

La progettazione si arricchisce di un componente che ha dimostrato la sua validità attraverso importanti verifiche funzionali

Luce naturale

Gennaro Bracale

La luce naturale diurna è la più perfetta fonte luminosa per l'occhio umano, indispensabile non solo per una corretta visione, ma anche come singolo regolatore di importanti funzioni vitali collegate al benessere visivo dell'uomo. Oggi può essere captata e trasportata per mezzo di piccoli condotti tubolari rifletten-



ti (guide di luce naturale) per illuminare indirettamente gli spazi al cuore degli edifici e del sottosuolo; in tal modo questa indispensabile forma di energia può rendere meglio utilizzabili locali non illuminabili direttamente dai sistemi tradizionali: finestre da parete, da tetto, bocche di lupo, lucernari, abbaini, ecc.

E' fondamentale evidenziare che questa tipologia di apparecchi è ottica-

I lucernari tubolari rendono meglio utilizzabili locali non illuminabili direttamente ed efficacemente dai sistemi tradizionali: finestre da parete, da tetto, bocche di lupo, lucernari, abbaini, ecc.

mente molto efficiente e funziona anche in condizioni di cielo coperto. Ai vantaggi anzidetti vanno poi aggiunti quelli, non meno importanti, del risparmio di elettricità e della protezione ambientale. Si riducono infatti i consumi per l'illuminazione, nelle fasi diurne, quando si possono raggiungere, naturalmente, livelli di illuminamento più che adeguati alle attività evitando, in estate, la necessità di smaltire il calore prodotto dall'elettricità dissipata per produrre luce artificiale. Ulteriore e non trascurabile vantaggio è la possibilità di limitare il surriscaldamento solare estivo (la parete riflettente del tubo è costituita da una pellicola selettiva che non consente la trasmissione degli infrarossi) molto sofferto nei grandi edifici per attività produttive, commerciali e sociali, limitando l'aggravio dei guadagni termici incontrollabili, normale inconveniente associato alle estese superfici trasparenti di plastica o di vetro, in parete o in copertura. Dopo l'introduzione in Europa (1997) dei primi lucernari tubolari industriali, sviluppati in Australia (1986) [1] [2], come naturale transizione dai pozzi di luce alle attuali guide di luce, molti progressi sono stati fatti nelle conoscenze del trasporto della luce, nelle tecnologie e nei materiali utilizzabili [3].

Ciò ha consentito di migliorare sostanzialmente le prestazioni di questi dispositivi con percorsi molto complessi e lunghi (qualche decina di metri!) spesso necessari nel recupero dell'edilizia esistente, ma anche nelle nuove costruzioni con una migliore utilizzabilità degli spazi lontani dalle pareti, fino ai piani inferiori degli edifici



multipiano, predisponendo opportuni cavevi di passaggio ecc.

Parallelamente sono stati sviluppati metodi di calcolo e previsione progettuali e tecniche di controllo che consentono di trattare questa materia con attendibilità ed affidabilità di rango impiantistico.

Protocolli del comitato tecnico CIETC3-38

I metodi per la previsione dell'illuminamento negli ambienti costruiti, utilizzando lucernari tubolari fissi, hanno costituito il cardine del lavoro quadriennale, da poco concluso, del comitato tecnico TC3-38 della Commissione Internazionale di Illuminazione. [4] Il primo obiettivo degli esperti internazionali chiamati a questo compito è stato l'utilizzo dei principi basilari dell'ingegneria illuminotecnica, adattandone l'applicazione anche a questi sistemi, nonostante la variabilità tipica della luce naturale. Ciò ha richiesto, innanzitutto, la conoscenza di dati fotometrici attendibili degli apparecchi, correlati alla complessa variabilità della luminanza della volta celeste e dell'apporto della diretta solare, e la definizione di metodologie e normative idonee per la determinazione sperimentale dei dati prestazionali dei sistemi offerti dal mercato.

La previsione, in sede progettuale, sia

dei livelli di illuminamento sia dei valori di luminanza ottenibili sulle superfici esposte, si è avvantaggiata, inizialmente, della disponibilità di metodi computerizzati che utilizzano programmi informatici avanzati come Radiosity e Ray-Tracing [5] [6] disponibili anche in Italia presso organismi qualificati [2]; questi programmi sono utilizzati soprattutto nella soluzione delle problematiche poste dalle grandi costruzioni e dagli spazi con condizioni di climatizzazione molto critiche.

La necessità comunque di disporre di coefficienti sperimentali di tipo prestazionale ha indotto il gruppo di lavoro TC3-38 alla formulazione di un protocollo di controllo per enti di certificazione e laboratori di ricerca e sviluppo. Il testo proposto prevede una sorgente artificiale in grado di produrre condizioni di luce diffusa riconducibili a quelle definite come CIE – overcast sky, cioè in assenza di apporti della componente diretta solare.

Questa sorgente di riferimento, con l'impiego di un semplice contenitore di integrazione sferico (come l'integratore di Ulbricht) oppure parallelepipedo (CSTB – Nantes) o cilindrico (Solar Project), sostituibili con un fotometro a scansione, consente di determinare, per ogni componente del sistema o del suo complessivo, le caratteristiche standard di trasferimento della luce, previa determinazione, con procedura molto semplice, della costante di calibrazione dell'integratore. Un sistema ad ampia superficie con potenza dimmerizzabile da 130.000 lumen circa è disponibile presso la Solar Project. Attraverso il rapporto dei flussi luminosi, in uscita e in entrata, interpolazioni ed estrapolazioni siamo in grado di determinare l'efficienza anche di condotti molto complessi.

Utilità pratica dei test secondo CIETC3-38

A nostra conoscenza, oggi, attraverso questo protocollo è stato verificato al



Prima e dopo Solar Spot. I lucernari tubolari limitano il surriscaldamento solare estivo, molto sofferto nei grandi edifici per attività produttive, commerciali e sociali, limitando l'aggravio dei guadagni termici incontrollabili, normale inconveniente associato alle estese superfici trasparenti di plastica o di vetro, in parete o in copertura.

CSTB di Nantes il comportamento dell'apparecchio Solar Spot® di Solar Project nell'ambito delle complesse procedure per assegnare l'Avis Technique. Questa procedura è ritenuta la più severa e rappresentativa, ed è indispensabile per gli appalti pubblici in Francia; fornisce certezze progettuali ed esecutive a progettisti, direttori lavori ed impiantisti, nel caso dell'utilizzo di lucernari tubolari, per meglio soddisfare i requisiti di illuminazione naturale, se non è possibile o conveniente il ricorso ai sistemi luciferi tradizionali (finestre e vetrate, abbaini, lucernari, roof-tops, ecc.).

Questa prudenza trova il suo riscontro nell'unico test noto, di confronto tra prodotti disponibili sul mercato francese, eseguito out door presso l'ENTPE di Lyon, per conto dell'Agenzia francese ADEME (Ambiente ed Energia) che ha evidenziato risultati eccellenti per Solar Spot®, confrontando questa tecnologia con quella USA più diffusa e più popolare.



**CSTB - CENTRE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE DU BATIMENT - PARIGI**
Domanda ATEC n° AC 2004/339 - 6 - D

**CERTIFICATI E RISULTATI SPERIMENTALI
AI FINI DELL'AVIS TECHNIQUE**

1 - Prove di durabilità di 3000h in WOM C365 (Atlas, IST=60°C) sulla foglietta di tenuta impermeabile, di colore marrone, associata ad un sistema SOLARSPOT® di diametro 250mm
Rapporto di prove CSTB n° BV05-491 del 26 luglio 2005.

2 - Prove MEV su kit preassemblato del sistema SOLARSPOT® di tipo "lampione" del diametro 530 mm
Rapporto di prove CSTB n° BV05-441 del 7 luglio 2005.

3 - Prove di choc su cupola del sistema SOLARSPOT® di diametro 250 mm
Rapporto di prove CSTB n° BV05-440 del 7 luglio 2005.

4 - PROTEO® formula 5682 - LAC 5682 MA 010/III
Euroclasse E
CSI - type approval - certificate 1409/05 - Rapport CSI - DC01/6/0 F 05 du 13/09/2005. EN 13501-1 - 2002.

5 - GALPRO 10 CF - CSI - type approval
Euroclasse E
- certificate 1409/05 - Rapport CSI - DC01/6/8 F 5 du 13/09/2005.

6 - Calcolo delle dispersioni termiche attraverso i condotti di luce. Rapporto di studio termico. CSTB - Affaire 05-027 DERATTO 2005-140-PL/15 del 1 Agosto 2005.

7 - Caratterizzazione delle performances luminose sui kit preassemblati del sistema SOLARSPOT® di diametro 250 mm, 375mm, 530 mm e 650mm: bilancio luminoso dati utilizzabili per gli scopi del Dossier Avis Technique. Rapporto di prove CSTB n° EN-EC1, 05.02C del 28 giugno 2005.

8 - Caratterizzazione ottica in trasmissione e riflessione degli elementi del sistema SOLARSPOT®. Rapporto di prove n° CP1/05-0047 del 16 settembre 2005.

9 - Identificazione per spettroscopia IRIT dei materiali organici che intervengono nella fabbricazione degli elementi del kit preassemblati del sistema SOLARSPOT®. Rapporto di prove n° BV05-575 del 27 luglio 2005.

10 - Prova di durabilità 4000 h (IST = 65°C con ciclo per materie plastiche) in WOM C 1500 (ATLAS) della cupola in PMMA associata ad un sistema SOLARSPOT®. Rapporto di prova n° CP1/05-0009 (settembre - ottobre 2005).

11 - Prova di messa in opera su maquette (scala 1:1) di un kit pre-assemblato Solarspot diametro 250 mm per una copertura di tegole piatte di terracotta e uscita universale dal tetto PROTEO® base rigida e scossalina flessibile estensibile - CSTB (luglio-agosto 2005).

12 - Prova di messa in opera su maquette (scala 1:1) di un kit pre-assemblato Solarspot 375mm per una copertura di tegole a doppio incastro tipo marigliani con debole rilievo a l'estradosso e uscita universale dal tetto PROTEO® base rigida e scossalina flessibile estensibile - CSTB (luglio-agosto 2005).

13 - Prova di messa in opera su maquette (scala 1:1) di un kit pre-assemblato Solarspot del tipo lampione diametro 530 mm per una copertura di tegole a doppio incastro e forte rilievo dell'estradosso e uscita universale dal tetto PROTEO® base rigida e scossalina flessibile estensibile - CSTB (luglio-agosto 2005).

Efficienza di trasmissione del condotto cilindrico (TTE), in funzione: del coefficiente di forma L/D - Lunghezza/Diametro, della riflettività speculare della luce naturale R, per raggi luminosi con angolo d'incidenza sull'asse $\theta=30^\circ$

L/D	TTE - R			
	0,92	0,95	0,98	0,995
0,3	0,98	0,99	1,00	1,00
0,4	0,96	0,98	0,99	1,00
0,7	0,92	0,97	0,99	1,00
1,1	0,87	0,95	0,98	1,00
1,4	0,83	0,93	0,98	0,99
1,6	0,80	0,92	0,97	0,99
2,1	0,85	0,90	0,96	0,99
3,2	0,79	0,85	0,94	0,98
3,4	0,77	0,83	0,94	0,98
6,6	0,65	0,73	0,80	0,97
8,0	0,58	0,69	0,87	0,96
8,6	0,56	0,68	0,86	0,96
11,4	0,46	0,62	0,82	0,95
14,7	0,39	0,55	0,78	0,94
16,0	0,37	0,52	0,76	0,93
18,0	0,30	0,46	0,73	0,92
19,4	0,27	0,43	0,71	0,92
21,3	0,25	0,40	0,69	0,91
22,0	0,24	0,40	0,69	0,91
22,9	0,23	0,37	0,68	0,91
26,4	0,19	0,33	0,64	0,89
28,6	0,16	0,30	0,62	0,88
30,8	0,14	0,28	0,60	0,87
34,0	0,12	0,25	0,57	0,86
37,3	0,10	0,22	0,54	0,85
42,7	0,07	0,18	0,50	0,83
45,7	0,06	0,16	0,47	0,82
50,0	0,05	0,14	0,44	0,80
57,1	0,03	0,11	0,40	0,79
64,0	0,02	0,08	0,36	0,76
71,4	0,02	0,06	0,32	0,74
80,0	0,01	0,05	0,28	0,71
100,0	0,00	0,03	0,21	0,66

Metodo raccomandato CIE TC3-38 per determinare il rendimento dei condotti, noto come metodo dell'efficienza di trasmissione - TTE delle guide di luce

Costituisce un po' la base dei vari sistemi di routine di dimensionamento e di previsione, se si conoscono le caratteristiche standard fisiche e geometriche dei materiali e componenti utilizzati e garantiti dai produttori: R, riflettività speculare del condotto; T trasmittanza luminosa di cupola e diffusori; diametri di ogni zona del condotto - coefficiente di captazione (<1!), ecc.

Questo metodo è anche utile per l'introduzione di attendibili parametri prestazionali nel caso di utilizzo di sistemi computerizzati di simulazione. Per maggiori dettagli sui criteri suggeriti da CIE si rinvia al suddetto rapporto in corso di pubblicazione e distribuito tramite le associazioni nazionali di illuminotecnica [4].

Per una corretta applicazione del

metodo TTE è fondamentale conoscere il valore della riflettività speculare delle pareti del condotto nonché dei risultati delle verifiche fotometriche, secondo il protocollo TC3-38, cui il sistema dovrà essere stato preventivamente sottoposto.

In Italia, l'autorità socio sanitaria locale è l'organo tecnico amministrativo pubblico cui è demandato normalmente il compito preliminare di verificare il rispetto dei requisiti cogenti dei progetti edili di emanazione regionale.

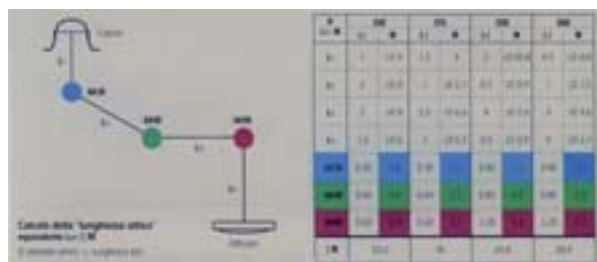
Nel caso dei lucernari tubolari, che sono apparecchi molto più efficienti otticamente, delle tradizionali aperture illuminanti da tetto e da parete, non si applica però l'abituale regola del rapporto illuminante ($1/8 \div 1/10$ rispetto alla superficie in pianta del locale in esame) che in genere prevede superfici molto ampie, quasi sempre superiore ad 1 m^2 .

Con le diverse dimensioni dei lucernari tubolari e le loro elevate prestazioni disponibili; $0,05 \text{ m}^2$ ($\varnothing 250$), $0,11 \text{ m}^2$ ($\varnothing 375$), $0,22 \text{ m}^2$ ($\varnothing 530$), $0,33 \text{ m}^2$ ($\varnothing 650$), è possibile, alle nostre latitudini, $42^\circ-44^\circ\text{N}$ assicurare un Fldm adeguato alle esigenze delle destinazioni d'uso dei locali, con condotti di elevata lunghezza e configurazioni complesse con $L_e = \sum M$ fino a $50 \times M$.

Il metodo TTE è fondato su una combinazione equilibrata tra dati sperimentali e semplificazioni di calcolo; nei casi di studio esaminati, è stato registrato un soddisfacente accordo tra previsioni secondo questa procedura e risultati ottenuti in campo [4] [3].

Questo metodo è disponibile anche in tavole risolte che consentono un rapido dimensionamento, dopo aver determinato, in via preliminare, la lunghezza ottica equivalente del condotto per i vari diametri che si prevede di poter utilizzare. E' sufficiente costruire $\sum M$, la somma dei moduli M del condotto reale (un modulo è un tratto di

Conduttore	Ø 250 mm	Ø 375 mm	Ø 530 mm	Ø 650 mm
1,0	4,5	10	20	30
1,5	3,5	8	16	25
2,0	2,5	5,5	12	18
3,0	1,5	4	8	12



Area	Ø 250 mm	Ø 375 mm	Ø 530 mm	Ø 650 mm
1,0	4,5	10	20	30
1,5	3,5	8	16	25
2,0	2,5	5,5	12	18
3,0	1,5	4	8	12

lunghezza pari al diametro del condotto), aggiungendo al numero di moduli corrispondenti ai tratti rettilinei quelli equivalenti, degli adattatori d'angolo, determinati sperimentalmente e ricavabili dalla tabella del Solarspot (per la luce non c'è alcuna differenza tra tratti orizzontali o inclinati in salita o in discesa !).

La somma dei moduli, convertita in lunghezza ottica equivalente del condotto ($L_e = \sum M \times D$ (m)), consentirà l'accesso e l'uso diretto delle tavole dei vari diametri delle località dell'intervento; le soluzioni per il Solarspot sono fornite in funzione del diametro prescelto e del Fldm cioè dell'uso previsto o della prescrizione ricevuta.

Le seguenti precauzioni completano queste semplici istruzioni:

- per un tubo rettilineo la lunghezza lineare è uguale a quella ottica equivalente;
- per contenere i costi utilizzare, se possibile, gli apparecchi di maggior diametro previsti dalle tabelle;
- verificare la maglia di posa, attraverso l'utilizzo delle caratteristiche fotometriche del diffusore e l'altezza del soffitto.

Il contributo della diffusibilità delle pareti d'ambito: soffitto, pavimento, pareti e punti di posa, oltreché il tipo di diffusore contribuiscono all'omogeneità del risultato oppure ad ottenere un intenso illuminamento localizzato, o effetti particolari scenografici.

- verificare che l'intervento non richieda accorgimenti di protezione al rischio del fuoco e non richieda la prevenzione del rischio di condensa, attraverso un blando isolamento termico all'esterno del condotto.

Consultare nel caso la rete di vendita o la società produttrice.

Da Meteosat e Satel-light energia luminosa disponibile al suolo in Italia e in Europa

www.satel-light.com è un server d'informazioni specializzato nella luce naturale e la radiazione solare, fondato su dati calcolati partendo dalle immagini dell'Europa Ovest e Centrale (48 paesi in totale) fornite dal satellite meteosat ogni 1/2 ora, dal 1996 al 2000.

Va dato atto che questa immensa ed importantissima banca dati è il frutto

di uno studio finanziato dall'Unione Europea, che ha visto impegnati 10 gruppi di lavoro di 5 paesi Europei, composti da specialisti nell'analisi delle immagini satellitari e la realizzazione di modelli dell'irraggiamento solare.

Il dettaglio, la precisione e l'affidabilità statistica, sono molto elevate e verificate con misure al suolo da nord a sud, mentre la globalità delle informazioni sono frutto della potenzialità insostituibile delle tecnologie informatiche satellitari. L'area è coperta da poco più di 240.000 pixel che corrispondono ciascuno ad una estensione territoriale dell'ordine di 35 Km². Come è intuibile, l'irraggiamento solare disponibile al suolo terrestre dipende dall'intensità solare e dall'opacità della copertura nuvolosa e dell'atmosfera terrestre; maggiore è l'ostacolo frapposto all'irraggiamento solare dagli strati, tra il sito ed il sole, e maggiore è l'irraggiamento riflesso dal sito verso il satellite, che ovviamente lo vedrà e lo registrerà come più luminoso.

Da questa rilevazione si ricaverà, mediante la soluzione informatica di algoritmi specifici, l'opacità dell'area e quindi i valori energetici e luminosi prevedibili al suolo, con un'ampia possibilità di presentazione delle informazioni in forma grafica o tabellare, frequenza, ampiezza, ecc.

Un esempio di informazioni ottenibili da Satel-Light, di grande utilità per la progettazione dell'illuminazione naturale mediante i lucernari tubolari, è dato dalle tabelle sintetiche costruite per Solar Project dall'ENTPE – Lash – Lyon Prof. Marc Fontoynt [11] per alcune città Europee e per le principali aree geografiche italiane.

Nell'ipotesi molto probabile che le superfici di ambito assicurino una buona diffusività della luce (D = 0,3), si può ritenere che, alle latitudini medie italiane, le superfici illuminabili (m²) con condotti aventi $L_e = \sum M$ da 10 x M a 30 x M, siano:

Fldm in %	Destinazione d'uso	Ø 250 mm	Ø 375 mm	Ø 530 mm	Ø 650 mm
0,5	Parcheggi sotterranei	9	20	40	60
1,0	Corridoi, disimpegno, palestre	4,5	10	20	30
1,5	Ambienti mediamente frequentati	3,5	8	16	25
2	Ambienti permanentemente occupati	2,5	5,5	12	18
3	Scuole, ospedali, soggiorni pensioni anziani	1,5	4	8	12

