



CAODURO S.p.A.

Via Chiuppese – fraz. Cavazzale – 36010 Monticello Conte Otto (VI)
Tel.0039/0444.945959 Fax 0039/0444.945164 E-mail: info@caoduro.it - http://www.caoduro.it

CONDENSATO DELLA RELAZIONE TECNICA COMPARATIVA TRA LUCERNARI ZENITALI , LUCERNARI A SHEDS ED A MINISHEDS SOTTO L'ASPETTO DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE E DEL RISPARMIO ENERGETICO

ESEGUITA DA:



Manens
intertecnica

CONSULENZA E PROGETTAZIONE IMPIANTI TECNICI

CONSULENZA PROF. ZECCHIN ROBERTO

DOCENTE DI IMPIANTI TERMOTECNICI DELL'UNIVERSITA' DI PADOVA

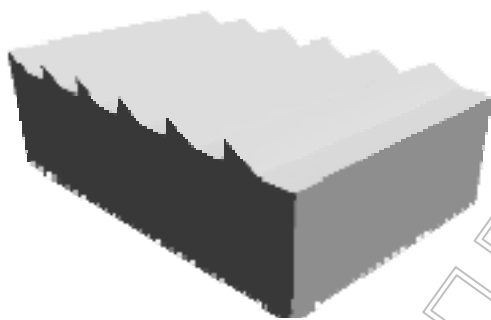


Figura 1 – Geometria del modello con lucernari a shed a 90°

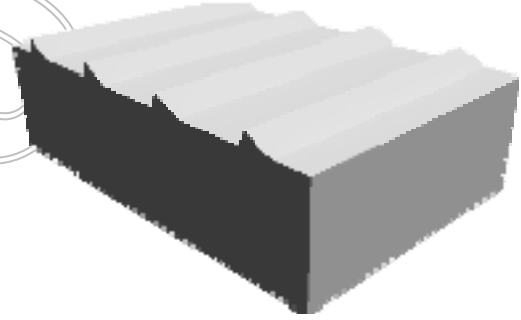


Figura 2 – Geometria del modello con lucernari a shed a 60°

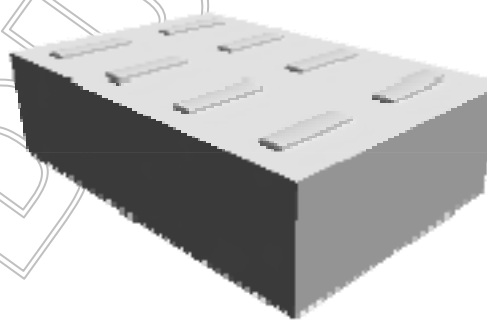


Figura 3 – Geometria del modello con lucernari zenitali continui

Perché i lucernari zenitali CAODURO fanno risparmiare ?

Nell'ambito di una tendenza irreversibile al risparmio energetico, divenuto ormai una necessità, se non una questione vitale, la presente relazione analizza il comportamento termico, energetico e illuminotecnico delle principali tipologie di lucernario adottato nei fabbricati industriali, nell'ottica di realizzare edifici a basso consumo di energia e con attenzione al benessere degli occupanti.

Partendo da questo presupposto si è scelto di confrontare le diverse soluzioni a parità di "fattore medio di luce diurna", che è attualmente adottato come parametro per quantificare il livello di prestazione degli edifici sotto l'aspetto dell'illuminazione naturale.



1. ACQUISIZIONE E ANALISI DELLE DIVERSE SOLUZIONI COSTRUTTIVE

Sono state scelte tre tipologie di lucernario, considerate come rappresentative delle numerose soluzioni costruttive adottate nella realizzazione di capannoni industriali:

- lucernari a shed con angolo di 90° rispetto all'orizzontale;
- lucernari a shed con angolo di 60° rispetto all'orizzontale;
- lucernari zenitali continui termoformati.

Nel caso di lucernari a shed, si è assunto che abbiano anch'essi un passo di 2.5 m, che la voltina di chiusura abbia la stessa struttura dei copponi e che il tamponamento sia eseguito con una lastra di polycarbonato alveolare trasparente a doppia parete di spessore 10 mm, con le seguenti caratteristiche:

- trasmissione luminosa: 81%(ASTM D1003)
- trasmissione solare: 85%(DIN 67507)
- trasmittanza: 3,0 W/(m² K)(DIN 2312)

Tali proprietà sono state ricavate dalla scheda tecnica del prodotto Lexan Thermoclear Plus LT2UV10/2RS1.7.

Nel caso di lucernari zenitali continui, è stata utilizzata la tipologia a doppia parete di polimetilmetacrilato (opale e trasparente), con le seguenti caratteristiche:

- trasmissione luminosa: 55%
- trasmissione solare: 60%
- trasmittanza: 2,90 W/(m² K) (valore assunto automaticamente dal software Windows 5)
la parete doppia CAODURO ha una trasmittanza $U=2,36$ W/(m² K), (rapporto di prova CSI N° 100/ft/86-ASTM C 236), prestazione notevolmente superiore a quanto assunto dal programma.

Tali proprietà sono state ottenute utilizzando il software Window 5, che sfrutta un vasto database dei maggiori produttori mondiali.

Tutte le superfici opache interne hanno un coefficiente di riflessione luminosa di 0.6.

Utilizzando le suddette tipologie di lucernario sono stati modellizzati due capannoni, uno di dimensioni medio piccole (20 x 30 m) e uno di grandi dimensioni (50 x 100 m), allo scopo di mettere in evidenza la differente influenza delle pareti. Non sono state previste finestre laterali, poiché si intendono valutare le prestazioni dei soli lucernari a soffitto.

2. ANALISI DEL COMPORTAMENTO ILLUMINOTECNICO

2.1 Definizioni

Il Fattore di luce diurna (FLD) o Daylight Factor (DF) è definito come il rapporto in per cento fra l'illuminamento dell'ambiente nel punto considerato e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto (10.000 lux). I calcoli sono stati eseguiti con i software Radiance, Daysim, Window, Therm, Energy plus, utilizzando i dati climatici tipici di Milano in formato IWEC (secondo metodologia ASHRAE).

$$FLD = \frac{E_{int}}{E_{est}} \cdot 100 \quad (\%)$$

La Disponibilità annua di luce diurna è definita come la quantità cumulativa di luce visibile incidente su un punto di interesse durante il corso di un anno. A differenza del Daylight Factor, questo parametro considera tutte le possibili condizioni di cielo che si verificano durante l'anno, tiene conto dell'orientazione dell'edificio e della posizione geografica. Per contro può essere calcolato solo mediante simulazioni al computer. Generalmente è espresso in lux ore per anno.

Per il calcolo del consumo di energia elettrica sono state adottate le seguenti ipotesi:

- occupazione: la zona è occupata continuamente dal lunedì al venerdì dalle ore 8 alle 17, per un totale di 2349 ore annue;
- attività: si è ipotizzato lo svolgimento di un'attività che richieda un livello di illuminazione minimo di 500 lux (FLD 5%) sul piano di lavoro.

2.2 Casi di studio

2.2.1 CASO A – Capannone di 600 m²

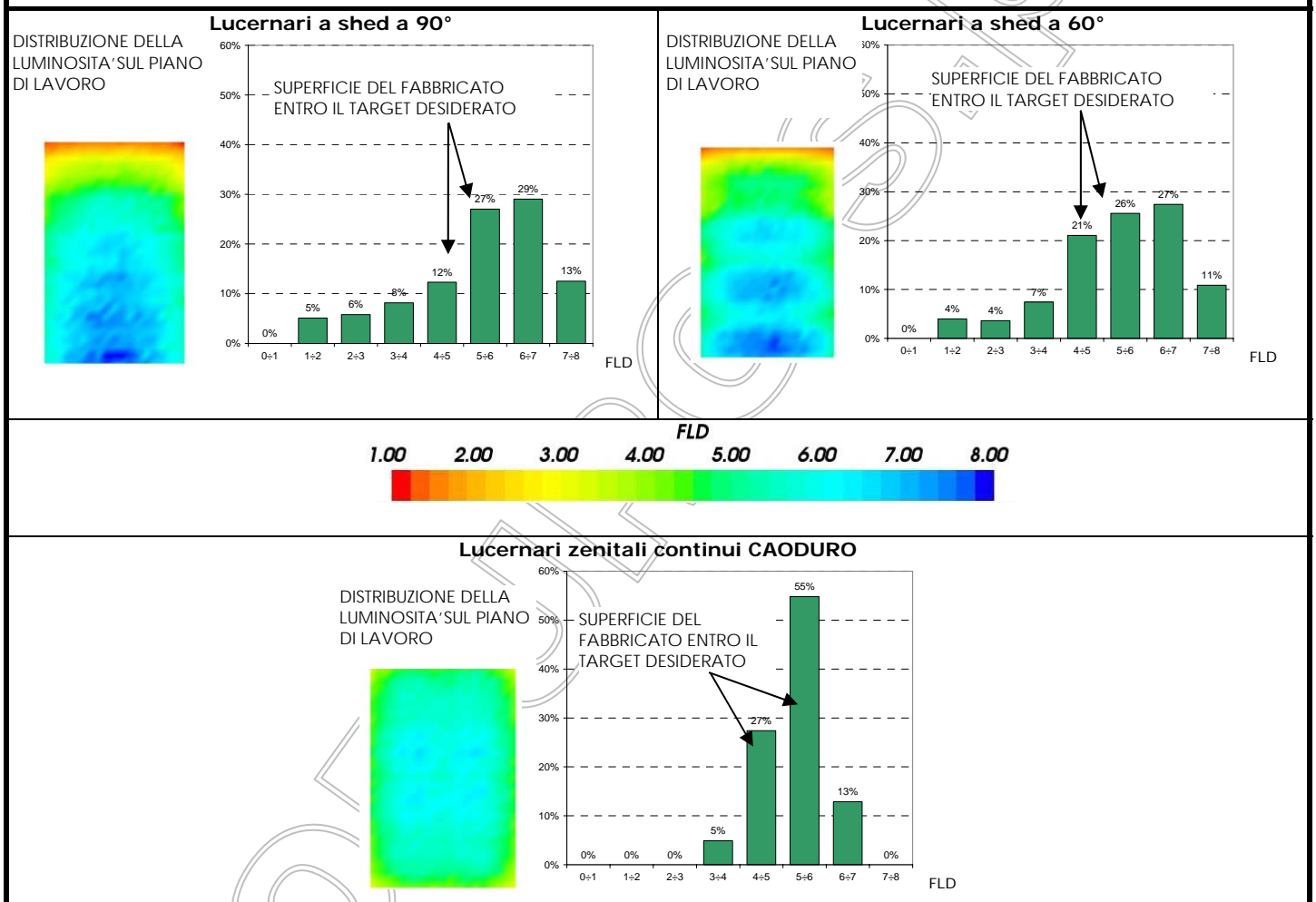
È stato considerato un capannone di 20 x 30 m in pianta, con il lato lungo orientato verso nord, e un'altezza di 8 m.

Questi lucernari sono stati dimensionati per elevate esigenze di illuminazione, in modo da ottenere lo stesso Fattore medio di luce diurna in condizioni di cielo uniforme (overcast CIE sky).

Rif. figure in prima pagina

<p>Figura 1 – Geometria del modello con lucernari a shed a 90° . La superficie illuminante risulta essere di 162 m², pari al 27% della superficie in pianta, suddivisa in 6 lucernari a shed di dimensione 20x1.35 m.</p>	<p>Figura 2 – Geometria del modello con lucernari a shed a 60° . La superficie illuminante risulta essere di 93 m², pari al 15% della superficie in pianta, suddivisa in 4 lucernari a shed 20x1.13m.</p>
<p>Figura 3 – Geometria del modello con lucernari zenitali continui CAODURO. Nel terzo caso la superficie illuminante risulta essere di 79 m², pari al 13% della superficie in pianta, suddivisa in 8 lucernari continui di dimensione 6 x 1.65 m.</p>	

Figura 4 - Distribuzioni del Fattore di luce diurna sul piano di lavoro.

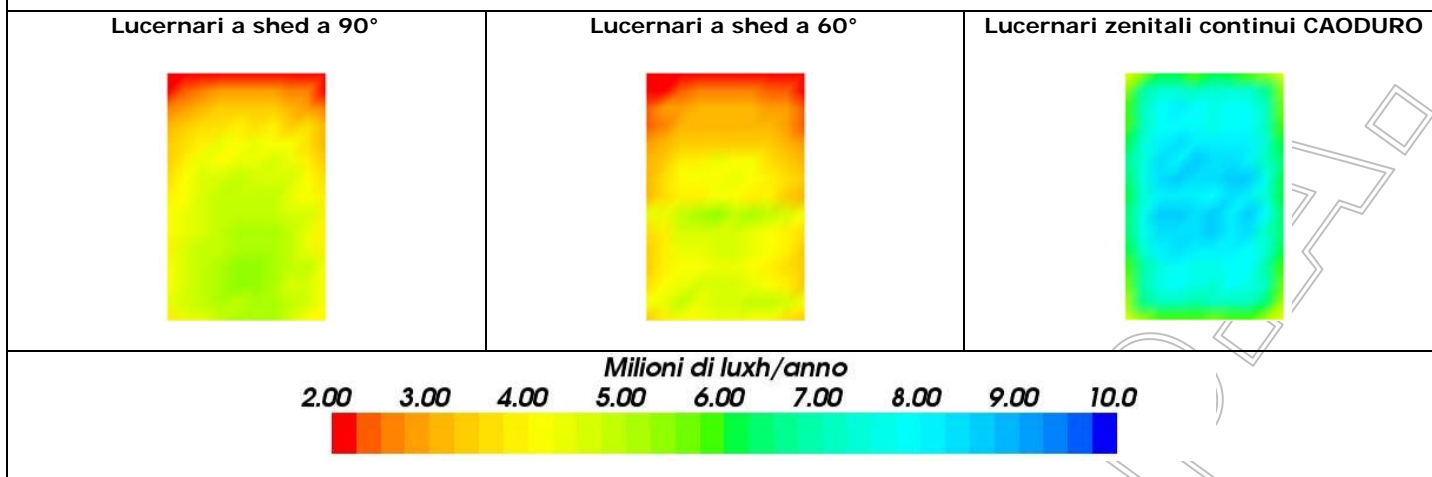


Si può notare come l'illuminazione sia distribuita in modo alquanto disuniforme nel caso dei lucernari a shed facendo sì che essi risultino perdenti nel confronto dei lucernari zenitali continui, i quali, grazie ad una migliore uniformità luminosa forniscono la quantità di luce desiderata (500 lux) su gran parte della superficie del fabbricato.

Il Fattore di luce diurna è calcolato utilizzando un cielo uniforme e per questo risulta indipendente dall'orientazione e dalla posizione geografica dell'edificio.

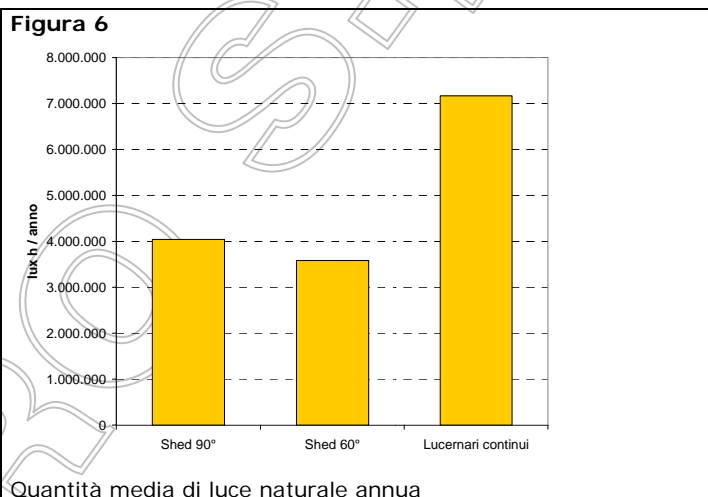
Per valutare l'effettiva efficienza della superficie illuminante bisogna considerare tutte le possibili condizioni di cielo che si verificano durante l'anno, l'orientazione dell'edificio e la posizione geografica. In questo senso la Disponibilità annua di luce diurna esprime la quantità cumulativa, espressa in lux ore per anno, di luce visibile incidente su un punto di interesse durante il corso di un anno. In fig. 5 sono riportati i valori della disponibilità annua di luce diurna per i casi considerati, utilizzando l'anno tipo della zona di Milano.

Figura 5 – Disponibilità annua di luce diurna

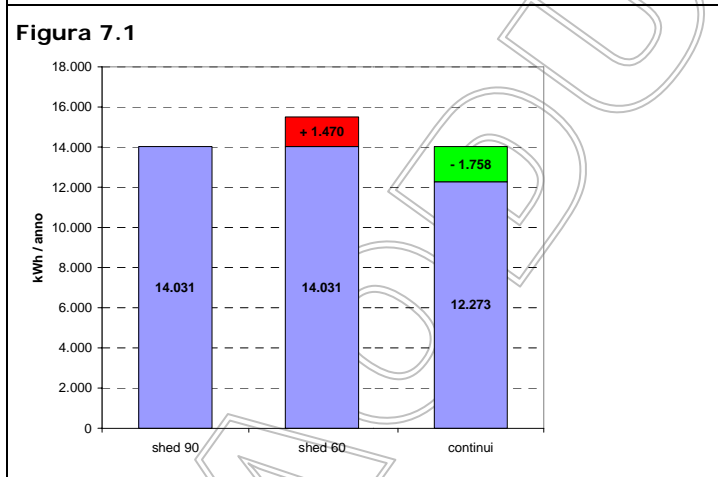


I lucernari zenitali continui CAODURO, poiché beneficiano della componente diretta della radiazione solare, offrono una quantità media di luce naturale durante l'anno quasi doppia rispetto ai lucernari a shed. Questo consente di mantenere il livello minimo di illuminamento per un maggior numero di ore utilizzando la sola luce naturale.

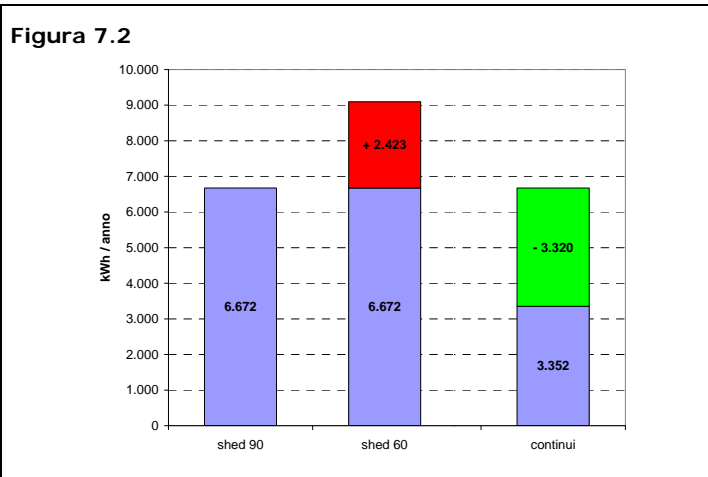
Nelle ipotesi previste di utilizzo dell'edificio, ossia dalle ore 8 alle 17, che l'impianto di illuminazione abbia una densità di potenza installata di 15 W/m² e che le luci si accendano automaticamente con regolazione di potenza al fine di mantenere i 500 lux sul piano di lavoro, si può valutare il consumo medio di energia elettrica.



Consumo medio di energia elettrica.



In grafico è riportato il consumo di energia elettrica per illuminazione artificiale con regolazione ON/OFF



In grafico è riportato il consumo di energia elettrica per illuminazione artificiale con regolazione continua

Si noti che anche in questi casi i lucernari a shed risultano perdenti nei confronti dei lucernari zenitali continui CAODURO; il risparmio di corrente elettrica si ingigantisce (fino al 63% vedi Figura 7.2) nel caso in cui si utilizzi il fotosensore, tanto che il costo del dispositivo può essere ammortizzato nell'arco di pochi anni. Ancora più breve sarebbe il tempo di ammortamento nel caso B riportato successivamente.

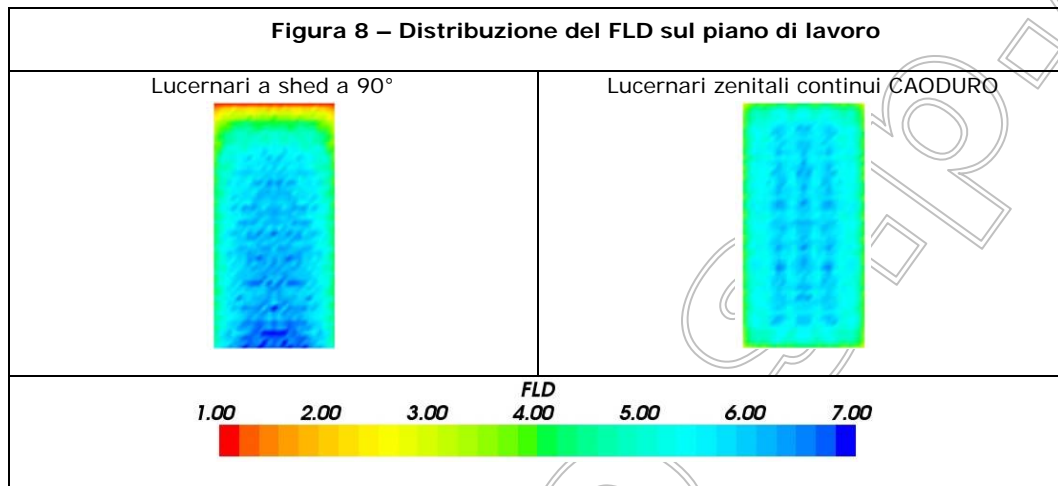
2.2.2 CASO B - Capannone di 5000 m²

Lo stesso studio è stato condotto su un capannone di grandi dimensioni (50 x 100 x 8 m), utilizzando le due tipologie di vani luce più significative: i lucernari a shed a 90° e i lucernari zenitali continui CAODURO.

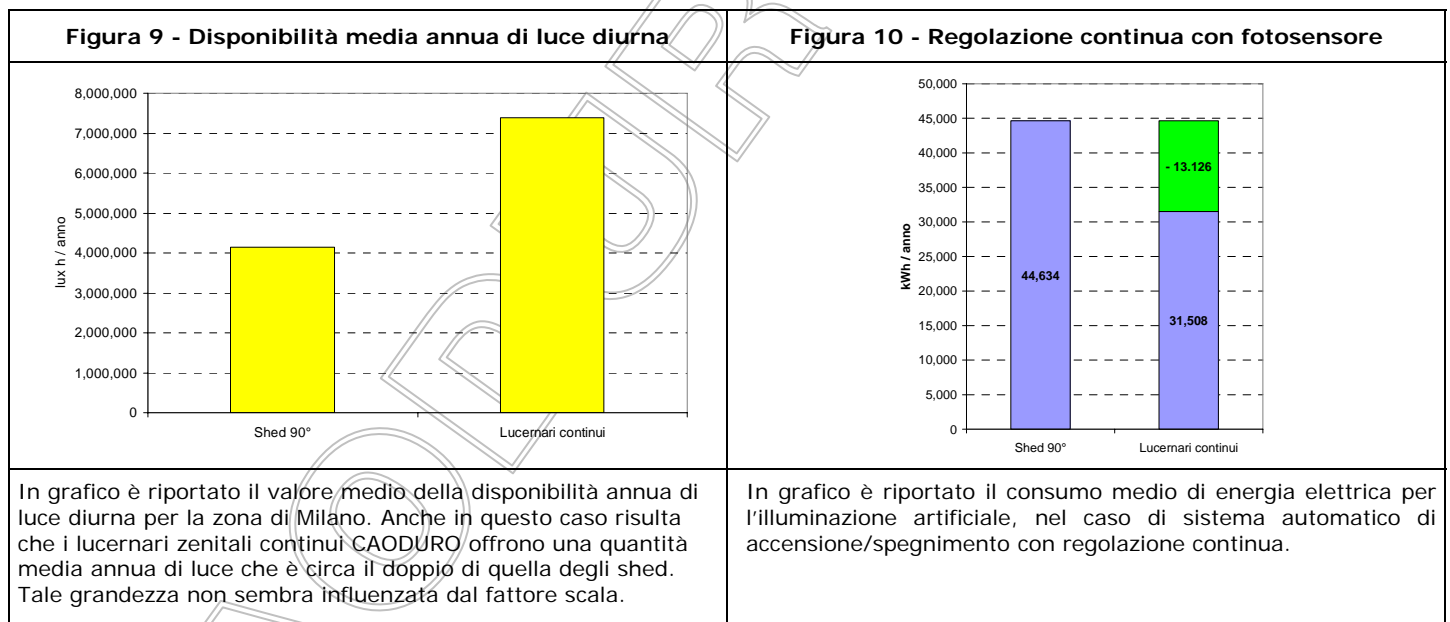
I lucernari sono stati dimensionati in modo da ottenere pressappoco lo stesso fattore medio di luce diurna, che è risultato essere 5.3%. Nel primo caso la superficie illuminante risulta essere di 980 m², pari al 20% della superficie in pianta, suddivisa in 20 lucernari a shed di dimensione 50 x 0.98 m. Nel secondo caso la superficie illuminante risulta essere di 558 m², pari all'11% della superficie in pianta, suddivisa in 65 lucernari zenitali continui CAODURO di dimensione 5.2 x 1.65 m.

Queste percentuali risultano inferiori rispetto al caso precedentemente analizzato, poiché risulta meno influente l'effetto delle pareti, specialmente nel caso di lucernari a shed.

In fig. 8 sono riportate le distribuzioni del Fattore di luce diurna sul piano di lavoro.



Anche se i lucernari a shed migliorano in termini di uniformità di illuminazione, i lucernari zenitali continui CAODURO confermano l'eccellente uniformità di distribuzione della luminanza sull'intero piano di lavoro. In fig. 8 è riportata la frazione di superficie del piano di lavoro associata ad ogni intervallo di Fattore di luce diurna.



I risultati mostrano anche in questo caso che i lucernari zenitali continui CAODURO offrono migliori prestazioni illuminotecniche rispetto ai lucernari a shed.



RELAZIONE TECNICA COMPARATIVA
LUCERNARI ZENITALI, LUCERNARI A SHEDS E A MINISHEDS
SOTTO L'ASPETTO DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE E DEL RISPARMIO ENERGETICO

2.3 Carichi termici invernali ed estivi con edifici di tipologia omogenea.

Il carico termico invernale ed estivo per l'intera copertura sono stati calcolati mediante il software EnergyPlus utilizzando, come specificato in precedenza, i dati climatici di Milano.

Per il caso invernale sono state utilizzate le seguenti condizioni:

- temperatura aria esterna: - 5 °C;
- temperatura media aria interna: 18 °C.

Per il caso estivo sono state utilizzate le seguenti condizioni:

- temperatura massima aria esterna: 32 °C;
- temperatura media aria interna: 28 °C;
- assenza di carichi interni.

In entrambi i casi tutte le pareti hanno trasmittanza $U = 0.39 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Inoltre non è stata considerata nessuna infiltrazione né ventilazione.

Carichi termici calcolati per il capannone da 600 m ²			Carichi termici calcolati per il capannone da 5000 m ²		
	Lucernari a shed	Lucernari zenitali continui CAODURO		Lucernari a shed	Lucernari zenitali continui CAODURO
Carico invernale	24.0 kW	17.6 kW	Carico invernale	149 kW	106 kW
Carico estivo	13.2 kW	25.0 kW	Carico estivo	86 kW	183 kW

2.4 Fabbisogni energetici invernali ed estivi (dati climatici tipici di Milano)

Per la stagione invernale, che va dal 15 ottobre al 15 aprile, si è assunto che l'impianto di riscaldamento mantenga una temperatura media dell'aria interna non inferiore a 18 °C in assenza di carichi interni, di ventilazione e infiltrazione.

Per la stagione estiva, che va dal 16 aprile al 14 ottobre, si è assunto che l'impianto di condizionamento mantenga una temperatura media dell'aria interna non superiore a 28 °C, in assenza di carichi interni, di ventilazione e infiltrazione.

In entrambi i casi tutte le pareti, eccetto la copertura, sono state considerate con trasmittanza $U = 0.39 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, non è stata considerata nessuna infiltrazione né ventilazione; sono, invece, stati considerati gli apporti dovuti alla radiazione solare.

I fabbisogni energetici per il capannone da 600 m² sono i seguenti:

	Lucernari a shed	Lucernari zenitali continui CAODURO
Fabbisogno invernale	46000 kWh _t	27600 kWh _t
Fabbisogno estivo	2500 kWh _f	7100 kWh _f

PREZZI MEDI DELL'ENERGIA ANNO 2005

La soluzione con lucernari consente un risparmio durante la stagione invernale di 18400 kWh termici che, valutati a 0,06 €/kWh, corrispondono a un risparmio di circa 1100 €.

Durante la stagione estiva il fabbisogno di energia è maggiore di 4600 kWh frigoriferi che, supponendo di utilizzare una macchina con COP = 3, corrispondono a circa 1500 kWh elettrici.

Come calcolato in precedenza, se si utilizza un controllo automatico dell'illuminazione artificiale, si possono risparmiare da 1700 a 3300 kWh_e; si può assumere che mediamente siano risparmiati 2500 kWh_e.

Complessivamente il consumo di energia elettrica risulta ridotto di circa 1000 kWh_e, e considerando un costo dell'energia elettrica di 0,12 €/kWh, si ottiene un risparmio di circa 120 €.

L'utilizzo di lucernari zenitali continui CAODURO, nelle condizioni ipotizzate, consente un risparmio di circa 1200 € all'anno rispetto alla soluzione con lucernari a shed.

Per il capannone da 5000 m² i fabbisogni energetici calcolati sono i seguenti:

	Lucernari a shed	Lucernari zenitali continui CAODURO
Fabbisogno invernale	283400 kWh _t	162300 kWh _t
Fabbisogno estivo	16800 kWh _f	86300 kWh _f

La soluzione con lucernari zenitali continui CAODURO consente un risparmio durante la stagione invernale di 121100 kWh termici che, valutati a 0,06 €/kWh, corrispondono a un risparmio di circa 7300 €.

Durante la stagione estiva il fabbisogno di energia è maggiore di 69600 kWh frigoriferi che, supponendo di utilizzare una macchina con COP = 3, corrispondono a circa 23200 kWh elettrici.

Come calcolato in precedenza, se si utilizza un controllo automatico dell'illuminazione artificiale, si possono risparmiare da 8600 a 13000 kWh_e; si può assumere che mediamente siano risparmiati 10800 kWh_e.

Complessivamente il consumo di energia elettrica risulta aumentato di circa 12400 kWh_e, e considerando un costo dell'energia elettrica di 0,12 €/kWh, si ottiene un costo aggiuntivo di circa 1500 €.

L'utilizzo di lucernari zenitali continui CAODURO, nelle condizioni ipotizzate, consente un risparmio di circa 5800 € all'anno rispetto alla soluzione con lucernari a shed.

3. Costi di installazione

Sulla scorta dei dati quantitativi elaborati precedentemente (Rif. Figura 1-2-3) il costo di installazione delle varie tipologie, a parità di illuminazione sul piano di lavoro e con riferimento lucernario a shed 90° = 100, è così valutato:

a. lucernario shed 90°	=	100
b. lucernario shed 60°	=	65
c. lucernari zenitali continui CAODURO in Policarbonato compatto	=	39
d. lucernari zenitali continui CAODURO in Polimetilmetacrilato compatto	=	33

Si sono considerati edifici industriali con coppone TT e muretti atti ad accogliere sia lo shed che i lucernari zenitali continui CAODURO. Risulta evidente l'economicità dei lucernari zenitali continui CAODURO rispetto entrambe le tipologie di shed. Nel caso che la copertura a shed fosse realizzata con le travi apposite, il conto economico risulterebbero ancora più sfavorevole allo shed stesso.

4. Commenti alla DELIBERA DELLA REGIONE VENETO N. 1887 del 27/05/97 e ad altre regionali equivalenti.

La revisione della circolare regionale n. 38/87 al capitolo 3.1 paragrafo a) indica i requisiti generali degli ambienti di lavoro per quanto riguarda l'illuminazione naturale diretta.

Nello stabilire la dimensione minima della superficie illuminante si tiene conto solamente della superficie in pianta e del coefficiente di trasmissione della luce.

Inoltre non si tiene conto che le diverse tipologie di lucernari hanno diverse efficienze, in particolare del fatto che una superficie trasparente orizzontale ha un'efficienza maggiore di una verticale.

Nell'indicazione riportata nella suddetta delibera circa la preferenza da dare alla copertura con lucernario a shed, è vivo il retaggio dei capannoni degli anni '60, quando la tecnologia delle guaine bituminose era agli albori e sul serramento industriale dominava il vetro retinato; lo shed permetteva di utilizzare le coperture a tegola o coppo e di evitare l'irraggiamento diretto essendo esso rivolto a nord.

Gli organi competenti hanno poi in seguito continuato a sopravvalutare questa soluzione più dispendiosa, sia per quanto riguarda l'installazione che l'esercizio, senza recepire e interessarsi del diffondersi di nuovi materiali, con proprietà diffondenti della luce costanti nel tempo, che permettono di realizzare lucernari zenitali senza irraggiamento diretto e non considerando l'affermarsi di affidabili tecnologie di copertura per tetti piani quali guaine, lamiere grecate, ecc.

4.1 Analisi a parità di superficie

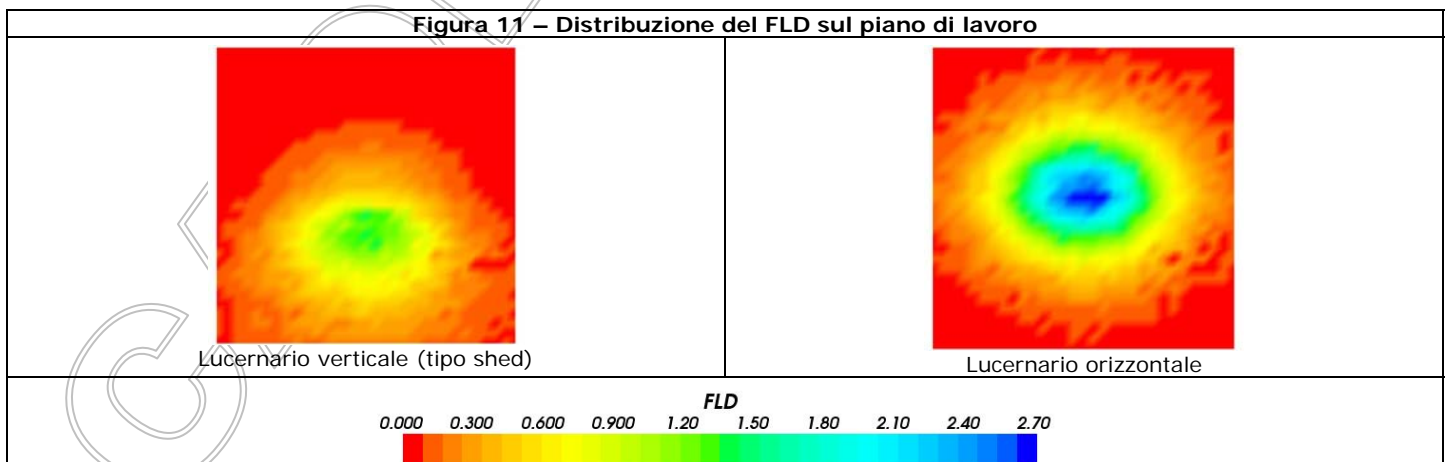
E' stato svolto un confronto a parità di superficie illuminante di due tipologie di superficie trasparenti, allo scopo di mettere in evidenza che una superficie vetrata disposta orizzontalmente presenta un'efficienza molto superiore a una disposta verticalmente, pur con un coefficiente di trasmissione luminosa molto più basso e in condizioni di cielo uniforme (senza sole).

Per questo confronto è stato considerato un capannone di dimensioni 50 x 50 x 8 m, sufficientemente grande affinché siano trascurabili gli effetti delle pareti laterali.

Sono state analizzate le seguenti due tipologie di lucernari:

- lucernario a shed con angolo di 90° rispetto all'orizzontale, chiusura con lastra di policarbonato alveolare trasparente a doppia parete di 1 x 10 m (10 m²), con un fattore di trasmissione luminosa di 0.81;
- lucernari zenitali continui CAODURO di 1 x 10 m (10 m²) a parete doppia in pmma (opale + trasparente) con un fattore di trasmissione luminosa di 0.55, montato su un basamento di 25 cm di altezza.

E' stato calcolato l'illuminamento sul piano di lavoro (0.85 m dal pavimento) per le due tipologie di lucernari, di cui è riportata la distribuzione in fig. 11 su un'area di 30 x 30 m.



E' evidente come un lucernario disposto orizzontalmente fornisce un illuminamento simmetrico e decisamente più intenso a parità di superficie illuminante.

5. CONCLUSIONI

Sono state valutate le prestazioni di diverse tipologie di lucernari adottati negli edifici industriali.

Dimensionate per ottenere lo stesso fattore medio di luce diurna in condizioni di cielo uniforme, le varie tipologie sono state analizzate e confrontate secondo l'aspetto illuminotecnico, termico ed energetico.

L'utilizzo di lucernari zenitali, data la migliore efficienza luminosa delle superfici trasparenti orizzontali, consente di installare una superficie illuminante all'incirca dimezzata rispetto ai lucernari a shed. Sempre per questioni geometriche, l'illuminamento ottenuto sul piano di lavoro risulta molto più uniforme, e data la flessibilità con cui possono essere distribuiti sulla copertura, è possibile anche ottimizzare tale uniformità.

Poiché beneficiano anche della componente diretta della radiazione, risultano ancor più efficienti in presenza di sole. Considerando delle condizioni medie annue, i lucernari zenitali rendono disponibile una quantità di luce diurna quasi doppia rispetto agli shed. Questo consente di ridurre l'installazione e l'utilizzo dell'illuminazione artificiale, specialmente se abbinata a un sistema intelligente di controllo della stessa. La minore superficie disperdente, sia opaca che trasparente, consente di ridurre in modo significativo le dispersioni termiche attraverso il soffitto nella stagione invernale.

Nella stagione estiva i lucernari zenitali risultano sfavoriti, poiché intercettano anche la componente diretta della radiazione solare, ma il risparmio di energia termica ed elettrica per l'illuminazione artificiale è decisamente maggiore rispetto al consumo di energia frigorifera.

Risparmio* utilizzando lucernari CAODURO a parità di FLD 5% (Fattore di Luce Diurna)

Installazione : dal 35% al 65%

Esercizio : da 1 a 2 €/m² x superficie fabbricato / anno

Quindi

- **Minor costo.**
- **Minor inquinamento ambientale.**
- **Maggior confort grazie ad una migliore distribuzione luminosa.**

*Si noti che il risparmio sarebbe notevolmente maggiore se anziché il valore $U= 2,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ assunto dal programma, si utilizzasse $U=2,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ certificato per la parete doppia Caoduro



CAODURO S.p.A.

Via Chiuppese – fraz. Cavazzale 36010 Monticello Conte Otto (VI)

Tel.0039/0444.945959 Fax 0039/0444.945164

E-mail: info@caoduro.it - <http://www.caoduro.it>