

3 Fabbisogno energetico per illuminazione degli edifici per uffici

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 destinati ad uffici.

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 ufficio. 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 per uffici e costruzione di archetipi (§*Ricerca scientifica nell'ambito di edifici per uffici*) e all'analisi dell'edilizia terziaria (§*Gli edifici per uffici*).

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

3.1 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]. Altri studi si son soffermati sull'analisi dei risparmi energetici conseguibili grazie ad un uso più attento dei sistemi di controllo più adatti per l'illuminazione interna degli ambienti [Roisin et al., Lee & Selkowitz].

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 dei precisi 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 per uffici esistenti. I dati, ottenuti utilizzando degli archetipi edilizi per i quali vengono fatti variare caratteristiche termofisiche, parametri climatici, esposizione e contesto urbano, sono analizzati al fine di determinare dei valori di benchmark di fabbisogno per edifici per uffici variamente caratterizzati. Inoltre, si effettua un'analisi di quelle che son le variabili che maggiormente incidono sulla prestazione energetica dell'edificio per sola illuminazione, anche rapportata al fabbisogno totale dell'edificio di energia primaria.

3.2 Ricerca scientifica nell'ambito di edifici per uffici

Si ritiene generalmente che circa il 30% del consumo energetico degli edifici per uffici sia legato all'uso di luce artificiale. In tale contesto la luce diurna è stata del resto a lungo riconosciuta come una strategia importante e utile per il risparmio energetico ed il comfort visivo negli edifici. [Hopkinson et al.]. La quantità di luce diurna che penetra in un edificio è data principalmente dalla dimensione delle superfici trasparenti che garantiscono la duplice funzione di ammettere luce nell'ambiente interno nonché collegare il mondo esterno all'interno di un edificio, soddisfacendo la legittima ambizione di avere una buona illuminazione naturale nei luoghi di lavoro [Roche et al.]. Per ridurre il consumo di energia anche legato all'illuminazione artificiale degli spazi, viene quindi

proposta una grande varietà di sistemi di controllo che garantiscono una buona integrazione tra luce naturale e luce artificiale, pur mantenendo il livello di illuminamento minimo richiesto. Tali sistemi si ritengono in grado di ridurre fino al 65% l'energia per illuminazione. Al contempo, diventa necessario valutare l'interazione tra energia per illuminazione ed energia per la climatizzazione degli ambienti, per un corretto approccio alla gestione della domanda di risparmio energetico. I guadagni termici generati dalla luce artificiale sono effetti positivi sui periodi freddi, riducendo le esigenze di riscaldamento, ma aumentano la richiesta di raffreddamento del periodo caldo. Questo aspetto è stato approfondito da Danny et al. per edifici collocati in clima sub-tropicale. Danny et al. hanno studiato l'illuminazione e le prestazioni energetiche di raffrescamento per un ufficio open-space completamente climatizzato nel caso di utilizzazione di pellicole a controllo solare insieme a controlli di illuminazione "daylight-linked". Le misurazioni sono state effettuate in due fasi: calcolo delle spese di energia elettrica per l'ufficio che utilizzi solo controlli di dimmeraggio fotoelettrico (prima fase) e poi con anche i rivestimenti di pellicole di controllo solare sulle finestre (seconda fase). Sono state quindi sistematicamente registrate ed analizzate sia l'illuminazione elettrica che il consumo energetico per il raffreddamento che l'illuminazione naturale. I dati misurati sono stati usati anche per la conduzione e la validazione delle simulazioni energetica degli edifici. I risultati hanno mostrato che i rivestimenti solari a film accoppiati con i controlli di dimmeraggio hanno eliminato il 21,2% di illuminazione elettrica e il 6,9% del consumo di energia per il raffrescamento dell'ufficio open space. Risparmi energetici derivanti da luce naturale significa quindi non solo basso consumo di energia elettrica e ridotti picchi di domanda di energia ma anche ridotto carico di raffreddamento e possibilità di avere impianti di riscaldamento, ventilazione e aria condizionata di taglia più ridotta. [Li, Lam, Krati et al.]. La riduzione del fabbisogno energetico grazie all'uso dell'illuminazione naturale è stata analizzata tramite simulazioni energetiche da Bodart e De Herde, che hanno stimato un risparmio del fabbisogno per illuminazione che può oscillare tra il 50 e l'80%. Precedentemente, si era occupato di questo ambito Szerman, che aveva stimato un possibile risparmio del 77% (pari al 14% del totale), Zeguers (più cautamente aveva stimato il 20% di risparmio possibile sul fabbisogno per illuminazione) e Opdal e Brekke che stimarono il 30%-40% di risparmi ottenibili. I dati contrastanti forniti dai vari autori testimoniano la difficoltà di reperire valori riconosciuti di risparmio ottenibile sfruttando al meglio le potenzialità offerte dall'illuminazione naturale.

Peraltro, recenti lavori hanno dimostrato come gli apporti solari attraverso la superficie trasparente contribuiscono ad una quota significativa del carico di raffrescamento legato all'involucro edilizio. Un maggior irraggiamento si traduce in un maggior apporto solare e di conseguenza in un maggior carico di raffreddamento e in un impianto di raffreddamento più grande [Li et al.]. Addirittura, nelle regioni tropicali e subtropicali, gli obiettivi principali nel design della finestratura comprendono l'eliminazione del fascio diretto di radiazioni e la conseguente riduzione del carico di raffrescamento [Edmonds, Lam et al.]. Molte soluzioni tecnologiche o architettoniche possono essere utilizzate al fine di valorizzare e di controllare la luce del giorno, di cui si può trovare traccia in D'Alfonso, che ne descrive e ne dettaglia alcune tra le più diffuse in architettura [D'Alfonso].

In generale si sta facendo largo per gli edifici in generale e per quelli per uffici in particolare, il concetto di facciata dinamica. Sistemi dinamici di facciata accoppiati con sistemi intelligenti sono stati introdotti come una soluzione che ha la capacità di soddisfare alcune caratteristiche energetiche di involucro di un edificio. Lawrence Berkeley National Laboratory ha sviluppato una proposta per le facciate dinamiche per ridurre l'illuminazione artificiale e i carichi termici mediante controllo della luce solare. Harrison et al. ha affermato che lo sviluppo e la raffinatezza crescente delle facciate dinamiche è stata una risposta alla crescente consapevolezza del risparmio energetico mentre in precedenza le soluzioni erano più o meno statiche. Lee e Selkowitz e Selkowitz hanno sostenuto che gli involucri dinamici offrono il potenziale per ottenere una ottimale efficienza energetica, migliorando il comfort, la soddisfazione e la produttività degli occupanti riducendo al minimo il costo energetico e l'impatto ambientale. L'argomento è stato poi ripreso ed approfondito da molteplici autori [Lee et al, Guillemain & Morel, Athienitis & Tzempelikos].

La riduzione dei consumi energetici per illuminazione può essere ottenuto dalla scelta di una tecnologia efficiente

o da un miglior controllo del tempo di utilizzo: la complementarità tra luce naturale e luce artificiale può essere sfruttata per raggiungere questo obiettivo. Nell'ottica di garantire un effettivo risparmio energetico, l'edificio deve essere globalmente considerato, secondo l'approccio già proposto da Depecker e Achard [Depecker & Achard], ripreso da Franzetti, Fraisse e Achard [Franzetti et al.] e diventato uno dei concetti portanti dell'IEA 53 (si veda al proposito Filippi et al.). Tale approccio prevede di considerare tutti gli usi dell'energia all'interno dell'edificio e di valutare l'incidenza che hanno le singole variabili raggruppabili in 6 macrocategorie: clima, involucro, impianto, gestione, comfort interno e comportamento dell'utente. Inoltre, il metodo riscontrabile in bibliografia consente un raffronto tra quelli che sono i fabbisogni legati ai singoli usi dell'energia rispetto al consumo totale, nonché una valutazione dei pesi di ogni fabbisogno rispetto al totale cambiando le variabili che maggiormente incidono sulla prestazione energetica dell'edificio. A tal scopo, lo studio dell'interazione tra illuminazione e carichi termici richiede un'analisi dettagliata dell'integrazione tra luce naturale/luce artificiale, nonché del rapporto illuminazione artificiale e carichi termici, e questa analisi può essere condotta grazie all'uso di un software di simulazione dinamica, esattamente come fatto da Franzetti in differenti lavori aventi proprio come oggetto gli edifici per gli uffici [Franzetti]. In tali studi, viene illustrato come, variando il fabbisogno per illuminazione artificiale, ne risenta anche in modo inversamente proporzionale il fabbisogno per climatizzazione estiva.

L'approccio viene ripreso da Zmeureanu, che analizza il consumo di energia e i costi conseguenti negli edifici di grandi dimensioni. Tali fabbisogni sono secondo l'autore riducibili consentendo all'ambiente interno di deviare dalle condizioni di comfort ottimali a situazioni che sono ancora accettabili dalla maggior parte degli occupanti. Una strategia proposta è tale da consentire la temperatura interna di aumentare nel pomeriggio in estate. Per un edificio di riferimento per uffici a Montreal i risultati ottenuti tramite simulazione energetica mostrano una riduzione del consumo stagionale per acqua refrigerata tra 34 e 40%, e una riduzione di bilancio energetico per sistemi HVAC del 11% [Zmeureanu & Doramajian].

Ugualmente importante ma di taglio diverso, è anche il contributo dato da Ratti et al. che analizzano l'influenza del contesto urbano sul fabbisogno per illuminazione, che considerano e analizzano gli effetti che il tessuto urbano ha sul consumo di energia in ambito edilizio. Il lavoro si basa sull'analisi di modelli raster di città, molto efficaci nel contesto urbano. Vengono proposti e discussi diversi algoritmi, compreso il calcolo del rapporto superficie urbana/volume e l'individuazione di tutte le aree edificabili che si trovano entro un raggio di 6 metri da una facciata (aree passive). Un modello informatico realizzato per calcolare il consumo energetico in edifici, garantisce simulazioni energetiche in vaste aree urbane. I risultati ottenuti sono relativi ai tre casi di studio sulle città di Londra, Tolosa e Berlino. [Ratti et al.]

Diversi autori hanno cercato di valutare il potenziale risparmio energetico ottenibile negli edifici per uffici partendo da dati di consumo reale. Spyropoulos & Balaras stimano per edifici per uffici usati da banche un consumo medio annuo totale di 345kWh/m². La ripartizione dei differenti usi finali rivela che la climatizzazione assorbe mediamente il 48% del consumo finale di energia, l'illuminazione il 35% e le attrezzature elettroniche il 17%. Attraverso operazioni di ottimizzazione del sistema di gestione dell'impianto di climatizzazione si può arrivare a un risparmio energetico annuo di 56kWh/m² mentre operando sul sistema di illuminazione si può arrivare a risparmiare circa 25 kWh/m².

3.3 Gli edifici per uffici

Il presente paragrafo è volto ad illustrare la metodologia che ha portato alla costruzione degli edifici archetipo a destinazione d'uso ufficio. La definizione degli archetipi edilizi degli uffici 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 per uffici esistenti, e attraverso una attività di analisi puntuale di edifici esistenti. Parallelamente, si sono indagati i requisiti normativi e legislativi previsti per gli edifici ad uso ufficio, al fine di evidenziare gli elementi

obbligatoriamente caratterizzanti tali strutture.

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

3.3.1 L'edilizia per uffici in Italia

Lo studio degli edificio per uffici sul territorio italiano prende le mosse da due riferimenti bibliografici.

Il primo riferimento è il database degli edifici per uffici messe a disposizione dallo Stato italiano attraverso il sito <http://www.acquistinretepa.it>. Qui di seguito son riportati gli edifici rientranti nel database generale di strutture per ufficio analizzato come primo riferimento per la costruzione dell'archetipo. Gli edifici son suddivisi per Regioni (o per gruppi di Regioni), e caratterizzati in funzione della zona climatica e delle ore di funzionamento. Vengono inoltre distinti tra edifici per uffici tradizionali, ed edifici appartenenti al sistema sanitario nazionale. Questi ultimi son proposti a carattere informativo, ma la loro analisi esula dallo scopo di questo lavoro.

Regioni	ZonaClimatica			Stima ore di funzionamento per area climatica						STIMA DISTRIBUZIONE TERRITORIALE ZONE CLIMATICHE IN FUNZIONE DEL COMUNE			AMMINISTRAZIONI, ENTI ED AZIENDE STATALI	AMMINISTRAZIONI ENTI ED AZIENDE DEL S.S.N.	AMMINISTRAZIONI ED AZIENDE LOCALI	ISTRUZIONE, UNIVERSITA' ED ENTI DI RICERCA
										10%	65%	25%				
VdA - Piemonte - Liguria	C/D	E	F	1.079	1.294	1.569	1.572	2.554	3.462	10%	65%	25%	32%	15%	45%	8%
Lombardia	D/E/F			1.353			3.312			100%			32%	15%	45%	8%
Veneto - FVG	D/E	F		1.245	1.569		2.406	3.953		88%	12%		32%	15%	45%	8%
Trentino Alto Adige	E	F		1.294	1.569		2.634	4.074		16%	84%		32%	15%	45%	8%
Emilia Romagna	D/E/F	0		1.079			3.027			100%			32%	15%	45%	8%
Toscana - Umbria	C/D	E/F		1.079	1.432		1.545	2.886		53%	47%		32%	15%	45%	8%
Lazio	C	D	E/F	961	1.196	1.432	1.163	1.754	2.645	10%	48%	42%	46%		54%	
Marche - Abruzzo - Molise	C/D	E/F		1.079	1.432		1.651	3.053		48%	52%		32%	15%	45%	8%
Campania	C	D	E/F	1.294	1.196	1.432	1.155	1.752	2.773	41%	46%	13%	32%	15%	45%	8%
Basilicata - Calabria - Pugl	B/C	D	E/F	902	1.196	1.432	1.032	1.403	2.398	42%	40%	18%	27%		73%	
Sicilia	A/B	C	D/E/F	784	961	1.353	734	1.151	2.355	24%	42%	34%	32%	15%	45%	8%
Sardegna	B	C	D/E	843	961	1.245	822	1.151	1.898	9%	51%	40%	32%	15%	45%	8%

Figura 1 - Database di strutture per uffici di tipo pubblico presenti sul territorio italiano

Il secondo riferimento utilizzato come base di partenza per il reperimento delle informazioni sulle strutture per ufficio è il lavoro di Margiotta nel quale si analizzano le caratteristiche degli edifici ad uso ufficio di tutto il territorio italiano per poter così giungere alla definizione di un edificio tipo. A tale scopo Margiotta presenta una metodologia che consente di determinare le caratteristiche strutturali ed impiantistiche di "edifici tipo" al fine di condurre una valutazione di fattibilità degli interventi di riqualificazione energetica, in funzione di diverse ipotesi di intervento, sia di tipo strutturale che impiantistico.

Questo approccio permette di stimare la percentuale di risparmio energetico ottenibile. Il maggiore vantaggio risiede nel fatto che una volta estrapolati gli edifici di riferimento, si dispone di fatto di uno strumento di pianificazione con cui è possibile simulare anche l'effetto di nuove norme o di incentivi sul settore di indagine, sui risparmi ottenibili e sui i tempi di ritorno degli investimenti. L'analisi energetica del parco immobiliare ad uso ufficio dell'intero territorio nazionale è stata effettuata dall'autore utilizzando diversi modelli di edifici "tipo" caratterizzati da due distinte geometrie e da tipologie strutturali, in funzione delle epoche di costruzione in cui è stato suddiviso il patrimonio edilizio. I modelli di edificio di riferimento sono stati strutturati sulla base delle informazioni estrapolate dall'indagine effettuata da CRESME per ENEA e dai risultati del Progetto BEEPS1. L'autore individua le caratteristiche dell'"edificio tipo" per ufficio sotto tre voci caratteristiche geometriche, elementi costruttivi dell'involucro e tipologia e componenti impiantistiche. Il metodo proposto dall'autore è semplice ed efficace al tempo stesso. Una volta individuato il settore per cui si vuole effettuare l'analisi energetica, si analizza l'area geografica nella quale esso ricade e le epoche di costruzione così da estrapolarne la distribuzione percentuale sul territorio di interesse. Vengono poi analizzati i dati geometrici, compositivi,

tipologici e degli elementi impiantistici in modo da identificare gli edifici rappresentativi.

In particolare, le **caratteristiche geometriche**, differenziate per epoche di costruzione e zone geografiche di interesse, necessarie ad individuare l'edificio tipo sono:

- Caratteristiche edilizie di contiguità
- Numero dei piani
- Altezza di interpiano
- Superficie e volume edificio
- Superficie piano
- Superficie ambiente (stanza)
- Superficie infissi
- Numero di infissi per ambiente
- Aree di accesso e locali non riscaldati

Particolare attenzione deve essere posta agli infissi (quantità e dimensioni) vista l'incidenza che questi possono avere sul comportamento globale dell'edificio. L'analisi dei dati geometrici ha permesso all'autore di identificare per ognuna delle aree geografiche e per ogni epoca di costruzione distinti edifici caratterizzati per elementi dimensionali e parametri costruttivi che ne evidenziano le differenze, riassunte dall'autore in tabelle sinottiche. Le tabelle mettono in risalto come le epoche di riferimento siano sostanzialmente 5, per ciascuna delle quali può essere rinvenuta una particolare tipologia strutturale:

- ante 1920: edificio in muratura + c.a.
- 1920-1945: edificio in muratura + c.a.
- 1946-1971: edificio in muratura + c.a.
- 1972-1991: edificio in muratura + c.a. oppure telaio in c.a. e vetro
- dal 1991 ai giorni nostri: edificio in muratura + c.a. oppure telaio in c.a. e vetro

Gli elementi costitutivi dell'involucro, caratterizzanti superfici opache e trasparenti, anch'esse differenziate per epoca di costruzione e zone geografiche, vengono individuati secondo i seguenti parametri:

- Tipologia strutturale dell'edificio
- Caratteristiche termo-fisiche della struttura
- Stato di conservazione dell'edificio
- Tipologia di attacco di solaio di calpestio
- Tipologie di telaio e di vetro degli infissi
- Tipologie di schemi o elementi ombreggianti

Gli elementi strutturali opachi verticali e orizzontali, suddivisi in due gruppi relativamente alle epoche di costruzione, quali ante 1920 fino al 1970, dal 1971 ad oggi, vengono riportati tenendo conto delle caratteristiche termo fisiche che caratterizzano le diverse stratigrafie. Gli elementi strutturali trasparenti sono invece distinti secondo le cinque epoche di costruzione e in base alla collocazione geografica. Nelle tabelle di seguito riportate si evincono i valori finali della trasmittanza a seconda delle dimensioni e della tipologia di telaio e vetro.

Tabella 1 - Valori di trasmittanza termica per elementi opachi proposti da Margiotta

	Parete	Solaio a piano terra	Solaio di copertura
Strutture ante 1920 e fino al 1970	Intonaco + Forati in laterizio + Camera d'aria + Mattoni s=42 cm U=1,623 W/m ² K massa frontale=416,206 kg/m ²	Ciotoli + Solaio + argilla + massetto + piastrelle s=47 cm U=0,781 W/m ² K massa frontale=721 kg/m ²	Intonaco + solaio + arg. esp. + massetto + rivestimento cemento s=35 cm U=1,376 W/m ² K massa frontale=589 kg/m ²
Strutture dal 1971 ad oggi	Intonaco + Forati in laterizio + Camera d'aria + Isolante + Forati in laterizio s=45 cm U=0,927 W/m ² K massa frontale=588 kg/m ²	Ciotoli + solaio + pannelli semirigidi + massetto + piastrelle s=50 cm U=0,526 W/m ² K massa frontale=766,8 kg/m ²	Intonaco + solaio + pannelli semirigidi + massetto + rivestimento cemento s=30 cm U=0,849 W/m ² K massa frontale=486,48 kg/m ²

Tabella 2 - Valori di trasmittanza termica per elementi trasparenti proposti da Margiotta

VALORI DELLA TRASMITTANZA DEGLI INFISSI (W/M ² K)						
		ANTE 1920	1920/1945	1946/1991	1972/1991	1992/OGGI
NORD	LEGNO/VETRO SINGOLO	4,59	4,51	4,66	4,64	4,64
	LEGNO/VETRO DOPPIO	2,58	2,57	2,59	2,59	2,59
	ALLUMINIO NO T.T./VETRO SINGOLO	6,12	6,15	6,09	6,10	6,10
	ALLUMINIO NO T.T./VETRO DOPPIO	4,00	4,08	3,92	3,94	3,94
	ALLUMINIO T.T./VETRO SINGOLO	-	-	-	-	-
	ALLUMINIO T.T./VETRO DOPPIO	3,21	3,23	3,18	3,19	3,19
CENTRO	LEGNO/VETRO SINGOLO	4,54	4,63	4,45	4,69	4,58
	LEGNO/VETRO DOPPIO	2,57	2,59	2,56	2,60	2,58
	ALLUMINIO NO T.T./VETRO SINGOLO	6,14	6,10	6,17	6,08	6,18
	ALLUMINIO NO T.T./VETRO DOPPIO	4,06	3,95	4,16	3,88	4,01
	ALLUMINIO T.T./VETRO SINGOLO	-	-	-	-	-
	ALLUMINIO T.T./VETRO DOPPIO	3,23	3,19	3,26	3,17	3,21
SUD ED ISOLE	LEGNO/VETRO SINGOLO	4,63	4,66	4,57	4,58	4,59
	LEGNO/VETRO DOPPIO	2,59	2,59	2,58	2,58	2,58
	ALLUMINIO NO T.T./VETRO SINGOLO	6,10	6,09	6,13	6,12	6,12
	ALLUMINIO NO T.T./VETRO DOPPIO	3,95	3,91	4,02	4,00	4,00
	ALLUMINIO T.T./VETRO SINGOLO	-	-	-	-	-
	ALLUMINIO T.T./VETRO DOPPIO	3,19	3,18	3,21	3,21	3,21

Sulla base delle epoche di costruzione, delle caratteristiche geometriche e degli elementi costitutivi è stato possibile individuare specifiche **caratteristiche tipologiche**. Nelle figure di seguito riportate sono raffigurate due piante rappresentative di due tipologie di edifici per uffici, caratterizzate da una diversa distribuzione degli spazi interni e differenti metrature.

La prima pianta corrisponde alla tipologia di edificio per uffici con struttura in cemento armato e tamponatura in muratura, che ha prevalso nella maggior parte delle epoche di costruzione, in particolare fino agli anni '70 del secolo scorso.

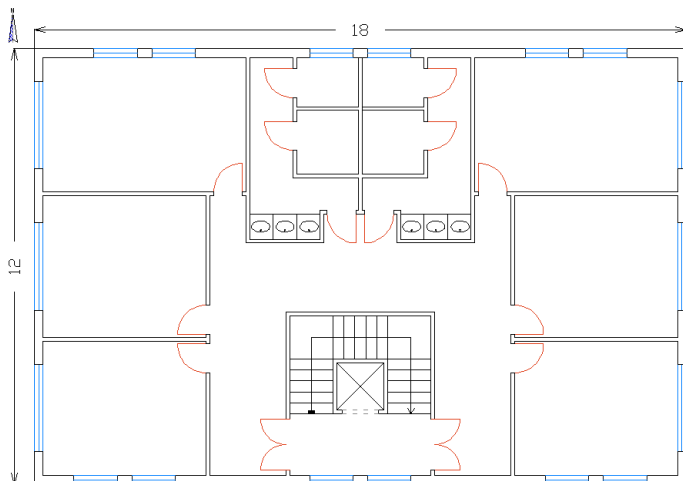


Figura 2 - Schema 1 di pianta di edificio per ufficio proposto da Margiotta

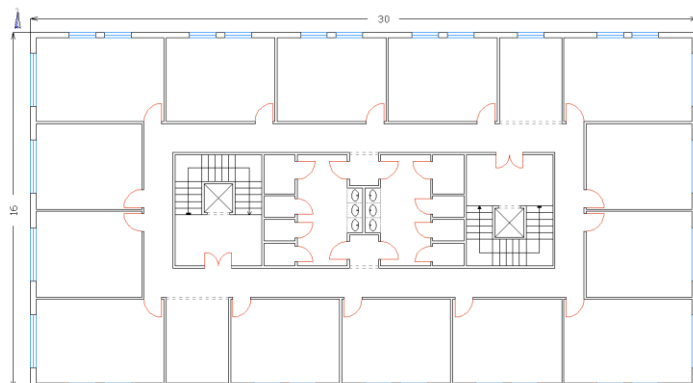


Figura 3 - Schema 2 di pianta di edificio per ufficio proposto da Margiotta

La seconda, invece, rappresenta una tipologia di edificio che ha iniziato a imporsi a partire dagli anni '70, contraddistinto da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate.

L'autore propone poi una tabella sinottica in cui riassume la combinazione di tutte le caratteristiche suindicate riportate in termini di incidenze percentuali. In particolare per ogni zona geografica è stato individuato un numero di edifici tipo (al Nord 31, al Centro 25 e al Sud + Isole 23), suddivisi e combinati secondo cinque epoche di costruzione (ante 1920, 1920-1945, 1946-1970, 1971-1990, 1991-oggi), due tipologie strutturali (muratura + cemento armato e cemento armato + vetro) e quattro tipologie di infissi (Legno/vetro singolo, Legno/vetro doppio, Alluminio/vetro singolo, Alluminio/vetro doppio).

La classificazione dei sistemi impiantistici è stata effettuata sulla base dei dati dell'indagine CRESME per ENEA in funzione della tipologia di alimentazione, del sistema di emissione dell'aria e del sistema di regolazione della temperatura per gli impianti di riscaldamento, mentre per quelli di

climatizzazione estiva si è considerata la tipologia di impianto e il sistema di regolazione. L'estrapolazione dei dati utili a determinare le tipologie impiantistiche prevalenti è stata inoltre effettuata in relazione alle 5 epoche costruttive (ante 1920, 1920-1945; 1946-1970, 1971-1990, dal 1991-oggi) ed alle 3 principali zone geografiche in cui si è suddiviso il territorio italiano (Nord-Italia, Centro-Italia, Sud-Italia e Isole).

In particolare per gli impianti di riscaldamento sono state considerate:

- tre tipologie di sistemi di alimentazione (gas, gasolio ed elettrico),
- tre tipologie di sistemi di emissione dell'aria (radiatori, fan coil e termoconvettori)
- due sistemi di regolazione della temperatura (per stanza e per piano);

gli impianti di climatizzazione sono stati suddivisi in:

- quattro tipologie di impianti (condizionatore fisso, mobile, pompe di calore e caldaie)
- due sistemi di regolazione della temperatura (per stanza e per piano).

La valutazione delle diverse tipologie di sistemi impiantistici viene riferita dall'autore agli stessi parametri utilizzati per la determinazione degli edifici tipo, ovvero zone geografiche ed epoche costruttive, ma non gli è stato possibile identificare per ognuno degli edifici tipo le diverse tipologie di impianto ad esso asservite vista l'insufficienza di dati.

Infine, per quanto riguarda i dati climatici, dall'indagine dell'intero settore emerge la presenza di 64911 edifici ad uso ufficio distribuiti sul territorio nazionale. La zona geografica con il maggior numero di edifici è il Nord - Italia con 29559 immobili, seguita dal Sud - Italia e Isole con 23770, e infine c'è il Centro - Italia con 11582. L'autore sceglie come città di riferimento Milano e Genova per il Nord Italia, Latina, Roma e Perugia per il Centro, Palermo, Napoli ed Avellino per il Sud Italia e le isole. Per ognuna delle località sopra indicate l'autore ha poi sviluppato delle simulazioni per definire il fabbisogno energetico per riscaldamento e climatizzazione invernale.

Nel panorama delle simulazioni energetiche sugli edifici per uffici, si deve riscontrare come la tipologia dell'edificio "a stecca" sia stata scelta invece come edificio tipo di riferimento da Zinzi, Agnoli e Fasano. Una ricerca di edifici tipo in ambito terziario è stata alla base del lavoro di ricerca svolto all'interno dell'attività della Task 40 "Net Zero Energy Buildings" dell'International Energy Agency, descritta da Cellura. Parallelamente ad un'attività di ricerca più generale, esiste un'analisi dedicata ad una nicchia di edifici per uffici, ovvero gli edifici governativi: si tratta del lavoro svolto da Ferrari et al. che mira ad individuare le migliori soluzioni di riqualificazione per tali tipologie di strutture [Ferrari et al.]

Un edificio di riferimento per il settore terziario è anche proposto nel lavoro di Cesaratto e De Carli, dove l'edificio tipo considerato è sviluppato su tre piani e presenta per ogni piano dieci unità-ufficio, ciascuna ideata per quattro occupanti, due vani scale, due bagni e un corridoio. Tutti i vani sono stati considerati riscaldati, le superfici finestrate sono equamente ripartite sui lati esposti ad Est ed Ovest. Per le analisi sono state utilizzate strutture ad elevate prestazioni di isolamento termico, con valori di trasmittanza termica inferiori allo standard edilizio italiano. Al variare della zona climatica, dalla E alla B, si sono variate le strutture, mediante riduzione progressiva dello spessore di isolante, utilizzando anche elementi finestrati con differenti prestazioni energetiche.

Partendo da quanto offre la bibliografia in materia, l'analisi è stata quindi condotta su un campione molto vasto di edifici su cui si hanno soltanto delle macro-indicazioni (database generale, analisi ENEA descritta in precedenza), e parallelamente un'analisi di dettaglio di edifici per uffici esistenti. 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). Altro importante riferimento per la definizione dell'archetipo dell'edificio per uffici è stata bibliografia di matrice architettonica e compositiva (come Gottshalk ad es.).

3.3.2 Requisiti illuminotecnici normativi e legislativi per edifici per uffici

Differentemente da quanto si è potuto analizzare per le scuole, le indicazioni legislative e normative in merito all'edilizia terziaria e ai requisiti di comfort da mantenere all'interno di tali ambienti sono molto scarse e si limitano al mantenimento dei sufficienti valori di illuminamento all'interno degli ambienti (prescritti in UNI 12464) e alla verifica del FMLD secondo quanto prescritto da DM 18/12/1975.

3.3.3 Elementi architettonici caratteristici per edifici per uffici

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 per uffici 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 son 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 per uffici 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 son riportati gli edifici rientranti nel database generale di strutture per uffici analizzato come primo riferimento per la costruzione dell'archetipo. Gli edifici per uffici son suddivisi per Regioni (o per gruppi di Regioni), e caratterizzati in funzione della zona climatica e delle ore di funzionamento, nonché in base alla tipologia di ente cui l'edificio per uffici può essere ricondotto.

Tabella 3 - Distribuzione degli edifici per uffici sul territorio italiano

Regioni	ZonaClimatica			Stima ore di funzionamento per area climatica			Stima GR-G per Zona Climatica (valore medio)			STIMA DISTRIBUZIONE TERRITORIALE ZONE CLIMATICHE IN FUNZIONE DEL COMUNE			AMMINISTRAZIONI, ENTI ED AZIENDE STATALI	AMMINISTRAZIONI ENTI ED AZIENDE DEL S.S.N.	AMMINISTRAZIONI ED AZIENDE LOCALI	ISTRUZIONE, UNIVERSITA' ED ENTI DI RICERCA
	C/D	E	F	1.079	1.294	1.569	1.572	2.554	3.462	10%	65%	25%				
VdA - Piemonte - Liguria	C/D	E	F	1.079	1.294	1.569	1.572	2.554	3.462	10%	65%	25%	32%	15%	45%	8%
Lombardia	D/E/F			1.353			3.312			100%			32%	15%	45%	8%
Veneto - FVG	D/E	F		1.245	1.569		2.406	3.953		88%	12%		32%	15%	45%	8%
Trentino Alto Adige	E	F		1.294	1.569		2.634	4.074		16%	84%		32%	15%	45%	8%
Emilia Romagna	D/E/F	0		1.079			3.027			100%			32%	15%	45%	8%
Toscana - Umbria	C/D	E/F		1.079	1.432		1.545	2.886		53%	47%		32%	15%	45%	8%
Lazio	C	D	E/F	961	1.196	1.432	1.163	1.754	2.645	10%	48%	42%	46%		54%	
Marche - Abruzzo - Molise	C/D	E/F		1.079	1.432		1.651	3.053		48%	52%		32%	15%	45%	8%
Campania	C	D	E/F	1.294	1.196	1.432	1.155	1.752	2.773	41%	46%	13%	32%	15%	45%	8%
Basilicata - Calabria - Pugl	B/C	D	E/F	902	1.196	1.432	1.032	1.403	2.398	42%	40%	18%	27%		73%	
Sicilia	AB	C	D/E/F	784	961	1.353	734	1.151	2.355	24%	42%	34%	32%	15%	45%	8%
Sardegna	B	C	D/E	843	961	1.245	822	1.151	1.898	9%	51%	40%	32%	15%	45%	8%

Parallelamente, son stati consultati i documenti presenti in bibliografia descrittivi di edifici per uffici di recente realizzazione, e son stati analizzati edifici terziari esistenti presenti sul territorio italiano, al fine di avere un riscontro immediato ed operativo delle differenti tipologie edifici per uffici effettivamente presenti sul territorio italiano. Il quadro delle fonti consultate può essere riassunto nello schema riportato qui di seguito.

Tabella 4 - Fonti utilizzate per individuare le caratteristiche degli elementi edilizi dell'archetipo

ELEMENTO	RIFERIMENTO PER LA DETERMINAZIONE DELLA CARATTERISTICA			
	EDIFICIO ANTE 1945	EDIFICIO ANNI '60-'70	EDIFICIO ANNI '70-'90	EDIFICIO DI RECENTE COSTRUZIONE
PARETE PERIMETRALE ESTERNA	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO

SUPERFICIE COPERTURA	DI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
PARTIZIONI INTERNE		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
SOLAIO DI ATTACCO A TERRA		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO
ELEMENTI TRASPARENTI		RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI / EDIFICI VISIONATI	LEGISLAZIONE E NORMATIVA VIGENTE / EDIFICI IN PROGETTO

3.4 La costruzione dell'archetipo per uffici

Dopo l'analisi di quello che è lo "stato dell'arte" della ricerca scientifica in ambito di uffici, e dopo l'analisi delle caratteristiche degli edifici terziari 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.

3.4.1 Edificio

La definizione di un edificio per uffici di riferimento non è immediata.

Il primo sostanziale problema è caratterizzare in modo chiaro ed univoco le attività che dovranno essere svolte negli ambienti confinati, poiché nei cosiddetti palazzi per uffici lavorano quotidianamente gran parte dei lavoratori delle economie moderne. Inoltre, le caratteristiche di un edificio per uffici risente non solo delle funzioni svolte, ma anche del tipo di attività e di aggregazione lavorativa che la società che lo occupa decide di sposare. Si è del resto assistito ad un'evoluzione molto forte della distribuzione interna degli edifici per uffici, legata sostanzialmente alle diverse forme di suddivisione del lavoro terziario che dagli anni '50 in avanti si sono registrate. Queste differenze sono state messe in risalto in particolare da Gottshalk, e devono essere intese anche come un'evoluzione della distribuzione architettonica alle diverse attrezzature di lavoro e alle differenti forme di organizzazione:

- Periodo ante 1970:
 - tipologia distributiva: pianta cellulare;
 - attrezzature di lavoro: macchine da scrivere, telefoni, raccoglitori, posta pneumatica
 - localizzazione preferenziale: centro città, cerchia semicentrale
- Periodo 1970-1990:
 - tipologia distributiva: open space;
 - attrezzature di lavoro: macchine da scrivere elettriche, registratori
 - localizzazione preferenziale: centro direzionale, periferia
- Periodo post 1990:
 - tipologia distributiva: mista;
 - attrezzature di lavoro: videoterminali, sistemi elettronici
 - localizzazione preferenziale: periferia "nel verde"

Nel panorama edilizio italiano si deve riscontrare un'ulteriore possibilità, che si verifica soprattutto nei centri storici delle grandi città, dove edifici storici sono utilizzati come sede di rappresentanza di importanti società (ad es. banche). Anche la tipologia edilizia si sta lentamente evolvendo: dagli edifici "a piastra" o "a stecca", considerati come archetipi da Martin et al. negli anni '60, si è ormai affermata la tipologia a torre, particolarmente diffusa nelle metropoli. La definizione di un edificio tipo per uffici non può prescindere dalla riflessione sulla costruzione degli archetipi e dai lavori sulla simulazione energetica che di recente sono stati proposti. In

particolare, si tratterebbe in questo caso di creare degli archetipi di edifici per uffici a partire dalle indicazioni bibliografiche riscontrabili nella realtà costruita, e caratterizzarli con profili d'uso già utilizzati da altri autori in ambito internazionale (vedi ad es. Krarti e Jankins tra gli altri)

3.4.2 Dati di input per la modellazione

Alla luce di quello che è lo “stato dell'arte”, al fine di determinare per edifici genericamente per uffici i profili di fabbisogno energetico per illuminazione, si ipotizza di eseguire delle simulazioni su archetipi le cui caratteristiche sono proposte qui di seguito.

3.4.2.1 Tipologia di edificio

Si è già accennato all'evoluzione dell'edificio per uffici nel tempo, a fronte di una contemporanea evoluzione delle attività svolte nel medesimo. Si propone pertanto di utilizzare 4 tipologie di edificio:

1. un edificio rappresentativo del periodo ante 1970, caratterizzato da un numero di piani non superiore a 6, dalla forma cosiddetta “a stecca”, e con una pianta a distribuzione cellulare
2. un edificio rappresentativo del periodo 1970-1990, caratterizzato da un numero di piani non superiore a 6, dalla forma cosiddetta “a torre”, e con spazi aperti per il lavoro (tipologia open space)
3. un edificio rappresentativo del periodo post 1990, caratterizzato da un numero di piani almeno pari a 10, dalla forma cosiddetta “a torre”, e con distribuzione di tipo mista
4. un edificio storico, collocato in zona urbanistica di tipo A, riadattato a sede di rappresentanza

La pianta sarà rettangolare nel caso dell'edificio a stecca o quadrata nel caso dell'edificio a torre. Il sistema connettivo verticale sarà posto nel primo caso alle due estremità dell'edificio, mentre nel caso dell'edificio a torre sarà collocato centralmente. Gli uffici saranno collocati a tutti i piani ad eccezione del piano terra, seguendo gli schemi distributivi suggeriti in bibliografia. Al piano terra troveranno spazio spazi di circolazione e reception. Nel caso di edifici singoli, si considera come elemento minimo un ufficio avente profondità 5 m e larghezza 3 m, con altezza netta di 3 m (salvo si rientri nel caso di edificio storico riadattato), con illuminazione unilaterale e corridoio largo almeno 1,2 m.

3.4.2.2 Caratteristiche edilizie dell'edificio

Dal punto di vista edilizio, seguendo i suggerimenti ricavabili in bibliografia in merito alla costruzione di archetipi, si sceglie di utilizzare differenti involucri, corrispondenti a differenti periodi storici italiani, emblematici di particolari tecnologie edilizie. Gli edifici individuati saranno caratterizzati nel seguente modo:

- edificio storico: struttura in muratura portante o in pietra, finestre singole di dimensione indicativa di 1 m x 1,8 m, altezze interpiano importanti (>3,5 m), presenza di doppi vetri ad alte prestazioni in seguito ad interventi successivi di riqualificazione energetica
- edificio rappresentativo del periodo ante 1970: tamponature in cassa vuota o in pannelli prefabbricati, struttura portante in c.a., finestratura a nastro secondo moduli di 1,2-2 m
- edificio rappresentativo del periodo 1970-1990: tamponature in cassa vuota o in pannelli prefabbricati con presenza di minimo isolamento, struttura portante in c.a. o in acciaio, finestratura a nastro secondo moduli di 1,2-2 m con doppi vetri
- edificio rappresentativo del periodo post 1990: involucro leggero, ampie parti interamente finestrate con doppi vetri ad alta prestazione

Tabella 5 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici ante 1945

ELEMENTO	EDIFICIO ANTE 1945 – TUTTI I CLIMI		
	TIPOLOGIA	U [W/M ² K]	SPESORE [CM]

PARETE PERIMETRALE ESTERNA	PARETE IN MURATURA PIENA INTONACATA SUI DUE LATI	1,2	2 (INTONACO) + 42 (MURATURA) + 2 (INTONACO)
SUPERFICIE DI COPERTURA	STRUTTURA IN LATEROCEMENTO	1,8	10 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 18 (STRATO PORTANTE) + 1 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
PARTIZIONI INTERNE	ELEMENTO DIVISORIO	2,5	1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO) + 12 (LATERIZIO) +1,5 (STRATO DI FINITURA IN INTONACO)
SOLAIO DI ATTACCO A TERRA	SOLAIO NON AERATO SU TERRENO	1,49	15 (VESPAIO IN GHIAIA) + 15 (STRATO IN CEMENTO) + 6 (STRATO DI LIVELLAMENTO IN CEMENTO) + 1 (PAVIMENTO CERAMICO)
ELEMENTI TRASPARENTI	TELAIO IN LEGNO, VETRI CHIARI DOPPI BASSO EMISSIVI	$U_g = 1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_F = 3,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	-

Tabella 6 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici ante 1970

Edificio anni '60-'70 – Tutti i climi			
Elemento	Tipologia	U [$\text{W/m}^2 \text{ K}$]	Spessore [cm]
Parete perimetrale esterna	Parete a cassavuota	1,14	2 (intonaco) + 12 (laterizio) + 5 (intercapedine) + 12 (laterizio) + 2 (intonaco)
Superficie di copertura	Struttura in laterocemento	1,8	6 (strato di livellamento in cemento) + 24 (strato portante in laterocemento) + 1 (strato di finitura in intonaco)
Partizioni interne	Elemento divisorio	2,5	1,5 (strato di finitura in intonaco) + 12 (laterizio) +1,5 (strato di finitura in intonaco)

Solaio di attacco a terra	Solaio non aerato su terreno	1,49	15 (vespaio in ghiaia) + 15 (strato in cemento) + 6 (strato di livellamento in cemento) + 1 (pavimento ceramico)
Elementi trasparenti	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 7 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici costruiti nel periodo 1970-1990

Edificio anni '70-'90 – Tutti i climi			
Elemento	Tipologia	U [W/m ² K]	Spessore [cm]
Parete perimetrale esterna	Parete a cassavuota con isolante	0,53	2 (intonaco) + 12 (laterizio) + 4 (isolante) + 4 (intercapedine) + 12 (laterizio) + 2 (intonaco)
Superficie di copertura	Struttura in laterocemento	1,8	6 (strato di livellamento in cemento) + 24 (strato portante in laterocemento) + 1 (strato di finitura in intonaco)
Partizioni interne	Elemento divisorio	2,5	1,5 (strato di finitura in intonaco) + 12 (laterizio) + 1,5 (strato di finitura in intonaco)
Solaio di attacco a terra	Solaio non aerato su terreno	1,49	15 (vespaio in ghiaia) + 15 (strato in cemento) + 6 (strato di livellamento in cemento) + 1 (pavimento ceramico)
Elementi trasparenti	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 8 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici di recente costruzione realizzati a Torino

Edificio di recente costruzione – Sito: Torino			
Elemento	Tipologia	U [W/m ² K]	Spessore [cm]
Parete perimetrale esterna	Parete in laterizio isolata	0,3	2 (intonaco)
			+ 24 (laterizio)
			+ 10 (isolante)
			+ 12 (laterizio)
			+ 2 (intonaco)
Superficie di copertura	Struttura in laterocemento	0,27	6 (isolante)
			+ 6 (strato di livellamento in cemento)
			+ 24 (strato portante in laterocemento)
			+ 1 (strato di finitura in intonaco)
Partizioni interne	Elemento divisorio	2,5	1,5 (strato di finitura in intonaco)
			+ 12 (laterizio)
			+1,5 (strato di finitura in intonaco)
Solaio di attacco a terra	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)
Elementi trasparenti	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 9 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici di recente costruzione realizzati a Roma

Edificio di recente costruzione – Sito: Roma			
Elemento	Tipologia	U [W/m ² K]	Spessore [cm]

Parete perimetrale esterna	Parete in laterizio isolata	0,35	2 (intonaco) + 24 (laterizio) + 8 (isolante) + 12 (laterizio) + 2 (intonaco)
Superficie di copertura	Struttura in laterocemento	0,3	4 (isolante) + 6 (strato di livellamento in cemento) + 24 (strato portante in laterocemento) + 1 (strato di finitura in intonaco)
Partizioni interne	Elemento divisorio	2,5	1,5 (strato di finitura in intonaco) + 12 (laterizio) + 1,5 (strato di finitura in intonaco)
Solaio di attacco a terra	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)
Elementi trasparenti	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 10 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici di recente costruzione realizzati a Napoli

Edificio di recente costruzione – Sito: Napoli			
Elemento	Tipologia	U [W/m ² K]	Spessore [cm]

Parete perimetrale esterna	Parete in laterizio isolata	0,38	2 (intonaco) + 24 (laterizio) + 7 (isolante) + 12 (laterizio) + 2 (intonaco)
Superficie di copertura	Struttura in laterocemento	0,3	2 (isolante) + 6 (strato di livellamento in cemento) + 24 (strato portante in laterocemento) + 1 (strato di finitura in intonaco)
Partizioni interne	Elemento divisorio	2,5	1,5 (strato di finitura in intonaco) + 12 (laterizio) +1,5 (strato di finitura in intonaco)
Solaio di attacco a terra	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)
Elementi trasparenti	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 11 - Stratigrafie e trasmittanze degli elementi edilizi per edifici per uffici di recente costruzione realizzati a Palermo

Edificio di recente costruzione – Sito: Palermo			
Elemento	Tipologia	U [W/m ² K]	Spessore [cm]
Parete perimetrale esterna	Parete in laterizio isolata	0,46	2 (intonaco) + 24 (laterizio) + 4 (isolante) + 12 (laterizio) + 2 (intonaco)




Superficie di copertura	Struttura in laterocemento	0,3	2 (isolante) + 6 (strato di livellamento in cemento) + 24 (strato portante in laterocemento) + 1 (strato di finitura in intonaco)
Partizioni interne	Elemento divisorio	2,5	1,5 (strato di finitura in intonaco) + 12 (laterizio) + 1,5 (strato di finitura in intonaco)
Solaio di attacco a terra	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)
Elementi trasparenti	Telaio in legno, vetri doppi basso emissivi	$U_g = 1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ $U_f = 3,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	-

3.4.2.3 Contesto urbano

Stante le indicazioni raccolte per edifici nuovi, e valutata la collocazione assunta all'interno dei centri urbani degli edifici storici e precedenti il 1970, si sceglie di impostare le simulazioni utilizzando la seguente collocazione urbana:

- edificio rappresentativo del periodo ante 1970: collocato a breve distanza da edifici di altezza inferiore
- edificio rappresentativo del periodo 1970-1990: collocato in contesti periferici con edifici alti al massimo a metà della sua altezza
- edificio rappresentativo del periodo post 1990: in evidenza rispetto al contesto
- edificio storico: collocato in centro storico, a breve distanza da edifici di pari o superiore altezza

Tabella 12 - Contesto urbano per i diversi archetipi edilizi

Edificio	Collocazione 1	Collocazione 2	Collocazione 3
Schematizzazione contesto urbano			
Edifici storici riadattati	Collocati in centro urbano	-	-
Edifici risalenti agli anni '60-'70	-	Collocati a breve distanza da edifici di altezza inferiore	-

Edifici risalenti agli anni '70-'90	-	Collocati in contesti periferici con edifici alti al massimo a metà della sua altezza	-
Edificio post 1990	-	-	Collocati in evidenza rispetto al contesto

3.4.2.4 Superficie finestrata

Coerentemente con quella che è la situazione reale riscontrabile nel patrimonio costruito, si sceglie di utilizzare le seguenti tipologie di vetri:

1. edificio rappresentativo del periodo ante 1970: vetri doppi non trattati, intercapedine d'aria
2. edificio rappresentativo del periodo 1970-1990: vetri doppi non trattati, intercapedine d'aria
3. edificio rappresentativo del periodo post 1990: doppi vetri basso emissivi, intercapedine argon
4. edificio storico: doppi vetri basso emissivi, intercapedine argon

L'illuminazione delle aule sarà unilaterale (secondo quanto proposto da molteplici autori), e l'orientamento delle finestre verrà fatto variare secondo le principali direzioni cardinali, come già sviluppato da Franzetti et al.

3.4.2.5 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. Il mese di agosto viene considerato come periodo non lavorativo

Dal punto di vista illuminotecnico, si fissa un valore di 500 lux come illuminamento medio richiesto sul piano di lavoro (da UNI 12464, prospetto 5.3, punto 3.2), mentre viene fissato un valore di 150 lux nelle zone di circolazione interne. Viene considerato il problema dell'abbagliamento: le simulazioni vengono effettuate con superfici vetrate dotate di sistemi schermanti fissi esterni o sistemi schermanti mobili interni regolati in modo da evitare fenomeni di abbagliamento molesto. Si verifica che tutti gli ambienti rispondano alla prescrizione di legge relativo al FMLD > 1%..

Tabella 13 - valori di illuminamento medio mantenuti (ricavati da UNI EN 12464)

Ambiente	Valore di illuminamento medio richiesto [lux]
Uffici singoli	500
Uffici open space	500
Connettivo	150
Servizi igienici	150

Dal punto di vista della qualità dell'aria, le prescrizioni legislative e normative sono molto stringenti. Si impostano i ricambi orari previsti da normativa (Norma UNI 10339) e si ipotizza un sistema di ventilazione meccanica, indipendentemente dal periodo di realizzazione dell'edificio: l'ipotesi è infatti che l'edificio sia stato riqualificato per poter garantire i requisiti di comfort previsti. Da Norma UNI 10339 si verifica che il ricambio orario previsto è 11 l/s persona, con un indice di affollamento pari a 0,06 persone/m² per uffici singoli, e 0,12 persone/m² per open space.

3.4.2.6 Impianti installati per il mantenimento del comfort all'interno degli ambienti confinati

Il mantenimento del comfort termico all'interno degli ambienti in regime invernale ed estivo viene sempre garantito all'interno degli edifici per uffici italiani. A tal proposito si sceglie di dotare gli edifici analizzati con un impianto di climatizzazione:

1. a tutt'aria per gli edifici realizzati sino al 1990
2. di tipo misto (impianto ad aria+ pannelli radianti) per edifici realizzati dopo il 1990.

L'illuminazione interna è affidata a lampade fluorescenti, gestite con differenti sistemi di controllo. Per gli edifici realizzati dopo il 1990 si può supporre la presenza di un sistema di desk lighting integrativo dell'illuminazione d'insieme. Per tutti gli edifici si propone un sistema di controllo di tipo on-off (rappresentativo della tecnologia più ricorrente), poi si impiega un sistema di controllo di tipo lineare continuo.

3.4.2.7 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 computer completi di unità e monitor, di stampanti, e di server, senza però giungere alla collocazione di un centro di calcolo ed elaborazione dati vero e proprio. Inoltre si è considerata la presenza di macchine fotocopiatrici di dimensioni medio - grandi a disposizione degli utenti degli uffici. Negli uffici singoli, si è considerata una possibile tipica dotazione da ufficio, in funzione del layout distributivo degli spazi nell'edificio per uffici 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 W/pezzo);
- schermi per computer (30 W/pezzo);
- stampanti (100 W/pezzo);
- macchina fotocopiatrice (500 W/pezzo);
- server di piccole dimensioni per uffici (600 W/pezzo).

Complessivamente, gli apporti gratuiti legati ad apparecchiature per ufficio sono stimati in 20 W/m².

3.4.2.8 Collocazione geografica

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 14 - 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 ²]
Milano	E	2404	-5	1,7	31,9	1,1	16,5
Roma	D	1415	0	7,6	33,8	2,6	20,5
Napoli	C	1034	2	10,5	32,4	2,3	20,6
Palermo	B	751	5	11,1	32,6	3,6	21,6

3.4.2.9 Archetipi simulati

A valle delle riflessioni sopra esposte, le seguenti variabili saranno fatte variare nella caratterizzazione dell'edificio campione:

1. Tipologia di edificio:
 - 1.1.edificio rappresentativo del periodo ante 1970
 - 1.2.edificio rappresentativo del periodo 1970-1990
 - 1.3.edificio rappresentativo del periodo post 1990
 - 1.4.edificio storico riadattato
2. Profilo d'uso:
 - 2.1.8.00-18.00 (o in alternativa 9.00 – 19.00)
3. Caratteristiche di involucro
 - 3.1.specifiche per ogni edificio rappresentativo
4. Dimensioni uffici singoli
 - 4.1.l=3 m, b= 4 m [N.d.R., qualora siano previsti]
5. Sistema di controllo dell'impianto di illuminazione artificiale
 - 5.1.on/off
 - 5.2.dimmeraggio continuo
6. Collocazione geografica
 - 6.1.Torino
 - 6.2.Roma
 - 6.3.Napoli
 - 6.4.Palermo
7. Schermature:
 - 7.1.Schermature fisse
 - 7.2.Schermature mobili

3.4.2.10 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 per uffici rappresentativo del tipo considerato, in accordo alla norme tecniche di riferimento.

Si sono considerati orari di apertura e di occupazione rappresentativi di un qualsiasi edificio terziario italiano

Il profilo di occupazione può essere desunto da quanto proposto in bibliografia: 9-18 per tutti i giorni lavorativi. Nel corso del sabato e della domenica non si svolgono attività nell'edificio, pertanto non risulta occupato.

In aggiunta, nel corso dell'anno si sono considerati i periodi festivi tipici per le attività amministrative. In tali periodi di vacanza si è considerata l'edificio chiuso e quindi privo di occupazione rilevante. In particolare si sono

considerati i seguenti principali periodi di vacanza:

- 8 Dicembre,
- periodo natalizio – dal 24 Dicembre al 26 Dicembre,
- periodo pasquale – dal 10 al 12 Aprile,
- 25 Aprile,
- 1 Maggio,
- 2 Giugno,
- periodo estivo di chiusura totale – dall'1 al 15 Agosto.

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

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.

3.5 Risultati di simulazione

La costruzione dell'archetipo di edificio per uffici ha reso possibile effettuare la valutazione dei fabbisogni di energia per illuminazione artificiale, per riscaldamento e per raffrescamento della struttura di riferimento così definita. L'analisi viene condotta facendo variare di volta in volta l'orientazione delle finestre, per verificare le differenti condizioni e la diversa prestazione energetica, nonché le caratteristiche geometriche e architettoniche dell'edificio, e il sistema di controllo dell'illuminazione artificiale. In particolare sono condotte molteplici simulazioni nelle quali le seguenti variabili saranno fatte variare nella caratterizzazione dell'edificio archetipo: I risultati delle simulazioni numeriche conducono innanzitutto a quelli che sono i valori medi di fabbisogno energetico per illuminazione e totale per un edificio per uffici generico: il fabbisogno per illuminazione ammonta mediamente a 77,82 kWh/m² anno, a fronte di un fabbisogno totale di energia pari a 272,81 kWh/m² anno, con un'incidenza sul totale del 29%. Si è poi cercato di analizzare come tali valori variassero nelle diverse tipologie di edificio e poi nelle varie collocazioni geografiche. I grafici sottostanti riportano in forma sinottica tali informazioni.

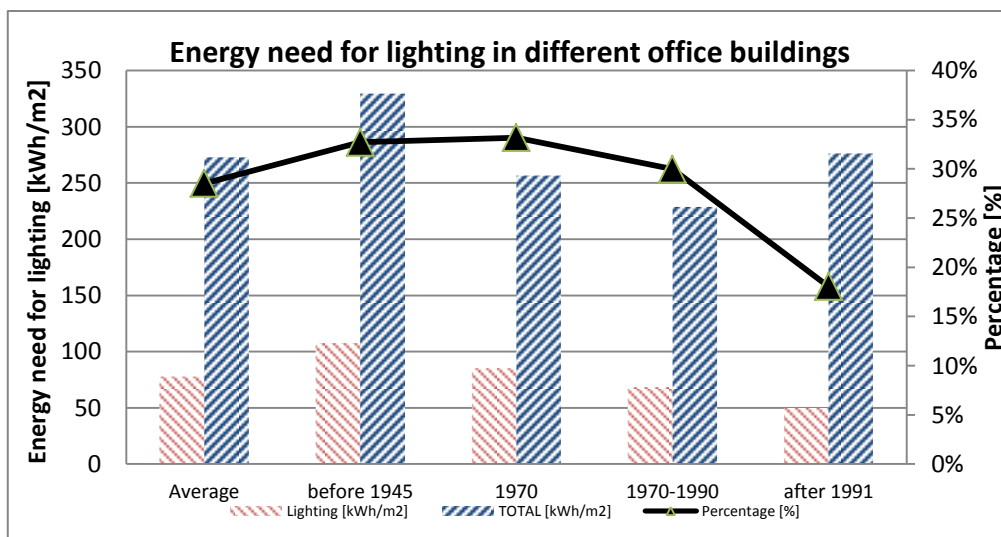


Figura 4 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per le diverse tipologie di edifici per uffici

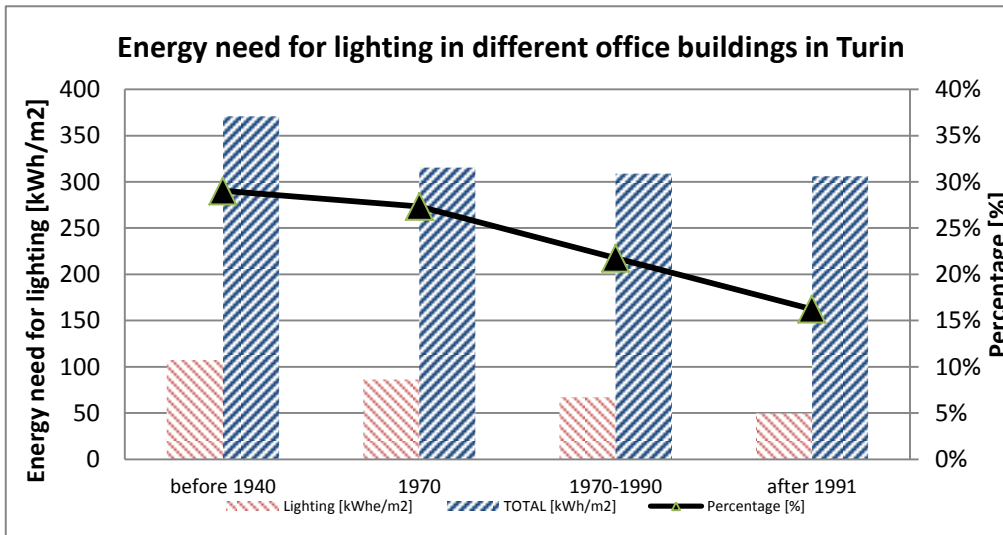


Figura 5 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per le diverse tipologie di edifici per uffici a Torino

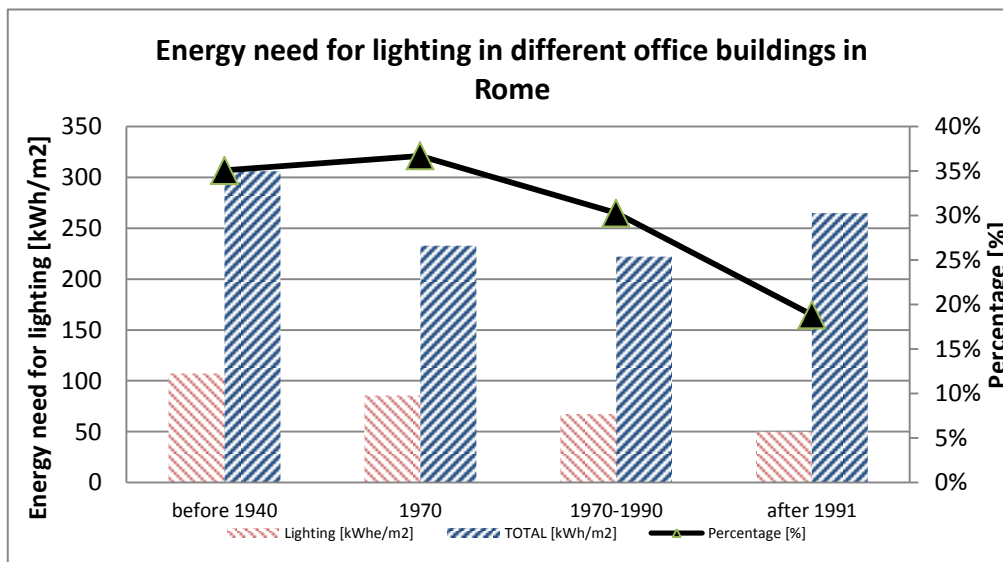


Figura 6 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per le diverse tipologie di edifici per uffici a Roma

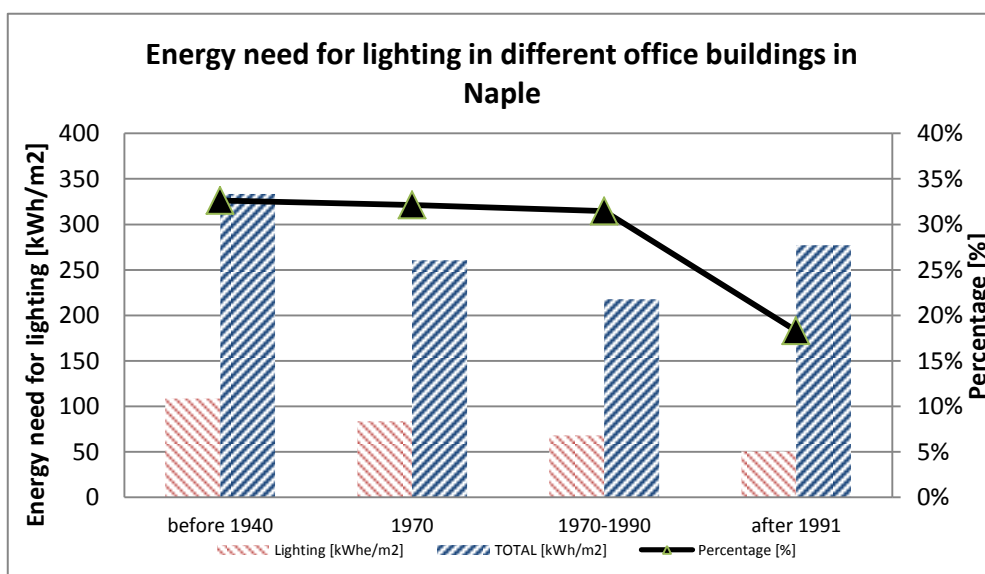


Figura 7 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per le diverse tipologie di edifici per uffici a Napoli

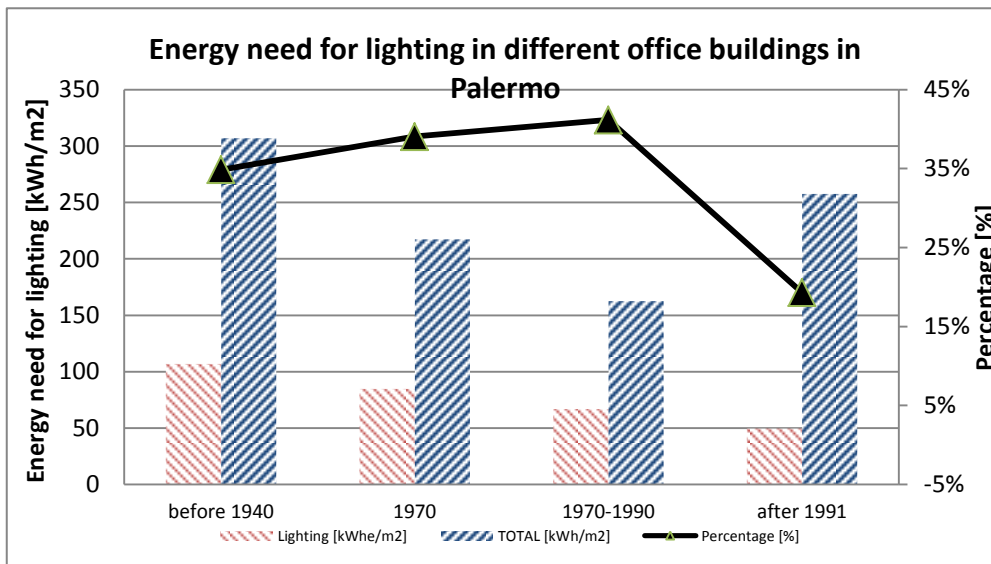


Figura 8 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per le diverse tipologie di edifici per uffici a Palermo

I risultati sopra riportati evidenziano come il fabbisogno per illuminazione sia decrescente man mano che gli edifici sono più moderni e caratterizzati da una percentuale crescente di superficie vetrata. Parallelamente, a livello italiano è decrescente anche l'incidenza di tale voce di fabbisogno sul fabbisogno totale, ma tale andamento trova riscontro nei singoli siti di Torino e Roma, dove il fabbisogno totale si mantiene sostanzialmente costante nelle varie tipologie edilizie. Nei climi più caldi (come Napoli e Palermo) si assiste invece ad un lieve incremento dell'incidenza percentuale del fabbisogno per illuminazione negli edifici costruiti negli anni Sessanta-Settanta e prima del 1991, e poi un sostanziale decremento, collegato al forte aumento del fabbisogno totale collegato alle crescenti richieste di condizionamento estivo che l'edificio a torre in clima caldo mediterraneo comporta.

Alla luce dei risultati sopra riportati, si è cercato di verificare quali fossero i fabbisogni energetici per illuminazione dei differenti edifici per uffici collocati nei diversi siti italiani.

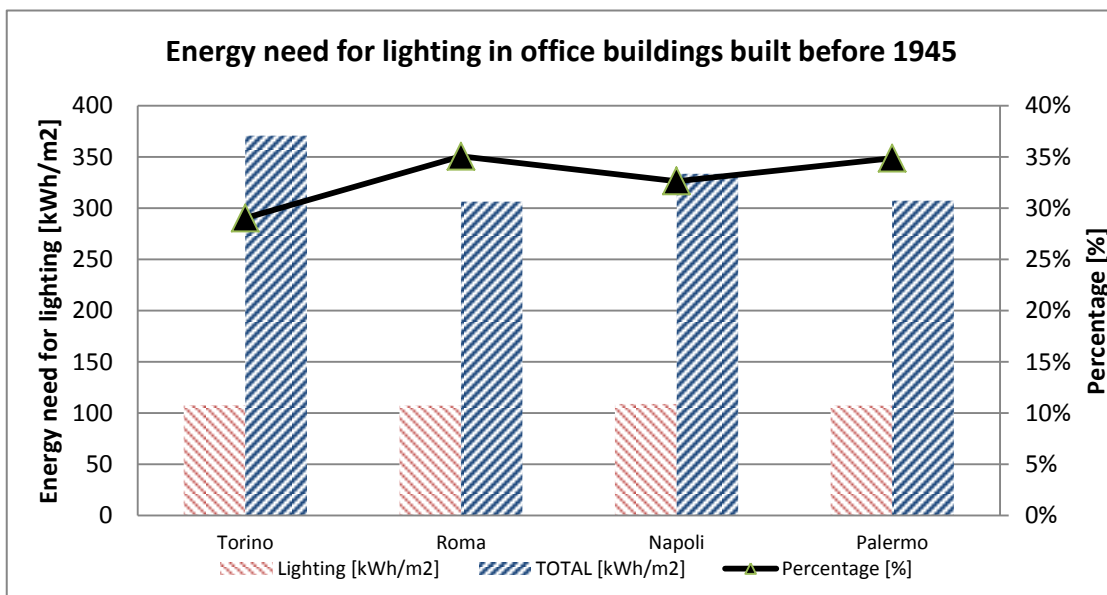


Figura 9 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti prima del 1945

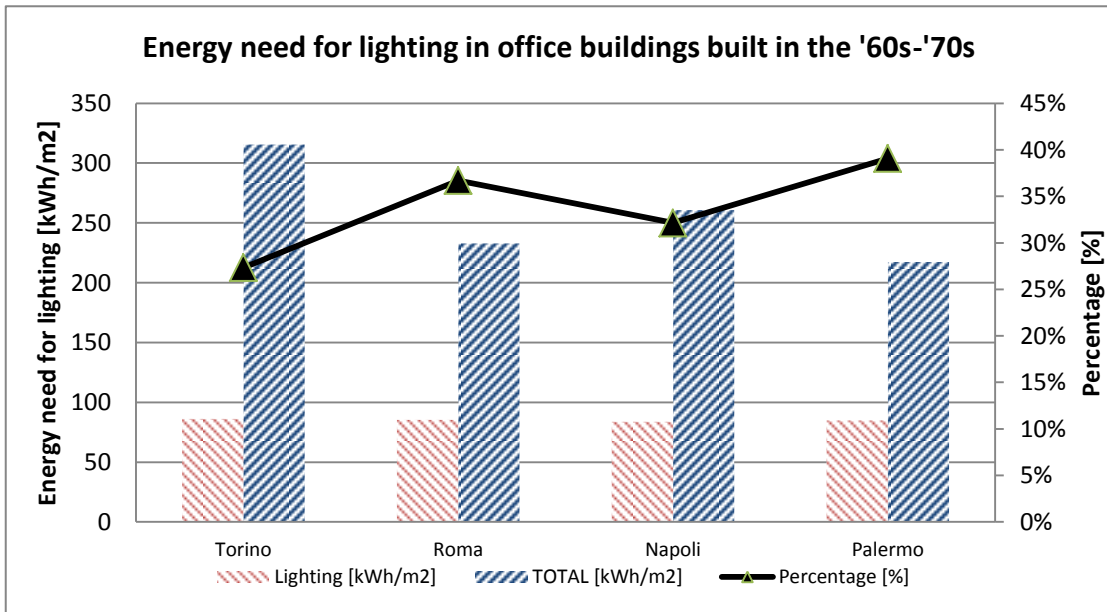


Figura 10 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti negli anni Sessanta-Settanta

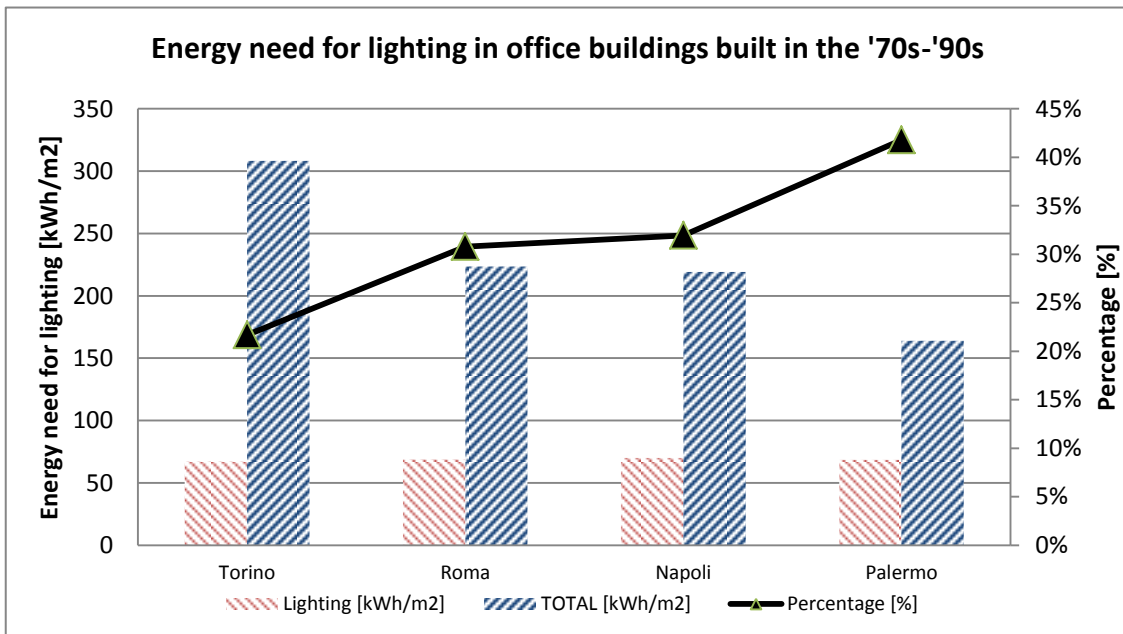


Figura 11 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti nel periodo 1970-1990

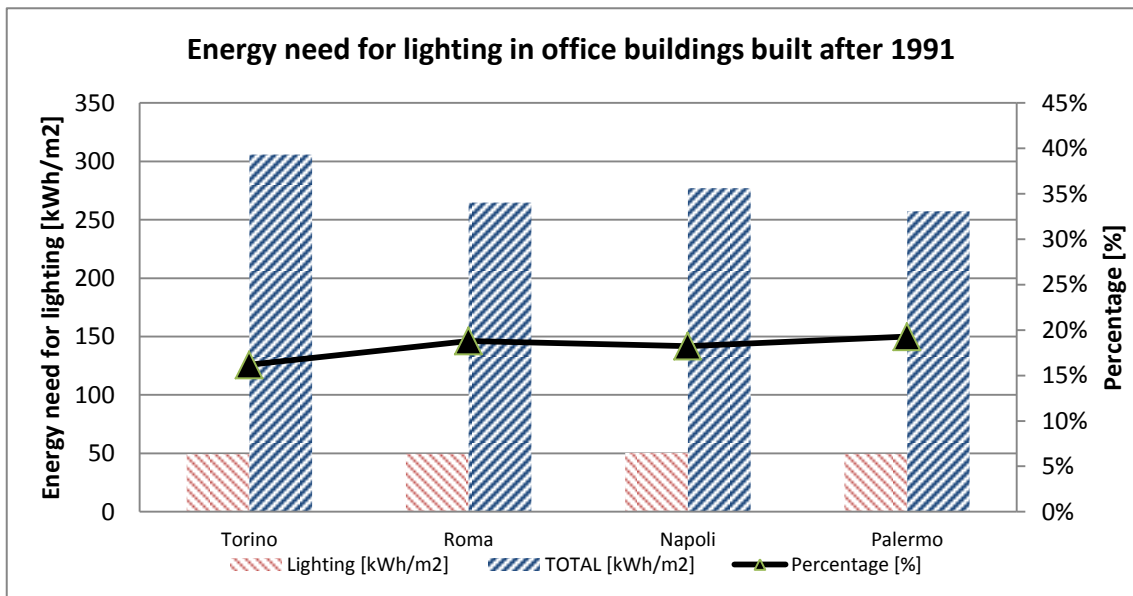


Figura 12 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti dopo il 1991

I risultati sopra riportati mostrano come il fabbisogno per illuminazione incida in percentuale maggiormente sul totale man mano che ci si sposta verso climi caldi ma resti numericamente invariato nelle differenti tipologie di edifici per uffici. Negli edifici per uffici realizzati dopo il 1991 (tipologia a torre) l'incidenza percentuale resta invece invariata indipendentemente dalla collocazione geografica, ma anche in questo caso si verifica una tendenza all'aumento nei climi più caldi. Da sottolineare come a Napoli il fabbisogno energetico totale sia superiore rispetto al caso di Roma e Palermo per tutte le tipologie di edifici considerati. In sintesi la tipologia di edificio per uffici determina, variando la collocazione geografica, una differente incidenza del fabbisogno per illuminazione sul totale, ma non un differente valore assoluto di tale dato energetico.

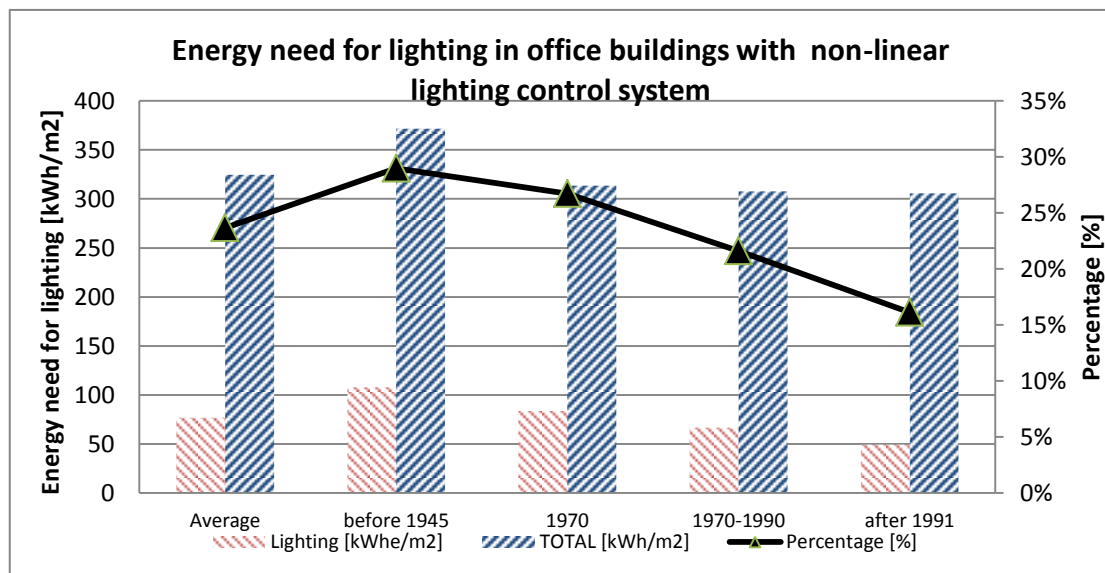


Figura 13 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo non lineare

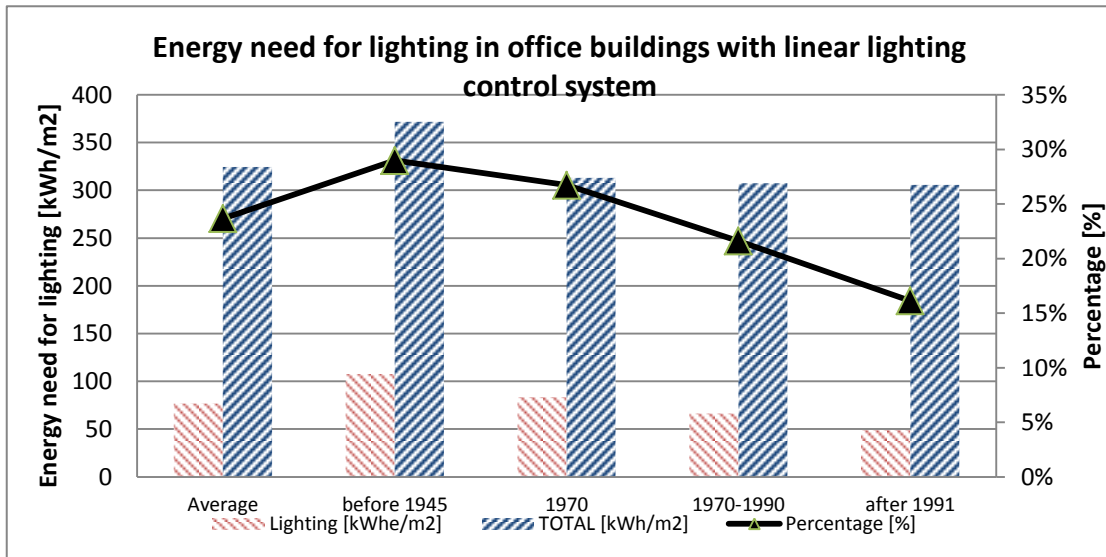


Figura 14 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo lineare

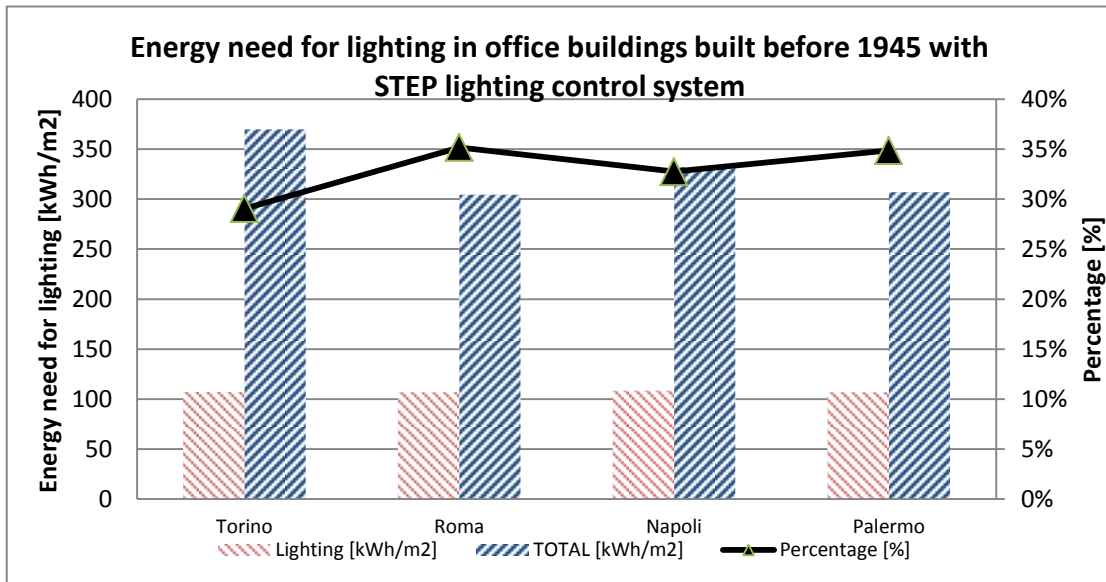


Figura 15 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo non lineare costruiti prima del 1945

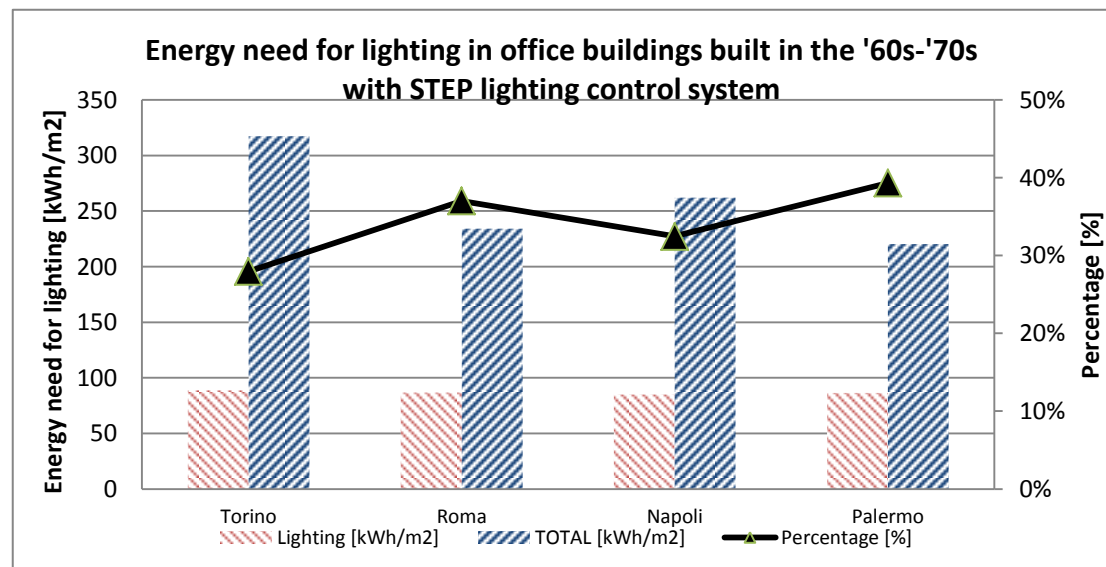


Figura 16 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo non lineare costruiti negli anni '60-'70

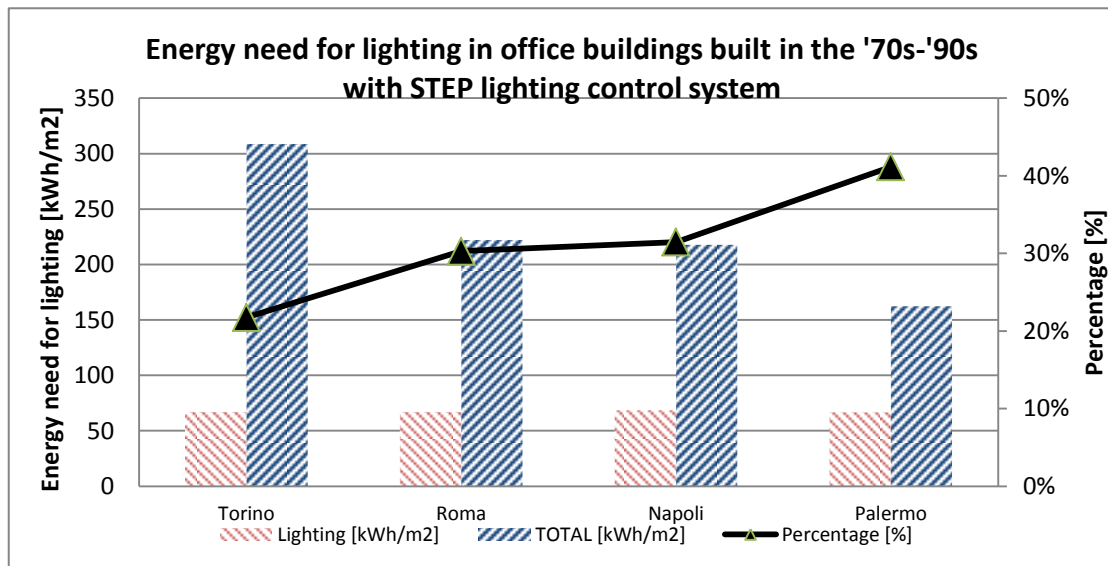


Figura 17 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo non lineare costruiti nel periodo 1970-1990

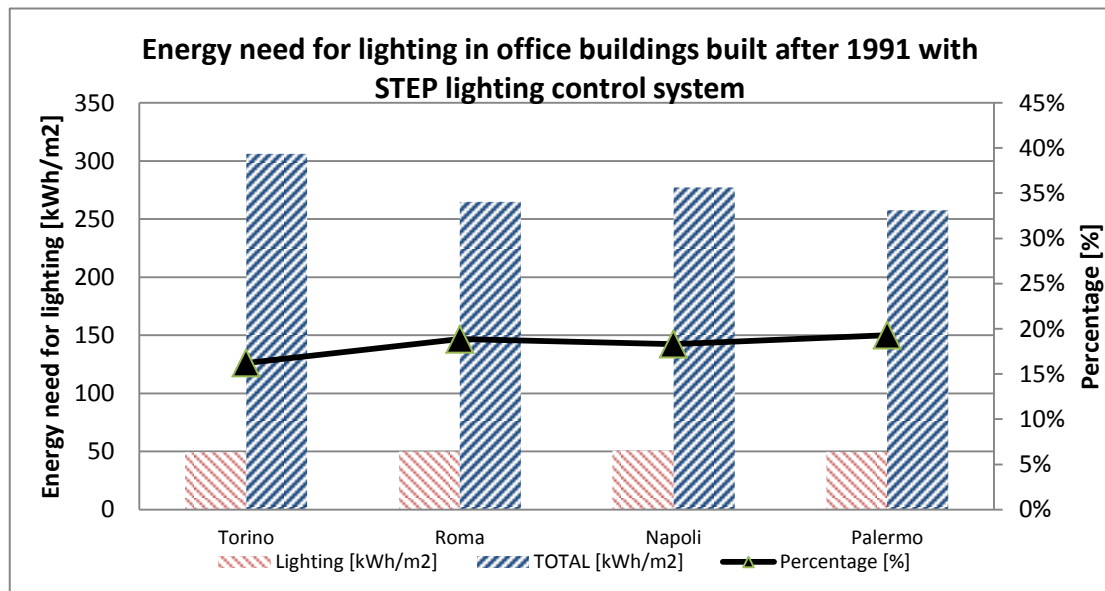


Figura 18 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo non lineare costruiti dopo 1991

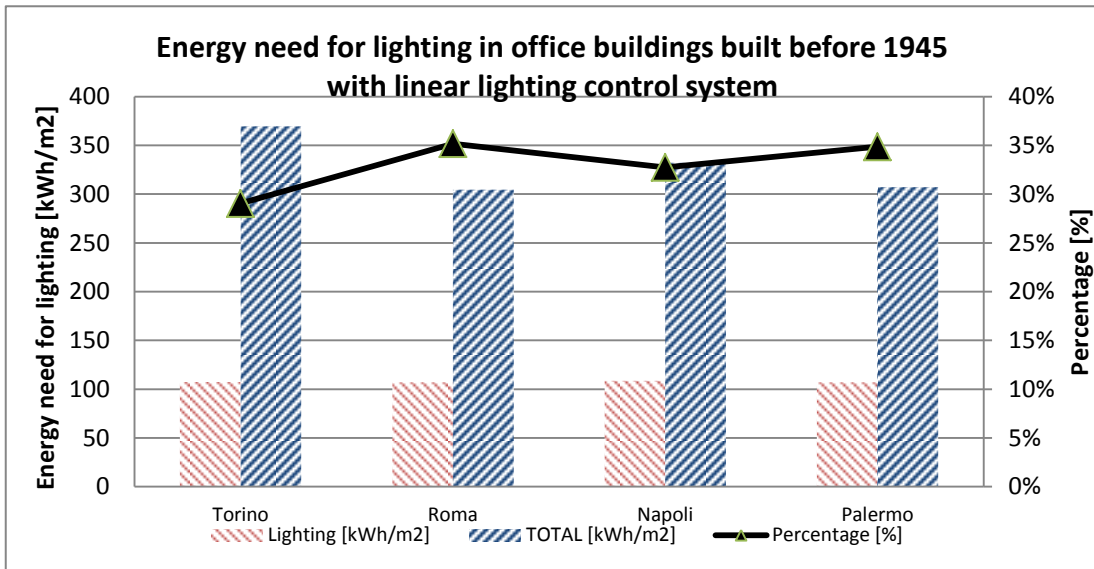


Figura 19 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo lineare costruiti prima del 1945

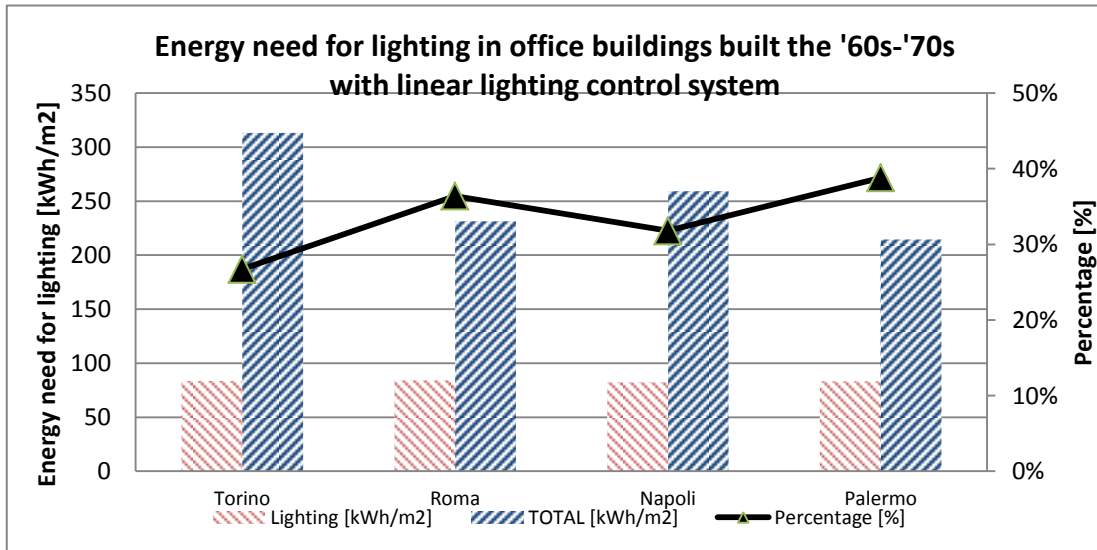


Figura 20 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo lineare costruiti negli anni '60-'70

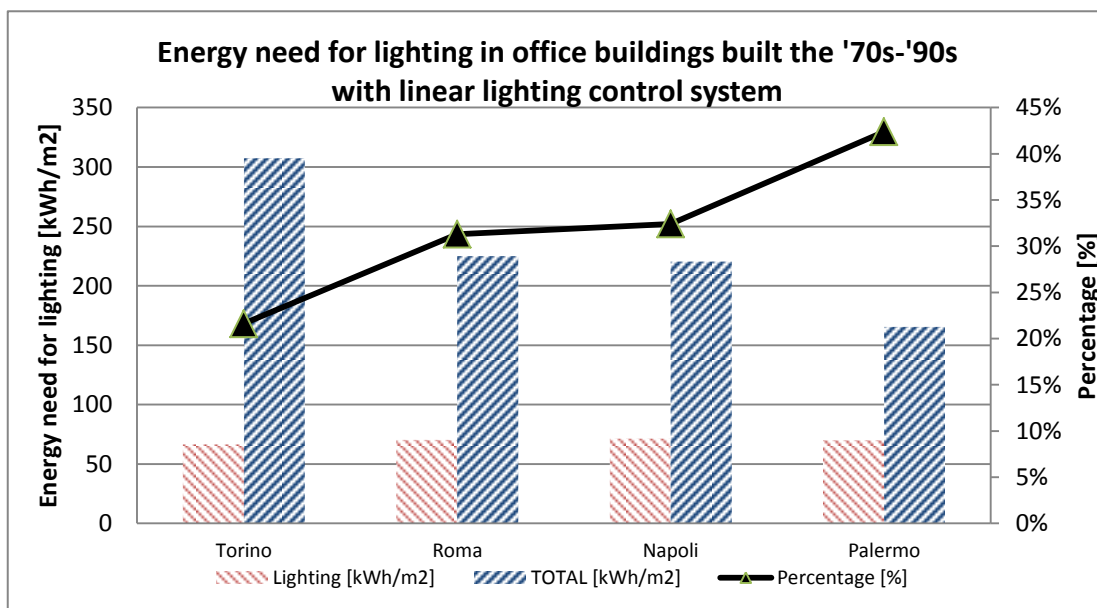


Figura 21 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo lineare costruiti nel periodo 1970-1990

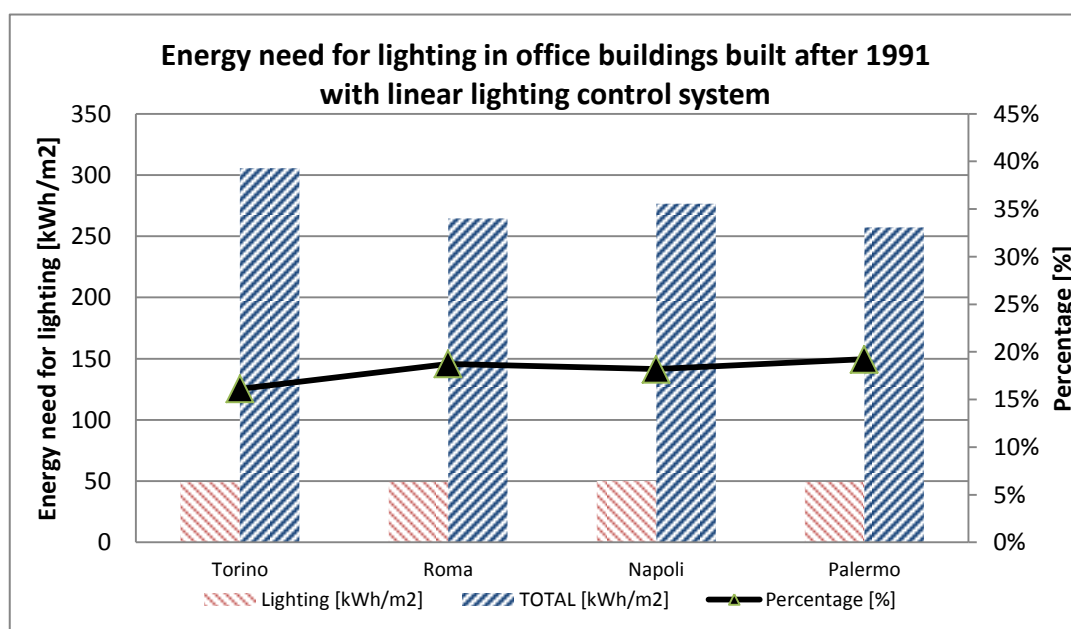


Figura 22 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con controllo lineare costruiti dopo 1991

L'analisi dell'incidenza del sistema di controllo dell'impianto di illuminazione artificiale sul fabbisogno energetico dimostra come negli edifici più moderni tanto un sistema a step tanto un sistema a controllo lineare continuo garantiscano una diminuzione del dato tanto in termine assoluto quanto in termine di percentuale sul fabbisogno totale. Non si riscontrano però notevoli differenze tra i due sistemi di controllo prescelti, anche se il sistema di tipo lineare garantisce un risparmio energetico di qualche kWh/m² anno. L'analisi di dettaglio illustra invece come il fabbisogno per illuminazione non vari sostanzialmente per una data tipologia di edificio per uffici collocata nelle differenti località italiane: si ha una lieve diminuzione in valore assoluto spostandosi verso sud, accompagnata ad un aumento della percentuale di incidenza sul fabbisogno totale (quest'ultimo fatto da ricondursi ad una diminuzione di tale valore). Da sottolineare come per gli edifici a torre costruiti dopo il 1991 il fabbisogno energetico totale e per illuminazione non risenta né del sistema di controllo né della collocazione geografica, ma si mantiene sostanzialmente costante ed inalterato in tutte le condizioni climatiche.

Una successiva analisi intende individuare l'incidenza dell'orientamento delle finestre del lato maggiore dell'edificio sul fabbisogno per illuminazione. I grafici sottostanti intendono riproporre in forma sinottica tale

dato.

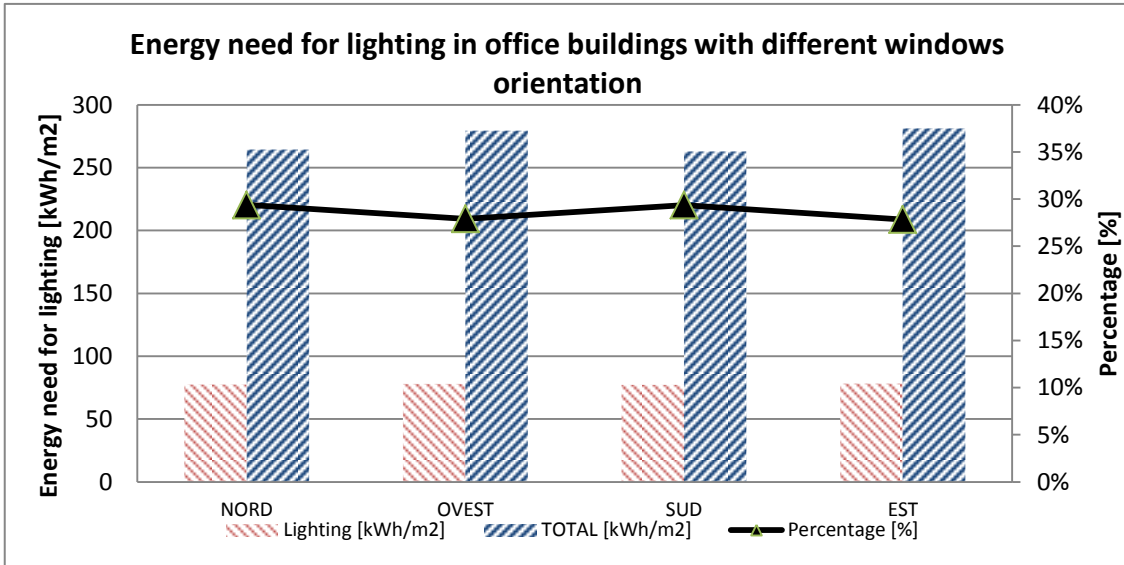


Figura 23 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici con finestre diversamente orientate

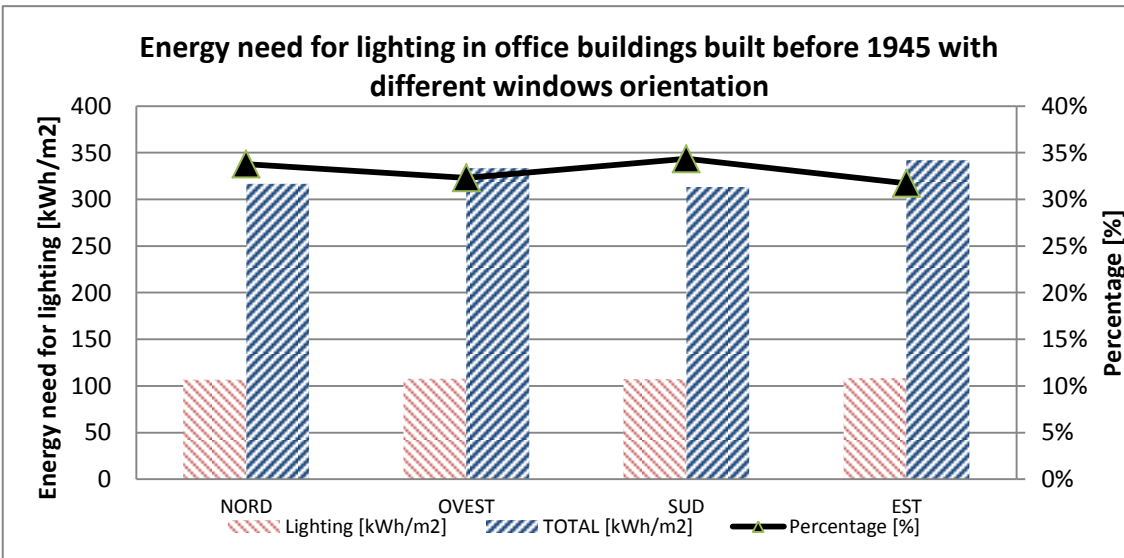


Figura 24 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti prima del 1945 con finestre diversamente orientate

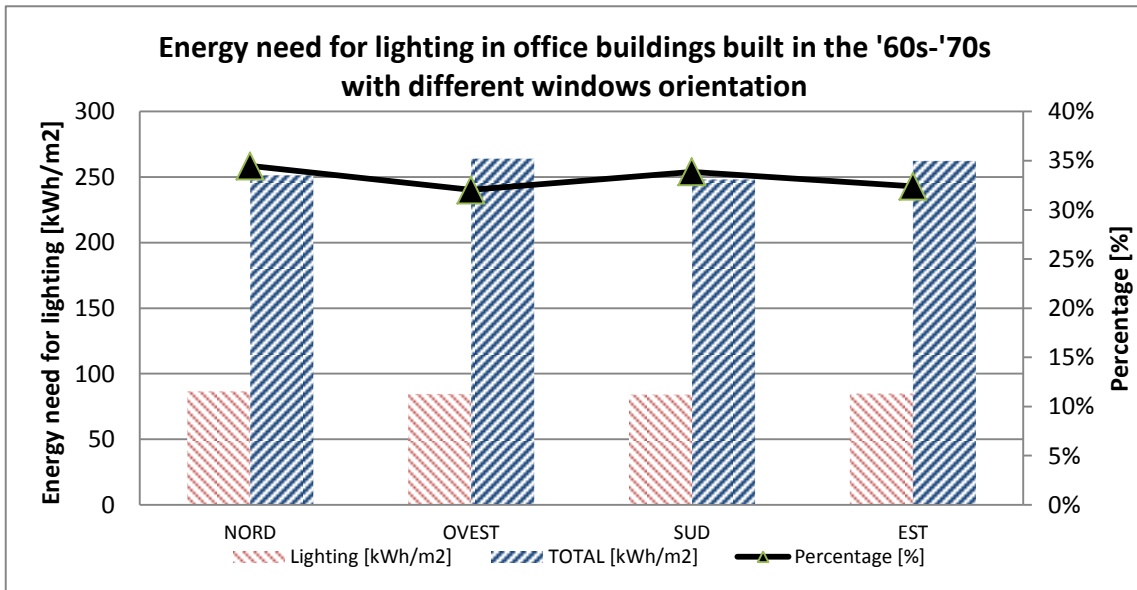


Figura 25 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti nel periodo '60 -'70 con finestre diversamente orientate

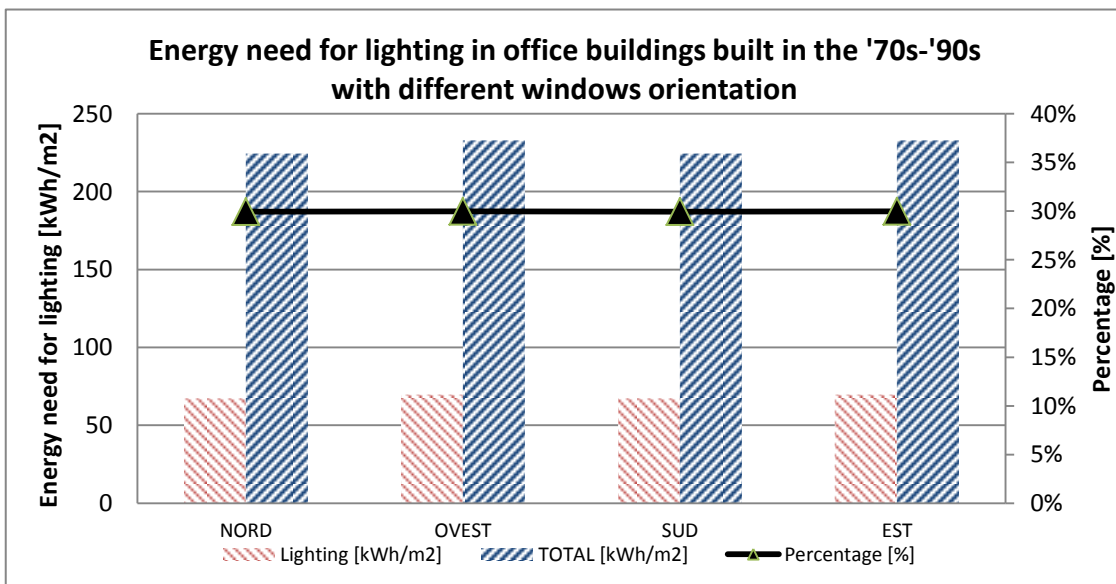


Figura 26 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti nel periodo '70 -'90 con finestre diversamente orientate

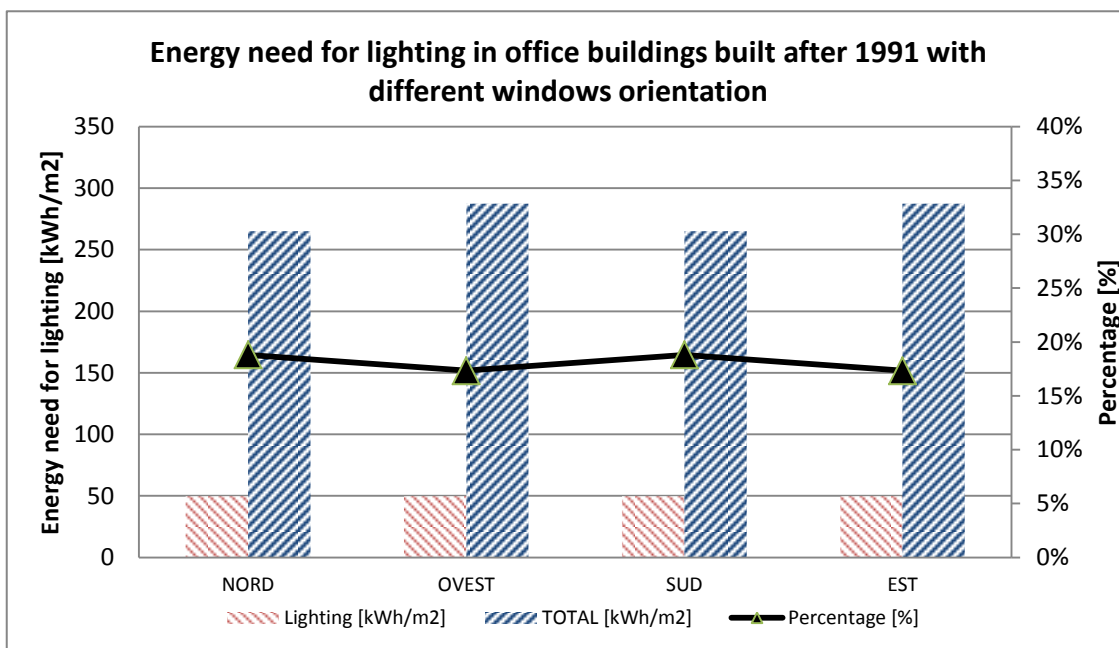


Figura 27 - Fabbisogno energetico per illuminazione e totale per edifici costruiti dopo il 1991 con finestre diversamente orientate

I grafici sopra riportati chiariscono come l'orientazione delle finestre non abbia per edifici per uffici un'incidenza sul valore assoluto del fabbisogno per illuminazione, ma faccia soltanto lievemente variare la percentuale sul totale del dato legato al consumo stimato per illuminazione artificiale degli ambienti. Tale considerazione può essere considerata valida per tutte le tipologie edilizie di edifici per uffici considerati. Peraltro in tutti i casi emerge altresì come gli orientamenti delle finestre nord e sud siano equivalenti, e analogamente gli orientamenti est ed ovest, sia in termini di fabbisogno per illuminazione, sia in termini di fabbisogno percentuale e di incidenza percentuale su quest'ultimo.

3.6 Bibliografia

Athienitis, A., Tzempelikos, A., A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device, *Solar Energy* 72 (2002) 271–281.

Bodart, M., De Nerde, A., *Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting*, *Energy and Buildings* 34 (2002) 421-429

Cellura, M., *Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione interazione condizionamento e illuminazione Attività IEA della Task 40 "Net Zero Energy Buildings"*, Report RdS/2010, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010

Cesaratto, P., De Carli, M., *Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti*, Report RdS/2010/188, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010

D'alfonso, L'architecture: les formes et les styles, de l'antiquité à nos jours, Ed SOLAR, 1996.

Depecker, P., Achard, G., Vers une approche globale de la climatisation des batiments, Journée SFT Génie Climatique, Paris, 1997, pp. 12

Edmonds, I.R., Greenup, P.J., *Daylighting in the tropics*, *Solar Energy* 2002, 73(2):111–21.

Ferrari, S., Lavagna, M., Zanotto, V., ANNEX 46: "Holistic Assessment Tool-Kit on Energy Efficient Retrofit Measures

- for *Government Buildings (EnERGO)*, Report RdS/2010/204, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010
- 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
- Franzetti, C., Fraisse, G., Achard, G., Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings, *Energy and Buildings* 36 (2004) 117–126
- Guillemin, A., Morel, N., An innovative lighting controller integrated in a self-adaptive building control system, *Energy and Buildings* 33 (2001) 477–487.
- Harrison, A., Loe, E., Read, J., *Intelligent Buildings in South East Asia*, Taylor & Francis Routledge, London, 1997.
- Hopkinson, R.G., Petherbridge, P., Longmore, J., *Daylighting*. London, Heinemann, 1966
- 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.
- Lam, JC., Chan, RYC, Li, DHW, *A review of Hong Kong public sector office building designs and energy and economic implications*, *Architecture Scientist Review* 2000, 43(4):191–200.
- Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), High Performance Building Fac, ade Solutions (online), 2009, Available from <http://lowenergyfacades.lbl.gov/technologies.html>
- Lee, E. Selkowitz, S., Design and performance of integrated envelope/lightingsystem, in: *Proceeding of International Conference on Building Envelope Systems and Technology (ICBEST'97)* (online), 15–17 April 1997, University of Bath, UK, pp. 375–380. Available from: <http://www.bath.ac.uk/cwct/claddingorg/icbest97/paper54.pdf>
- Lee, E., DiBartolomeo, D., Selkowitz, S., Thermal and daylighting performance of an automated Venetian blind and lighting system in a full-scale private office, *Energy and Building* 29 (1998) 47–63.
- Lee, E., Selkowitz, S., Hughes, G., Thurm, D., Market Transformation Opportunities for Emerging Dynamic Fac, ade and Dimmable Lighting Control Systems, Lawrence Berkeley National Laboratory (online), 2004, Available from: <http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-55310>
- Lee, E.S., Selkowitz, S.E., *The New York Times Headquarters daylighting mockup: Monitored performance of the daylighting control system*, *Energy and Buildings* 38 (2006) 914–929
- Li DHW, Lam JC, Wong SL, *Daylighting and its effects on peak load determination*, *Energy* 2005;30(10):1817–31.
- 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, *Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical Region*, *Energy & Building* 2000;32(1):47–55
- Margiotta, F., *Metodologia per la determinazione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche di "Edifici Tipo" del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio e Valutazione del Potenziale di Risparmio energetico sulla base della fattibilità degli interventi di riqualificazione energetica*, Report RdS/2010/197, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010

- Ochoa, C., Capeluto, I., Strategic decision-making for intelligent buildings: comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate, *Building and Environment* 43 (2002) 1829–1839.
- Opdal, K., Brekke, B., Energy saving in lighting by utilization of daylight, in *Proceedings of Right Light 3*, Newcastle-upon-Tyne, 1995, 67-74
- Ratti, C., Raydan, D., Steemers, K., *Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate*, *Energy and Buildings* 35 (1) (2003) 3–14.
- Ratti, C., Richens, P., *Raster analysis of urban form*, *Environment and Planning, Planning and Design* 31 (2004) 297–309.
- Roche, L., Dewey, E., Littlefair, P., *Occupant reactions to daylight in offices*. *Lighting Research & Technologies* 2000;32(3):119–26.
- Roisin, B., Bodart, M., Deneeyer, A., D’Herdt, P., *Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption*, *Energy and Buildings* 40 (2008) 514–523
- Selkowitz, S., Aschehoug, Ø., Lee, E., Advanced interactive facades – critical elements for future green buildings? Presented at GreenBuild, the Annual USGBC International Conference and Expo, November 2003 (online). Available from: <http://windows.lbl.gov/comm/perf/Electrochromic/refs/attachmt17.2.usgbc.pdf>
- Selkowitz, S., Field Testing of Dynamic Facade Controls in Highly Glazed Buildings for Energy Efficiency and Comfort. *Glass Processing Days 2005* (online), 2005, Available from: <http://www.glassfiles.com/library/attachment.php?id=990>
- Selkowitz, S., Lee, E., Integrating automated shading and smart glazings with daylight controls. Paper presented at International Symposium on Daylighting Buildings (IEA SHC TASK 31), 2004
- Szerman, M., *Superlink: a computer tool to evaluate the impact of daylight-controlled lighting system onto the overall energetic behavior of buildings*, in *Proceedings of Right Light 2*, Arnhem, 1993, 673-685
- Wigging, M., Harris, J., *Intelligent Skins*, Architectural Press, Oxford, 2002
- Zeguers, J.D.M., Energy-saving in Lighting Electronics, in *Proceedings of Right Light 2*, Arnhem, 1993, 673-685
- Zinzi, M., Agnoli, S., Fasano, G., *Impatto dei sistemi schermanti sulle prestazioni energetiche ed illuminotecniche di edifici per uffici*, Report RdS/2010/201, Enea, Cresme Ricerche Spa e Ministero dello Sviluppo Economico, settembre 2010
- Zmeureanu, R., Doramajian, A., *Thermally acceptable temperature drifts can reduce the energy consumption for cooling in office buildings*, *Building and Environment*, Volume 27, Issue 4, October 1992, Pages 469-481, ISSN 0360-1323, DOI: 10.1016/0360-1323(92)90045-Q.