# COMPARATIVA TRA LUCERNARI ZENITALI, LUCERNARI A SHEDS SOTTO L'ASPETTO DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE E DEL RISPARMIO ENERGETICO

# Indice


Perché i lucernari zenitali fanno risparmiare? 3

Analisi delle soluzioni costruttive 4

Analisi del comportamento illuminotecnico 5

Costi di installazione 12

Conclusioni 13

I prodotti Caoduro 14

**CAODURO SPA**

# Perché i lucernari zenitali Caoduro fanno risparmiare?

Nell'ambito di una tendenza irreversibile al risparmio energetico, divenuto orma una necessità, se non una questione vitale, la presente relazione analizza il comportamento termico, energetico ed illuminotecnico delle principali tipologie di lucernario adottato nei fabbricati industriali, nell'ottica di realizzare edifici a basso consumo di energie e con attenzione al benessere degli occupanti.
Partendo da questo presupposto si è scelto di confrontare le diverse soluzioni di 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 zenitale.

# 1 - Acquisizione e analisi delle diverse soluzioni costruttive

Sono state scelte due 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'orizzonte
- Lucernari zenitali continui termoformati.

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

1. Trasmissione luminosa: 81% (ASTM D1003)
2. Trasmissione solare: 85% (DIN 67507)
3. 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, per il calcolo è stato ipotizzato una tipologia a doppia parete di policarbonato compatto, con le seguenti caratteristiche tecniche:

1. Trasmissione luminosa: 55%
2. Trasmissione solare: 60%
3. Trasmittanza: 2,90 W/(m2K) valore assunto automaticamente dal software.

Utilizzando le suddette tipologie di lucernario sono stati modellizzati due capannoni, uno di dimensioni medio piccole (20 x 30 m) e l'altro 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

**DEFINIZIONE**
Il fattore di luce diurna (FLD) o Daylight Factor (DF) è definito come il rapporto in per cento tra l'illuminamento dell'ambiente sottostante 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)

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'orientamento 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:

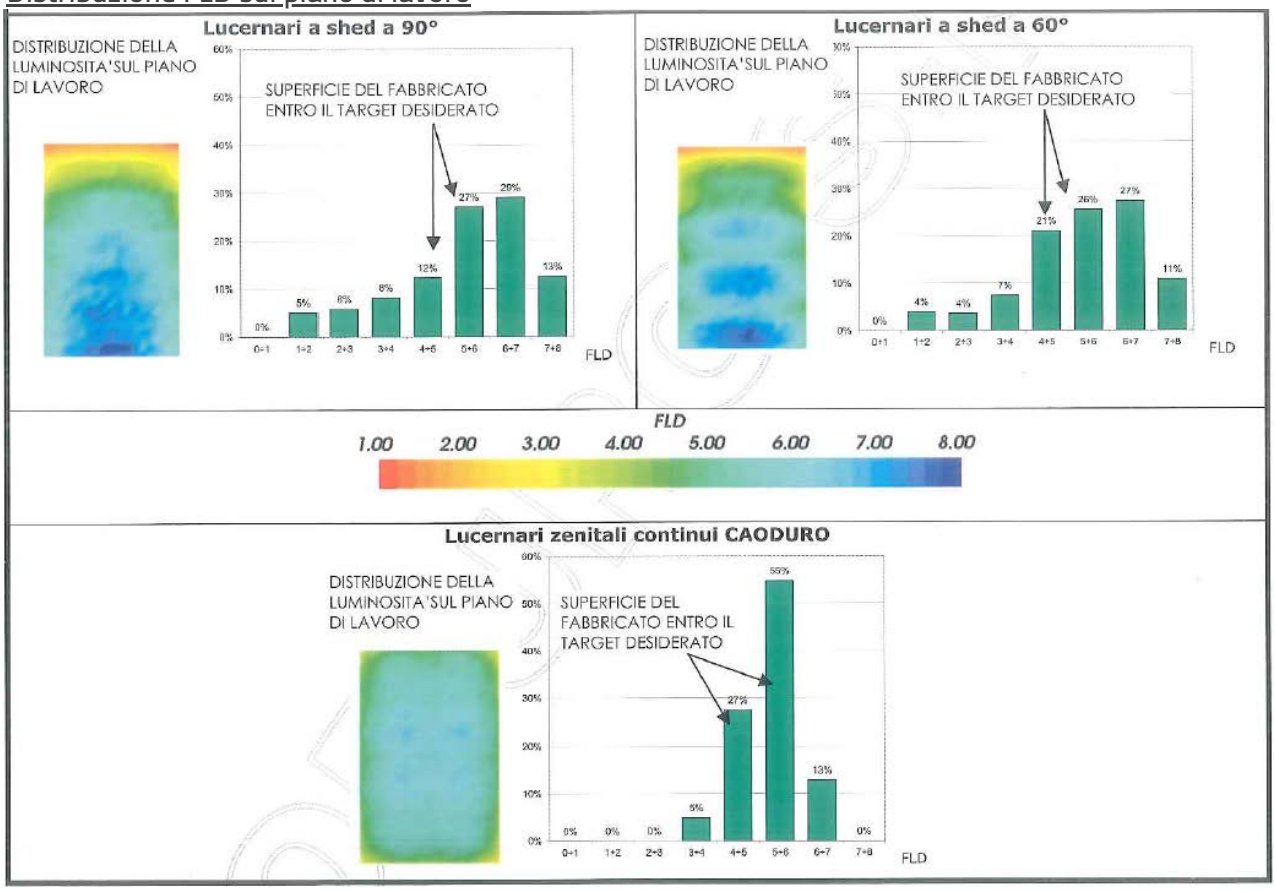
- Occupazione: la zona è occupata continuamente dal lunedì al venerdì dalle ore 8.00 alle 17.00, per un totale di 2349 ore annue;
- Attività: si è ipotizzato lo svolgimento di un'attività che richieda un livello minimo di illuminazione di 500 lux (FLD 5%) sul piano di lavoro.

# 2.2 - Casi studio

## 2.2.1 - Caso A - Capannone di 600m2

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

Distribuzione FLD sul piano di lavoro

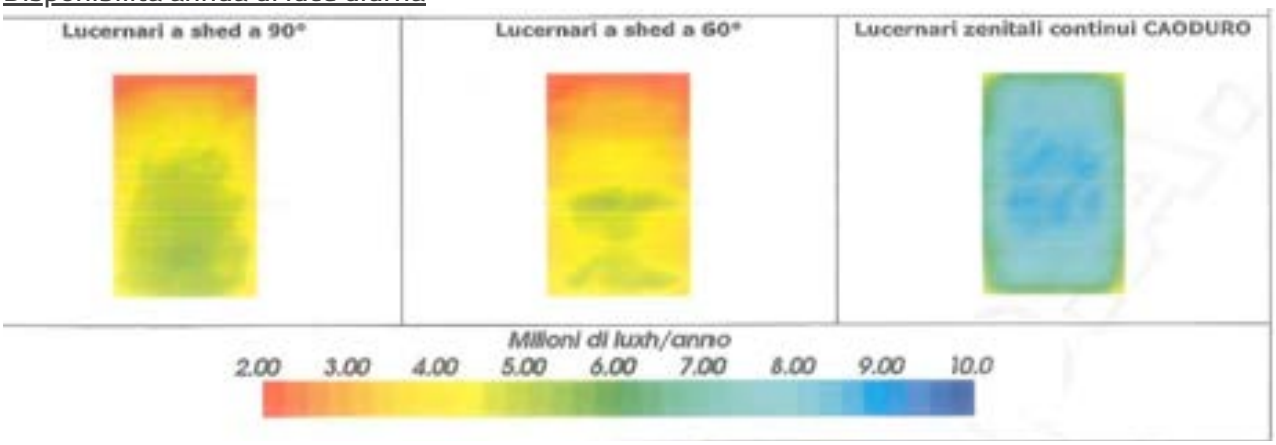


Si può notare come l'illuminazione sia distribuite in modo alquanto disuniforme nel caso dei lucernari a shed facendo si che essi risultino perdenti nel confronto dei lucernari zenitali continui, i quali, grazie ad una migliore uniformità luminosa forniscono la quantità di luce desiderata (500 lux) su 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'orientamento 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. Nella figura sottostante
sono riportati i valori della disponibilità annua di luce diurna per i casi considerati, utilizzando l'anno tipo della zona di Milano.

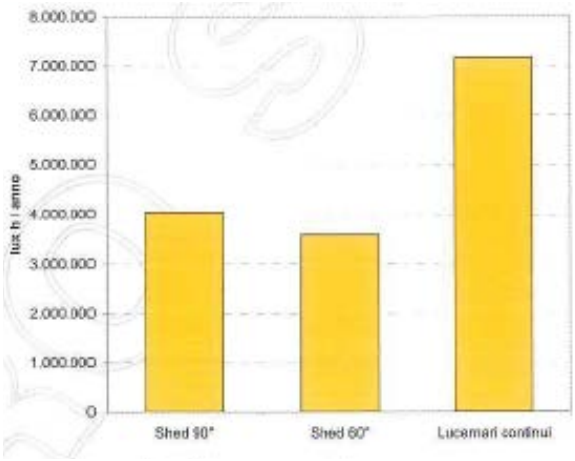
Disponibilità annua di luce diurna



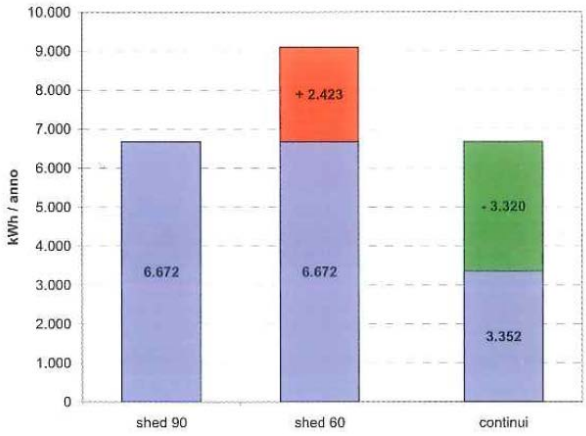
I lucernari zenitali continui CAODURO, poiché beneficiano della componente diretta della radiazione solare, offrono una quantità media di luce naturale durante l'anno quasi doppia rispetto a lucernari a shed. Questo consente di mantenere il livello minimo di illuminamento per un maggior numero di ore 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 15W/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.

Quantità media di luce naturale annua




Consumo medio di energia elettrica




In grafico in alto a destra 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%) nel caso in cui si utilizzi il fotosensore, tanto che il costo del dispositivo può essere ammortizzato in pochi anni. Ancora più breve sarebbe il tempo di ammortamento nel caso B riportato successivamente.

### 2.2.2 - Caso B - Capannone di 5000m2

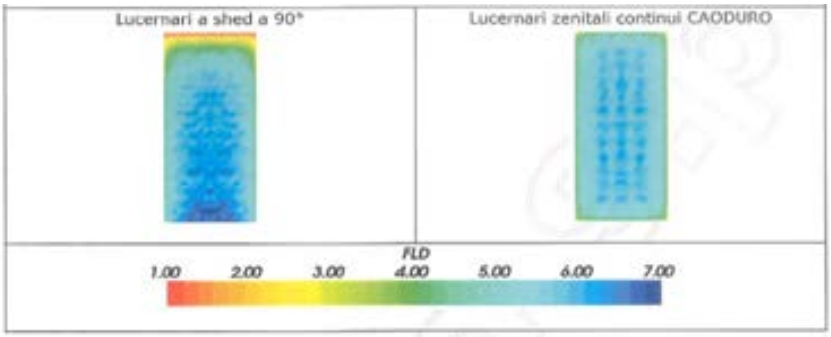
Lo stesso studio è stato condotto su un capannone di grandi dimensioni (50 x 100 x 8 m), utilizzando le due tipologie di vani luce più significative: i lucernari a shed a 90° e i lucernari zenitali continui CAODURO.

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

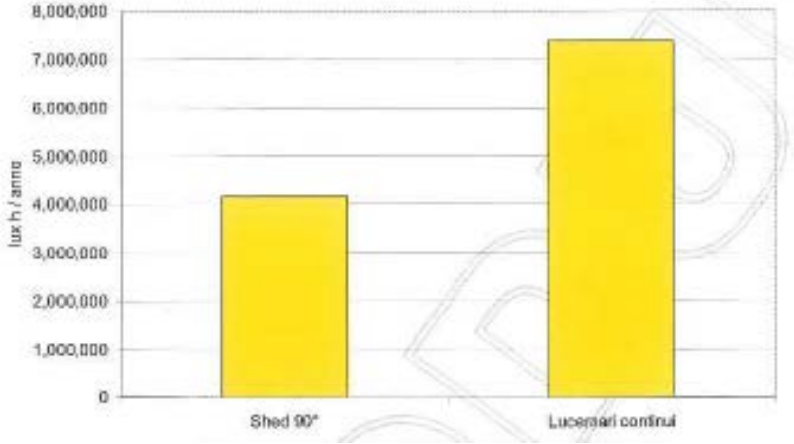
Anche se i lucernari a shed migliorano in termini di uniformità di illuminazione, i lucernari zenitali CAODURO confermano l'eccellente uniformità di distribuzione nella luminanza sull'intero piano di lavoro.

Distribuzione FLD sul piano di lavoro



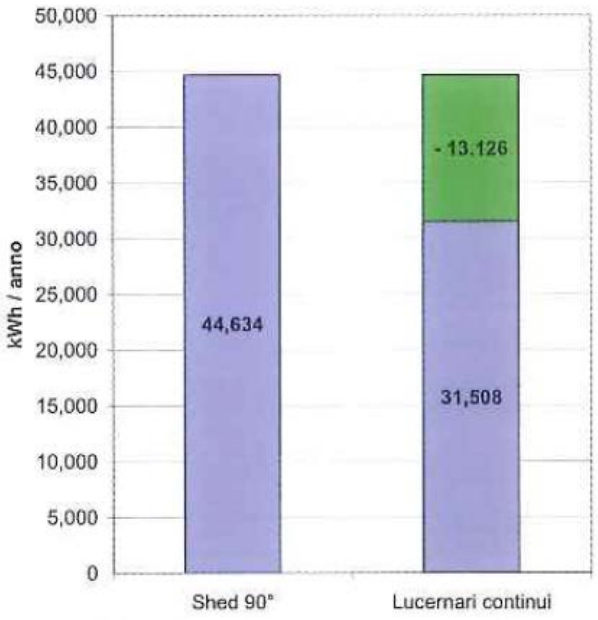

In figura sopra è riportata la frazione di superficie del piano di lavoro associata ad ogni intervallo di Fattore di luce diurna.

Disponibilità media annua di luce diurna




Nel grafico sopra è riportato il valore medio di disponibilità annua di luce diurna per la zona di Milano. Anche in questo caso risulta che i lucernari continui CAODURO offrono una quantità media annua di luce che è circa il doppio di quella degli shed. Tale grandezza non sembra influenzata dal fattore scala.

In grafico è riportato il consumo medio di energia elettrica per l'illuminazione artificiale, nel caso di sistema automatico di accensione/spegnimento con regolazione continua.




Regolazione continua con fotosensore

## 2.3 - 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 ai 18°C in assenza di carichi interni, di ventilazione e di 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 ai 28°C, in assenza di carichi interni, ventilazione e infiltrazione.

In entrambi i casi tutte le pareti, eccetto la copertura, sono state considerate con trasmittanza U=0.39 W/(m2 K), non è stata considerata nessuna infiltrazione né ventilazione; sono, invece, stati considerati gli apporti dovuti all'irradiazione solare.

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

| | Lucernari a shed | Lucernari zenitali continui CAODURO |
|---|---|---|
| Fabbisogno invernale | 46000 kWht | 27600 kWht |
| Fabbisogno estivo | 2500 kWhf | 7100 kWhf |

La soluzione con lucernari consente un risparmio durante la stagione invernale di 18400 kWh termici mentre durante la stagione estiva il fabbisogno di energia è maggiore di 4600 kWh frigoriferi.
Facendo una proporzione il vantaggio portato dai lucernari zenitali continui CAODURO è talmente alto da compensare il maggior utilizzo di energia elettrica necessario per raffrescare gli ambienti.

Per il capannone da 5000m2 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 mentre durante la stagione estiva il fabbisogno di energia è maggiore di 69600 kWh frigoriferi.

Anche in questo caso l'utilizzo di lucernari zenitali continui CAODURO consente il risparmio di circa la metà dei Kwh/anno rispetto alla soluzione con lucernari a shed.

# 3 - Costi di installazione

Sulla scorta dei dati quantitativi elaborati precedentemente 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:

- Lucernario a shed 90°C - 100
- Lucernario a shed 60° - 65
- Lucernari zenitali continui CAODURO in policarbonato compatto - 39

Si sono considerati edifici industriali con coppone TT e muretti alti ad accogliere sia lo shed che i lucernari zenitali continui CAODURO. Risulta evidentemente l'economicità dei lucernari zenitali continui CAODURO rispetto entrambe le tipologie shed.

Nel caso della copertura a shed fosse realizzata con le travi apposite, il conto economico risulterebbero ancora più sfavorevole allo shed stesso.

# 4 - Conclusioni

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

Dimensionante per ottenere lo stesso fattore 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, risultato ancor più efficienti in presenza di sole. Considerando delle condizioni media annua, i lucernari zenitali rendono disponibile una quantità di luce diurna quasi doppia rispetto agli shed. Questo consente dio ridurre l'installazione e l'utilizzo dell'illuminazione artificiale, specialmente se abbinata ad 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**
Installazione: dal 35% al 65% in meno
Esercizio: 50% kWh/anno in meno

**QUINDI**

- Minor costo
- Minor inquinamento ambientale
- Maggior Confort grazie ad una migliore distribuzione luminosa

# 5 - I prodotti Caoduro

## 5.2 Lucernari continui serie 035 FX

I lucernari continui componibili della Serie 035FX sono prodotti termoformando lastre di policarbonato nelle colorazioni standard neutro trasparente e bianco opal.

Oltre alla **robustezza** e all'**eccellente diffusione luminosa**, i lucernari in policarbonato hanno un **ottimo comportamento agli urti** e un'**elevata resistenza al calore**, necessari in tutti i casi in cui l'incolumità e la salvaguardia delle persone, oltre a quella della cose, è un fattore determinante e non sottovalutabile.
Ogni elemento intermedio, di 180/270 cm di lunghezza, viene realizzato con costolature di irrigidimento ad interasse di 30 cm. Tagliando al centro le costolature è possibile ottenere dei sottomultipli di 30, 60 o 90 cm.

Questi lucernari sono sicuramente la soluzione ottimale per sfruttare al meglio l'illuminazione naturale zenitale. **La loro modularità permette di coprire fori di qualunque lunghezza.**

Come le nostre cupole, sono realizzati a **parete semplice, doppia o tripla** per adattarsi alle condizioni ambientali più varie, puntando sempre all'isolamento termico migliore e al risparmio energetico nelle spese di climatizzazione degli ambienti.

La serie M35FX è realizzata con parete esterna in lastra monolitica termoformata (singola o doppia) la quale dà maggiori garanzie di resistenza agli agenti atmosferici e la parete interna costituita da una lastra piana in policarbonato alveolare multicamera, che permette di raggiungere un valore migliore di trasmittanza termica. I fissaggi possono essere realizzati con i morsetti standard, i quali offrono la massima garanzia di tenuta all'acqua e alle dilatazioni termiche, oppure con viti (il lucernario sarà fornito integro senza forature per i fissaggi). A richiesta e per quantità possono essere forniti lucernari in polimetilmetacrilato.

I nostri lucernari possono essere installati su **basamenti in metallo, basamenti in metallo per ventilazione,** basamenti per profili **Onda Europa**, per **pannelli sandwich grecati piani** e **pannelli sandwich grecati curvi**, basamenti in calcestruzzo o in legno.

Ogni telaio in alluminio, che può essere standard o con **profilo a bassa trasmittanza termica**, è predisposto all'applicazione di sistemi di apertura parziale o tutto foro manuale, elettrica, elettrica tandem vincolata U1 o con motori a cremagliera per la ventilazione giornaliera, apertura passo uomo per accesso in copertura e aperture per la funzione di evacuazione naturale fumi e calore con l'installazione del sistema SMOKE OUT®.

Ulteriori accessori a completamento sono le **griglie anticaduta e antintrusione** e la nostra centralina **Guardian** per la chiusura automatizzata in caso di vento o pioggia.

I lucernari **CAODURO® Serie 035FX** sono realizzati e testati secondo le normative previste per la marcatura CE. Per una corretta messa in opera, necessitano di un appoggio perimetrale avente uno spessore al finito di eventuali guaine di 7,5 cm su muretti in calcestruzzo pieno, basamenti prefabbricati in vetroresina o metallici.

## MODELLI LUCERNARI CONTINUI 035 FX

035 FX - parete semplice | 035 FX - parete doppia | M35 FX - parete doppia | M35 FX - parete tripla

## 5.1 Lucernari a SHED

Per andare in contro alle esigenze di progettisti ed aziende Caoduro ha tra i suoi prodotti anche i lucernari a shed.

Sono progettati per **ricreare una copertura a shed su tetti piani con fori orizzontali**. Realizzati con pannelli sandwich, grecati o lisci, di poliuretanico ad alta densità rivestito su ambo i lati da lamiera in acciaio zincato preverniciato.

La parete frontale è composta da un serramento metallico e lastre in policarbonato alveolare nei colori standard. La lattoneria a base del serramento, la finitura laterale e quella del colmo sono in lamiera preverniciata. Queste coperture non hanno dimensioni standard, ma **sono create sul foro desiderato**.

A richiesta è possibile applicare aperture per la ventilazione dei locali, costituite da profili di alluminio estruso pre-anodizzato o verniciato, completi di guarnizioni di tenuta. L'azionamento può essere effettuato in diversi modi, con motori elettrici 230V e 24V con angolo di apertura variabile. Altra possibilità è l'installazione di **sistemi ENFC** come **SMOKE OUT VERT™** e **SMOKE SHED™**, anche a doppia funzione.

CAODURO SPA

# 70 ANNI NELLE MANI DELLA STESSA FAMIGLIA

Tramandata si padre in figlio