4

Conceicao, E., Silva, A., Lucio, M., Numerical study of thermal response of school buildings in winter conditions, RoomVent 2004, Coimbra, Portugal, 2004

Corgnati S.P., Ariaudo, F., Fabrizio, E., Rollino, L., *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, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, Settembre 2010;

Corgnati, S.P., Bellone, T., Ariaudo, F., Previsione dei consumi per il riscaldamento ambientale di edifici esistenti con approccio statistico: il caso delle scuole, in: Proceedings of ATI Congress, 2009

Corgnati, S.P., Corrado, V., Energy assessment of heating consumption in existing school buildings: results of a field survey, *Research in Building Physics and Building Engineering*, Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Research in Building Physics IBPC 2006, Montreal, 2006

Corgnati, S.P., Corrado, V., Filippi, M., A method for heating consumption assessment in existing buildings: a field survey concerning 120 Italian schools, *Energy and Buildings* 2008;40: 801-809

Corgnati, S.P., Corrado, V., Filippi, M., Maga, C., Energy demand for space heating in existing school buildings: results of a field survey, in: Proceedings of Indoor Climate of Buildings, 2004

Corgnati, S.P., Corrado, V., Maga, C., A methodology for energy assessment of existing buildings using the metered energy consumption, Plea2004 – The 21<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Eindhoven, 2004

- Corgnati, S.P., Fabrizio, E., Filippi, M., The impact of indoor thermal conditions, system controls and building types on the building energy demand, *Energy and buildings* 2008;40: 627-636
- Corgnati, S.P., Filippi, M., Maga, C., Energy certification of existing buildings: comparison between actual and calculated energy demand for space heating, *CLIMAMED 2005*, International Conference, Madrid, 2005
- Csikszentmihalyi (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper and Row.
- D. Lgs 30 maggio 2008, n. 115 di attuazione della direttiva europea 2006/32/CE relativa all'efficienza energetica degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE. In G.U. n. 154 del 3 Luglio 2008.
- D.M. della Pubblica Istruzione 18 dicembre 1975
- d'Ambrosio Alfano, F.R., Ianniello, E., Palella, B.I., Riccio, G., Thermal comfort design in indoor environments: a comparison between EU and USA approaches, in: *Proceedings of the Healthy Buildings*, vol. 2, 2006, pp. 1-6.
- Dakin, E. R. G., Hargroves, R. A., Ruddock, K. H., & Simons, A. H., Visual sensitivity to physiologically high frequency flicker. Paper presented at the 1994 CIBSE National Lighting Conference, UK, 1994
- Dal Nord R., Note sull'attività dell'Osservatorio permanente per l'edilizia scolastica, *Edilizia scolastica e culturale*, n. 9, 1988, pp. 92-96
- de Dear, R.J., Brager, G.S., Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Transactions* 104 (1A) (1998) 145-167.
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 616 del 1977
- Depecker, P., Achard, G., Vers une approche globale de la climatisation des batiments, *Journée SFT Génie Climatique*, Paris, 1997, pp. 12.
- Desideri, U., Proietti, S., Analysis of energy consumption in the high schools of a province of Central Italy, *Energy and Building* 2002;34: 1003-1016
- DfEE. (1999). *Lighting design for schools*, Vol. 90. London: The Stationery Office.
- DfEE. *Lighting design for schools*, Vol. 90. London: The Stationery Office, 1999
- DfES. (2004). *Guidance for the interactive whiteboards funding 2004-2005: Aims of the initiative*. London: DfES.
- DfES. *Guidance for the interactive whiteboards funding 2004-2005: Aims of the initiative*. London: DfES, 2004
- Dimoudi, A., Kostarela, P., Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece, *Renewable Energy* 2009-34, 289-296
- Dimoudi, A., Kostarela, P., Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece, *Renewable Energy*, 2009;34: 289-296
- Dinsmore, T. S., *Classroom management*. Michigan, USA, 2003
- Direttiva Europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica in edilizia (rifusione)
- Doulos L, Tsangrassoulis A, Topalis F. Quantifying energy savings in daylight responsive systems: the role of

dimming electronic ballasts. *Energy and Buildings* 2008;40:36–50

Dyck, J. (2002). The built environment's effect on learning: applying current research. *Montessori Life*, 14(1), 53-56.

Dyck, J., The built environment's effect on learning: applying current research. *Montessori Life*, 14(1), 53–56, 2002

EC-DG TREN. The guide to sustainable energy solutions for schools. ENERGIE Publication – European Commission. Produced by Energie-Cites. Besancon, France; 2002

Elsayed, M.A., Grant J.F., Mortimer, N.D., Energy use in the United Kingdom non domestic building stock: 2002 Catalogue of Results, 2002

Estes, R. C., Quality lighting for the learning environment. *School Business Affairs*, 50(1), 44–45, 1984

European Union, Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, *Official Journal of the European Communities*, January 4, 2003.

Eysel, U. T., & Burandt, U., Fluorescent tube light evokes flicker responses in visual neurons. *Vision Research*, 24(9), 943–948, 1984

Fanger, P.O., *Thermal Comfort Analyses and Applications in Environmental Engineering*, McGraw-Hill, London, 1970.

Fenton, D. M., & Penney, R. (1985). The effects of fluorescent and incandescent lighting on the repetitive behaviours of autistic and intellectually handicapped children. *Australia and New Zealand Journal of Developmental Disabilities*, 11(3), 137-141.

Fenton, D. M., & Penney, R., The effects of fluorescent and incandescent lighting on the repetitive behaviours of autistic and intellectually handicapped children. *Australia and New Zealand Journal of Developmental Disabilities*, 11(3), 137–141, 1985

Filippi, M., Corgnati, S.P., Ansaldi, R., Verso la certificazione della qualità dell'ambiente interno [Towards the certification of the indoor environment quality], in: *Proceedings of the AiCARR Italian Congress "Gli impianti nell'edilizia eco-sostenibile e bio-compatibile"*, Bologna, October 13, 2005, pp. 153–163 (in Italian).

Filippi, M., Corgnati, S.P., Causone, F., Tala, N., Raimondo, D., Fabi, V., *Annex 53- IEA "Total energy use in buildings - Analysis and evaluation methods"*, Report RdS/2010/27, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010

Filippin C., Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. *Building and Environment* 2000;35: 407-14

Fisher, R. S., Harding, G., Erba, G., Barkley, G. L., & Wilkins, A. (2005). Photic- and pattern-induced seizures: a review for the epilepsy foundation of America working group. *Epilepsia*, 46(9), 1426-1441.

Fisher, R. S., Harding, G., Erba, G., Barkley, G. L., & Wilkins, A., Photic- and pattern-induced seizures: a review for the epilepsy foundation of America working group. *Epilepsia*, 46(9), 1426–1441, 2005

Franconi, E, Rubinstein F. Considering Lighting System Performance and HVAC Interactions in Lighting Retrofit Analysis. Presented at 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting in Houston, Texas; published in IAS Conference Record, vol. II, October 1992:1858–1867

- Franzetti, C., Achard, G., Binesti, D., Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings, *Energy and Buildings* 2004;36: 117-126
- Franzetti, C., Etude de l'influence de la complémentarité entre l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel sur le comportement thermique des bâtiments tertiaires, Thèse Université de Savoie, March 2001, pp. 213
- Gaitani, N., Lehmann, C., Santamouris, M., Mihalakakou, G., Patargias, P., Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector, *Applied energy* 2010;87: 2019-86
- Galasiu, A. D., & Veitch, J. A., Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review, *Energy and Buildings*, 38(7), 728–742, 2006
- Ghisi E, Tinker JA. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. *Building Environment* 2005;40(1):51–61
- Government of Ireland, Building Regulations 2005-Technical Guidance Document L—Conservation of Fuel and Energy, Dublin Stationery Office, 2006.
- GPG343 Good Practice Guide, Saving Energy - A Whole School Approach, The Carbon Trust, UK, 2005.
- Guerracino S., Ortoleva P., Revelli M., Storia dell'età moderna. Dall'Assolutismo alla nascita delle Nazioni, Milano , Mondatori 1993
- Hall, I., & Higgins, S., Primary school students' perceptions of interactive whiteboards. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(2), 102–117, 2005
- Hanqing, W., Chunhua, H., Zhiqiang, L., Guangfa, T., Yingyun, L., Zhiyong, W., Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air conditioned buildings, *Building and Environment* 41 (11) (2006) 1522–1529.
- Hanqing, W., Chunhua, H., Zhiqiang, L., Guangfa, T., Yingyun, L., Zhiyong, W., Dynamic evaluation of thermal comfort environment of airconditioned buildings, *Building and Environment* 41 (11) (2006) 1522–1529
- Harle, D. E., Shepherd, A. J., & Evans, B. J. W., Visual stimuli are common triggers of migraine and are associated with pattern glare. *Headache*, 46, 1431–1440, 2006
- Hathaway, W. E. (1983). Lights, windows, color: elements of the school environment. In 59th Annual meeting of the Council of Educational Facility Planners (p. 28). Alberta, Canada.
- Hathaway, W. E. (1994). Non-visual effects of classroom lighting on children. *Educational Facility Planner*, 32(3), 12-16.
- Hathaway, W. E., Lights, windows, color: elements of the school environment. In 59th Annual meeting of the Council of Educational Facility Planners (p. 28). Alberta, Canada, 1983
- Hathaway, W. E., Non-visual effects of classroom lighting on children. *Educational Facility Planner*, 32(3), 12–16, 1994
- Heating, CIBSE Guide B1, The Chartered Institute of Building Services Engineers, London, 2002.
- Hernandez, P., Burke, K., Owen Lewis, J., Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: an example for Irish primary schools, *Energy and Buildings* 2008;40: 249-254
- Heschong, L., & Knecht, C. (2002). Daylighting makes a difference. *Educational Facility Planner*, 37(2), 5-14.

- Heschong, L., & Knecht, C., Daylighting makes a difference. *Educational Facility Planner*, 37(2), 5–14, 2002
- Heschong, L., Mahone, D., Kuttaiah, K., Stone, N., Chappell, C., McHugh, J., et al. (1999). *Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance*. San Francisco: Pacific Gas and Electric Company.
- Heschong, L., Mahone, D., Kuttaiah, K., Stone, N., Chappell, C., McHugh, J., et al., *Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance*. San Francisco: Pacific Gas and Electric Company, 1999 .
- Holz, R., Hourigan, A., Sloop, R., Monkman, P., Krarti, M., Effects of standard energy conserving measures on thermal comfort, *Building and Environment* 32 (1) (1997) 31–43.
- Holz, R., Hourigan, A., Sloop, R., Monkman, P., Krarti, M., Effects of standard energy conserving measures on thermal comfort, *Building and Environment* 32 (1) (1997) 31–43.
- Ihm, P., Nemri, A., Krarti, M., Estimation of lighting energy savings from daylighting. *Building and Environment* 2009;44(3):509–14
- Jaen, M., & Kirschbaum, C. F., Flicker and visual performance: a psychological experiment with fluorescent lamps. *Perception*, 30, 60–61, 2001
- Jaen, M., Sandoval, J., Colombo, E., & Troscianko, T., Office workers' visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting. *Leukos*, 1(4), 27–46, 2005
- Johnson K. Energy policies in action. *Lighting Design + Application*, September 1996:8–11
- K. Aernouts, K. Jespers, *Bijlage bij de energiebalans vlaanderen 2000: Onafhankelijke methode, Energiekengetallen van de tertiaire sector in Vlaanderen 2000*, VITO, Editor, 2002.
- Kalz, D.E.S.H., Wagner, A., The impact of auxiliary energy on the efficiency of the heating and cooling system: monitoring of low energy-buildings, *Energy and Buildings*, 2009;41: 1019-1030
- Karlsson, F., Moshfegh, B., Energy demand and indoor climate in a low energy building—changed control strategies and boundary conditions, *Energy and Buildings* 38 (4) (2006) 315–326.
- Karyono, T.H., Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta—Indonesia, *Building and Environment* 35 (1) (2000) 77–90.
- Karyono, T.H., Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta—Indonesia, *Building and Environment* 35 (1) (2000) 77–90
- Kim SY, Mistrick R. Recommended daylight conditions for photosensor system calibration in a small office. *Journal of the Illuminating Engineering Society* summer 2001;30(2):176–88.
- Kim, W., & Koga, Y., Glare constant  $G_w$  for the evaluation of discomfort glare from windows. *Solar Energy*, 78(1), 105–111, 2005
- Knight IP. Measured energy savings due to photocell control of individual luminaires. *Lighting Research and Technology* 1999;31(1):19–22.
- Krarti M, Erickson PM, Hillman TC. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building Environment* 2005;40(6):747–54

- Krarti M. *Energy audit of building systems: an engineering approach*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2000
- Krarti, M., Erickson, P. M., Hillman, T., A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting, *Building and Environment* 2005;40: 747-754
- Krarti, M., Erickson, P., Hillman, T., A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building an Environment* 2005;40:747–54.
- Kuller, R., & Laike, T., The impact of flicker from fluorescent lighting on wellbeing, performance and physiological arousal. *Ergonomics*, 41(4), 433–447, 1998
- Kuller, R., & Lindsten, K., Health and behaviour of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12, 305–317, 1992
- Lam JC, Li DHW, Cheung SO. An analysis of electricity end-use in airconditioned office buildings in Hong Kong. *Build Environ* 2003;38(3):493–8
- Lang, D. C. (2002). *Teacher interactions within the physical environment: How teachers alter their space and/or routines because of classroom character*. Seattle: University of Washington.
- Lang, D. C., *Teacher interactions within the physical environment: How teachers alter their space and/or routines because of classroom character*. Seattle: University of Washington, 2002
- Lee ES, Selkowitz SE, The New York times headquarters daylighting mockup: monitored performance. *Energy and Buildings* 2006;38:914–29.
- Legge del 11 gennaio 1996, n.23 “Norme per l’edilizia scolastica”
- Legge regionale 18 aprile 2008, n. 21 “Disposizioni in materia di rendimento energetico nell’edilizia” in B.U. 8 luglio 2008, n. 28
- Leschiutta F. E., *Linee evolutive dell’edilizia scolastica*, II ed., Bulzoni, Roma 1985
- Leschiutta F. E., *Nuova architettura per la scuola*, II ed., Armando, Roma 1983
- Leschiutta F. E., *Frammenti di scuola*, Kappa, Roma 1989
- Li DHW, Cheung, K.L., Lam TNT, Wong SL, An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls, *Applied Energy*, 2010;87: 558-567
- Li DHW, Lam JC, Wong SL. Daylighting and its implications to overall thermal transfer value (OTTV) determinations. *Energy— The International Journal* 2002; 27(11):991–1008.
- Li DHW, Lam JC, Wong SL. Daylighting and its implications to overall thermal transfer value (OTTV) determinations. *Energy* 2002;27(11):991–1008
- Li DHW, Lam JC. An analysis of lighting energy savings and switching frequency for a daylit corridor under various indoor design illuminance levels. *Applied Energy* 2003;76(4):363–78.
- Li DHW, Lam JC. An investigation of daylighting performance and energy saving in daylit corridor. *Energy and Buildings* 2003;35:356–73.
- Li DHW, Lam JC. An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylit corridor. *Energy and Buildings* 2003;35(4):365–73.

- Li DHW, Lam JC. An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylighted corridor. *Energy Build* 2003;35(4):365–73
- Li DHW, Lam JC. Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. *Energy and Buildings* 2001;33(8):793–803.
- Li DHW, Lam TNT, Wong SL. Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls. *Energy Conversion and Management* 2006;47:1133–1145.
- Li DHW, Lam TNT, Wong SL. Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls. *Energy Conversion and Management* 2006;47(9–10):1133–45.
- Li, DHW, Lam, J.C., Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications. *Renewable Energy* 2000;20(4):389–404.
- Lindner, H., & Kropf, S., Asthenopic complaints associated with fluorescent lamp illumination (FLI): the role of individual disposition. *Lighting Research and Technology*, 25(2), 59–69, 1993
- Littlefair PJ, Aizlewood ME. Measuring daylight in real buildings. In: *Proceedings of the CIBSE national lighting conference*, Bath, UK, 1996.
- Ludlow, A. K., Wilkins, A. J., & Heaton, P., The effect of coloured overlays on reading ability in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(4), 507–516, 2006
- Lyons, J. B. (2002). The learning environment: do school facilities really affect a child's education? *Learning by Design*, 11, 10-13.
- Lyons, J. B., The learning environment: do school facilities really affect a child's education? *Learning by Design*, 11, 10–13, 2002
- M.A. Elsayed, J.F. Grant, N.D. Mortimer, *Energy use in the United Kingdom non domestic building stock: 2002 Catalogue of Results*, 2002.
- Mistretta, P., *Ordinamento e caratteristiche funzionali degli istituti di istruzione artistica, Edilizia scolastica e culturale*, n 2-3, 1986, pp. 63-70
- Murphy, P., What you need to know about classroom lighting. *School Planning and Management*, 38(4), 52–55, 1999
- Neida BV, Maniccia D, Tweed A. An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems. *Journal of the Illuminating Engineering Society* summer 2001;30(2):111–25.
- Oleotto, E., “ *Edifici scolastici ecocompatibili, Progetti per una scuola sostenibile*”, Vol 1 e 2, Edicom Ed., Monfalcone (GO) 2006, 2007
- Onaygil S, Guler O. Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control system with an example from Istanbul. *Building and Environment* 2003;38:9973–7
- Onaygil, S., Guler, O., Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control system with an example from Istanbul. *Building and Environment* 2003;38:973–7.
- Organization of School Buildings (O.S.K.), *Building Planning og General Training Schools*, Athens, Department of Research, 1982

- Osterhaus, W. K. E., Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 79(2), 140–158, 2005
- P.G. Jones, et al., Energy benchmarks for public sector buildings in Northern Ireland, in: *Proceedings of CIBSE National Conference*, Dublin, 2000.
- Pagliani L., *Trattato di Igiene e Salute pubblica*, Milano, Vallardi Ed. 1913
- Pagliano, L., Pietrobon, M., Zangheri, P., Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso scolastico. Applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani, Report RdS/2010/192, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010
- Panizza, M., Scuole materne, elementari e secondarie, in Carbonara, P., *Architettura pratica*, UTET, Torino 1989, 2 voll. di aggiornamento, vol. II, PP. 107-274
- Plympton P, Conway S, Epstein K. Daylighting in schools: improving student performance and health at a price schools can afford. NREL Report CP-550-28059. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory; 2000
- Plympton, P., Conway, S., Epstein K. Daylighting in schools: improving student performance and health at a price schools can afford. NREL report CP-550- 28059, National Renewable Energy Laboratory, 2000, Golden, CO.
- Pyonchan, I., Abderrezek, N., Moncef, K., Estimation of lighting energy savings from daylighting, *Building and Environment* 44 (2009) 509– 514
- Raffellini, G., Raffellini, G., Edifici per l'istruzione: impianti, benessere, risparmio, atti del Convegno AICARR “Riduzione dei fabbisogni, recupero di efficienza e fonti rinnovabili per il risparmio energetico nel settore terziario”, Padova 2009
- Rea, M. S., An overview of visual performance. *Lighting Design and Application*, 12(11), 35–41, 1982
- Rea, M. S., Effects of Haidinger’s brushes on visual performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 12(3), 197–203, 1983
- Regione Emilia Romagna - Assemblea Legislativa Deliberazione n. 156/2008 “Approvazione atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici” (Proposta della Giunta regionale in data 16 novembre 2007, n. 1730) in BUR n.47 del 25/3/2008.
- Regione Liguria DGR 19/2007 Regolamento di attuazione dell’articolo 29 della legge regionale 29 maggio 2007 n. 22 in BURL Parte I 28.11.2007 n°19
- Regione Lombardia DGR 5018/2007 “Disposizioni inerenti all’efficienza energetica in edilizia” in BURL 3° Suppl. Straordinario al n. 29 – 20 luglio 2007
- Rittner, H., & Robbin, M. (2002). Color and light in learning. *School Planning & Management*, 41(2), 57-58.
- Rittner, H., & Robbin, M., Color and light in learning. *School Planning & Management*, 41(2), 57–58, 2002
- Rundquist R, Johnson KF, Aumann DJ. Calculating lighting and HVAC interactions. *ASHRAE Journal* 1993;35(11):28–37
- Santamouris M, Argiriou A, Dascalaki E, Balaras C, Gaglia A. Energy characteristics and savings potential in office buildings, *Solar Energy* 1994;52(1):59–66.

- Santamouris, M., Balaras, C., Dascalaki, E., Argiriou, A., Gagglia, A., Energyconsumption and the potentia of energy conservation in school buildings in Hellas, *Energy* 1994; 19 (6): 653-60
- Santamouris, M., et al., Using intellignt clustering techniques to classify the energy performance of school buildings, *Energy and Buildings* 2007;39: 45-51
- Santamouris, M.M., Patargias, P., Gaitani, N., Sfakianaki, K., Papaglastra, M., Pavlou, C., Doukas, P., Primikiri, E., Geros, V., Assimakopoulos, M.N., Mitoula, R., Zerefos, S., Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings, *Energy and Building* 1999;29:241-246
- Schneider, M. (2003). Linking school facility conditions to teacher satisfaction and success. Washington, DC: National Clearinghouse for Educational Facilities.
- Schneider, M., Linking school facility conditions to teacher satisfaction and success. Washington, DC: National Clearinghouse for Educational Facilities, 2003
- Schreiber, M. E., Lighting alternatives: considerations for child care centres. *Young Children*, 51(4), 11–13, 1996
- Schulz, J. (1977). Lighting and the learning space. *OSSC Bulletin*, 21(2), 43.
- Schulz, J., Lighting and the learning space. *OSSC Bulletin*, 21(2), 43, 1977
- Selleri, R., La progettazione della scuola secondaria in attesa della riforma, *Edilizia scolastic e culturale*, n. 5, 1987, pp. 46-52
- Sezgen O, Franconi, E, Koomey J, Greenberg S, Afzal A, Shown L. Technology Data Characterizing Space Conditioning in Commercial Buildings: Application to End-Use Forecasting with COMMEND 4.0. Report no. LBL-37065, Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1995
- Sezgen, O, Huang YJ. Lighting/HVAC Interactions and Their Effects on Annual and Peak HVAC Requirements in Commercial Buildings. Report no. LBL-36524. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1994
- Sezgen, O., Koomey, J. G., Interactions between lighting and space conditioning energy use in US commercial buildings, *Energy* 2000;25: 793-805
- Shapiro, M., Roth, D., & Marcus, A. (2001). The effect of lighting on the behavior of children who are developmentally disabled. *Journal of International Special Needs Education*, 4, 19-23.
- Shapiro, M., Roth, D., & Marcus, A., The effect of lighting on the behavior of children who are developmentally disabled. *Journal of International Special Needs Education*, 4, 19–23, 2001
- Shipper, L., Enrgy efficiency and conservation in buildings: the use of indicators, *Energy* 1983;8: 7-14
- Simmonds, P., Thermal comfort and optimal energy use, *ASHRAE Transactions* 99 (1) (1993) 1037–1048.
- Slater AI, Bordass WT, Heasman TA. People and lighting controls. BRE information paper IP 6/9. Garston: CRC; 1996.
- Slater, A. I., Perry, M. J., & Carter, D. J., Illuminance differences between desks: limits of acceptability. *Lighting Research and Technology*, 25, 91–103, 1993
- Smith, H. J., Higgins, S., Wall, K., & Miller, J., Interactive whiteboards: boon or bandwagon? A critical review of the literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21, 91–101, 2005

- Smith, S.W., & Rea, M. S. (1980). Relationships between office task performance and ratings of feelings and task evaluations under different light sources and levels. CIE Publication No. 50, pp. 207–211, 1980
- Stefano JD. Energy efficiency and the environment: the potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Australia. *Energy* 2000;25(9):823–39
- Testo coordinato del D.L. 25 giugno 2008, n. 112 “Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria” nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale n. 147 del 25 giugno 2008
- Tham, K.W., Ullah, M.B., Building energy performance and thermal comfort in Singapore, *ASHRAE Transactions* 99 (1) (1993) 308–321.
- Tham, K.W., Ullah, M.B., Building energy performance and thermal comfort in Singapore, *ASHRAE Transactions* 99 (1) (1993) 308–321
- Treado, SJ, Bean JW. The Interactions of Lighting, Heating and Cooling Systems in Buildings. Report no. NISTIR-4701. Gaithersburg, MD: US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 1992
- Treichel, A. J. (1974). School lights and problem pupils. *Science News*, 105(16), 258-259.
- Treichel, A. J., School lights and problem pupils. *Science News*, 105(16), 258–259, 1974
- UNI EN 15251:2008 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, UNI, Milano, 2008.
- van Ooyen, M. H. F., van de Weijger, J. A. C., & Begemann, S. H. A., Preferred luminances in offices. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 16, 152–156, 1987
- Veitch, J. A., Light, lighting, and health: issues for consideration. *Leukos*, 2(2), 85–96, 2005
- Wilkins, A. (1980). Visually-induced seizures. *Progress in Neurobiology*, 15, 85-117.
- Wilkins, A. (1986). Intermittent illumination from visual-display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text. *Human Factors*, 28(1), 75–81, 1986
- Wilkins, A. (1995). *Visual stress*. Oxford: Oxford University Press
- Wilkins, A., & Clark, C., Modulation from fluorescent lamps. *Lighting Research and Technology*, 22(2), 103–109, 1990
- Wilkins, A., Nimmo-Smith, M. I., Slater, A., & Bedocs, L., Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. *Lighting Research and Technology*, 21(1), 11–18, 1989
- Wilkins, A., *Visual stress*. Oxford: Oxford University Press, 1995
- Wilkins, A., Visually-induced seizures. *Progress in Neurobiology*, 15, 85–117, 1980
- Winterbottom, M., Wilkins, A., Lighting and discomfort in the classroom, *Journal of Environmental Psychology* 2009;29, 63-75
- Woolner, P., Hall, E., Higgins, S., McCaughey, C., & Wall, K. (2007). A sound foundation? What we know about the impact of environments on learning and the implications for Building Schools for the Future. *Oxford Review*

of Education, 33(1), 47-70.

Woolner, P., Hall, E., Higgins, S., McCaughey, C., & Wall, K., A sound foundation? What we know about the impact of environments on learning and the implications for Building Schools for the Future. Oxford Review of Education, 33(1), 47-70, 2007

Wu, J., Seregard, S., & Algvere, P. V., Photochemical damage of the retina. Survey of Ophthalmology, 51(5), 461-480, 2006

Yang, K.H., Su, C.H., An approach to building energy savings using the PMV index, Building and Environment 32 (1) (1997) 25-30.

Yang, K.H., Su, C.H., An approach to building energy savings using the PMV index, Building and Environment 32 (1) (1997) 25-30

Zevas D, Kardamitse-Adame M, "A short review of school building in Greece", Architectural issues J. Athens: Doumanis Publ 1979; 134: 174-83

DM 18/12/1975 – *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nell'esecuzione di opere di edilizia scolastica*

D.Lgs. 19/09/1994 n° 626 – *Attuazione delle direttive CEE [...] riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro*

DM 02/10/2000 - *Linee guida d'uso dei videotermini*

UNI EN ISO 9241 – 6, ottobre 2001 – *Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con video terminali – Guida sull'ambiente di lavoro*

UNI EN 12464-1:2011 Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni