



## Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo di materiali e tecnologie per la riduzione  
degli effetti della radiazione solare.  
A. Implementazione delle prestazioni e nuovi prodotti  
per il controllo della radiazione solare e costruzione di  
un archivio cartaceo di prodotti innovativi

*T. Poli, A. G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, L. Vercesi, M. Zinzi*

SVILUPPO DI MATERIALI E TECNOLOGIE PER LA RIDUZIONE DEGLI EFFETTI DELLA RADIAZIONE SOLARE.  
A. IMPLEMENTAZIONE DELLE PRESTAZIONI E NUOVI PRODOTTI PER IL CONTROLLO DELLA RADIAZIONE  
SOLARE E COSTRUZIONE DI UN ARCHIVIO CARTACEO DI PRODOTTI INNOVATIVI

T. Poli, A. G. Mainini, R. Paolini, A. Speroni, L. Vercesi (Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito – *Architecture, Built environment and Construction engineering Dept.* – ABC)

Michele\_Zinzi (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione d'interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Sviluppo e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologico

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di *collaborazione "Sviluppo di materiali e tecnologie per la riduzione degli effetti della radiazione solare. Implementazione delle prestazioni e nuovi prodotti per il controllo della radiazione solare e costruzione di un archivio cartaceo di prodotti innovativi"*

Responsabile scientifico ENEA: Michele Zinzi

Responsabile scientifico Politecnico di Milano, Dipartimento ABC: Tiziana Poli

Gli Autori ringraziano: Ing. Maurizio Zanon PATI Spa, Ing. Stefano Alacqua Saes-Getters Spa, Arch. Stefano Bertino Tensoforma Trading Srl, Prof. Ing. Giancarlo Terraneo, Maria Vittoria Diamanti e Maria Pia Pedeferra, Dipartimento di chimica, materiali e ingegneria chimica "Giulio Natta" – Politecnico di Milano e tutte le aziende che ci hanno fornito i campioni di prodotto utili al fine della costruzione dell'archivio prodotti.

## Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	7
1.1 OGGETTO DELLA RICERCA.....	11
1.2 MOTIVAZIONE DELLA RICERCA.....	12
1.3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ.....	12
1.4 GLI OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	13
2 IMPLEMENTAZIONE DELLE PRESTAZIONI E NUOVI PRODOTTI PER IL CONTROLLO DELLA RADIAZIONE SOLARE ...	13
2.1 GLI INDICATORI PRESTAZIONALI DEI SISTEMI SCHERMANTI/FILTRANTI.....	14
2.2 TIPOLOGIE DI SCHERMATURE SOLARI A CONFRONTO.....	14
2.3 LA POSSIBILE IMPLEMENTAZIONE PRESTAZIONALE DEL SISTEMA DI PROTEZIONE SOLARE.....	18
2.4 NUOVI PRODOTTI PER LE PROTEZIONI SOLARI.....	19
2.5 LE PROPRIETÀ OTTICO-RADIATIVE DI RETI, MAGLIE, TESSUTI E LAMIERE.....	31
2.5.1 <i>Raggruppamenti per analogia geometrica</i> .....	32
2.5.2 <i>Raggruppamenti per proprietà cromatiche</i> .....	35
2.5.3 <i>Raggruppamenti per posizionamento rispetto al filo facciata</i> .....	35
2.6 DESCRIZIONE DELL'ASSETTO SPERIMENTALE.....	36
2.6.1 <i>La sfera di Ulbricht</i> .....	36
2.6.2 <i>Lo spettrofotometro</i> .....	37
2.7 ANALISI DELLA TRASMITTANZA SOLARE E VISIBILE DEI CAMPIONI SELEZIONATI.....	39
2.7.1 <i>Prestazione angolare prevalente</i> .....	39
2.7.2 <i>Prestazione spettrale prevalente</i> .....	41
2.7.3 <i>Casi particolari</i> .....	43
2.7.4 <i>Considerazioni conclusive</i> .....	44
2.8 TRASMITTANZA VISIBILE E COLORE.....	45
2.8.1 <i>Considerazioni conclusive</i> .....	46
3 LA MODIFICA DELLE PRESTAZIONI OTTICO-ENERGETICHE DI MEMBRANE IN ETFE.....	47
3.1 INTRODUZIONE.....	47
3.2 L' APPLICAZIONE DI PELLICOLE A CONTROLLO SOLARE.....	48
3.2.1 <i>I campioni analizzati e la procedura di misura</i> .....	48
3.2.2 <i>Misure spettrali e valori integrati</i> .....	49
3.2.3 <i>Conclusioni</i> .....	50
3.3 IL TRATTAMENTO SUPERFICIALE TRAMITE RESINE ACRILICHE.....	51
3.3.1 <i>Introduzione</i> .....	51
3.3.2 <i>I campioni analizzati: applicazione di resine e polveri monocomponente</i> .....	53
3.3.3 <i>Misure spettrali e valori integrati: resina acrilica e polveri monocomponente di Al, TiO<sub>2</sub> e Gr</i> .....	54
3.3.4 <i>Conclusioni</i> .....	55
3.3.5 <i>I campioni analizzati: applicazione di resine e polveri bicomponente</i> .....	56
3.3.6 <i>Misure spettrali e valori integrati: resina acrilica e polveri bi componente di Al, TiO<sub>2</sub> e Gr</i> .....	57
3.3.7 <i>Conclusioni</i> .....	59
3.3.8 <i>I campioni analizzati: applicazione di resine e ossidi di metallo</i> .....	59
3.3.9 <i>Misure spettrali e valori integrati: resina acrilica e polveri monocomponente di ossidi di ferro e cromo</i> .....	60
3.3.10 <i>Conclusioni</i> .....	61
3.3.11 <i>I campioni analizzati: applicazione di SolGel additivato con Biossido di Titanio 1%</i> .....	63
3.3.12 <i>Misure spettrali e valori integrati: applicazione di SolGel additivato con Biossido di Titanio 1%</i> .....	63
3.3.13 <i>Conclusioni</i> .....	63
3.4 STAMPA ECOSOLVENT SU ETFE.....	64
3.4.1 <i>Misure spettrali e valori integrati</i> .....	65

3.4.2	<i>Misure spettrali e valori integrati: Confronto tra differenti colori a parità di densità del colore</i>	67
3.4.3	<i>Conclusioni</i>	68
4	SVILUPPO DI UN MODELLO FUNZIONALE ADATTIVO A BASSO IMPATTO	69
4.1	GLI SMART O ADAPTIVE MATERIALS	69
4.1.1	<i>Thermostatic Bimetals</i>	70
4.1.2	<i>Shape memory Polymers</i>	70
4.1.3	<i>Shape Memory Alloy</i>	71
4.1.4	<i>Smart Materials a confronto</i>	71
4.2	STATO DELL'ARTE INTEGRAZIONE SM IN SCHERMATURE SOLARI	74
4.2.1	<i>Applicazioni / casi studio degli SM in facciata</i>	74
4.2.2	<i>Principali tematiche sugli SM</i>	82
4.3	LINEE GUIDA ALLA PROGETTAZIONE CON GLI SMART MATERIALS	83
4.3.1	<i>Applicabilità SM in diverse tipologie di schermature solari</i>	85
4.4	LE PROPRIETÀ DEGLI SMA	87
4.5	SVILUPPO DI ALCUNI MODELLI DI FUNZIONAMENTO DI PROTEZIONI SOLARI CON MATERIALI A MEMORIA DI FORMA COME ATTUATORI	87
4.5.1	<i>Le molle</i>	88
4.5.2	<i>I fili</i>	92
4.6	LA SCELTA DEL MODELLO DI FUNZIONAMENTO CON SM COME ATTUATORE	93
4.7	GLI INDICATORI DI ATTIVAZIONE DI SM IMPIEGATI COME ATTUATORI E I POSSIBILI RANGE DI ATTIVAZIONE.	94
4.7.1	<i>Limiti e validità dello strumento semplificato per la determinazione delle temperature di attivazione</i>	97
4.7.2	<i>Descrizione dei risultati</i>	98
4.8	SVILUPPO DI ALCUNI MODELLI DI FUNZIONAMENTO DI PROTEZIONI SOLARI CON MATERIALI A MEMORIA DI FORMA INTEGRATI	98
4.9	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	104
5	CONCLUSIONI	105
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	107
7	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	109
	ALLEGATO A – ARCHIVIO DI PRODOTTI INNOVATIVI	110
	ALLEGATO B – CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO	167

## Sommario

Gli edifici a fabbisogno energetico ridotto per la climatizzazione richiedono involucri performanti a comportamento adattivo, ossia capaci di modificare il loro comportamento dal punto di vista energetico (modulazione dei segnali energetici e luminosi) al variare delle forzanti esterne e delle sollecitazioni interne. In questa logica di funzionamento dell'involucro, le parti trasparenti e le protezioni solari divengono il punto debole e di forza nel funzionamento energetico dell'organismo edilizio. Le strategie per il controllo degli apporti solari sono molteplici: agendo direttamente sulla specchiatura mediante depositi o accoppiamento di uno o più strati (pellicole) o abbinando al vetro uno o più *layer* (elementi continui o discontinui, permeabili o meno all'aria, regolabili o fissi, interni o interposti). L'agire unicamente sulle specchiature significa disporre di un sistema a comportamento efficiente (vetri selettivi, riflettenti, basso-emissivi) ma statico. La dinamicità di comportamento della componente trasparente può essere garantita da una variazione di assetto della protezione solare; lo sfruttamento poi di particolari configurazioni geometriche unitamente al controllo delle proprietà radiative delle superfici può rendere il sistema molto performante anche rispetto altri parametri prestazionali.

Il programma proposto prevede:

- la caratterizzazione delle proprietà radiative di materiali a geometria complessa con prestazione bidirezionale (tessuti in polimero, tele metalliche e lamiere microforate) con particolare attenzione alla definizione della variazione della prestazione ottica al variare della geometria solare e del verso di posa in opera che può portare ad una sovrastima della disponibilità di luce naturale in ambiente confinato o di radiazione incidente sul vetro;
- la ricerca e la selezione di materiali e prodotti messi a punto in altri settori e potenzialmente impiegabili come protezioni solari (tessuti metallici, tessuti a trama tridimensionale, griglie tridimensionali, lamiere forate a geometria bidirezionale) e la successiva caratterizzazione delle proprietà radiative;
- la caratterizzazione delle proprietà radiative di superfici flessibili a prestazione ottica potenziata. Si tratta di superfici trasparenti a base polimerica (ETFE) trattate superficialmente e/o accoppiate a ulteriori *layer*;
- la definizione delle possibili implementazioni prestazionali del sistema di controllo solare ossia la determinazione di funzionalità aggiunte con ricadute sia alla scala dell'edificio sia alla meso-scala;
- la verifica dell'integrabilità di materiali a memoria di forma (*smart materials*) nei sistemi di protezione solare (sistemi self adaptive che non richiedono una attivazione elettrica e sistemi meccanici di movimentazione) con la definizione dei limiti applicativi (temperature di attivazione) e dei possibili modelli di funzionamento.

L'attività di caratterizzazione è consistita nella misura della riflettanza e della trasmittanza solare (fra 300 e 2500 nm) e della trasmittanza luminosa. Nel caso di geometrie complesse o di elementi a prestazione bidirezionale è stata definita la dipendenza angolare nella variazione della prestazione. Si è verificato che una variazione dell'orientamento in fase di posa in opera (possibile per le caratteristiche meccaniche del sistema) può modificare la prestazione del sistema anche del 40%. Per quanto attiene alle maglie metalliche, invece, la riduzione del passo porta a una diminuzione della trasmittanza solare e a un incremento della dipendenza angolare (si possono osservare delle riduzioni delle prestazioni superiori al 30%). Tale dipendenza si perde quando si passa da una maglia a una tela metallica (miniaturizzazione della trama). Nel caso di tessuti metallici il materiale, il *coating* e il colore incidono sulla prestazione con maggiore significatività nel campo del visibile. Le lamiere con geometria bidirezionale e le griglie a base polimerica tridimensionale presentano prestazioni distinte non riconducibili a un tipo (anche quando simili e a parità di fattore di apertura) e forti dipendenze angolari. I risultati ottenuti nel trattamento dei campioni di ETFE e la comparazione con il vetro suggeriscono la messa a punto di protezioni solari leggere. Infine, l'integrazione degli *smart materials* nei sistemi di protezione solare è fattibile nel breve periodo

sotto forma di attuatore o a integrazione parziale. L'integrazione totale presenta dei limiti legati prevalentemente ai costi e alle condizioni al contorno di attivazione (temperature esterne).

## 1 Introduzione

Lo scenario di riferimento per la realizzazione di nuovi edifici e il recupero di edifici esistenti deve essere conforme alle direttive Europee che promuovono la realizzazione di *nearly Zero Energy Buildings (nZEB)* o *nearly net Zero Energy Buildings (nnZEB)* [1] [2] [3] [4] [5]. Nello specifico, la nuova Direttiva [6] potenzia i requisiti minimi relativi alla prestazione energetica dell'edificio, determina una metodologia comune per il computo della prestazione e richiede un adeguamento anticipato delle prassi progettuali; entro il 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere "a energia quasi zero" (ossia ad altissima prestazione energetica e a fabbisogno energetico quasi nullo che dovrà essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili) ad eccezione degli edifici pubblici, sempre di nuova costruzione, che dovranno essere *nZEB* a partire dal 2018. Molteplici sono i programmi di ricerca attualmente in corso [7] [8] [9], così come sono oggi disponibili i primi riscontri riguardo le esperienze progettuali [10] [11]. Le attività programmatiche che porteranno nei prossimi anni al raggiungimento di quest'obiettivo (energia primaria pari a 0 kWh/ (m<sup>2</sup> a)) prevedono la progressiva riduzione delle soglie massime di consumo ammissibile per i nuovi edifici per il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda e tutti i consumi elettrici accessori con la finalità primaria della mitigazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> imputabili al comparto costruito. La garanzia di qualità architettonica (includendo anche il concetto di flessibilità nell'uso e nel tempo) e l'ottenimento delle condizioni di comfort completano il quadro degli indicatori *nZEB*. Nella pratica comune Italiana e in edifici termicamente e adeguatamente isolati il controllo del fabbisogno di riscaldamento invernale è affidato principalmente al comportamento passivo dell'involucro opaco, alla gestione degli apporti gratuiti e all'efficienza dei sistemi impiantistici installati. In regime estivo il fabbisogno di condizionamento, così come la verifica del comfort degli utenti sono spesso trascurati, oppure demandati a un cautelativo sovradimensionamento dell'impianto di climatizzazione. Relativamente al particolare contesto climatico italiano e alle architetture contemporanee spesso caratterizzate da ampie superfici trasparenti d'involucro, si assiste spesso, a un benefico effetto di riduzione del fabbisogno invernale di riscaldamento dovuto a un eccesso di apporti gratuiti e a una forte riduzione delle dispersioni, ma anche a un notevole incremento di fabbisogno estivo di condizionamento, dovuto alla presenza di apporti solari gratuiti che non sempre riescono a essere limitati, dovendo così necessariamente essere smaltiti dall'impianto di condizionamento per non creare discomfort all'utenza.

A questo proposito diventa predominante la necessità di prevedere l'applicazione di modelli di funzionamento dell'edificio, materiali, tecnologie e sistemi, in grado ridurre gli apporti solari estivi, garantendo al tempo stesso un'adeguata penetrazione della luce (estate e inverno) e della radiazione solare nel periodo invernale.

Un sistema di controllo solare efficiente può ridurre, nel periodo surriscaldato e nel caso di edifici con destinazione d'uso ufficio, tra il 10% e il 20% (valore variabile in funzione del contesto climatico di riferimento, della morfologia dell'edificio, della percentuale di superficie trasparente, della tipologia di schermatura e del livello d'illuminamento obiettivo di progetto) il fabbisogno di energia primaria [12] [13] [14]. La riduzione degli apporti solari gratuiti è però generalmente accompagnata anche da una riduzione del livello d'illuminamento con il conseguente incremento del fabbisogno energetico per l'illuminazione [15] [16]. Le pellicole e/o le protezioni solari fungono da filtro sia nel campo dell'infrarosso sia del visibile. Inoltre, questi sistemi inducono sull'utente una sensazione di discomfort legata a un'alterazione nella percezione (colore e nitidezza delle forme) dell'esterno [17].

Oggi giorno si assiste a una sempre più crescente smaterializzazione del muro (predominanza delle superfici trasparenti nell'involucro). Ciò ha portato a una continua evoluzione delle prestazioni dei vetri: vetri iperisolanti, a controllo solare, selettivi. Questa evoluzione al momento non è sufficiente per garantire, a meno di costi e di consumi energetici elevati di attivazione del sistema (vetri elettrocromici e fotocromici), un funzionamento dinamico della specchiatura. Sempre più spesso il serramento o la facciata continua sono accoppiati a un sistema di protezione solare che può essere a estensione parziale (singolo componente accoppiato al serramento o vincolato in corrispondenza dell'imbotte) o rivestire totalmente l'involucro (una seconda pelle esterna o interposta con funzione di controllo della radiazione ed estetica).

Nel caso di accoppiamento a serramenti, l'interfaccia tra schermatura e involucro può diventare il punto debole del sistema rispetto ad alcune prestazioni quali quelle relative alla tenuta all'acqua e all'aria soprattutto nel caso d'interventi di recupero. Le soluzioni più ricercate e interessanti e nello stesso tempo più complicate da modellare in termini energetici e luminosi (perché mancano i dati riguardanti le proprietà radiative del prodotto costituente il sistema o perché la miniaturizzazione della geometria rende la modellazione onerosa in termini di tempo) sono attualmente riscontrabili negli edifici connotati da involucro trasparente (Figg. 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Qui la facciata diviene il luogo della sperimentazione.



Fig. 1 – Seconda pelle costituita da elementi traslucidi variamente orientati (fonte: <http://www.deemag.com>)

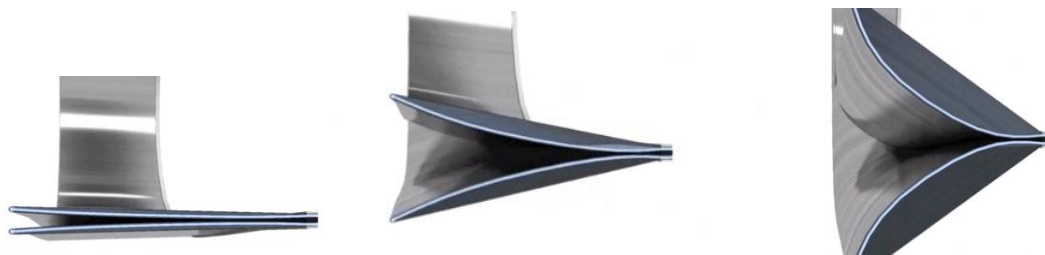
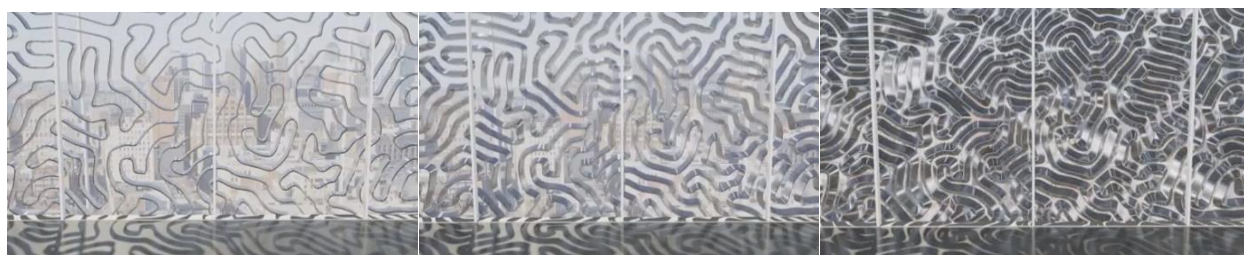


Fig. 2 – Sistema dinamico di schermatura: facciata omeostatica. (fonte: <http://www.deckeryeadon.com>)



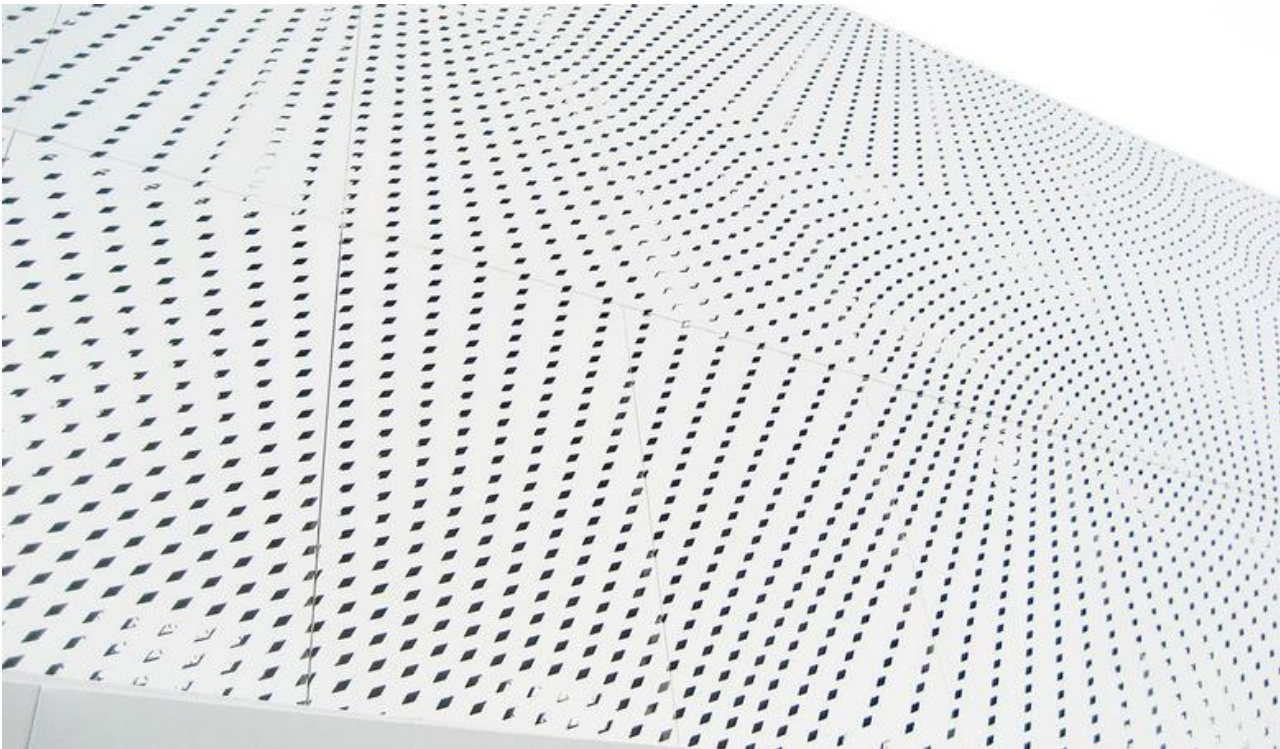


Fig. 3 – Seconda pelle come sistema di controllo solare costituita da lamiera forata a taglio numerico con geometria e posizionamento dei fori variabile. Trophy house, Michael Maltzan (fonte: <http://www.archiexpo.com>)



Fig. 4 – Seconda pelle come sistema di controllo solare costituita da lamiera microforata riflettente con fori a geometria variabile. FAIRMONT PACIFIC RIM (fonte: <http://www.archiexpo.com>)



Fig. 5 – Seconda pelle come sistema di controllo solare costituita da lamiera microforata a geometria variabile. MZH Reiden (fonte: <http://www.schaefer-lochbleche.de>)



Fig. 6 – La pelle dell'edificio è costituita da elementi lastre in vetro con differenti curvature e gradi di opalescenza (fonte: <http://xsdri.wordpress.com/2011/02/05/glass-leaves/>)



**Fig. 7 – Integrazione di fotovoltaico in facciata. A sinistra un modulo con PV organico integrato (prototipo sviluppato presso il Fraunhofer Institute - ISE). A destra un sistema a concentrazione solare. Entrambi i sistemi possono fungere contemporaneamente da protezione solare e da componente attivo nella trasformazione di energia (fonte: a sinistra <http://www.interpv.net> ; a destra <http://www.inhabitat.com>)**

A differenza di quanto avviene per il vetro, nel caso delle protezioni solari la sperimentazione è, nella maggior parte dei casi, a carico del progettista che ricerca nuove soluzioni (sperimentazione formale). A questa primo input si affianca la ricerca dell'ottimizzazione nel funzionamento di questi sistemi: l'automazione nella movimentazione rispetto al rilevamento del dato climatico indoor/outdoor (*shading devices controller* per l'efficienza nel funzionamento del sistema, efficienza comunque sempre legata a un consumo di energia per consumare meno energia) e lo sviluppo di software di controllo in funzione del bilancio energetico anche istantaneo dell'edificio [18] [19].

Per alcune tipologie come ad esempio veneziane, elementi tessili e lamelle si può parlare di prestazione consolidata. Le proprietà del materiale sono note, la modellazione in fase di progettazione è relativamente semplice e il margine di errore nella stima del comportamento è contenuto (sono infatti numerosi i dati disponibili su tali sistemi con una variabilità che dipende unicamente dal trattamento superficiale). Per altre tipologie caratterizzate da una miniaturizzazione della geometria (lamiere microforate), da una geometria bidirezionale, da un'eterogeneità di composizione dell'elemento (accoppiamento di due materiali) o da una geometria 3D, la definizione della prestazione è più complessa: per la forte dipendenza angolare della prestazione (con curve ad andamento variabile e irregolare in funzione dell'angolo d'incidenza) e tempi macchina elevati in fase di modellazione. Se alla geometria complessa si associano anche materiali con proprietà riflettenti, la valutazione del solo coefficiente di ombreggiamento (prassi consolidata) è necessaria ma non sufficiente. Il limite in questo caso è il reperimento delle proprietà ottico-radiative del materiale (ad eccezione di alcuni produttori di tessuti). Nelle schede tecniche standard le informazioni riguardano le proprietà meccaniche.

Rimangono ancora oggi inesplorate tutte quelle soluzioni che implicano un trattamento superficiale per implementazione della prestazione energetica delle protezioni solari o l'integrazione di *smart materials*.

### 1.1 Oggetto della ricerca

Analisi delle proprietà ottiche delle protezioni solari costituite da elementi a geometria complessa, analisi delle proprietà ottiche di pellicole trasparenti trattate e/o accoppiate a uno strato a comportamento selettivo e determinazione di nuovi modelli di funzionamento di schermature con integrazione parziale di smart materials.

## 1.2 Motivazione della ricerca

La determinazione della prestazione di un sistema di controllo solare costituito da un elemento tessile con trama fitta e impermeabile all'aria o debolmente permeabile (tenda a rullo) o da lamelle piane realizzate con materiale opaco o con vetro (variamente trattato) è relativamente semplice. Tale semplicità è legata prevalentemente alla conoscenza delle proprietà ottico-radiative, generalmente fornite dal produttore, del componente o dalla disponibilità di equazioni semplificate (messe a punto a partire da misure effettuate su tipi e prodotti standard). Sempre più spesso, però, ci si scontra con una realtà progettuale che è ben lontana dall'applicazione del prodotto standard in facciata.

La seguente ricerca permette di:

- determinare le proprietà ottico-radiative dei materiali a geometria complessa e/o variabile che costituiscono o potrebbero costituire le protezioni solari a oggi non disponibili;
- comprendere e definire, attraverso le attività di misura, la correlazione tra variazione della prestazione (trasmissione e riflettanza) e variabile geometrica in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare (nel caso di griglie, reti, maglie metalliche e geometrie bidirezionali o 3D); tale attività è da considerarsi come propedeutica alla scrittura di un codice di calcolo in grado di semplificare e ridurre le criticità (legati prevalentemente ai tempi macchina e alla semplificazione dei modelli) nella modellazione della prestazione dei sistemi di controllo solare;
- implementare le prestazioni dell'involucro edilizio affinché possa fungere non solo da elemento di controllo dei flussi termici, energetici e luminosi dall'esterno verso l'interno ma anche da elemento di mitigazione dell'effetto isola di calore e quale elemento di controllo delle condizioni di comfort in spazi aperti;
- delineare modelli di protezione solare alternativi a quelli in uso al fine di ridurre i carichi in facciata, ridurre i costi iniziali e i costi di manutenzione e/o sostituzione, ridurre la complessità tecnologica (parti meccaniche per la movimentazione), limitare il consumo energetico imputabile in parte alla attivazione e disattivazione dei sistemi. Questa tipologia di sistema permetterebbe una più agile integrazione negli interventi di recupero limitando le lavorazioni d'interfaccia (collegamenti elettrici) in facciata.

La definizione delle proprietà ottico-radiative delle superfici e la messa a punto di modelli di funzionamento ottimizzati delle protezioni solari consentiranno una più efficace integrazione dei sistemi involucro-impianto: l'incremento della prestazione energetica dell'involucro porta a una riduzione nell'uso degli impianti (di climatizzazione e d'illuminazione) e nello stesso tempo richiedono impianti più raffinati a comportamento adattivo (con funzionalità primaria di compensazione).

## 1.3 Descrizione delle attività

Oggetto della ricerca è lo studio di sistemi per il controllo della radiazione solare incidente su superfici d'involucro trasparente. Le attività prevedono:

- L'analisi dei principali prodotti in uso con finalità di protezione solare, l'individuazione delle variabili geometriche o materiche per macro classi e l'analisi qualitativa della variazione prestazionale;
- La selezione di "nuovi" prodotti per protezioni solari, la verifica della possibile integrazione (compatibilità tecnologica) del materiale/prodotto/componente nei sistemi di protezione solare e analisi delle proprietà ottico-radiative (trasmissione e riflettanza VIS-NIR) per l'implementazione delle informazioni tecniche relative;
- Lo studio e lo sviluppo di un sistema di protezione solare a comportamento adattivo (attivo e/o passivo) con integrazione parziale di *smart materials*.

Non sono oggetto della ricerca i trattamenti e i depositi superficiali su vetro. Sono stati, invece, indagati in forma preliminare, alcuni trattamenti e accoppiamenti superficiali compatibili con l'idea di sviluppo di protezioni solari leggere e trasparenti o traslucide a base polimerica (pellicole in ETFE).

Per i materiali innovativi (anche per trasferimento) caratterizzati da differenti geometrie e differente consistenza materica e per le pellicole, sono state indagate (attraverso attività di misura in laboratorio) le seguenti proprietà ottico-radiative:

- trasmissione luminosa;
- trasmissione solare.

Le campagne di misura sono state eseguite con due tipologie di strumenti: un primo tipo, spettrofotometro Lambda 950 Perkin-Elmer (analisi spettrale compresa fra 300 e 2500 nm), per effettuare una preselezione dei prodotti (verifica preliminare) o per caratterizzare le proprietà dei materiali a matrice continua e/o materiali caratterizzati da un comportamento diffuso e un secondo tipo, sfera integrata/apparato CATRAM (Analisi spettrale compresa fra 300 e 1700 nm), per caratterizzare materiali a geometria complessa o 3D o a prestazione bidirezionale.

Per quanto riguarda lo sviluppo di soluzioni di protezioni solari leggere a comportamento adattivo sono state investigate le possibilità di applicazione di *smart materials* (o materiali funzionalizzati) al variare del tipo di SM integrato al fine dello sviluppo di sistemi a ridotta complessità meccanica e oggettuale e del miglioramento al tempo stesso la precisione del controllo. A questa prima analisi è seguita la determinazione dei limiti di funzionamento al variare del tipo di attivazione (variazione di temperatura, variazione d'irraggiamento, variazione d'impulso elettrico).

#### 1.4 Gli obiettivi della ricerca

La finalità del programma di ricerca proposto è triplice: implementare il numero dei materiali caratterizzati dal punto di vista ottico-radiativo, identificare materiali alternativi (ma significativi per minore costo, minore peso, maggiore resistenza meccanica, durabilità, minori costi di manutenzione e sostituzione), provenienti da settori tecnologici affini o differenti da quelli del comparto edile per i sistemi di schermatura e controllo della radiazione solare e individuare soluzioni alternative di protezione solare caratterizzate da una riduzione/eliminazione delle componenti meccaniche per la movimentazione e da una attivazione di tipo passivo.

## 2 Implementazione delle prestazioni e nuovi prodotti per il controllo della radiazione solare

Le protezioni solari, al variare del contesto di riferimento (contesto climatico e contesto fisico-ambientale di riferimento, destinazione d'uso e modalità d'uso dell'organismo edilizio, modo d'integrazione dei sistemi involucro-impianti, modello di funzionamento dell'organismo edilizio – edificio massivo o edificio iperisolato), sono impiegate per:

- Controllare la radiazione solare nel campo del visibile per filtrare, ridurre o potenziare il livello d'illuminamento;
- Controllare la radiazione solare nel campo VIR-IR per ridurre o potenziare gli apporti solari gratuiti e/o per limitare carichi termici concentrati sulle superfici trasparenti con conseguente discomfort termico localizzato.

Unitamente al controllo degli apporti solari gratuiti e del flusso luminoso, le protezioni solari devono garantire anche:

- una buona permeabilità visiva verso l'esterno;
- la ventilazione naturale (per alcune destinazioni d'uso, quando attivate, possono impedire la ventilazione trasversale)
- una ridotta alterazione cromatica degli oggetti o una ridotta distorsione nella loro percezione;
- una limitata permeabilità visiva dall'esterno verso l'interno (privacy);
- condizioni di neutralità sensoria per gli utenti attraverso l'adattabilità e regolazione del sistema.

Le proprietà dei materiali e la geometria del sistema e delle parti che lo costituiscono, il posizionamento e la giacitura (ortogonale o parallela) rispetto al filo di facciata, incidono sulla prestazione offerta.

## 2.1 *Gli indicatori prestazionali dei sistemi schermanti/filtranti*

Al fine della determinazione del comportamento di una protezione solare è utile distinguere tra proprietà ottico-radiative del materiale costituente il componente e prestazione offerta dal sistema.

Le proprietà ottico-radiative del singolo elemento dipendono da:

- Il materiale costituente;
- il colore;
- la rugosità;
- il grado di permeabilità all'aria o il grado di trasparenza (in funzione del rapporto vuoto su pieno o trasparente su opaco);

La prestazione offerta dal sistema, strettamente connessa alla proprietà del materiale, varia in funzione:

- del tipo (sistema continuo come ad esempio le tende o le pellicole oppure discontinuo formato ad esempio da lamelle);
- della geometria (elemento piano, elemento sagomato piano, elemento sagomato con rilievi);
- del posizionamento (interno o esterno alla specchiatura avente funzione di barriera termica o interposto in intercapedine).

Al variare del tipo e dell'esigenza da soddisfare (controllo degli apporti luminosi, controllo degli apporti solari, controllo degli scambi termici tra specchiatura e protezione solare), varia la selezione dell'indicatore prestazionale. La prestazione del sistema di protezione solare dipende da:

- Trasmittanza luminosa ( $\tau_v$ );
- Riflettanza luminosa ( $\rho_v$ );
- Trasmittanza solare ( $\tau_e$ );
- Riflettanza solare ( $\tau_e$ );
- Coefficiente di ombreggiamento del sistema (nel caso di sistemi discontinui costituito da più elementi in sequenza);
- Emissività ( $\epsilon$ );
- Conducibilità ( $\lambda$ ).

L'emissività e la conducibilità sono parametri che non incidono sul controllo del flusso energetico e luminoso ma sul controllo del flusso termico. Questi indicatori non sono oggetto di studio, ma incidono sulla prestazione energetica dell'edificio.

## 2.2 *Tipologie di schermature solari a confronto*

Le protezioni solari possono essere raggruppate per macroclassi in funzione:

- del posizionamento e la giacitura (ortogonale o parallela) rispetto al filo di facciata;
- della consistenza materica (alluminio, polimero, legno, vetro, ceramica, ecc.);
- del grado di permeabilità all'aria (elemento continuo o discontinuo);
- della prestazione.

La complessità in fase progettuale è la definizione della prestazione. Tipi assimilabili per geometria possono fornire prestazioni differenti così come tipi diversi per materiale e per giacitura possono fornire prestazioni simili. Le tabelle qui di seguito riportate comparano in termini qualitativi le prestazioni del sistema protezione solare al variare del tipo.

La Tabella 1 organizza i tipi di protezioni solare in relazione a:

- il tipo (elemento continuo o discontinuo in funzione del grado di permeabilità all'aria);
- la movimentazione (scorrevole, orientabile rispetto asse verticale od orizzontale);
- il grado di regolazione (regolabile in continuo, on-off, sistema fisso).

La Tabella 2 correla il tipo con la consistenza materica e le proprietà del materiale costituente il sistema.

La Tabella 3, invece, definisce i vantaggi e gli svantaggi nell'applicazione dei sistemi e correla qualitativamente il tipo alla prestazione al variare:

- della posizione rispetto al filo facciata;
- del materiale e relative caratteristiche.

Posizione	Giacitura	Tipologia	Tipo Componente		Movimentazione						Regolazione		
			Continuo	Discontinuo	Scorrimento verticale	Scorrimento orizzontale	Rotazione asse verticale	Rotazione asse orizzontale	Rotazione elementi asse verticale	Rotazione elementi asse orizzontale	Fisso	Regolazione manuale / on-off	Regolabile in continuo
Posizione Interna	Parallela	Tenda a rullo	•		•							•	•
		Tenda a pannelli		•	•							•	
		Veneziana		•	•					•		•	
		Scuretto	•					•	•	•		•	
Posizione Esterna	Perpendicolare	Aggetto orizzontale	•			•		•			•		
	Parallela	Tenda a rullo	•		•							•	•
		Persiana a pacchetto		•	•					•		•	•
		Persiana avvolgibile	•		•							•	•
		Imposta	•			•	•					•	
		Imposta a lamelle		•		•	•			•		•	
		Veneziana		•						•		•	
		Frangisole impacchettabile		•	•					•		•	•
		Brise-soleil con elementi verticali		•						•		•	
		Brise-soleil con elementi orizzontali		•						•	•		
		Brise-soleil+PVcell		•						•	•		
		Pannelli opachi	•			•	•	•				•	
		Pannelli permeabili	•					•	•			•	
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale	•	•						•	•		
		Aggetto verticale	•	•							•		
		Sistema misto aggetto verticale+orizzontale	•	•									
		Aggetto orizzontale+PVcell	•	•									
	Parallela/obliqua	Tenda avvolgibile	•		•							•	•
		Aggetto+PVcell	•	•							•		
	Interposta in vetro	Parallela	Veneziana		•	•					•		•
Tenda a rullo			•		•							•	•
Elementi mirror o honeycomb			•	•							•		
Deposito superficiale			•								•		
Serigrafia			•								•		
Interposta doppia pelle	Parallela	Tenda a rullo	•		•							•	•
		Persiana a pacchetto		•					•			•	•
		Persiana avvolgibile		•	•							•	•
		Veneziana		•	•					•		•	•
		Frangisole impacchettabile		•	•					•		•	•
		Brise-soleil		•					•	•	•	•	
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale (pensiline)	•	•								•	
		Aggetto verticale (pensiline)	•	•								•	

Tabella 1 - Confronto schermature solari: morfologia e tipologie di movimento

Posizione	Giacitura	Tipologia	Materiale					Caratteristiche materiale										
			Metallico	Tessuto	Legno	Vetro	Polimeri		Elementi massivi			Riflettanza esterna	Riflettanza interna	Opaco o trasparente ad alta resistenza	Opaco o trasparente a bassa resistenza	Permeabilità luce +visiva (continuo trasparente)	Permeabilità alla luce e all'aria (discontinuo)	
							Lastra	Film	Ceramico / cotto	Lapideo	Calcestruzzo							
Posizione Interna	Parallela	Tenda a rullo		•				•					•					
		Tenda a pannelli		•				•					•					
		Veneziana	•		•		•						•					
		Scuretto	•		•		•						•					
Posizione Esterna	Perpendicolare	Aggetto orizzontale	•		•	•	•		•	•	•					•	•	
		Tenda a rullo		•									•	•	•			
	Parallela	Persiana a pacchetto	•		•		•						•	•	•	•	•	
		Persiana avvolgibile	•		•		•									•	•	
		Imposta	•		•		•									•	•	
		Imposta a lamelle	•		•		•											•
		Veneziana	•		•		•						•	•	•			
		Frangisole impacchettabile	•										•	•	•			•
		Brise-soleil con elementi verticali	•		•	•	•		•	•	•	•	•					•
		Brise-soleil con elementi orizzontali	•		•	•	•		•	•	•	•	•					•
		Brise-soleil+PVcell	•		•	•	•		•	•	•	•	•					
		Pannelli opachi	•				•						•	•				•
	Pannelli permeabili	•			•							•	•					
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale	•		•	•			•	•	•	•	•			•		
		Aggetto verticale	•		•	•			•	•	•	•	•					
		Sistema misto aggetto verticale+orizzontale	•		•	•			•	•	•	•	•					
Aggetto orizzontale+PVcell		•		•	•			•	•	•	•	•					•	
Parallela/ obliqua	Tenda avvolgibile		•				•											
	Aggetto+PVcell	•		•	•			•	•	•		•					•	
Interposta in vetro	Parallela	Veneziana	•				•						•	•	•			
		Tenda a rullo		•				•					•	•	•			
		Elementi mirror o honeycomb	•			•							•	•			•	
		Deposito superficiale	•					•				•		•				•
		Serigrafia						•					•	•				•
Interposta doppia pelle	Parallela	Tenda a rullo	•					•					•	•	•	•	•	
		Persiana a pacchetto	•		•		•						•	•	•	•	•	
		Persiana avvolgibile	•		•		•									•	•	
		Veneziana	•		•		•											
		Frangisole impacchettabile	•		•													•
		Brise-soleil	•		•	•												•
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale (pensiline)	•		•	•			•	•	•	•			•			
		Aggetto verticale (pensiline)	•		•	•			•	•	•	•						

Tabella 2 - Confronto schermature solari: materiali e loro caratteristiche.



Posizione	Giacitura	Tipologia	Prestazione sistema controllo solare						Pro/Contro sistema schermante									
			Per attenuare i transfer energetici o luminosi	Per trasformare radiazione in energia	Per ri-orientare la luce	Per isolare (resistenza aggiuntiva)	Per filtrare la sola luce	Per oscurare	Resistenza meccanica	Prestazione acustica	Standardizzazione	Impatto architettonico	Percezione dell'esterno	Interferenza con facciata	Costo unitario	Costo gestione	Costo manutenzione	Costo dovuto a decadimento prestazionale
Posizione Interna	Parallela	Tenda a rullo					●	▲	-	▲▲▲	▲	▲▲	-	▲	▲	▲	▲	
		Tenda a pannelli					●	▲	-	▲▲▲	▲	▲▲	-	▲	▲	▲	▲	
		Veneziana			●	●	●	●	▲▲	-	▲▲▲	▲	▲	-	▲	▲	▲	▲
		Scuretto				●		●	▲▲	-	▲▲▲	▲	▲	-	▲	▲	▲	▲
Posizione Esterna	Perpendicolare	Aggetto orizzontale				●	●	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲	▲	
		Parallela	Tenda a rullo	●			●	●	●	▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲
	Parallela	Persiana a pacchetto	●		●	●	●	●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Persiana avvolgibile				●		●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Imposta				●		●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Imposta a lamelle						●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Veneziana	●		●	●	●	●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Frangisole impacchettabile	●		●	●		●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲
		Brise-soleil con elementi verticali	●		●		●		▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲
		Brise-soleil con elementi orizzontali	●		●		●	●	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Brise-soleil+PVcell	●	●			●		▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Pannelli opachi				●		●	▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Pannelli permeabili	●				●		▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Perpendicolare	Aggetto orizzontale	●		●				▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
	Aggetto verticale		●		●				▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
	Sistema misto aggetto verticale+orizzontale		●		●				▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
	Aggetto orizzontale+PVcell		●	●					▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲
	Parallela/obliqua	Tenda avvolgibile	●				●		▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲
		Aggetto+PVcell	●	●					▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲
	Interposta in vetro	Parallela	Veneziana	●		●	●	●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲	▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
Tenda a rullo			●			●	●	●	▲	▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
Elementi mirror o honeycomb			●		●		●	●	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲	▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
Deposito superficiale			●			●			▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲	▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲
Serigrafia			●				●		▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲	▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲
Interposta doppia pelle	Parallela	Tenda a rullo	●				●	●	▲	▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	
		Persiana a pacchetto	●		●		●	●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Persiana avvolgibile	●		●		●	●	▲▲	▲▲		▲▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Veneziana	●		●		●	●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Frangisole impacchettabile	●		●		●	●	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲
		Brise-soleil	●		●		●		▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale (pensiline)	●		●				▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
		Aggetto verticale (pensiline)	●		●				▲▲▲	▲▲▲	▲	▲▲	▲▲▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲

Tabella 3 - Confronto schermature solari: materiali e loro caratteristiche.

### 2.3 La possibile implementazione prestazionale del sistema di protezione solare

L'involucro edilizio è il luogo della sperimentazione: nuovi materiali sempre più performanti per isolare, nuove geometrie e texture per le finiture, nuovi modelli di funzionamento. Alcuni termini caratterizzano le linee di sviluppo di nuove soluzioni tecniche: leggerezza, basso impatto ambientale, durabilità, alto contenuto tecnologico (depositi e trattamenti micro e nano) e ridotta complessità (rapida integrazione fisica e prestazionale, rapida sostituzione). Ma l'involucro edilizio assume oggi nuove funzioni come:

- mitigare il fenomeno isola di calore tipico degli agglomerati urbani;
- mitigare la dispersione degli inquinanti (involucro come metabolizzatore di inquinanti);
- mitigare il rumore (controllo e re-indirizzamento della propagazione del suono);
- controllare gli effetti di abbagliamento verso l'esterno (abbagliamento indiretto su edifici adiacenti o spazi aperti).

Le protezioni solari come parte integrante dell'involucro edilizio dovrebbero essere anch'esse soggette a implementazione prestazionale. Tale implementazione dovrebbe consentire il superamento di alcuni svantaggi del sistema schermante. I principali sono:

- l'incremento della temperatura superficiale (nel caso di soluzioni non permeabili all'aria); questo potrebbe portare a scambi termici secondari elevati tra schermatura e specchiatura;
- l'elevata riflettanza (in funzione del tipo e del materiale impiegato) che può ridirezionare la radiazione verso edifici adiacenti o spazi aperti con conseguente concentrazione;
- l'elevata rumorosità determinata dalle vibrazioni del sistema quando soggetto al carico del vento o in presenza di precipitazioni.

Alcune linee di sviluppo potrebbero riguardare la messa a punto di:

- sistemi di protezione solare con riflettanza, assorbanza ed emissività diversificate in faccia 1 (verso esterno) e 2 (verso intercapedine o specchiatura);
- sistemi costituiti da elementi continui o discontinui, opachi o traslucidi con integrazione di massa programmabile (PCM) con finalità del mantenimento della temperatura superficiale delle superfici schermanti prossima a quella dell'aria mediante cambiamento di fase per il controllo degli scambi termici superficiali (applicazione parziale – faccia 1 – oppure applicazione totale – faccia 1 e 2);
- sistemi costituiti da elementi opachi con rugosità controllata ossia dotati di trattamento superficiale con "rilievi" alla microscala (superficie tridimensionale nanostrutturata per la modifica dell'indice di rifrazione) in grado di re-indirizzare la radiazione (programmazione componente BRDF) al variare della geometria solare (applicazione faccia 1);
- sistemi di protezione solare opachi, trasparenti o traslucidi continui permeabili o meno all'aria con integrazione di serigrafie potenziate (deposito di ossidi per *cool materials* -applicazione faccia 1);
- sistemi di protezione solare costituiti da elementi opachi o trasparenti a spessore e peso ridotto con funzione di assorbitori acustici (applicazione faccia 1);
- sistemi di protezione solare opachi o traslucidi costituiti da elementi tessili o pellicole con depositi in grado di garantire un assorbimento selettivo della radiazione (applicazione faccia 1).

Agli indicatori standard per la definizione della prestazione delle protezioni solari si dovrebbero aggiungere i seguenti parametri:

- Controllo del calore latente ( $\lambda$ ) e sensibile;
- assorbimento acustico (coefficiente di assorbimento acustico -  $d$ );
- conduttività termica ( $\lambda$ ) (per materiali omogenei) e/o resistenza termica ( $R$ ) per elementi composti;
- emissività ( $\epsilon$ );
- potere selettivo ( $\tau_v/\tau_e$ );
- potere fotocatalitico (rispetto alla trasformazione delle sostanze inquinanti in residui innocui e/o all'antisporcamento da inquinamento).

Molteplici sono le possibili combinazioni e tali accorpamenti dipendono dallo scenario di riferimento (contesto climatico, orientamento dell'organismo edilizio, presenza di ombre portate a carico di edifici limitrofi, velocità e direzione del vento, ).

La trattazione successiva si focalizzerà sullo studio di nuovi materiali per protezioni solari aventi finalità di controllo degli apporti solari gratuiti e del flusso luminoso. Rimangono escluse da questo studio le valutazioni relative al controllo del flusso di calore.

## 2.4 Nuovi prodotti per le protezioni solari

Le protezioni solari sono generalmente costituite da elementi pieni opachi (alluminio, legno o ceramica), trasparenti (vetri o lastre in materiale polimero), semi-trasparenti (come ad esempio lamiere microforate) o traslucidi (tessuti) a sezione piana o sagomata che sono posizionati in corrispondenza del serramento (in imbotte o a filo facciata). Per alcune destinazioni d'uso caratterizzate dall'uso di facciate in metallo e vetro sempre più spesso si assiste alla proposizione da parte dei progettisti di soluzioni definite ad hoc per geometria e scelta di materiale. Lo scopo di questa sezione è di selezionare prodotti in uso ma non ancora caratterizzati per proprietà ottico-radiative, prodotti impiegati in altri settori rispetto a quello edili, ma per geometria e proprietà di possibile utilizzo nei sistemi di protezione solare, di indagare le potenzialità applicative di alcuni prodotti a base polimerica trasformandoli in materiali avanzati.

La selezione dei materiali/prodotti è stata operata in funzione delle seguenti caratteristiche:

- *Leggerezza* – un elemento leggero e ad alta resistenza meccanica (deformazione minima sotto l'azione del vento) porta una minore sollecitazione (minore carico) sulle sottostrutture di facciata; inoltre permette un'agile movimentazione in fase d'installazione e di manutenzione. Nell'ambito delle schermature mobili, un elemento leggero richiede meno energia per essere azionato e un dimensionamento più snello dei meccanismi di movimento.
- *Geometria complessa bi e tridimensionale* dell'elemento costituente il sistema – la dipendenza angolare del flusso luminoso ed energetico e la sua variabilità è demandata al materiale e al suo orientamento in fase di posa più che alla configurazione geometrica del sistema schermante. Si tratta generalmente di materiali a geometria tridimensionale.
- *Miniaturizzazione* – gli elementi altamente performanti, continui, leggeri e a spessore ridotto richiedono l'impiego di materiali a geometria programmata miniaturizzata e/o trattamenti superficiali strutturati (serigrafie e/o nanostrutture). Questo permette il trasferimento di caratteristiche morfologiche macroscopiche all'interno di trattamenti e spalmature a livello microscopico.
- *Diffusione della luce* – materiali diffondenti permettono di ottenere ambienti interni con livelli d'illuminamento omogenei e contribuiscono a ridurre i fenomeni di abbagliamento.
- *Trasparenza* - le caratteristiche ottiche dei materiali non devono alterare la percezione (distorsione forma e colore) dell'ambiente esterno.
- *Selettività* – il comportamento delle schermature non dipende solo dal coefficiente di ombreggiamento ma da indicatori prestazionali composti quali: il rapporto tra riflessione e trasmissione energetica, tra riflessione e trasmissione luminosa, tra trasmissione luminosa e trasmissione energetica (potere selettivo delle vetrazioni) e la variazione programmata della trasmissione energetica e luminosa. La determinazione d'indicatori composti permette di pesare il comportamento del sistema rispetto a più prestazioni ambientali ed energetiche come ad esempio il benessere termico e il benessere visivo e il controllo degli apporti solari gratuiti.
- *Adattabilità* a forme complesse: alcuni prodotti riescono ad adattarsi alle geometrie complesse di involucro (superfici a curvatura singola o doppia).

Le famiglie di prodotti all'interno delle quali sono stati selezionati i 25 campioni oggetto di studio sono le seguenti:

- reti e tele (metalliche o plastiche);
- tessuti;

- lamiere a geometria bidirezionale e/o tridimensionale (elementi stirati o forati);
- tessuti tecnici e tridimensionali;
- filtri;
- pellicole trasparenti.

### Reti e tele

Appartengono a questa macroclasse due tipologie distinte di prodotto: le reti e le tele metalliche e le reti plastiche.

#### Reti e tele metalliche

Derivano dall'intreccio di fili flessibili o da elementi lineari rigidi metallici (acciaio al carbonio, acciaio inox, alluminio, rame, ottone). La flessibilità della tela è determinata dallo spessore della trama e dalla rigidità dei vincoli che la legano con l'ordito.

La trasmittanza energetica e luminosa di questi materiali dipendono dalla dimensione dei fili e dalla percentuale di apertura della maglia. La riflettanza, invece, dipende dalla conformazione degli elementi di trama e ordito (soprattutto per le proprietà angolari), dal colore e dalla finitura superficiale del materiale.

Il settore di provenienza è quello dell'edilizia. Sono caratterizzate da un peso elevato ma da un'ottima resistenza meccanica.

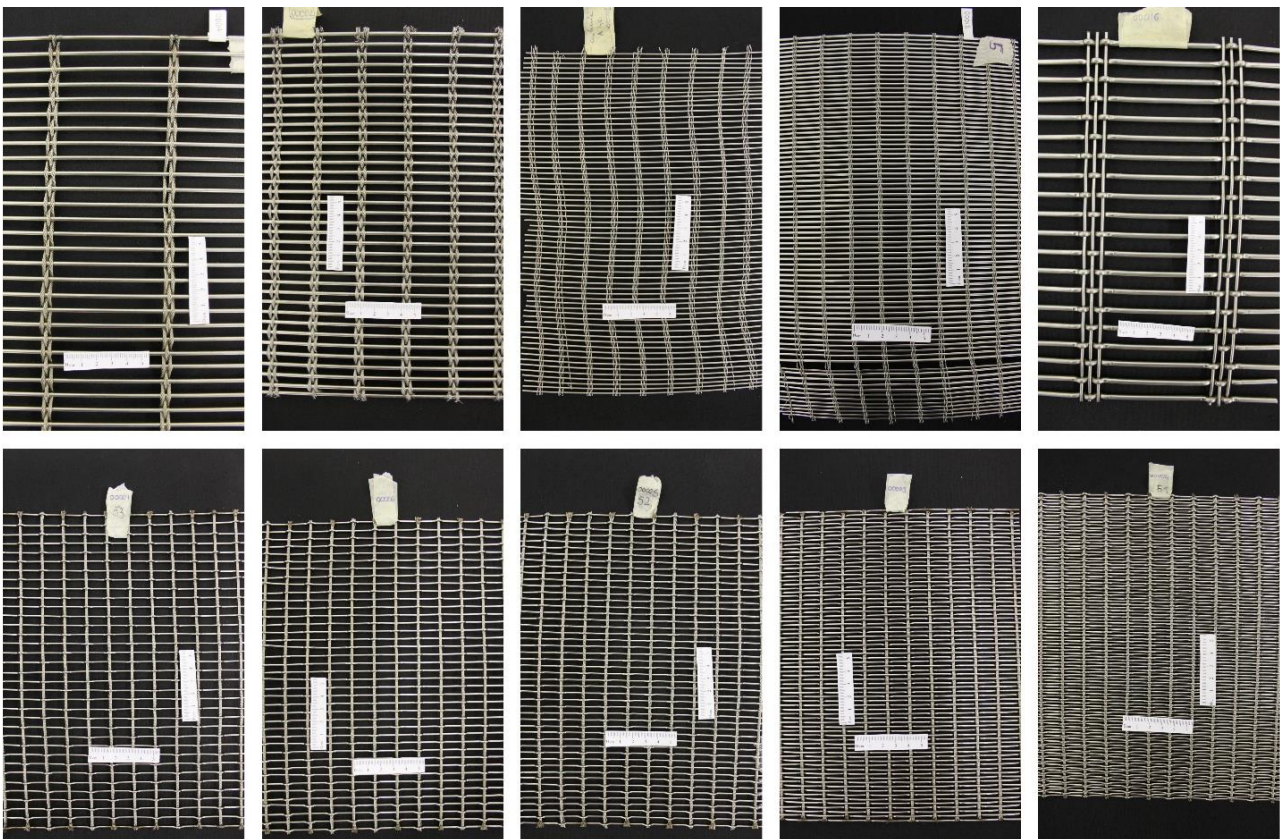


Fig. 8 – Campioni di tele metalliche con direzione prevalente.



**Fig. 9 – Campioni di tele metalliche senza direzione prevalente.**

### *Reti plastiche e strati drenanti*

Di derivazione edilizia con applicazione prevalentemente nascosta (strati drenanti, strati protettivi, strati filtranti, filtri), queste reti in polietilene ad alta densità hanno una conformazione geometrica peculiare, che conferisce loro una variabilità angolare delle proprietà di trasmittanza energetica e luminosa. La riflettanza è scarsa a causa dell'alta percentuale di apertura e del colore (spesso nero). Sono però materiali molto leggeri, resistenti e caratterizzati da una discreta flessibilità. Un eventuale e aggiuntivo trattamento superficiale può migliorare la prestazione ottica e radiativa.

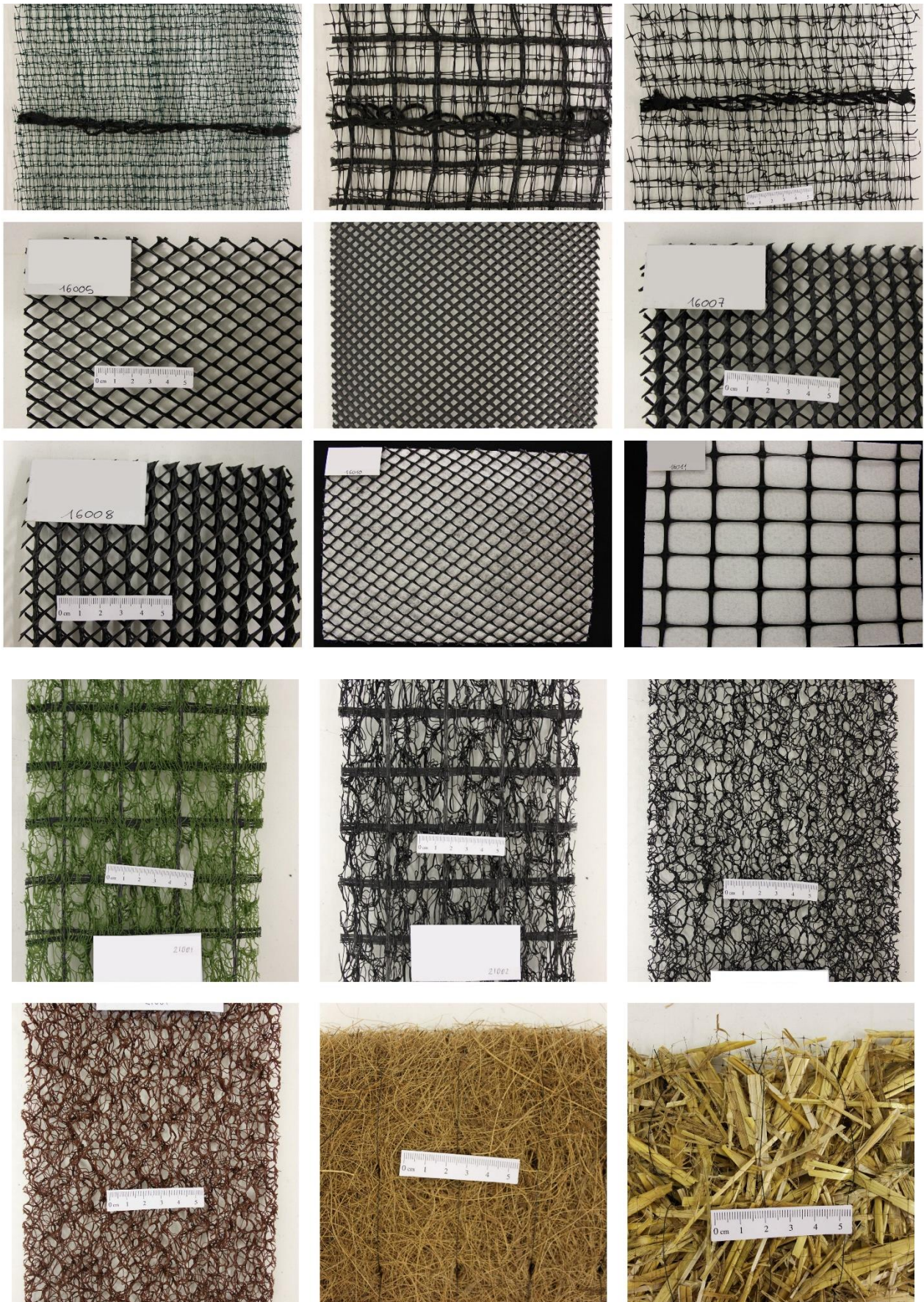


Fig. 10 – Campioni reti plastiche e strati drenanti sintetici e naturali

## Tessuti

I tessuti sono suddivisi in quattro macroclassi:

- a comportamento diffondente;
- coatizzati;
- spalmati.

### Tessuti diffondenti

I materiali appartenenti a questa macroclasse, ossia le membrane e i tessuti, sono già impiegati nel settore delle costruzioni. Le principali applicazioni riguardano le tensostrutture e/o i pannelli traslucidi diffondenti applicati in corrispondenza delle pareti perimetrali (schermatura solare interna o esterna) o come partizione interna (verticale e/o orizzontale) con funzione prevalentemente acustica (accoppiati con materiali fonoassorbenti).

Il loro grado di trasparenza dipende dall'orditura e dalla grammatura (che ha ricadute sullo spessore del filo). Sono caratterizzati da estrema leggerezza e flessibilità, ma ciò dipende prevalentemente dal loro spessore e dal tipo di orditura. In genere, se piegati, riportano segnature permanenti.

I tipi che rientrano in questa categoria diffondono la luce e sono caratterizzati da un differente trattamento in faccia 1 e in faccia 2. Per queste tipologie di prodotto è utile definire la prestazioni ottico-radiativa "fronte/retro" (F/B). Il lato di posa in opera incide sulla prestazione complessiva del sistema vetro + prestazione solare. Apparentemente questi tessuti sembrano simili per geometria e per trasparenza, ma non è così. A trasmittanza solare presenza delle variazioni significative anche a parità di geometria, grammatura e trama.

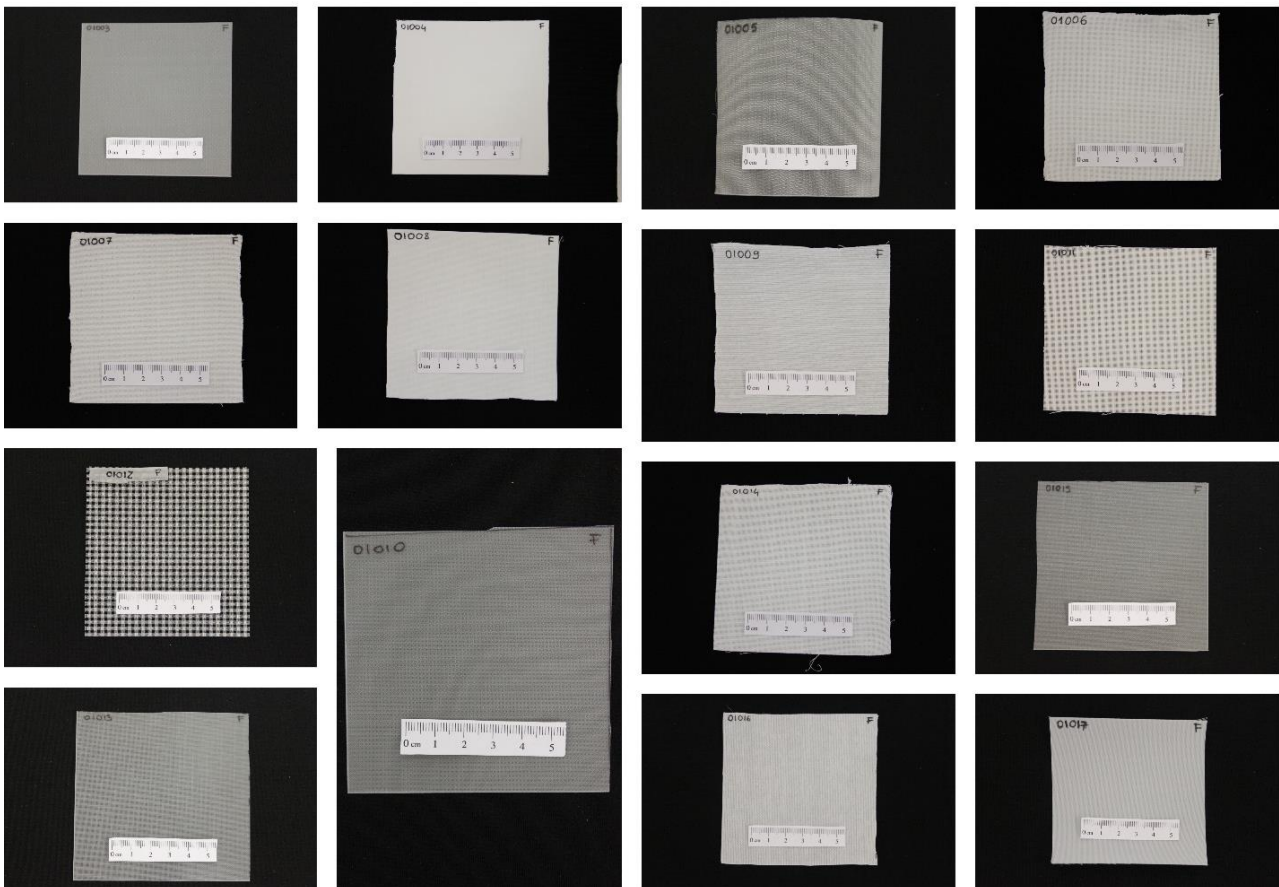


Fig. 11 – Campioni di tessuti diffondenti.

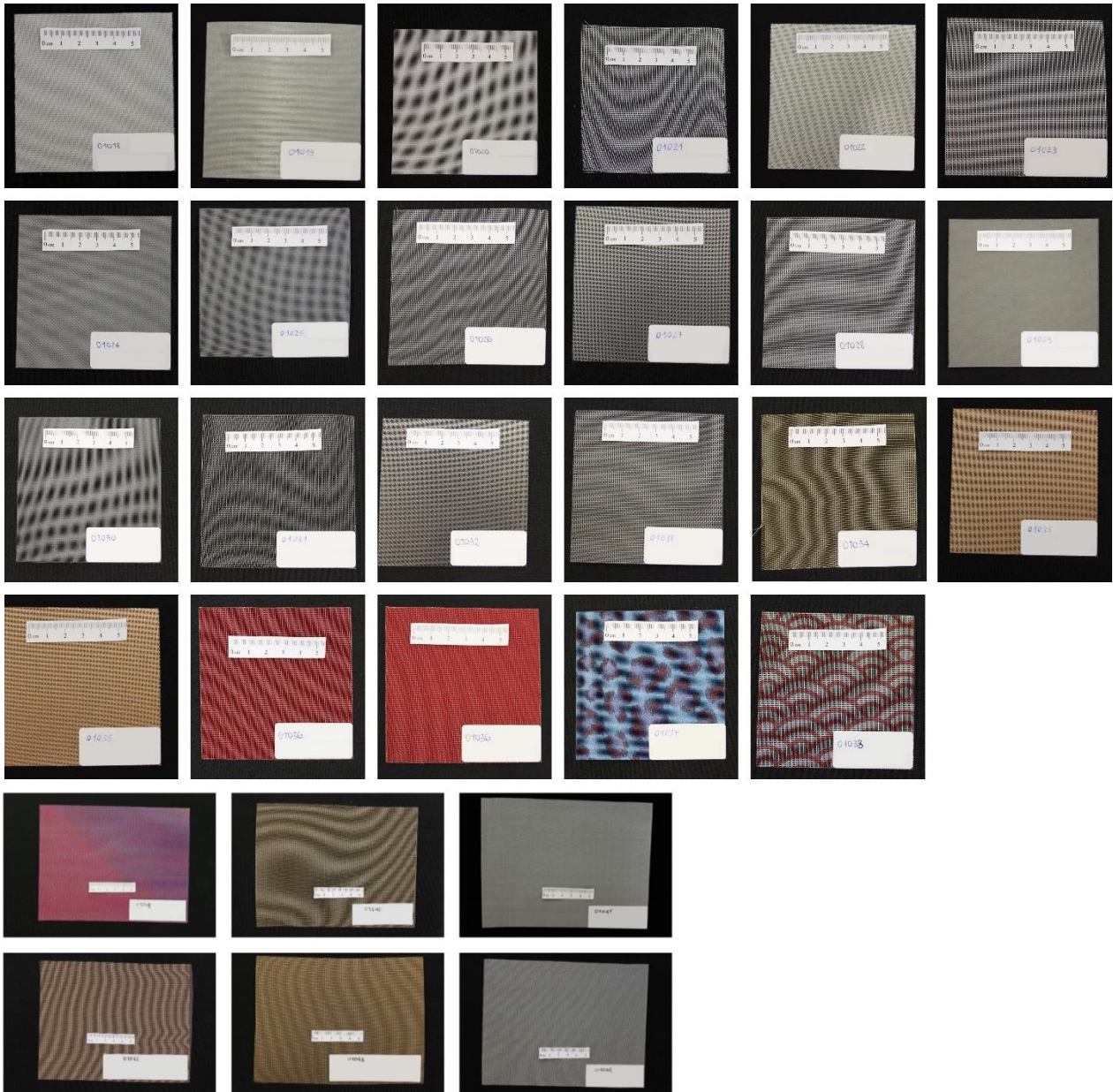
**Tessuti coatizzati**

Sono tessuti in PET con un deposito metallico su un lato che ne varia l'aspetto, e le proprietà di riflettanza spettrale. Sono caratterizzati da estrema leggerezza e flessibilità, e questo dipende prevalentemente dal loro spessore e dal tipo di orditura.

La trasmittanza spettrale dipende prevalentemente dalla percentuale di apertura del tessuto.

Sono impiegati in edilizia, nello specifico all'interno di vetri stratificati, interposti tra due strati di PVB.

In genere, se piegati, riportano segnature permanenti.



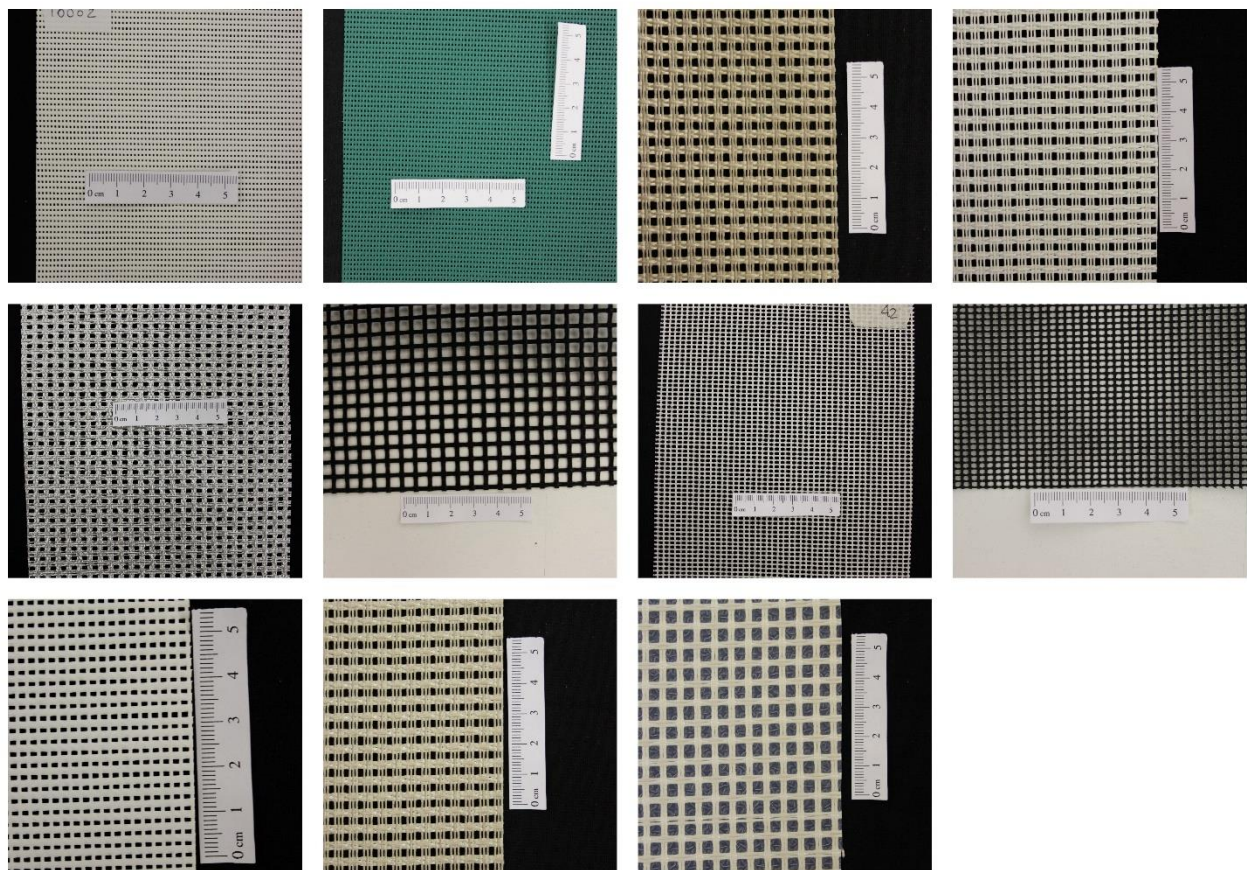
**Fig. 12 – Campioni di tessuti coatizzati con varie dimensioni di trama e tipologie di deposito metallico.**

**Tessuti spalmati**

Sono tessuti in fibra sintetica con spalmature di polimeri. Sono normalmente usati come tende tecniche. La riflettanza dipende dal colore e dalla finitura superficiale mentre la trasmittanza dipende dallo spessore e dalla percentuale di apertura, e dal colore. Sono flessibili e arrotolabili ma se piegati riportano segnature.

Generalmente sono caratterizzati per tipi e non di tutte le variabili sono disponibili i dati di riflettanza e trasmittanza.





**Fig. 13 – Campioni di tessuti spalmati con polimero**

***Lamiere a geometria bidirezionale e/o tridimensionale (elementi stirati o forati)***

L'impiego di questi elementi è molteplice: come partizioni orizzontali (piani di collegamento e/o ispezione), come elementi schermanti (aggetti orizzontali e/o verticali, seconde pelli di facciate in metallo e vetro, come elementi protettivi e di sicurezza, come elementi di finitura esterna (facciate ventilate). Le informazioni disponibili di questi prodotti sono generalmente di tipo meccanico o di semplice rapporto vuoto/pieno (coefficiente di ombreggiamento nei casi più fortunati). La riflettanza solare, che pure è un parametro fortemente caratterizzante il comportamento di questi elementi quando applicati sull'involucro edilizio come finitura (l'elevata riflettanza incide sull'incremento del fenomeno isola di calore e sul fenomeno dell'abbagliamento negli spazi aperti), è un dato non disponibile. Inoltre spesso si sottovaluta la bi-direzionalità della geometria sulla prestazione che può variare in funzione dell'orientamento in fase di posa in opera.

***Lamiere forate a geometria costante nelle due direzioni o bidirezionale***

Sono lamiere piane metalliche (acciaio o alluminio) che subiscono un processo di foratura (fori di diametro maggiore di 2 mm). Impiegate nell'ambito industriale ed architettonico, la riflettanza dipende prevalentemente dalla finitura superficiale mentre la trasmittanza dipende esclusivamente dalla percentuale di vuoto su pieno. Sono elementi generalmente pesanti e da considerarsi rigidi. A differenza delle lamiere microforate, l'osservatore ha comunemente la percezione della dimensione dei fori e non c'è quasi mai un comportamento a filtro diffondente. I fori possono essere tondi, quadri, oblungi, romboidali.

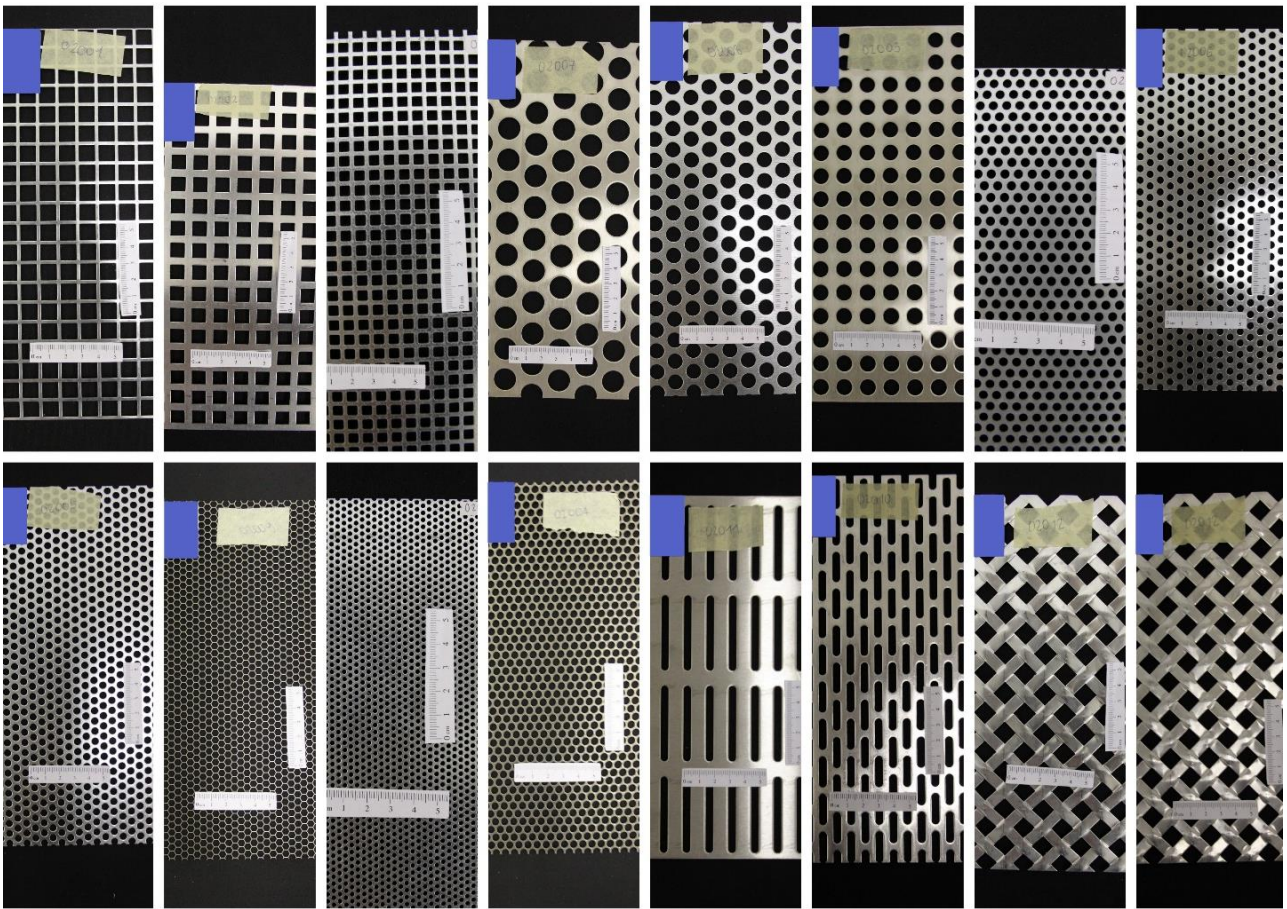


Fig. 14 – Campioni di lamiere forate con varie geometrie e dimensioni dei fori

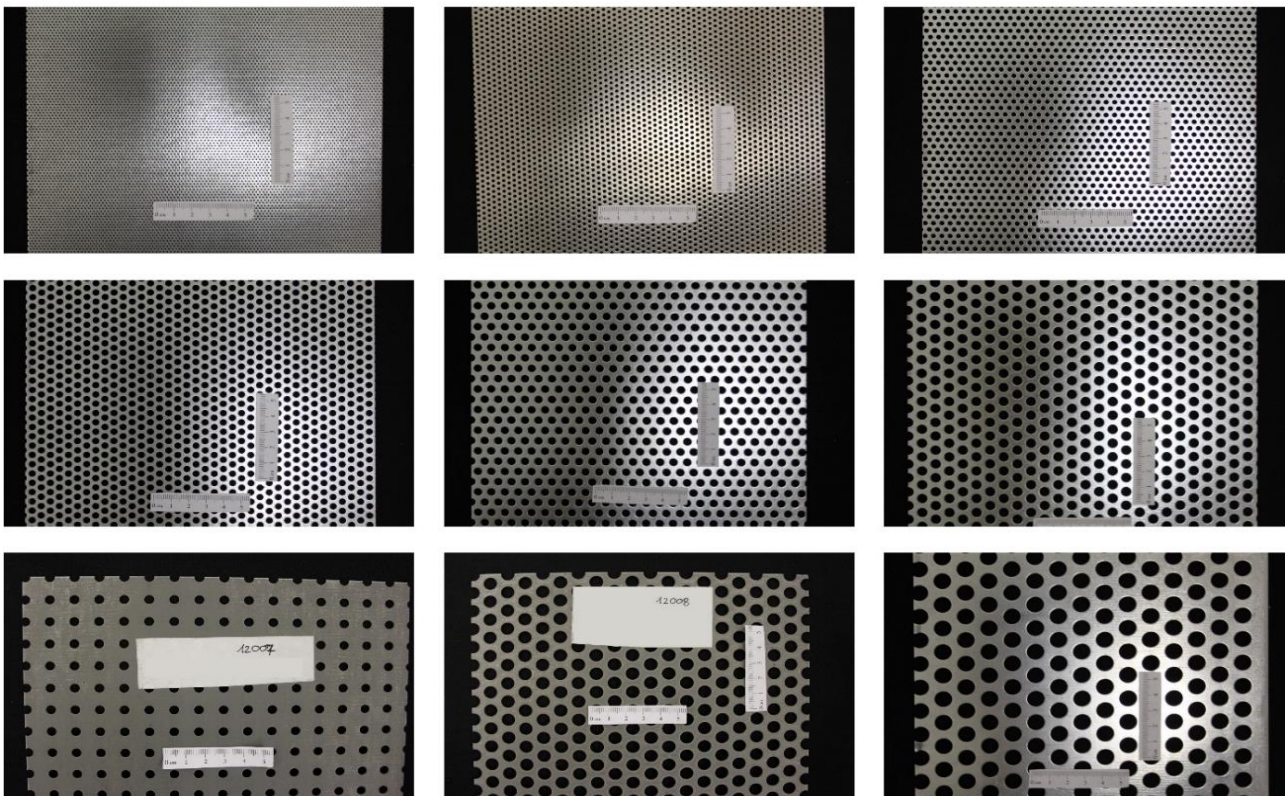
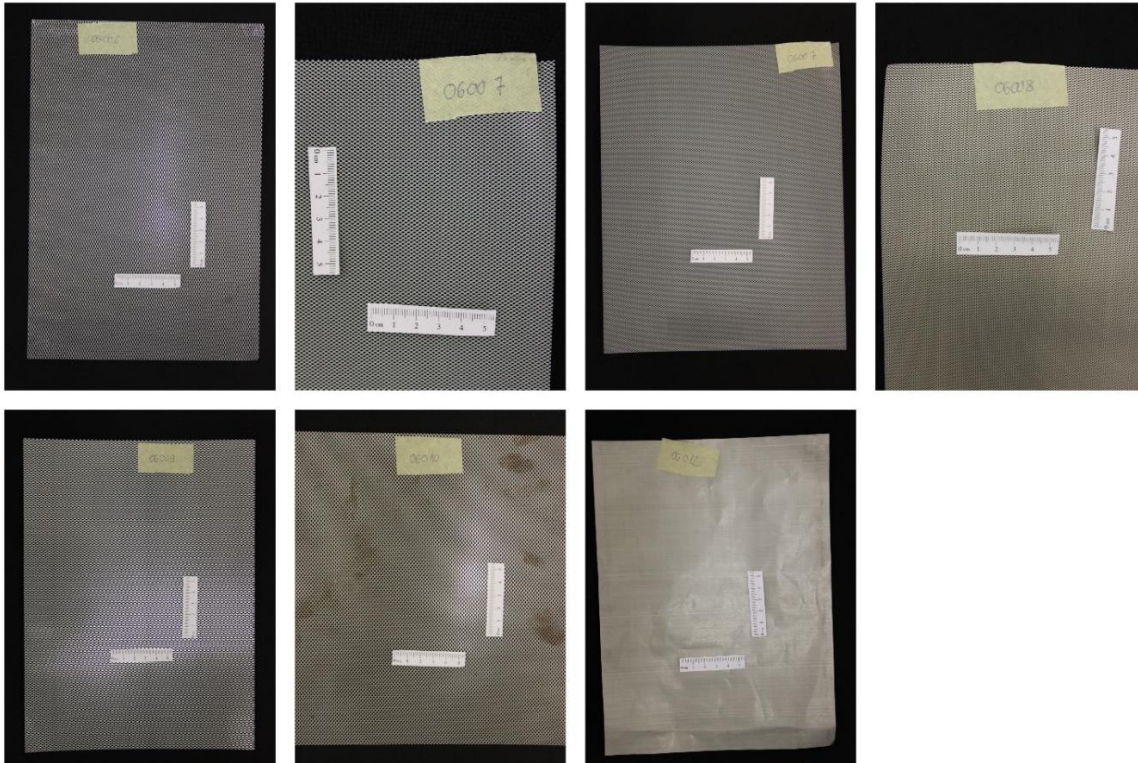


Fig. 15 – Campioni di lamiere forate con varie geometrie e dimensioni dei fori

### Lamiere microforate

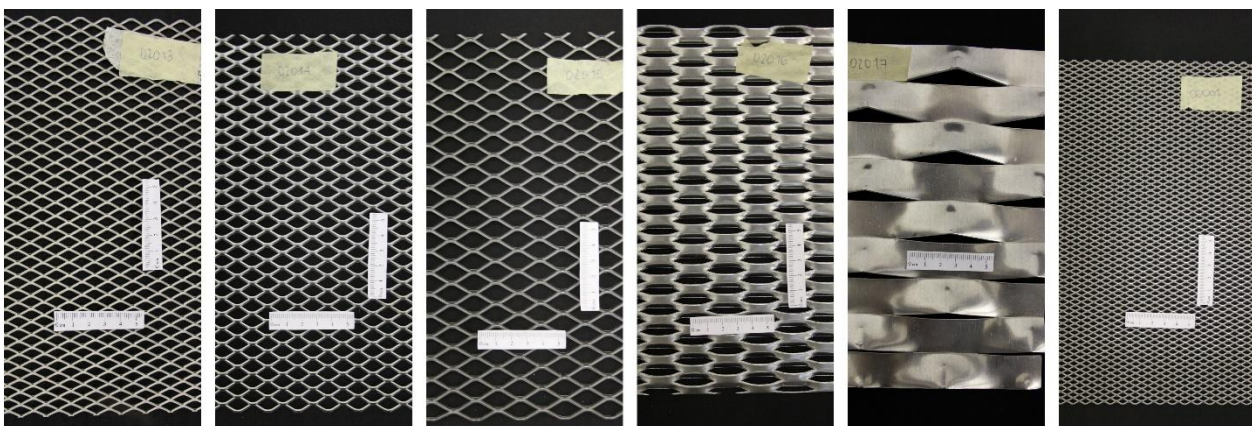
Sono lamiere piane metalliche (acciaio o alluminio) con fori più piccoli (diametro minore di 2 mm). La differenza rispetto alle lamiere forate è che l'osservatore non ha la percezione dei fori ma c'è un comportamento a filtro diffondente. Lo spessore si può ridurre a tal punto da renderle flessibili.



**Fig. 16 – Campioni di lamiere forate con varie geometrie e dimensioni dei fori.**

### Lamiere stirate a geometria tridimensionale

Sono lamiere metalliche piane (acciaio o alluminio) che hanno subito il processo di stiratura: si formano così dei fori orientati per deformazione del materiale. Ciò comporta una forte dipendenza angolare delle proprietà di trasmittanza e riflettanza spettrali. La riflettanza, come nei due casi precedenti, dipende anche dalla finitura superficiale del materiale. Sono in generale pesanti e non flessibili.



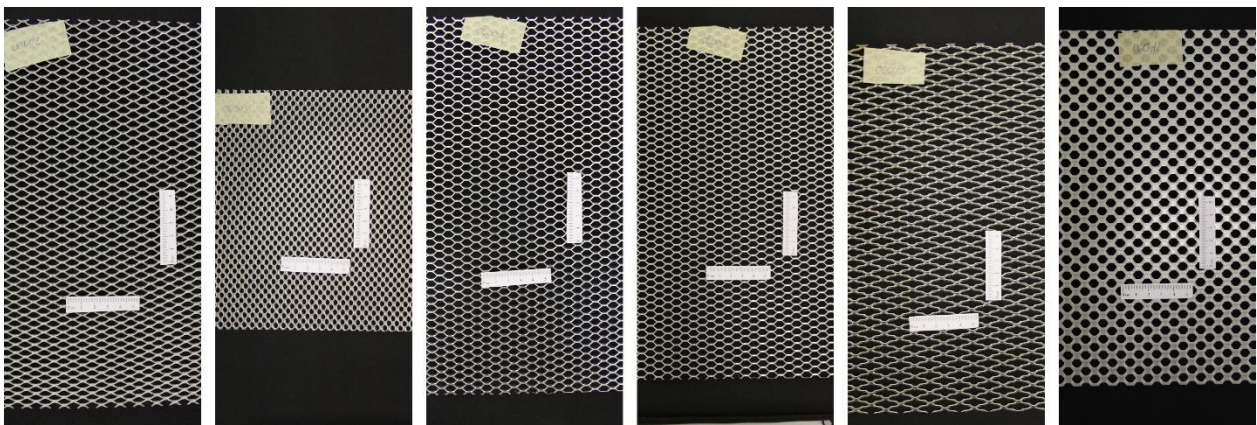


Fig. 17 – Campioni di lamiere stirate con varie geometrie e dimensioni dei fori

**Tessuti tecnici e tridimensionali**

Sono tessuti (in poliestere o poliammide) variabilmente resistenti a strappi e abrasioni, ciascuno caratterizzato da diverse proprietà peculiari.

E' possibile tessere trama e ordito in modo da definire geometrie tridimensionali. Queste tipologie di tessuto possono essere stabili in un'unica direzione (deformazione direzionale) o in entrambe le direzioni di tessitura.

Le proprietà ottico-radiative (trasmissione e riflettanza) dipendono dall'angolo d'incidenza della radiazione, dall'orientamento di posa, dal colore e dalla percentuale di apertura del tessuto, nonché dallo spessore. La riflettanza dipende principalmente dal colore.

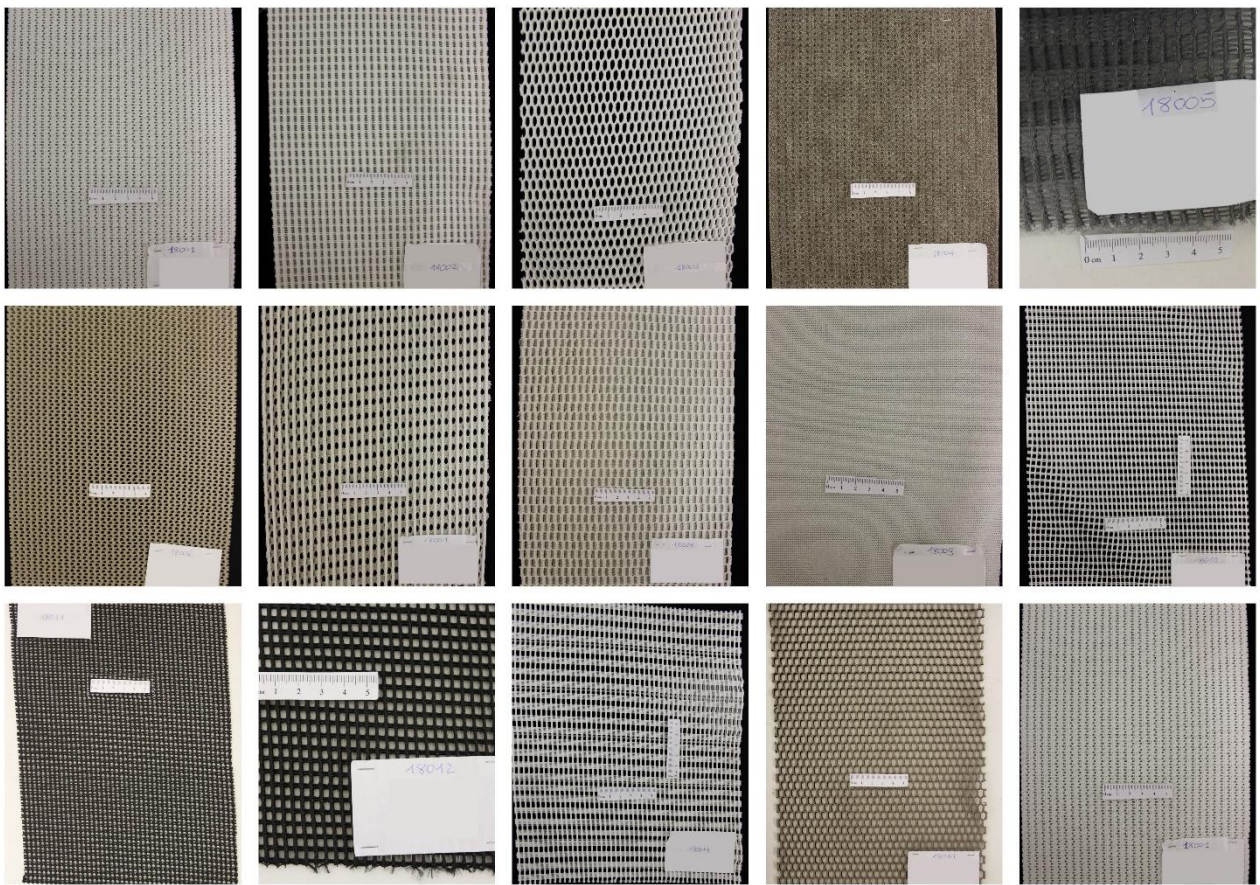
Sono generalmente impiegati nei settori della moda e dell'arredamento, e per questo caratterizzati da una pressoché nulla resistenza al fuoco. Sono flessibili e di solito non soggetti a segnatura quando piegati





**Fig. 18 – Campioni di tessuti tecnici**





**Fig. 19 – Campioni di tessuti tridimensionali**

**Filtri**

Appartengono a questa categoria le maglie metalliche e le maglie plissettate (elementi tridimensionali). Le maglie metalliche sono costituite da elementi rigidi chiusi (anelli, scaglie, ecc.) metallici, connessi tra di loro a formare maglie molto flessibili che si adattano alle superfici (anche a quelle a doppia curvatura) senza presentare sforzi e deformazioni inattesi. Sono caratterizzati da una ampia variazione geometrica. La trasmittanza dipende dall'apertura e la riflettanza dipende dalla geometria e dalla finitura superficiale. Gli elementi plissettati sono tele metalliche piegate ripetutamente che hanno una conformazione a fisarmonica. Il materiale mantiene una certa deformabilità e le proprietà angolari di riflettanza e trasmittanza sono variabili. Sono materiali impiegati nell'industria e nell'edilizia.



**Fig. 20 – Campioni di maglie metalliche e plissettate**

### ***Pellicole trasparenti***

Appartengono a questa categoria tutte le pellicole a base polimerica caratterizzate da elevate proprietà ottiche. La trasmittanza visibile è generalmente maggiore a 0.8 e non vi è alcun filtro rispetto alla banda UV. L'aggiunta di trattamenti superficiali e/o trattamenti di serigrafia rendono questo elemento selettivo. Lo studio si è concentrato su pellicole realizzate con un fluoropolimero termoplastico (ETFE - Etilene tetrafluoroetilene copolimero) caratterizzate da resistenza alla corrosione e agli agenti chimici e pertanto collocabili in spazio aperto, riciclabilità. Questo prodotto è un competitor del vetro per la sua leggerezza (1% del peso del vetro) quando impiegato su più strati con interposto un layer di aria. Rispetto al vetro è possibile raggiungere grandi estensioni superficiali con sezioni ridotte della struttura portante.

### ***2.5 Le proprietà ottico-radiative di reti, maglie, tessuti e lamiera***

I campioni di prodotto analizzati sono 25. La scelta è stata operata valutando la rappresentatività del tipo rispetto alla macroclasse di riferimento definite nel paragrafo precedente. I risultati in dettaglio dell'attività di misura e i possibili campi applicativi con l'individuazione dei limiti di utilizzo dei prodotti selezionati sono riportate nell'Allegato A - Archivio delle proprietà ottico-radiative di prodotti innovativi (cfr. Cap 0, pag. 110 ).

In questo paragrafo si procede al confronto per prestazione dei differenti tipi al fine di definire il comportamento caratterizzante di alcuni prodotti. Molto spesso il sistema di protezione solare viene scelto per morfologia (forma) e l'aspetto e solo successivamente viene valutata la prestazione del sistema posto in opera. L'intento di questo studio è quello di determinare delle macroclassi per prestazione anche quando i sistemi presentano caratteristiche differenti. Sistemi a geometria complessa e tridimensionale possono

essere affini a sistemi tessili così come sistemi tessili a geometria assimilabile possono avere comportamenti differenti.

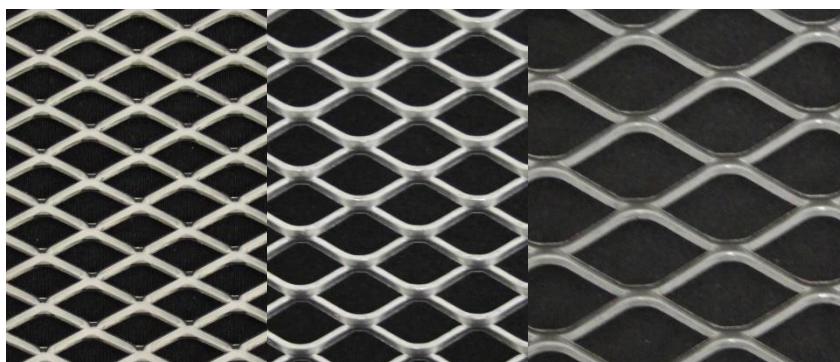
Un primo gruppo di valutazioni e di comparazioni prestazionali dei tipi (trasmissione e riflettanza solare; trasmissione e riflettanza visibile) è stato portato a termine da un’ analogia geometrica dei prodotti. Un’ulteriore indagine ha permesso di determinare l’alterazione percettiva e la variazione cromatica indotta dall’applicazione delle protezioni solari rispetto un campione di riferimento rappresentato da una vetratura unita al perimetro. Alcuni campioni portano a un’alterazione del colore, altri a un’alterazione nella percezione degli oggetti, altri ancora modificano minimamente la visione dell’esterno. In ultima istanza i campioni sono stati suddivisi in funzione della loro applicabilità rispetto al sistema di facciata. Da un punto di vista ottico il comportamento non varia. Cosa differente è se il posizionamento è valutato rispetto alla prestazione energetica dell’edificio.

### 2.5.1 Raggruppamenti per analogia geometrica

La geometria, ossia il rapporto tra pieni e vuoti, il tipo di trama, il passo degli elementi, il rilievo differenziato in spessore o la sovrapposizione di alcuni elementi, incide sul comportamento del materiale che può essere in parte diffondente. L’accorpamento dei prodotti per analogia geometrica ha richiesto strumenti e procedure di misura differenti.

Nel caso di geometria complessa, bi-direzionale e/o 3D caratterizzate da elevata discontinuità le misure sono state eseguite con una sfera integrata/apparato CATRAM (analisi spettrale compresa fra 300 e 1700 nm). In questi casi si riscontra una forte dipendenza angolare della prestazione anche al variare dell’orientamento (orizzontale o verticale). In questo caso le valutazioni comparative sono effettuate dall’analisi delle trasmissioni solari e luminose angolari. Nel caso, invece, di prodotti a matrice continua e/o caratterizzati da un comportamento diffuso è stato impiegato uno spettrofotometro Lambda 950 Perkin-Elmer (analisi spettrale compresa fra 300 e 2500 nm). Le valutazioni comparative vengono effettuate valutando il comportamento del campione rispetto UV-Vis-NIR. Di seguito sono riportati i 25 campioni selezionati per l’analisi e il tipo di accorpamento (dallo studio si escludono qui le proprietà materiche):

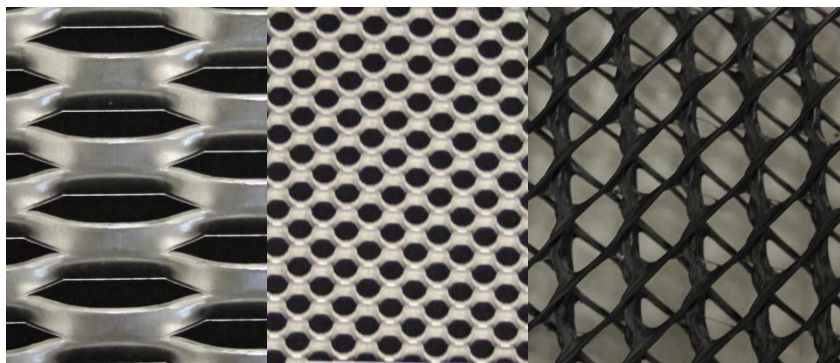
- reti a base polimerica e lamiera stirate a geometria complessa 3D.



02013 – Lamiera stirata a rombo

02014 – Lamiera stirata a rombo

02015 – Lamiera stirata a rombo



02016 – Lamiera stirata esagonale

06003 – Lamiera stirata a maglia tonda

16007 – Rete in HDPE a tripla maglia incrociata



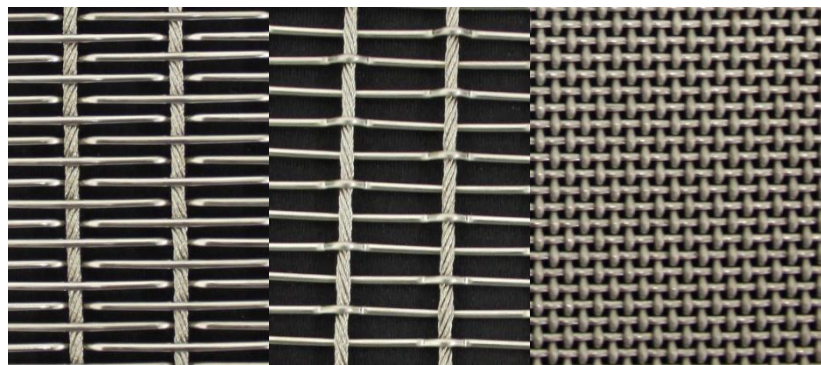
- lamiere forate a geometria mono e bi-direzionale



02010 – Lamiera in alluminio forata con foro oblungo

12001 – Lamiera microforata con foro tondo

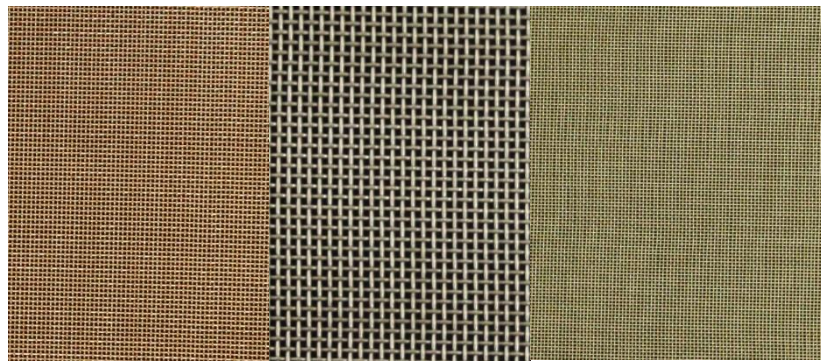
- tele metalliche



00003 – Tela metallica in acciaio inox

00005 – Tela metallica in acciaio inox

00009 – Tela metallica in acciaio inox

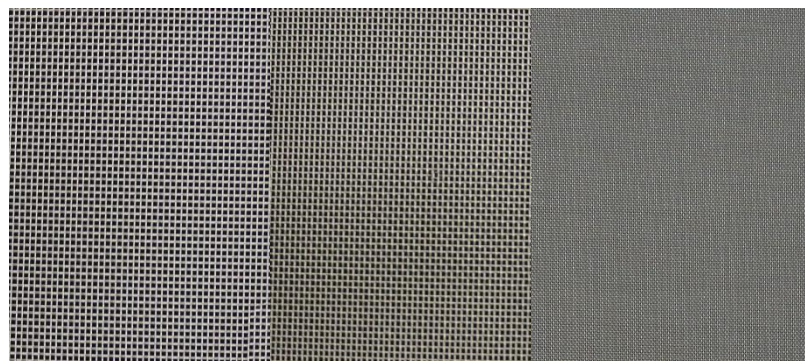


00010 – Tela metallica in rame

00011 – Tela metallica in acciaio inox

12 – Tela metallica in ottone

- tessuti bidimensionali



01028 – Tessuto in PET nero con coating in Cr

01033 – Tessuto in PET nero con coating in Ti

01044 – Tessuto in PET nero con coating in Cr



14006 – Tessuto a navetta in PA idrorepellente

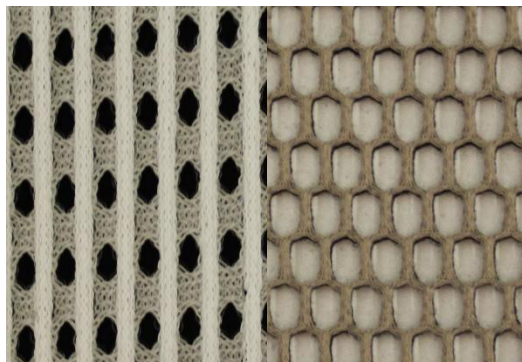
- tessuti tridimensionali



01012 – Tessuto in PVDF a maglia larga

14012 – Tessuto in PL tridimensionale indemagiabile

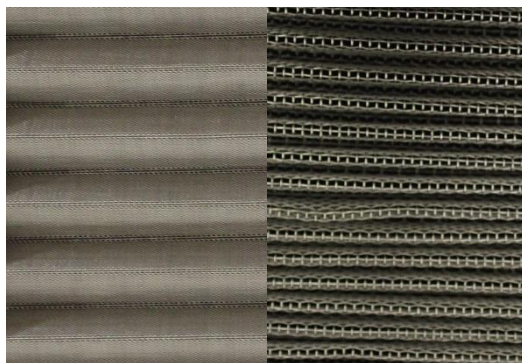
17008 – Tessuto in PES tridimensionale spesso



18007 – Tessuto in PET tridimensionale

18014 – Tessuto in PET tridimensionale

- filtri metallici tridimensionali



15005 – Filtro metallico plissettato a maglia fine

15006 – Filtro metallico plissettato a maglia larga

### 2.5.2 Raggruppamenti per proprietà cromatiche

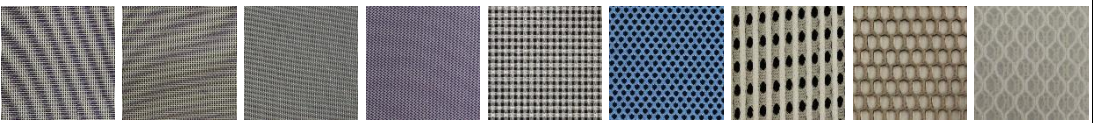

La valutazione dell'alterazione cromatica è stata eseguita accoppiando l'elemento di protezione solare con una vetratura unita al perimetro (4+12+4 con argon in intercapedine) costituita da lastre extra chiare di cui una avente un trattamento basso-emissivo (faccia 3) e una  $\tau_v$  pari a 0.789.

I parametri analizzati sono la trasmittanza visibile ( $\tau_v$ ) e le componenti RGB. Sono stati esclusi da questo tipo di analisi tutti i campioni caratterizzati da un open factor elevato.

### 2.5.3 Raggruppamenti per posizionamento rispetto al filo facciata

I 25 campioni possono essere valutati anche in funzione di altre proprietà rispetto a quelle ottico-radiative<sup>1</sup>. Le proprietà meccaniche, di durabilità e di resistenza al fuoco incidono sulla scelta del posizionamento. Questa significa che di alcuni prodotti la proprietà caratterizzante è quella ottica, mentre per altri la valutazione deve essere compiuta pesando differenti indicatori prestazionali (trasmittanza/riflettanza solare; trasmittanza/riflettanza visibile; conducibilità termica; resistenza a trazione; resistenza allo strappo; resistenza e reazione al fuoco; permeabilità all'aria; permeabilità al vapore; pulibilità e manutenibilità).

La tabella definisce i limiti applicativi e i parametri connotanti il comportamento del prodotto messo a sistema.

POSIZIONE	
<p><b>INTERNO</b></p>	 <p>I tessuti in PVDF, in PL, in PES, PET o PET con coating subiscono un'alterazione del colore, hanno una bassa resistenza allo strappo e durabilità, sono soggetti a sporcamento, ma sono anche facilmente manutenibili.</p> <p><i>Prestazione ottico-radiativa:</i> <math>\tau_v</math>, <math>\alpha_{sol}</math> (variabili in funzione di <i>openess factor</i>, geometria vuoti, geometria elemento –piana o tridimensionale- e grammatura del filo/tessuto, materiale e colore).</p> <p><i>Altre prestazioni connotanti:</i> reazione al fuoco (infiammabilità, gocciolamento, produzione di fumo, produzione di sostanze nocive), resistenza agli agenti chimici, resistenza all'acqua, resistenza allo strappo.</p>
<p><b>ESTERNO</b></p>	 <p>Appartengono a questa categoria le maglie, le reti, le lamiere in alluminio, in acciaio. Si tratta di elementi rigidi o irrigiditi mediante uso di telai e/o elementi tensionanti. Per proprietà intrinseche o per tipologia di posa in opera questi elementi hanno un'elevata resistenza meccanica e chimica, durano nel tempo e hanno un buon comportamento al fuoco.</p> <p><i>Prestazione ottico-radiativa:</i> <math>\tau_v</math>, <math>\alpha_v</math>, <math>p_{vis}</math> (front/back in funzione della geometria); <math>\tau_e</math>, <math>\alpha_e</math>, <math>\rho_e</math> (front/back in funzione della geometria) (variabili prevalentemente in funzione di <i>openess factor</i>, geometria vuoti, geometria elemento –piana o tridimensionale).</p> <p><i>Prestazione termica:</i> emissività (<math>\epsilon</math>), conducibilità termica (<math>\lambda</math>), calore latente, calore sensibile, permeabilità aria;</p> <p><i>Altre prestazioni connotanti:</i> reazione al fuoco (infiammabilità, gocciolamento, produzione di fumo, produzione di sostanze nocive), resistenza agli agenti chimici, resistenza all'acqua, resistenza allo strappo, resistenza a trazione/compressione, resistenza al vento, resistenza UV, resistenza sporcamento.</p>

<sup>1</sup> Le valutazioni rispetto al comportamento termico o energetico (fattore solare) del componente messo a sistema rispetto alla vetratura non sono oggetto di questa trattazione. La tabella ha lo scopo di determinare il tipo di applicazione e la correlazione tra requisiti prestazionali energetici e requisiti prestazionali tecnologici.

<b>INTERPOSTO</b>	
	<p>Appartengono a questa categoria le maglie, le reti, le lamiere in alluminio, in acciaio, in HDPE, in rame, ottone. Si tratta di elementi rigidi o irrigiditi mediante uso di telai e/o elementi tensionanti, semi-rigidi e/o flessibili con buona resistenza UV.</p>
	<p><i>Prestazione ottico-radiativa:</i> <math>\tau_v</math>, <math>\alpha_v</math>, <math>\rho_v</math> (front/back in funzione della geometria); <math>\tau_e</math>, <math>\alpha_e</math>, <math>\rho_e</math> (front/back in funzione della geometria) (variabili prevalentemente in funzione di <i>openess factor</i>, geometria vuoti, geometria elemento –piana o tridimensionale).</p> <p><i>Prestazione termica:</i> emissività (<math>\epsilon</math>), conducibilità termica (<math>\lambda</math>);</p> <p><i>Altre prestazioni connotanti:</i> reazione al fuoco (infiammabilità, gocciolamento, produzione di fumo, produzione di sostanze nocive), resistenza allo strappo, resistenza a trazione/compressione, resistenza UV, permeabilità al vapore (in funzione del posizionamento).</p>

**Tabella 4 – Raggruppamento dei 25 campioni in funzione del posizionamento rispetto al filo di facciata e indicatori prestazionali connotanti.**

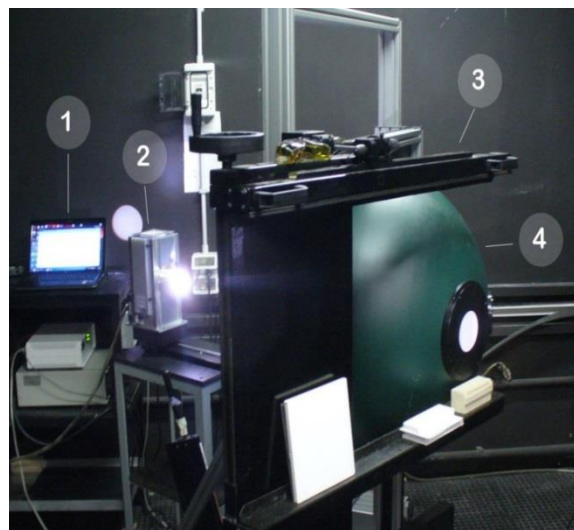
## 2.6 Descrizione dell’assetto sperimentale

La determinazione delle proprietà di trasmissione, riflessione e assorbimento dei diversi materiali in analisi sono state determinate attraverso due differenti strumentazioni: lo spettrofotometro e la sfera di Ulbricht (o sfera integratrice). La principale differenza tra le due strumentazioni consta nel fascio luminoso generato attraverso il quale vengono effettuate le misurazioni. Lo spettrofotometro produce un fascio di circa 1,2x0,5 cm (alla porta di trasmissione) ed è quindi ideale nella misura di campioni discontinui aventi una matrice fitta (tessuti o maglie) o campioni continui (pellicole). La sfera di Ulbricht può avere un fascio pari a 10x10 cm. Questo strumento permette una valutazione angolare di campioni caratterizzati da geometrie complesse e discontinui.

### 2.6.1 La sfera di Ulbricht

La sfera di Ulbricht (o sfera integratrice) è un apparato sperimentale di misurazione composto da: una sfera, una lampada, dei sensori che registrano la misurazione e dei supporti che permettono la regolazione e le differenti misure.

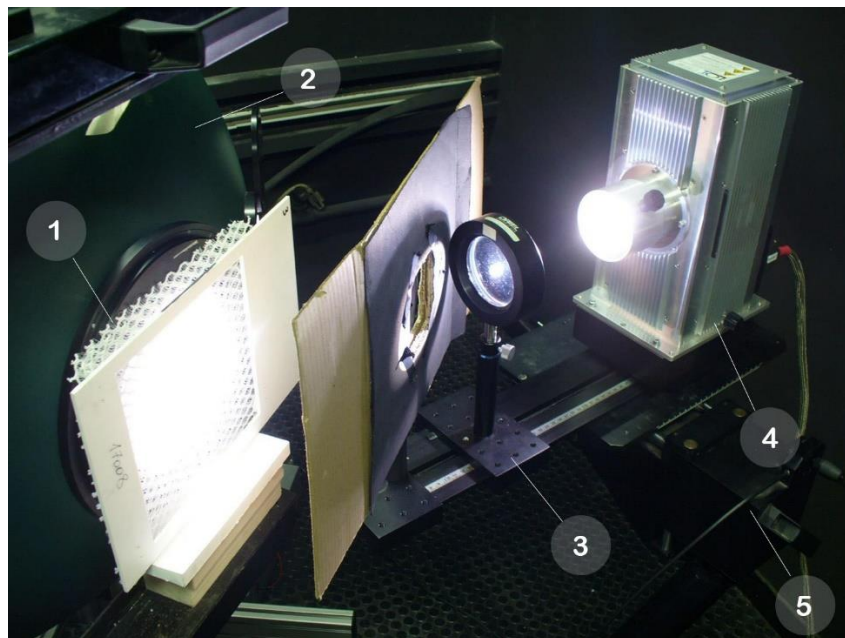
La sfera integratrice ha diametro 75 cm ed è costituita da un guscio esterno di alluminio rivestito al suo interno da un materiale molto riflettente (Spectralon®) caratterizzato da una riflettanza superiore al 90% nel range 400-1500 nm, in grado di riflettere la luce entrante in modo molto omogeneo. Sulla superficie della sfera vi sono delle aperture che permettono le diverse configurazioni di misurazione (in trasmissione, in riflessione e le relative *substitution error*). Alla sua base è collocato un sensore che trasmette il segnale captato a un array di tre spettrometri: il primo riceve lunghezze d’onda da 250 a 1000 nm (NMOS), il secondo da 900 a 1700 nm (InGaAs), il terzo da 1600 a 2500 nm (ExtInGaAs). [20] [21] [22]



**Fig. 21 - Apparato di misurazione in configurazione di misurazione della riflettanza: 1) computer, 2) lampada, 3) supporto campione, 4) sfera integratrice.**

La lampada utilizzata è una lampada al tungsteno con una potenza 300 W (xenon-ozon free), che genera una radiazione luminosa con comportamento simile a quello del sole. Tale lampada è posta in corrispondenza delle diverse aperture, attraverso relativi supporti, secondo le misure che si desidera effettuare: per misure di trasmittanza è posta in corrispondenza dell’apertura frontale (con la possibilità di

effettuare anche misure angolari attraverso un goniometro integrato nel sistema rotante); per misure di riflettanza è posta in corrispondenza dell'apertura posteriore (non vi è la possibilità di effettuare misure con angolo d'incidenza variabile); per le *substitution error* la porta di riferimento è quella laterale. Il fascio generato dalla lampada viene poi collimato attraverso un diaframma che permette di variare il diametro del fascio luminoso in un *range* compreso tra 4 cm e 10 cm.



**Fig. 22 - Apparato di misurazione in configurazione di misurazione della trasmittanza: 1) campione, 2) sfera integratrice, 3) diaframma, 4) lampada, 5) Supporto orientabile.**

Il campione interessato dalla misura è collocato in corrispondenza della porta frontale. L'utilizzo di un sostegno permette la perfetta adiacenza tra campione e sfera cosicché la misura sia precisa e non vi sia dispersione laterale.

L'utilizzo di tale apparato è regolamentato dalla norma UNI 14500. Tale norma infatti sancisce i procedimenti da seguire al fine di ottenere le curve in trasmissione, riflessione e assorbimento lungo lo spettro d'analisi. La procedura seguita per la misurazione prevede i seguenti passaggi:

- il campione da misurare è collocato in corrispondenza dell'apertura frontale della sfera avente una porta regolabile in funzione delle dimensioni del campione da misurare (in un range 10-25 cm);
- la lampada è collocata in posizione normale rispetto la porta frontale, per misure in trasmissione. Per misure in riflessione invece la lampada andrà posizionata in corrispondenza della porta posteriore;
- in trasmissione, le misure sono effettuate per angoli d'incidenza pari a 0°, 15°, 30°, 45° e 60°. Un angolo d'incidenza maggiore di 60° non è stato considerato significativo poiché né il supporto regolabile né i diaframmi permettono di effettuare una misura precisa;
- la trasmittanza del campione è misurata come il rapporto tra l'energia trasmessa dal campione montato sull'apertura della sfera e l'energia che effettivamente entra all'interno della sfera. Tale valore viene poi corretto con il metodo di correzione della porta ausiliaria (*substitution error*) (20, 21 e 22);

Le misure sono state condotte tra 300 e 1700 nm. In questo modo è stato possibile analizzare i comportamenti dei differenti materiali in studio fino a coprire il 95% dello spettro solare.

### 2.6.2 Lo spettrofotometro

Lo spettrofotometro utilizzato per le misure è il Perkin Elmer LAMBDA™ 950 dotato di sfera integratrice (diametro 15 cm) in Spectralon®.



**Fig. 23 - Spettrofotometro Perkin Elmer LAMBDA™950.**

Tale strumento permette di misurare le proprietà di trasmissione, riflessione totale e diffusa per le lunghezze d’onda da 250 a 2500 nm. Il fascio di misurazione alla porta di trasmittanza è di circa 1,2 x 0,7 cm mentre alla porta di riflettanza è di circa 2x0,3 cm.

Prima di effettuare le misure sono stati preparati i campioni dei materiali da misurare con formato adeguato al supporto dello strumento (massimo 8x8 cm): ciò permette di effettuare tutte le tipologie di misure possibili senza alcuna modifica.

Per effettuare le misure in trasmissione si sono inseriti i campioni da misurare nel supporto alla porta di trasmissione, prestando attenzione a collocarli con il giusto orientamento, mentre alla porta di riflessione si è collocato il campione di riferimento in Spectralon®.



**Fig. 24 – Porta di trasmittanza (sinistra) e porta di riflettanza (destra): 1) Porta da aprire per misure di riflettanza diffusa; 2) Supporto campioni per la porta di trasmittanza; 3) Sfera; 4) Supporto campioni per la porta di riflettanza; 5) Porta di riflettanza.**

Le misure in riflessione totale invece prevedono che i campioni da misurare siano posti nel supporto della porta di riflessione (dove nelle misure in trasmissione era posizionato il campione di riferimento in Spectralon®) e che nella porta di trasmissione non vi sia nulla.

Le misure in riflessione diffusa sono effettuate con la medesima configurazione delle misure in riflessione totale, l’unica differenza è che è aperta un’ulteriore porta sul lato della sfera integratrice che permette la misurazione di tale componente.

Le misure ottenute presentano una maggiore accuratezza rispetto a quelle della sfera integratrice, d'altra parte però con tale strumento non vi è la possibilità di effettuare misure angolari e la dimensione del fascio di misurazione è minore.

## 2.7 Analisi della Trasmittanza solare e visibile dei campioni selezionati

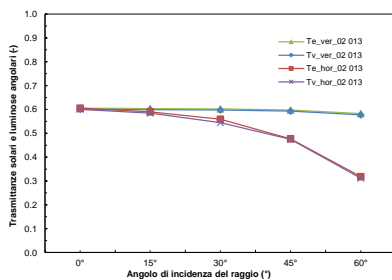
I grafici delle trasmittanze solari e visibili sono stati organizzati in funzione del comportamento e della dipendenza angolare della prestazione (secondo quanto indicato, in termini di raggruppamento, nel paragrafo 2.5.1). Le valutazioni sono state effettuate per differenti orientamenti dei campioni<sup>2</sup>.

### 2.7.1 Prestazione angolare prevalente

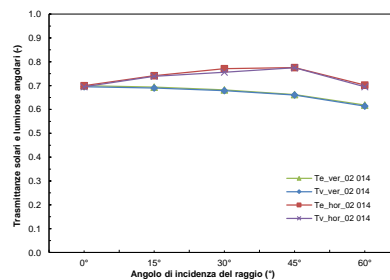
Rientrano in questa categoria:

- le reti e le lamiere stirate;
- le lamiere forate;
- le tele metalliche;
- i filtri metallici.

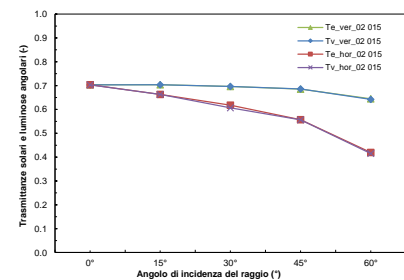
#### Reti e Lamiere stirate



02013 – Lamiera stirata a rombo

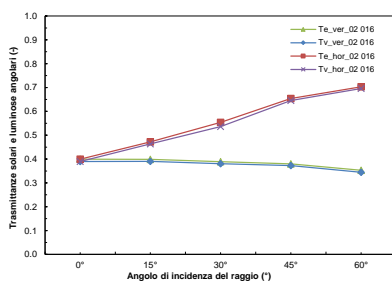


02014 – Lamiera stirata a rombo

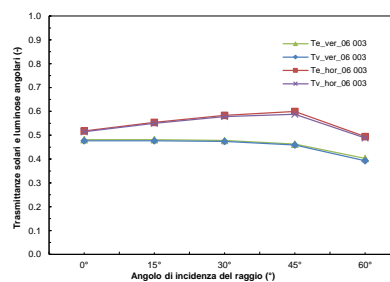


02015 – Lamiera stirata a rombo

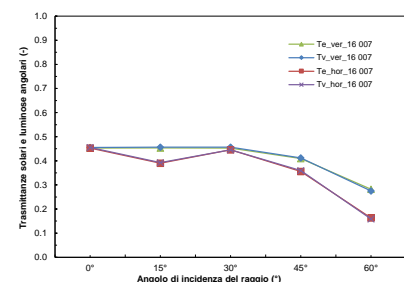
**Fig. 25 -  $\tau_v$  e  $\tau_e$  al variare dell'orientamento del campione e dell'angolo d'incidenza della radiazione**



02016 – Lamiera stirata esagonale



06003 – Lamiera stirata a maglia tonda



16007 – Rete in HDPE a tripla maglia incrociata

**Fig. 26 -  $\tau_v$  e  $\tau_e$  al variare dell'orientamento del campione e dell'angolo di incidenza della radiazione**

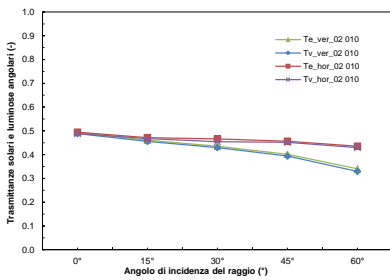
Tutti i campioni di lamiere stirate a geometria romboidale (rilievo minimo) presentano un differente comportamento a seconda dell'orientamento di posa. Se la posa è orizzontale (come nell'immagine riportata nell'Allegato A – Archivio ) si nota una limitata dipendenza angolare della  $\tau_v$  e  $\tau_e$ . Cambiando l'orientamento l'andamento di  $\tau_v$  e  $\tau_e$  dipendono dalla forma e del rilievo del rombo. Mentre i campioni 02013 e 02015 presentano un decremento di  $\tau_v$  e  $\tau_e$  all'aumentare dell'angolo di incidenza sul campione, il campione 02014, invece, si caratterizza per un incremento dei valori per angoli compresi tra 0° e 45°. E' da

<sup>2</sup> Alcuni campioni, di forma rettangolare presentano al loro interno texture asimmetriche rispetto agli assi principali di simmetria. Quando si parla di "misura dei campioni con orientamento verticale" si intende che i campioni sono stati posizionati sullo stand di misura con il proprio lato lungo posto perpendicolarmente al piano di posa del campione. Quando si parla di "misura dei campione posti con orientamento verticale", questi sono stati ruotati in senso orario di 90° rispetto al caso precedente.

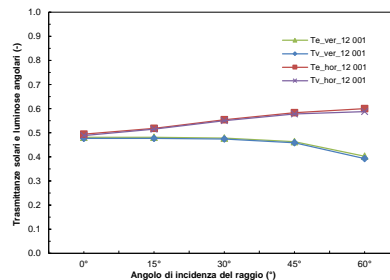
osservare che il campione 02014 per morfologia e per percentuale di vuoto su pieno è assimilabile al campione 02013.

I campioni caratterizzati da una geometria tridimensionale marcata, indipendentemente dalla consistenza materica, presentano andamenti di  $\tau_v$  e  $\tau_e$  assimilabili (a meno di una traslazione verso il basso della curva; si passa da una  $\tau_v$  e  $\tau_e$  pari a 0.7 circa a una  $\tau_v$  e  $\tau_e$  pari a 0.4 circa determinata da una riduzione del rapporto vuoto su pieno anche in presenza di dimensione del singolo foro elevata) a quelli delle lamiere stirate a rilievo ridotto solo per orientamento orizzontale. Per orientamenti verticali, invece, il rilievo accentuato determina comportamenti angolari non assimilabili (ad eccezione della lamiera stirata tonda che presenta lo stesso comportamento della lamiera stirata a rombo).

**Lamiere forate**



02010 – Lamiera in alluminio forata con foro oblungo

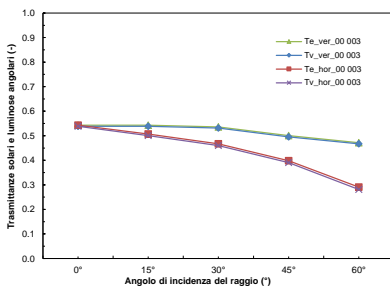


12001 – Lamiera microforata con foro tondo

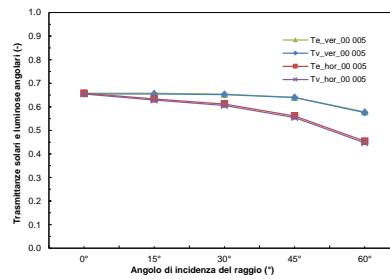
**Fig. 27 -  $\tau_v$  e  $\tau_e$  al variare dell'orientamento del campione e dell'angolo di incidenza della radiazione**

Le lamiere forate con geometrie dei vuoti bi-direzionali presentano un comportamento variabile in funzione dell'orientamento. La forma del vuoto, il rapporto vuoto su pieno e il passo dei vuoti (in orizzontale e verticale) incidono sulla prestazione e sulla variazione della prestazione in funzione dell'angolo d'incidenza.  $\tau_v$  e  $\tau_e$  dei due campioni è pari a circa 0.48 ma il comportamento in funzione dell'angolo d'incidenza è differente soprattutto per angoli d'incidenza maggiori di 40°.

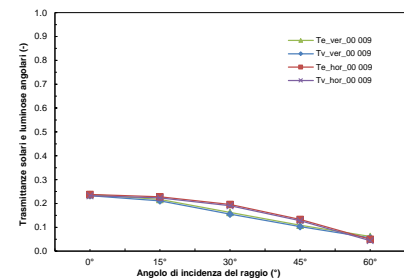
**Tele metalliche**



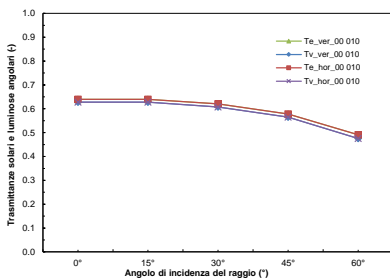
00003 – Tela metallica in acciaio inox



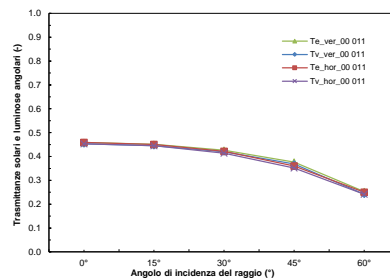
00005 – Tela metallica in acciaio inox



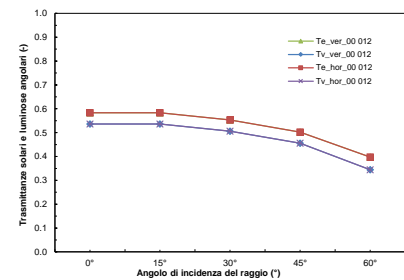
00009 – Tela metallica in acciaio inox



00010 – Tela metallica in rame



00011 – Tela metallica in acciaio inox



00012 – Tela metallica in ottone

**Fig. 28 -  $\tau_v$  e  $\tau_e$  al variare dell'orientamento del campione e dell'angolo di incidenza della radiazione**

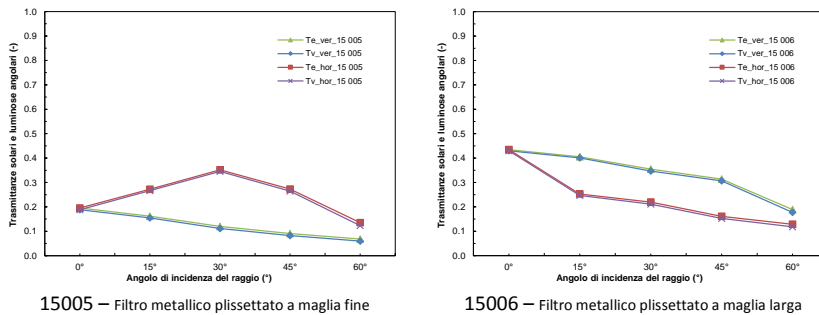
In generale la prestazione e la variabilità di prestazione di questi elementi dipende dal passo, dalla geometria e dalla dimensione dei componenti (fili) e non vi è distinzione di prestazione al variare dell'orientamento del campione. Si apprezza una differenza solo per spessori dei fili maggiori di 1 mm. Nel



caso di tele metalliche costituite da trefoli e fili, la prestazione dipende dal passo e dal rapporto vuoto su pieno considerato rispetto agli elementi dominanti del componente. I campioni 00003 e 00005 rappresentano il comportamento di questi tipi e ne rendono evidente la dipendenza angolare.

Si osservino i campioni 00009, 00010 e 00011; il campione 00009 alla sola osservazione visiva sembra più trasparente rispetto agli altri due. In realtà, il campione 00009 presenta un coefficiente vuoto su pieno inferiore (superficie aperta pari al 19%) e  $\tau_v$  e  $\tau_e$  inferiore di circa il 50% rispetto al campione 00011 (superficie aperta pari al 34%) e di circa il 70% rispetto al campione 00010 (superficie aperta pari al 50%).

### Filtri metallici



**Fig. 29 -  $\tau_v$  e  $\tau_e$  al variare dell'orientamento del campione e dell'angolo di incidenza della radiazione**

La peculiarità di questi prodotti è la variabilità geometrica in spessore. Si tratta di filtri plissettati permeabili all'aria (microforati). Quando l'andamento della plissettatura è orizzontale, la variazione della prestazione dipende dall'angolo d'incidenza e della microforatura dell'elemento. Quando l'andamento della plissettatura è verticale, la prestazione varia in funzione anche del passo e della dimensione del rilievo della plissettatura. Il campione 15005 potrebbe rappresentare il materiale perfetto per le protezioni solari: massime  $\tau_v$  e  $\tau_e$  per angoli d'incidenza prossimi ai 30° e  $\tau_v$  e  $\tau_e$  minime per angoli di incidenza superiori ai 30°.

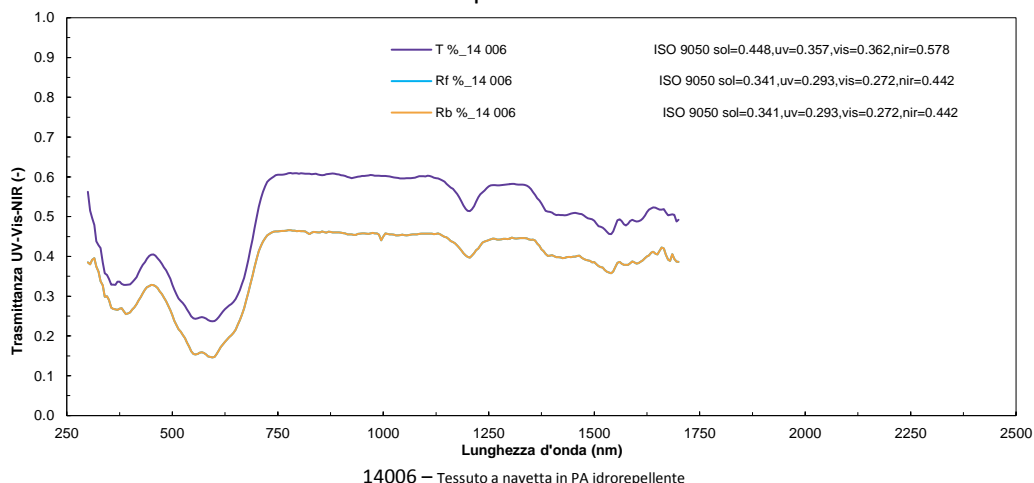
### 2.7.2 Prestazione spettrale prevalente

Rientrano in questa categoria:

- i tessuti bi-dimensionali;
- i tessuti con coating;
- i tessuti tridimensionali.

### Tessuti Bi-dimensionali

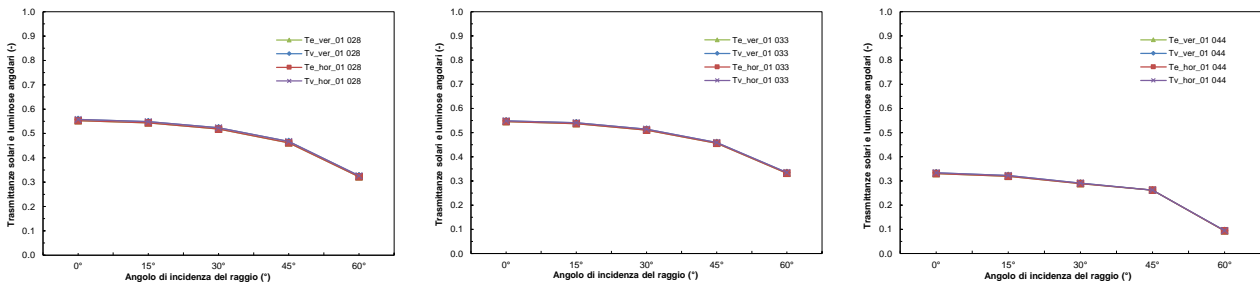
In generale i tessuti bi-dimensionali non presentano, anche nel caso di geometrie grossolane, variazioni prestazionali al variare dell'orientamento del campione.



**Fig. 30 – prestazione spettrale del campione ( $\tau_e$ ,  $\rho_e$ )**

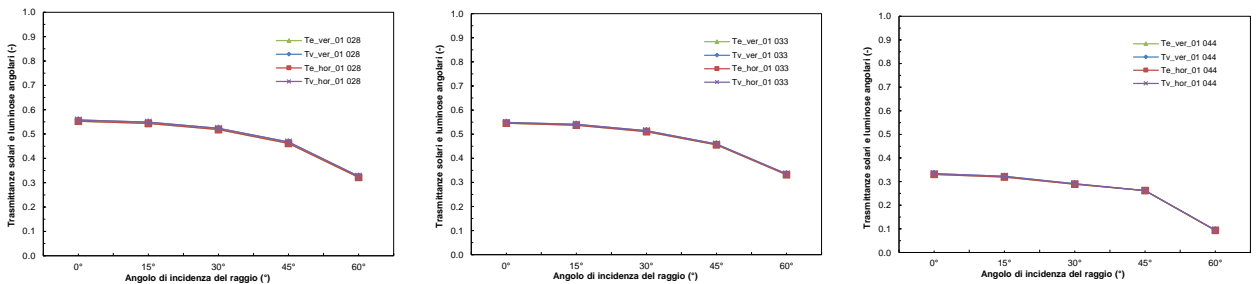
Alcuni tessuti bi-dimensionali presentano un comportamento selettivo alla radiazione.  $\tau_v$  e  $\tau_e$  variano al variare della lunghezza d'onda. Rispetto ai tessuti standard adottati nelle protezioni solari questo comportamento è un'anomalia ad eccezione dei tessuti a trama tridimensionale (si vedano gli spettri dei tessuti analizzati nei raggruppamenti successivi dove  $\tau_v$  e  $\tau_e$  rimangono pressoché costanti lungo l'intero spettro).

**Tessuti Bi-dimensionali con coating**



01028 – Tessuto in PET nero con coating in Cr      01033 – Tessuto in PET nero con coating in Ti      01044 – Tessuto in PET nero con coating in Cr

**Fig. 31 – prestazione angolare del campione ( $\tau_e, \tau_v$ )**

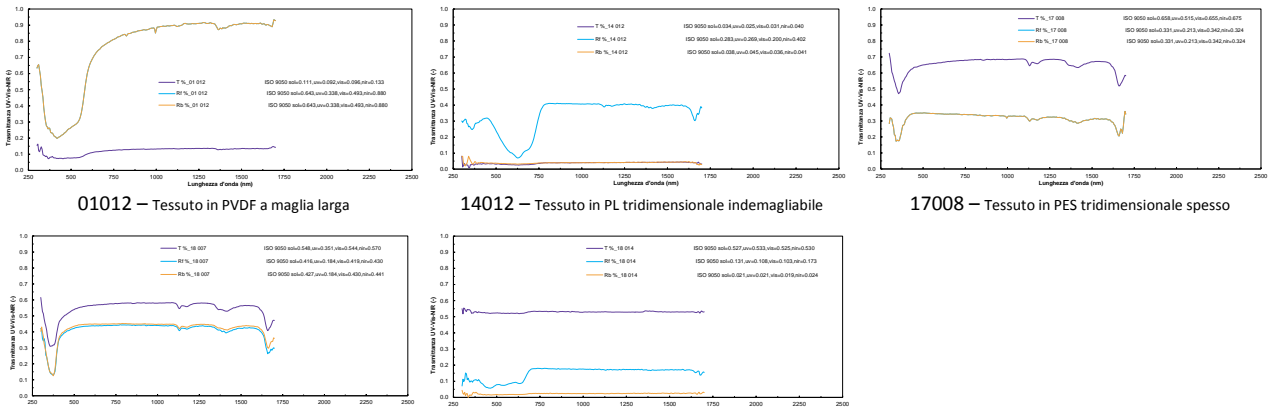


01028 – Tessuto in PET nero con coating in Cr      01033 – Tessuto in PET nero con coating in Ti      01044 – Tessuto in PET nero con coating in Cr

**Fig. 32 – prestazione spettrale del campione ( $\tau_e, \rho_e$ )**

I tessuti con *coating* si caratterizzano per una variazione di prestazione tra front (faccia 1) e back (faccia 2) e non per orientamento. Macroscopicamente la prestazione dipende dal rapporto vuoto su pieno (a bassi valori di questo indicatore corrispondono bassi valori di  $\tau_v$  e  $\tau_e$  con anche una inferiore dipendenza angolare della prestazione). Microscopicamente la prestazione dipende dal colore, dal materiale e/o dai trattamenti superficiali (eseguiti spesso solo su un lato). I campioni 01028 e 01033 presentano un deposito di titanio mentre il campione 01044 presenta un deposito di cromo.

**Tessuti Tridimensionali**



01012 – Tessuto in PVDF a maglia larga      14012 – Tessuto in PL tridimensionale indemagiabile      17008 – Tessuto in PES tridimensionale spesso

18007 – Tessuto in PET tridimensionale      18014 – Tessuto in PET tridimensionale

**Fig. 33 – prestazione spettrale del campione ( $\tau_e, \rho_e$ )**

A differenza delle maglie e delle reti tridimensionali, i tessuti tridimensionali generalmente non presentano una variazione significativa della prestazione al variare dell'orientamento ad eccezione del campione 18014 (cfr. Allegato A – Archivio e paragrafo 2.7.3) che presenta una variazione determinata dalla particolare geometria, dal colore del tessuto al variare del lato e dal colore in spessore e dallo spessore del tessuto (nero). In generale la tridimensionalità incide sulla variazione dello spettro nel campo del visibile-UV e nella parte terminale del NIR (campioni 17008 e 18007).

### 2.7.3 Casi particolari

Rispetto agli andamenti caratteristici identificati per i tipi, si possono evidenziare dei casi particolari.

#### Tele metalliche

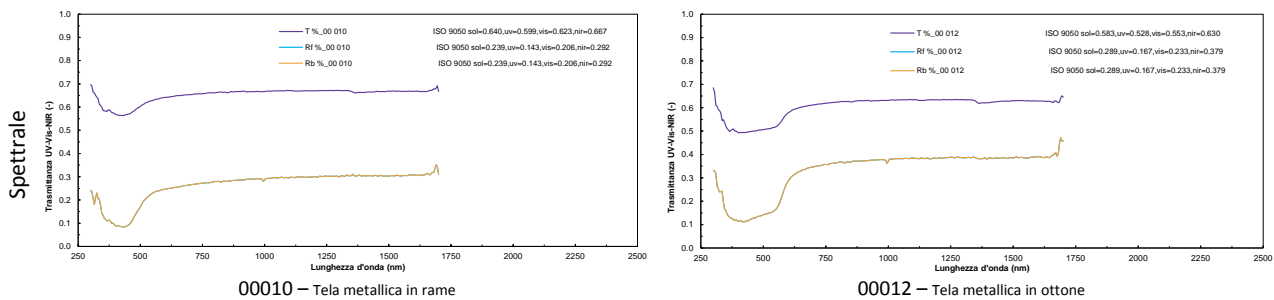


Fig. 34 – prestazione spettrale del campione ( $\tau_e$ ;  $\rho_e$ )

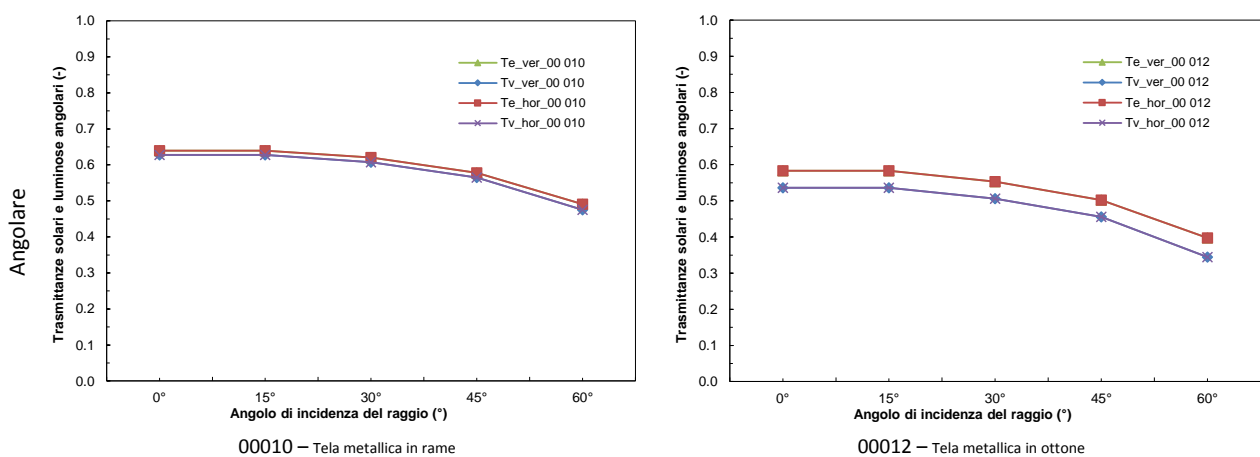


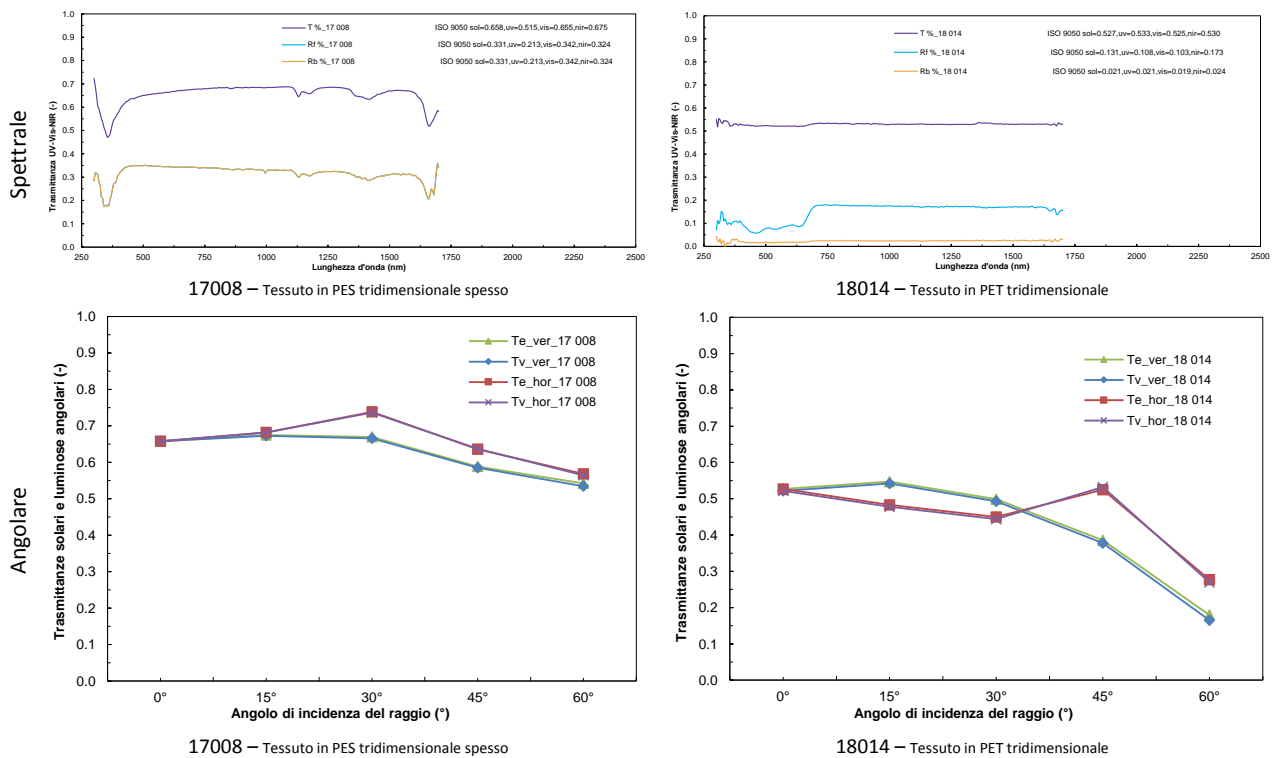
Fig. 35 – prestazione angolare del campione ( $\tau_e$ ;  $\tau_v$ )

Nel caso delle tele metalliche a maglia fitta la consistenza materica incide sulla prestazione. La rete in rame (campione 00010) e la maglia in ottone (campione 00012) presentano una stessa percentuale di vuoto su pieno. Il colore e la materia definiscono però un differente comportamento nel campo UV. E' interessante anche notare come nel caso dell'ottone sia evidente anche una variazione della prestazione in relazione all'orientamento dell'elemento. Tale variazione dipende dalla riflettanza del materiale.

#### Tessuti Tridimensionali

Il campione 17008 presenta un particolare rilievo su un lato. La traslucenza di questo elemento limita la variazione prestazionale front/back mentre incide sulla variazione prestazionale al variare dell'orientamento dell'elemento.

Il campione 18014 è un tessuto avente una particolare conformazione del vuoto rastremato a un lato), dotato di spessore colorato e con colori differenti sui due lati. Per entrambi gli orientamenti si apprezza una riduzione della prestazione all'aumentare dell'angolo d'incidenza fino a circa 30°. Per angoli d'incidenza compresi tra 35° e 45° si assiste a un comportamento opposto in funzione dell'orientamento. Per angoli maggiori a 45° per entrambi gli orientamenti all'aumentare dell'angolo d'incidenza si ha una riduzione della trasmittanza. La geometria variabile del vuoto incide sulla prestazione.



**Fig. 36 – prestazione spettrale ( $\tau_e$ ;  $\rho_e$ ) e prestazione angolare ( $\tau_e$ ;  $\tau_v$ ) del campione**

### 2.7.4 Considerazioni conclusive

In generale gli elementi discontinui tridimensionali o bidimensionali a geometria bi-direzionale non di natura tessile:

- hanno trasmittanze elevate quando la geometria è grossolana;
- hanno riflettanze elevate quando la geometria è fitta;
- possono avere differenti comportamenti prestazionali al variare dell'orientamento (per alcuni angoli di incidenza  $\tau_v$  e  $\tau_e$  possono variare in positivo o negativo anche del 40%);
- tale differenza si accentua quando aumentano gli spessori dei rilievi (in particolare quando lo spessore non è uniforme rispetto al piano di riferimento dell'elemento);
- possono avere differenti comportamenti prestazionali a parità di rapporto vuoto su pieno;
- possono avere differenti comportamenti prestazionali al variare della traslucenza degli elementi in rilievo;
- possono avere comportamenti comparabili anche nel caso di geometrie differenti.

La variabilità prestazionale dipende dalla forma e della dimensione dei vuoti, dello spessore della lamiera, del nervo o del cavo, del rapporto tra vuoto e pieno e dell'orientamento.

Per quanto attiene ai tessuti (elementi continui o discontinui a trama fitta, permeabili o meno all'aria) la prestazione varia in relazione al rapporto vuoto su pieno, al colore e alla consistenza materica dell'elemento.

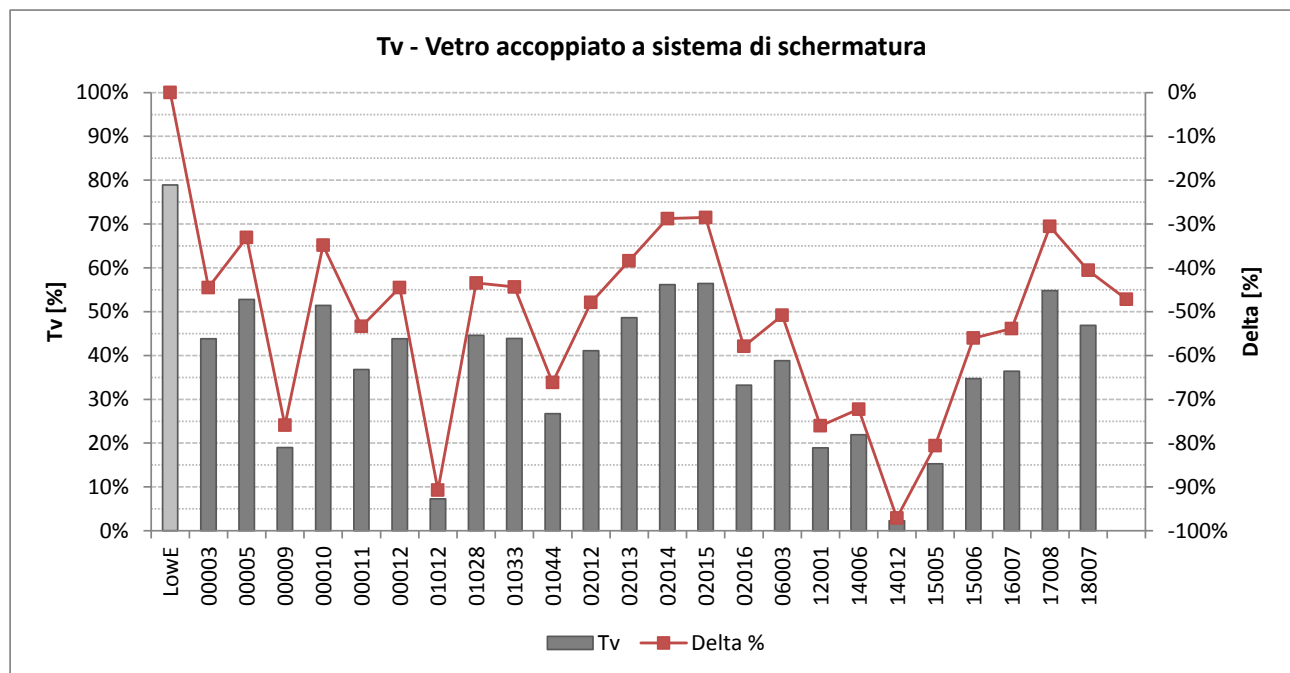
Quest' analisi mette in evidenza la complessità nella caratterizzazione della proprietà ottico-radiativa delle protezioni solari e ancora più la complessità della modellazione della prestazione luminosa ed energetica dei sistemi applicati in opera.

La correlazione tra proprietà angolare dell'elemento e percentuale delle ore rispetto a dati angoli d'incidenza è il passo successivo da compiere per definire la prestazione reale del sistema anche quando la modellazione per proprietà geometriche del materiale non è possibile (i componenti con geometria miniaturizzata non possono essere modellati).

## 2.8 Trasmittanza visibile e Colore

Il grafico di seguito riportato definisce la variazione di  $\tau_v$  di una vetratura di riferimento immaginando di applicare dei sistemi di protezione solare realizzati con i materiali selezionati.

I sistemi meno efficaci riducono del 30% la trasmittanza visibile del vetro mentre i più efficaci possono ridurre del 70% la prestazione (indicazione utile in presenza di radiazione diretta che non solo genera un surriscaldamento e un incremento degli apporti solari gratuiti, ma incide anche sulla distribuzione degli illuminamenti negli spazi confinati (controllo dei fenomeni di abbagliamento diretto o riflesso).



**Fig. 37 –  $\tau_v$  vetratura unita alla protezione solare (25 campioni selezionati)**

L'applicazione di una schermatura non solo riduce i possibili fenomeni di abbagliamento e gli apporti solari gratuiti ma determina anche un'alterazione nella percezione degli oggetti (forme e colori).

La tabella sottostante definisce il tipo di alterazione indotta dai materiali selezionati e oggetto di analisi. Questa valutazione non è stata proposta per tutti i materiali analizzati. Sono stati esclusi quei materiali per cui la percentuale di vuoto e la dimensione dei fori era tale da ritenere quest'analisi inconsistente.

**Tabella 5 – Alterazione cromatica indotta dai materiali selezionati.**

	Tv	Dominant	L*	a*	b*	R	G	B	Colori
Vetro low-e clear	0.789	0.556	86.7	-3.1	3.8	214	219	210	
00010	0.514	0.565	76.8	-2.3	6.8	190	190	177	
00011	0.368	0.554	67.1	-2.0	2.2	161	164	159	
00012	0.438	0.577	71.9	1.9	5.3	184	175	167	
01012	0.073	0.585	32.4	4.6	5.4	87	73	68	
01028	0.446	0.519	72.6	-2.5	1.1	174	179	176	
01033	0.439	0.525	72.1	-2.4	1.2	173	178	175	
01044	0.267	0.504	58.7	-2.1	0.6	138	142	140	
14006	0.219	0.471	54.5	-0.2	-13.8	117	131	154	
14012	0.023	0.481	17.2	-2.1	-1.8	38	43	45	
15005	0.153	0.563	46.0	-1.3	2.7	109	110	104	
15006	0.347	0.547	65.5	-2.1	1.8	156	160	156	
17008	0.548	0.558	78.9	-2.6	3.5	193	196	189	

### 2.8.1 Considerazioni conclusive

L'alterazione cromatica è tanto più evidente quanto più fitta è la struttura dell'elemento. Tutti i campioni selezionati possono essere applicati su sistemi di protezione solare orientabili e/o movimentabili. La dinamicità del sistema soprattutto quando a carico dell'utente permette il superamento di tale negatività.

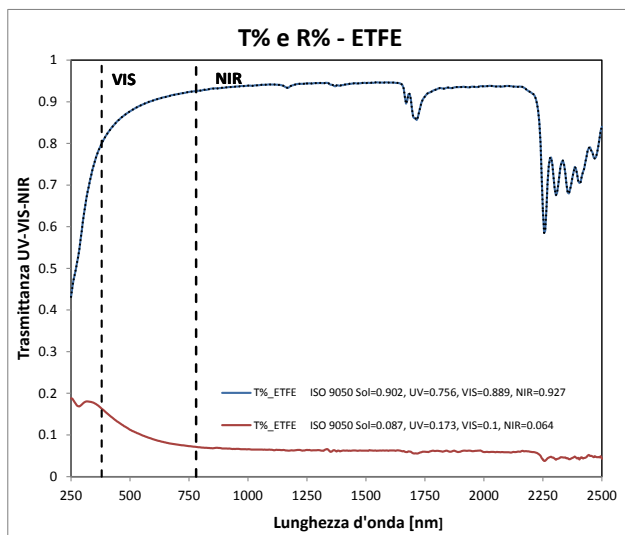
### 3 La modifica delle prestazioni ottico-energetiche di membrane in ETFE

#### 3.1 Introduzione

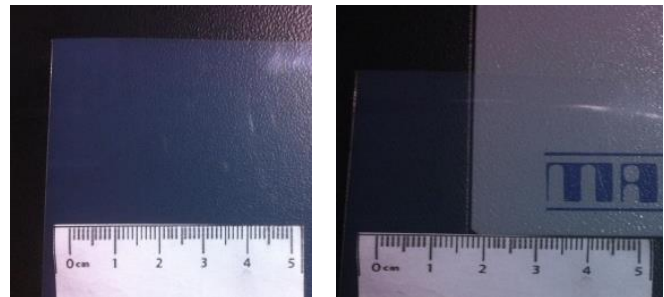
Numerose sono le ragioni per l'impiego di un sistema di chiusura o di una seconda pelle per l'involucro edilizio in tessuto/membrana:

- la leggerezza (il peso è unicamente quello del telaio che tiene in tensione il tessuto e ciò comporta minori carichi per il supporto murario).
- la versatilità di forma, di dimensione e di texture,
- l'adattabilità all'elemento resistente o di supporto retrostante,
- la rapidità di posa,
- la resistenza agli agenti atmosferici,
- la durabilità

La scelta di questi particolari sistemi, non solo permette di connotare fortemente l'architettura, ma partecipa anche alla determinazione del modello di energetico di funzionamento dell'edificio. La pelle tessile, a seconda della trama o della consistenza materica del "tessuto", può essere più o meno permeabile alla quota parte visibile ed energetica della radiazione solare.



**Fig. 38 - Trasmittanza e riflettanza spettrale di campione di ETFE non trattato – trasparente – 200 µm**



**Fig. 39 Campione di ETFE non trattato – trasparente – 200 µm**

	$\tau_e$	$\tau_v$ (D65)	$\rho_e$	$\rho_v$ (D65)
ETFE	0.902	0.893	0.087	0.099

**Tabella 6: Proprietà integrate secondo ISO 9050**

Negli interventi di recupero e riqualificazione di edifici a destinazione d'uso industriale, un sistema di rivestimento leggero (con tamponamento costituito da tessuto, pellicola o maglia metallica) permette di ridefinirne l'immagine e la forma dell'architettura. Il contributo richiesto a questo tipo di sistema, dal punto di vista della promozione del risparmio energetico, non dovrebbe limitarsi al solo miglioramento estetico, ma anche fornire prestazioni tali da migliorare il comportamento energetico dell'edificio.

Tra i materiali leggeri utilizzati per questo tipo di applicazione si è scelto di approfondire lo studio dell'ETFE a membrana, di spessore 200 µm, comunemente utilizzato per la realizzazione di doppie pelli trasparenti per gli edifici, così come per la copertura orizzontale di atri e di spazi di grandi dimensioni.

Così come si può notare dal grafico delle proprietà spettrali e dai valori integrati riportati in tabella l'ETFE scelto per questa indagine, è caratterizzato da un'elevata trasparenza delle componenti UV-Vis-NIR dello spettro solare. L'elevata trasparenza nella banda del visibile e la non alterazione dei colori derivanti dall'uso della membrana sono sicuramente un valore aggiunto e una caratteristica da preservare per l'applicazione del sistema nella maggior parte delle applicazioni architettoniche.

Dal punto di vista termico, però, la trasparenza del sistema può essere critica e tale da inficiare le condizioni di comfort, generando condizioni di stress termico negli ambienti delimitati da questo tipo di sistema, a causa dell'elevata incidenza degli apporti solari.

Per questi motivi si è deciso di proporre differenti strategie per modificare e in alcuni casi migliorare le prestazioni del sistema trasparente ETFE, al fine di garantire un migliore controllo degli apporti solari, e per permetterne così l'applicazione in differenti situazioni e destinazioni d'uso, possibilmente andando ad agire spettralmente nella banda dell'UV e del NIR.

Le proposte di trattamento superficiale devono essere considerate in parallelo alle strategie normalmente impiegate per il miglioramento delle prestazioni ottico-energetiche della membrana in ETFE, quali la deposizione di una serigrafia e/o la modifica della matrice di stampa per ridurre la trasparenza del sistema. Per quanto i trattamenti previsti non siano stati valutati dal punto di vista della possibilità d'industrializzazione e di durabilità del trattamento stesso i risultati ottenuti permettono di indirizzare i futuri.

Nello specifico sono stati previsti e analizzati i seguenti trattamenti:

- Applicazione tramite incollaggio di differenti di pellicole a controllo solare, attualmente impiegate su lastra di vetro float;
- Trattamento superficiale tramite deposito e spalmatura di resina acrilica trasparente e polvere di alluminio (Al), grafite (Gr) e biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>);
- Trattamento superficiale tramite deposito e spalmatura di resina acrilica trasparente e pigmenti colorati a base di ossidi di ferro e cromo;
- Stampa a getto di inchiostro ecosolvent in RGB (Red-Green-Blue);
- Spalmatura di SolGel addizionato con biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>).

### 3.2 L' applicazione di pellicole a controllo solare

#### 3.2.1 I campioni analizzati e la procedura di misura

Per garantire delle proprietà di selettività alla membrana in ETFE è stato valutato l'effetto ottenibile con l'applicazione tramite incollaggio di pellicole che normalmente sono impiegate su lastre di vetro per modificarne la prestazione ottica ed energetica o di resistenza meccanica.

La membrana in ETFE ha uno spessore di 200 µm e le pellicole applicate sono, invece, di spessori differenti compresi tra i 75 e i 200 µm.

Nello specifico sono state analizzate le seguenti casistiche, cui sono stati attribuiti i seguenti codici:

- 22001 – ETFE + Pellicola antisolare da esterni, riflettente argento;
- 22002 – ETFE + Pellicola di sicurezza per applicazioni interne, finitura opalescente;
- 22003 – ETFE + Pellicola antisolare da esterni, color azzurro;
- 22004 – ETFE + Pellicola antisolare da esterni, riflettente argento, sputtered;
- 22005 – ETFE + Pellicola di sicurezza per applicazioni esterne, finitura trasparente;
- 22006 – ETFE + Pellicola di sicurezza per applicazioni esterne, finitura bronzo fumé.

Di seguito si riportano le immagini dei campioni realizzati e che sono stati oggetto di analisi:

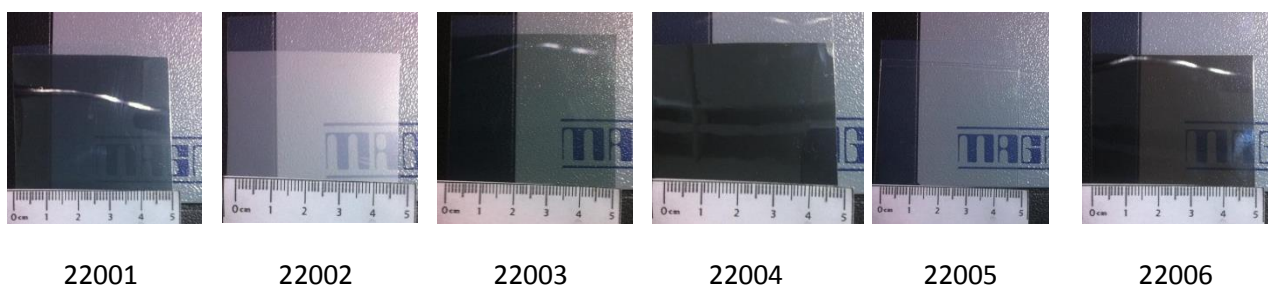


Fig. 40 - 6 campioni di ETFE con diverse pellicole applicate



Ognuno dei campioni analizzati, con la sua descrizione e le proprie prestazioni è stato inserito all'interno delle schede prodotto riportate in allegato alla presente relazione.

Tali schede devono essere considerate a completamento del database formato dai 25 campioni mostrati all'interno dell'Allegato A – Archivio .

In ognuna delle schede è riportata una descrizione del campione analizzato e i valori spettrali e integrati delle caratteristiche energetiche e luminose.

Per ciascun campione sono stati misurati, tramite spettrofotometro Perkin Elmer LAMBDA™ 950, i valori di:

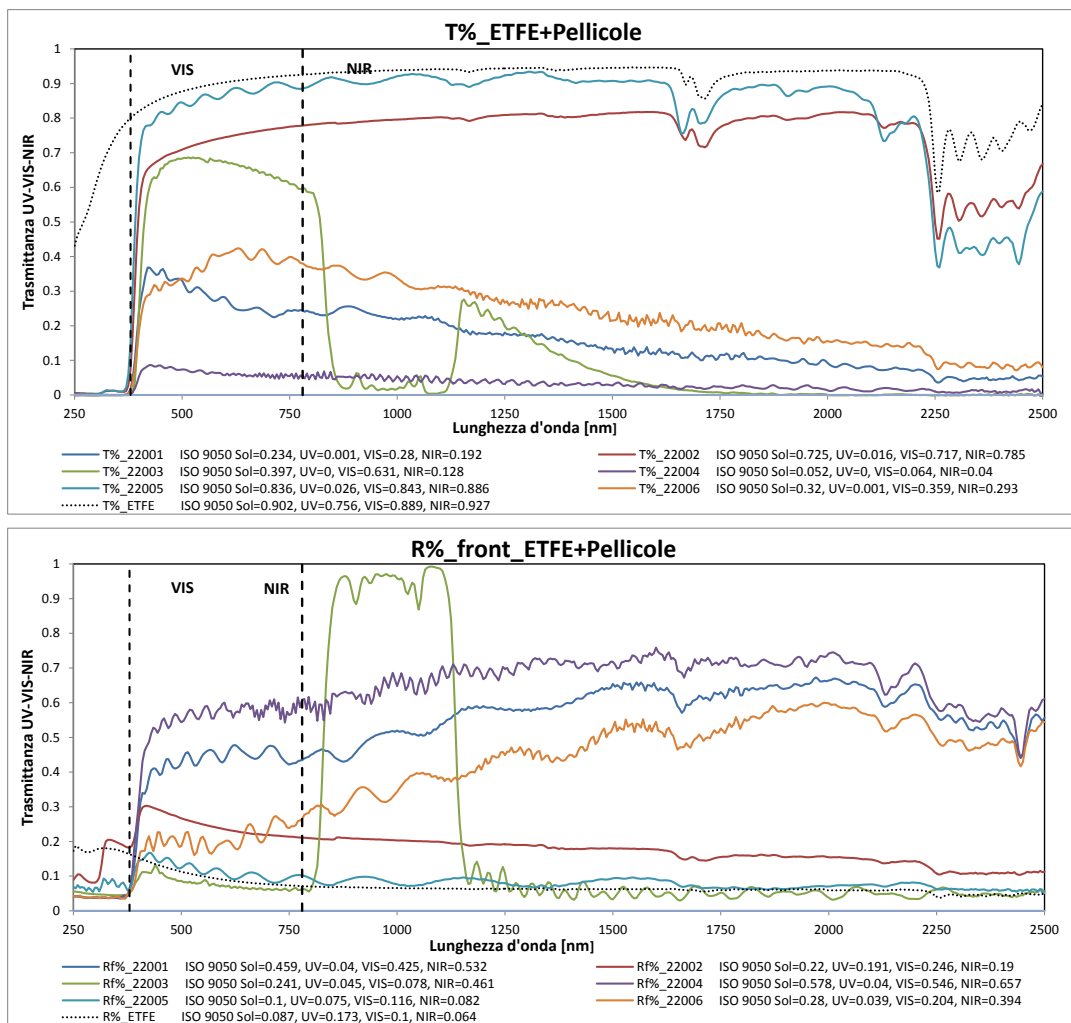
- Trasmittanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm);
- Riflettanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm) per il lato front e back del campione;
- Riflettanza diffusa UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm) per il lato front e back del campione;

In seguito e per ognuno dei campioni, sono stati calcolati secondo ISO 9050 (air mass 1.5) i valori integrati di:

- trasmittanza ( $\tau_e$ );
- riflettanza front/back ( $\rho_{e\_fr}$ ,  $\rho_{e\_b}$ ) e riflettanza diffusa front/back ( $\rho_{ed\_fr}$ ,  $\rho_{ed\_b}$ );
- trasmittanza luminosa ( $\tau_v$ );

### 3.2.2 Misure spettrali e valori integrati

Di seguito si riportano i grafici che mostrano comparativamente le caratteristiche spettrali di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa UV-VIS-NIR 250-2500 nm. In sovrapposizione al grafico delle caratteristiche spettrali dei campioni si riportano le caratteristiche della membrana in ETFE non trattata.



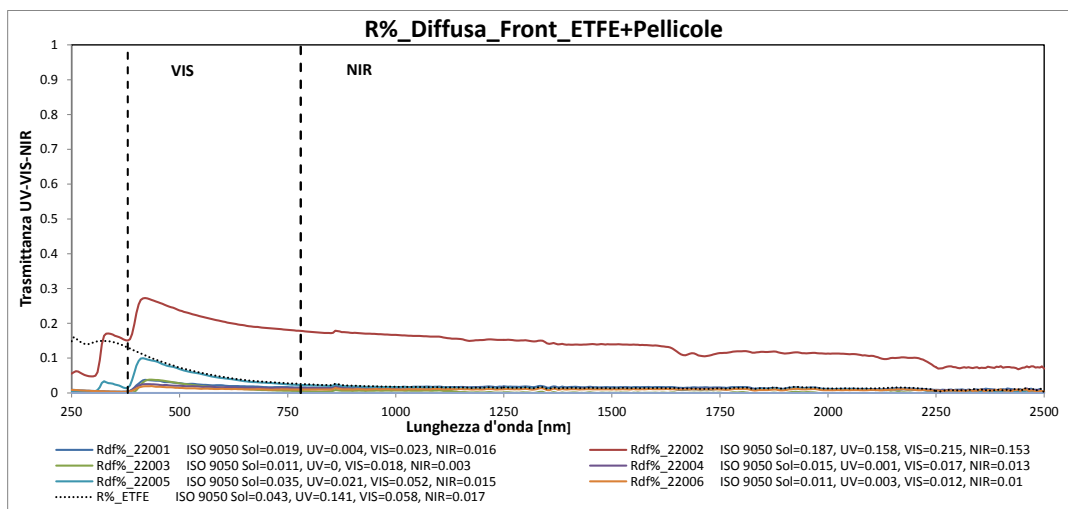


Fig. 41 - a, b, c: Grafici di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa spettrale UV-VIS-NIR (250-2500nm) e integrati secondo ISO 9050 per i campioni da 22001 a 22006

### 3.2.3 Conclusioni

Com'è possibile notare dai grafici spettrali prima riportati e, com'era lecito aspettarsi, le differenti pellicole analizzate e applicate alla membrana di ETFE garantiscono la selettività del sistema rispetto al controllo della radiazione solare incidente. Infatti:

- Tutte le pellicole analizzate sono in grado di annullare efficacemente la quota parte di radiazione UV (250-380 nm) dello spettro della radiazione solare incidente.
- Le pellicole 22005 e 22002 permettono un controllo della radiazione UV, ma a causa della loro trasparenza non permettono un efficace controllo degli apporti solari. Il comportamento del sistema accoppiato membrana in ETFE e pellicola presenta una curva di trasmittanza spettrale con un andamento analogo rispetto a quello dell'ETFE non trattato. Le caratteristiche della pellicola, UV escluso, non sono in grado di controllare efficacemente le carenze del sistema ETFE. La riflettanza del campione 22002 è prettamente diffusa a causa della finitura opalescente della pellicola. Tale trattamento è da preferire nel caso in cui non vi siano delle esigenze di controllo degli apporti solari e sia richiesta una elevata trasparenza del sistema.
- La pellicola applicata al caso 22003 è l'unica pellicola, tra quelle testate, in grado di garantire di filtrare efficacemente e selettivamente la radiazione solare, permettendo di schermare il passaggio della Radiazione UV, riducendo significativamente il contributo energetico NIR (> 780 nm) e preservando una notevole trasparenza nella banda della radiazione visibile (380 – 780 nm);

Nella tabella in seguito sono riportate le caratteristiche luminose del sistema ETFE con pellicola.

Sono, infatti, presenti i valori di trasmittanza visibile  $\tau_v$  e i parametri colorimetrici L,  $a^*$ ,  $b^*$  e RGB. Questi ultimi sono a loro volta rappresentati tramite la palette colorimetrica nell'ultima colonna a destra della tabella.

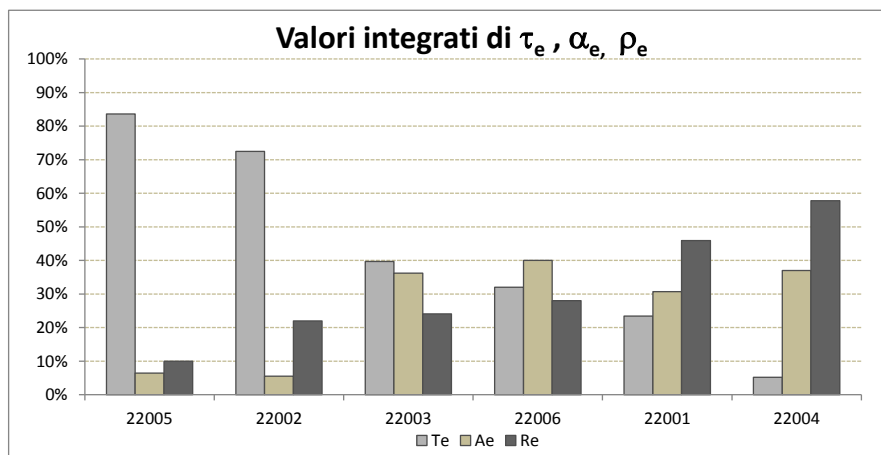
Se confrontiamo, a ulteriore conferma di quanto detto in precedenza la pellicola utilizzata nel caso 22003 con la pellicola utilizzata nel caso 22006, notiamo come anche in presenza di valori di trasmissione energetica simile ( $\tau_{e,22003} = 0.397$ ,  $\tau_{e,22006} = 0.320$ ) i valori di trasmissione visibile siano notevolmente differenti ( $\tau_{v,22003} = 0.680$ ,  $\tau_{v,22006} = 0.380$ ), e come la differenza cromatica percepita, rispetto all'ETFE non trattato, sia molto meno percepita nel primo dei due casi.

- Le pellicole applicate ai casi 22001, 22004 e 22006 sono in grado di ridurre significativamente gli apporti solari incidenti, grazie a una ridotta trasparenza, ma anche a una riflettanza nel NIR (>780 nm) crescente al crescere della dimensione della lunghezza d'onda.

	$\tau_v$	Dominante	L	a*	b*	R	G	B	Colori
ETFE	0.92	0.572	96.3	0.14	1.98	246	244	240	
22001	0.29	0.475	61.2	-2.24	-7.54	136	149	161	
22002	0.73	0.572	88.4	0.23	4.03	226	221	214	
22003	0.68	0.556	85.9	-2.53	3.26	212	216	208	
22004	0.07	0.473	31.0	-0.90	-5.44	67	74	81	
22005	0.86	0.571	94.1	0.12	3.58	241	238	231	
22006	0.38	0.577	67.4	3.13	8.33	176	162	149	

**Tabella 7 - Alterazione cromatica indotta dalle pellicole analizzate**

- Dalle schede prodotto in allegato si nota, al contrario, come la riflettanza misurata rispetto alla superficie dei campioni ( $\rho_{e\_b}$  riflettanza\_back) sia notevolmente differente dalla riflettanza misurata frontalmente ( $\rho_{e\_f}$ ) soprattutto per i campioni che presentano superfici dalla specularità elevata. Tale fenomeno si traduce in una riduzione fino al 50% della riflettanza back, rispetto alla riflettanza front.
- In Fig. 42 è infine possibile riportare i valori integrati di trasmittanza, assorbanza e riflettanza solare dei campioni, calcolati secondo ISO 9050 e messi a confronto tra di loro. I risultati sono presentati per ordine di trasmittanza solare decrescente. Si nota come, eccetto le soluzioni a elevata trasparenza (casi 22005 e 22002) si ha, per tutte le altre casistiche esaminate un'elevata assorbanza solare. Nel caso in cui le membrane in ETFE con applicate le pellicole siano utilizzate per realizzare superfici trasparenti di dimensioni considerevoli, quali ad esempio facciate continue o coperture trasparenti, è fondamentale, per il comfort degli utenti in ambiente confinato, il controllo della trasmittanza solare, così come quello dell'assorbanza solare. Entrambi contribuiscono a definire o attraverso la componente incidente della radiazione, o attraverso l'incremento della temperatura superficiale del materiale irraggiato, la temperatura media radiante percepita dall'utente. Infatti, elevate temperature medie radianti possono generare rilevanti livelli di discomfort.



**Fig. 42 - Valori integrati di trasmittanza ( $\tau_e$ ), assorbanza ( $\alpha_e$ ) e riflettanza ( $\rho_e$ ) solare dei campioni della serie da 22001 a 22006, calcolate secondo ISO 9050**

### 3.3 Il trattamento superficiale tramite resine acriliche

#### 3.3.1 Introduzione

La seguente analisi riguarda la necessità di comprendere quantitativamente e qualitativamente l'efficacia di pigmenti a base organica e inorganica nella realizzazione di trattamenti superficiali applicabili a membrane in ETFE, in grado di variane le prestazioni ottico energetiche.

Numerosi tentativi sono stati compiuti da altri autori [23] [24], e su superficie opaca, per la creazione sperimentale di vernici cool, in altre parole adatte alla realizzazione di cool surfaces, caratterizzate da alta emissività all'infrarosso ed elevata riflettanza solare. Queste analisi hanno permesso di conoscere il comportamento di alcuni pigmenti nella modifica delle prestazioni di riflettanza delle vernici. Nel caso specifico si vuole invece comprendere come, pigmenti analoghi, possano agire sulla trasmittanza, riflettanza, assorbanza solare e la trasmittanza visibile di un supporto in origine caratterizzato da elevata trasparenza e ridotta riflettanza e assorbimento quale la membrana in ETFE.

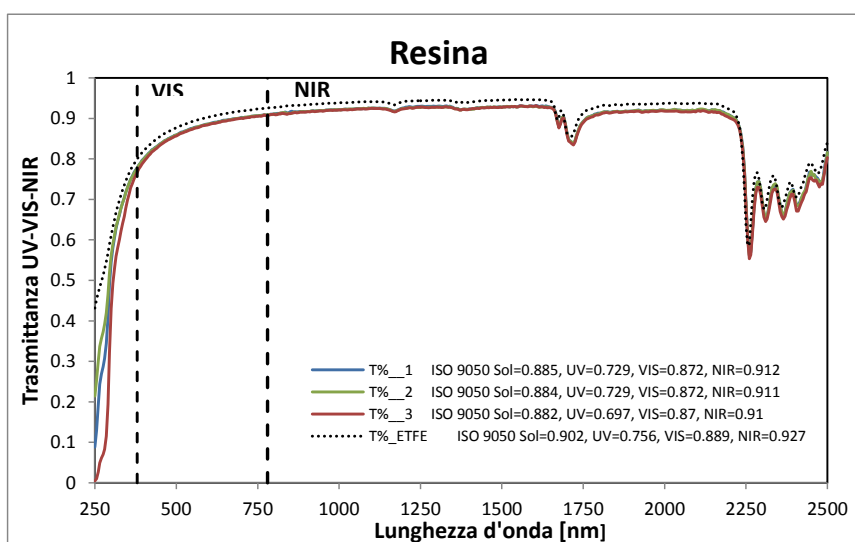
Per questo motivo sono state preparate delle pitture, a base di resina acrilica, contenenti:

- Polvere di alluminio (Al) scelta per la sua elevata riflettanza visibile e solare;
- Polvere di grafite (Gr) scelta per la sua capacità di assorbire la radiazione solare ad ampio spettro (banda UV-VIS-NIR);
- Polvere di Biossido di Titanio (TiO<sub>2</sub>) scelta per le sue capacità fotocatalitiche, ma anche per la capacità di assorbire lo spettro solare nella regione dell'UV;
- Ossidi di ferro e cromo scelti per la capacità di riflettere la radiazione solare nella regione del vicino e lontano infrarosso;

La della scelta della resina da impiegare per le sperimentazioni è stata guidata dalla necessità di trovare una matrice di elevata trasparenza, che non risultasse selettiva per alcune lunghezze d'onda o intere porzioni dello spettro solare.

La scelta è ricaduta su una vernice acrilica trasparente in solvente acqua ragia.

Come si nota in Fig. 43, la trasparenza della resina impiegata è tale, una volta applicata sulla membrana, da non compromettere le proprietà spettrali della membrana in ETFE e di restituire un andamento simile dello spettro, con valori di trasmittanza in funzione della lunghezza d'onda inferiore di qualche punto percentuale rispetto all'ETFE non trattato. Sempre in Fig. 43 si nota come questa caratteristica non venga meno dopo l'applicazione di una, due o tre mani sovrapposte di prodotto.



**Fig. 43 - Trasmittanza spettrale della resina acrilica applicata alla membrana in ETFE. I pedici 1,2,3 riguardano il numero di mani di resina applicati al campione**

Le polveri in precedenza selezionate sono state inserite in sospensione all'interno della resina acrilica, evitando il più possibile la presenza di masse di polveri, ma garantendo la migliore diluizione possibile del pigmento all'interno della resina stessa. Per ottenere la migliore distribuzione del pigmento e l'uniformità della vernice sono stati previsti dei cicli di agitazione manuale e meccanica.

Preparati i campioni di membrana da trattare, questi sono stati trattati seguendo la procedura illustrata nelle immagini seguenti.



**Fig. 44 - Depositione della resina tramite rullo per vernici acriliche**



**Fig. 45 - Rimozione della resina eccedente tramite spatolatura**



**Fig. 46 - Rifinitura del deposito e controllo dell'uniformità dello strato di resina**



**Fig. 47 - Il piano di lavoro e i campioni realizzati**

Per la realizzazione dei campioni sono state preparate tre soluzioni così costituite:

- Resina acrilica (99% in massa) e polvere di Alluminio (1% in massa)
- Resina acrilica (99% in massa) e polvere di Grafite (1% in massa)
- Resina acrilica (99% in massa) e Biossido di Titanio (1% in massa)

Differenti gradi di trasparenza del campione sono garantiti applicando più mani di resina acrilica addizionata con le polveri sopra descritte. Le quantità di resina utilizzate per ogni applicazione sono costanti, così come l'applicazione di due o più mani consecutive avviene con intervalli di un'ora per permettere la perfetta asciugatura della resina.

La presente procedura è in ogni caso da considerarsi ancora in fase di sviluppo e integrazione.

I campioni sono stati misurati, tramite spettrofotometro Perkin Elmer Lambda 950, per ottenere i valori di:

- Trasmittanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm);
- Riflettanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm) per il lato front del campione;

In seguito e per ognuno dei campioni, sono stati calcolati secondo ISO 9050 (air mass 1.5) i valori integrati di:

- trasmittanza ( $\tau_e$ );
- riflettanza front ( $\rho_{e\_f}$ );
- trasmittanza luminosa ( $\tau_v$ );

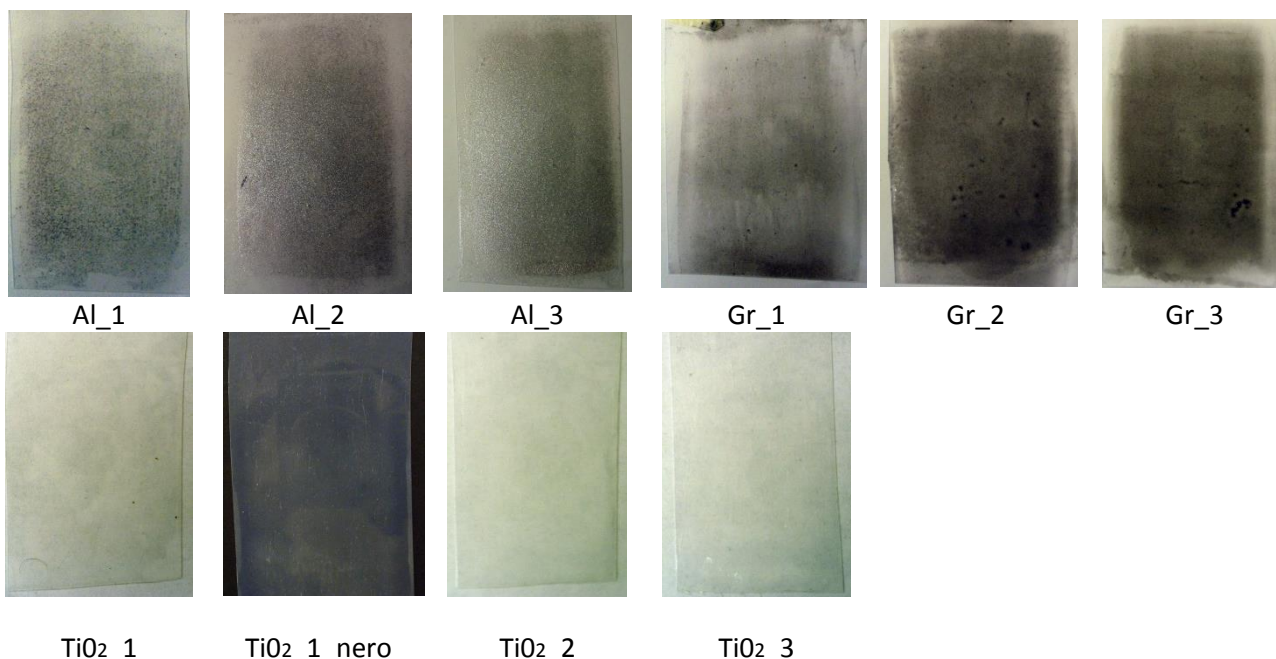
### 3.3.2 I campioni analizzati: applicazione di resine e polveri monocomponente

I codici dei campioni sono così strutturati:

- **SERIE Al** : Membrana in ETFE con applicazione di resina addizionata di polvere di Alluminio (1% in massa).
- **SERIE Gr** : Membrana in ETFE con applicazione di resina addizionata di polvere di Grafite (1% in massa).
- **SERIE TiO<sub>2</sub>** : Membrana in ETFE con applicazione di resina addizionata di polvere di Biossido di Titanio (1% in massa).

I suffissi **\_1, \_2, \_3** indicano il numero di applicazioni consecutive di resina.

Di seguito, in Fig. 48, si riportano le immagini di alcuni dei campioni realizzati. Ogni campione di ogni serie è stato ripetuto tre volte, per un totale di 27 campioni suddivisi in tre serie. Ripetendo tre volte ogni campione, misurandone le proprietà spettrali e ricavandone il valore prestazionale medio di trasmittanza e riflettanza spettrale si è riusciti a ridurre la variabilità statistica del risultato.

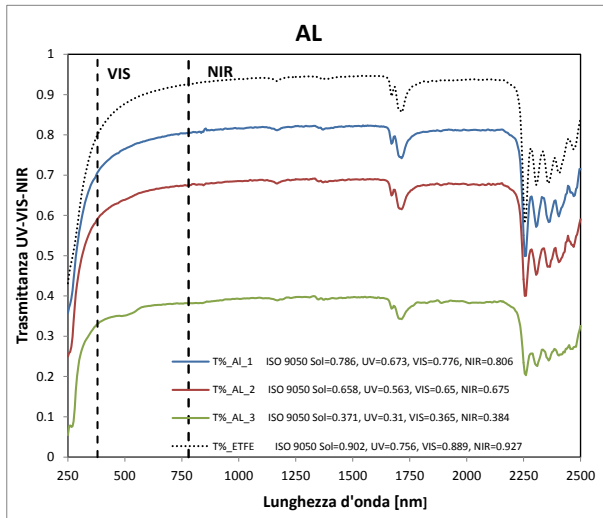


**Fig. 48 - 9 dei 27 campioni realizzati – In figura viene riportato l’immagine di un campione caratteristico per tipologia di polvere in sospensione e per numero di mani di resina applicate**

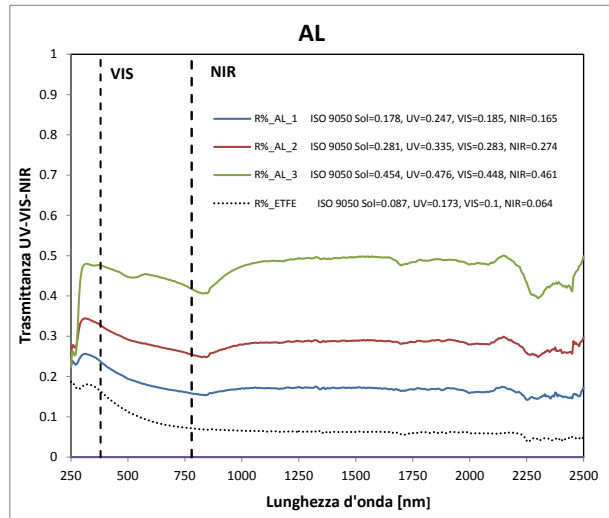
### 3.3.3 Misure spettrali e valori integrati: resina acrilica e polveri monocomponente di Al, TiO<sub>2</sub> e Gr

Di seguito si riportano i grafici che mostrano comparativamente le caratteristiche spettrali di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa UV-VIS-NIR 250-2500 nm, misurate con uno spettrofotometro Perkin Elmer LAMBDA™ 950 e sfera integratrice da 15 cm. In sovrapposizione al grafico delle caratteristiche spettrali dei campioni si riportano le caratteristiche della membrana in ETFE non trattata.

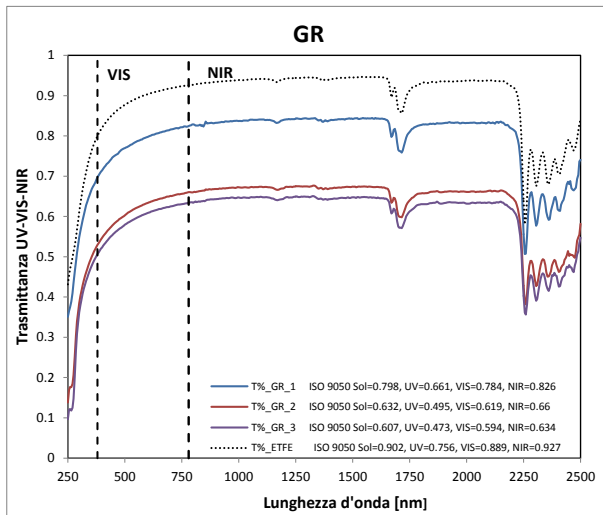
### TRASMITTANZA SPETTRALE



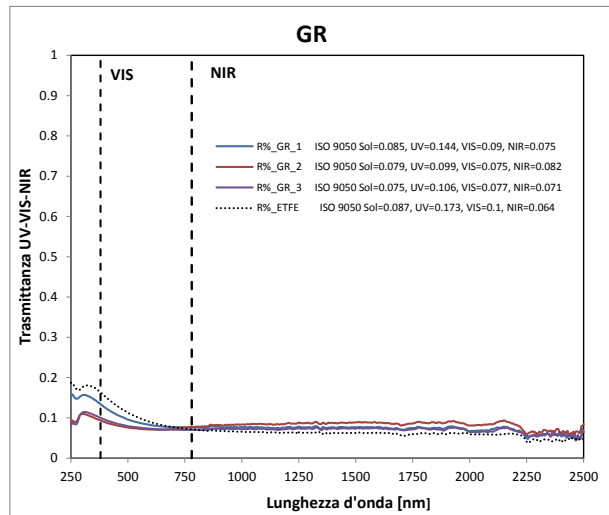
### RIFLETTANZA SPETTRALE



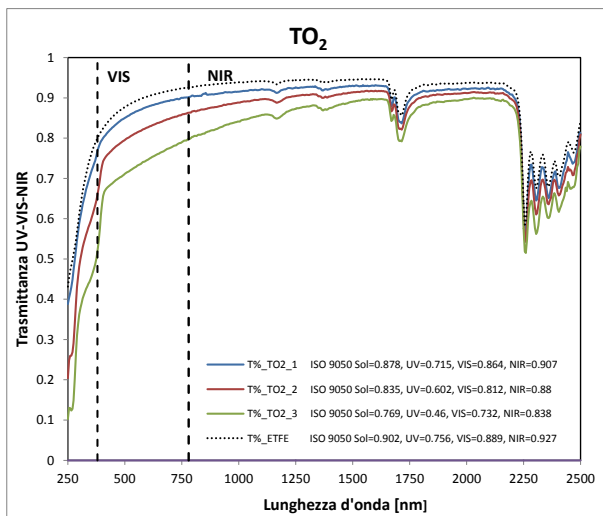
### TRASMITTANZA SPETTRALE



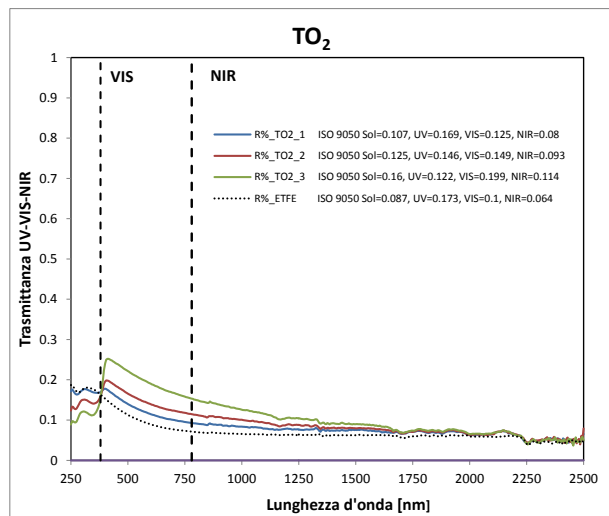
### RIFLETTANZA SPETTRALE



### TO<sub>2</sub>



### TO<sub>2</sub>



### 3.3.4 Conclusioni

- I depositi a base di polvere di grafite e di polvere di alluminio della serie Al e Gr, riducono la trasmittanza spettrale dei campioni di ETFE andando ad agire in modo uniforme su tutte le lunghezze d'onda. La riduzione dei valori di trasmittanza solare (nelle sue componenti UV-Vis-NIR)

dipende dalla quantità di pigmento depositato, ovvero dal numero di strati di resina applicati. La mancanza di proporzionalità diretta è da ricercarsi nella disuniformità del deposito. Per quanto l'applicazione possa essere effettuata con cura non è possibile garantire l'uniformità prevista, ad esempio, nel caso in cui si applichino pellicole realizzate industrialmente, così come nel capitolo 3.2

- I depositi di Biossido di Titanio permettono un migliore controllo della radiazione nella zona del vicino infrarosso, per quanto sia richiesta una quantità di polvere rilevante rispetto alle altre casistiche esaminate. A parità di prestazione nel campo del visibile il trattamento al  $\text{TiO}_2$  permette di ridurre maggiormente la trasmittanza nel campo dell'UV.
- La riflettanza spettrale per i depositi a base di grafite è indipendente dalla percentuale di polvere di Grafite depositata sul campione. Anche dopo tre depositi consecutivi si ha una sostanziale sovrapposizione dei valori misurati. Riducendosi, di conseguenza, la trasmittanza spettrale si ha un rilevante incremento dell'assorbanza solare della superficie e, in condizione reale d'irraggiamento della superficie, la sua temperatura superficiale.
- La riflettanza spettrale dei depositi a base di alluminio dipende notevolmente dalla concentrazione delle polveri miscelate con la resina. A una sostanziale riduzione della trasmittanza solare del campione a causa dell'applicazione del trattamento si ha un incremento considerevole della riflettanza solare, attestando l'assorbanza solare (dopo l'applicazione di tre strati) a un valore compreso tra il 15 e il 30%. E' anche da notare come la riflettanza dei campioni della serie Al presentano una riflettanza solare crescente nel NIR, a differenza delle altre tipologie di campioni che presentano una riflettanza costante o decrescente.

### 3.3.5 I campioni analizzati: applicazione di resine e polveri bicomponente

I codici dei campioni sono così strutturati:

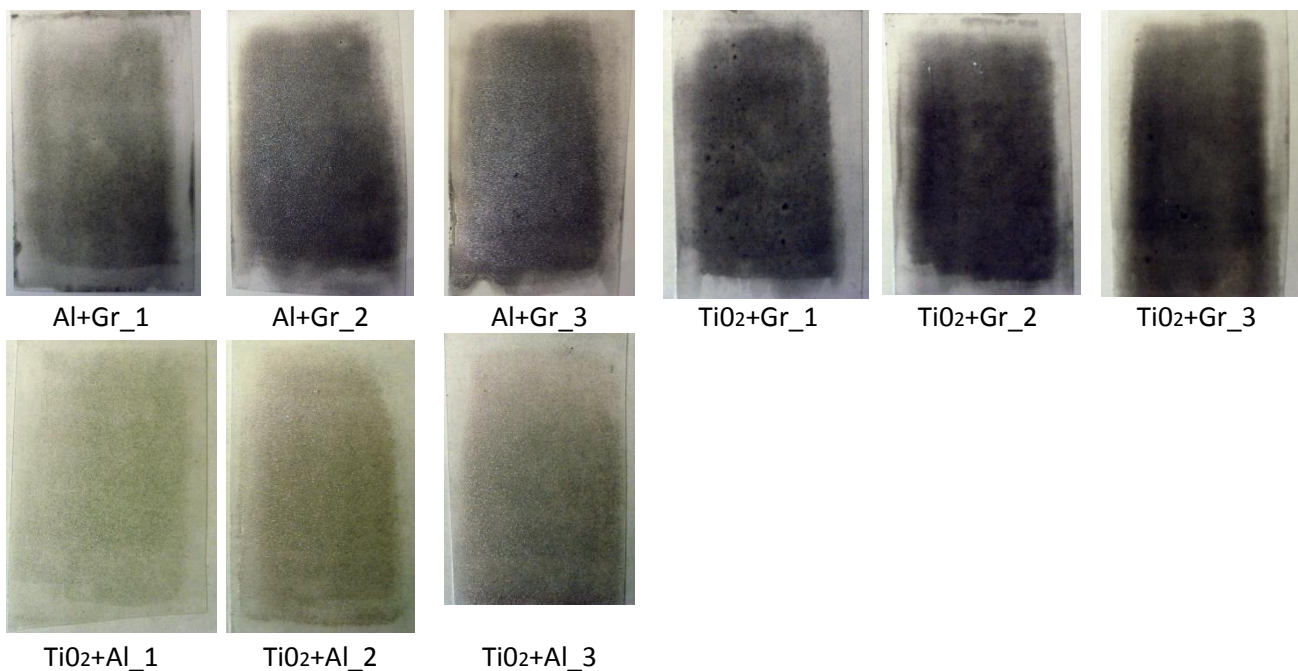
- SERIE Al+Gr : Membrana in ETFE con applicazione di resina addizionata di polvere di Alluminio (1% in massa) e applicazione di resina addizionata di polvere di Grafite (1% in massa);
- SERIE  $\text{TiO}_2$ +Gr : Membrana in ETFE con applicazione di resina addizionata di polvere di Grafite (1% in massa) e applicazione di resina addizionata di polvere di Biossido di Titanio (1% in massa);
- SERIE  $\text{TiO}_2$ +Al : Membrana in ETFE con applicazione di resina addizionata di polvere di Biossido di Titanio (1% in massa) e applicazione di resina addizionata di polvere di Alluminio (1% in massa).

I suffissi \_1, \_2, \_3 indicano il numero di applicazioni consecutive di resina per tipo, infatti:

- \_1 equivale a una spalmatura per tipologia di resina addizionata di pigmento, ovvero a due spalmature consecutive e alternate complessive;
- \_2 equivale a due spalmature per tipologia di resina addizionata di pigmento, ovvero a quattro spalmature alternate e consecutive complessive;
- \_3 equivale a tre spalmature per tipologia di resina addizionata di pigmento, ovvero a sei spalmature alternate e consecutive complessive;

Di seguito, in Fig. 49, si riportano le immagini di alcuni dei campioni realizzati. Ogni campione di ogni serie è stato ripetuto tre volte, per un totale di 27 campioni suddivisi in tre serie. Ripetendo tre volte ogni campione, misurandone le proprietà spettrali e ricavandone il valore prestazionale medio di trasmittanza e riflettanza spettrale si è riusciti a ridurre la variabilità statistica del risultato.



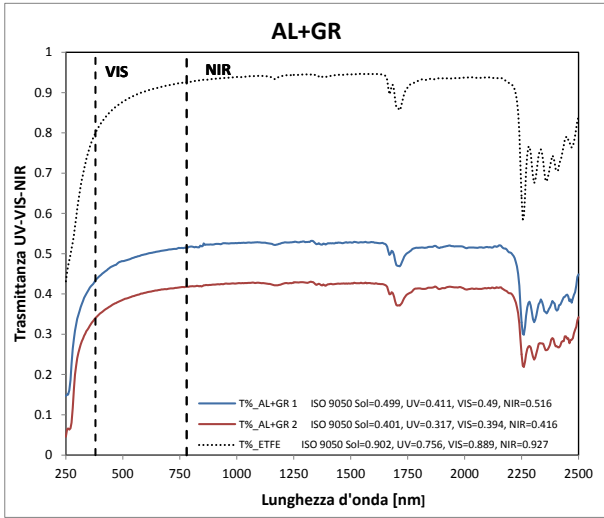


**Fig. 49 - 9 dei 27 campioni realizzati – In figura viene riportato l’immagine di un campione caratteristico per tipologia di polvere in sospensione e per numero di mani di resina applicate**

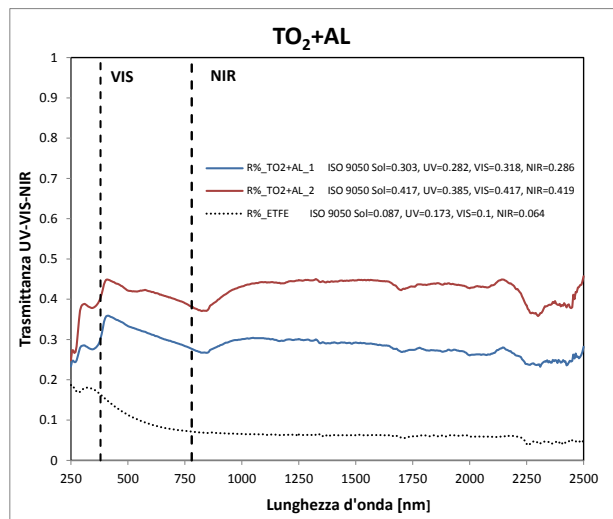
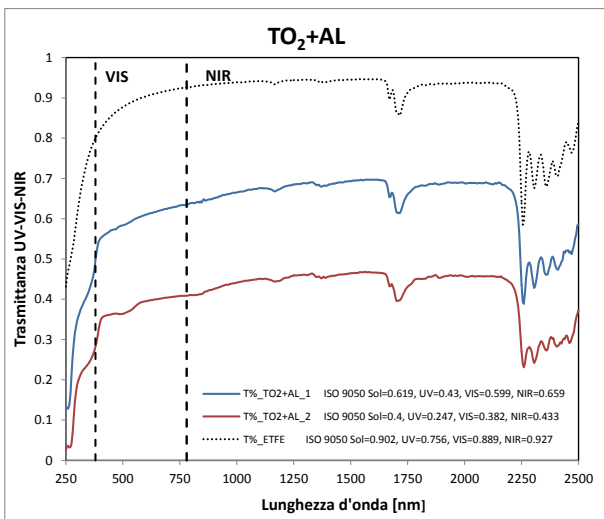
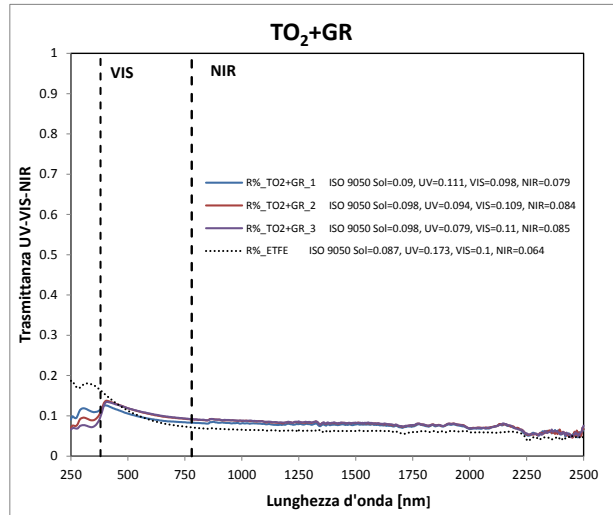
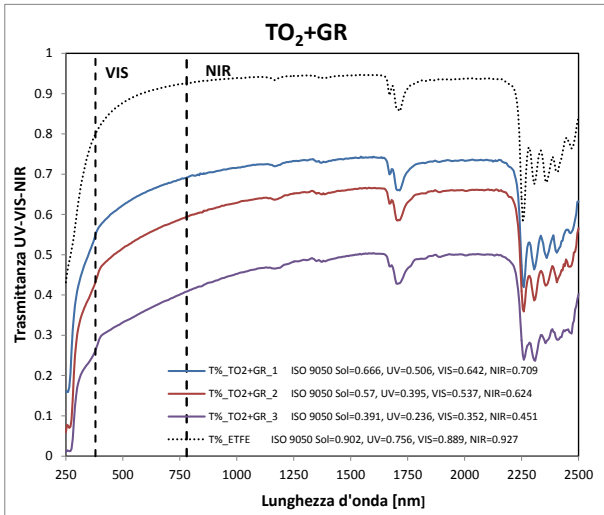
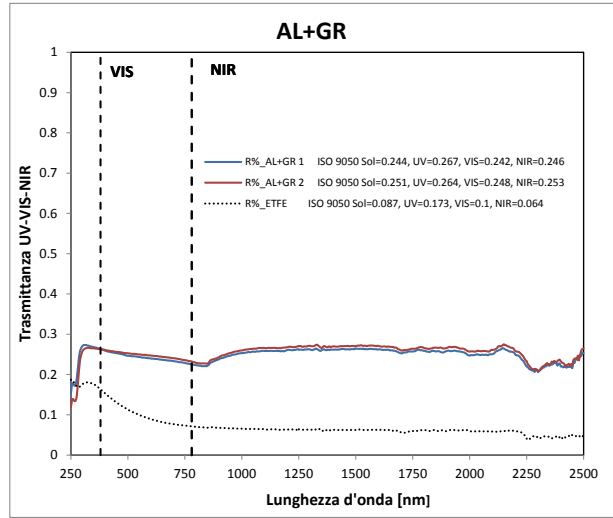
### 3.3.6 Misure spettrali e valori integrati: resina acrilica e polveri bi componente di Al, TiO<sub>2</sub> e Gr

Di seguito si riportano i grafici che mostrano comparativamente le caratteristiche spettrali di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa UV-Vis-NIR 250-2500 nm, misurate con uno spettrofotometro Perkin Elmer LAMBDA™ 950 e sfera integratrice da 15 cm. In sovrapposizione al grafico delle caratteristiche spettrali dei campioni si riportano le caratteristiche della membrana in ETFE non trattata.

**TRASMITTANZA SPETTRALE**



**RIFLETTANZA SPETTRALE**



### 3.3.7 Conclusioni

- I depositi a base di polvere di grafite e alluminio della serie Al+ Gr risultano essere poco efficace nel modificare le prestazioni del supporto in ETFE, soprattutto se confrontato ai casi della serie Al trattati nei capitoli precedenti, che permettono di garantire prestazioni migliori;
- I depositi di Biossido di Titanio permettono un migliore controllo della radiazione nella zona del vicino infrarosso, per quanto sia richiesto un quantitativo di polvere rilevante rispetto alle altre casistiche esaminate. A parità di prestazione nel campo del visibile, il trattamento al  $TiO_2$  permette di ridurre maggiormente la trasmittanza nel campo dell'UV;
- La riflettanza spettrale per i depositi a base di grafite è indipendente dalla percentuale di polvere di Grafite depositata sul campione. Anche dopo tre depositi consecutivi si ha una sostanziale sovrapposizione dei valori misurati. Riducendosi, di conseguenza, la trasmittanza spettrale si ha un indicativo incremento dell'assorbanza solare della superficie e, in condizione reale d'irraggiamento della superficie, della sua temperatura superficiale;
- Tutti i campioni addizionati di polvere di alluminio presentano una riflettanza spettrale e integrata solare aumentata, rispetto ad altri campioni che presentano analoghi valori di trasmittanza solare integrata;
- Tutti i campioni addizionati di Biossido di Titanio, così come nei casi dei capitoli precedenti, agiscono sulla componente UV dello spettro solare, ma anche sulla componente Vis e non uniformemente su tutte le lunghezze d'onda, al contrario di quanto avviene per i campioni trattati con resina addizionata con alluminio e grafite.

### 3.3.8 I campioni analizzati: applicazione di resine e ossidi di metallo

I campioni ottenuti in questa fase sono da considerarsi esplorativi per lo sviluppo di nuove miscele resina-pigmento in grado di controllare spettralmente gli apporti energetici relativi allo spettro solare.

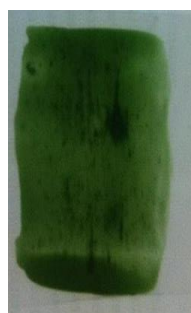
Per questa sperimentazione sono stati aggiunti alla resina in precedenza descritta pigmenti a base di ossidi di ferro e ossidi di cromo. Le percentuali di diluizione degli ossidi all'interno della resina sono variabili e sono comprese tra l'1 e il 15%.

Sono quindi stati definiti i seguenti codici campione, pari:

- CrVe\_1/2 – Membrana in ETFE accoppiata a trattamento in resina acrilica con pigmento a base di Triossido di Cromo Verde  $CrO_3$  PG17 + Nitroso PG8 (differenti concentrazioni);
- FeRs\_1/2/3 - Membrana in ETFE accoppiata a trattamento in resina acrilica con pigmento a base di Ossido di Ferro Rosso  $Fe_2O_3$  PY42 + PR101 (differenti concentrazioni);
- GiSi\_1/2 - Membrana in ETFE accoppiata a trattamento in resina acrilica con pigmento a base di Giallo Monoazoioico PY11 (differenti concentrazioni);
- BrVd\_1/2 - Membrana in ETFE accoppiata a trattamento in resina acrilica con pigmento a base di Ossido di Ferro Bruno  $Fe_2O_3$  PY42 + PR101 + PBk11(differenti concentrazioni).



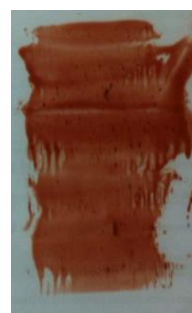
CrVe\_1



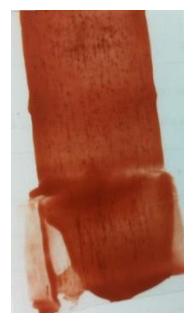
CrVe\_2



FeRs\_1



FeRs\_2



FeRs\_3

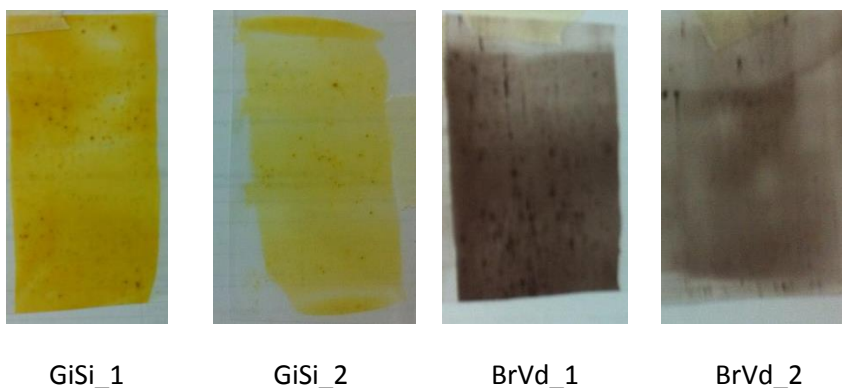


Fig. 50 - Campioni con applicazione di resine e colori a base di ossidi di metallo

I campioni sono stati misurati, tramite spettrofotometro Perkin Elmer Lambda™ 950, per ottenere i valori di:

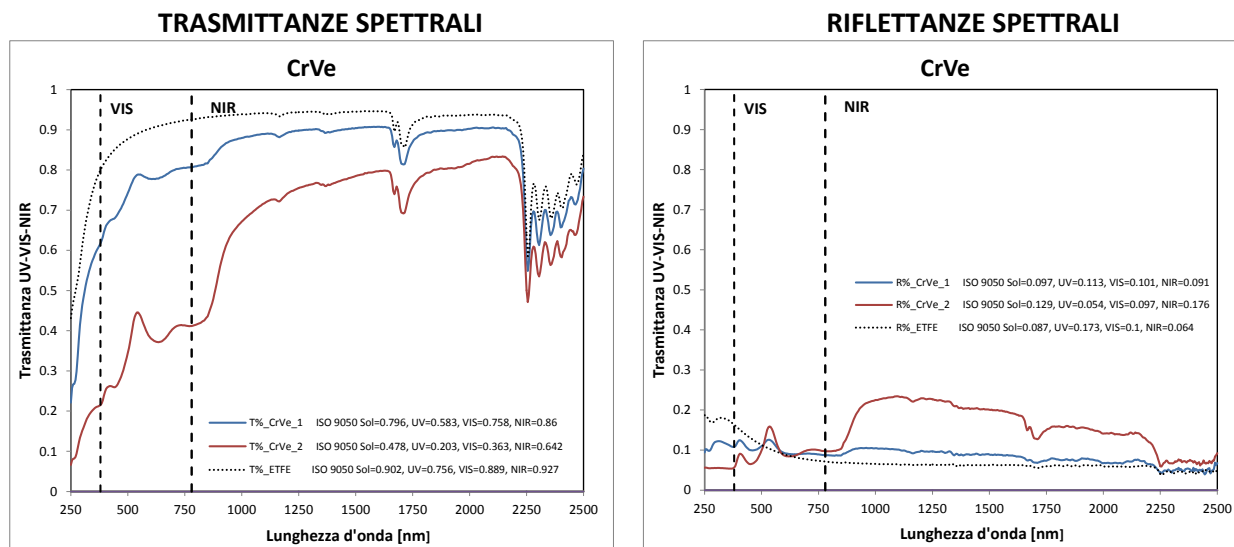
- Trasmittanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm);
- Riflettanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm) per il lato front del campione;

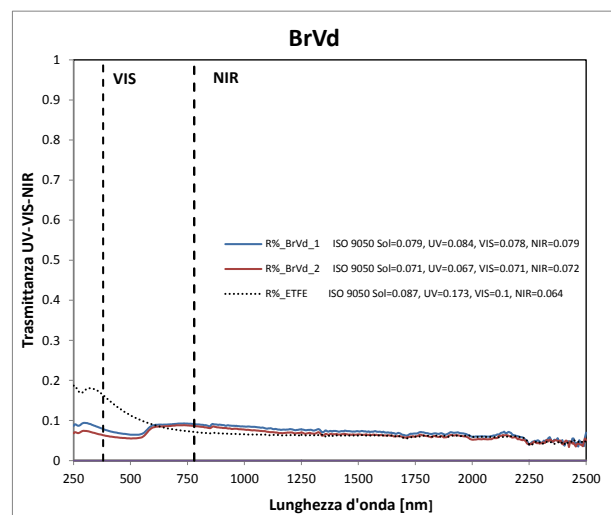
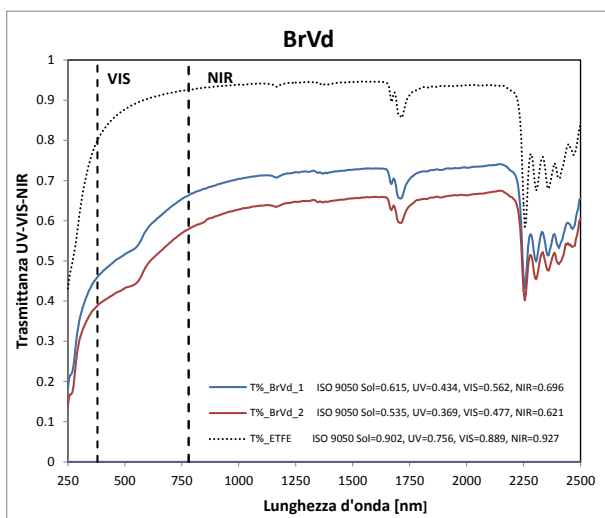
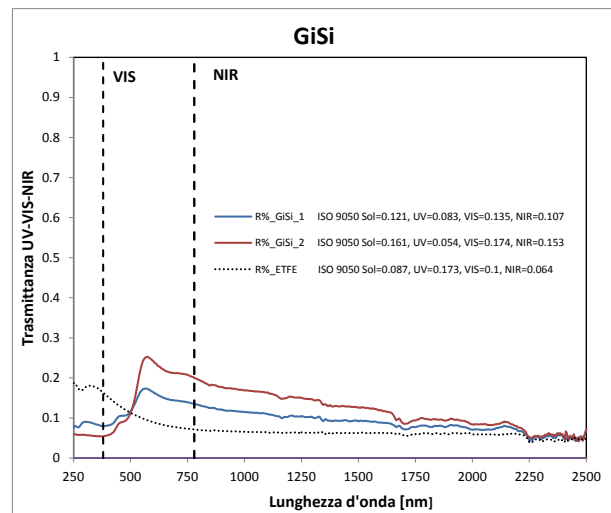
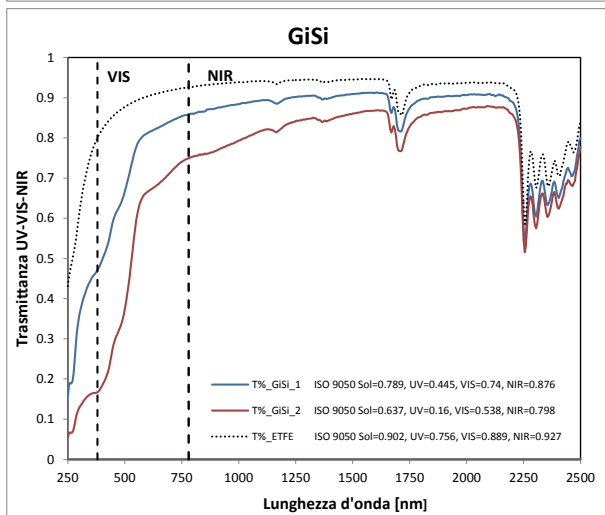
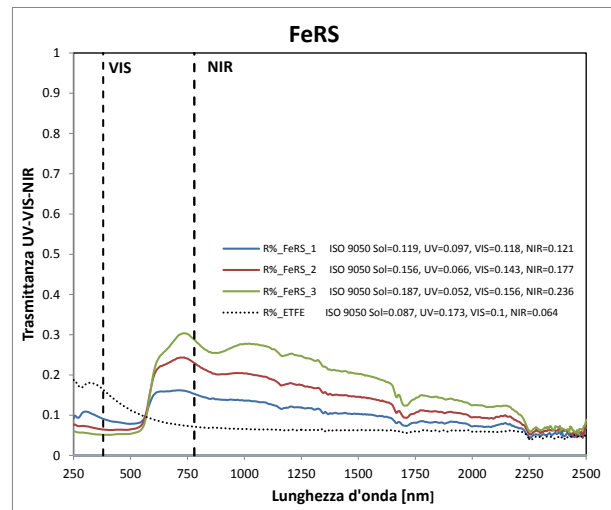
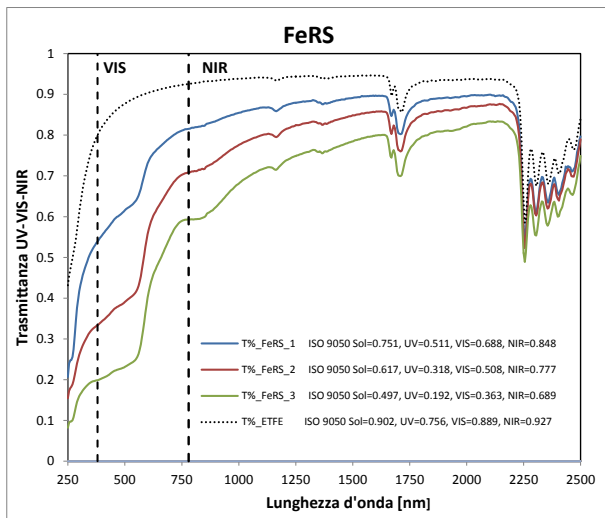
In seguito e per ognuno dei campioni, sono stati calcolati secondo ISO 9050 (air mass 1.5) i valori integrati di:

- trasmittanza ( $\tau_e$ );
- riflettanza front ( $\rho_e_f$ );
- trasmittanza luminosa ( $\tau_v$ );

### 3.3.9 Misure spettrali e valori integrati: resina acrilica e polveri monocomponente di ossidi di ferro e cromo

Di seguito si riportano i grafici che mostrano comparativamente le caratteristiche spettrali di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa UV-Vis-NIR 250-2500 nm, misurate con uno spettrofotometro Perkin Elmer Lambda™ 950 e sfera integratrice da 15 cm. In sovrapposizione al grafico delle caratteristiche spettrali dei campioni si riportano le caratteristiche della membrana in ETFE non trattata.





### 3.3.10 Conclusioni

Com'è possibile notare dai grafici spettrali prima riportati e com'era lecito aspettarsi i differenti trattamenti determinano una risposta spettrale di trasmittanza e riflettanza molto differente a seconda della tipologia di pigmento impiegata e del suo colore, infatti:

- La deposizione dei trattamenti superficiali è particolarmente complicata, poiché è difficile riuscire a mantenere un adeguato controllo dell'omogeneità del trattamento con il procedimento realizzativo proposto e presentato all'inizio del capitolo
- Come si può notare dalle immagini è sempre presente una quota parte di pigmento non completamente inglobato all'interno della matrice della resina.
- Considerando i valori integrati di  $\tau_e$ ,  $\alpha_e$  e  $\rho_e$  (Fig. 51), si nota come tutti i pigmenti a base sia di ossido di Cromo che di Ossido di Ferro siano caratterizzati dalla sostanziale invarianza della riflettanza solare anche in caso di notevole aumento della concentrazione del pigmento all'interno della resina. Maggiore è la sua concentrazione minore è la trasmittanza solare e maggiore l'assorbanza. A parità di trasmittanza solare, il Verde (CrVe\_2) è il trattamento caratterizzato dalla assorbanza solare più elevata;

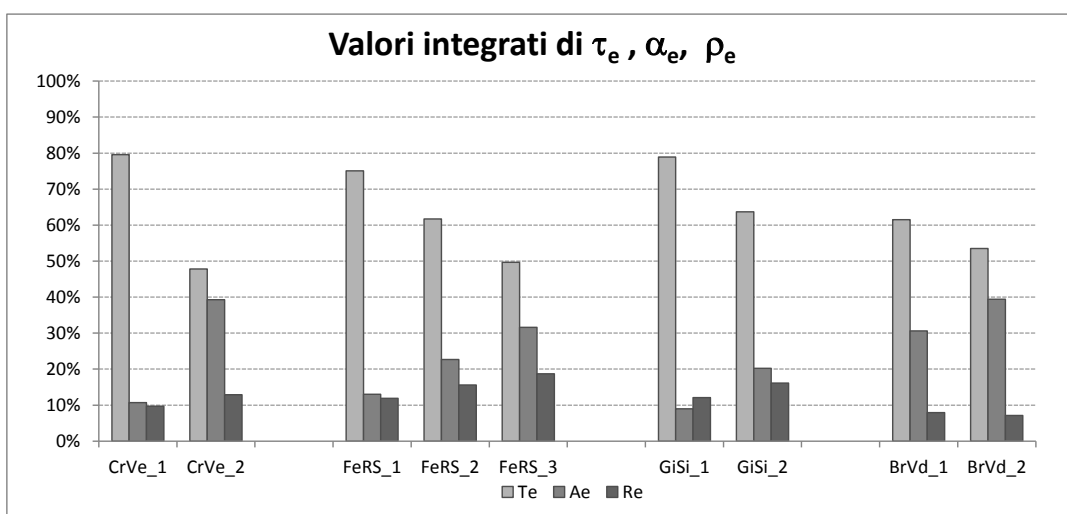


Fig. 51 - Valori integrati di  $\tau_e$ ,  $\alpha_e$  e  $\rho_e$  secondo ISO 9050 (air mass 1.5)

- Come si può osservare nel grafico in Fig. 52, i campioni CrVe\_2 e FeRS\_3 hanno trasmittanza solare pressoché identica ( $\tau_e = 0.478$  a fronte di  $0.497$ ). I valori di trasmittanza visibile  $\tau_v$  (D65) sono invece molto differenti, attestandosi a  $0.400$  per il Verde e a  $0.296$  per il Rosso. Per quanto riguarda il comportamento nella banda del NIR il verde con ossidi di Cromo tende ad assorbire circa il 50% in più rispetto all'analogica soluzione in Rosso con Ossidi di Ferro ( $0.182$  a fronte di  $0.075$ ) così come la Riflettanza del Rosso è sempre maggiore di circa il 30%.

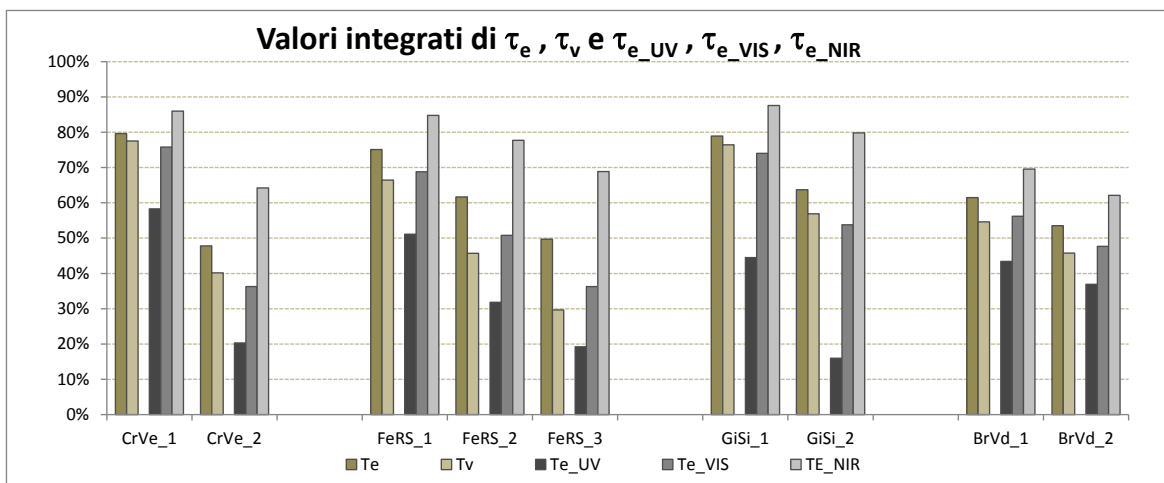


Fig. 52 - Valori integrati di  $\tau_e$ ,  $\tau_v$  secondo ISO 9050 (air mass 1.5), Valori integrati di  $\tau_{e\_UV}$ ,  $\tau_{e\_VIS}$ ,  $\tau_{e\_NIR}$

### 3.3.11 I campioni analizzati: applicazione di SolGel additivato con Biossido di Titanio 1%

La procedura di seguito presentata prevede l'applicazione di Sol Gel su una o entrambe le facce di un campione di ETFE trasparente spessore 200 mm.

Il Sol semitrasparente è a base acquosa di biossido di titanio nano cristallino, comunemente utilizzato per fornire proprietà autopulenti a componenti edilizi.

La composizione del Sol impiegato è la seguente:

	Concentrazione
H <sub>2</sub> O	90-95%
TiO <sub>2</sub>	1-2%
Silice funzionalizzata	1-2%
Isopropyl-alcohol	3%

**Tabella 8 - Composizione di SolGel a base di Biossido di Titanio**

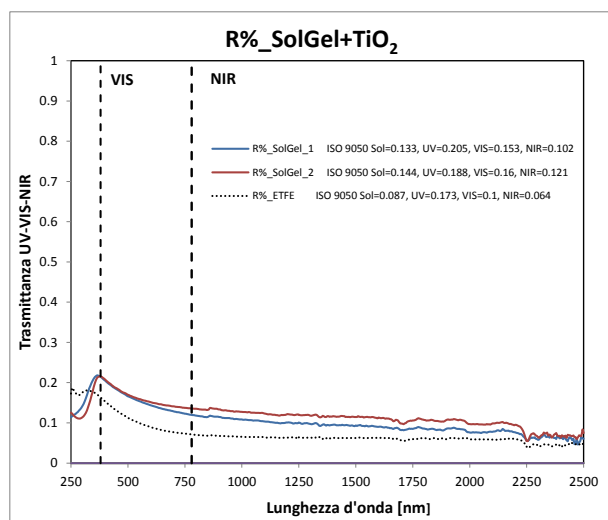
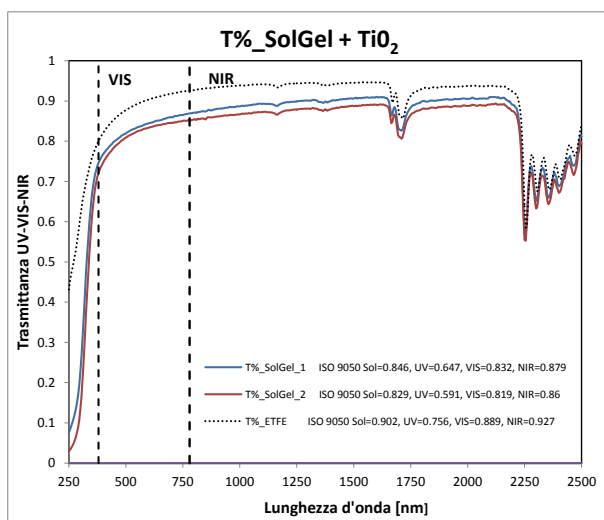
I campioni realizzati sono stati i seguenti:

- SolGel\_1 – Membrana di ETFE con applicazione di SolGel, tramite pistola a spruzzo (Spraying), su una delle facce del campione
- SolGel\_2 – Membrana di ETFE con applicazione di SolGel su entrambe le facce tramite immersione completa (dipping) del campione all' interno del Sol

I campioni sono stati in seguito depositi in forno a 80 °C e umidità controllata per 72 h, per permettere il consolidamento del Sol sulla superficie dell'ETFE.

### 3.3.12 Misure spettrali e valori integrati: applicazione di SolGel additivato con Biossido di Titanio 1%

Di seguito si riportano i grafici che mostrano comparativamente le caratteristiche spettrali di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa UV-VIS-NIR 250-2500 nm, misurate con uno spettrofotometro Perkin Elmer Lambda 950 e sfera integratrice da 15 cm. In sovrapposizione al grafico delle caratteristiche spettrali dei campioni si riportano le caratteristiche della membrana in ETFE non trattata.



### 3.3.13 Conclusioni

Applicando Biossido di Titanio TiO<sub>2</sub> nanostrutturato si nota come la risposta spettrale del campione sia, riguardo ai valori integrati, analoga a quella valutata nel capitolo precedente per i trattamenti con resina acrilica e Biossido di Titanio. La migliore uniformità del prodotto depositato, così come la cottura del pezzo in forno, contribuisce alla migliore adesione al supporto, e alla migliore regolarità nella realizzazione dei campioni.

### 3.4 Stampa ecosolvent su ETFE

Un'altra tipologia di trattamento superficiale, prevista anche in questo caso per l'ETFE trasparente da 200 µm, è la stampa ecosolvent con colori RGB (Red-Green-Blue).

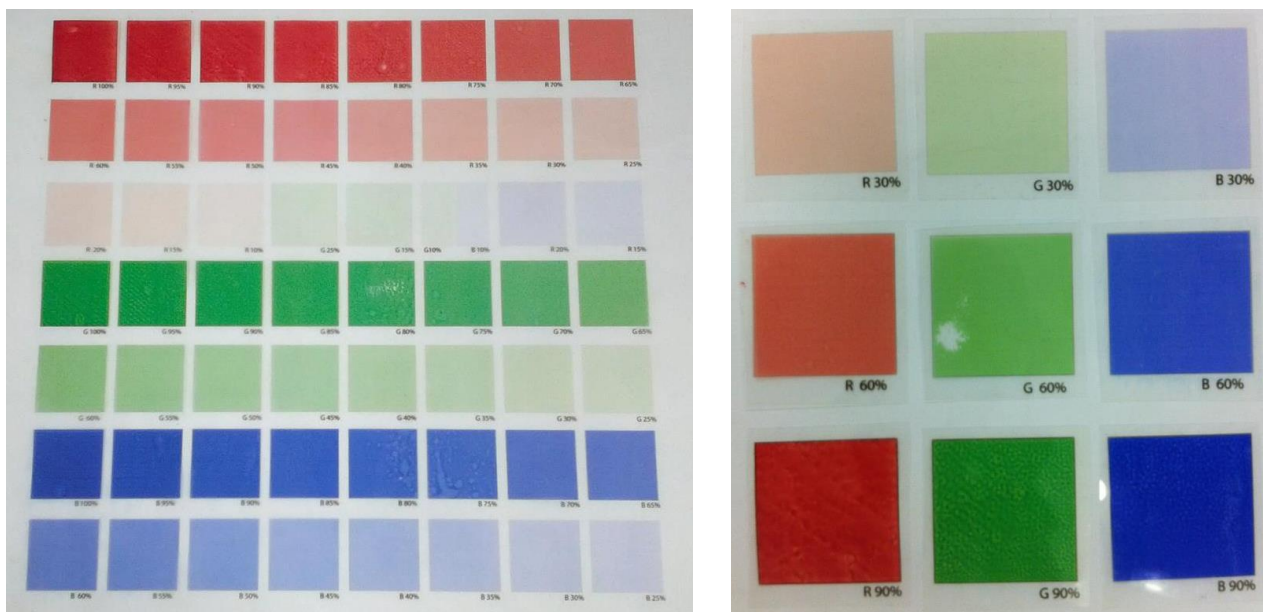
Tale tecnologia di stampa è normalmente utilizzata per la deposizione di colore su superfici tessili e membrane plastiche continue.

Riportiamo la composizione dei principali colori degli inchiostri utilizzati per la stampa.

Colore	Composizione	Contenuto [%]
Giallo	bis(2-Etossietil) etere	70-80
	γ-butilrolattone	<10
	(2-metossimetiletossi)propanolo	<10
	Pigmento a base di Nickel	<10
	Resina sintetica	<10
	Additivi	<10
Magenta	bis(2-Etossietil) etere	70-80
	γ-butilrolattone	<10
	(2-metossimetiletossi)propanolo	<10
Ciano	bis(2-Etossietil) etere	70-80
	γ-butilrolattone	<10
	(2- metossimetiletossi)propanolo	<10

**Tabella 9 - Composizione inchiostro di stampa ecosolvent**

Per ognuno dei colori, e con la massima risoluzione di stampa pari a 900 dpi, sono stati realizzati dei campioni di 50 x 50 mm con differenti densità di colore. La densità minima prevista è pari al 10%, la massima è pari al 100%. Tutti gli step intermedi di densità del colore hanno passo pari al 10%.



**Fig. 53 - (sinistra) L'intera palette dei colori stampati su ETFE. (destra) Densità e colori analizzati e riportati all'interno del report Red-Green-Blue con densità 30%-60%-90%**

I campioni sono stati misurati, tramite spettrofotometro Perkin Elmer Lambda™ 950, per ottenere i valori di:

- Trasmittanza spettrale UV-VIS-NIR (250 – 2500 nm);



- Riflettanza spettrale UV-Vis-NIR (250 – 2500 nm) per il lato front del campione;

Successivamente e per ognuno dei campioni, sono stati calcolati secondo ISO 9050 (air mass 1.5) i valori integrati di:

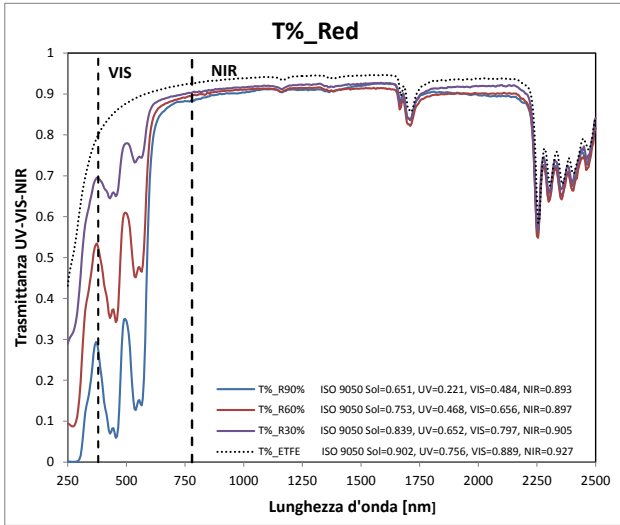
- trasmittanza ( $\tau_e$ );
- riflettanza front/back ( $\rho_{e_f}$ );
- trasmittanza luminosa ( $\tau_v$ );

#### 3.4.1 Misure spettrali e valori integrati

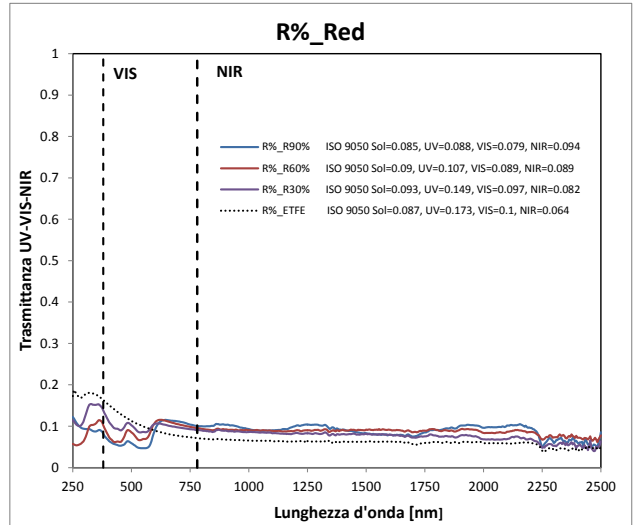
Di seguito si riportano i grafici che mostrano comparativamente le caratteristiche spettrali di trasmittanza, riflettanza e riflettanza diffusa UV-Vis-NIR 250-2500 nm. In sovrapposizione al grafico delle caratteristiche spettrali dei campioni si riportano le caratteristiche della membrana in ETFE non trattata.

Si riportano i risultati per tutti i colori analizzati, ma solo per tre densità caratteristiche pari a 30-60 e 90%.

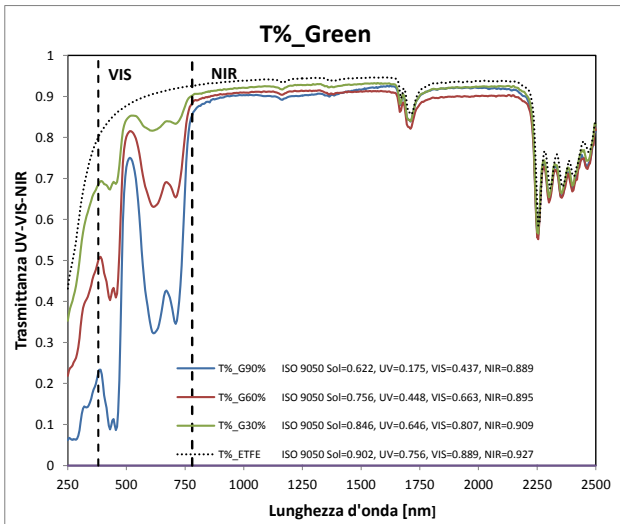
TRASMITTANZE SPETTRALI



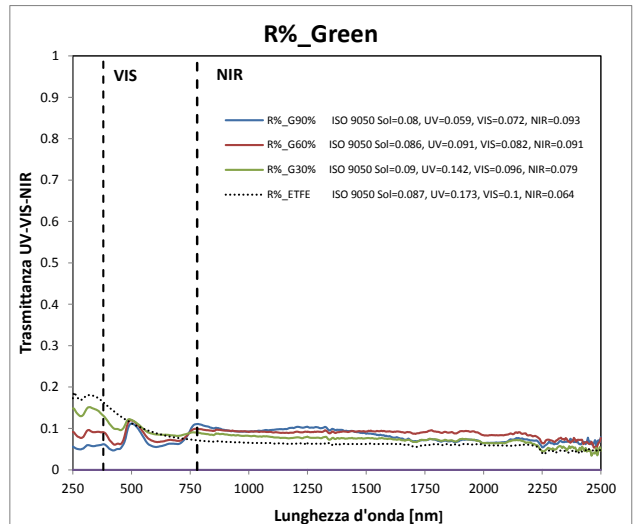
RIFLETTANZE SPETTRALI



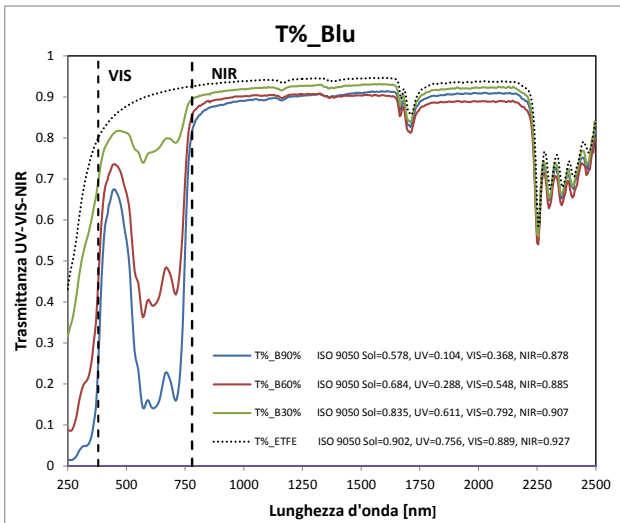
T%\_Green



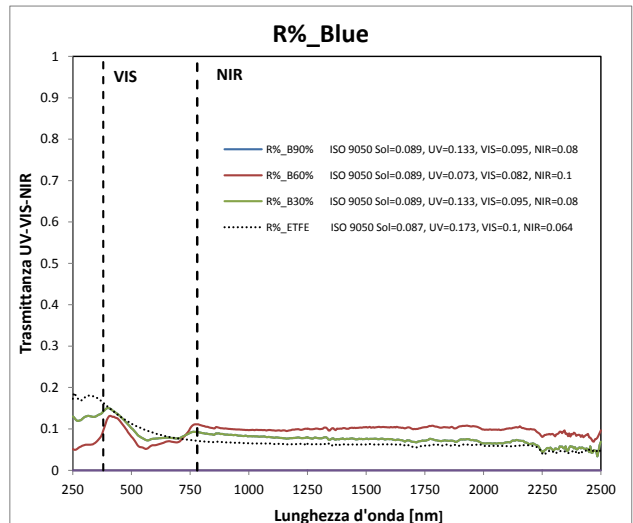
R%\_Green



T%\_Blue

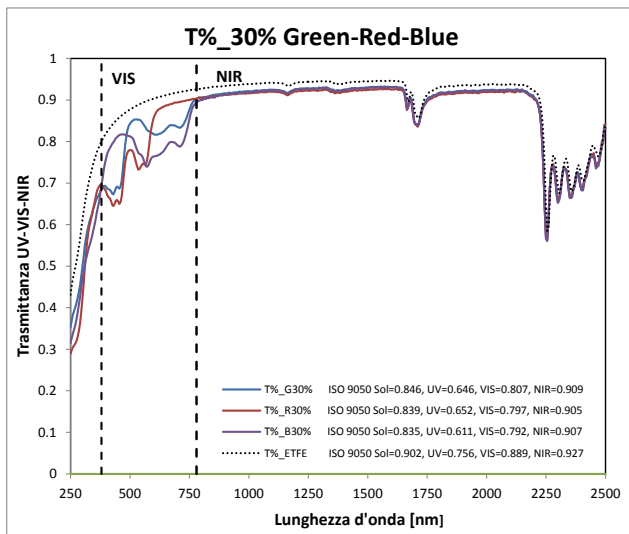


R%\_Blue

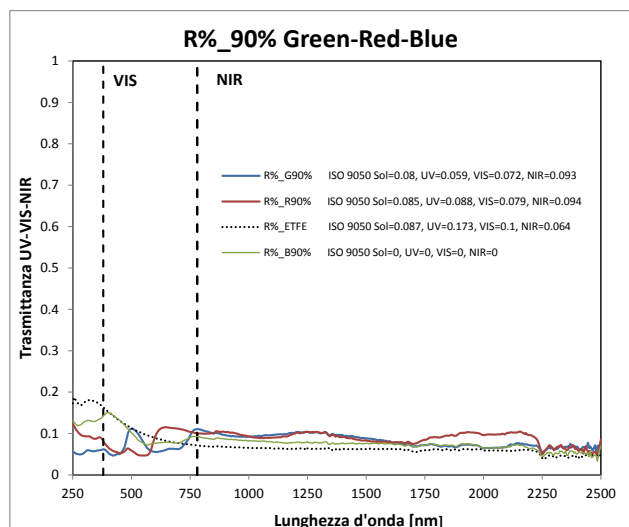
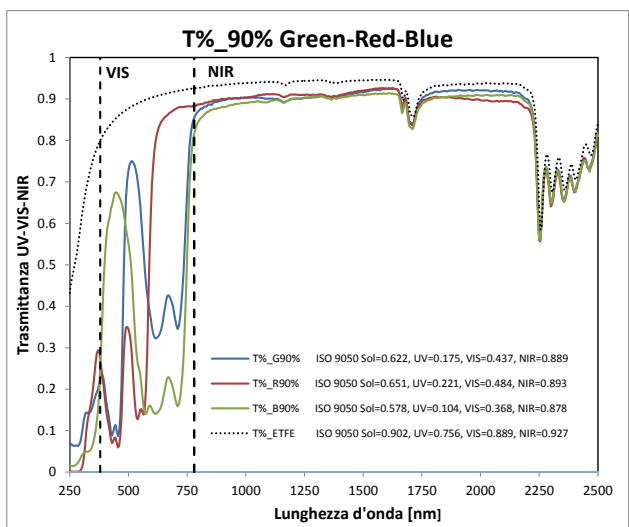
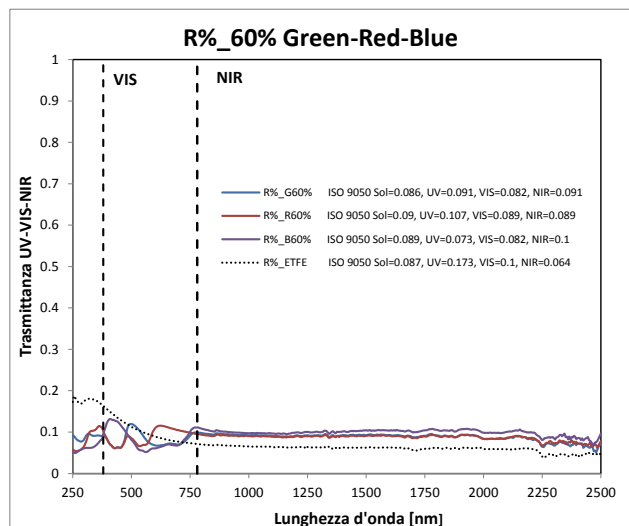
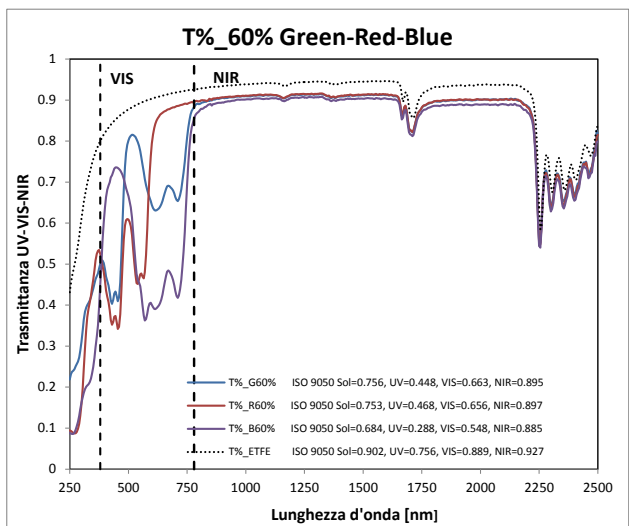
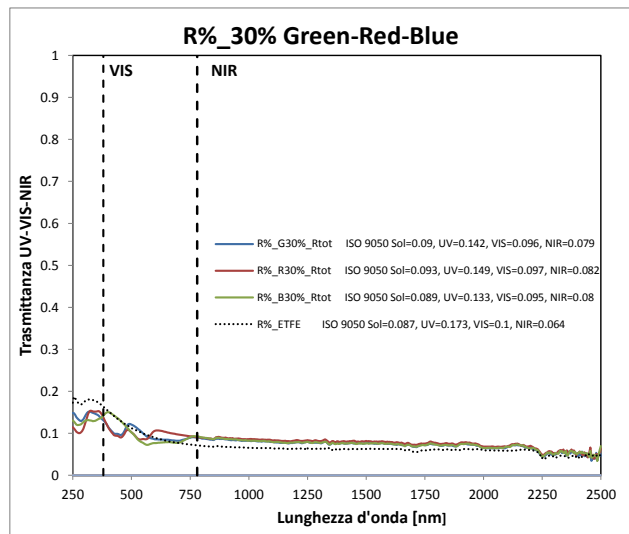


### 3.4.2 Misure spettrali e valori integrati: Confronto tra differenti colori a parità di densità del colore

#### TRASMITTANZE SPETTRALI



#### RIFLETTANZE SPETTRALI



### 3.4.3 Conclusioni

Osservando i grafici spettrali di riflettanza e trasmittanza dei campioni si nota che:

- Gli inchiostri impiegati per la stampa interferiscono principalmente con la quota parte UV (250-380 nm) e visibile VIS (380-780 nm) dello spettro solare. La riduzione della trasmittanza solare nel campo del NIR (> 780 nm) rimane sempre confinata all'interno del 3-5% massimo, indipendentemente dal colore utilizzato e dalla densità di stampa;
- L'assorbanza solare  $\alpha_e$  dipende principalmente dalla densità del colore depositato (percentuali dal 10 al 100%), piuttosto che dalla tipologia di colore applicato sulla membrana. Per tutte e tre le componenti RGB gli scostamenti, a parità di densità e con differenti colori possono essere trascurabili. C'è proporzionalità diretta tra la densità e il valore di assorbanza solare. Se si raddoppia la percentuale di colore, si duplica anche l'assorbanza solare. Il colore blu è il colore caratterizzato dal maggiore assorbimento solare. Così come nei casi in precedenza analizzati l'assorbanza solare deve essere controllata, congiuntamente alla trasmittanza solare, per evitare incrementi di temperatura superficiale delle membrane esposte alla radiazione solare, che possono ripercuotersi sulla percezione del comfort degli utenti all'interno degli ambienti confinati.
- La riduzione della componente UV e Vis dipende dalla qualità di stampa e direttamente proporzionale alla densità del colore che viene depositato sulla superficie di ETFE. All'aumentare della percentuale di colore depositato. Per ogni incremento assoluto della densità del colore pari al 30% si ha una riduzione della trasmittanza solare compresa tra il 10 e il 15%. La variabilità della percentuale dipende dal colore preso in esame;
- Se si riportano in un grafico (Fig. 54) i valori integrati di trasmittanza solare ( $\tau_e$ ) e trasmittanza visibile ( $\tau_v$ ) per tutti i campioni analizzati, ovvero per i colori Green, Red and Blue raggruppati in funzione della densità di stampa del colore. È possibile notare come, a parità di densità del colore, la trasmittanza solare e la trasmittanza visibile siano in sostanza identiche per i campioni su cui è stato depositato inchiostro di stampa verde, mentre sono notevoli differenze tra le caratteristiche solari e visibili per i colori Red e Blue. In particolare il rapporto tra la trasmittanza visibile e solare per il Blue è quasi in rapporto 1:2;

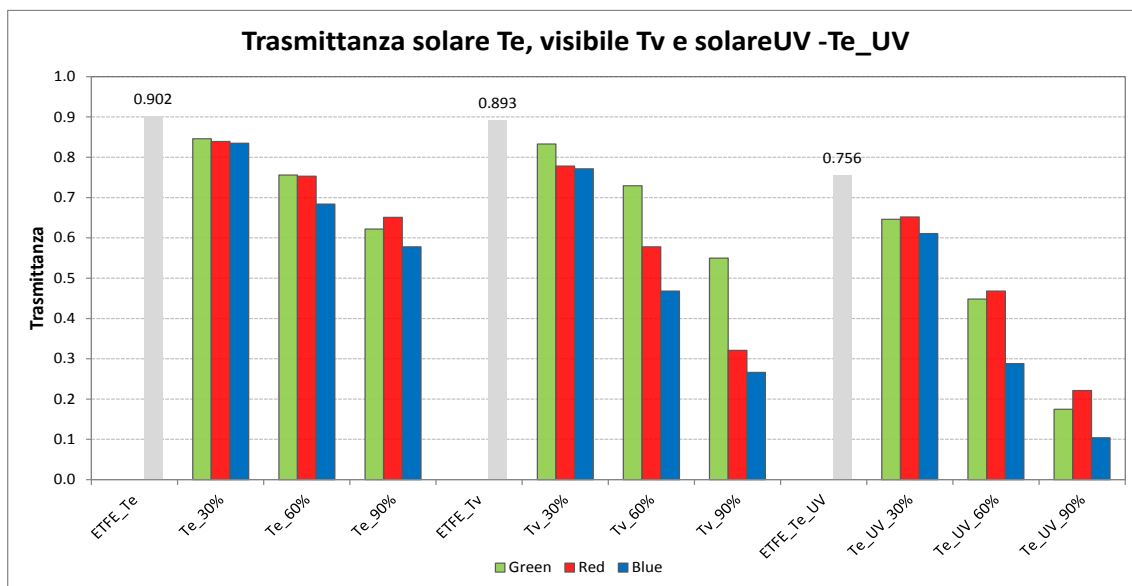


Fig. 54: Valori integrati di trasmittanza solare  $\tau_e$ , visibile  $\tau_v$  e trasmittanza solare nel campo dell'UV  $\tau_{e\_UV}$

- Come è possibile notare in Fig. 54, la stampa con colore Blue è la più efficace nel ridurre la quota parte UV (250-380 nm) dello spettro solare. Ad esempio, con una saturazione del colore del 60% il Rosso riduce l'UV del 38%, il Verde del 41%, e il Blu il 62%, rispetto all'ETFE non trattato;

- Per quanto la trasmissione visibile venga moderatamente modificata, specie per modeste densità di colore, si ricorda come l'uso di questi inchiostri su chiusure verticali e orizzontali in ETFE possa contribuire a modificare la percezione dei colori, da parte dell'utenza, nell'ambiente confinato;
- L'analisi dei colori di stampa, comunemente impiegati per la realizzazione di scritte pubblicitarie e stampe su membrane e tessuti, ha permesso di comprendere come questi inchiostri possano essere impiegati per la realizzazione di serigrafie stampate direttamente su membrane in ETFE. Si ritiene che tali accorgimenti possano essere utili per combinare la valenza architettonica/artistica/pubblicitaria di una superficie presumibilmente temporanea con il miglioramento delle sue prestazioni ottico energetiche.
- Elevate densità di colore creano problemi di asciugatura e di uniformità del colore sul supporto.

## 4 Sviluppo di un modello funzionale adattivo a basso impatto

Gli "Smart Materials" sono materiali caratterizzati dalla capacità di variare alcune loro proprietà se sottoposti a stimoli esterni, quali stress meccanici, variazioni di temperatura, variazione di umidità, variazione di PH, variazione di campi elettrici e/o campi magnetici.

Impiegare questo tipo di materiali all'interno di schermature solari mobili (interamente o come parte integrante) conferisce ai dispositivi di controllo solare un comportamento adattivo al variare della radiazione solare incidente sulla facciata degli edifici, indipendente dal controllo degli occupanti, eliminando o limitando così la presenza di meccanismi di azionamento, nonché di motori elettrici. Ciò comporta la riduzione dei consumi elettrici e la possibilità di guasti degli stessi, con conseguente riduzione dei costi iniziali e di gestione che si hanno nei sistemi tradizionali.

### 4.1 Gli smart o adaptive materials

Esistono diverse tipologie di "Smart Materials", alcuni dei quali sono già di larga diffusione:

- I materiali piezoelettrici: producono tensione elettrica quando subiscono una forza, tipicamente un urto;
- Le leghe e i polimeri a memoria di forma: sono materiali che modificano la loro geometria se sottoposti a stimoli termici o elettrici;
- I materiali magnetostrittivi: possono cambiare la forma se sottoposti a un campo magnetico e, viceversa, possono generare campi magnetici se sottoposti a stress meccanico;
- Le leghe a memoria di forma magnetiche: ritornano alla loro forma originale se magnetizzate;
- I polimeri sensibili al pH si allungano o accorciano al variare del pH del liquido in cui sono immersi;
- I materiali halocromici: sono materiali che cambiano colore in base all'acidità;
- I materiali cromici: cambiano colore se sottoposti a variazioni termiche, ottiche o elettriche;
- I ferrofluidi cambiano la forma se esposti a campi magnetici.
- I materiali fotomeccanici cambiano forma se esposti alla luce.
- I materiali autoriparanti hanno la capacità di recuperare piccoli danni dovuti all'utilizzo comune, aumentando la durata.
- Gli elastomeri dielettrici sono polimeri in grado di allargarsi (fino al 300% delle dimensioni originali) se sottoposti a un campo elettrico.

Di quelli elencati, quelli che più ci interessano per le loro caratteristiche affini all'impiego in schermature solari, e che saranno analizzati nei successivi paragrafi, sono:

- Thermo-bimetals (TBM);
- Materiali a memoria di forma (SMM), più nello specifico:
  - Leghe metalliche a memoria di forma (SMA);
  - Polimeri a memoria di forma (SMP).

#### 4.1.1 Thermostatic Bimetals

I “Thermostatic Bimetals” (o thermo bi-metals) sono il risultato dell’accoppiamento di due materiali con proprietà differenti, che sottoposti a stimolo termico variano la loro lunghezza causando l’inflessione dell’elemento accoppiato. Infatti materiali con diverso coefficiente di espansione termica, se sottoposti a stimolo termico, si dilatano in modo differente, e se connessi causano l’inflessione dei profili (come schematizzato in figura).



Fig. 55 – Strisce disgiunte di materiali diversi prima e dopo (parte tratteggiata) il riscaldamento

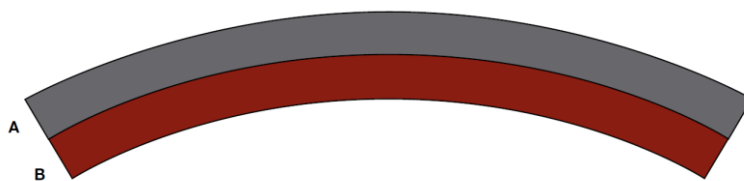


Fig. 56 – Strisce connesse di materiali diversi sottoposti a stimolo termico

Si ha quindi che per realizzarli vengono selezionati materiali con coefficienti di dilatazione termica notevolmente differenti ma con modulo di elasticità relativamente simile. Dei due elementi metallici il lato che sviluppa espansione termica maggiore è chiamato “componente attivo”, ed è generalmente costituito da una lega contenente Nichel, Ferro, manganese o Cromo in quantità differenti. L’elemento con minore espansione invece è chiamato “componente passivo” e solitamente è costituito da una lega Ferro-Nichel. Alcune tipologie di accoppiamento inoltre prevedono l’introduzione di un elemento separatore, in Nichel o Rame, per ridurre la resistività elettrica. È da osservare che una geometria in cui prevalga la snellezza dell’elemento favorisce una curvatura maggiore [25].

#### 4.1.2 Shape memory Polymers

Gli “Shape memory polymers” (SMP) sono polimeri che se sottoposti a stimoli esterni hanno la capacità di modificare la loro forma passando da uno stato deformato (forma temporanea) alla loro forma originale (forma permanente). In funzione degli stimoli esterni a cui rispondono possono essere divisi in tre diverse categorie:

- SMP attivati termicamente;
- SMP attivati elettricamente;
- SMP attivati da stimoli luminosi.

Ognuna di queste categorie è poi divisa in due sottocategorie in base alla risposta del materiale agli stimoli esterni: cambiamento della forma o del modulo elastico.

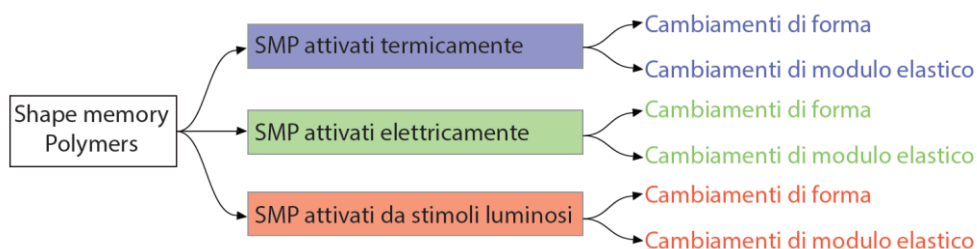


Fig. 57 – Tipologie di Shape memory polymers.

Tali materiali vengono prodotti attraverso un comune processo di formatura (stampaggio a compressione o a iniezione) che conferisce al polimero una forma permanente al di sopra di una temperatura di transizione.

Dopo che il polimero è stato convenzionalmente processato ad alta temperatura per ricevere la forma permanente, cioè la forma che si vuole avere durante l'uso (fase di formatura), viene deformato per poi fissarne la forma temporanea, che mantiene anche a temperatura ambiente: tale procedimento è chiamato "fase di programmazione". Nel momento in cui si va a scaldare di nuovo a temperature superiori alla temperatura di transizione si induce l'effetto memoria di forma e di conseguenza si osserva il recupero della forma permanente, che era stata immagazzinata precedentemente, accompagnato da un repentino abbassamento del modulo elastico.

Tali materiali permettono geometrie adattabili ad ogni esigenza, non essendo quindi vincolati a geometrie base quali molla e filo.

#### 4.1.3 Shape Memory Alloy

Si definiscono "Leghe a memoria di forma" (Shape Memory Alloy, SMA) le leghe metalliche che presentano le particolari proprietà:

- Effetto memoria di forma (SME): ovvero la capacità di "ricordare" una particolare geometria imposta durante il processo produttivo;
- Superelasticità (SE): ovvero la capacità di subire grandi deformazioni potendole poi recuperare completamente in fase di scarico.

Entrambe queste proprietà sono da attribuirsi ad una transizione di fase martensitica termoelastica indotte durante il processo produttivo.

Le principali leghe a memoria di forma sono: NiTi, CuZnAl e CuAlNi.

Proprietà	NiTi (48-52% Ni)	CuAlNi (10-14% Al, 2-5% Ni)	CuZnAl (15-30% Zn, 3-7% Al)
Temperatura di fusione (°C)	1300	650÷1020	1020÷1100
Densità (g/cm <sup>3</sup> )	6,45	7,64	7,12
Conducibilità termica (W/cm°C)	austenite: 18 martensite: 8,5	120	30÷43
Capacità termica(J/Kg°C)	837	400	373÷574
Modulo di Young (GPa)	austenite: da 70 a 100 martensite: da 28 a 41	fase beta: 72 martensite: 70	fase beta: 85 martensite: 80
Limite di Snervamento (MPa)	austenite: da 200 a 700 martensite: da 70 a 150	fase beta: 350 martensite: 80	fase beta: 400 martensite: 80
Ultimate tensile strength (MPa)	900(annealed)÷1900 (not annealed)	600	500÷800
Temperatura di trasformazione (°C)	-200÷110	< 120	< 200
Shape Memory Strain	max 8,5%	4%	4%
Isteresi termica (°C)	12÷50	15÷25	15÷20

**Tabella 10 - Confronto tra le proprietà di diverse leghe metalliche a memoria di forma [26] [27]**

#### 4.1.4 Smart Materials a confronto

Al fine di comprendere le differenze prestazionali dei differenti Smart Materials analizzati è stata elaborata la tabella che segue:

PROPRIETA'	TBM Thermo Bi-metals	SMA Shape Memory Alloys	SMP Shape Memory Polymers
Densità [Kg/m <sup>3</sup> ]	6000 ÷ 8000	6000 ÷ 8000	900 ÷ 1200
Allungamento percentuale massimo	-	Fino a 8%	Fino a 800%
Allungamento percentuale d'esercizio	-	~ 3%	~ 300 ÷ 400 %
Coefficiente specifico di deflessione [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	5÷25	-	-
Coefficiente specifico di curvatura [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	9÷45	-	-
Sforzo richiesto per la deformazione [MPa]	-	50 ÷ 200	1 ÷ 3
Sforzo generato durante il recupero [N]	-	150 ÷ 300	1 ÷ 3
Sforzo generato [MPa]	2÷100	-	-
Temperatura di transizione [°C]	-20÷550	-10 ÷ 100	-10 ÷ 100
Tempo di recupero della deformazione	< 1 s	< 1 s	1 s ÷ minuti
Condizioni di produzione	> 1000°C alta pressione	> 1000°C alta pressione	< 200°C bassa pressione
Costi [€/Kg]	?	~ 550	< 22

**Tabella 11 - Proprietà di diversi Smart Materials a confronto [28] [29]**

In Tabella 12 sono elencate le principali applicazioni degli SM nei diversi settori di utilizzo.



SM	CAMPI DI UTILIZZO	UTILIZZO
TBM	Edilizia	Relé termici a sovraccarico
		Termometri
		Termostati
	Misurazione	Orologi
SMP	Aerospaziale	Nucleo strutturale componenti
		Isolamento acustico
		Strutture alari
		Strutture dispiegabili
		Strutture passivo-adattive
		Paraurti
		Stampi
	Medico	Stent
		Sutura chirurgica
		Calibratori per valvole
Altro	Giocattoli riformabili	
SMA	Automobilistico/ Aerospaziale	Body actuators
		Attuatori per cruscotti
		Attuatori per sedili
		Serrature e chiusure
		Attuatori per climatizzatori
		Tappi ermetici
		Anelli di blocco
	Elettrodomestici	Attuatori elettrici
		Valvole per rubinetteria
		Relé termici o a sovraccarico
	Elettronica ed edilizia	Sistemi piezoelettrici
		Sistemi di autofocus
		Sistemi di Zoom
	Elettronica	Otturatori fotografici
		Stent
		Apparecchio odontoiatrico
	Medico	Sonde guida
		Calibratori per valvole
		Divaricatori
		Chiodi per osteosintesi

**Tabella 12 - Campi di utilizzo degli Smart Materials (SM)**

## 4.2 Stato dell'arte integrazione SM in schermature solari

Avendo illustrato le proprietà delle diverse tipologie di Smart Materials, di seguito è stata fatta una panoramica delle loro possibili applicazioni nell'ambito di sistemi di facciata. Si noti che delle tre tipologie di materiali affrontate, le tecnologie largamente applicate nel settore industriale sono quelle dei TBM e gli SMA, mentre gli SMP fanno parte di una vasta famiglia di materiali polimerici della quale si prevedono enormi possibilità di sviluppo, ma che attualmente hanno scarse applicazioni in ambito industriale, se non alcune applicazioni nel micro (come quelle biometriche), le quali, peraltro, non prevedono funzionamenti ciclici nella maggioranza dei casi.

Nei prossimi paragrafi mostreremo, quindi, sistemi di facciata che impiegano leghe metalliche a memoria di forma o termo bimetalli, indicando il grado di maturità della soluzione tecnica e il potenziale di sviluppo ulteriore. Dopo questa panoramica, sono delineate le tematiche di approfondimento sulle quali si deve concentrare lo studio per lo sviluppo di una tecnologia di schermatura solare basata sull'impiego degli smart materials.

### 4.2.1 Applicazioni / casi studio degli SM in facciata

Il primo passo è quello di fare una panoramica sullo stato dell'arte per quanto concerne l'applicazione di Smart Materials (prevalentemente SMA e TBM) in componenti di facciata, concentrandoci sulle schermature in particolare. I progetti analizzati sono i seguenti:

- B.1 – SmartScreen (Versione 1);
- B.2 – SmartScreen (Versione 2);
- B.3 – SmartScreen (Versione 3);
- B.4 – SMA Panel System (Output Devices);
- B.5 – TBM Double Glazed Panels;
- B.6 – TBM Bloom;
- B.7 – Compliant Shading Enclosure.

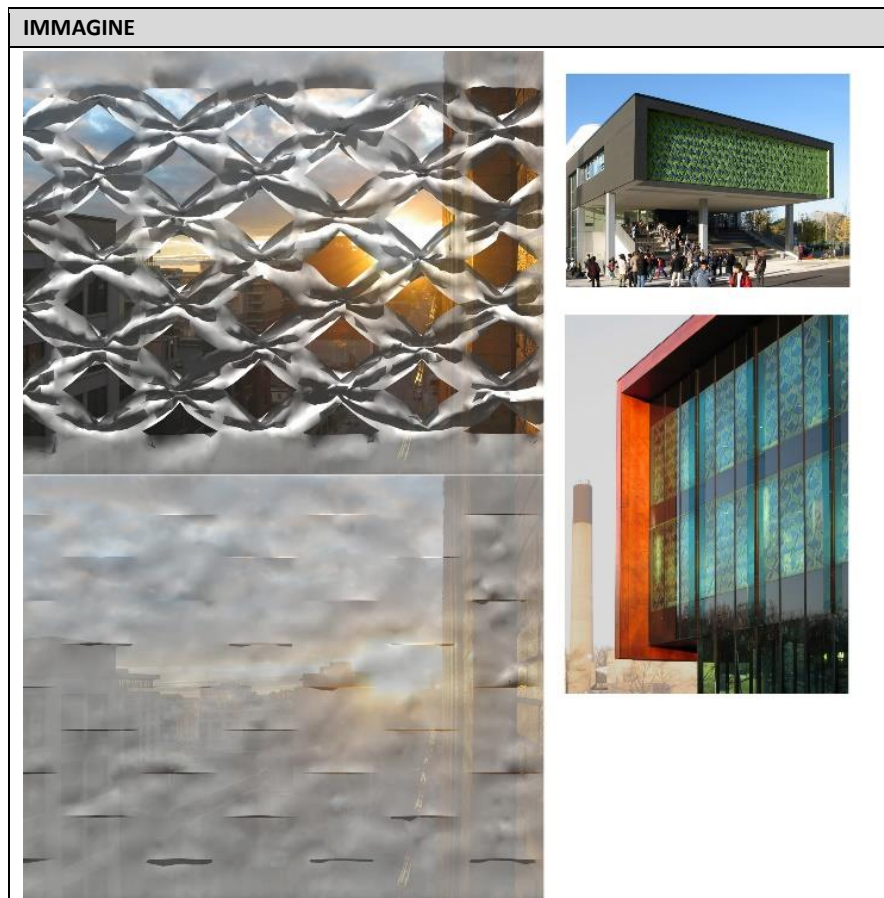
<b>TITOLO PROGETTO</b>	SmartScreen (Versione 1)	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	B.1
------------------------	--------------------------	----------------------------	-----

<b>DESCRIZIONE SINTETICA</b>
Sistema di tende interne con integrazione di materiali a memoria di forma che aprono o chiudono aperture tramite fili in SMA inseriti nella trama. L'attivazione avviene mediante stimolo elettrico o eventualmente temperatura.

<b>AMBITO EDILIZIO</b>
Facciata

<b>CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Tende con aperture

<b>POSIZIONAMENTO SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Interne



<b>AUTORE</b>
Decker Yeadon [30] [31]

<b>FONTI</b>
<a href="http://www.deckeryeadon.com/">http://www.deckeryeadon.com/</a> <a href="http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems">http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems</a>

<b>INTEGRAZIONE SMART MATERIAL</b>			
Tipologia	SMA	Morfologia elemento SM	Filo
Attuatore/Integrato	Integrato	Attivazione	Corrente elettrica (E. Joule) Temperatura
Deformazione/ corsa	~ 10 – 20 cm	Forze	Basse

<b>CARATTERISTICHE DEL SISTEMA</b>			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Si/No)	No
Pro	Rilevanza architettonica Gestione locale	Contro	Scarso controllo apporti solari Deformazioni tessuto
Limiti applicativi	Solo per schermature interne	Costo	n.d.

**Tabella 13 - Scheda applicazione: Smart Screen (Versione 1)**

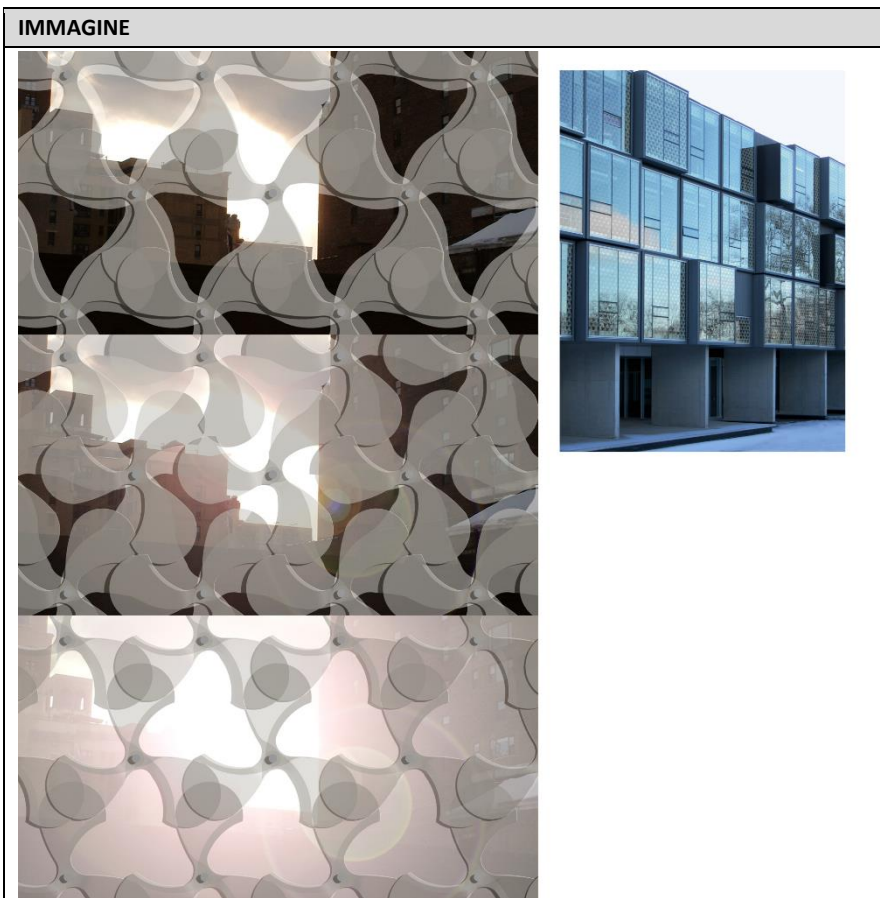
<b>TITOLO PROGETTO</b>	SmartScreen (Versione 2)	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	B.2
------------------------	--------------------------	----------------------------	-----

<b>DESCRIZIONE SINTETICA</b>
Sistema di schermatura solare elementi interni ad elica che hanno la possibilità di ruotare sovrapponendosi, funzionando analogamente ad un otturatore. Il materiale a memoria di forma è sotto forma di molle a spirale presenti nei punti di rotazione delle eliche. Attivazione a temperatura o elettrica.

<b>AMBITO EDILIZIO</b>
Facciata

<b>CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Elementi discreti a sovrapposizione

<b>POSIZIONAMENTO SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Interne



<b>AUTORE</b>
Decker Yeadon [30] [31]

<b>FONTI</b>
<a href="http://www.deckeryeadon.com/">http://www.deckeryeadon.com/</a> <a href="http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems">http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems</a>

<b>INTEGRAZIONE SMART MATERIAL</b>			
Tipologia	SMA	Morfologia elemento SM	Filo
Attuatore/Integrato	Attuatore	Attivazione	Corrente elettrica (E. Joule) Temperatura
Deformazione/ corsa	Qualche cm	Forze	Basse

<b>CARATTERISTICHE DEL SISTEMA</b>			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Si/No)	No
Pro	Rilevanza architettonica Gestione locale	Contro	Numerosi elementi in movimento Sovrapposizione materiale e sfregamento Accesso e manutenzione
Limiti applicativi		Costo	n.d.

Tabella 14 - Scheda applicazione: Smart Screen (Versione 2)

<b>TITOLO PROGETTO</b>	SmartScreen (Versione 3)	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	B.3
------------------------	--------------------------	----------------------------	-----

<b>DESCRIZIONE SINTETICA</b>
Sistema di schermatura solare interna costituita da due layer trasparenti in materiale sintetico con bande opache. Scorrendo l'uno sull'altro, i layer rendono opaca la schermatura. Il movimento è effettuato tramite un attuatore con molla in SMA e molla di contrasto attivato dalla temperatura interna dell'ambiente.

<b>AMBITO EDILIZIO</b>
Facciata

<b>CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Layer serigrafati scorrevoli a sovrapposizione

<b>POSIZIONAMENTO SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Interne

<b>AUTORE</b>
Decker Yeadon [30] [31]

<b>IMMAGINE</b>

<b>FONTI</b>
<a href="http://www.deckeryeadon.com/">http://www.deckeryeadon.com/</a> <a href="http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems">http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems</a>

INTEGRAZIONE SMART MATERIAL			
Tipologia	SMA	Morfologia elemento SM	Molla
Attuatore/Integrato	Attuatore	Attivazione	Temperatura (interna)
Deformazione/ corsa		Forze	Basse

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Si/No)	Sì
Pro	No richiesta energia Sistema automatico	Contro	Numerosi elementi in movimento Sovrapposizione materiale e sfregamento
Limiti applicativi	Solo per schermature interne Range ombreggiamento 50 a 100%	Costo	n.d.

Tabella 15 - Scheda applicazione: Smart Screen (Versione 3)

<b>TITOLO PROGETTO</b>	<b>SMA Panel System (Output Devices)</b>	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	<b>B.4</b>
------------------------	--	----------------------------	------------

**DESCRIZIONE SINTETICA**

Sistema di elementi schermanti interni che si flettono aprendosi e chiudendosi, governati da un complesso sistema di fili in SMA attivati elettricamente.

**AMBITO EDILIZIO**

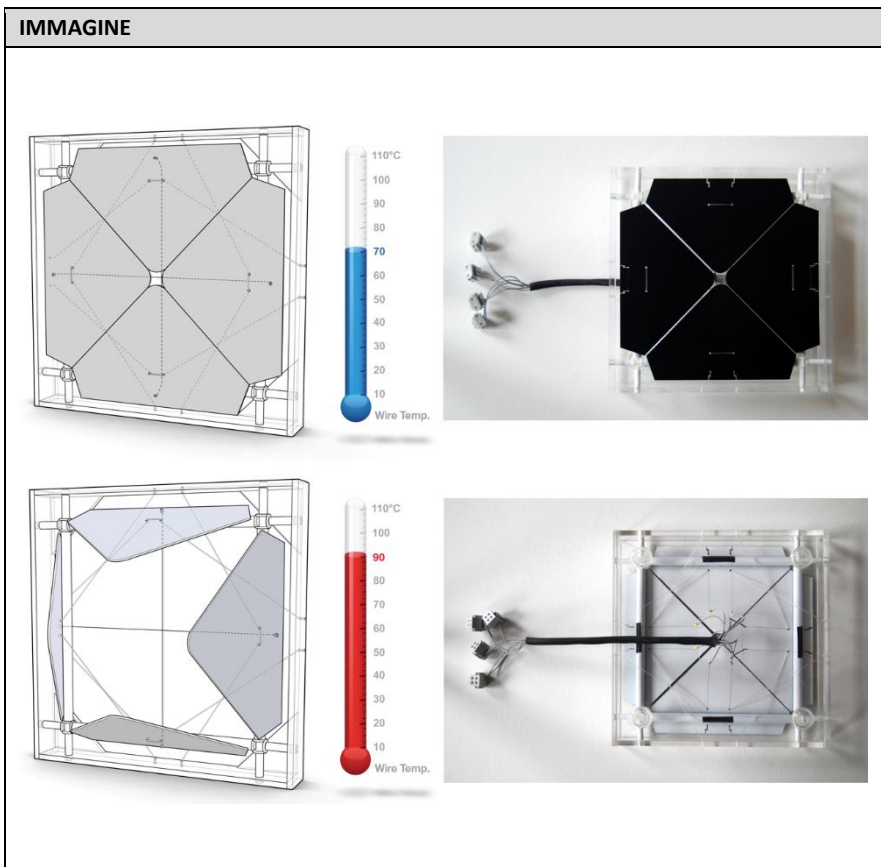
Facciata

**CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)**

Scurello con 4 pannelli triangolari

**POSIZIONAMENTO SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)**

Interne



**AUTORE**

Andrew O. Payne (corso MIT) [32]

**FONTI**

<http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/863.10/people/andy.payne/Asst9.html>

<b>INTEGRAZIONE SMART MATERIAL</b>			
Tipologia	SMA	Morfologia elemento SM	Filo
Attuatore/Integrato	Attuatore	Attivazione	Corrente elettrica (E. Joule)
Deformazione/ corsa	~ 10 – 20 cm	Forze	Medie

<b>CARATTERISTICHE DEL SISTEMA</b>			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Sì/No)	Sì
Pro	Rilevanza architettonica Gestione locale	Contro	Numerosi elementi in movimento Consumo energia elettrica Alto rischio di usura/rottura dei fili
Limiti applicativi	Difficile convertire in sistema funzionante a temperatura	Costo	n.d.

**Tabella 16 - Scheda Applicazione: SMA Panel System (Output Devices)**

<b>TITOLO PROGETTO</b>	TBM Double Glazed Panels	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	B.5
------------------------	--------------------------	----------------------------	-----

**DESCRIZIONE SINTETICA**

Sistema di elementi frangisole puntuali posizionati nell'intercapedine del vetrocamera e realizzati in materiali bimetallici che al variare della temperatura si flettono, sovrapponendosi così da variare la permeabilità alla luce della vetrata.

**AMBITO EDILIZIO**

Facciata

**CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)**

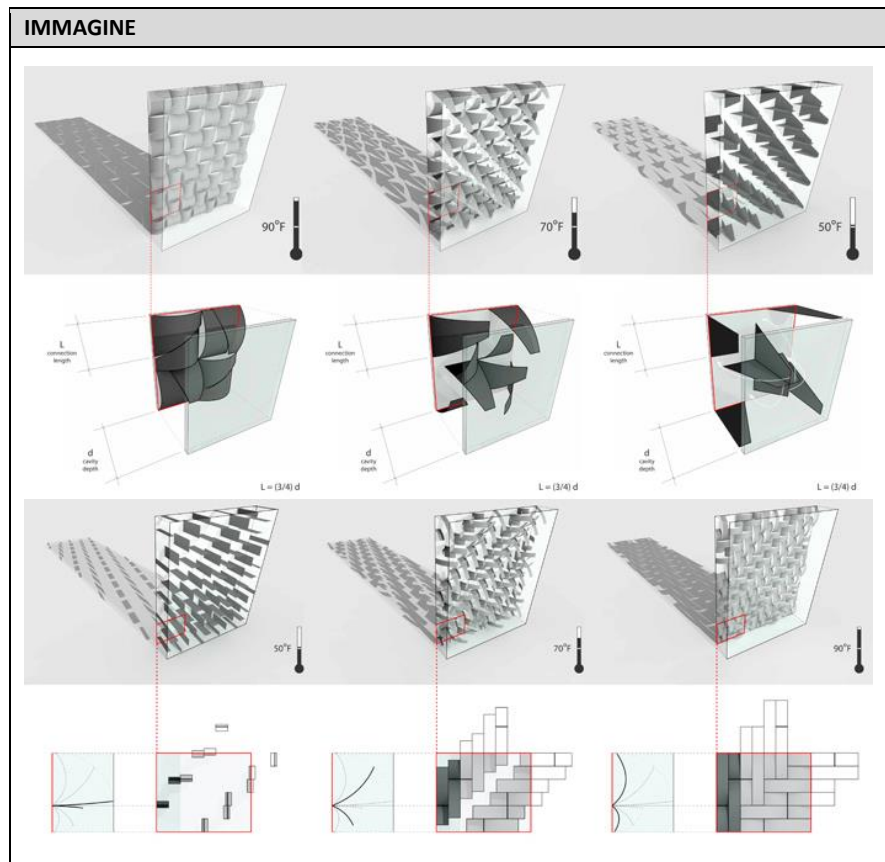
Frangisole puntuali

**POSIZIONAMENTO SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)**

Intercapedine vetrocamera

**AUTORE**

Doris Kim Sung (dO|Su Studio Architecture) [33]



**FONTI**

<http://dosu-arch.com/smartwindow.html#>

INTEGRAZIONE SMART MATERIAL			
Tipologia	TBM	Morfologia elemento SM	Elementi laminari
Attuatore/Integrato	Integrato	Attivazione	Temperatura (intercapedine)
Deformazione/ corsa	~ 2 cm	Forze	Basse

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Si/No)	No
Pro	Rilevanza architettonica Gestione locale No richiesta energia	Contro	Numerosi elementi in movimento Accesso e manutenzione
Limiti applicativi	Utilizzo solo in intercapedine	Costo	n.d.

Tabella 17 - Scheda Applicazione: TBM Double Glazed Panels

<b>TITOLO PROGETTO</b>	<b>TBM Bloom</b>	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	<b>B.6</b>
------------------------	------------------	----------------------------	------------

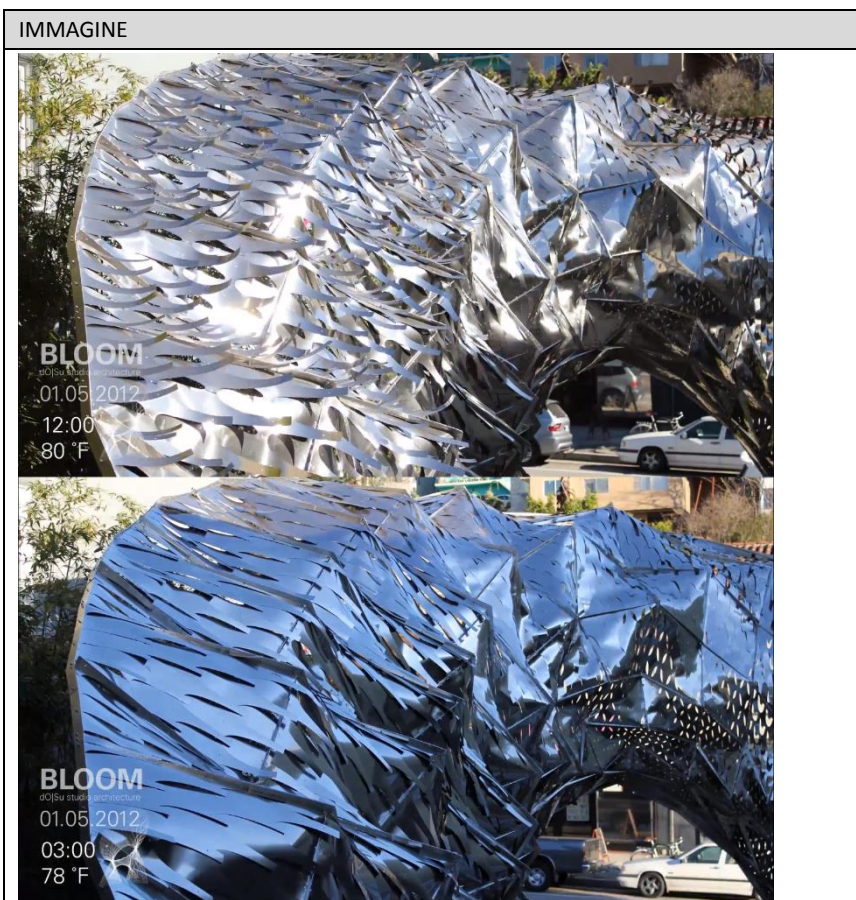
<b>DESCRIZIONE SINTETICA</b>
Sistema di elementi frangisole che funziona da pelle attiva al passaggio del vento: quando la temperatura sale al di sopra della soglia di attivazione, le lingue di cui è costituita la pelle metallica si inflettono lasciando passare il vento attraverso.

<b>AMBITO EDILIZIO</b>
Facciata

<b>CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
(Apertura di ventilazione)

<b>POSIZIONAMENTO (DOVE APPLICABILE)</b>	<b>SCHERMATURE</b>
Esterno	

<b>AUTORE</b>
Doris Kim Sung (dO Su Studio Architecture) [34]



<b>FONTI</b>
<a href="http://dosu-arch.com/bloom.html">http://dosu-arch.com/bloom.html</a>

INTEGRAZIONE SMART MATERIAL			
Tipologia	TBM	Morfologia elemento SM	Elementi laminari (lingue metalliche)
Attuatore/Integrato	Integrato	Attivazione	Temperatura (esterna)
Deformazione/ corsa	~ 10 cm	Forze	Basse

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Si/No)	Sì
Pro	Rilevanza architettonica Gestione locale No richiesta energia	Contro	Numerosi elementi in movimento Accesso e manutenzione Peso elevato
Limiti applicativi	Peso elevato Basso grado di trasparenza	Costo	n.d.

Tabella 18 - Scheda Applicazione: TBM Bloom.



<b>TITOLO PROGETTO</b>	<b>Compliant Shading Enclosure</b>	<b>SCHEDA APPLICAZIONE</b>	<b>B.7</b>
------------------------	------------------------------------	----------------------------	------------

<b>DESCRIZIONE SINTETICA</b>
Sistema di tende interne con inserti in lamine in termo bi-metalli fissati alle loro estremità tramite perni. Questi inserti possono configurarsi in due posizioni (aperto e chiuso) poiché costituiscono un meccanismo bi-stabile. L'attivazione avviene grazie al cambio di temperatura interna.

<b>AMBITO EDILIZIO</b>
Facciata

<b>CATEGORIA DI SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Tende con aperture

<b>POSIZIONAMENTO SCHERMATURE (DOVE APPLICABILE)</b>
Interno



<b>AUTORE</b>
Brent Vander Werf [35] [36]

<b>FONTI</b>
<a href="http://www.thecodaf.com/bi-stable_shading_1.html">http://www.thecodaf.com/bi-stable_shading_1.html</a> <a href="http://www.archdaily.com/69969/compliant-shading-enclosure-brent-vander-werf/">http://www.archdaily.com/69969/compliant-shading-enclosure-brent-vander-werf/</a>

<b>INTEGRAZIONE SMART MATERIAL</b>			
Tipologia	TBM	Morfologia elemento SM	Elementi laminari
Attuatore/Integrato	Integrato	Attivazione	Temperatura (interna)
Deformazione/ corsa	~ 5 cm	Forze	Medie

<b>CARATTERISTICHE DEL SISTEMA</b>			
Stato di Avanzamento	Concept	Realizzato (Si/No)	Si
Pro	No richiesta energia Rilevanza architettonica Gestione locale	Contro	Numerosi elementi in movimento Accesso e manutenzione
Limiti applicativi	Meccanismo composto da numerosi componenti. Dipende dalle temperature di intercapedine.	Costo	n.d.

**Tabella 19 – Scheda Applicazione: Compliant Shading Enclosure**

#### 4.2.2 Principali tematiche sugli SM

Di seguito si definiscono le problematiche emerse dall'osservazione delle varie soluzioni tecniche nel paragrafo precedente. L'approfondimento di queste problematiche permette di determinare i limiti applicativi e le modalità di integrazione degli smart materials nei dispositivi di schermatura solare.

I limiti applicativi riguardano:

- La determinazione delle temperature di attivazione;
- L'identificazione dei movimenti possibili con gli SM;
- La definizione della variazione delle proprietà fisiche delle superfici che integrano SM;
- La definizione del bilancio totale per il componente (costo componente, risparmio sui consumi, energia elettrica, ecc.);
- La determinazione del decadimento prestazioni (fatica dei materiali, modifica delle superfici).

##### *Determinazione delle temperature di attivazione*

Per garantire l'attivazione mediante temperatura dei componenti di facciata che impiegano SM sensibili alla temperatura, è necessario conoscere le temperature superficiali di facciata in funzione della località, dell'orientamento, di eventuali ostruzioni esterne, dell'ora e del giorno lungo un anno e di altre forzanti esterne (vento, ecc.).

Nel caso in cui il materiale a memoria di forma sia contenuto all'interno di un ambiente diverso da quello della facciata (elemento contenitore), si dovrà studiare la condizione di temperatura interna a quell'ambiente nei casi sopra citati.

A seconda del tipo di SM, la temperatura di attivazione dovrà essere scelta compatibilmente con le temperature trovate.

Le temperature superficiali possono essere ricavate mediante:

- modellazione agli elementi finiti in regime dinamico (e successiva validazione in laboratorio) e, per comprendere il peso di tutte le variabili progettuali, l'analisi dovrebbe essere di tipo parametrico;
- misurazione delle temperature su prototipi in laboratorio.

Un valore medio o i picchi massimi e minimi non sono sufficienti. Risulta indispensabile una mappatura delle temperature superficiali (o dell'aria nel caso di elementi contenitori per l'elemento in SM) al variare del contesto (località, orientamento, ostruzioni), del tempo (ora, giorno) e di forzanti esterne (vento, ecc.).

##### *Identificazione dei movimenti possibili con gli SM*

Un primo passo per la progettazione di dispositivi che impiegano SM è quello di identificare i movimenti che essi possono realizzare (traslazione, rotazione), siano gli SM impiegati come attuatori o come elementi integrati.

Le modalità di approccio a questo problema sono le seguenti:

- Studio delle proprietà meccaniche degli SM (bibliografia, laboratorio);
- Modellazioni 3D parametriche sul tipo di movimenti (simulazioni).

L'obiettivo è quello di arrivare a comporre delle tabelle comparative dettagliate sui movimenti possibili in base a tipo di SM e categoria di schermatura e a definire componenti base utilizzabili per gran parte delle schermature solari.

Al momento, lo stato dell'arte offre delle tabelle preliminari sugli abbinamenti tra SM e categorie di schermature e una generale bibliografia di modelli di attuatori utilizzati in campo industriale, che impiegano SMA e TBM.

L'implementazione necessaria consiste nel condurre analisi approfondite sulle proprietà meccaniche degli SM e realizzare modellazioni 3D parametriche delle principali tipologie di movimenti attuabili.

### *Variatione delle proprietà fisiche delle superfici che integrano SM*

Qualora gli SM siano integrati nelle superfici schermanti (es.: tende che integrano fili in SMA nella trama, lamelle realizzate in TBM, ecc.), è necessario studiare in base alla percentuale di SM presenti nel materiale, come variano le proprietà termiche e ottiche del materiale ibrido finale.

L'approccio di studio consiste nel condurre in laboratorio delle proprietà ottiche dei materiali

Lo scopo è quello di ricavare:

- gli indici delle prestazioni termiche e ottiche delle superfici (confronto prima e dopo l'integrazione con SM)
- gli indici delle prestazioni termiche e ottiche delle superfici (confronto superfici interamente in SM e superfici tradizionali equivalenti)

### *Bilancio totale per il componente (costo componente, risparmio sui consumi, energia elettrica, ecc.)*

Uno strumento per valutare i vantaggi dell'utilizzo di schermature solari è quello del bilancio energetico annuale tenendo in considerazione l'energia globale consumata di un componente di facciata che impiega SM di uno tradizionale equivalente azionato meccanicamente.

I componenti tradizionali hanno come consumi quelli relativi a:

- corrente elettrica per l'azionamento
- carichi termici sugli impianti di climatizzazione dovuti ad un funzionamento errato o involontario

I componenti che impiegano SM hanno tra i loro consumi:

- corrente elettrica per l'azionamento manuale (ove previsto).
- corrente elettrica per componente che impiega SM azionati con impulso elettrici o magnetici (ove previsto)

La differenza di consumo costituisce il risparmio nell'utilizzare una soluzione rispetto ad un'altra.

A questo si deve sommare il costo iniziale e di manutenzione del componente.

Gli approcci possibili per studiare questa tematica sono quelli di condurre un LCA sui singoli componenti e realizzare una simulazione dei consumi energetici lungo l'anno.

L'obiettivo è quello di arrivare ad ottenere una serie di indici di riferimento che permettano di confrontare la soluzione Smart con una soluzione tradizionale (LCA, Risparmio energetico in kWh/a).

### *Decadimento prestazioni (fatica dei materiali, modifica delle superfici)*

Il decadimento delle prestazioni e delle proprietà degli SM dovuto al numero di cicli incide sulle prestazioni del componente edilizio. È necessario analizzare i modelli di funzionamento presi in considerazione per il componente e dedurre il numero di cicli che è possibile compiere prima che le prestazioni vadano al di sotto della soglia di accettazione di progetto. Nel caso di elementi con SM integrati esposti agli agenti atmosferici, si rende necessario lo studio di come questi materiali si comportano a contatto con l'ambiente esterno.

L'approccio di studio consiste nel determinare il numero di cicli possibili in base a sforzi e deformazioni di progetto (laboratorio, riferimenti del produttore) e nello studio proprietà superfici e invecchiamento in presenza con gli agenti atmosferici (laboratorio).

Il risultato sarebbe sotto forma di tabelle che riportano il numero di cicli in base a sforzi e deformazioni, o in generale un indicatore che riporti il degrado in funzione del tempo. Attualmente esistono già le correlazioni sforzi-deformazioni e numero di cicli per gli SMA

L'implementazione consiste nello studio delle proprietà superfici e invecchiamento in presenza con gli agenti atmosferici (laboratorio) e nella determinazione del numero di cicli per TBM e SMP in funzione di sforzi e deformazioni.

## *4.3 Linee guida alla progettazione con gli Smart Materials*

L'integrabilità degli Smart Materials all'interno di dispositivi di schermatura solare è soggetta a considerazioni di tipo generale, comuni a tutti i tipi di materiale, e a criteri specifici che dipendono dalla natura di ciascuno di essi (polimerica, metallica, ecc.). In questa sede si vogliono proporre delle linee guida

per orientare il progettista nella progettazione di attuatori o per l'integrazione di sistemi di controllo solare che impiegano questi materiali.

Le istanze generali comuni a tutti i tipi di Smart Materials integrati in sistemi di schermatura solare concernono principalmente il posizionamento rispetto al piano di facciata, il funzionamento integrato (sensori intrinseci) contro quello degli attuatori, la visibilità della componente innovativa e l'impatto in termini di quantità e, di conseguenza, di costi, nonché la semplicità dei meccanismi e la manutenibilità.

Riguardo al posizionamento delle schermature solari rispetto al piano di facciata, esso può essere interno e/o esterno.

- Le schermature esterne controllano meglio la radiazione solare, intercettandola prima che colpisca la superficie della facciata, riducendo i carichi solari estivi ed invernali. Tuttavia, esse sono soggette agli agenti atmosferici (vento, pioggia, neve) i quali modificano le proprietà di riflettanza e trasmittanza visibile e solare delle superfici esposte. Ciò influenza le temperature superficiali e di conseguenza le soglie di attivazione degli Smart Materials; se, invece, l'attivazione è data da uno stimolo elettrico, è importante considerare l'isolamento elettrico dei componenti.
- Alternativamente, le schermature posizionate internamente rispetto al piano di facciata sono più facili da mantenere (dato che sono di facile accesso), non sono soggette agli agenti atmosferici esterni e non richiedono una progettazione che tiene conto delle azioni dinamiche esterne. L'attivazione per stimolo termico è legata alle temperature dell'ambiente interno, che possono essere quelle del locale o quelle di immissione del sistema di climatizzazione.
- Un'alternativa a queste due scelte è quella di posizionare le schermature solari in posizione intermedia rispetto alla stratigrafia della facciata. E' possibile posizionare lamelle o tende nell'intercapedine di vetrocamera: lo sporco è ridotto ma è richiesta una progettazione attenta che tenga conto delle temperature che si vengono a formare nell'intercapedine.
- Infine, nell'ambito delle facciate a doppia pelle, per proteggere le schermature esterne dagli agenti atmosferici (soprattutto dal vento), è possibile posizionare le schermature solari all'interno dell'intercapedine. In tal caso, l'elemento in smart material sarebbe soggetto a sporco causato dalla corrente ascensionale dell'intercapedine e la determinazione delle temperature sarebbe influenzata da rilevanti effetti convettivi, oltre che radiativi.

In merito all'integrazione degli Smart Materials, è possibile delineare diverse modalità di impiego.

- Dispositivi che impiegano gli SM come elementi integrati (o porzioni di elementi integrati) costituenti un sistema tecnologico, vengono detti "sensori intrinseci", poiché funzionano contemporaneamente da sensori e da attuatori, e realizzano un sistema completo che non necessita di elementi accessori quali sensori e/o attuatori. Di conseguenza, costituiscono una soluzione tecnologicamente valida, valorizzando la componente estetica del dispositivo. Tuttavia risulta più difficile la determinazione delle condizioni di attivazione (temperatura, luce, ecc.) e il controllo manuale.
- Dispositivi tradizionali che impiegano gli SM come puri attuatori (in sostituzione di una movimentazione motorizzata) funzionano sempre secondo il concetto "sensore intrinseco", questa volta delocalizzato e dotato di trasmissioni che attuano la movimentazione del dispositivo schermante. Sono in generale meno complessi da progettare (grazie all'ampia letteratura e alla pressoché consolidata pratica di progettazione) e di facile accesso, manutenzione e movimentazione manuale. La soluzione tecnologica, che risulta globalmente quindi più semplice, permette la progettazione di un convenzionale e poco innovativo componente, che esteticamente risulta del tutto o in larga parte identico ad un equivalente azionato meccanicamente. Infine, le trasmissioni risultano poco efficaci per quanto riguarda la trasmissione delle forze e degli spostamenti, comportando un decremento dell'efficienza del sistema in termini di forze scambiate.
- Dispositivi schermanti composti da tanti elementi discreti di piccole dimensioni distribuiti sulla superficie della facciata possono essere realizzate completamente in Smart Materials: in caso contrario, per mantenere un funzionamento indipendente elemento per elemento, servirebbe un sensore e un attuatore per ciascuno di essi. I benefici di un sistema costituito da tanti elementi discreti di piccole dimensioni è che è possibile effettuare un controllo locale della radiazione solare,

creando un pattern di alta visibilità e riconoscibilità architettonica; d'altra parte, la presenza di numerosi elementi rende complicata la manutenzione e la sostituzione di quelli danneggiati, nonché la pulizia e il controllo manuale. Infine, la piccola dimensione generalmente determina piccole forze e piccoli spostamenti da parte dello Smart Material.

- Dispositivi schermanti composti da elementi di grandi dimensioni (o da un unico elemento) possono essere attivati da attuatori-sensori delocalizzati o, più difficilmente, possono integrare elementi SM. Queste considerazioni dipendono dalle forze e dagli spostamenti (o rotazioni) richiesti, che generalmente sono rilevanti e difficili da soddisfare da parte degli SM se non con opportuni accorgimenti (ad esempio riguardanti i meccanismi di trasmissione). Sono però più facili da mantenere e da regolare manualmente.
- Come indicazione generale, i meccanismi di trasmissione (funi, aste, ingranaggi) e di azionamento dovrebbero essere progettati in modo tale da comprendere il minor numero possibile di elementi, così da realizzare una soluzione semplice che possa garantire un'operatività ottimale e con una ridotta possibilità di guasto.
- È sempre necessario garantire la percezione dell'ambiente esterno da parte degli occupanti che guardano attraverso la facciata; di conseguenza, l'integrazione dello Smart Material con il dispositivo di protezione solare non dovrebbe interferire con questo requisito.
- In ultimo, per dare maggiore visibilità e identificabilità al componente progettato, è consigliabile applicare lo SM come un elemento integrato e percepibile dall'esterno, così da indurre l'utente a considerare il dispositivo come innovativo e in sostanza differente da un equivalente tradizionale.

#### 4.3.1 Applicabilità SM in diverse tipologie di schermature solari

Attraverso tale comparazione sulle proprietà dei diversi materiali e l'analisi degli attuali ambiti di applicazione degli SM è stata creata una tabella che ipotizza la possibilità di utilizzo dei diversi SM nelle differenti tipologie di schermature solari come elemento integrato o come attuatore.

Posizione	Giacitura	Tipologia	TBM		SMA		SMP	
			Come attuatore	Integrato in elemento schermante	Come attuatore	Integrato in elemento schermante	Come attuatore	Integrato in elemento schermante
Posizione Interna	Parallela	Tenda a rullo	•	•	•	•		•
		Tenda a pannelli	•	•	•	•		•
		Veneziana		•		•		•
		Scurello		•		•		•
Posizione Esterna	Perpendicolare	Aggetto orizzontale		•		•		•
	Parallela	Tenda a rullo	•	•	•	•		•
		Persiana a pacchetto	•	•	•	•		•
		Persiana avvolgibile	•	•	•	•		•
		Imposta	•	•	•	•		•
		Imposta a lamelle	•	•	•	•		•
		Veneziana	•	•	•	•		•
		Frangisole impacchettabile	•	•	•	•		•
		Brise-soleil con elementi verticali	•	•	•	•		•
		Brise-soleil con elementi orizzontali	•	•	•	•		•
		Brise-soleil+PVcell	•	•	•	•		•
		Pannelli opachi	•		•			
	Pannelli permeabili	•		•				
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale		•		•		•
		Aggetto verticale		•		•		•
		Sistema misto aggetto verticale+orizzontale		•		•		•
		Aggetto orizzontale+PVcell						
	Parallela/obliqua	Tenda avvolgibile	•	•	•	•		•
Aggetto+PVcell								
Interposta in vetro	Parallela	Veneziana	•	•	•	•		•
		Tenda a rullo	•	•	•	•		•
		Elementi mirror o honeycomb						
		Deposito superficiale						
		Serigrafia						•
Interposta doppia pelle	Parallela	Tenda a rullo	•	•	•	•		•
		Persiana a pacchetto	•	•	•	•		•
		Persiana avvolgibile	•	•	•	•		•
		Veneziana	•	•	•	•		•
		Frangisole impacchettabile	•	•	•	•		•
		Brise-soleil		•		•		•
	Perpendicolare	Aggetto orizzontale (pensiline)		•		•		•
		Aggetto verticale (pensiline)		•		•		•

Tabella 20 - Compatibilità SM con diverse tecnologie di schermature solari.

#### 4.4 Le proprietà degli SMA

In relazione al quadro di applicazione degli smart materials sopra descritto, le leghe a memoria di forma, grazie alle loro particolari caratteristiche possono essere utilizzate in particolari applicazioni.

I principali parametri da gestire per la caratterizzazione di un elemento in SMA sono:

- **Geometria:** le geometrie possibili sono lamine, fili, tubi e molle (elicoidali e a spirale). Tuttavia, le geometrie più comuni sono quelle del filo e della molla elicoidale, con diametri che generalmente variano dall'ordine del millimetro (mm) a quello del micron ( $\mu\text{m}$ ), a seconda del tipo di applicazione. Tali geometrie risultano le maggiormente utilizzate in quanto ottimizzano la quantità di materiale utilizzato in relazione alle forze e agli spostamenti che si possono ottenere. Ciò permette di contenere i pesi e, soprattutto, i costi del componente stesso.
- **Allungamento percentuale:** per questo tipo di leghe, il massimo allungamento recuperabile (senza avere deformazione residua) è dell'8%. Tuttavia, è consigliabile prevedere funzionamenti che ammettono deformazioni entro il 3,5% avendo un ruolo fondamentale il comportamento a cicli della lega. Messo a confronto con un altro tipo di metallo, ad esempio l'acciaio, dove l'allungamento è nell'ordine dello 0,5%, un allungamento del 3,5% rimane comunque abbondantemente superiore. Si ha quindi che lo spostamento che fornisce l'elemento in SMA è proporzionale alla sua lunghezza; in tale contesto gli elementi che a parità di volume massimizzano gli spostamenti prodotti sono le molle.
- **Forza sviluppata:** la forza prodotta dall'elemento in SMA è proporzionale alla sezione dell'elemento stesso. In relazione a ciò è da prestare particolare attenzione alla modalità con cui viene restituita la forza, ovvero se l'elemento è in trazione o in compressione. Infatti se in compressione la forza ammissibile prodotta dall'elemento risulta essere inferiore a causa della possibilità di instabilizzarsi.
- **Attivazione:** l'attivazione di tali elementi avviene attraverso stimolo termico. Infatti il superamento di una prefissata soglia, per una data lega, implica la transizione della struttura atomica da austenitica a martensitica permettendo così il recupero di una geometria atomica stabilita in fase di creazione della lega. Tali temperature possono essere raggiunte per l'innalzamento della temperatura dell'ambiente in cui è inserito l'elemento in SMA oppure per effetto Joule conseguente al passaggio di corrente attraverso l'elemento in SMA.
- **Effetto superelastico (SE):** la geometria ottimale che enfatizza tale effetto è quella della molla. Tale configurazione permette grandi spostamenti a livello macroscopico, mentre la deformazione locale (che è puramente tangenziale) rimane relativamente bassa.
- **Elemento di contrasto:** negli attuatori in SMA e negli elementi integrati, è sempre necessario prevedere un elemento di contrasto che permetta il recupero della geometria iniziale una volta che lo stimolo esterno (come l'innalzamento al di sopra della temperatura di transizione) è cessato. Se non ci fosse l'elemento di contrasto, l'elemento in SMA, una volta superata la temperatura di transizione recupera la forma per cui è stato allenato; quando la temperatura scende al di sotto di quella di transizione, la struttura atomica torna da austenitica a martensitica, tuttavia macroscopicamente l'elemento in SMA non si ritrasforma nella posizione iniziale. Per completare il ciclo di trasformazione è quindi necessario un elemento di contrasto.

Di seguito riportiamo alcuni modelli di funzionamento che impiegano fili e molle in SMA, basati sulle linee guida precedentemente delineate.

#### 4.5 Sviluppo di alcuni modelli di funzionamento di protezioni solari con materiali a memoria di forma come attuatori

Le leghe a memoria di forma hanno un duplice utilizzo: come attuatori oppure direttamente integrati nell'elemento schermante.

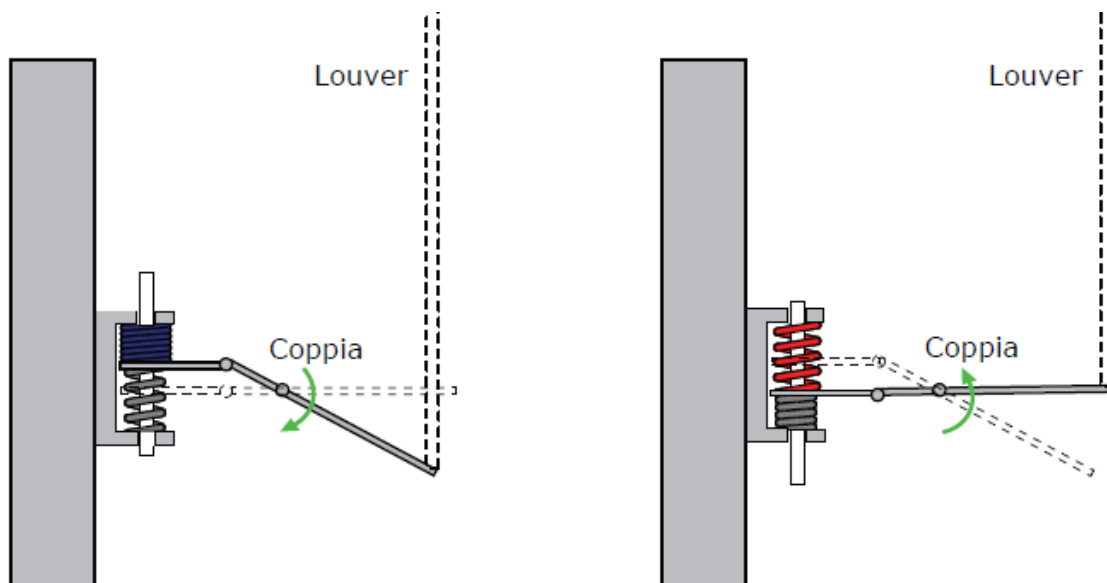
Nel caso in cui si voglia usarli come attuatori le geometrie principali sono due: come molle oppure come fili. Tali geometrie permettono differenti tipologie di attuatori in relazione alle caratteristiche dell'elemento in SMA vero e proprio e all'elemento di contrasto.

Nella tabella vengono illustrate le principali tipologie di attuatori andando ad evidenziare gli elementi costituenti il sistema e le relative proprietà.

Tipo attuatore	Funzionamento	Elemento di contrasto	Tipo movimento	Tipologia e posizione dell'elemento di connessione	Modello n°
Molla	In compressione	Contromolla in compressione	Spostamento	Cursore, centrale	1
		Contromolla in compressione	Spostamento	Connessione, terminale	2
		Peso	Spostamento	Connessione, terminale	3
	In Trazione	Contromolla in compressione	Spostamento	Connessione, terminale	4
		Contromolla in trazione	Spostamento	Cursore, centrale	5
		Peso	Spostamento	Connessione, terminale	6
Filo	In trazione	Contromolla in compressione	Spostamento	Connessione, terminale	7
		Lamina super elastica	Spostamento	Connessione, terminale	8

**Tabella 21 – Tipologie attuatori: funzionamento elemento in SMA, tipologia dell'elemento di contrasto, Tipologia e posizione dell'elemento di connessione alla schermatura.**

Tali modelli, analizzati più nello specifico nella trattazione che segue, possono essere connessi direttamente al sistema di schermatura attraverso i collegamenti previsti oppure è possibile interporre elementi che permettano un'amplificazione degli spostamenti (con una relativa diminuzione delle forze sviluppate) tra l'attuatore e il sistema di schermatura (Fig. 58).



**Fig. 59 – Soluzione di amplificazione degli spostamenti.**

#### 4.5.1 Le molle

La conformazione a molla risulta essere tra le più diffuse nell'utilizzo come attuatore grazie alla sua compattezza e flessibilità applicativa. Possono essere di tipo elicoidale, e quindi svilupparsi tridimensionalmente, oppure a spirale, avendo quindi un ingombro planare.



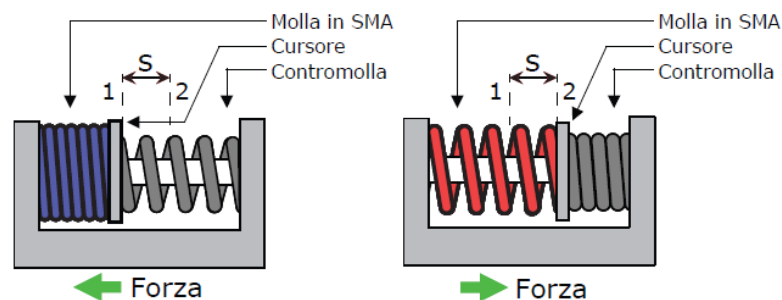
Tali elementi hanno la possibilità di lavorare sia a trazione sia a compressione. La loro attivazione avviene tramite lo scambio di calore tra lo SMA e il fluido in cui esso è immerso (aria, acqua, olio, ecc.) oppure attraverso corrente imposta che, per effetto Joule, innalza la sua temperatura. In questa seconda eventualità, seppur di più rara applicazione, particolare attenzione andrà prestata affinché le spire dell'elemento non siano in contatto in quanto ciò causerebbe una cortocircuitazione del sistema. Mentre l'attivazione elettrica del filo, risulta essere pressoché immediata, l'attivazione mediante temperatura dell'ambiente della molla è graduale, ed è soggetta all'inerzia termica dell'ambiente in cui l'elemento in SMA è immerso.

Per quanto riguarda le molle elicoidali in SMA, l'elemento di contrasto può funzionare secondo diversi principi, che possono essere raggruppati in tre casi, ciascuno presentante diverse peculiarità:

- Forza costante: l'elemento di contrasto è, in questo caso, un carico fisso oppure un attuatore pneumatico; ovviamente il primo è il modo più rudimentale per costruire un sistema SMA-contrasto. Tra i tre metodi è quello che comporta per l'attuatore una corsa intermedia;
- Molla (elicoidale) tradizionale: usare una comune molla, opportunamente dimensionata, permette di avere forze proporzionali allo spostamento rispetto al suo punto di equilibrio. È il metodo meno efficace dal punto di vista degli spostamenti finali;
- Molla (elicoidale) in SMA: in questo caso, l'attuatore è composto da due molle in SMA che hanno temperature di transizione diverse. Non si distingue in realtà quale dei due sia l'elemento di contrasto. È il sistema più efficace dal punto di vista della corsa totale.

Di questi tre modelli di funzionamento, il più utilizzato è quello che accoppia una molla in SMA con una molla tradizionale. Malgrado offra una corsa minore rispetto agli altri due, è quello tecnologicamente più conveniente da realizzare, nonché il più economico. Infatti, il modello che utilizza il peso costante comporta pesi e dimensioni non trascurabili, ed è quindi poco adatto per le applicazioni più comuni, soprattutto per quelle dove le dimensioni sono molto ridotte (nell'ordine dei millimetri); il modello con le due molle in SMA che funzionano con diverse temperature di transizione comporta un costo doppio dovuto alla presenza di due elementi in SMA anziché uno solo (come avviene negli altri due casi).

### Modello 1



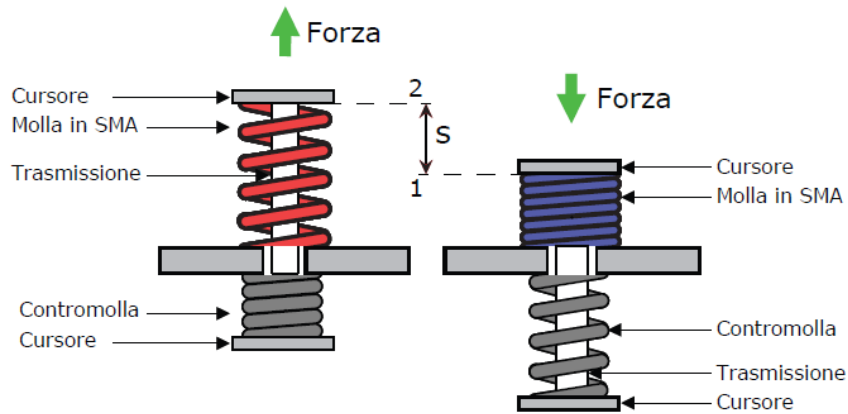
**Fig. 60 - Modello 1.**

Il modello di funzionamento n°1 è composto da una molla in compressione in SMA e da una contro molla in acciaio in compressione inserite all'interno di un supporto con sezione trasversale a "C" e connesse ad esso. Internamente alle due molle vi è una guida con funzione di supporto del cursore centrale e delle due molle.

In condizioni di bassa temperatura si ha che la molla in SMA è completamente compressa, avendo il cursore in posizione 1. L'innalzamento della temperatura al di sopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'allungamento della molla a memoria di forma avendo così lo spostamento del cursore in posizione 2.

In questo modello di funzionamento si ha quindi che i vincoli sono i punti di contatto tra le molle ed il supporto mentre lo spostamento sarà generato dal cursore centrale, ciò comporta che l'elemento schermante debba essere connesso al cursore per avere un comportamento dinamico.

**Modello 2**



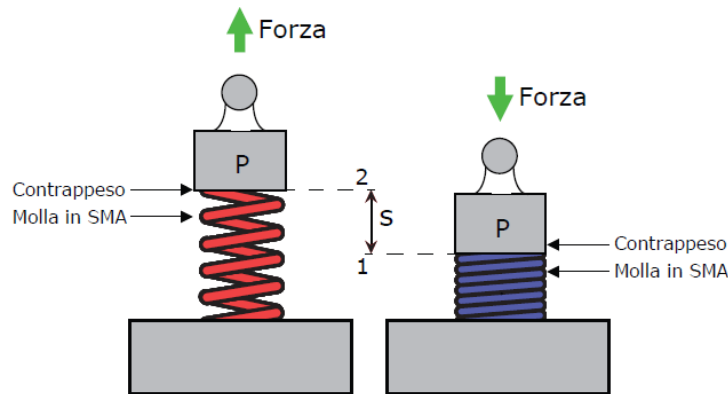
**Fig. 61 - Modello 2.**

Il modello di funzionamento n°2 è composto da una molla in compressione SMA e da una contromolla in acciaio in compressione collocate in adiacenza ad una piastra forata. All'interno del foro della piastra e della spira delle molle vi è una trasmissione che connette i due cursori collocati in testa alle due molle.

In condizioni di bassa temperatura si ha che la molla in SMA è completamente compressa, avendo il cursore in posizione 1. L'innalzamento della temperatura al disopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'allungamento della molla a memoria di forma avendo così lo spostamento del cursore in posizione 2 .

In questo modello di funzionamento si ha quindi che i vincoli sono i punti di contatto tra le molle ed il supporto mentre lo spostamento sarà generato in corrispondenza dei cursori collocati in testa alle due molle, ciò comporta che l'elemento schermante debba essere connesso ad essi per avere un comportamento dinamico.

**Modello 3**



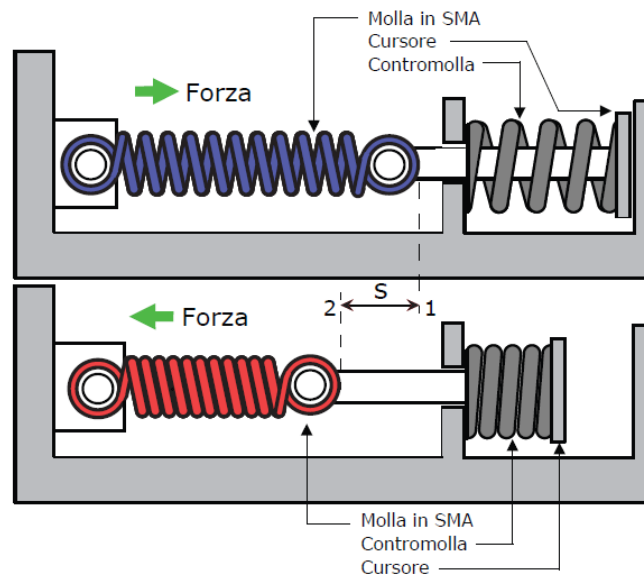
**Fig. 62 - Modello 3.**

Il modello di funzionamento n°3 è composto da una molla in compressione in SMA e da un peso che funge da elemento di contrasto. Tale elemento, a differenza di quanto avviene nei modelli precedenti dove si sono utilizzati come elemento di contrasto delle contromolle, genera una forza costante.

In condizioni di bassa temperatura si ha che la molla in SMA è completamente compressa, l'innalzamento della temperatura al disopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'allungamento della molla a memoria di forma avendo così lo spostamento verticale .

L'elemento di contrasto in questo caso può essere un peso oppure l'elemento schermante vero e proprio (sempre nei limiti di spostamento e forze generate dai prodotti in SMA).

#### Modello 4

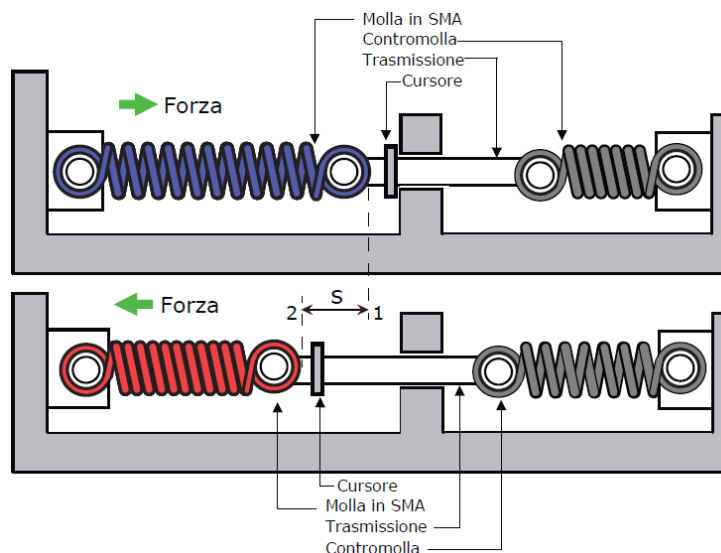


**Fig. 63 - Modello 4.**

Il modello di funzionamento n°4 è composto da una molla in trazione in SMA e da una contromolla in acciaio in compressione. La molla in SMA è connessa da un lato al supporto dell'attuatore e dall'altro alla trasmissione che a sua volta, per mezzo di un cursore, permette il funzionamento della contromolla in compressione.

In condizioni di bassa temperatura si ha che la molla in SMA è completamente in trazione, avendo il cursore in posizione 1. L'innalzamento della temperatura al disopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'accorciamento della molla a memoria di forma avendo così lo spostamento del cursore in posizione 2 e di conseguenza la compressione della contromolla .

#### Modello 5



**Fig. 64 - Modello 5.**

Il modello di funzionamento n°5 è composto da una molla in trazione in SMA e da una contromolla in acciaio in trazione: I lembi terminali delle due molle sono connessi al supporto dell'attuatore mentre gli altri due estremi permettono di connette tra di loro le due molle per mezzo di una trasmissione che svolge inoltre la funzione supplementare di guida e trasmissione delle forze e degli spostamenti all'elemento schermante attraverso un cursore.

In condizioni di bassa temperatura si ha che la molla in SMA è completamente in trazione, avendo il cursore in posizione 1. L'innalzamento della temperatura al disopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'accorciamento della molla a memoria di forma avendo così lo spostamento del cursore in posizione 2.

### Modello 6

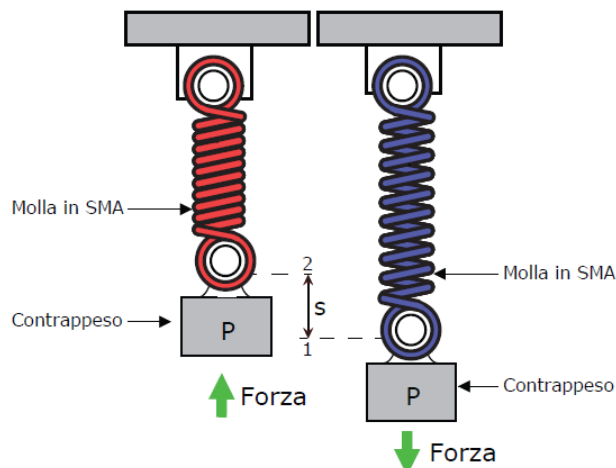


Fig. 65 - Modello 6.

Il modello di funzionamento n°6 è composto da una molla in trazione in SMA e da un peso che funge da elemento di contrasto. Tale elemento, a differenza di quanto avviene nei modelli precedenti dove si sono utilizzati come elemento di contrasto delle contromolle, genera una forza costante.

In condizioni di bassa temperatura si ha che la molla in SMA è completamente in trazione, l'innalzamento della temperatura al disopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'allungamento della molla a memoria di forma avendo così lo spostamento verticale.

L'elemento di contrasto in questo caso può essere un peso oppure l'elemento schermante vero e proprio (sempre nei limiti di spostamento e forze generate dai prodotti in SMA).

#### 4.5.2 I fili

La conformazione a filo permette di lavorare solo in trazione (ovvero l'elemento si contrae riscaldandosi). L'attivazione avviene di solito quando il filo è attraversato da una corrente elettrica, la quale va a riscaldarlo per effetto Joule. Una volta rimossa tale corrente, il filo si raffredda e un elemento di contrasto lo fa distendere, riportandolo in posizione iniziale.

Per quanto riguarda i fili in SMA valgono gli stessi principi delle molle in merito agli elementi di contrasto, siano essi pesi o molle. Tali fili possono essere sia utilizzati come attuatori sia come elementi integrati.

## Modello 7

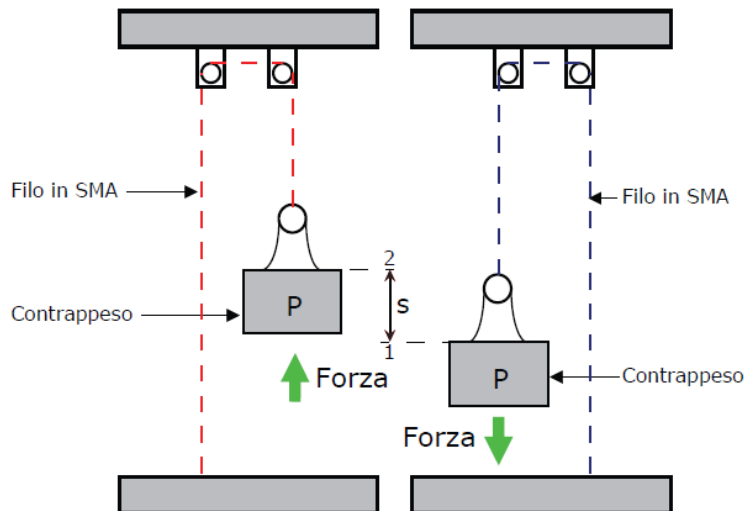


Fig. 66 - Modello 9.

Il modello di funzionamento n°9 è composto da un filo in SMA e da un peso che funge da elemento di contrasto che, a differenza di quanto avviene nei modelli precedenti, genera una forza costante. In condizioni di bassa temperatura si ha che il filo in SMA è completamente allungato, l'innalzamento della temperatura al di sopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'accorciamento del filo a memoria di forma avendo così lo spostamento verticale. L'elemento di contrasto in questo caso può essere un peso oppure l'elemento schermante vero e proprio (sempre nei limiti di spostamento e forze generate dai prodotti in SMA).

## Modello 8

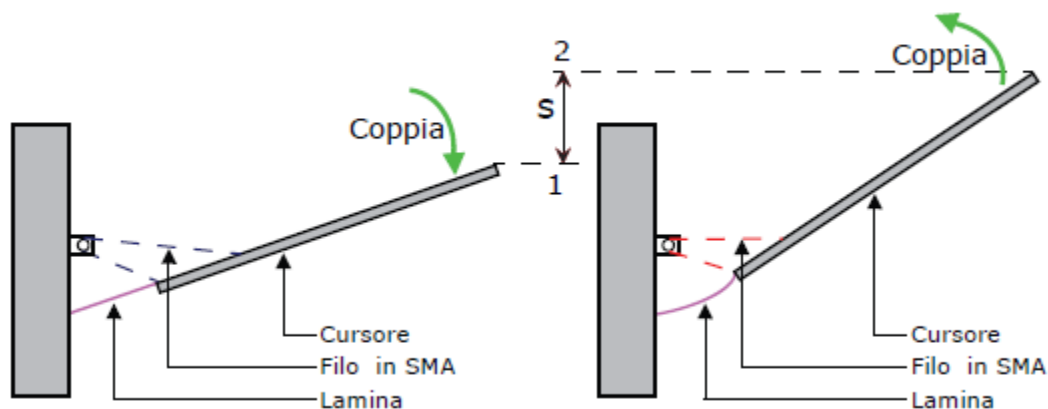


Fig. 67 - Modello 10.

Il modello di funzionamento n°10 è composto da un filo in SMA e da una lamina elastica che funge da elemento di contrasto. In condizioni di bassa temperatura si ha che la lamina elastica ha la prevalenza e il filo in SMA è completamente allungato, l'innalzamento della temperatura al di sopra della temperatura di transizione della lega a memoria di forma provoca l'accorciamento del filo a memoria di forma avendo così lo spostamento verticale.

### 4.6 La scelta del modello di funzionamento con SM come attuttore

I modelli sopra descritti possono così essere divisi in diverse categorie che li caratterizzano per:

- geometria dell'elemento in SMA (molla o filo);
- l'elemento di contrasto utilizzato (peso, contromolla o lamina);
- Tipologia di funzionamento dell'elemento di contrasto utilizzato (in trazione o in compressione);

- Posizione della connessione prevista per l'elemento schermante (centrale con trasmissione, terminale con cursore e centrale con cursore).

Ciò ha permesso di definire delle categorie (nell'ipotesi di elementi in SMA con pari sezione collaborante) che permettano di valutare l'efficacia dell'attuatore:

- forza generata;
- spostamento generato;
- Ingombro dell'intera soluzione;
- Costo dell'intera soluzione.

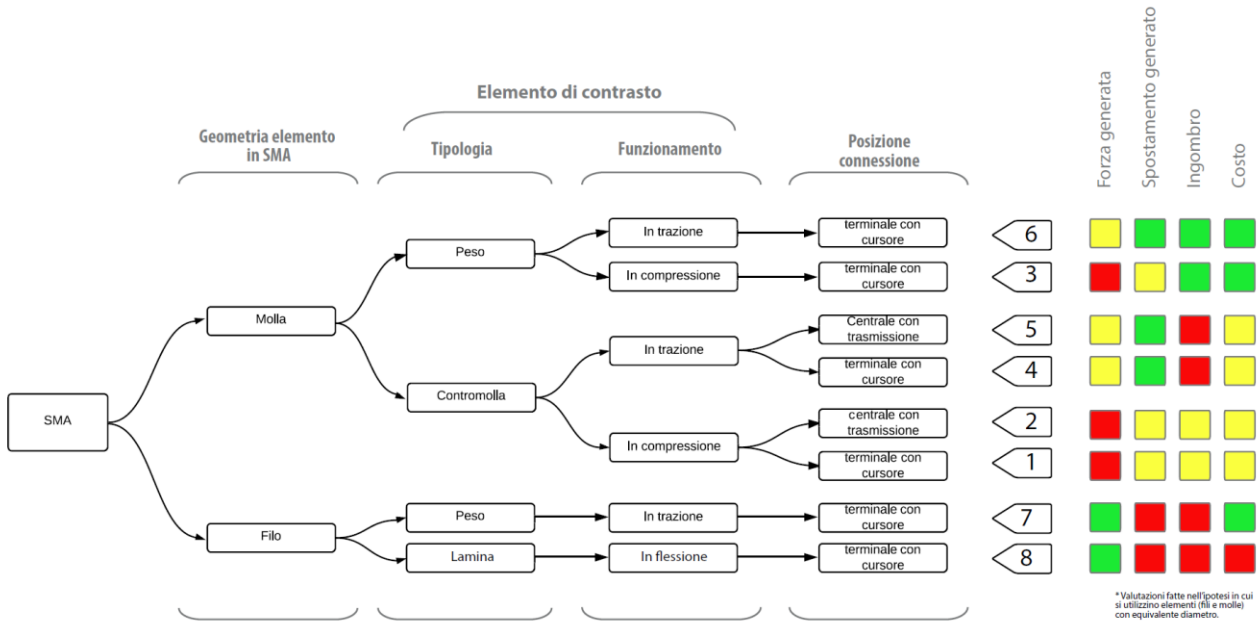


Fig. 68 - Schema concettuale per la scelta di un attuatore in SMA

#### 4.7 Gli Indicatori di attivazione di SM impiegati come attuatori e i possibili range di attivazione.

Nei capitoli precedenti si è visto come l'attivazione degli elementi in SMA sia dipendente dai gradienti di temperatura.

La principale differenza tra fili e molle è che mentre le molle vengono principalmente attivate attraverso innalzamento di temperatura del fluido in cui sono immerse i fili vengono attivati attraverso stimolo elettrico che per effetto Joule induce un innalzamento di temperatura.

Al fine di poter raggiungere le temperature che permettano l'attivazione dell'attuatore in SMA con geometria a molla è possibile progettare un ambiente controllato all'interno del quale si possano raggiungere temperature maggiori di quelle ambientali.

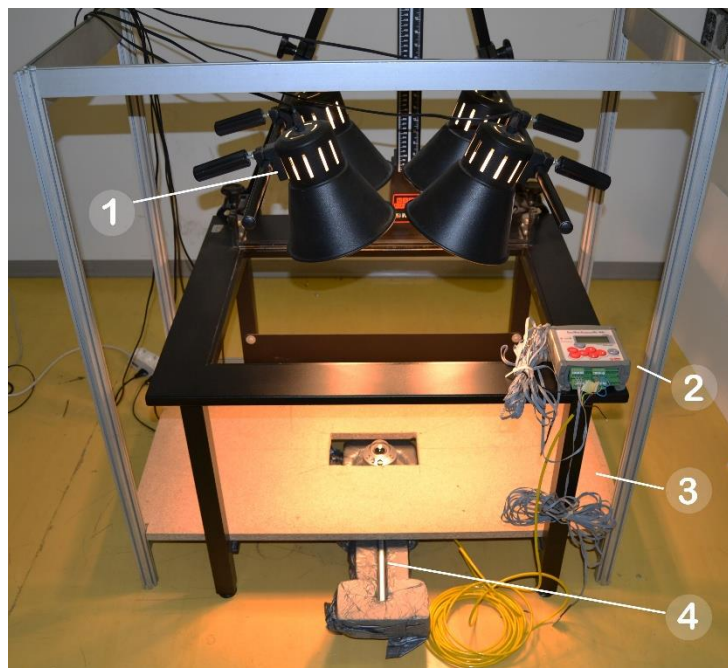
Con ambiente controllato si intende una scatola esposta alla radiazione solare che contenga al suo interno solo l'elemento in SMA. Le caratteristiche che si devono variare al fine di ottimizzare le prestazioni di tale elemento sono:

- **Geometria:** possono esservi differenti geometrie (parallelepipedica, cilindrica, semicilindrica, etc) tutte volte a trovare il giusto compromesso tra inerzia termica (dipendente dai materiali che la compongono e dal suo volume) e reattività agli stimoli esterni;
- **Dimensioni:** le dimensioni della scatola sono in funzione della dimensione dell'elemento in SMA che contiene sempre nel rispetto dell'obiettivo di raggiungere il giusto compromesso tra inerzia termica e reattività agli stimoli esterni;
- **Materiali:** come per la geometria giocano un ruolo fondamentale sulla relazione inerzia-reattività; possono essere monostrato o accoppiati e possono avere proprietà conduttive o isolanti.

- *Trattamenti superficiali*: il colore e la rugosità delle superfici della scatola esposte alla radiazione giocano un ruolo importante sulla capacità della scatola di assorbire o riflettere la radiazione solare;
- *Presenza di aperture trasparenti*: possono essere previste, con l'intento di instaurare il fenomeno "dell'effetto serra", così da poter raggiungere temperature maggiori;
- *Orientamento e inclinazione*: gestire il posizionamento risulta importante al fine di poter avere la maggior superficie possibile esposta alla radiazione solare per una data esposizione (sud, est, ovest).

Un elemento con tali caratteristiche permette il raggiungimento da parte degli attuatori in SMA di temperature sufficienti alla loro attivazione, cosa molto difficile in assenza di tale ambiente.

Per contenere l'impatto di tale elemento, e al fine dell'ottimizzazione di tali caratteristiche, si è ipotizzata una scatola con geometria a prisma a base triangolare, con una faccia laterale del prisma che permetta l'effetto serra e tutte le altre facce in lamiera di alluminio accoppiata a 1 cm di isolante.



**Fig. 69 – Banco di prova per la misura delle temperature al variare della radiazione incidente: 1) Lampade, 2) Datalogger, 3) Piano di misurazione, 4) Radiometro.**

In laboratorio si è stata determinata la reattività di una scatola "tipo" (e quindi le soglie che permettano l'attivazione e la disattivazione dell'elemento in SMA) per definiti valori di radiazione costante (con temperatura ambientale costante) compatibili con quelle presenti su di una facciata verticale.

Si è realizzato un banco prova costituito da quattro lampade posizionate ad una quota prestabilita e da un piano di misurazione regolabile in altezza (al fine di poter simulare differenti irraggiamenti) all'interno del quale è stata inserita la scatola "tipo" di riferimento da testare collegata a delle termocoppie che trasmettono le temperature rilevate al datalogger.

Prima delle misurazioni delle temperature si è calibrato il banco di misurazione attraverso un radiometro: sono stati rilevati gli irraggiamenti per differenti posizioni in altezza del piano di misurazione rispetto alle sorgenti aventi posizione fissa, così da poter trovare una relazione tra irraggiamento e temperatura in funzione della distanza. I grafici di seguito riportati rappresentano uno strumento semplificato (una sorta di nomogramma) per determinare l'incremento di temperatura per irraggiamento costante nel tempo.

Le misurazioni si sono eseguite per ogni livello con le lampade prima in modalità accese (durante il quale si è rilevato un incremento della temperatura avendo così nel grafico la prima parte di curva: ramo crescente) e poi spente (durante il quale si è rilevato un decremento della temperatura avendo così nel grafico la seconda parte di curva: ramo decrescente).

Il grafico seguente permette di avere un'idea delle temperature raggiungibili per le differenti radiazioni solari e i tempi necessari per l'attivazione e la disattivazione: attraverso questi dati è così possibile fare una stima preliminare su cui settare l'elemento in SMA.

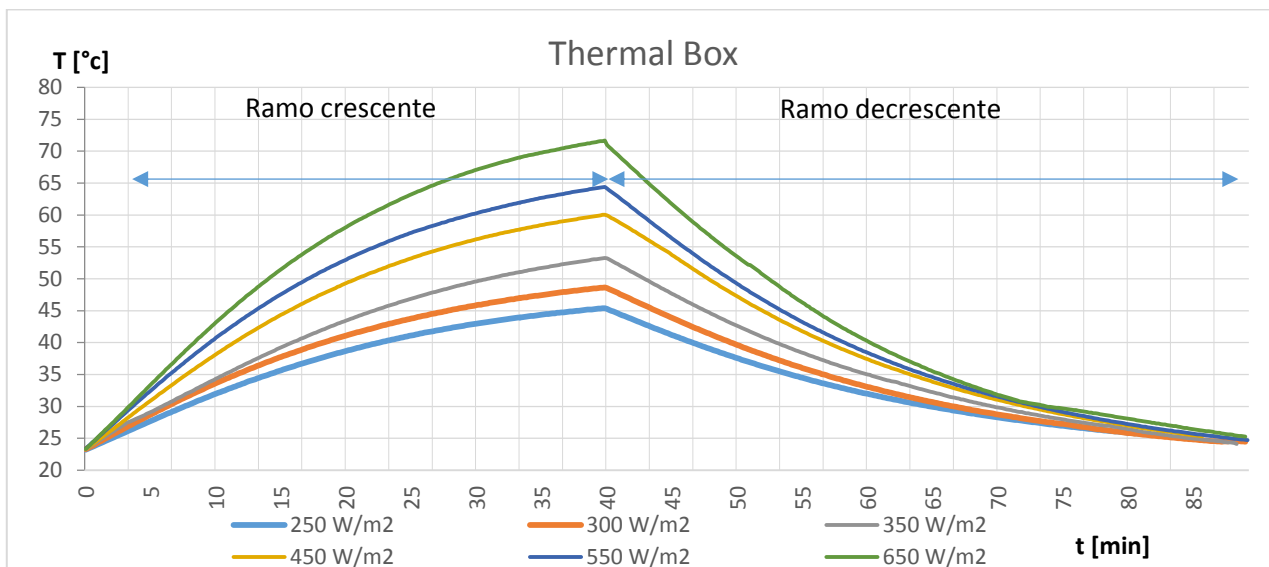


Fig. 70 - Andamento generale delle temperature nella thermal box al variare della radiazione incidente

Il grafico mostra delle curve in cui si ha nella prima parte un primo ramo crescente, corrispondente all'incremento di temperatura all'interno della scatola per radiazione costante, e nella seconda parte un secondo ramo decrescente, corrispondente al decremento di temperatura all'interno della scatola come conseguenza dello spegnimento delle lampade che simulavano l'irraggiamento all'interno di un ambiente con temperatura costante (23°C).

Le misure sono state effettuate all'interno di un range di misurazione di 200÷700 W/m<sup>2</sup>: tale range è stato ritenuto significativo in quanto rispecchia le quantità di irraggiamento in periodo estivo sulle facciate verticali per le esposizioni Est, Ovest e Sud a Milano.

Risulta significativo analizzare separatamente i rami crescenti e decrescenti delle curve per i diversi irraggiamenti così da poter trovare una relazione tra di essi, attraverso un processo di regressione a partire da i dati misurati, che permette di determinare una temperatura ipotetica in funzione di un dato irraggiamento e tempo.

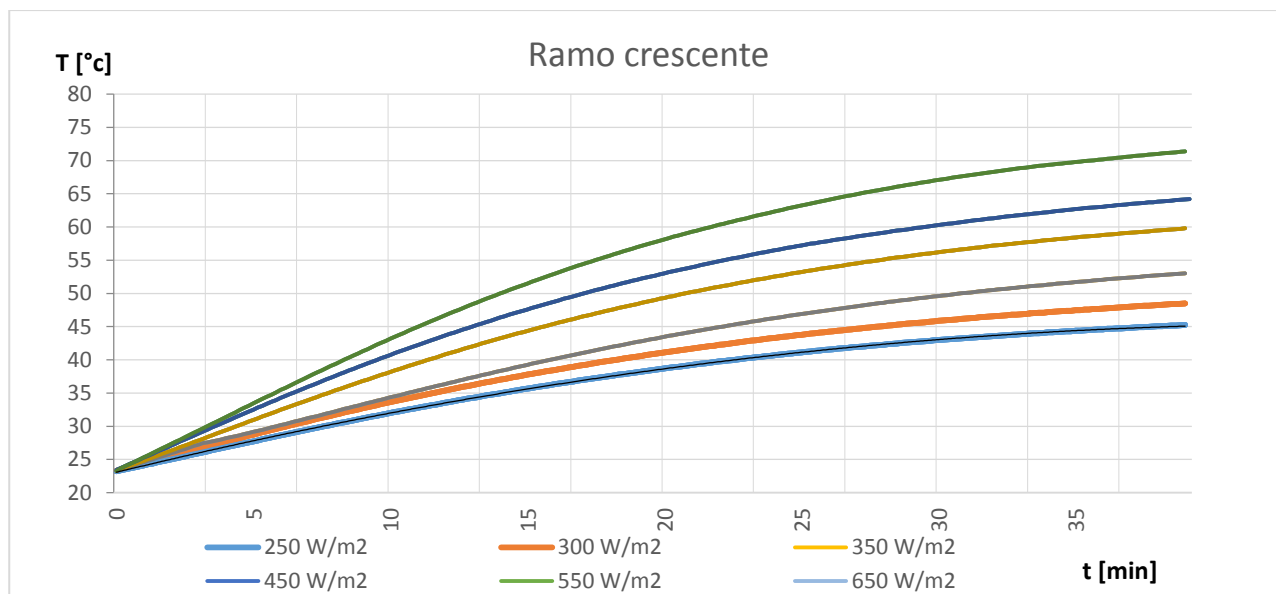


Fig. 71 – Andamento crescente delle temperature nella thermal box al variare della radiazione incidente

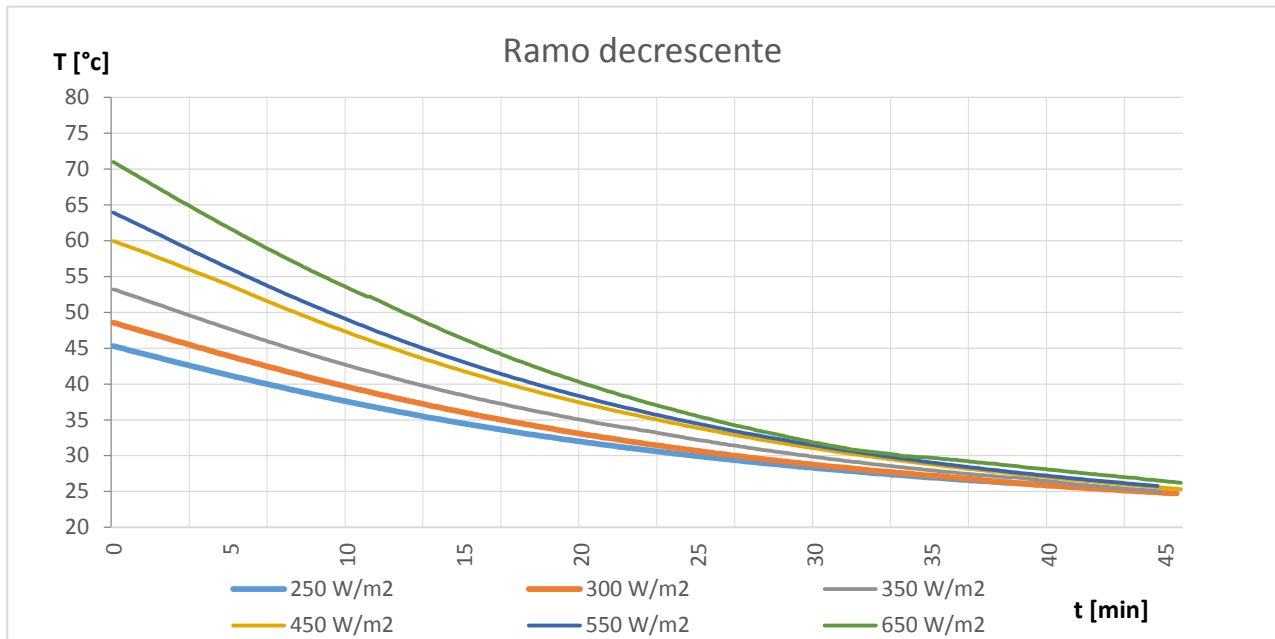


L'equazione caratteristica, ricavata attraverso regressione numerica dai dati rilevati in fase di misurazione, che descrive il generico ramo crescente in relazione al quale determinare i tempi di attivazione dell'elementi in SMA è:

$$T = 23 + 2.8 \times 10^{-3}t + 5.5 \times 10^{-5}It - 1.2 \times 10^{-8}It^2$$

dove:

- T è la temperatura [°C];
- I è l'irraggiamento [W/m<sup>2</sup>];
- t è il tempo [s].



**Fig. 72 - Andamento decrescente delle temperature nella thermal box al variare della radiazione incidente**

L'equazione caratteristica, ricavata attraverso regressione numerica dai dati rilevati in fase di misurazione, che descrive il generico ramo decrescente in relazione al quale determinare i tempi di disattivazione dell'elementi in SMA è:

$$T = 21.4 + 0.1 I + 10^{-8} It^2 + 1.3 \times 10^{-11} I^3t - 4.5 \times 10^{-5} I^2 - 5.6 \times 10^{-5} I$$

dove:

- T è la temperatura [°C];
- I è l'irraggiamento [W/m<sup>2</sup>];
- t è il tempo [s].

Attraverso queste equazioni è possibile determinare le temperature di set della lega a memoria di forma in funzione degli irraggiamenti e del tempo ipotizzati per la geometria di studio con temperatura ambientale costante di 23°C.

#### 4.7.1 Limiti e validità dello strumento semplificato per la determinazione delle temperature di attivazione

L'utilizzo del modello fisico sopra descritto (ambiente controllato di potenziamento della temperatura di attivazione degli SMA) ha dei limiti legati alla necessità di ridurre il volume da riscaldare pur preservando una superficie d'esposizione alla radiazione massima che capti la radiazione solare.

I risultati ottenuti sono validi pertanto solo per l'oggetto messo a punto per l'attività sperimentale avente una geometria, materiali e colori selezionati. Questi non sono estendibili ad altre geometrie o variazioni di materiali se non attraverso una sequenza di modellazioni in FEM. Inoltre i risultati ottenuti sono validi per condizioni al contorno prestabilite, ovvero, nonostante sia stato possibile ottenere un'equazione che correli

l'irraggiamento e il tempo alla temperatura, tali risultati sono validi solo per una temperatura ambientale esterna prestabilita di 23°C (pari a quella dell'ambiente in cui è stato svolto l'esperimento).

#### 4.7.2 Descrizione dei risultati

Il modello ipotizzato in fase sperimentale mostra caratteristiche favorevoli, quali:

- la possibilità di raggiungere le temperature necessarie per l'attivazione delle leghe a memoria di forma senza l'impiego di corrente;
- un'inerzia termica che permetta di evitare un'eccessiva reattività del sistema agli stimoli esterni.

D'altra parte però vi sono caratteristiche negative:

- Lunghi tempi di attivazione: nell'esperimento è stata ipotizzato un irraggiamento di tipo ON-OFF. Nei casi reali non sarà così, bensì vi saranno delle transizioni di irraggiamento considerate "non moleste" che permetteranno un pre-riscaldamento dell'ambiente controllato cosicché al superamento della soglia considerata di attivazione la risposta dell'ambiente, e quindi dell'elemento in SMA, in un tempo inferiore;
- Lunghi tempi di disattivazione: Il comportamento descritto per l'attivazione si presenta anche in fase di disattivazione, però in questo caso tale contributo gioca un ruolo negativo. Infatti si ha che invece che avere un netto "spegnimento" della radiazione ho un decremento graduale nel tempo: la decrescita delle temperature richiederà quindi un tempo maggiore andando così ad inficiare sulla reattività dell'ambiente, avendo così una sorta di "inibizione" di tale elemento;
- Inibizione agli stimoli esterni: Tale fenomeno di inibizione dell'ambiente controllato si riscontra anche per i periodi transitori durante i quali la radiazione scende al disotto della soglia considerata come rilevante (o per diminuzioni dell'irraggiamento vero e proprio oppure per fenomeni di oscuramento passeggeri) avendo come conseguenza che l'elemento in SMA non si possa disattivare e quindi l'elemento schermante non reagisca.



Fig. 73 – Radiazione solare incidente, 26 di Aprile, Milano, esposizione Sud per una facciata verticale.

#### 4.8 Sviluppo di alcuni modelli di funzionamento di protezioni solari con materiali a memoria di forma integrati

La tecnologia dei fili è quella che meglio si presta all'integrazione parziale nell'elemento costituente la protezione solare (maglia, tessuti, rete).

Per l'integrazione dei filo sono stati sviluppati modelli di funzionamento per schermature solari a partire da un modulo quadrato di facciata, la cui dimensione ipotizziamo essere nell'ordine dei 30 x 30 cm (dimensione del campione che permette di comprendere in funzione del tessuto, l'effettiva deformazione del sistema). Questi modelli di funzionamento sono studiati per integrare fili in SMA che, sotto l'azione di

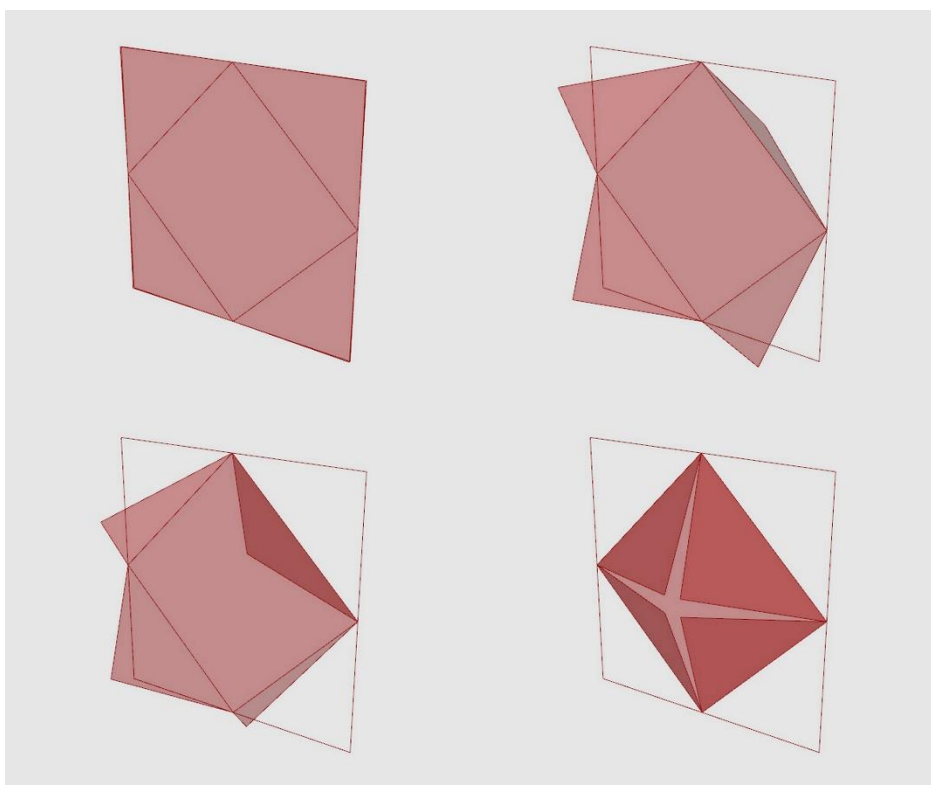
un impulso elettrico, si contraggono, facendo ruotare rigidamente o deformando il materiale flessibile di cui è composto il componente.

Questi modelli di funzionamento sono stati divisi in due categorie:

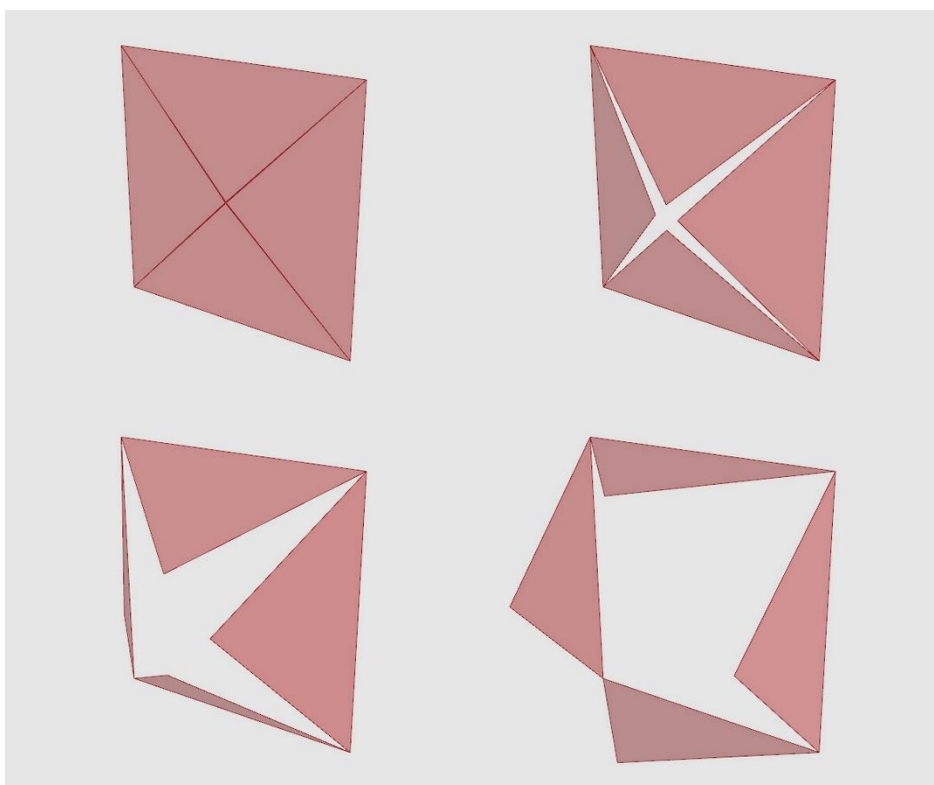
- modelli a elementi rigidi;
- modelli a elementi flessibili.

I componenti a elementi rigidi sono costituiti da parti che ruotano le une attorno alle altre, aprendo il modulo in prospettiva. Sono stati suddivisi nei seguenti modelli:

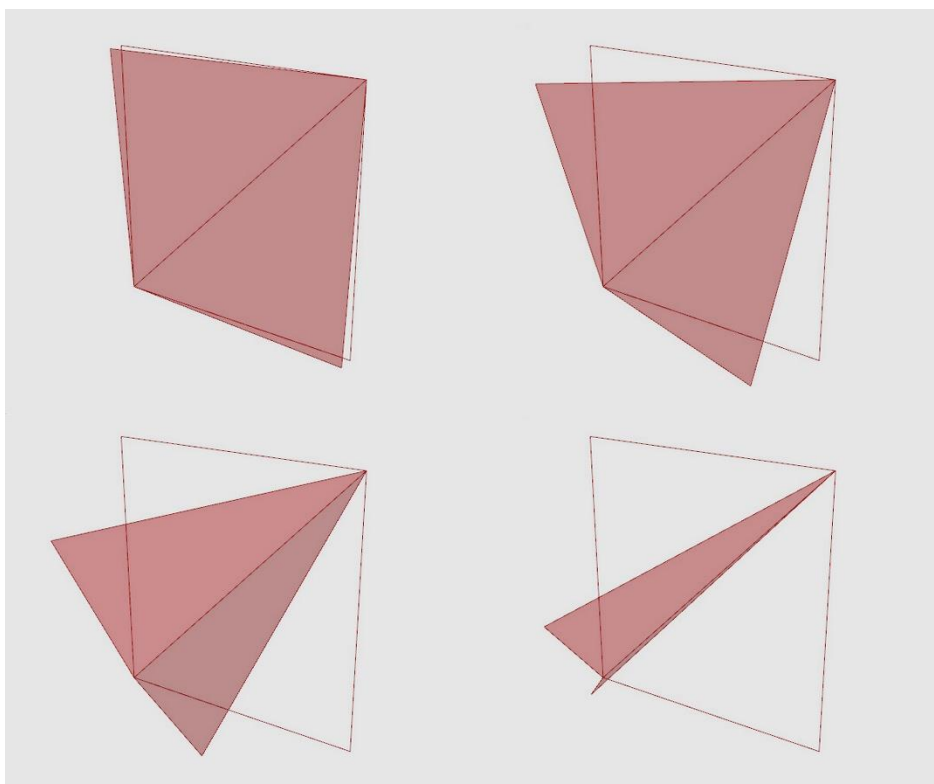
- *Modello A*: all'interno del modulo quadrato è stato ricavato un altro quadrato ruotato di  $45^\circ$  che rappresenta il pannello fisso, mentre le 4 porzioni di superficie rimanente sono libere di ruotare di  $180^\circ$  verso l'esterno o l'interno. La massima percentuale di apertura è 50%, senza la presenza di elementi aggettanti.
- *Modello B*: il modulo quadrato è stato diviso in 4 parti uguali lungo le proprie diagonali. Le 4 porzioni di superficie sono libere di ruotare di  $90^\circ$  verso l'esterno o l'interno. La massima percentuale di apertura è 100%, con la presenza di elementi aggettanti.
- *Modello C*: il modulo quadrato è stato diviso in 2 parti uguali lungo la diagonali. Le 2 porzioni di superficie sono libere di ruotare di  $90^\circ$  verso l'esterno o l'interno. La massima percentuale di apertura è 100%, con la presenza di elementi aggettanti.
- *Modello D*: il modulo quadrato è stato diviso in 8 parti uguali lungo la diagonali e lungo le congiungenti delle punti medi dei lati opposti. Mentre i segmenti di diagonale ruotano di  $45^\circ$ , i restanti segmenti ruotano di  $90^\circ$ , ripiegandosi a fiore. La massima percentuale di apertura è 100%, con la presenza di elementi aggettanti.



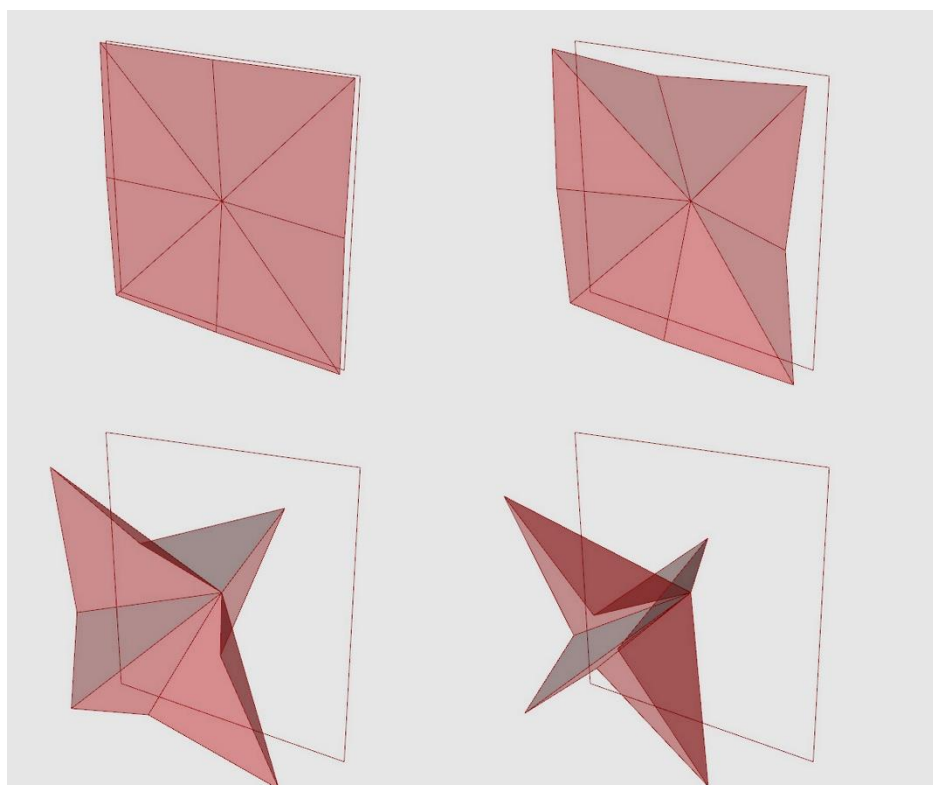
**Fig. 74 – Modello A: Modello funzionale a elementi mobili rigidi, apertura massima 50%, assenza di elementi aggettanti**



**Fig. 75 – Modello B: Modello funzionale a elementi mobili rigidi, apertura massima 100%, presenza di elementi aggettanti**



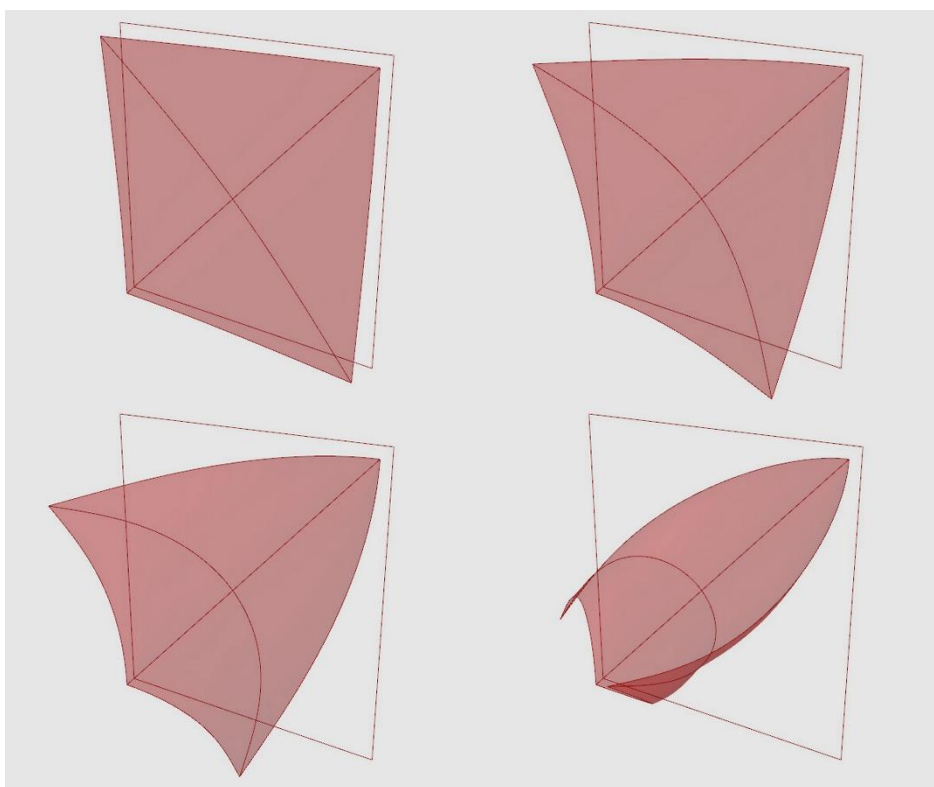
**Fig. 76 – Modello C: Modello funzionale a elementi mobili rigidi, apertura massima 100%, presenza di elementi aggettanti**



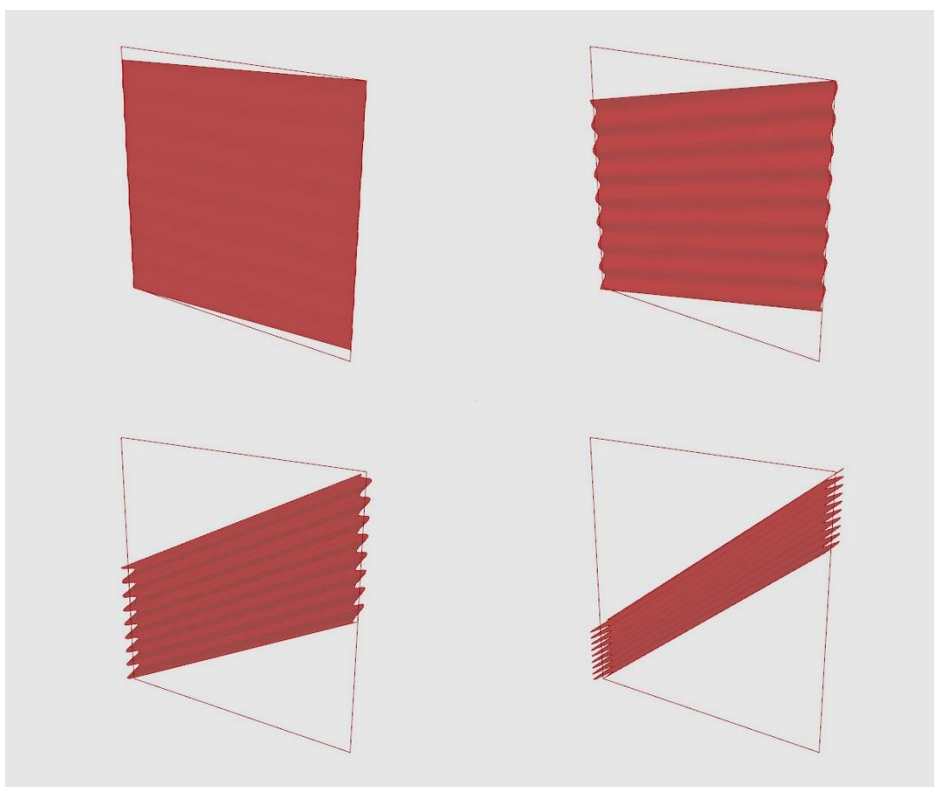
**Fig. 77 – Modello D: Modello funzionale a elementi mobili rigidi, apertura massima 100%, presenza di elementi aggettanti**

I componenti a elementi flessibili sono in grado di deformare proprie porzioni di superficie deformandole o arricciandole. Sono stati suddivisi nei seguenti modelli:

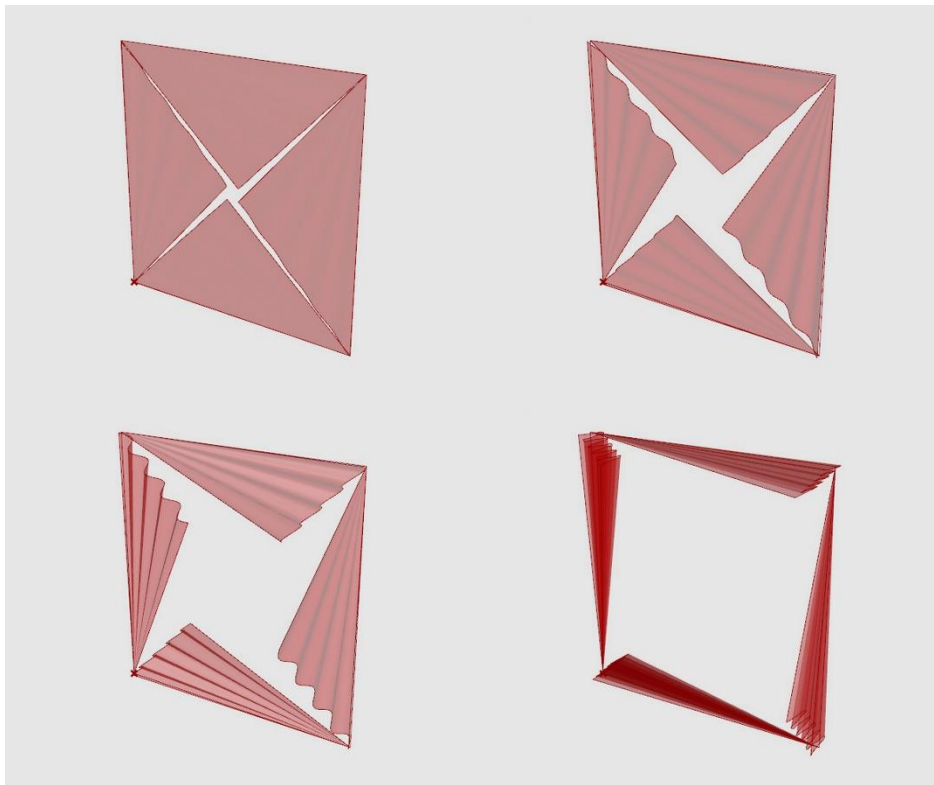
- *Modello E*: il modulo quadrato semirigido si flette con linea di piega lungo una diagonale. I due estremi si piegano con tangenti a  $90^\circ$ . La percentuale di apertura è variabile a seconda della deformata, con la presenza di elementi aggettanti.
- *Modello F*: i due vertici opposti del modulo quadrato scorrono verticalmente in direzione opposta facendo ripiegare l'intero modulo arricciandolo secondo pieghe diagonali. La massima percentuale di apertura è variabile, a seconda dell'ingombro delle porzioni arricciate, senza la presenza di elementi aggettanti.
- *Modello G*: il modulo quadrato è stato diviso in 4 parti uguali lungo le proprie diagonali. Le 4 porzioni di superficie si arricciano a causa dello scorrimento del vertice centrale lungo la semidiagonale del quadrato. La massima percentuale di apertura è variabile, a seconda dell'ingombro delle porzioni arricciate, senza la presenza di elementi aggettanti.
- *Modello H*: all'interno del modulo quadrato è stato ricavato un altro quadrato ruotato di  $45^\circ$  che rappresenta il pannello fisso, mentre le 4 porzioni di superficie rimanente si arricciano a causa dello scorrimento del vertice lungo il semilato del quadrato. La massima percentuale di apertura è variabile, a seconda dell'ingombro delle porzioni arricciate, senza la presenza di elementi aggettanti.



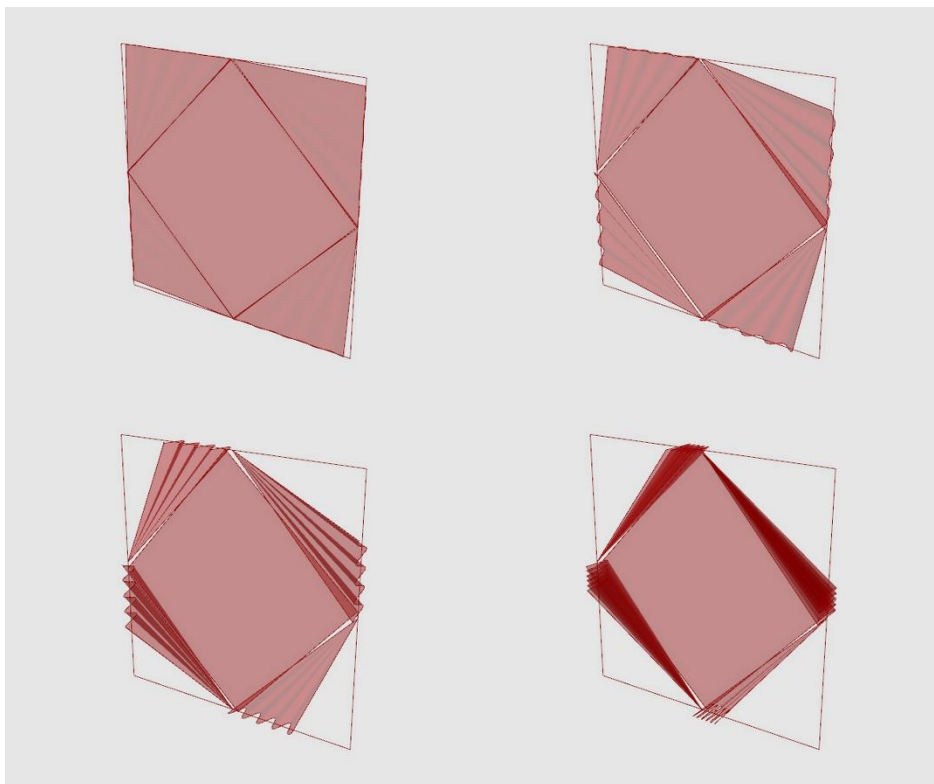
**Fig. 78 – Modello E: Modello funzionale a elemento unico semirigido, apertura massima variabile, presenza di elementi aggettanti**



**Fig. 79 – Modello F: Modello funzionale a elemento unico flessibile plissettato, apertura massima variabile, assenza di elementi aggettanti**



**Fig. 80 – Modello G: Modello funzionale a 4 elementi flessibili plissettati, apertura massima variabile, assenza di elementi aggettanti**



**Fig. 81 – Modello H: Modello funzionale a 4 elementi flessibili plissettati ed elemento fisso centrale, apertura massima variabile, assenza di elementi aggettanti**

#### 4.9 *Considerazioni conclusive*

Essendo state illustrate le possibilità di impiego degli SMA sia come attuatore sia come elementi integrati nelle schermature solari, è possibile un confronto tra queste due modalità.

Ovviamente l'impiego sotto forma di attuatore è meno oneroso dal punto di vista economico (a causa della minore presenza in massa degli SMA), è una soluzione percorribile anche per sistemi di schermatura tradizionali esistenti (seppure nei limiti di operatività del materiale a memoria di forma) e limita al minimo la presenza di componenti in SMA; l'utilizzo integrato sotto forma di fili, d'altra parte, richiede la progettazione ad hoc di un nuovo sistema di schermatura, attraverso modelli di funzionamento che soddisfino i requisiti di funzionamento del materiale a memoria di forma.

Per quanto riguarda i costi di esercizio, gli SMA si prospettano essere un sistema valido per l'attuazione del movimento di schermature solari mobili, anche se è necessaria un approfondimento per quanto riguarda i costi da affrontare nell'arco della sua vita utile. Rimangono più alti, invece, i costi iniziali relativi al materiale rispetto ad una soluzione tradizionale (motore elettrico). È indubbio, soprattutto nelle soluzioni integrate con fili in SMA, l'impatto architettonico e la visibilità della soluzione tecnica. Una valutazione comparativa sull'effettiva competitività di una soluzione SMA rispetto ad una tradizionale dovrebbe tenere conto del bilancio energetico totale sull'edificio, sull'efficacia e la responsività della soluzione rispetto agli stimoli termici esterni, sul costo iniziale e sui costi di gestione.



## 5 Conclusioni

Il documento riporta le attività svolte relativamente al programma di ricerca “Sviluppo di materiali e tecnologie per la riduzione degli effetti della radiazione solare”.

Le attività di ricerca si sono concentrate sul potenziamento delle prestazioni dell’involucro edilizio per la realizzazione o il recupero di edifici a ridotto o quasi nullo fabbisogno energetico. Le azioni di ricerca hanno riguardato due ambiti specifici: quello relativo all’implementazione delle prestazioni energetiche delle parti trasparenti attraverso lo studio e l’identificazione di nuovi sistemi, componenti o materiali per le protezioni solari (un edificio a basso fabbisogno richiede un controllo a basso costo e a basso impatto degli apporti solari gratuiti) e quello relativo allo studio del decadimento prestazionale per invecchiamento delle proprietà ottico radiative delle finiture di involucro e, nel dettaglio, dei cool materials. Quest’ultima parte è contenuta all’ interno dell’altro report di progetto.

Gli edifici a fabbisogno energetico ridotto per la climatizzazione richiedono involucri performanti a comportamento adattivo, ossia capaci di modificare il loro comportamento dal punto di vista energetico (modulazione dei segnali energetici e luminosi) al variare delle forzanti esterne e delle sollecitazioni interne. In questa logica di funzionamento dell’involucro, le parti trasparenti e le protezioni solari divengono il punto debole e di forza nel funzionamento energetico dell’organismo edilizio. Le strategie per il controllo degli apporti solari sono molteplici: agendo direttamente sulla specchiatura mediante depositi o accoppiamento di uno o più strati (pellicole) o abbinando al vetro uno o più *layer* (elementi continui o discontinui, permeabili o meno all’aria, regolabili o fissi, interni o interposti). L’agire unicamente sulle specchiature significa disporre di un sistema a comportamento efficiente (vetri selettivi, riflettenti, basso-emissivi) ma statico ossia non in grado di modificare il comportamento al variare delle condizioni di cielo. La dinamicità di comportamento della componente trasparente può essere demandata ad uno strato aggiuntivo che, variando l’assetto, consente una variazione della prestazione ottico-energetica in funzione del contesto sollecitante. Lo sfruttamento di particolari configurazioni geometriche unitamente al controllo delle proprietà radiative delle superfici (distinguendo tra superficie interna e superficie esterna ossia tra superfici rivolte verso il vetro o verso la volta celeste) possono rendere il sistema edificio altamente performante.

Il programma di ricerca si è così articolato. Si rimanda ai singoli capitoli per l’approfondimento:

1. Definizione del problema della ricerca e degli obiettivi attesi (**Capitolo 1**);
2. la ricerca e la selezione di materiali e prodotti messi a punto in altri settori e potenzialmente impiegabili nelle protezioni solari (tessuti metallici, tessuti a trama tridimensionale, griglie tridimensionali, lamiere forate a geometria bidirezionale) e la successiva caratterizzazione delle proprietà radiative (**Capitolo 2**);
3. la caratterizzazione delle proprietà radiative di materiali a geometria complessa e a prestazione bidirezionale (tessuti in polimero, tele metalliche e lamiere microforate) con particolare attenzione alla definizione della variazione della prestazione ottica al variare della geometria solare e del verso di posa in opera che può portare ad una sovrastima della disponibilità di luce naturale in ambiente confinato o di radiazione incidente sul vetro (dipendenza angolare della prestazione). Tale indagine è stata effettuata al fine di colmare una lacuna relativa alle proprietà ottiche di materiali attualmente in uso nel settore delle costruzioni (ma di cui non sono disponibili dati utili al fine delle modellazioni illuminotecniche ed energetiche perché non forniti dallo stesso produttore) (**Capitolo 2**);
4. la caratterizzazione delle proprietà radiative di superfici flessibili a prestazione ottica potenziata. Si tratta di superfici trasparenti a base polimerica (ETFE) trattate superficialmente e/o accoppiate ad ulteriori layer polimerici (**Capitolo 3**);

5. la definizione delle possibili implementazioni prestazionali del sistema di controllo solare per funzionalità aggiunte alla scala dell'edificio e alla meso-scala (identificazione di modelli nuovi modelli di funzionamento) (**Capitolo 4**);
6. la verifica dell'integrabilità di materiali a memoria di forma (*Smart Materials*, SM) nei sistemi di protezione solare (sistemi self adaptive che non richiedono una attivazione elettrica e sistemi meccanici di movimentazione) con la definizione dei limiti applicativi e dei possibili modelli di funzionamento (**Capitolo 4**);
7. La creazione di un archivio strutturato di sistemi complessi di schermatura (**Allegato A**).

In riferimento ai punti 2 e 3 sono stati selezionati e raccolti 60 prodotti. Questi sono stati organizzati per macro tipologie: elementi a comportamento diffuso, elementi con geometria bidirezionale, elementi a geometria tridimensionali, pellicole. Per ogni singolo prodotto sono stati individuati i possibili campi di impiego (nel caso di prodotti innovativi o messi a punto in settori differenti da quello delle costruzioni), i limiti nell'applicazione (analisi delle proprietà meccaniche e chimico-fisico ove disponibili) e sono state effettuate le prime misure per la caratterizzazione ottico-radiativa. L'attività di caratterizzazione è consistita nella misura della riflettanza e della trasmittanza solare (25 campioni a texture complessa misurati con sfera integrata/apparato CATRAM nella lunghezza d'onda compresa fra 300 e 1700) e della trasmittanza luminosa. Questa prima campagna di misura ha permesso una ulteriore selezione dei campioni (25 prodotti) escludendo tutti i materiali a prestazione energetica limitata.

Tutte le proprietà sono state raccolte in schede di "prestazione di prodotto" presentate nell'Allegato A (archivio della prestazione delle protezioni solari innovative strutturato per una implementazione nel tempo).

In riferimento al punto 4 si è proceduto in prima istanza alla caratterizzazione ottica della pellicola di riferimento in ETFE e all'accoppiamento di questo elemento con differenti pellicole (6 campioni) riflettenti e selettive (questa attività è stata preceduta anche da una caratterizzazione ottica delle pellicole attualmente in uso sulle superfici vetrate).

La parte di ricerca attualmente in corso è relativa al deposito su pellicole di ETFE (6 campioni) di alcuni trattamenti a base di applicazione di resine acriliche additivate (27 tipologie di campioni) o stampa a getto d'inchiostro a base solvente (9 campioni). Le attività sono di tipo esplorativo (nessuna valutazione viene effettuata in merito agli aspetti di stabilità e di compatibilità chimica nel tempo) e hanno lo scopo di comprendere: l'alterazione cromatica determinata dalla variazione della percentuale del pigmento presente nell'emulsione e l'alterazione delle proprietà ottiche e radiative (da considerarsi come elemento costituente delle protezioni solari e non come pellicola sostituita alle pellicole selettive in uso sulle vetrazioni).

Tutti i campioni sono stati misurati in trasmittanza e riflettanza per le lunghezze d'onda comprese tra 250 e 2500 nm con spettrofotometro Perkin Elmer Lambda 950 e sfera integratrice da 150 mm di diametro.

Per quanto attiene al punto 5 e 6 si è proceduto alla determinazione delle potenziali nuove funzionalità dei sistemi di controllo solare. Nello specifico ci si è concentrati sui materiali a memoria di forma e sullo studio delle possibilità di integrazione nei sistemi di controllo solare (come attuatori, integrati parzialmente o totalmente per garantire una movimentazione senza l'ausilio di componenti meccanici). Lo studio ha permesso di identificare i limiti applicativi di questi sistemi e la definizione delle condizioni al contorno per l'attivazione (SM sotto forma di molla come attuttore nel caso di applicazione a breve termine su sistemi attualmente in uso).

In ogni capitolo sono riportate le conclusioni analitiche qui omesse.

## 6 Riferimenti bibliografici

- [1] A. J. Marszal, P. Heiselberg, J. S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori e A. Napolitano, «Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies,» *Energy and Buildings*, vol. 43, n. 4, pp. 971-979, April 2011.
- [2] European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE), «Net zero energy buildings: definitions, issues and experience,» 2009.
- [3] K. Voss, E. Musall e M. Lichtmeß, «From Low-Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status and Perspectives,» *Journal of Green Building*, vol. 6, n. 1, pp. 46-57, 2011.
- [4] K. Voss e K. Musall, *Net zero energy buildings*, Il a cura di, Munich: Detail Green Books, 2012.
- [5] H. Poirazis, A. Blomsterberg e M. Wall, «Energy simulations for glazed office buildings in Sweden,» *Energy and Buildings*, vol. 40, n. 7, pp. 1161-1170, 2008.
- [6] EPBD, «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast),» *Official Journal of the European Union*, 2010.
- [7] «The BOLIG+ project,» [Online]. Available: <http://www.boligplus.org>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [8] «High Performances Buildings Database,» [Online]. Available: <http://eere.buildinggreen.com/>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [9] «Strategic Research Centre for Zero Energy Buildings,» [Online]. Available: <http://www.en.zeb.aau.dk/>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [10] T. I. E. A. (IEA), «SHC TASK 40, Annex 52, Net Zero Energy Buildings Database,» [Online]. Available: <http://task40.iea-shc.org/>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [11] Bio Intelligence Service; Ronan Lyons; IEEP, «Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries,» 2013.
- [12] G. F. Menzies e J. R. Wherrett, «Windows in the workplace: examining issues of environmental sustainability and occupant comfort in the selection of multi-glazed windows,» *Energy and Building*, vol. 37, n. 6, 2005.
- [13] A. I. Palmero-Marrero e A. C. Oliveira, «Effect of louver shading devices on building energy requirements,» *Applied Energy*, vol. 87, n. 6, pp. 2040-2049, 2010.
- [14] A. Tzempelikosa e A. K. Athienitisa,, «The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand,» *Solar Energy*, vol. 81, n. 3, pp. 369-382, 2007.
- [15] E. S. Lee, D. L. Di Bartolomeo e S. E. Selkowitz, «Thermal and daylighting performance of an automated Venetian blind and lighting system in a full-scale private office,» *Energy and Buildings*, vol. 29, pp. 47-63, 1998.
- [16] L. Heschong, «Daylighting and human performance,» *ASHRAE Journal*, vol. 44, n. 8, pp. 65-67, 2002.
- [17] C. M. Lampert, «Electrochromic materials and devices for energy efficient windows,» *Solar Energy Materials*, vol. 11, n. 1-2, pp. 1-27, Ottobre 1984.
- [18] A. Guillemin e S. Molteni, «An energy-efficient controller for shading devices self-adapting to the user wishes,» *Building and Environment*, vol. 37, n. 11, pp. 1091-1097, 2002.
- [19] E. Vine, E. Lee, R. Clear, D. Di Bartolomeo e S. Selkowitz, «Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study,» *Energy and Buildings*, vol. 28, pp. 205-218, 1998.
- [20] A. G. Mainini, T. Poli, M. Zinzi e S. Cangiano, «Caratterizzazione Fotometrica di un Pannello in Calcestruzzo Trasparente,» in *19° Congresso C.T.E.*, Bologna, 2012.
- [21] A. Maccari, M. Montecchi, F. Treppo e M. Zinzi, «Catram: an apparatus for the optical characterization of advanced transparent materials,» *Applied optics*, vol. 37, n. 22, 1998.

- [22] A. G. Mainini, T. Poli, M. Zinzi e S. Cangiano, «Spectral light transmission measure and radiance model validation of an innovative transparent concrete panel for façades,» *Energy Procedia*, vol. 30, pp. 1184-1194, 2012.
- [23] R. Levinson, P. Berdahl e H. Akbari, «Solar spectral optical properties of pigments—Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 89, n. 4, pp. 319-349, 2005.
- [24] R. Levinson, P. Berdahl e H. Akbari, «Solar spectral optical properties of pigments—Part II: survey of common colorants,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 89, n. 4, pp. 351-389, 2005.
- [25] University of Cambridge, «DoITPoMS - Teaching and Learning Packages Library,» [Online]. Available: <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/index.php>.
- [26] SAES Getters, «SAES Getters,» [Online]. Available: <http://www.saesgetters.com/>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [27] K. Otsuka e C. M. Wayman, *Shape memory materials*, Cambridge University Press, 1998.
- [28] C. Liu, H. Qinb e P. T. Mather, «Review of progress in shape-memory polymers,» *Journal of Materials Chemistry*, vol. 17, pp. 1543-1558, 2007.
- [29] Wikipedia, «Shape-memory polymer,» [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Shape-memory\\_polymer#Shape-memory\\_polymers\\_vs.\\_shape-memory\\_alloys](http://en.wikipedia.org/wiki/Shape-memory_polymer#Shape-memory_polymers_vs._shape-memory_alloys). [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [30] Decker Yeadon LLC, «Decker Yeadon | New York,» [Online]. Available: <http://www.deckeryeadon.com/>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [31] Decker Yeadon LCC, «SmartScreen Controlling Solar Heat Gain with Shape-Memory Systems,» [Online]. Available: <http://www.docstoc.com/docs/21927824/SmartScreenControlling-Solar-Heat-Gain-with-Shape-Memory-Systems>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [32] A. O. Payne, «Assignment 9: Shape Memory Alloy Panel System (Output Devices),» [Online]. Available: <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/863.10/people/andy.payne/Asst9.html>. [Consultato il giorno 13 08 2013].
- [33] dO|Su STUDIO ARCHITECTURE, «Glass Panel Shutter System,» [Online]. Available: <http://www.dosu-arch.com/smartwindow.html>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [34] dO|Su Studio Architectre, «Bloom,» [Online]. Available: <http://www.dosu-arch.com/bloom.html>. [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [35] the coalition of designers among friends, «bi-stable shading,» [Online]. Available: [http://www.thecodaf.com/bi-stable\\_shading\\_1.html](http://www.thecodaf.com/bi-stable_shading_1.html). [Consultato il giorno 23 08 2013].
- [36] ArchDaily, «Compliant Shading Enclosure / Brent Vander Werf,» [Online]. Available: <http://www.archdaily.com/69969/compliant-shading-enclosure-brent-vander-werf/>. [Consultato il giorno 23 08 2013].

## 7 Normativa di riferimento

<b>ISO 9050</b>	Glass in building – Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors.
<b>CIE 130-1998</b>	Practical methods for the measurement of reflectance and transmittance.
<b>UNI EN ISO 6946</b>	Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo.
<b>UNI 8477-1</b>	Energia solare – Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia – Valutazione dell’energia raggiante ricevuta.
<b>UNI 10349</b>	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici.
<b>UNI 10840</b>	Luce e illuminazione – Locali scolastici – Criteri generali per l’illuminazione artificiale e naturale.
<b>UNI/TS 11300-1</b>	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
<b>UNI EN 410</b>	Vetro per edilizia – Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate.
<b>UNI EN 12216</b>	Chiusure oscuranti, tende interne ed esterne – Terminologia, glossario e definizioni.
<b>UNI EN 12464-1</b>	Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: Posti di lavoro in interni.
<b>UNI EN 12464-2</b>	Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: Posti di lavoro in esterni.
<b>UNI EN 13120</b>	Tende interne – Requisiti prestazionali compresa la sicurezza.
<b>UNI EN 13561</b>	Tende esterne – Requisiti prestazionali compresa la sicurezza.
<b>UNI EN 13659</b>	Chiusure oscuranti – Requisiti prestazionali compresa la sicurezza.
<b>UNI EN 13363-1</b>	Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza totale e luminosa – Parte 1: metodo di calcolo semplificato.
<b>UNI EN 13363-2</b>	Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza totale e luminosa – Parte 2: metodo di calcolo dettagliato.
<b>UNI EN ISO 13790</b>	Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
<b>UNI EN 14501</b>	Tende e chiusure oscuranti – Benessere termico e visivo – Caratteristiche prestazionali e caratterizzazione.
<b>ISO 15099</b>	Thermal performance of windows, doors and shading devices – Detailed calculations.

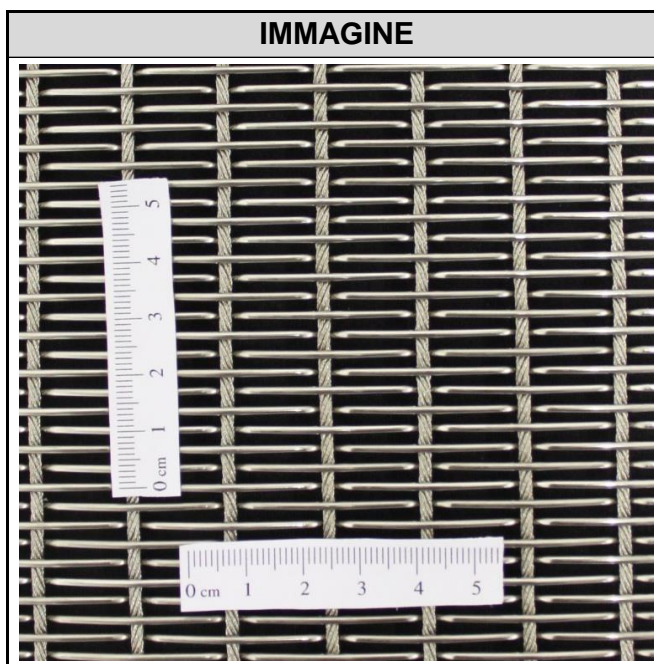
## Allegato A – Archivio di prodotti innovativi

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>A</b>	CODICE
			00 003

SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
Tela metallica in acciaio inox. La tela è costituita da trefoli longitudinali di diametro 2 mm e con passo 18 mm e da fili piegati trasversali di diametro 1,5 mm e con passo 3 mm. La rete ha uno spessore di 4,5 mm.

FORNITURA	
Larghezza massima	200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	Acciaio Inox						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■	■		■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■	■		■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p>Generalmente impiegato come pelle esterna. Soggetto allo sporco e al deposito di polveri se esterno; vibrazioni in caso di sollecitazione del vento (se non protetto). Dipendenza angolare in funzione dell'orientamento per prestazione energetica e luminosa. Fronte e retro diversi, ma non nel funzionamento. Tempo di vita utile elevato. Elevati costi.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamina metallica

Polimero spalmato

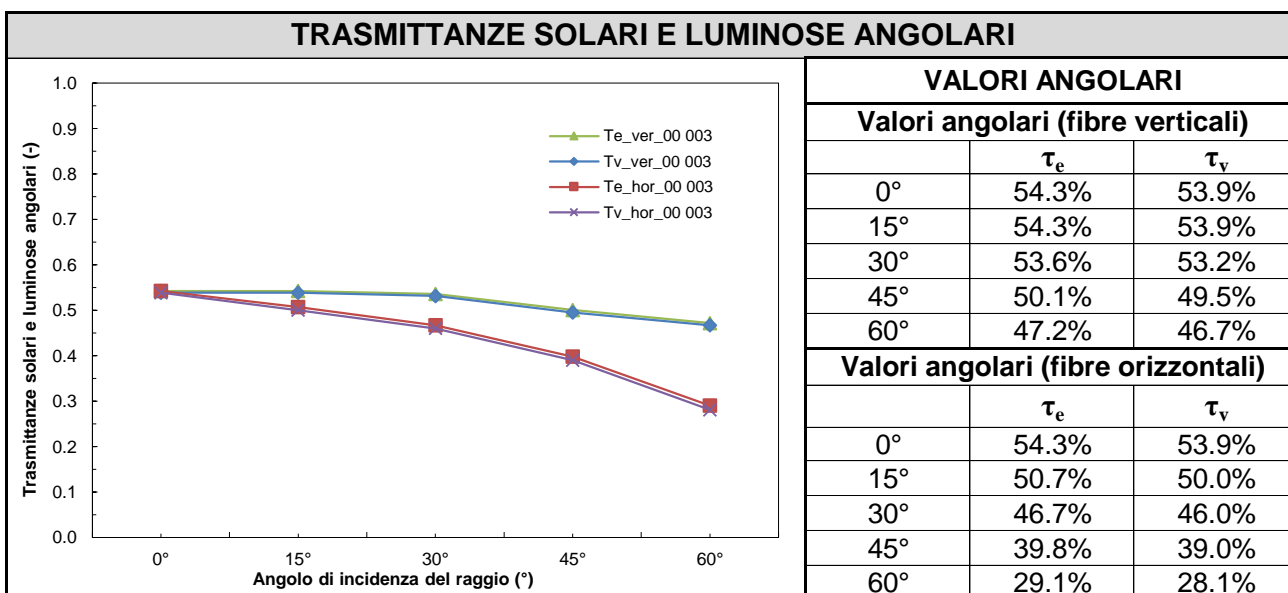
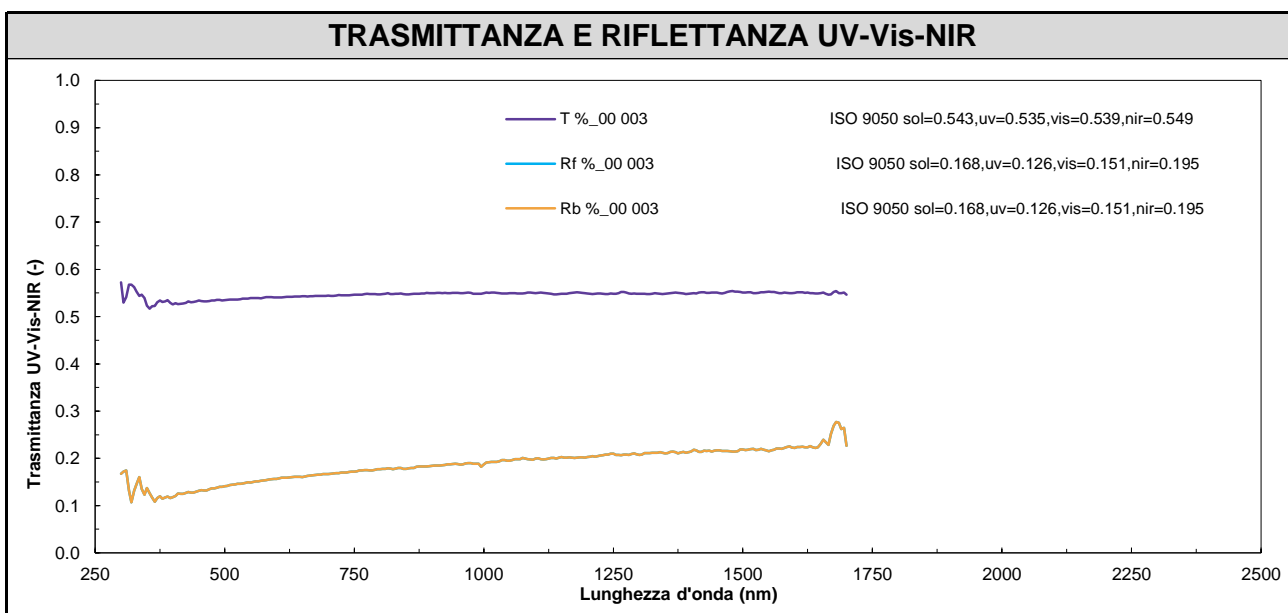
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>B</b>	CODICE
			00 003

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	5.80	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )	W/mK	15	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	515	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		54.3%	16.8%	16.8%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		53.9%	15.0%	15.0%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

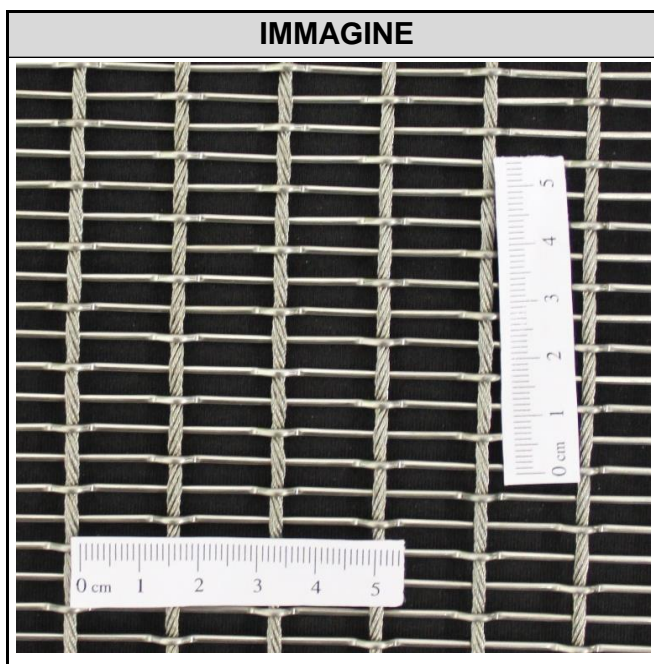
Composito



SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>A</b>	CODICE
			00 005

SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
Tela metallica in acciaio inox. La tela è costituita da trefoli longitudinali di diametro 2 mm e con passo 18 mm e da fili piegati trasversali di diametro 1,5 mm e con passo 5 mm. La rete ha uno spessore di 4,5 mm.



FORNITURA	
Larghezza massima	200 cm

COMPOSIZIONE							
Materiale	Acciaio Inox						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■	■		■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■	■		■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbimento solare	■
Trasmittanza solare	■■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
Generalmente impiegato come pelle esterna. Soggetto allo sporco e al deposito di polveri se esterno; vibrazioni in caso di sollecitazione del vento (se non protetto). Dipendenza angolare in funzione dell'orientamento per prestazione energetica e luminosa. Fronte e retro diversi, ma non nel funzionamento. Tempo di vita utile elevato. Elevati costi.

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

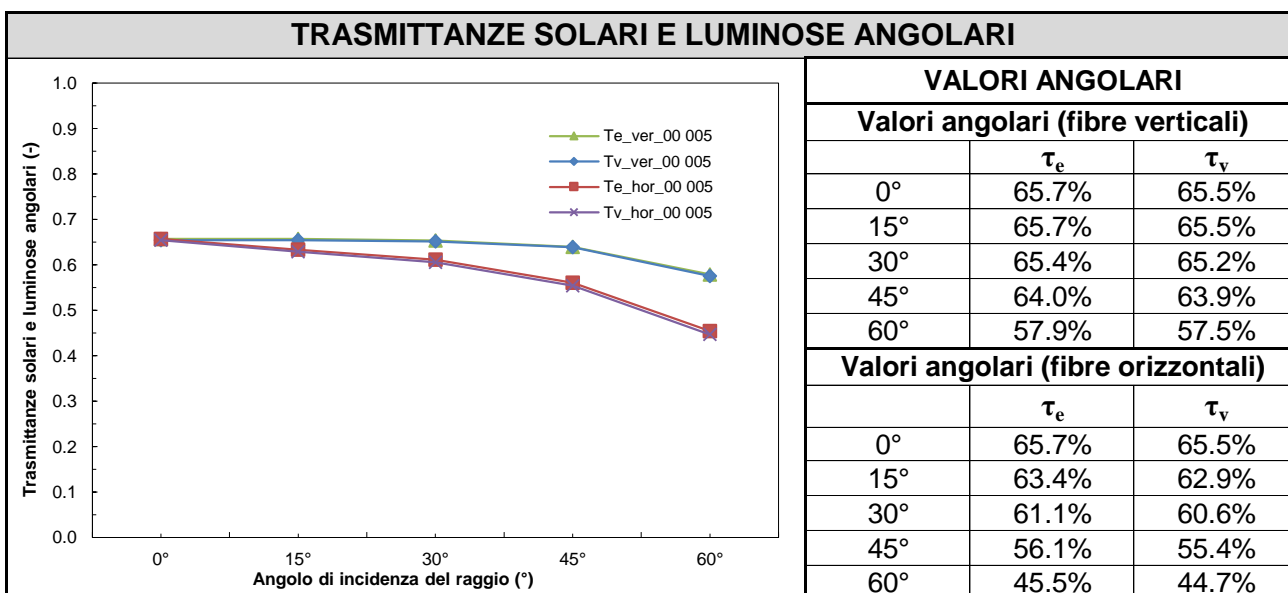
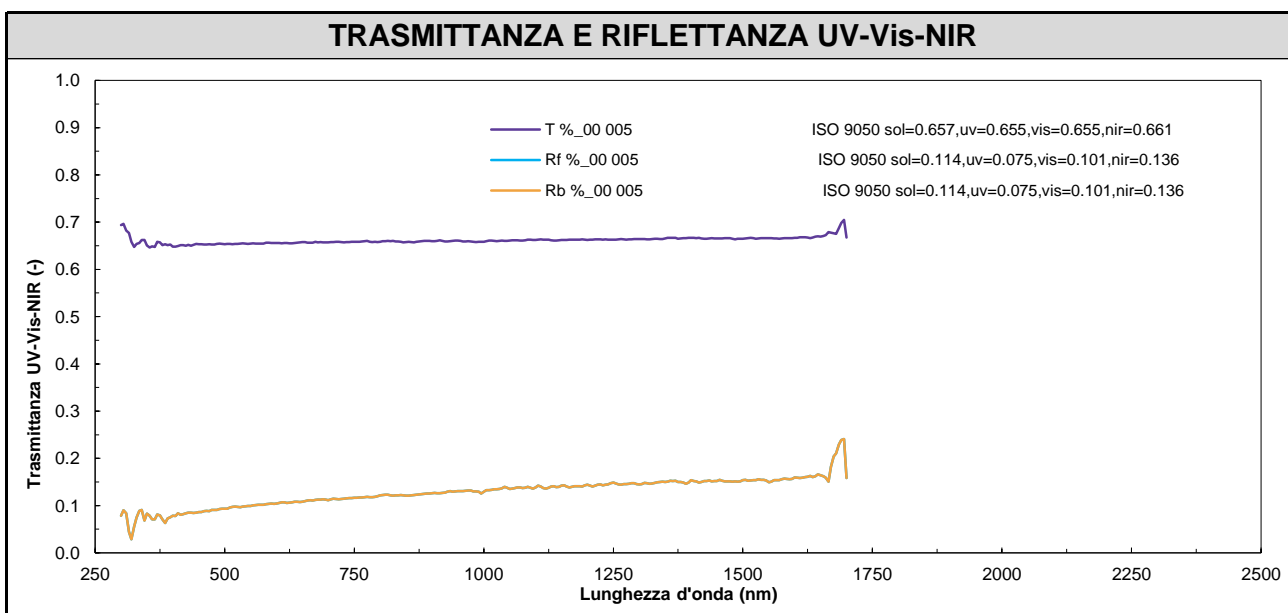
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>B</b>	CODICE
			00 005

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	4.00	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	15	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	515	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		65.7%	11.4%	11.4%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		65.5%	10.0%	10.0%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

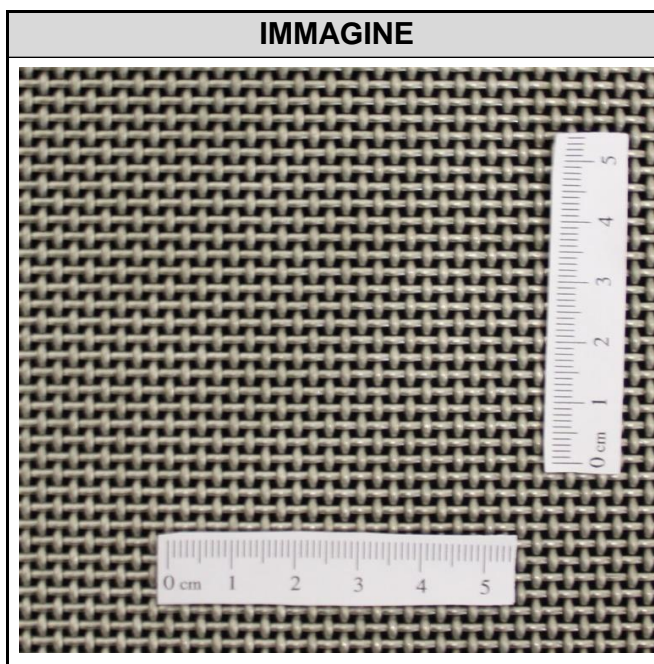
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>A</b>	CODICE
			00 009

SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
Tela metallica in acciaio inox. La tela è costituita da fili rigidi intrecciati di diametro pari a 1,60 mm, ha una superficie aperta del 19 % ed uno spessore di 4 mm.

FORNITURA	
Larghezza massima	160 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	Acciaio inox						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■	■	■	■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■	■	■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■■■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■■■
Trasmittanza solare	■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p>Generalmente impiegato come pelle esterna. Soggetto allo sporco e al deposito di polveri se esterno; elevati pesi, anche per la sottostruttura di fissaggio; rigido.</p> <p>Dipendenza angolare in funzione dell'orientamento per prestazione energetica e luminosa; alterazione percezione del colore.</p> <p>Fronte e retro diversi, ma non nel funzionamento.</p> <p>Tempo di vita utile elevato. Elevati costi.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamina metallica

Polimero spalmato

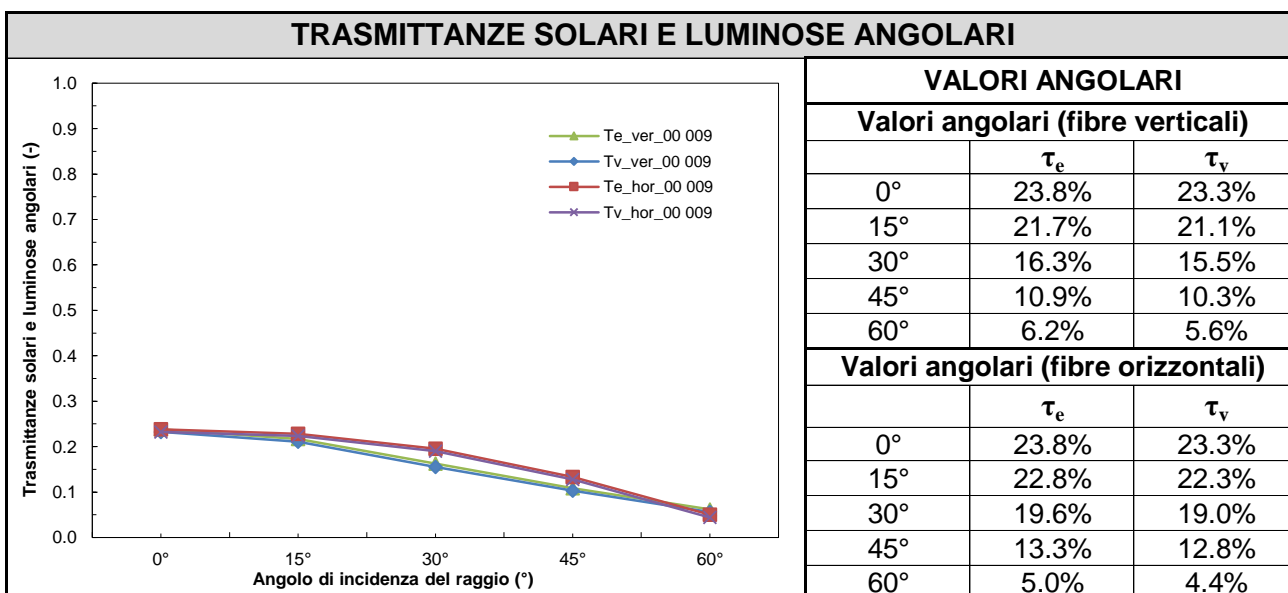
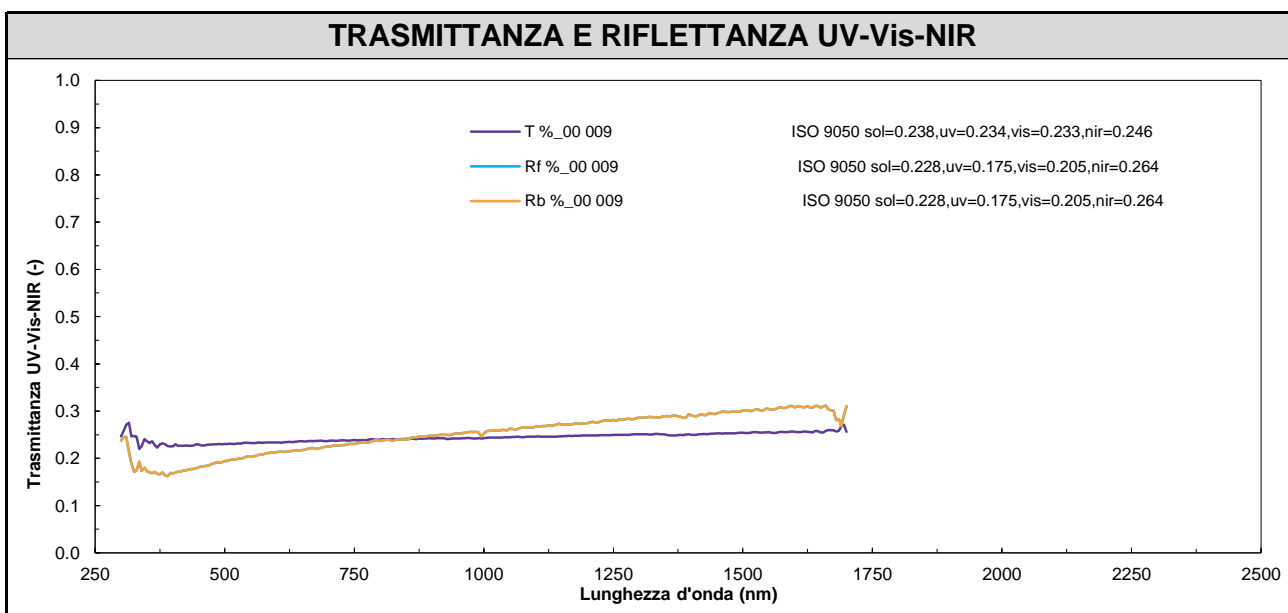
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>B</b>	CODICE
			00 009

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	Kg/m <sup>2</sup>	11,5	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	15	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	515	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
			23.8%	22.8%	22.8%	
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
			23.3%	20.5%	20.5%	

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

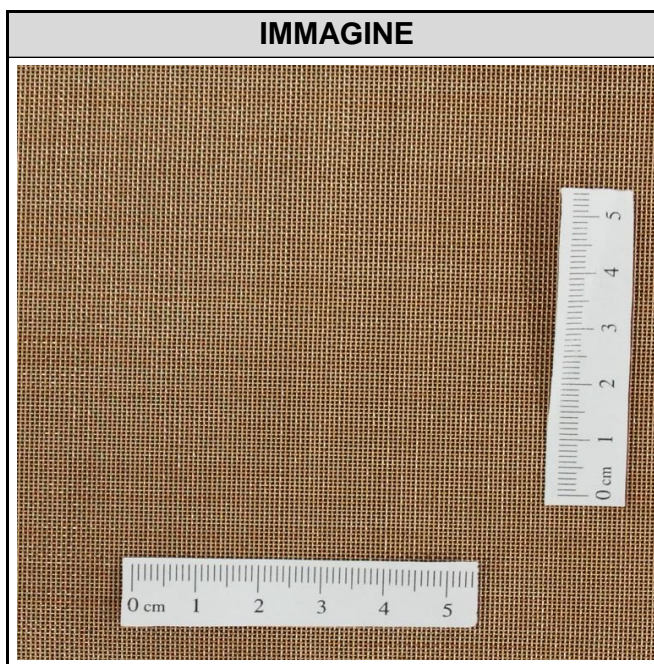
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in rame</b>	<b>A</b>	CODICE
			00 010

SETTORE	
architettura	arredo

DESCRIZIONE
Tela metallica in rame. La tela è costituita da fili intrecciati di diametro pari a 0,20 mm, ha una superficie aperta del 50 % ed uno spessore di 0,4 mm.

FORNITURA	
Larghezza massima	200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	Rame						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■			■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■			■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■ ■ ■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■ ■ ■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
<p>Flessibile e deformabile, in modo diverso avendo 2 o 4 lati tensionati oppure fissato agli angoli; richiede attenzione nella fase di lavorazione.</p> <p>Dipendenza angolare in funzione dell'orientamento per prestazione energetica e luminosa; alterazione percezione del colore.</p> <p>Fronte e retro diversi per brillantezza della superficie, ma non nel funzionamento.</p> <p>Tempo di vita utile elevato. Elevati costi.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

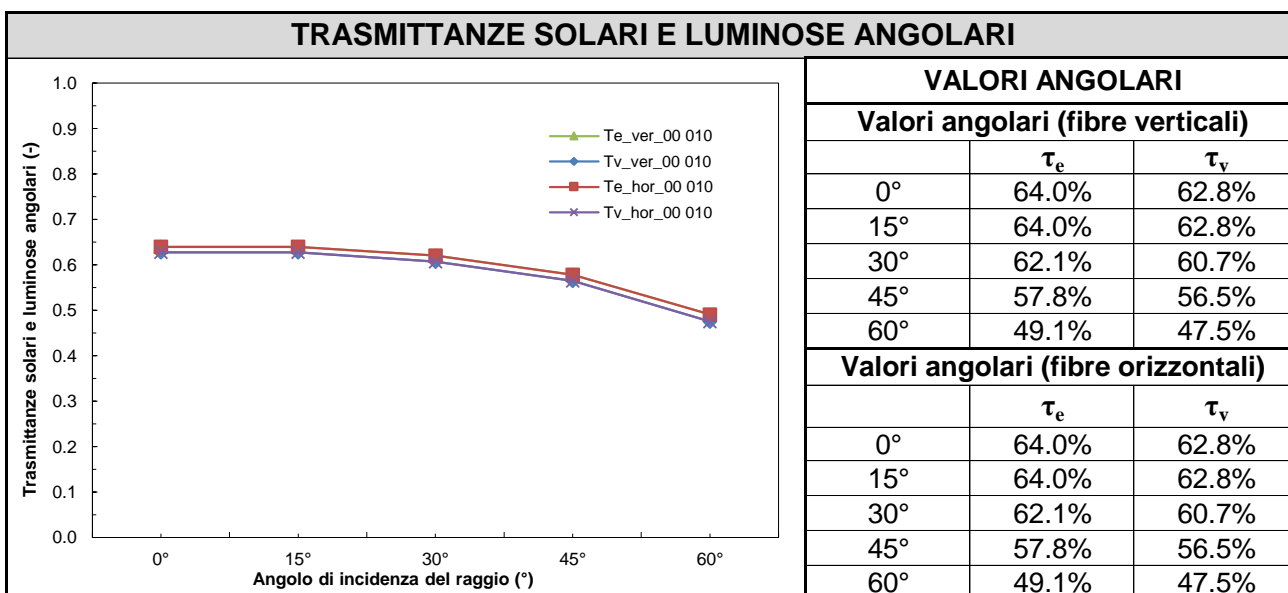
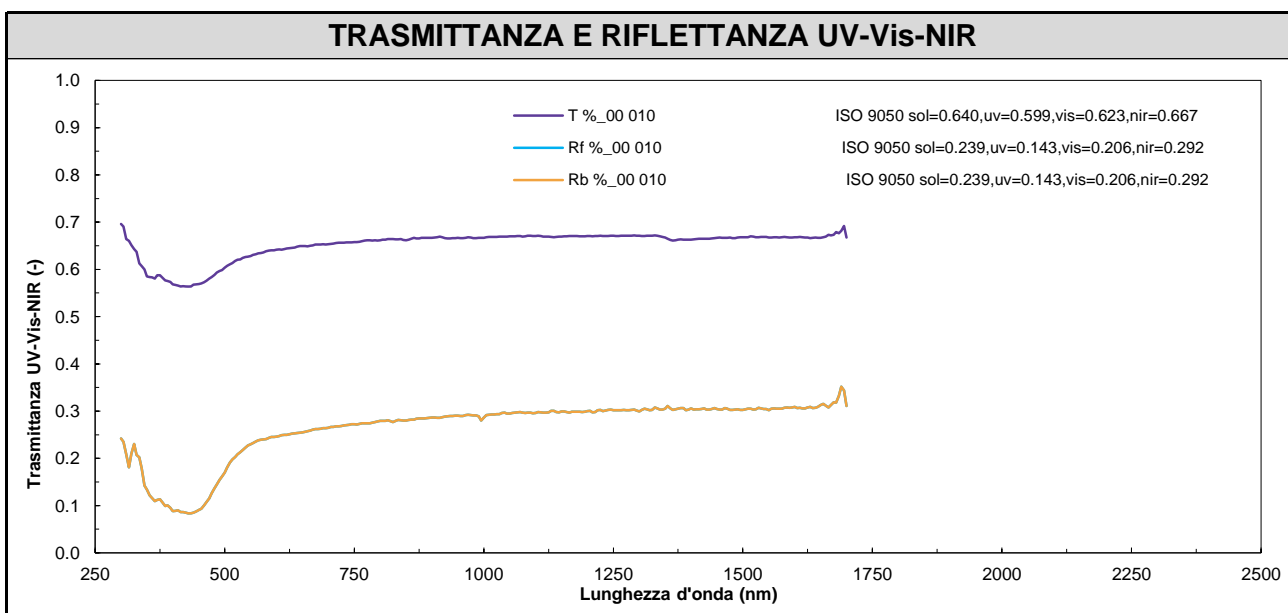
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in rame</b>	<b>B</b>	CODICE
			00 010

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	0.82	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	390	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		64.0%	23.9%	23.9%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		62.8%	22.2%	22.2%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

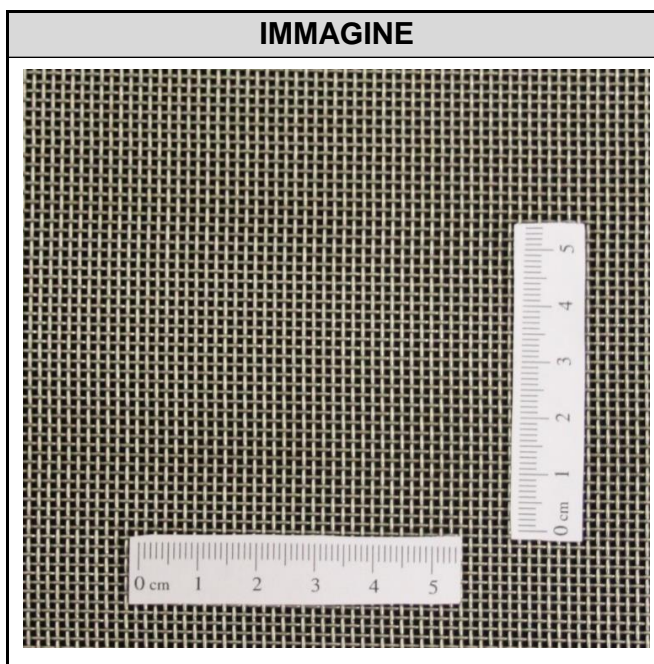
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>A</b>	CODICE
			00 011

SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
Tela metallica in acciaio inox. La tela è costituita da fili intrecciati di diametro pari a 0,70 mm, ha una superficie aperta del 34 % ed uno spessore di 1,5 mm.

FORNITURA	
Larghezza massima	200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	Acciaio inox						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 			■				
Pannelli 	■		■			■	
Aggetto/piccoli elementi 			■			■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■ ■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■ ■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
Rigido. Dipendenza angolare in funzione dell'orientamento per prestazione energetica e luminosa; alterazione percezione del colore. Tempo di vita utile elevato. Elevati costi.

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

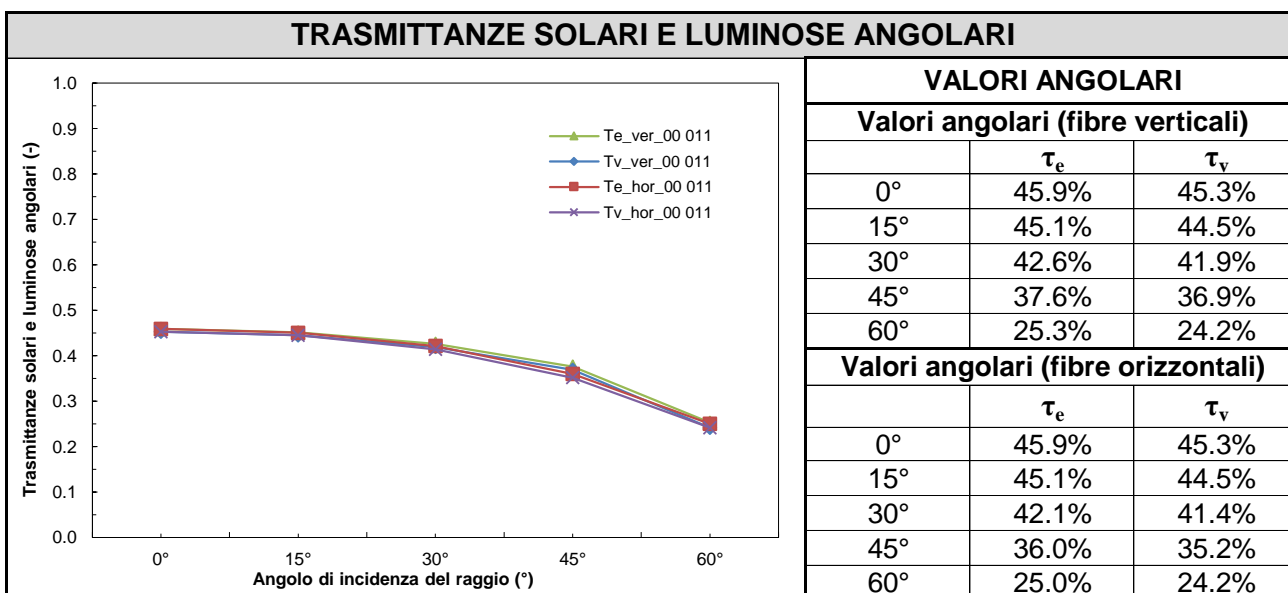
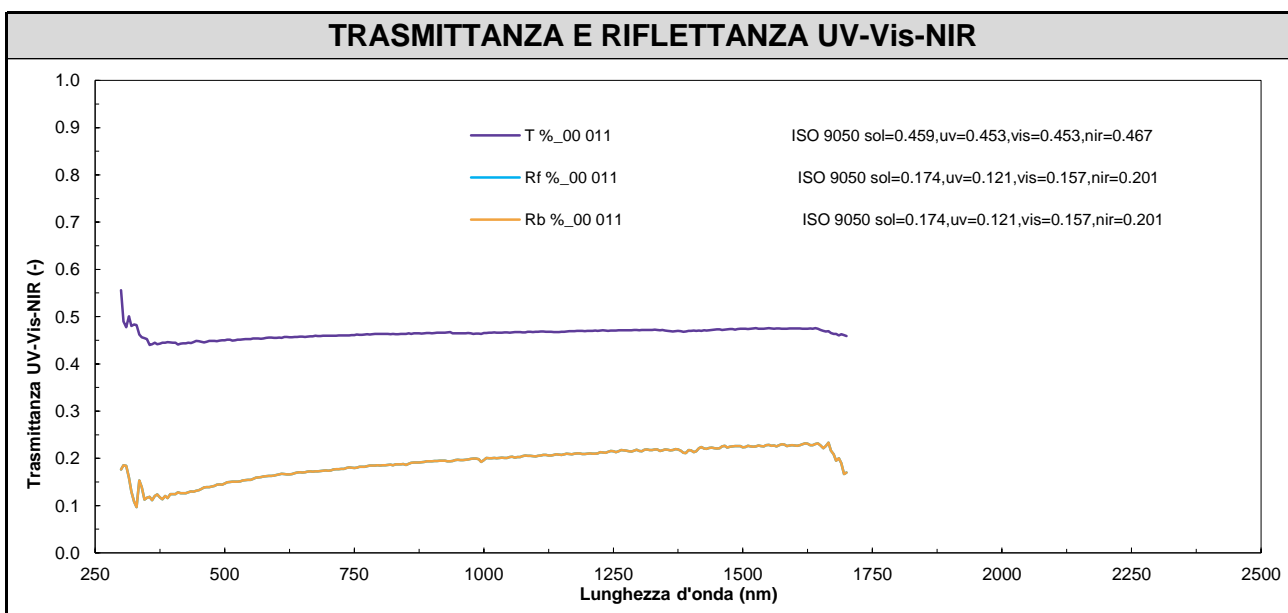
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in acciaio inox</b>	<b>B</b>	CODICE
			00 011

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	3,68	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )	W/mK	15	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	515	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		45.9%	17.4%	17.4%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		45.3%	15.7%	15.7%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

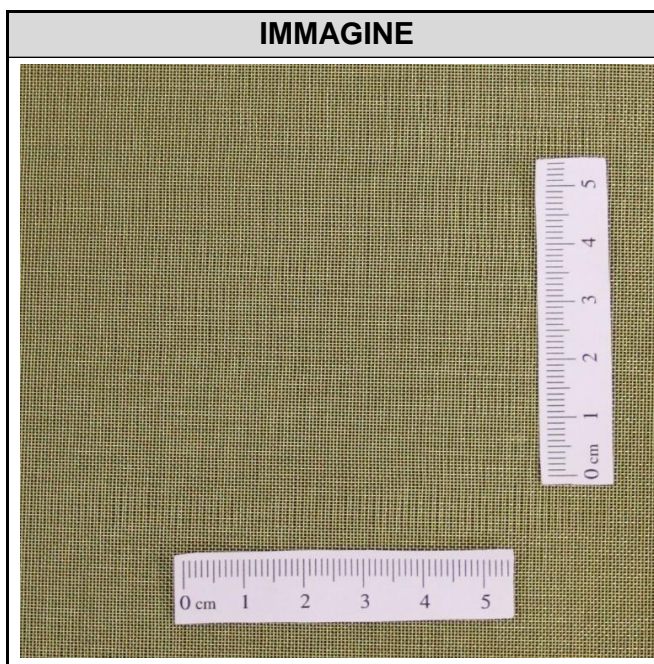


SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in ottone</b>	<b>A</b>	CODICE
			00 012

SETTORE	
architettura	arredo

DESCRIZIONE
Tela metallica in ottone. La tela è costituita da fili intrecciati di diametro pari a 0,16 mm, ha una superficie aperta del 50,8 % ed uno spessore di 0,32 mm.

FORNITURA	
Larghezza massima	200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	Ottone						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■	■		■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■	■		■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■ ■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■ ■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
Flessibile e deformabile, in modo diverso avendo 2 o 4 lati tensionati oppure fissato agli angoli; richiede attenzione nella fase di lavorazione. Dipendenza angolare in funzione dell'orientamento per prestazione energetica e luminosa; alterazione percezione del colore. Fronte e retro diversi per brillantezza della superficie, ma non nel funzionamento. Tempo di vita utile elevato. Elevati costi.

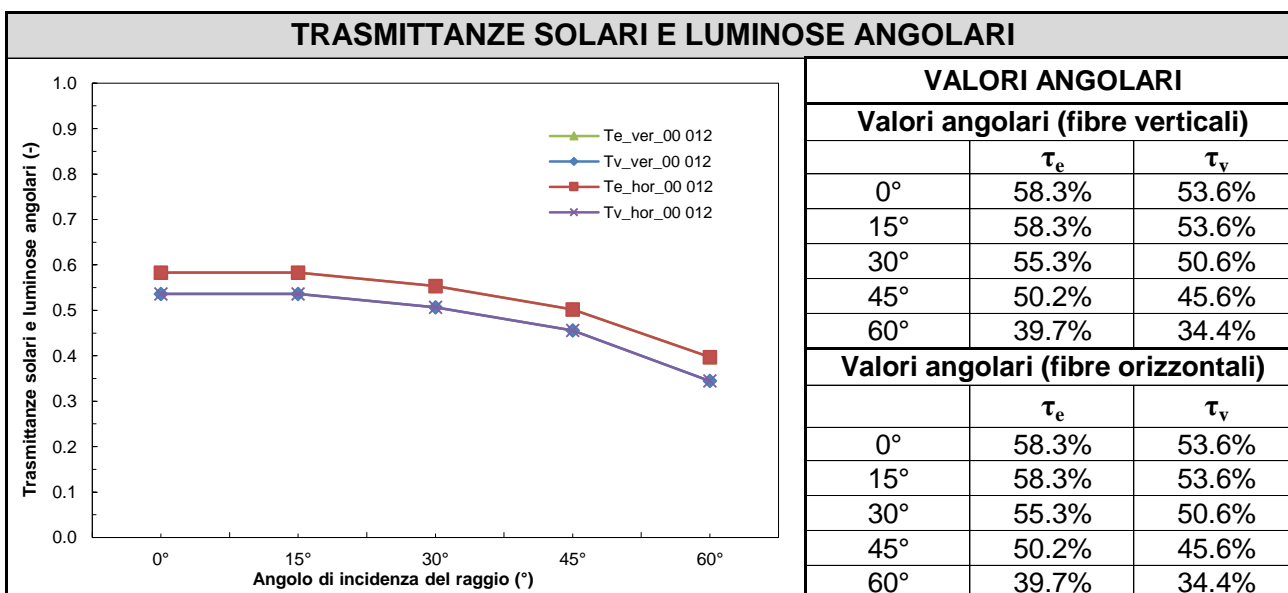
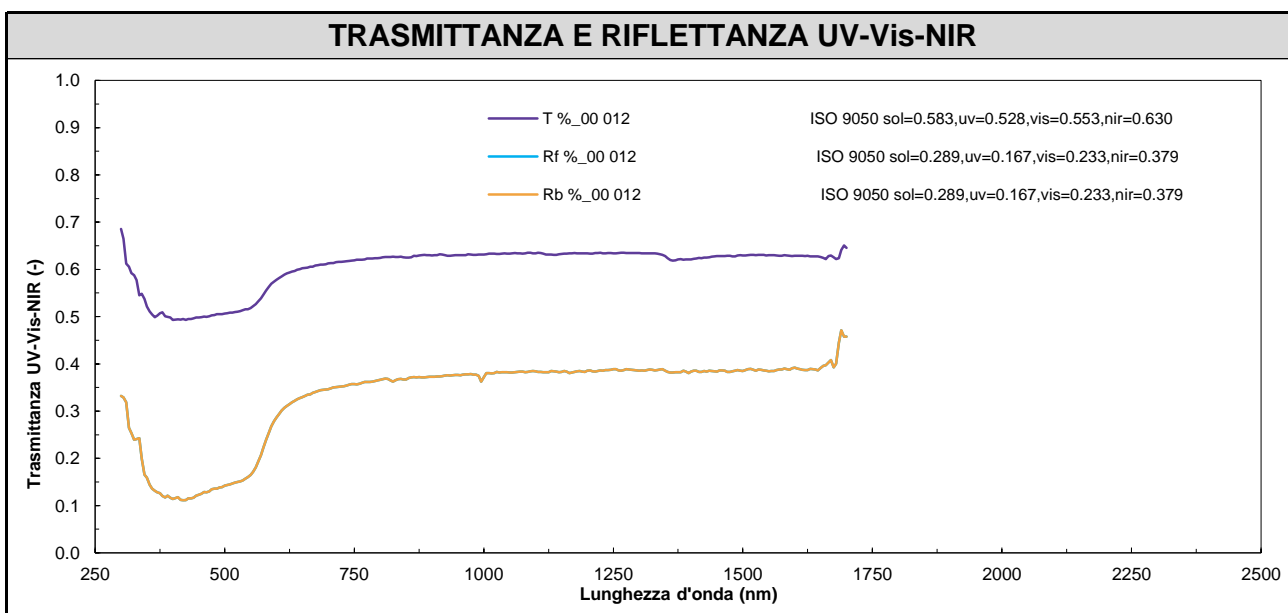
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamiera metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tela metallica in ottone</b>	<b>B</b>	CODICE
			00 012

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	0.62	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	120	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	350-450	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		58.3%	28.9%	28.9%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		53.6%	20.1%	20.1%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

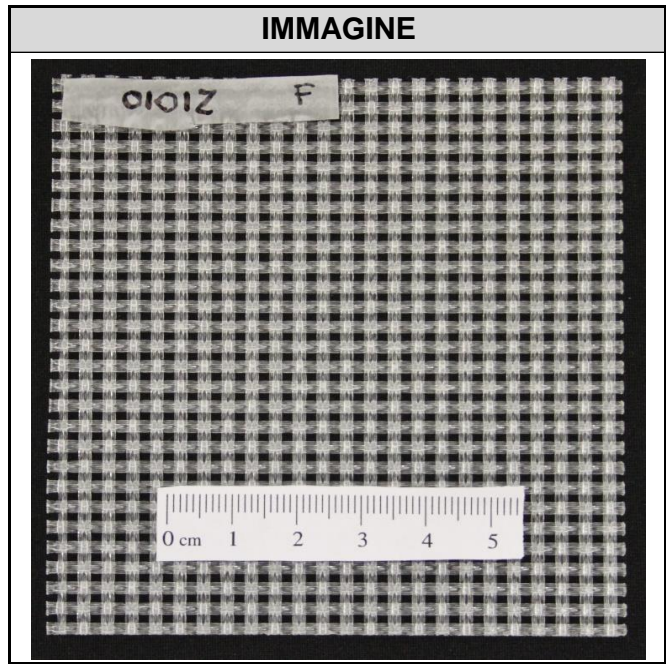
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PVDF a maglia larga</b>	<b>A</b>	CODICE
			01 012

SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
Tessuto piano con fili incrociati 1/1, trasparente a maglia larga in PVDF (polivinilidenfluoruro) con rivestimento in fluoropolimero. Resistente ai raggi UV, all'acqua ed allo sporco; buona stabilità cromatica.

FORNITURA	
Rotolo	Larghezza 200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	ePTFE*	fluoropolimero**					
%	100	100					
<i>Note: * Tessuto, ** Coating</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
	Avvolgibile 						
Pannelli 	■		■	■			■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■			■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■■
Resistenza a strappo	■■
Reazione al fuoco	■■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: E' sconsigliata la plissettatura ed altri tipi di impacchettamenti che comportano la piegatura del materiale. Alterazione della percezione; variazione colore nel tempo. Tensionamento difficile, consigliato su 4 lati. Deformabilità sotto l'azione del vento. Plasmabile.

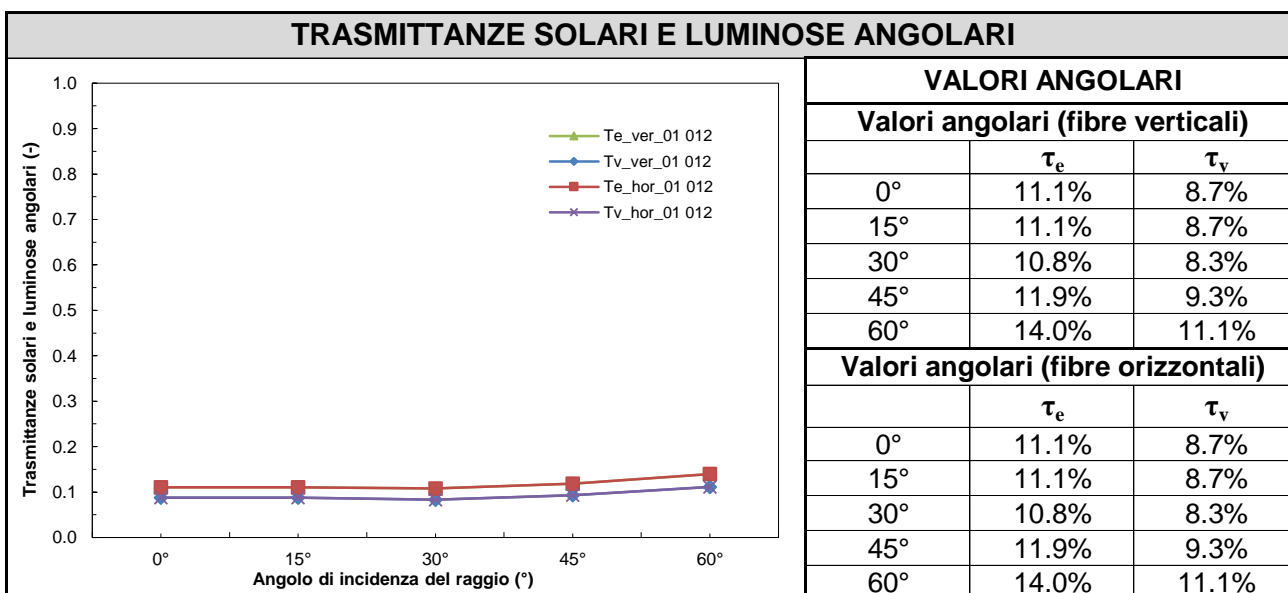
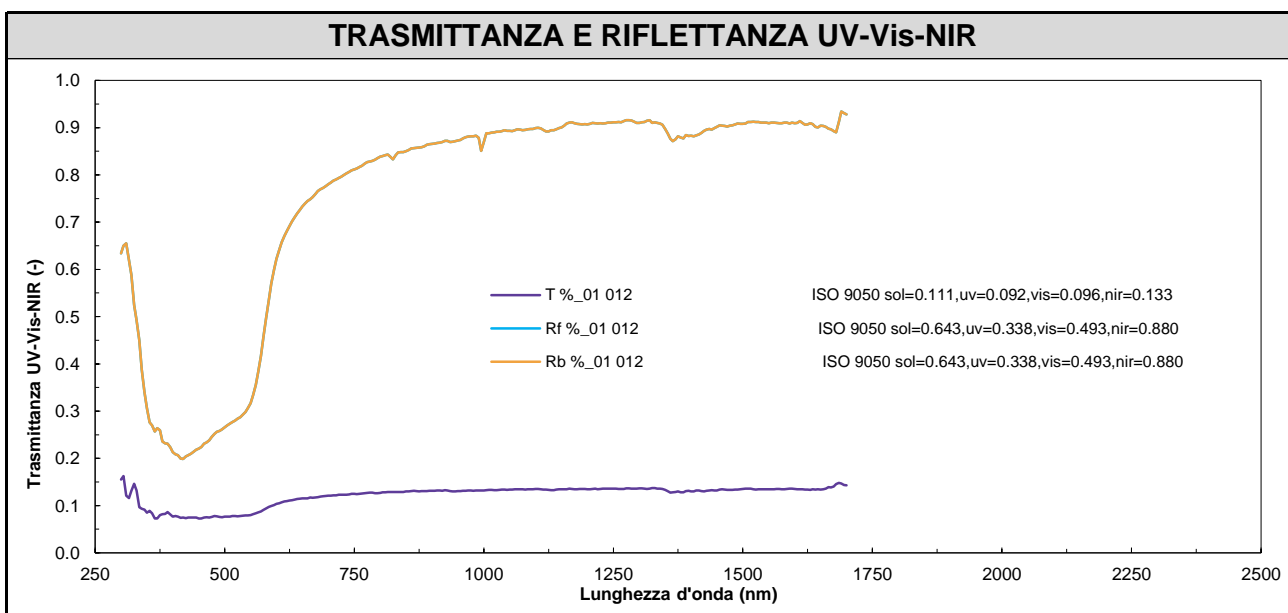
Tessuto  
 Maglia / Rete metallica  
 Lamiera metallica  
 Polimero spalmato  
 Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PVDF a maglia larga</b>	<b>B</b>	CODICE
			01 012

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	990	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione	N/5cm (ordito/trama)	4200/4500	EN ISO 12934-1
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco	-	B1	DIN 4120
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		11.1%	64.3%	64.3%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		8.7%	40.8%	40.8%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

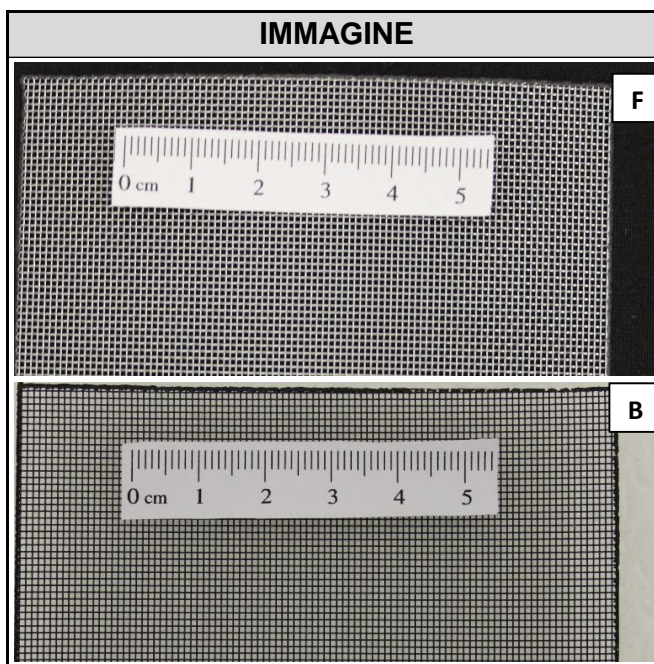
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET nero con coating in Cr</b>	<b>A</b>	CODICE
			01 028

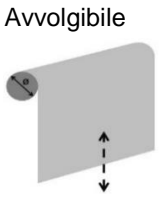
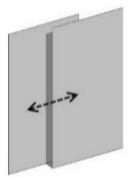
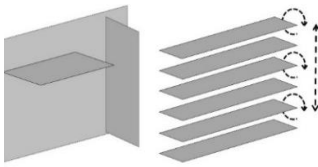
SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
<p>Tessuto di alta precisione ottenuto con fibre di PET (poliestere) nero tessute in trama e in ordito, con coating in cromo. Presenta grammatura ridotta e buone caratteristiche di diffusione alla luce e di protezione solare. È impiegato nella realizzazione di vetri stratificati interposto tra due strati di PVB.</p> <p>Il filo in PET ha diametro pari a 260 µm e la percentuale di apertura è pari al 55%.</p>

FORNITURA	
Rotolo	Larghezza 200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	PET*	Cromo**					
%	100	100					
<i>Note: * Tessuto, ** Coating</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
	 Avvolgibile	■		■	■		
 Pannelli	■	■	■	■		■	■
 Aggetto/piccoli elementi	■	■	■	■		■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Si
Resistenza cicli di sporcamento	Si
Resistenza a contatto con liquidi	Si
Permeabilità all'aria	Si
Permeabilità al vapore	Si
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p><sup>1</sup> Limitazioni: L'applicazione prevalente è all'interno dei vetri stratificati interposto tra due strati di PVB. Problemi legati alla riciclabilità. Elevata dipendenza angolare sulle prestazioni luminose ed energetiche. Differente comportamento sul fronte e sul retro.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamina metallica

Polimero spalmato

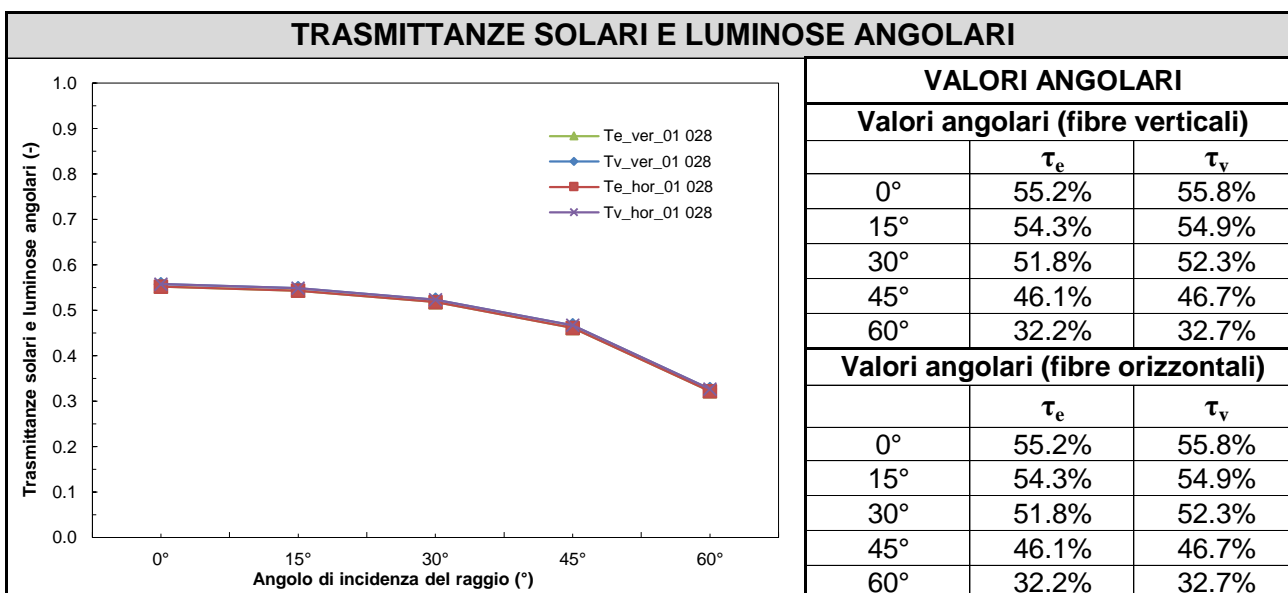
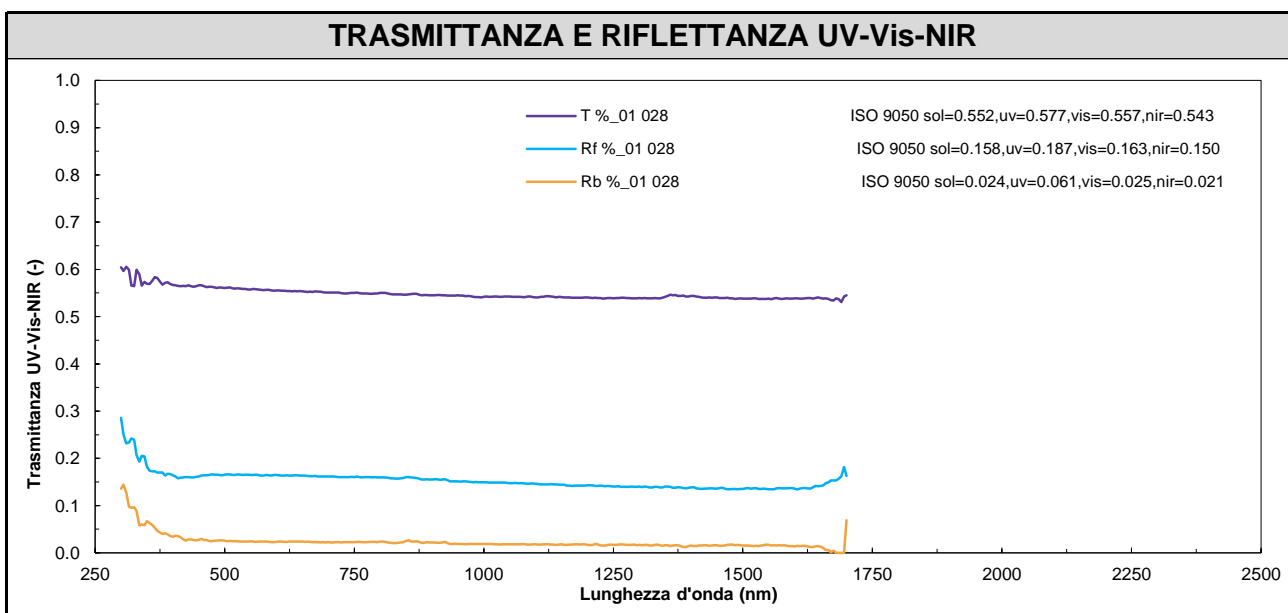
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET nero con coating in Cr</b>	<b>B</b>	CODICE
			01 028

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	165	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		55.2%	15.8%	2.4%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		55.8%	16.5%	2.4%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

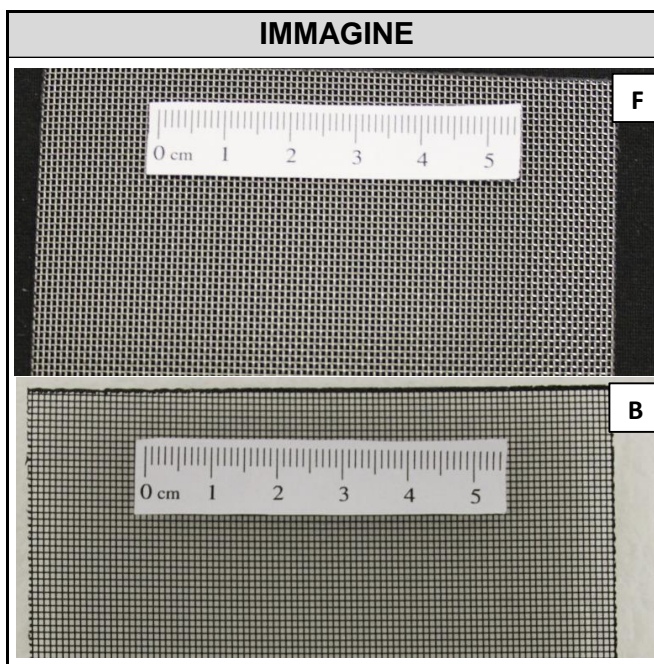
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET nero con coating in Ti</b>	<b>A</b>	CODICE
			01 033

SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
<p>Tessuto di alta precisione ottenuto con fibre di PET (poliestere) nero tessute in trama e in ordito, con coating in titanio. Presenta grammatura ridotta e buone caratteristiche di diffusione alla luce e di protezione solare. È impiegato nella realizzazione di vetri stratificati interposto tra due strati di PVB.</p> <p>Il filo in PET ha diametro pari a 260 µm e la percentuale di apertura è pari al 55%.</p>

FORNITURA



COMPOSIZIONE							
Materiale	PET*	Titanio**					
%	100	100					
<i>Note: * Tessuto, ** Coating</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
				■			
	■	■	■	■		■	■
	■	■	■	■		■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbimento solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p><sup>1</sup> Limitazioni: L'applicazione prevalente è all'interno dei vetri stratificati interposto tra due strati di PVB. Problemi legati alla riciclabilità. Elevata dipendenza angolare sulle prestazioni luminose ed energetiche. Differente comportamento sul fronte e sul retro.</p>

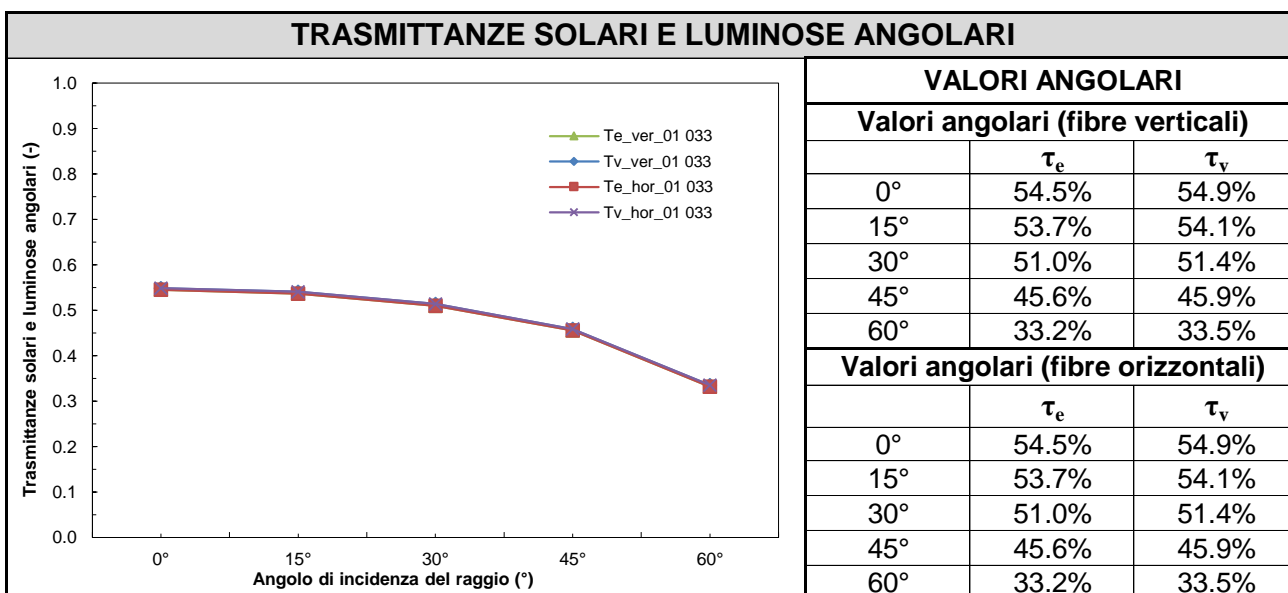
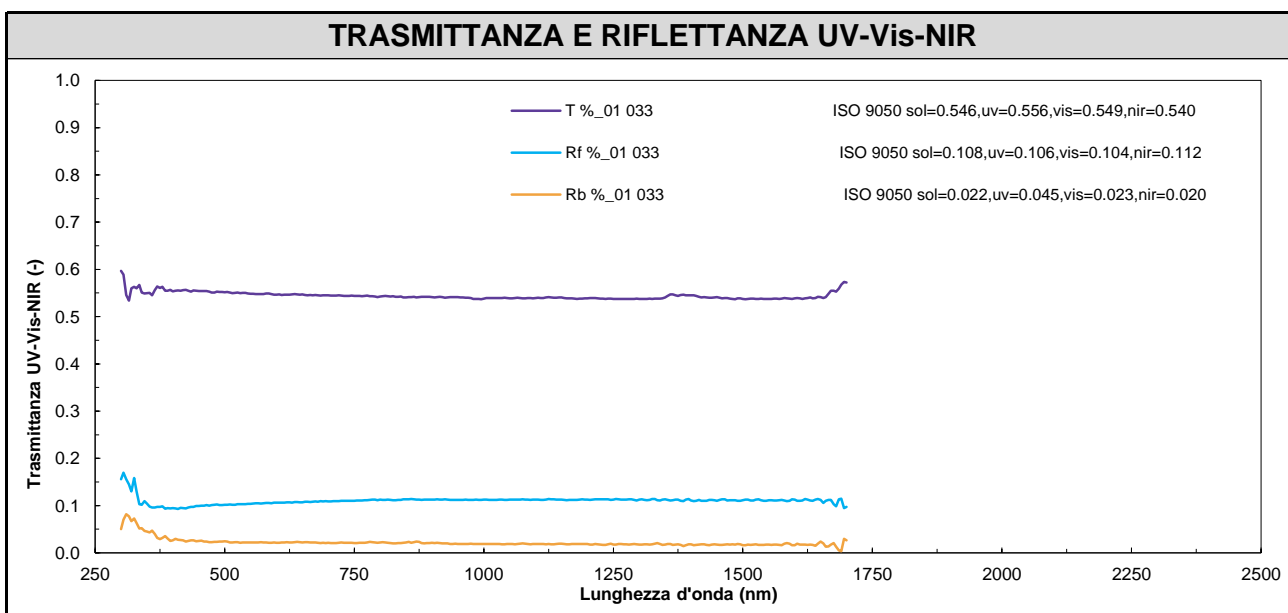
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamina metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET nero con coating in Ti</b>	<b>B</b>	CODICE
			01 033

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	162	
Conduttività termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
<b>Energetiche</b>		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		54.6%	10.8%	2.2%		
<b>Luminose</b>		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		54.9%	10.4%	2.2%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

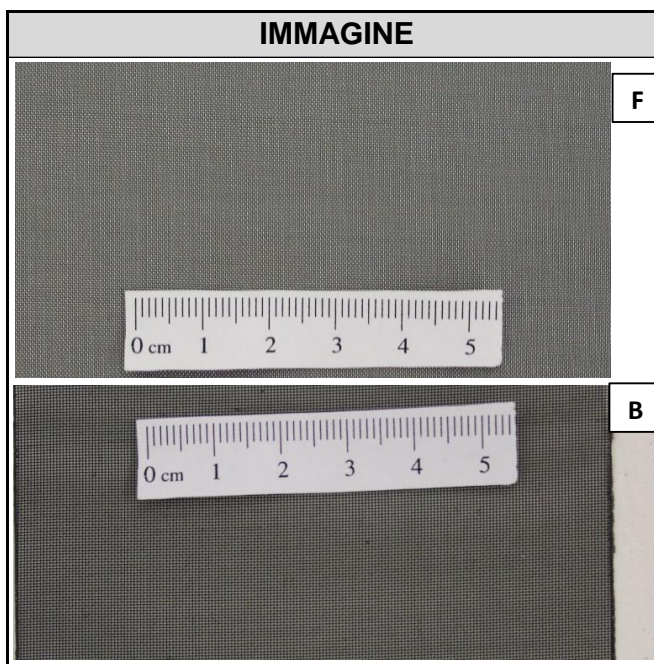


SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET nero con coating in Cr</b>	<b>A</b>	CODICE
			01 044

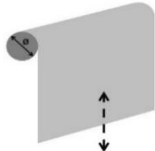
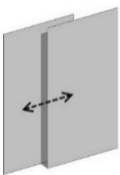
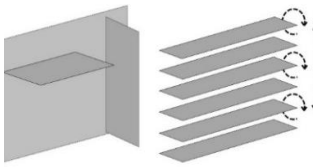
SETTORE	
architettura	

DESCRIZIONE
<p>Tessuto di alta precisione ottenuto con fibre di PET (poliestere) nero tessute in trama e in ordito, con coating in cromo. Presenta grammatura ridotta e buone caratteristiche di diffusione alla luce e di protezione solare. È impiegato nella realizzazione di vetri stratificati interposto tra due strati di PVB.</p> <p>Il filo in PET ha diametro pari a 140 µm e la percentuale di apertura è pari al 35%.</p>

FORNITURA	
Rotolo	Larghezza 200 cm



COMPOSIZIONE							
Materiale	PET*	Cromo**					
%	100	100					
<i>Note: * Tessuto, ** Coating</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
							
	■	■	■	■			■
	■	■	■	■			■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Si
Resistenza cicli di sporcamento	Si
Resistenza a contatto con liquidi	Si
Permeabilità all'aria	Si
Permeabilità al vapore	Si
Trasmittanza luminosa	■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p><sup>1</sup>L'applicazione prevalente è all'interno dei vetri stratificati interposto tra due strati di PVB. Possibile accoppiamento con polimeri.</p> <p>Problemi legati alla riciclabilità.</p> <p>Elevata dipendenza angolare (su angoli elevati) sulle prestazioni luminose ed energetiche; alterazione percezione colore</p> <p>Differente comportamento sul fronte e sul retro.</p>

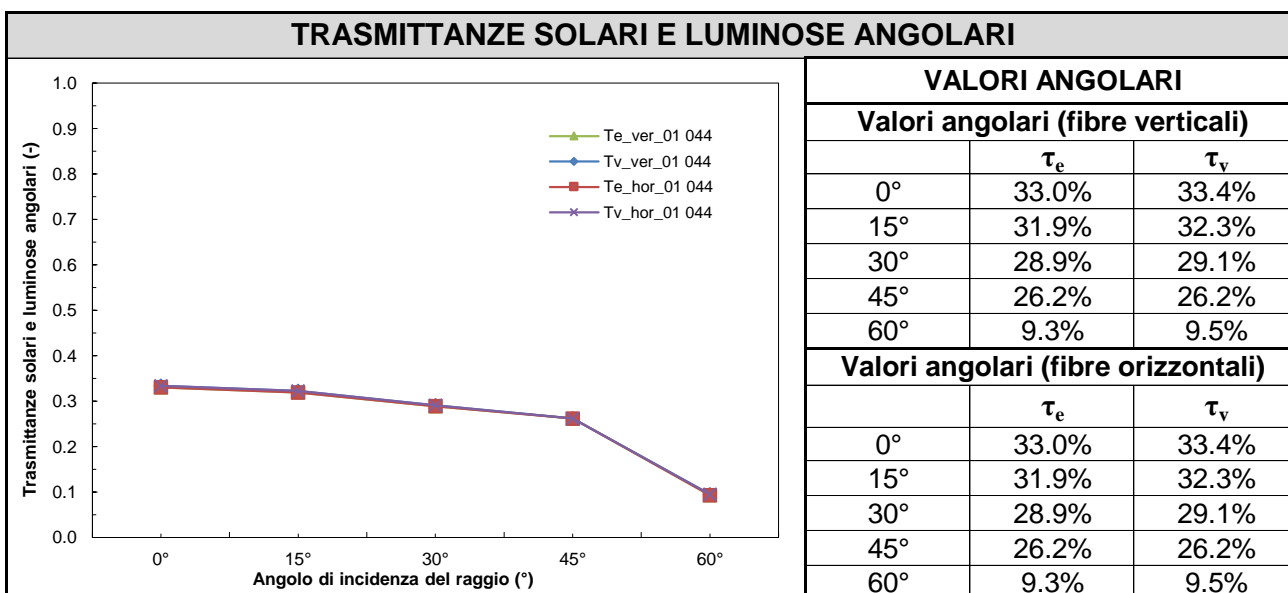
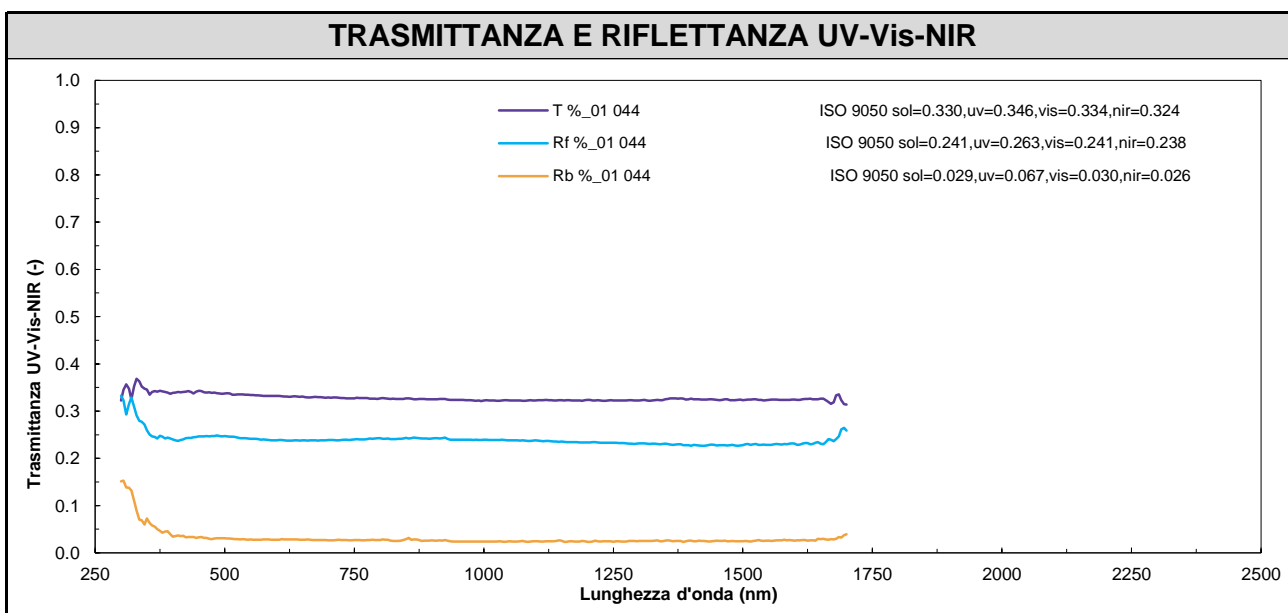
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamina metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET nero con coating in Cr</b>	<b>B</b>	CODICE
			01 044

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	161	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		33.0%	24.1%	2.9%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		33.4%	24.2%	2.9%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

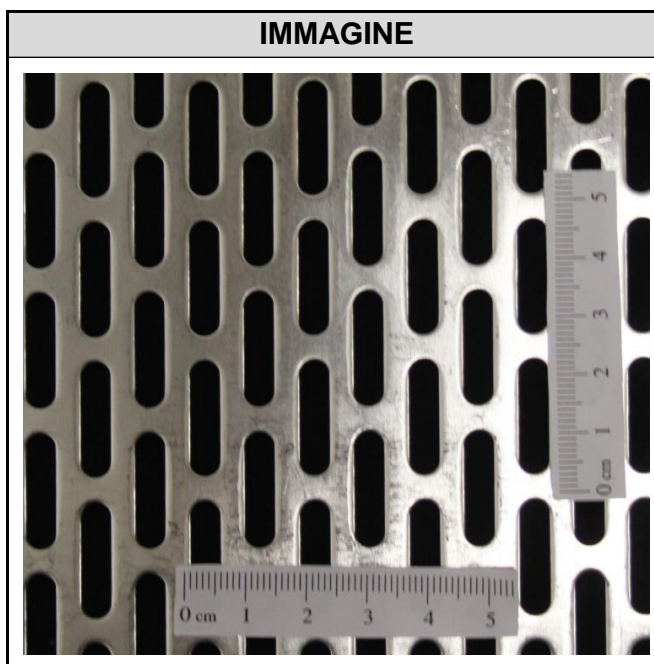
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera in alluminio forata con foro oblungo</b>	<b>A</b>	CODICE
			02 010

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
Lamiera in alluminio 1050 forata con foro oblungo a quinconce, spessore di 2 mm. Il fori hanno dimensioni 5x20 mm e hanno passo 9 mm in orizzontale e 24 mm in verticale.



FORNITURA	
Formato massimo	1500x3000 mm

COMPOSIZIONE							
Materiale	Alluminio						
%	99.5						
Note:							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■		■		
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■		

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■■
Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta	

NOTE
Peso elevato; progettazione strutturale per i punti di fissaggio. Dipendenza angolare prestazioni energetiche e luminose per un solo orientamento delle fibre.

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

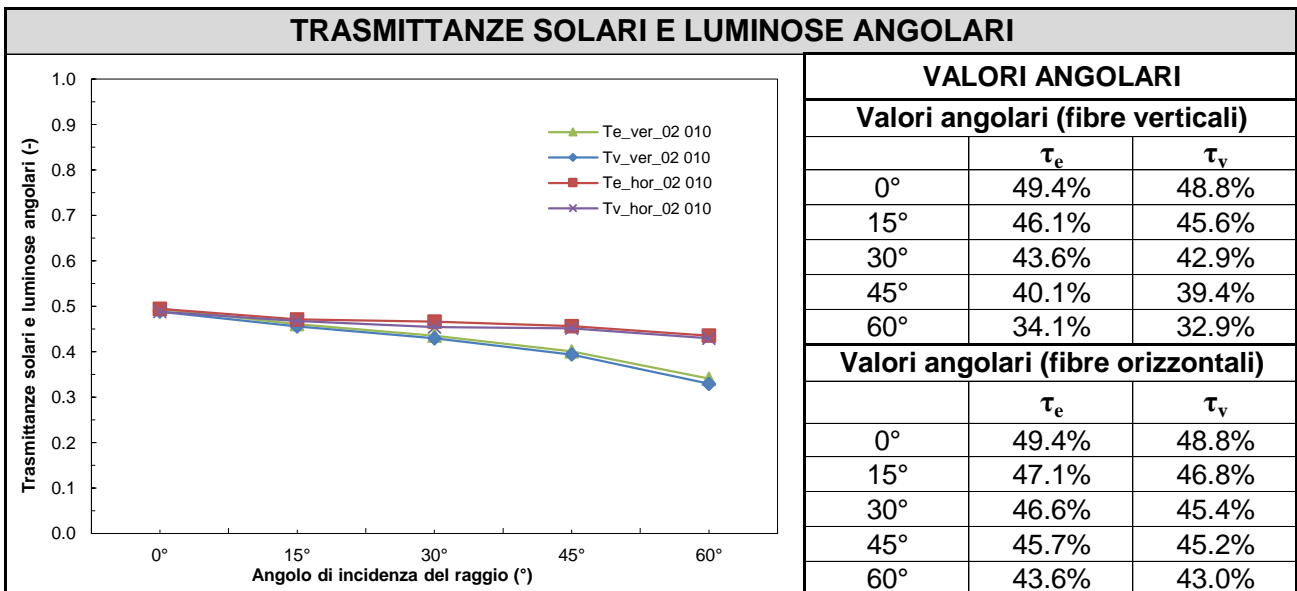
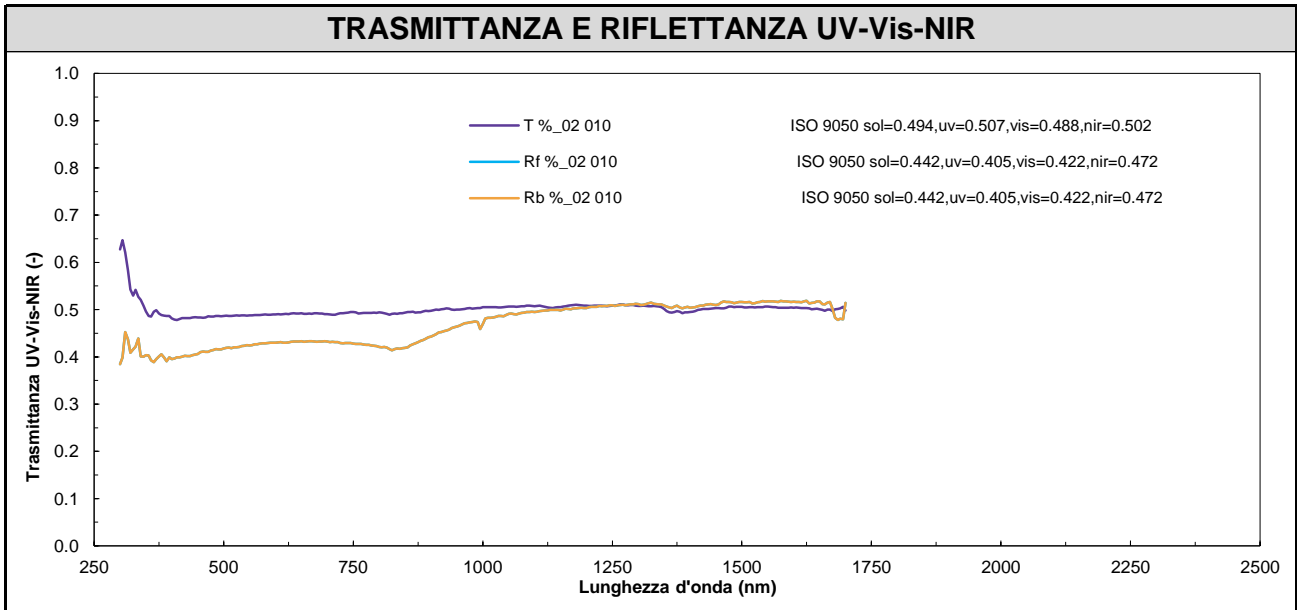
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera in alluminio forata con foro oblungo</b>	<b>B</b>	CODICE
			02 010

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	3.00	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )	W/mK	229	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	100-135	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
			49.4%	44.2%	44.2%	
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
			48.8%	42.5%	42.5%	

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

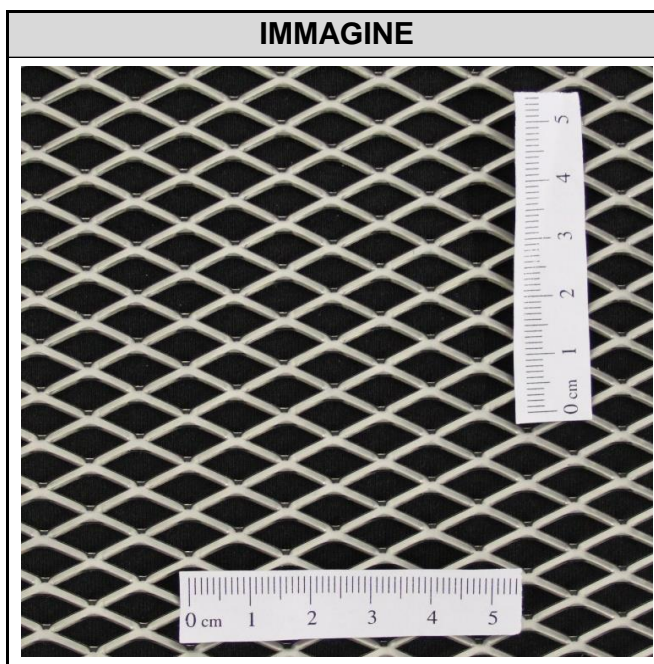
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a rombo</b>	<b>A</b>	CODICE
			02 013

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
<p>Lamiera stirata a rombo in acciaio inox AISI 304 con spessore del nervo di 1 mm. Percentuale di vuoto su pieno del 63%. I rombi hanno le diagonali di dimensioni 16x8 mm.</p>

FORNITURA	
Formato massimo	1500x3000 cm



COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Acciaio inox						
<b>%</b>	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■		■	■	
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■ ■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■ ■ ■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■ ■ ■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
<p>Leggerezza. Semplice integrazione tecnologica. Dipendenza angolare delle prestazioni energetiche e luminose solo in una direzione della maglia. Costi contenuti.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

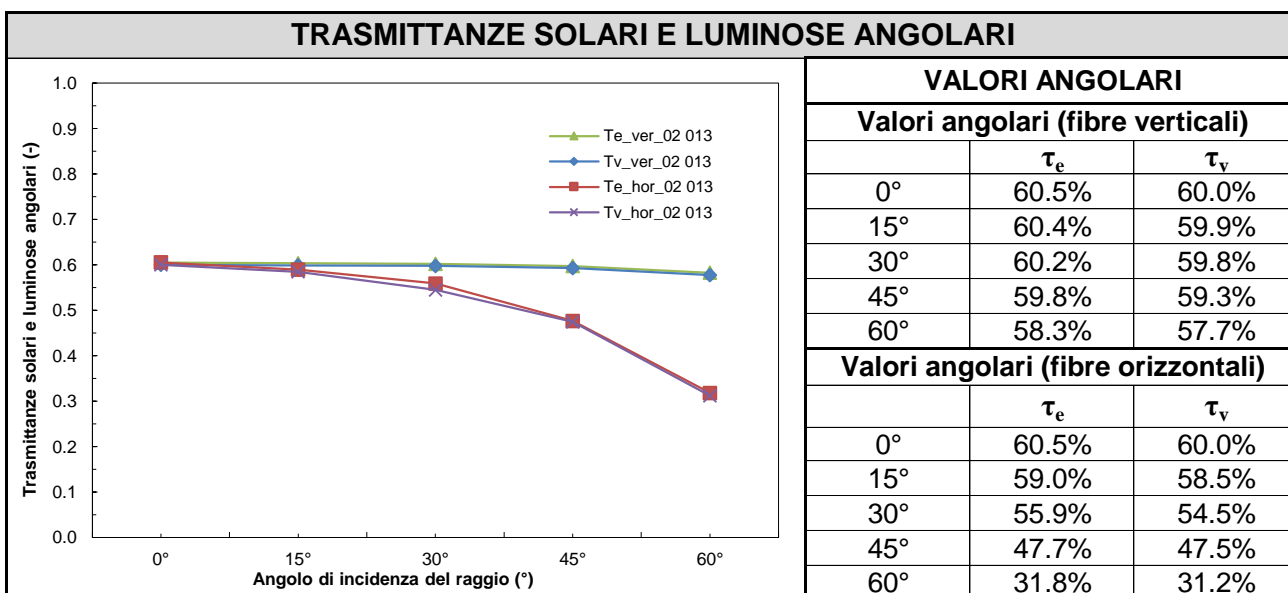
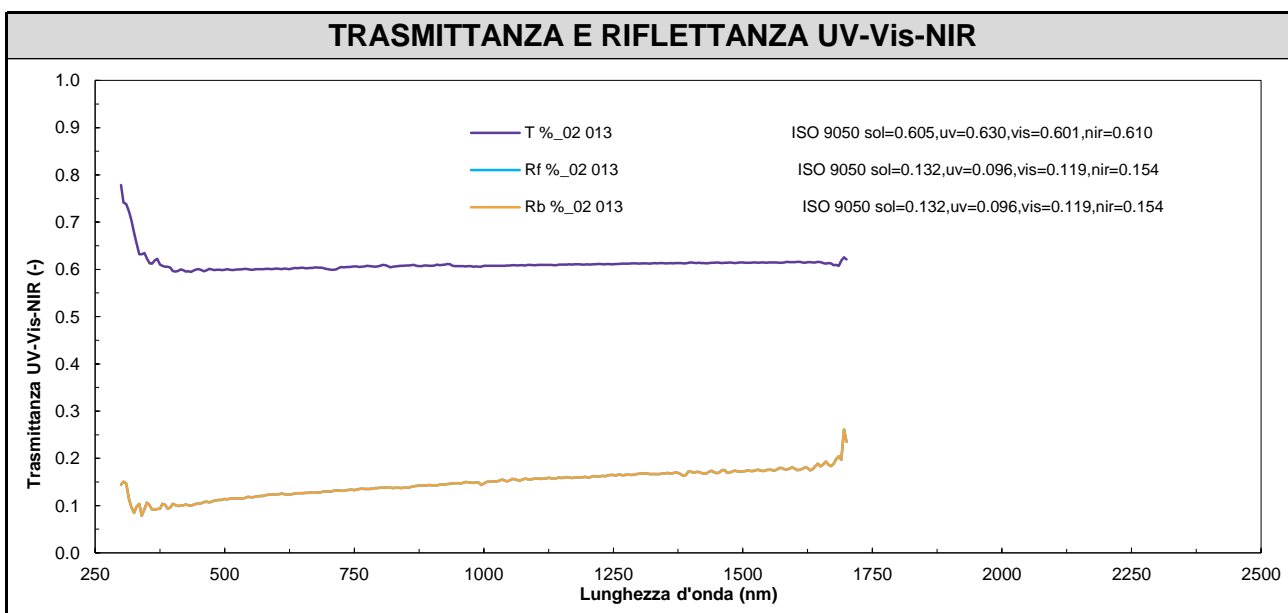
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a rombo</b>	<b>B</b>	CODICE
			02 013

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	2,9	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	15	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	515	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		60.5%	13.2%	13.2%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		60.0%	11.9%	11.9%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

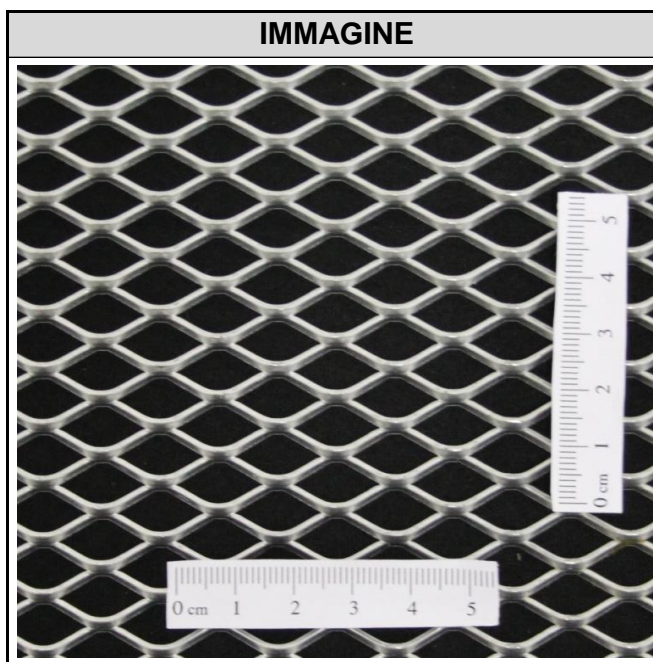
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a rombo</b>	<b>A</b>	CODICE
			02 014

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
<p>Lamiera stirata a rombo in alluminio 1050 con spessore del nervo di 1 mm.          Percentuale di vuoto su pieno del 60%.          I rombi hanno le diagonali di dimensioni 20x10 mm.</p>



FORNITURA	
Formato massimo	1500x3000 mm

COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Alluminio						
<b>%</b>	99.5						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■		■	■	
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■■
Riflettanza luminosa	■
Absorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p>Leggerezza.          Riciclabilità.          Semplice integrazione tecnologica.          Dipendenza angolare delle prestazioni energetiche e luminose solo in una direzione della maglia.          Incremento trasmittanza all'aumentare dell'angolo di incidenza; variazione aspetto al variare dell'angolo di incidenza.          Costi contenuti.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

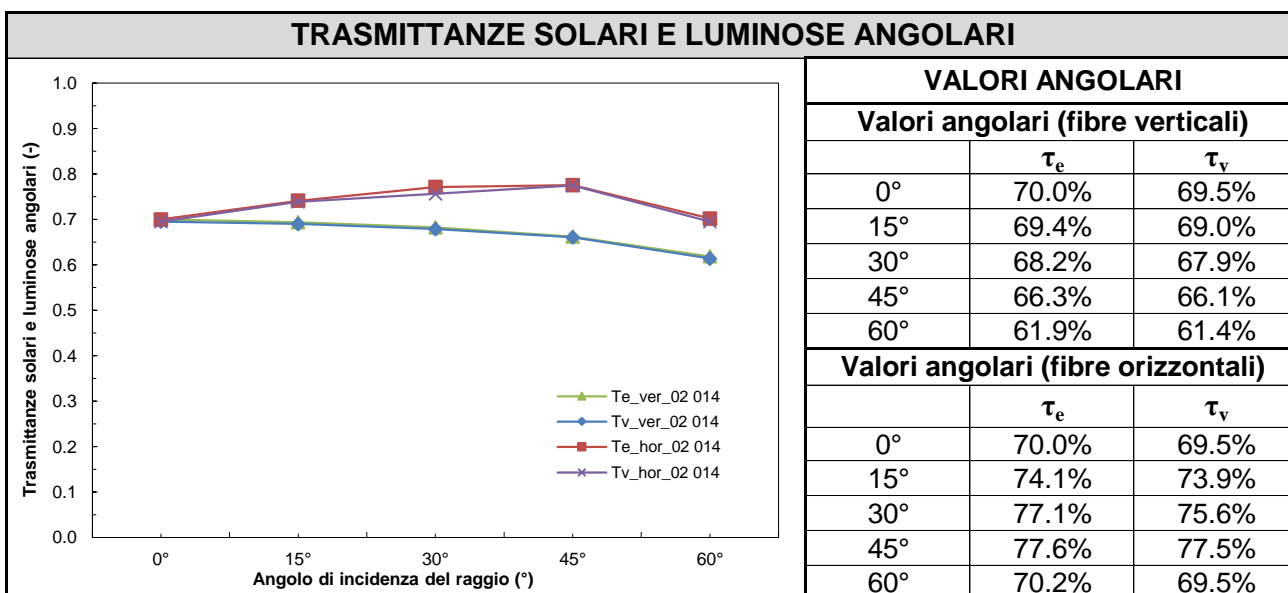
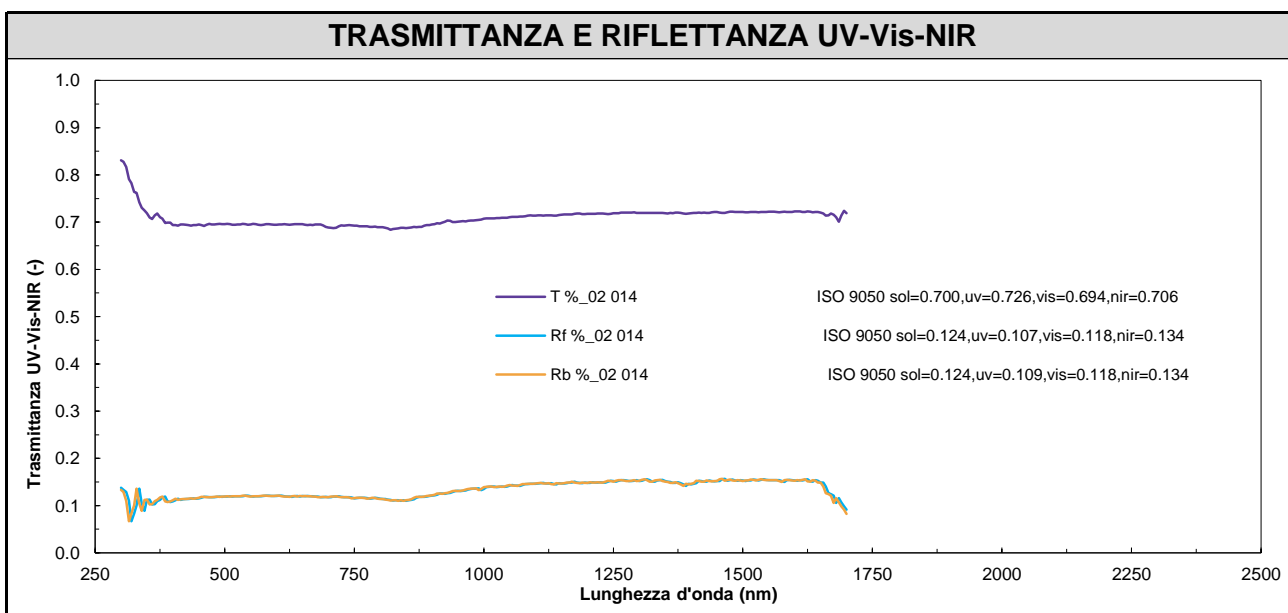
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a rombo</b>	<b>B</b>	CODICE
			02 014

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	1.10	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	229	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	100-135	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		70.0%	12.4%	12.4%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		69.5%	12.0%	12.0%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

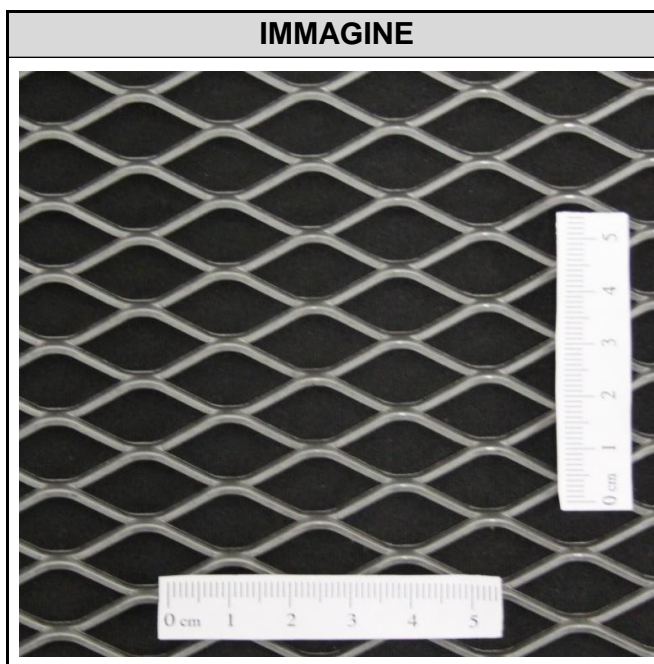
Composito



SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a rombo</b>	<b>A</b>	CODICE
			02 015

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
<p>Lamiera stirata a rombo in acciaio al carbonio con spessore del nervo di 1,5 mm. Percentuale di vuoto su pieno del 69%. I rombi hanno le diagonali di dimensioni 28x13 mm.</p>



FORNITURA	
Formato massimo	1500x3000 mm

COMPOSIZIONE							
Materiale	Acciaio						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■	■	■	■	
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■ ■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■ ■ ■
Riflettanza luminosa	■
Absorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■ ■ ■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
<p>Leggerezza. Semplice integrazione tecnologica. Dipendenza angolare delle prestazioni energetiche e luminose solo in una direzione della maglia. Incremento trasmittanza all'aumentare dell'angolo di incidenza; variazione aspetto al variare dell'angolo di incidenza. Costi contenuti.</p>

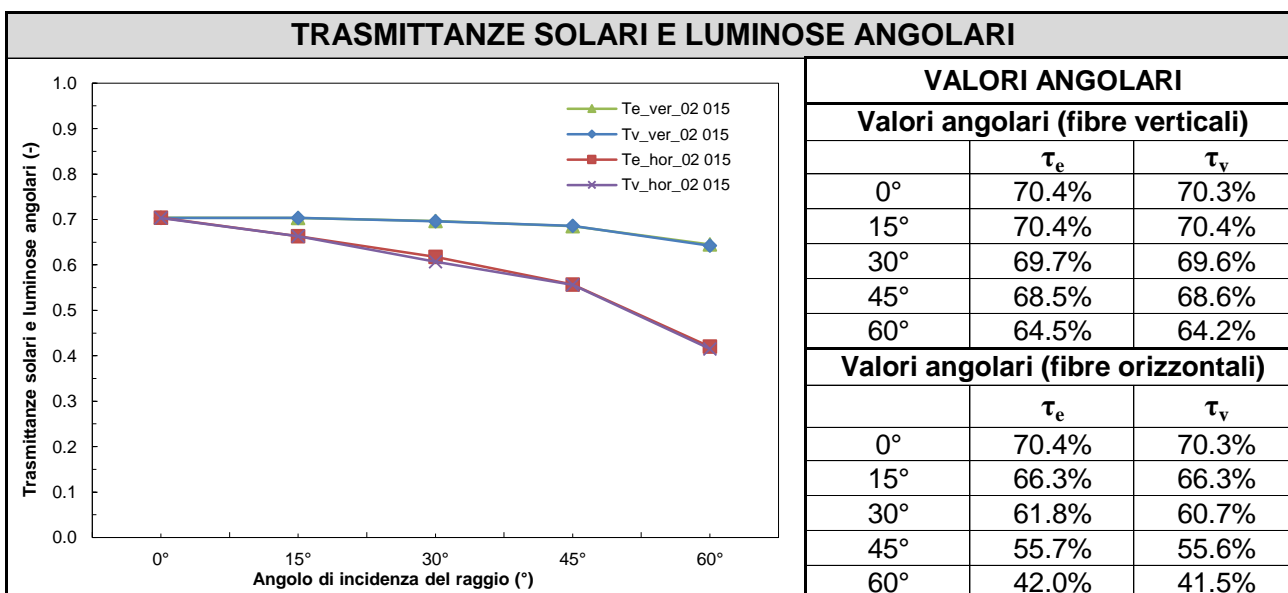
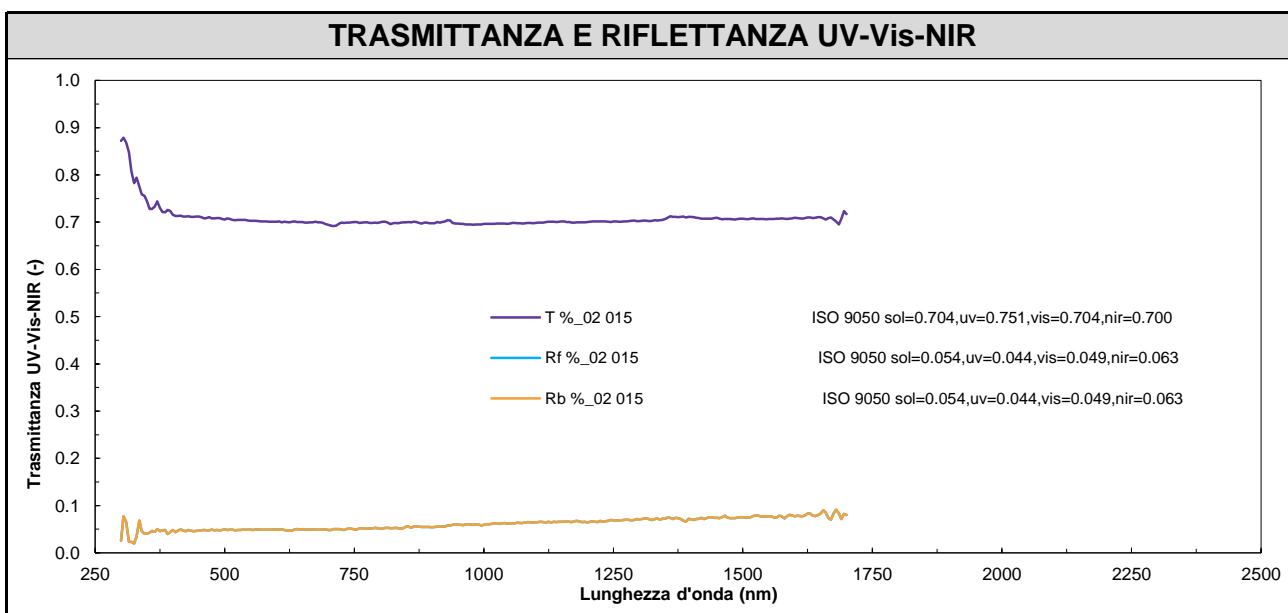
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamiera metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a rombo</b>	<b>B</b>	CODICE
			02 015

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	3.60	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	16-52	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		70.4%	5.4%	5.4%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		70.3%	4.9%	4.9%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

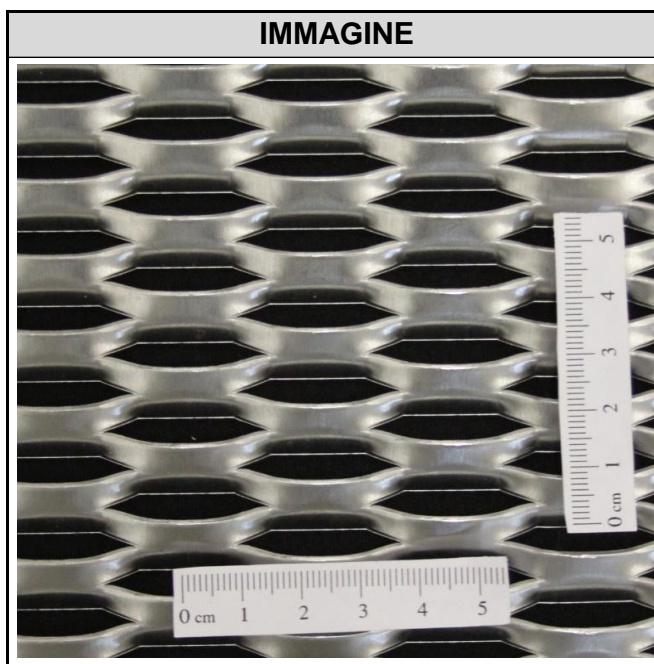
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata esagonale</b>	<b>A</b>	CODICE
			02 016

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
Lamiera stirata esagonale in alluminio 1050 con spessore del nervo di 1,5 mm. Percentuale di vuoto su pieno del 24%. I fori hanno dimensioni 45 x 13,5 mm.



FORNITURA	
Formato massimo	1500x3000 mm

COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Alluminio						
<b>%</b>	99.5						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■		■	■	
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■ ■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■ ■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■ ■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
Leggerezza. Riciclabilità. Semplice integrazione tecnologica. Dipendenza angolare delle prestazioni energetiche e luminose solo in una direzione della maglia. Incremento trasmittanza all'aumentare dell'angolo di incidenza; variazione aspetto al variare dell'angolo di incidenza. Costi contenuti. Durabilità.

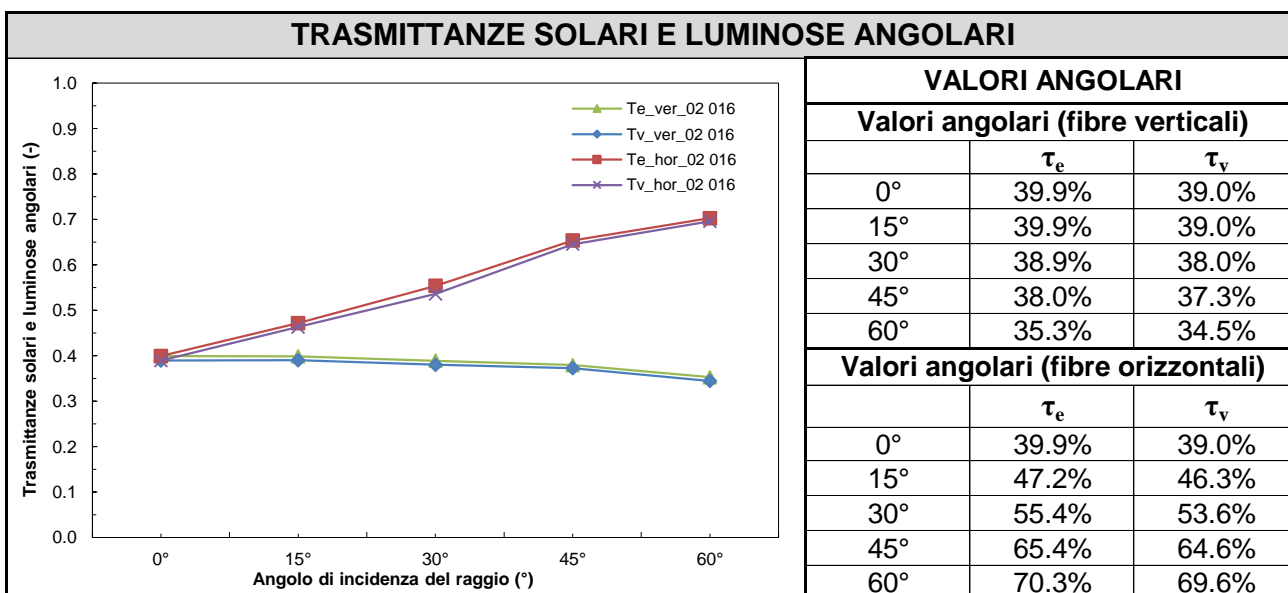
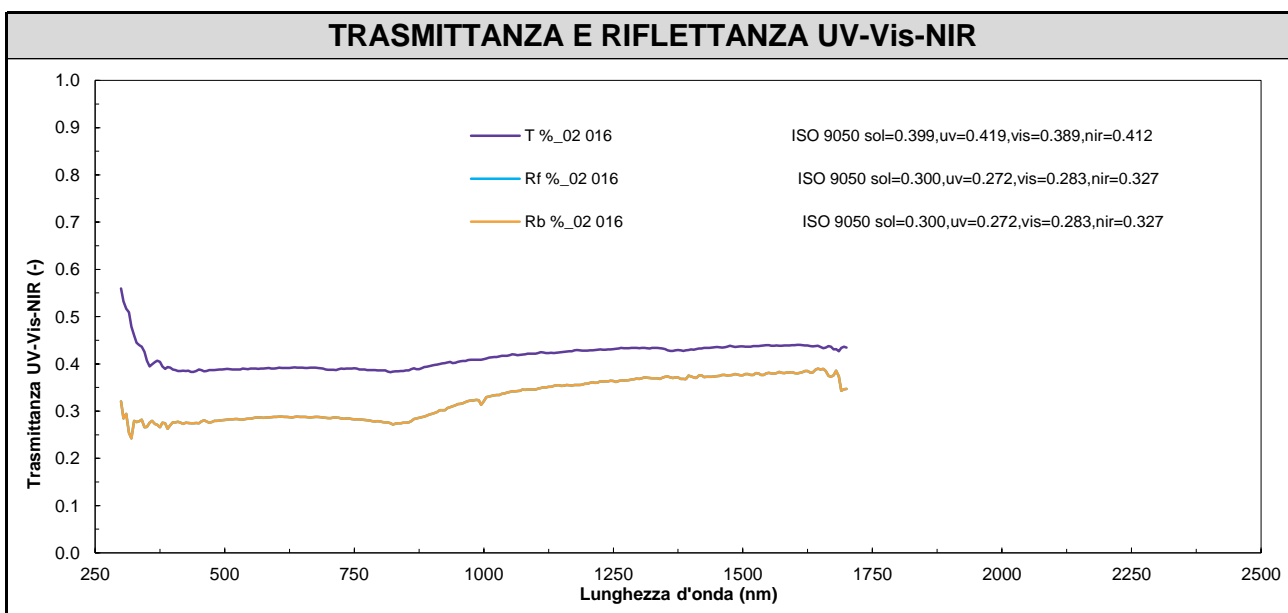
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamiera metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata esagonale</b>	<b>B</b>	CODICE
			02 016

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	2.98	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )	W/mK	229	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	N/mm <sup>2</sup>	100-135	(caratteristica del materiale)
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
<b>Energetiche</b>		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		39.9%	30.0%	30.0%		
<b>Luminose</b>		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		39.0%	28.5%	28.5%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

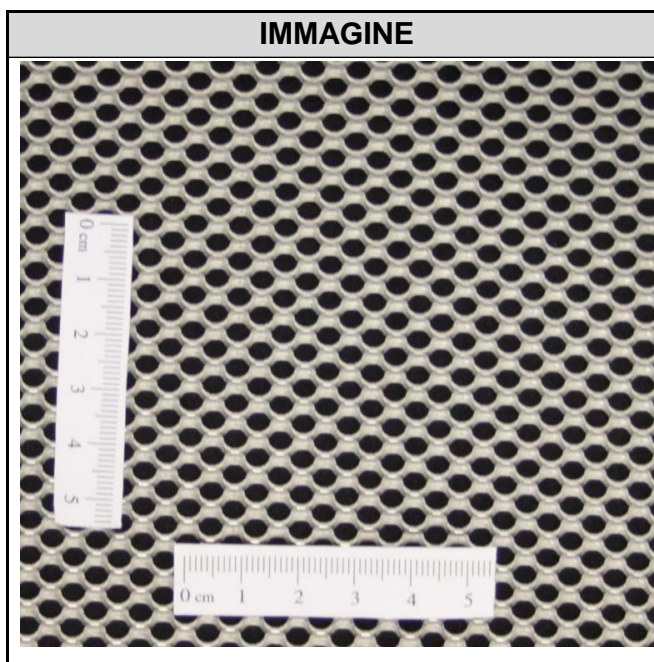
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a maglia tonda</b>	<b>A</b>	CODICE
			06 003

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
Lamiera stirata a maglia tonda in acciaio al carbonio, spessore 1 mm. I fori sono disposti esagonalmente con i loro centri a distanza di 8 mm (in orizzontale) e hanno diametro 3 mm.



FORNITURA	
Larghezze bobina	1000 - 1250 - 1500 mm

COMPOSIZIONE							
Materiale	Acciaio						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■		■	■	
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<p>Leggerezza.          Semplice integrazione tecnologica.          Dipendenza angolare delle prestazioni energetiche e luminose solo in una direzione della maglia.          Incremento trasmittanza all'aumentare dell'angolo di incidenza; variazione aspetto al variare dell'angolo di incidenza. Vibrazione in caso di vento.          Costi contenuti.</p>

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

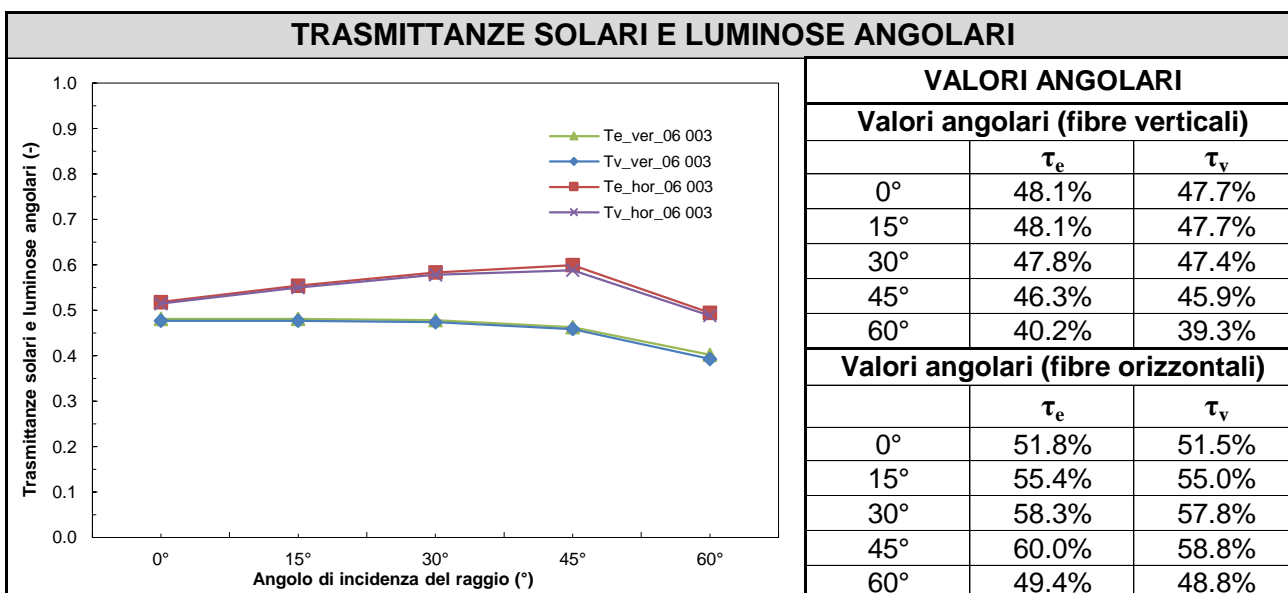
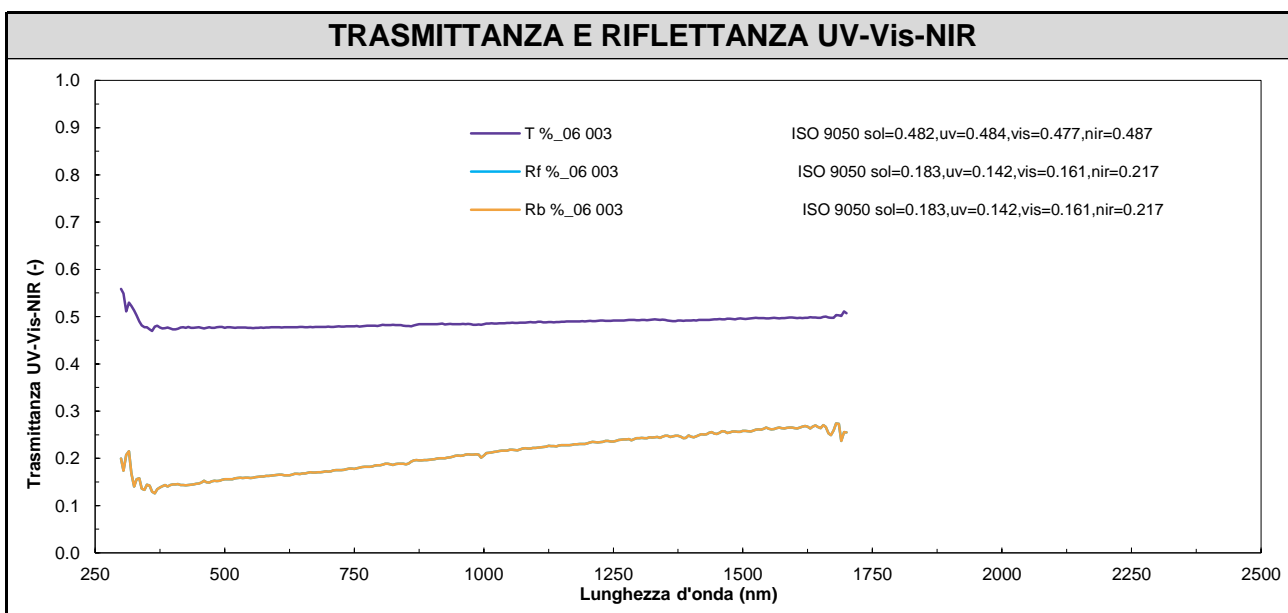
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera stirata a maglia tonda</b>	<b>B</b>	CODICE 06 003
--------------------	---------------------------------------	----------	------------------

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	3.50	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	16-52	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		48.2%	18.3%	18.3%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		47.7%	16.0%	16.0%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

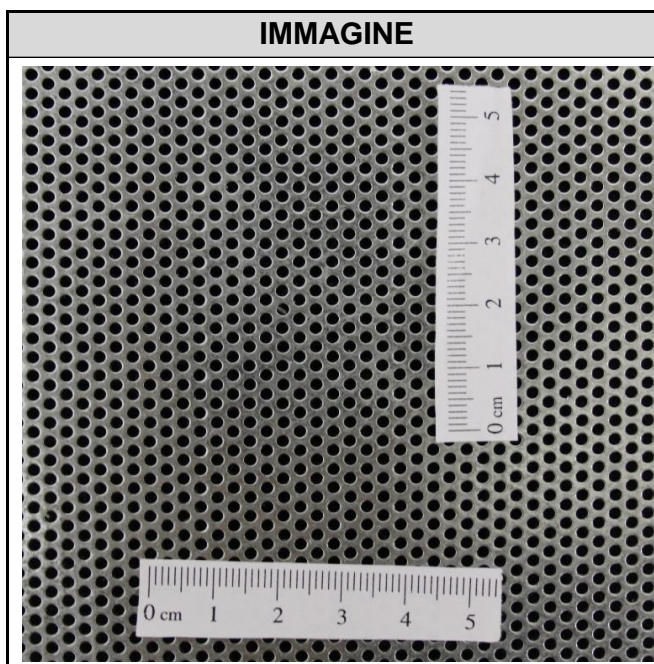
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera microforata con foro tondo</b>	<b>A</b>	CODICE
			12 001

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
Lamiera microforata in acciaio zincato sendzimir con foro tondo, spessore 1 mm. I fori sono disposti esagonalmente con i loro centri a distanza di 2 mm e hanno diametro 1 mm. La percentuale di vuoto su pieno è del 23 %.

FORNITURA	
formato massimo	1500 x 3000 mm



COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Acciaio zincato						
<b>%</b>	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■		■		■		
Aggetto/piccoli elementi 	■		■		■		

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	-
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporcamento	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
Peso elevato. Rigidezza. Aspetto (opaco) variabile in funzione dell'angolo di incidenza. Alterazione della percezione del colore. Presatazione variabile in funzione dell'orientamento.

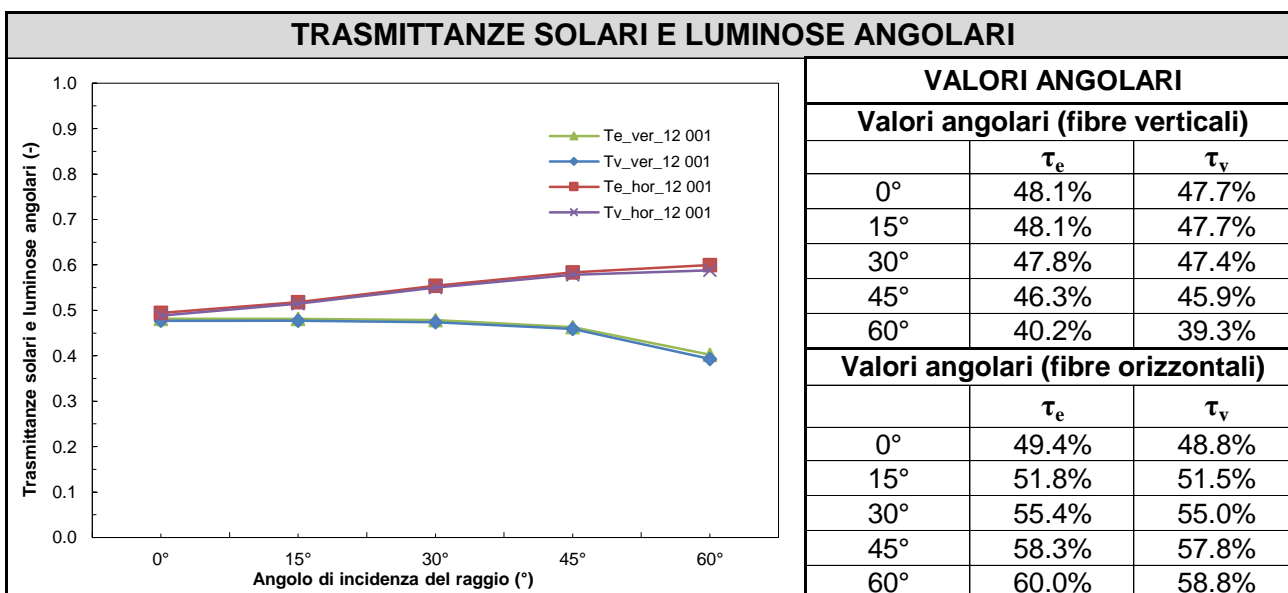
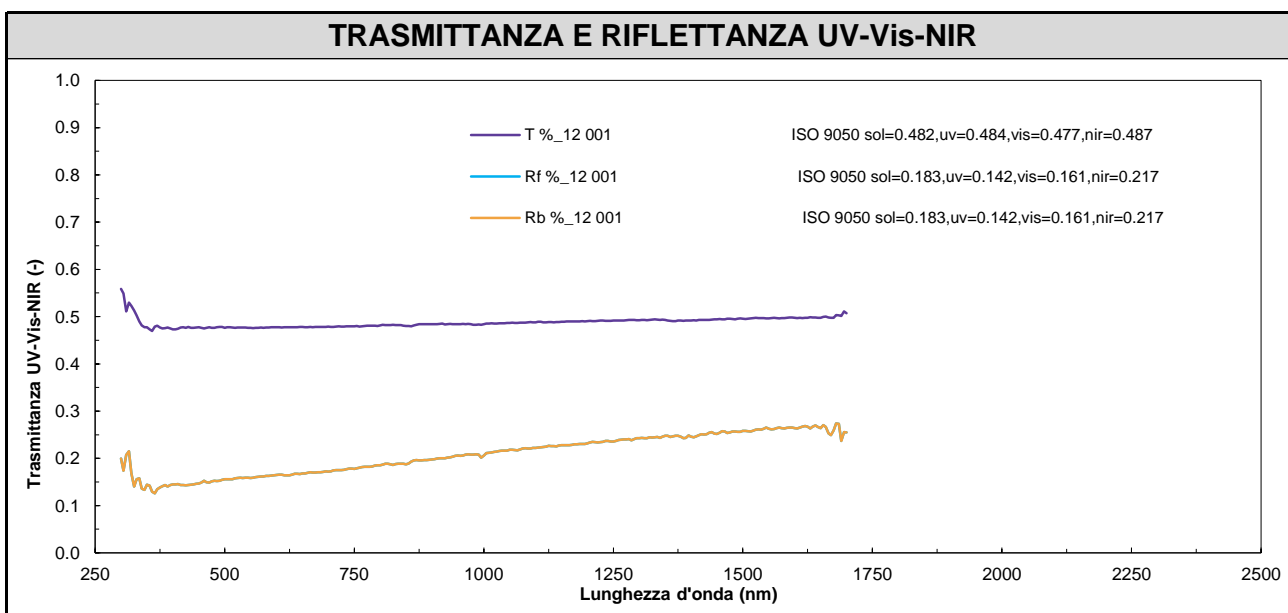
Tessuto  
 Maglia / Rete metallica  
 Lamiera metallica  
 Polimero spalmato  
 Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Lamiera microforata con foro tondo</b>	<b>B</b>	CODICE
			12 001

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	6.18	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco		A1	(caratteristica del materiale)
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		48.2%	18.3%	18.3%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		47.7%	16.0%	16.0%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

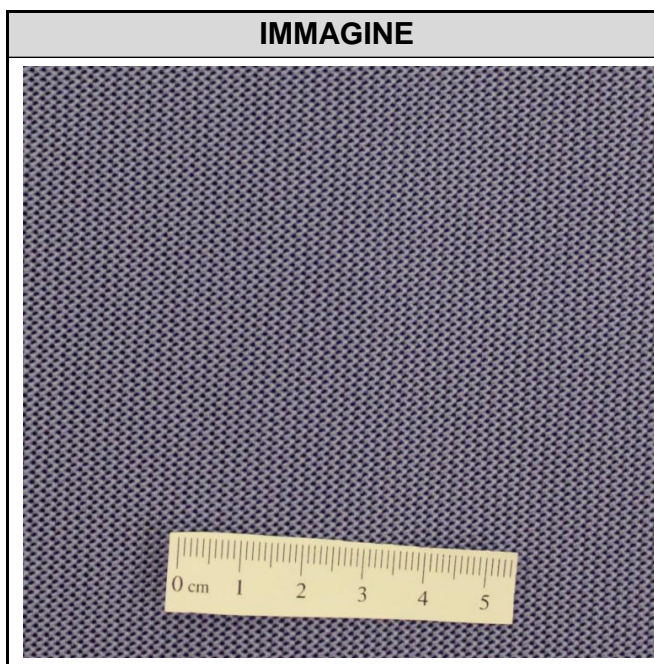


SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto a navetta in PA idrorepellente</b>	<b>A</b>	CODICE
			14 006

SETTORE	
abbigliamento	

DESCRIZIONE
Tessuto a navetta in poliammide (PA) traspirante, idrorepellente e indemagliabile.

FORNITURA	
larghezza rotolo	150 cm



COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Poliammide						
<b>%</b>	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 	■	■		■		■	
Pannelli 	■	■		■		■	■
Aggetto/piccoli elementi 							

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■■■
Resistenza a strappo	■■■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	
Resistenza cicli di sporcamento	
Resistenza a contatto con liquidi	
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: Esistono limitazioni in merito alla resistenza al fuoco, essendo il tessuto in poliestere. Deformabilità maglia se sottoposto a trazione. Variazione prestazione al variare dell'orientamento.

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

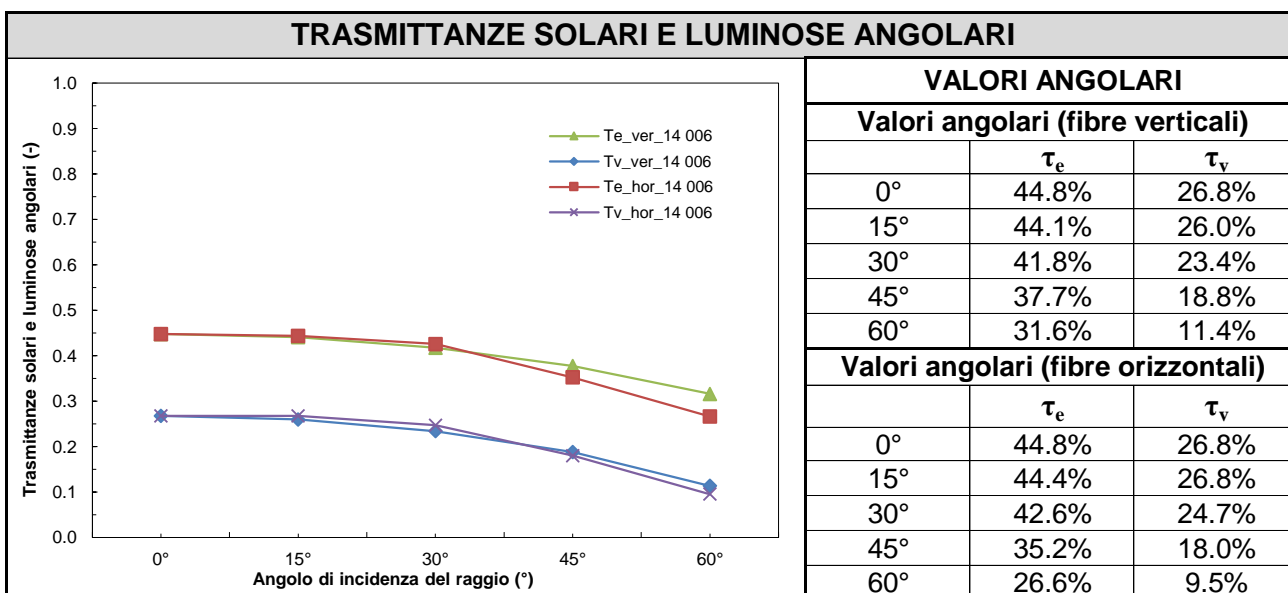
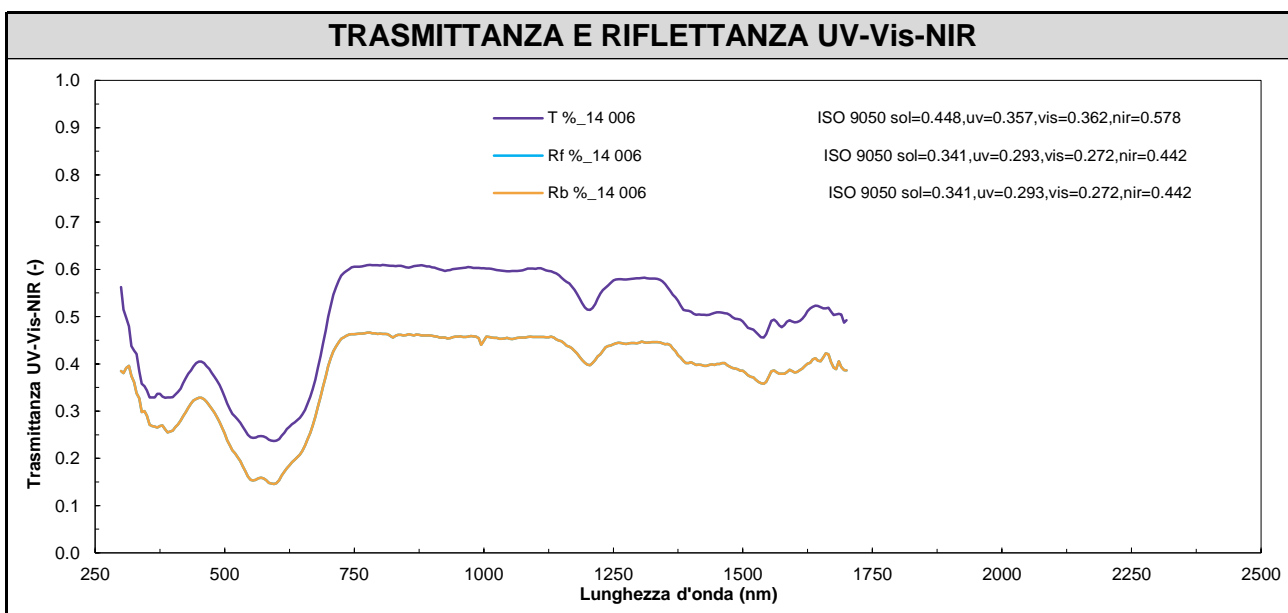
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto a navetta in PA idrorepellente</b>	<b>B</b>	CODICE
			14 006

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	380	
Conduttività termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione	N/5cm (ordito/trama)	1210/1560	UNI EN ISO 13934-1
Resistenza a strappo	N (ordito/trama)	75/80	UNI EN ISO 4674-1
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		44.8%	34.1%	34.1%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		26.8%	18.3%	18.3%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

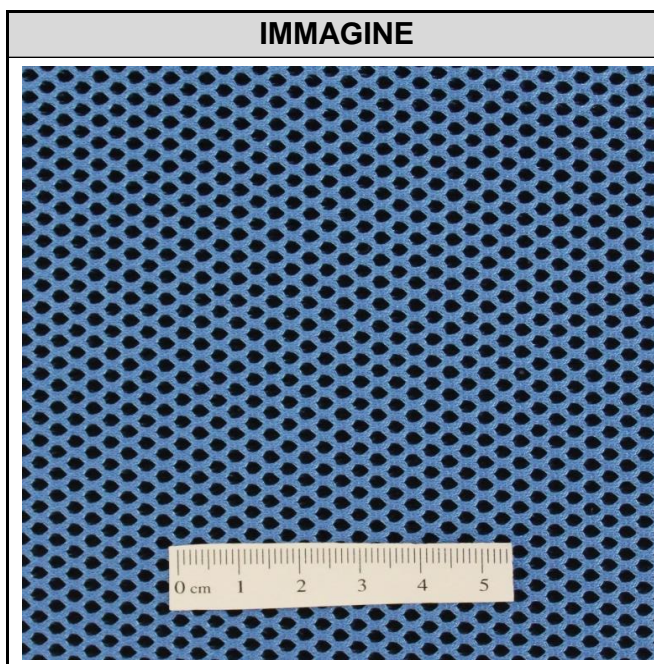
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PL tridimensionale indemagliabile</b>	<b>A</b>	CODICE
			14 012

SETTORE	
abbigliamento	

DESCRIZIONE
Tessuto in Poliestere (PL) tridimensionale ed indemagliabile con una alta resistenza all'abrasione.

FORNITURA



COMPOSIZIONE							
Materiale	Poliestere						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 	■	■		■		■	
Pannelli 	■	■		■		■	
Aggetto/piccoli elementi 	■	■		■		■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	
Resistenza cicli di sporcamento	
Resistenza a contatto con liquidi	
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: Esistono limitazioni in merito alla resistenza al fuoco, essendo il tessuto in poliestere. Elevata alterazione della percezione dei colori e delle forme. Altamente diffondente.

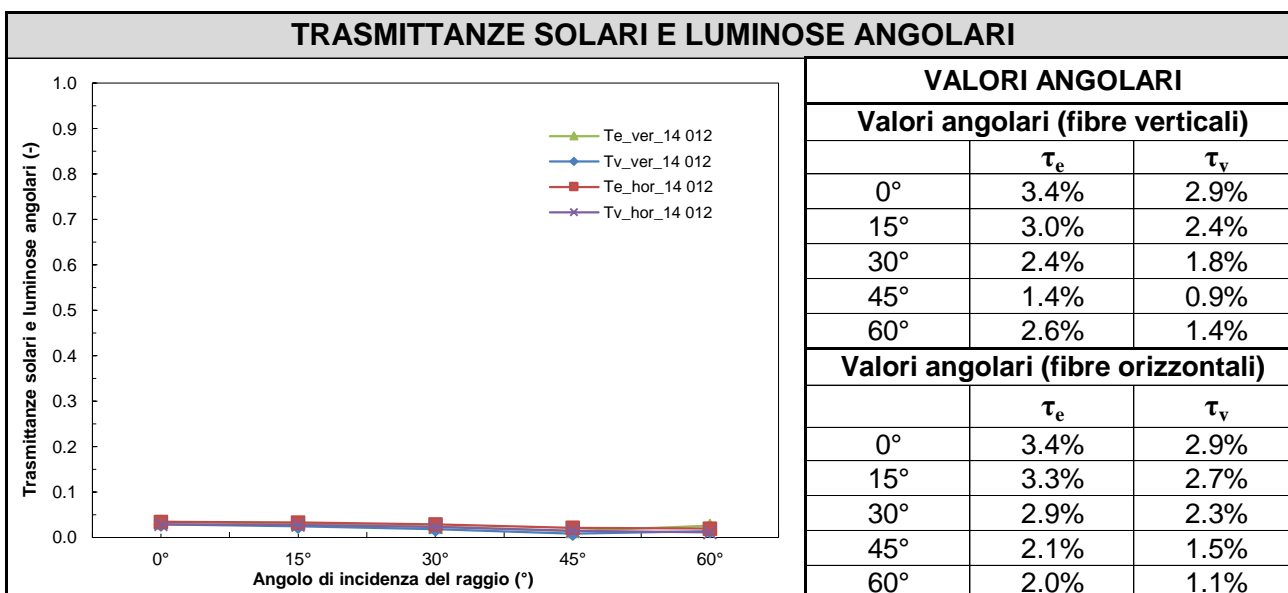
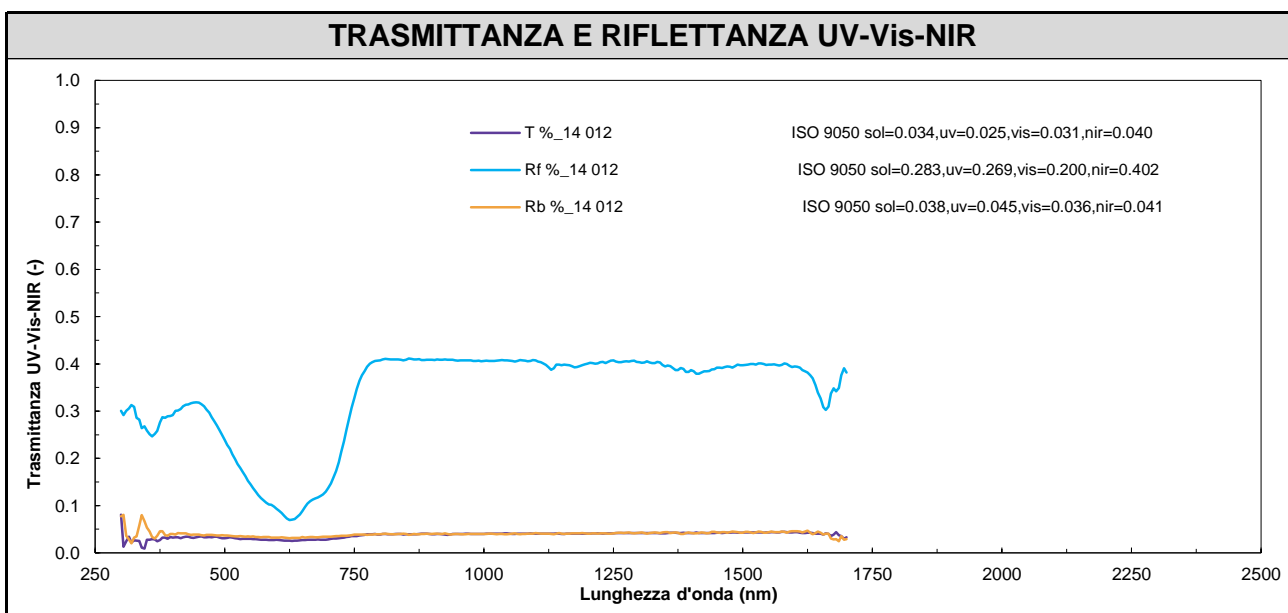
Tessuto  
 Maglia / Rete metallica  
 Lamiera metallica  
 Polimero spalmato  
 Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PL tridimensionale indemagiabile</b>	<b>B</b>	CODICE 14 012
--------------------	--	----------	------------------

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	420	
Conduktività termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		3.4%	28.3%	3.8%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		2.9%	14.8%	3.4%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

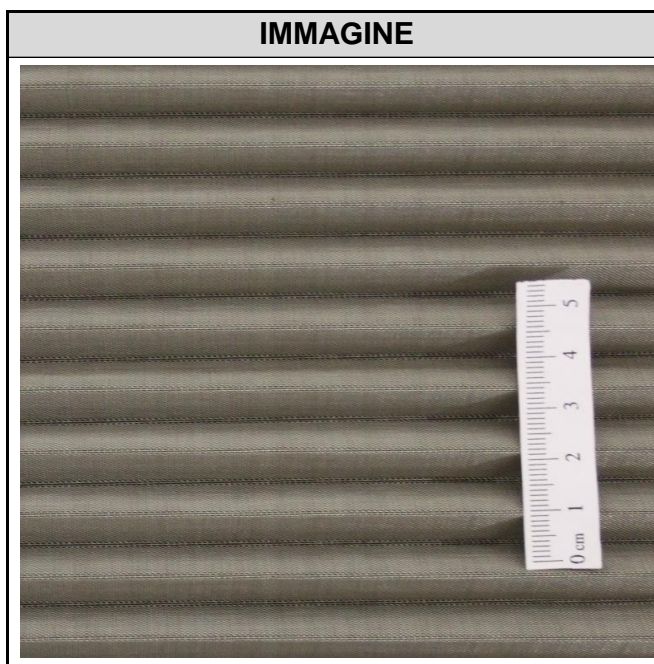
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Filtro metallico plissettato a maglia fine</b>	<b>A</b>	CODICE
			15 005

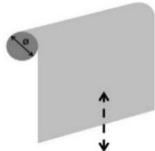

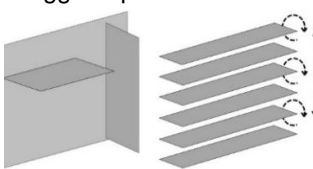
SETTORE	
industriale	

DESCRIZIONE
Filtro metallico plissettato a maglia fine utilizzato nelle unità di trattamento aria o in altre macchine industriali.

FORNITURA



COMPOSIZIONE							
Materiale	acciaio						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■	■	■	■		■ <sup>2</sup>	■ <sup>3</sup>
Aggetto/piccoli elementi 	■	■	■	■	■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■ ■
Resistenza a trazione	■ ■
Resistenza a strappo	■ ■ ■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■ ■ ■
Trasmittanza solare	■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■ ■ media, ■ ■ ■ alta</i>	

NOTE
Sporco localizzato in funzione dell'orientamento. Alterazione percettiva dell'oggetto in funzione dell'orientamento; variazione visione int-ext e ext-int al variare dell'angolo di osservazione e grado di tensionamento. <sup>2</sup> A perimetro con una struttura di irrigidimento. <sup>3</sup> Soluzione sandwich.

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

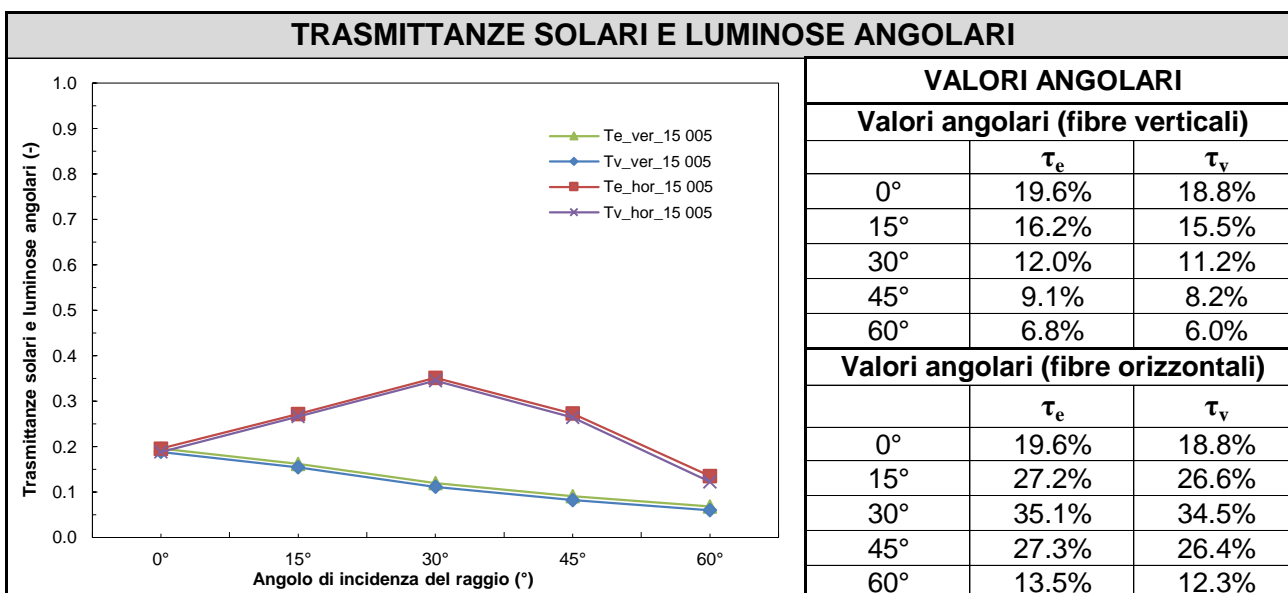
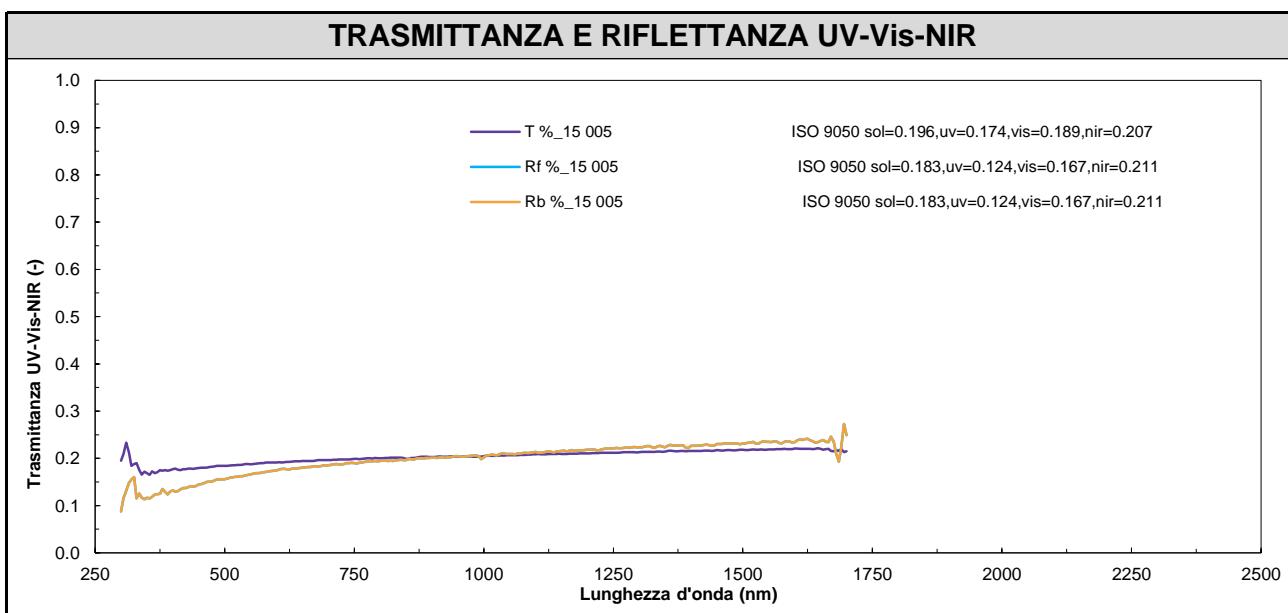
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Filtro metallico plissettato a maglia fine</b>	<b>B</b>	CODICE
			15 005

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	1.74	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
			19.6%	18.3%	18.3%	
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
			18.8%	16.7%	16.7%	

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

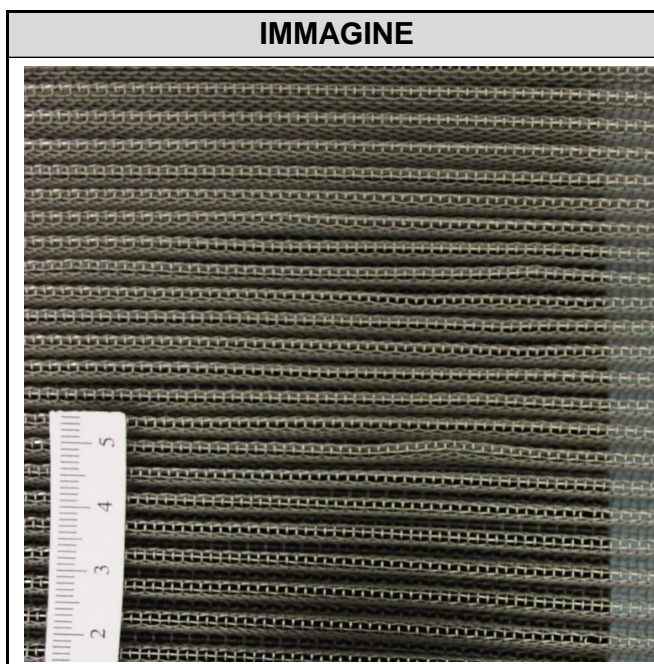
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Filtro metallico plissettato a maglia larga</b>	<b>A</b>	CODICE
			15 006

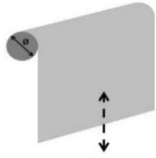
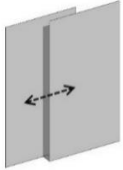
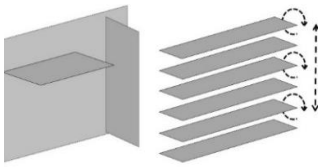
SETTORE	
industriale	

DESCRIZIONE
Filtro metallico plissettato a maglia larga utilizzato nelle unità di trattamento aria o in altre macchine industriali.

FORNITURA



COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Acciaio						
<b>%</b>	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
Avvolgibile 							
Pannelli 	■	■	■	■		■ <sup>2</sup>	■ <sup>3</sup>
Aggetto/piccoli elementi 	■	■	■	■	■	■	

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■■
Resistenza a trazione	■■
Resistenza a strappo	■■■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
Sporco localizzato in funzione dell'orientamento. Alterazione percettiva dell'oggetto in funzione dell'orientamento; variazione visione int-ext e ext-int al variare dell'angolo di osservazione e grado di tensionamento. Variazione della prestazione in funzione dell'inclinazione rispetto alla verticale. <sup>2</sup> A perimetro con una struttura di irrigidimento. <sup>3</sup> Soluzione sandwich.

Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

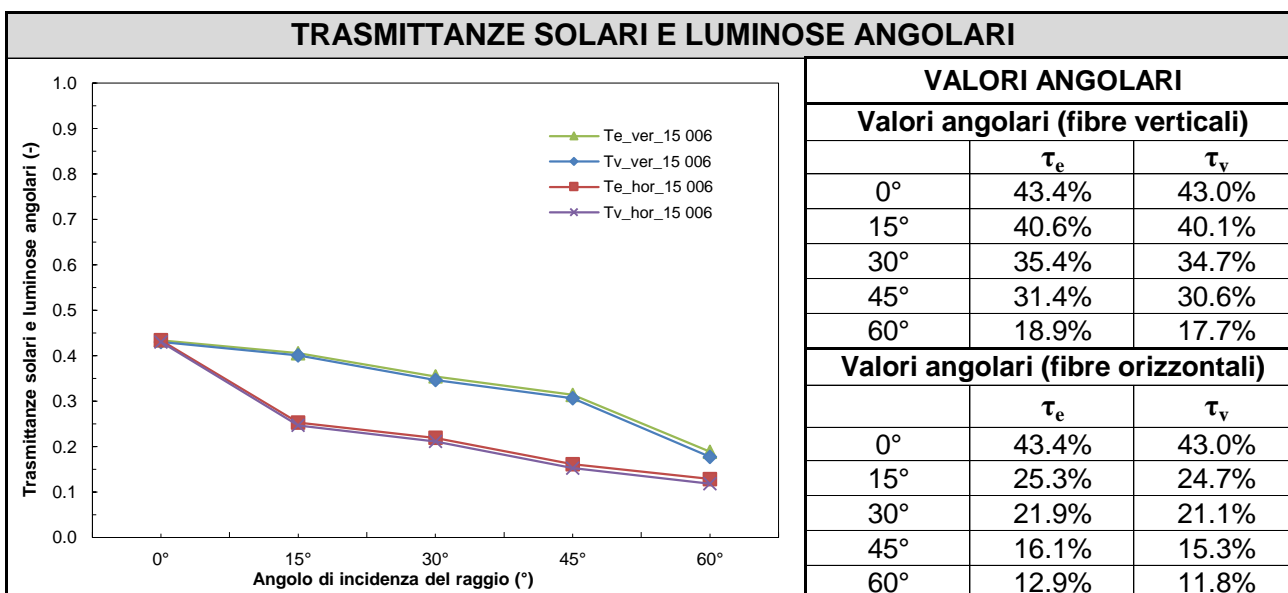
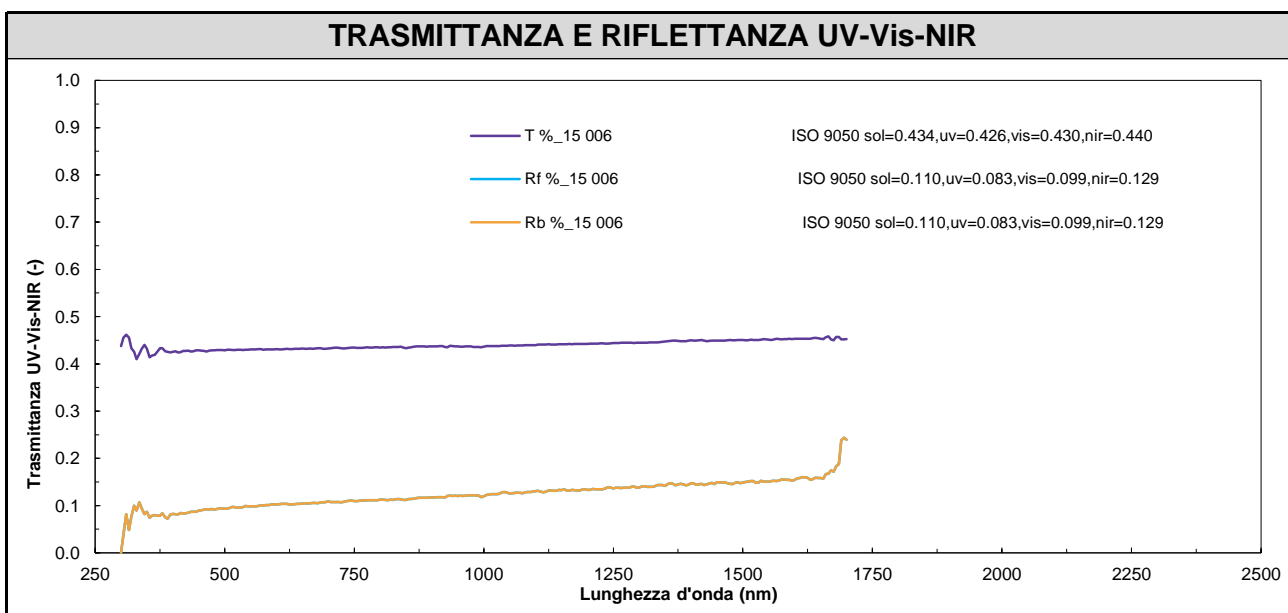
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Filtro metallico plissettato a maglia larga</b>	<b>B</b>	CODICE
			15 006

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	kg/m <sup>2</sup>	2.83	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		43.4%	11.0%	11.0%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		43.0%	9.9%	9.9%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

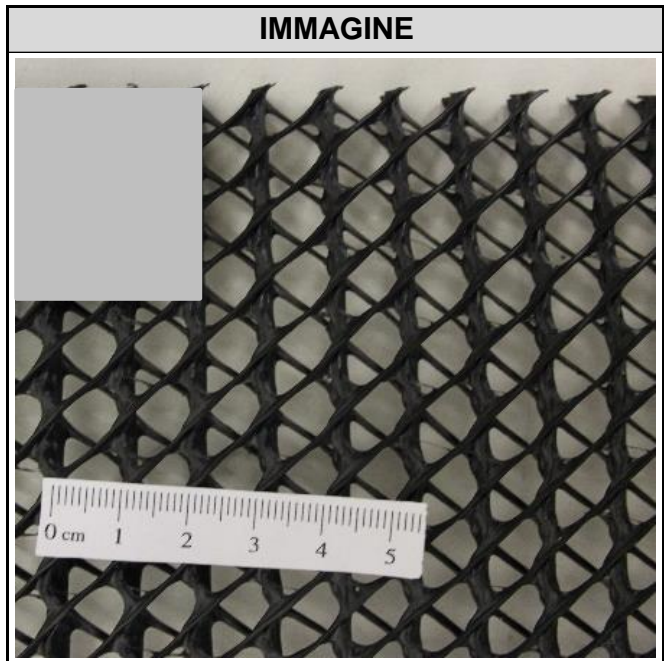
Composito



SCHEDA PRODOTTO	<b>Rete in HDPE a tripla maglia incrociata</b>	<b>A</b>	CODICE
			16 007

SETTORE	
architettura	industriale

DESCRIZIONE
Rete in Polietilene ad alta densità (HDPE) a tripla maglia incrociata di colore nero (stabilizzante UV: carbon black).



FORNITURA	
dimensioni rotolo	3,8 x 50 m

COMPOSIZIONE							
Materiale	HDPE*	Carbon Black**					
%	100	100					

Note: \* Tessuto, \*\* stabilizzante UV

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
	Avvolgibile 						
Pannelli 	■		■	■	■		■
Aggetto/piccoli elementi 	■		■	■	■		■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■■
Resistenza a strappo	
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	Sì
Resistenza cicli di sporco	Sì
Resistenza a contatto con liquidi	Sì
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbimento solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■

Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: A causa della rigidità del prodotto, è consigliato un raggio di curvatura ampio. Leggerezza. Ridigità in una direzione prevalente.

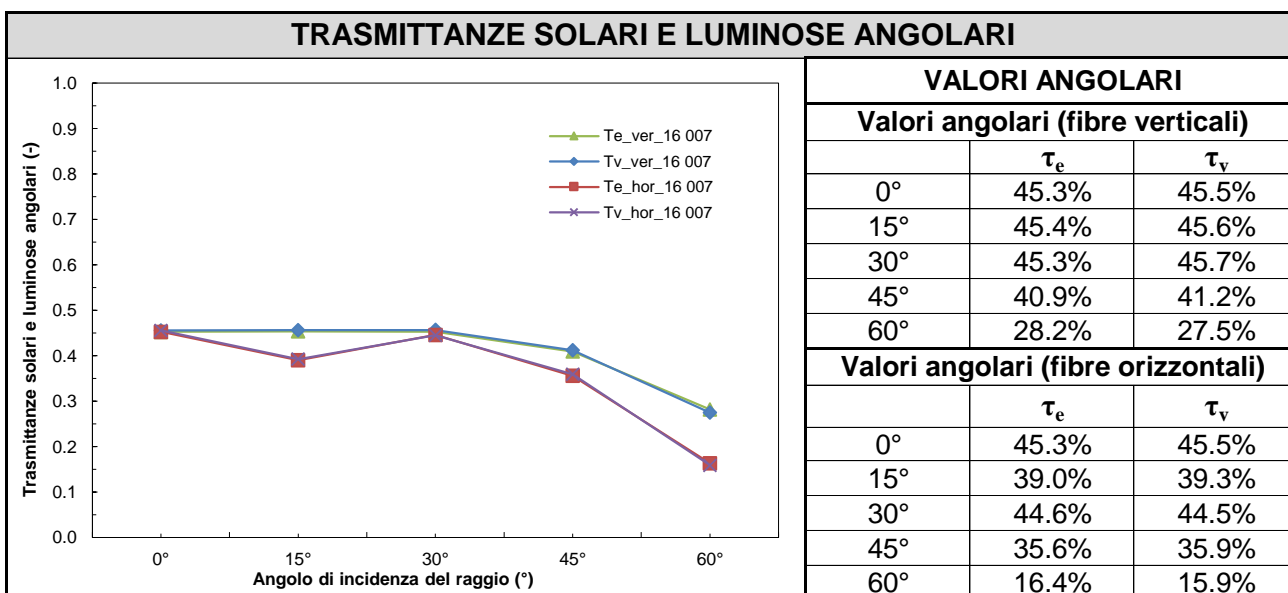
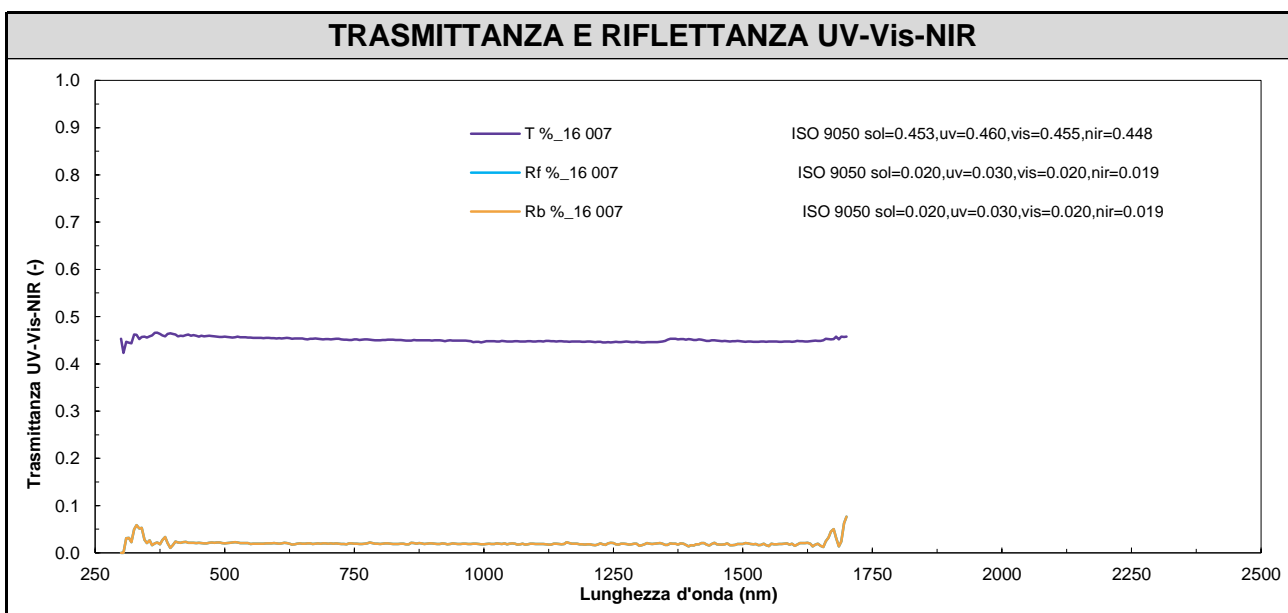
Tessuto  
 Maglia / Rete metallica  
 Lamiera metallica  
 Polimero spalmato  
 Composito

SCHEDA PRODOTTO	Rete in HDPE a tripla maglia incrociata	B	CODICE
			16 007

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	780	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	0.40-0.47	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	kN/m	8	ISO 10319
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		45.3%	2.0%	2.0%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		45.5%	2.0%	2.0%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

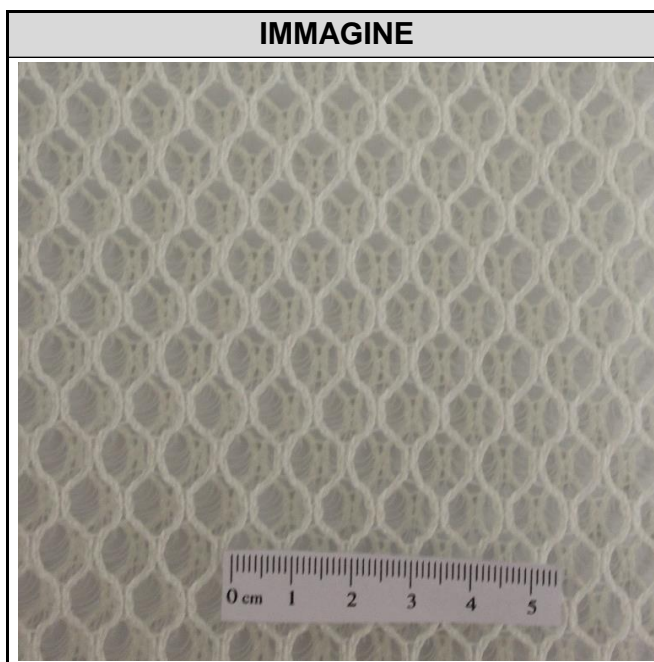
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PES tridimensionale spesso</b>	<b>A</b>	CODICE
			17 008

SETTORE	
arredo	

DESCRIZIONE
Tessuto in poliestere (PES) tridimensionale, spessore 10 mm.



FORNITURA	
larghezza rotolo	280 cm

COMPOSIZIONE							
<b>Materiale</b>	Poliestere						
<b>%</b>	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
<b>Avvolgibile</b> 							
<b>Pannelli</b> 	■	■		■		■	■
<b>Aggetto/piccoli elementi</b> 	■	■		■		■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	
Resistenza cicli di sporcamento	
Resistenza a contatto con liquidi	
Permeabilità all'aria	Sì
Permeabilità al vapore	Sì
Trasmittanza luminosa	■■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: Esistono limitazioni in merito alla resistenza al fuoco, essendo il tessuto composto in poliestere. A causa dello spessore, raggi di curvatura piccoli rispetto allo spessore non sono ammessi. Leggerezza. Tensionamento su 4 lati. Facile lavorabilità.

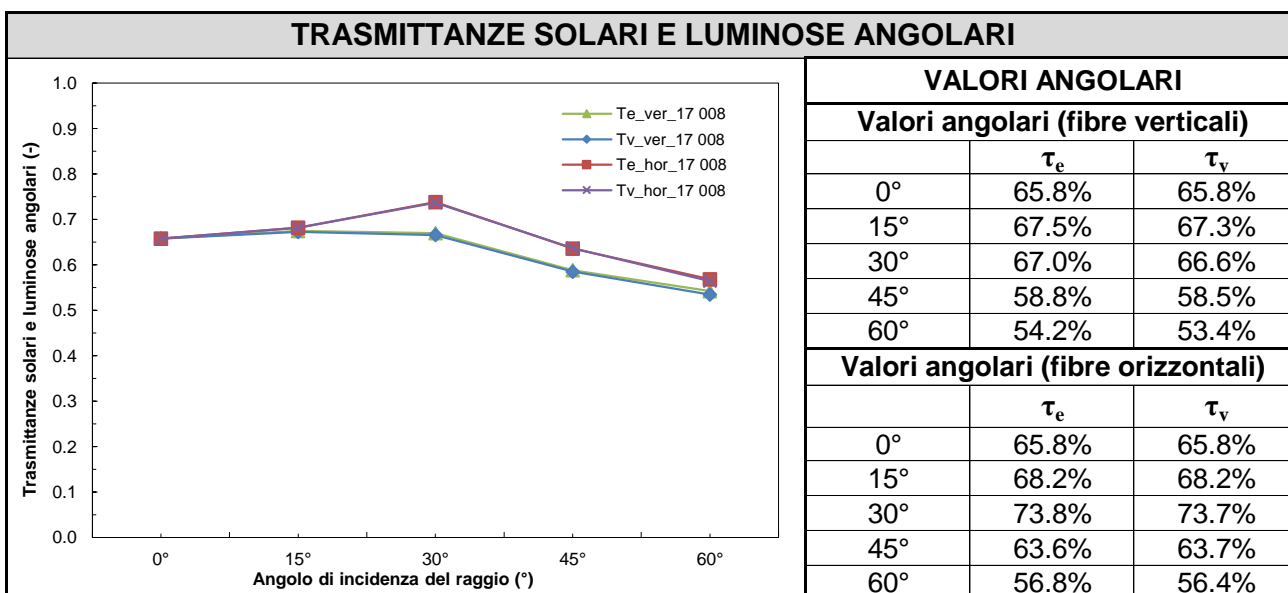
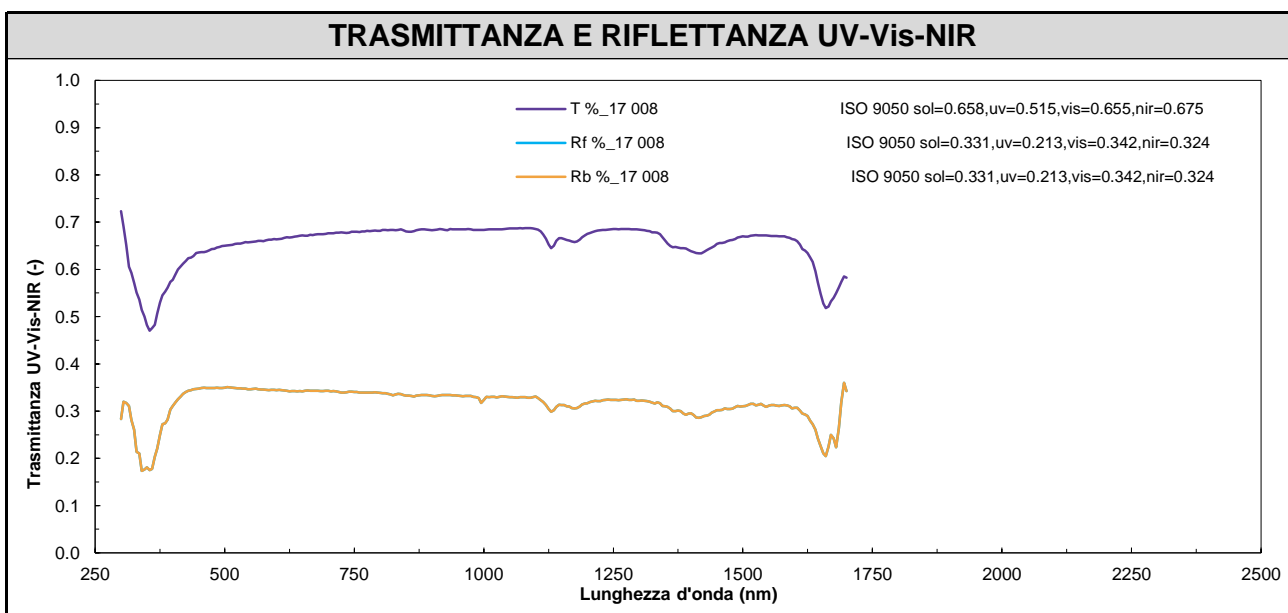
Tessuto  
 Maglia / Rete metallica  
 Lamiera metallica  
 Polimero spalmato  
 Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PES tridimensionale spesso</b>	<b>B</b>	CODICE
			17 008

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	530	
Conduttività termica ( $\lambda$ )	W/mK	0.13-0.18	(caratteristica del materiale)
Resistenza a trazione	kPa	11.5	
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d}$	
		65.8%	33.1%	33.1%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d}$	
		65.8%	34.7%	34.7%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

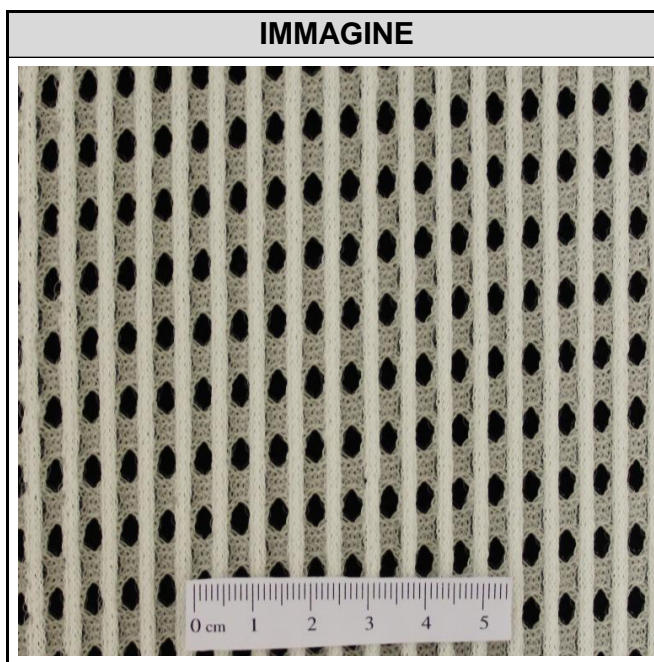
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET tridimensionale</b>	<b>A</b>	CODICE
			18 007

SETTORE	
abbigliamento	

DESCRIZIONE
Tessuto in Poliestere (PET) tridimensionale.



FORNITURA	
larghezza rotolo	154 cm

COMPOSIZIONE							
Materiale	Poliestere						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
	Avvolgibile 	■		■	■	■	■
Pannelli 	■	■		■	■	■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■	■		■	■	■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	
Resistenza cicli di sporcamento	
Resistenza a contatto con liquidi	
Permeabilità all'aria	Si
Permeabilità al vapore	Si
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■■
Assorbanza solare	■■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: Esistono limitazioni in merito alla resistenza al fuoco, essendo il tessuto composto in poliestere. Leggerezza. Lavorabilità. Consigliato accoppiamento con resine (soluzione sandwich).

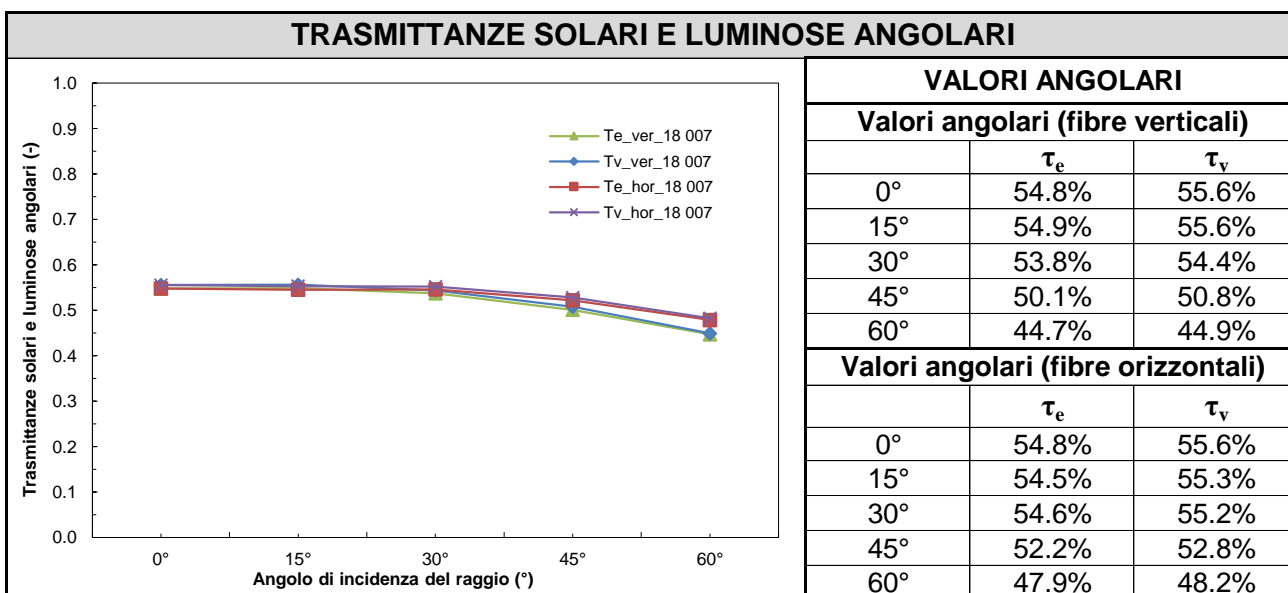
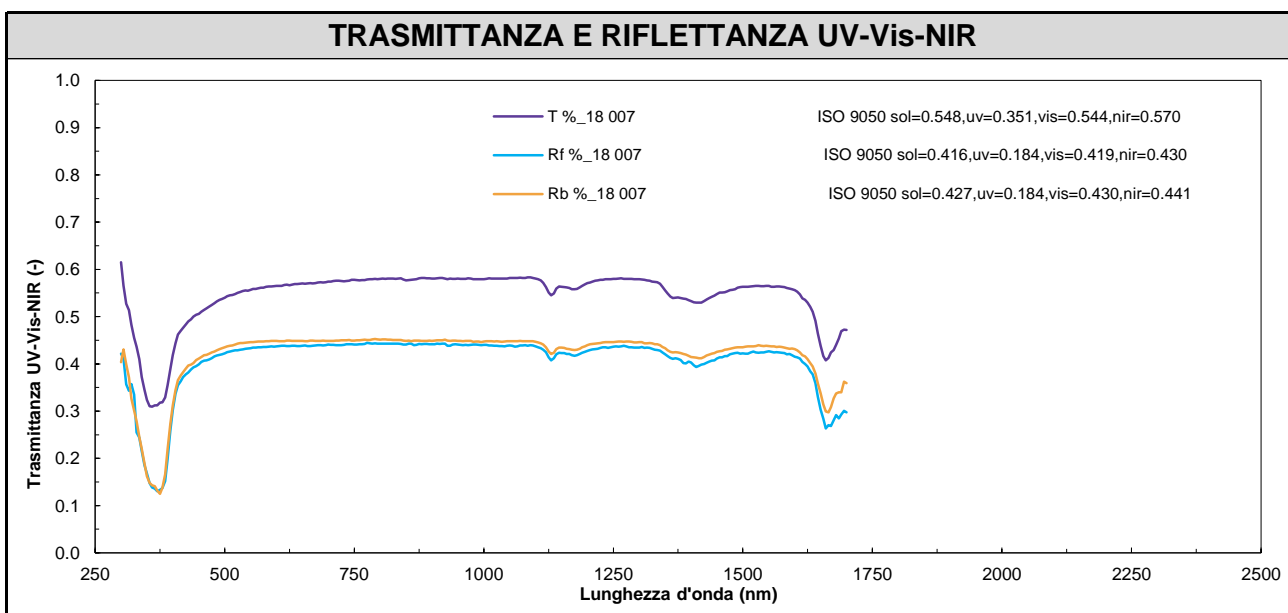
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamiera metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET tridimensionale</b>	<b>B</b>	CODICE
			18 007

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	3.99	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		54.8%	41.6%	42.7%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		55.6%	43.2%	44.4%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

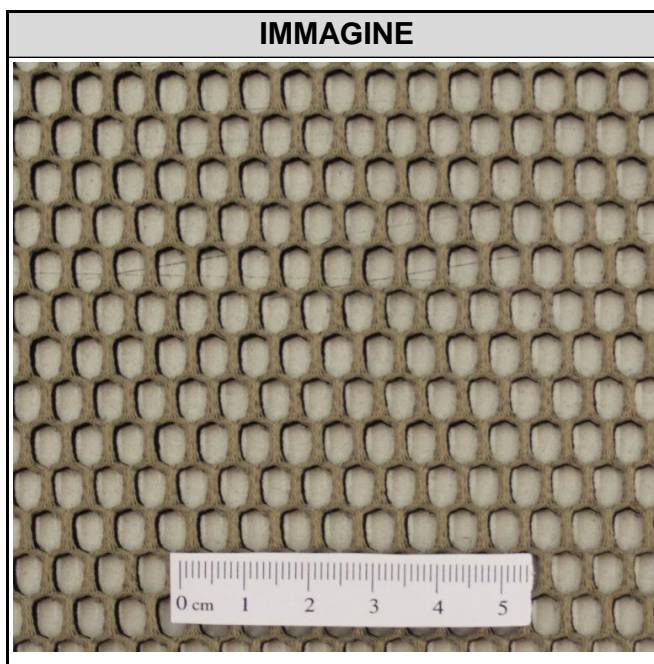
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET tridimensionale</b>	<b>A</b>	CODICE
			18 014

SETTORE	
abbigliamento	

DESCRIZIONE
Tessuto in Poliestere (PET) tridimensionale.



FORNITURA

COMPOSIZIONE							
Materiale	Poliestere						
%	100						
<i>Note:</i>							

APPLICABILITÀ SCHERMATURE SOLARI							
TIPOLOGIA FUNZIONALE	Applicabilità <sup>1</sup>	Interno	Esterno	In intercapedine	Fissaggio puntuale	Fissaggio con telaio	Accoppiato
	Avvolgibile 						
Pannelli 	■	■	■	■	■	■	■
Aggetto/piccoli elementi 	■	■	■	■	■	■	■

CARATTERISTICHE QUALITATIVE	
Massa per unità di superficie	■
Resistenza a trazione	■
Resistenza a strappo	■
Reazione al fuoco	■
Resistenza agli UV	
Resistenza cicli di sporcamento	
Resistenza a contatto con liquidi	
Permeabilità all'aria	Si
Permeabilità al vapore	Si
Trasmittanza luminosa	■■
Riflettanza luminosa	■
Assorbanza solare	■
Trasmittanza solare	■■
Riflettanza solare	■
<i>Legenda punteggi: ■ bassa, ■■ media, ■■■ alta</i>	

NOTE
<sup>1</sup> Limitazioni: Esistono limitazioni in merito alla resistenza al fuoco, essendo il tessuto composto in poliestere. Leggerezza. Lavorabilità. Consigliato accoppiamento con resine (soluzione sandwich).

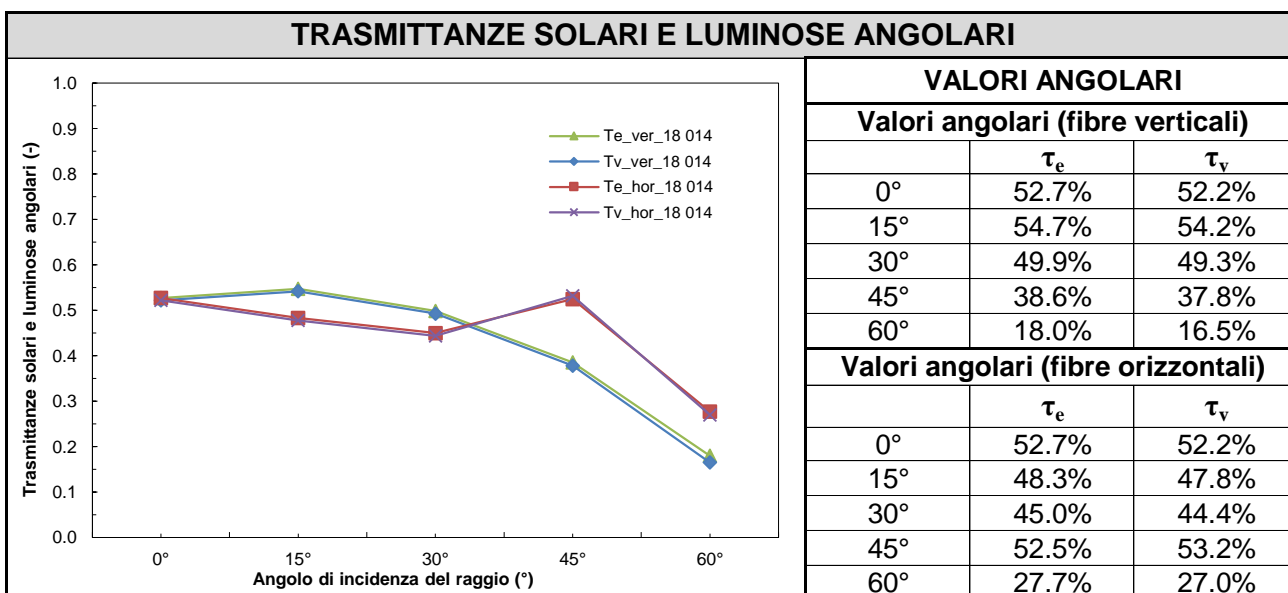
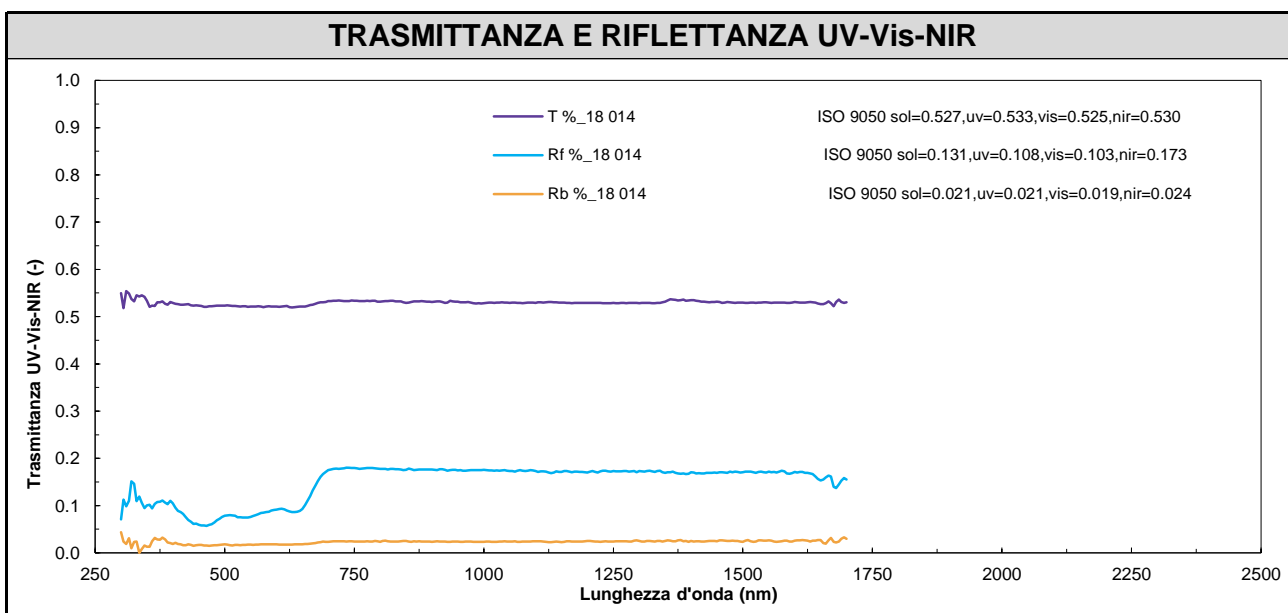
Tessuto
Maglia / Rete metallica
Lamiera metallica
Polimero spalmato
Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>Tessuto in PET tridimensionale</b>	<b>B</b>	CODICE
			18 014

PROPRIETÀ DIMENSIONALI			
Proprietà fisica	Unità	Valore	Norma di riferimento
Massa per unità di superficie	g/m <sup>2</sup>	2.28	
Conducibilità termica ( $\lambda$ )			
Resistenza a trazione			
Resistenza a strappo			
Reazione al fuoco			
Permeabilità all'aria			
Permeabilità al vapore ( $\delta_a$ )			

PROPRIETÀ INTEGRATE						
Energetiche		$\tau_e$	$\rho_{e_f}$	$\rho_{e_b}$	$\rho_{e_d}$	
		52.7%	13.1%	2.1%		
Luminose		$\tau_v$	$\rho_{v_f}$	$\rho_{v_b}$	$\rho_{v_d}$	
		52.2%	8.1%	1.7%		

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

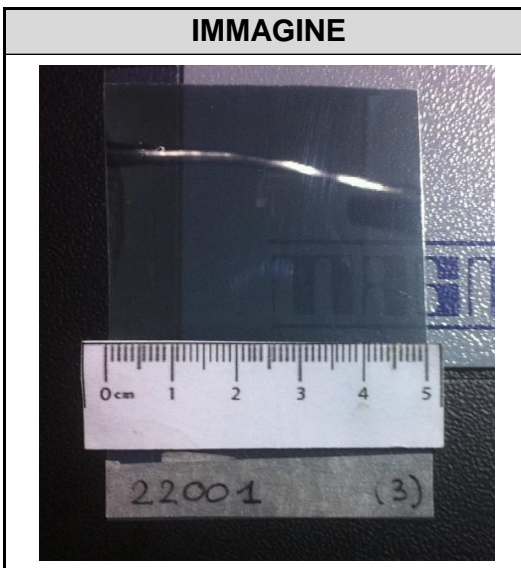
Polimero spalmato

Composito



SCHEDA PRODOTTO	<b>ETFE + Pellicola antisolare da esterni argento</b>	<b>A B</b>	CODICE
			22 001

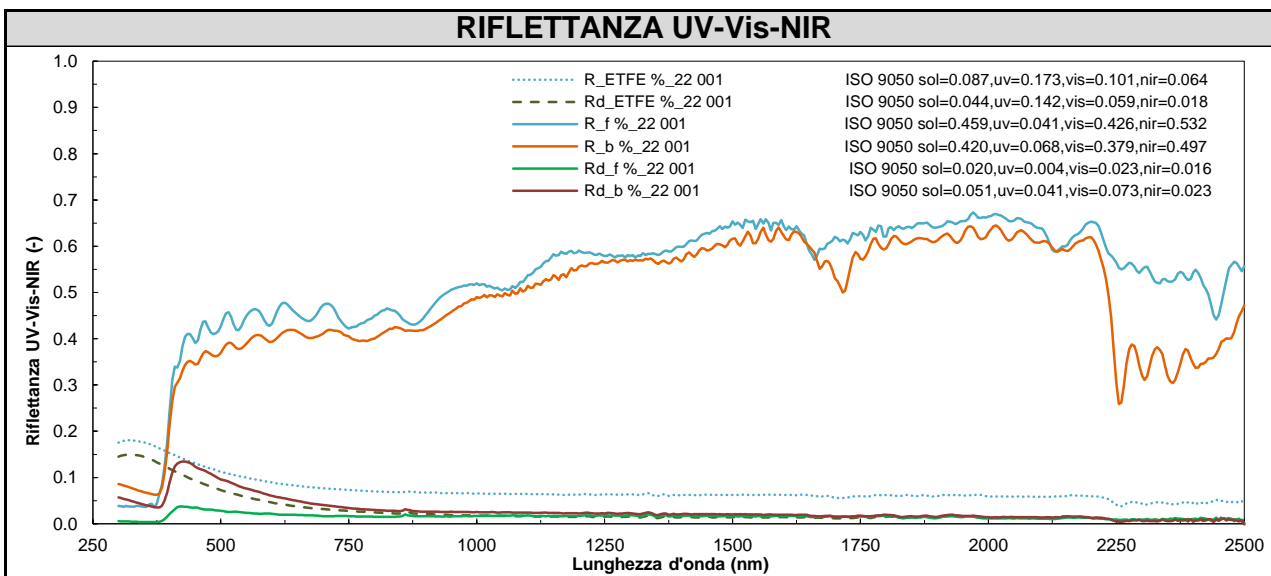
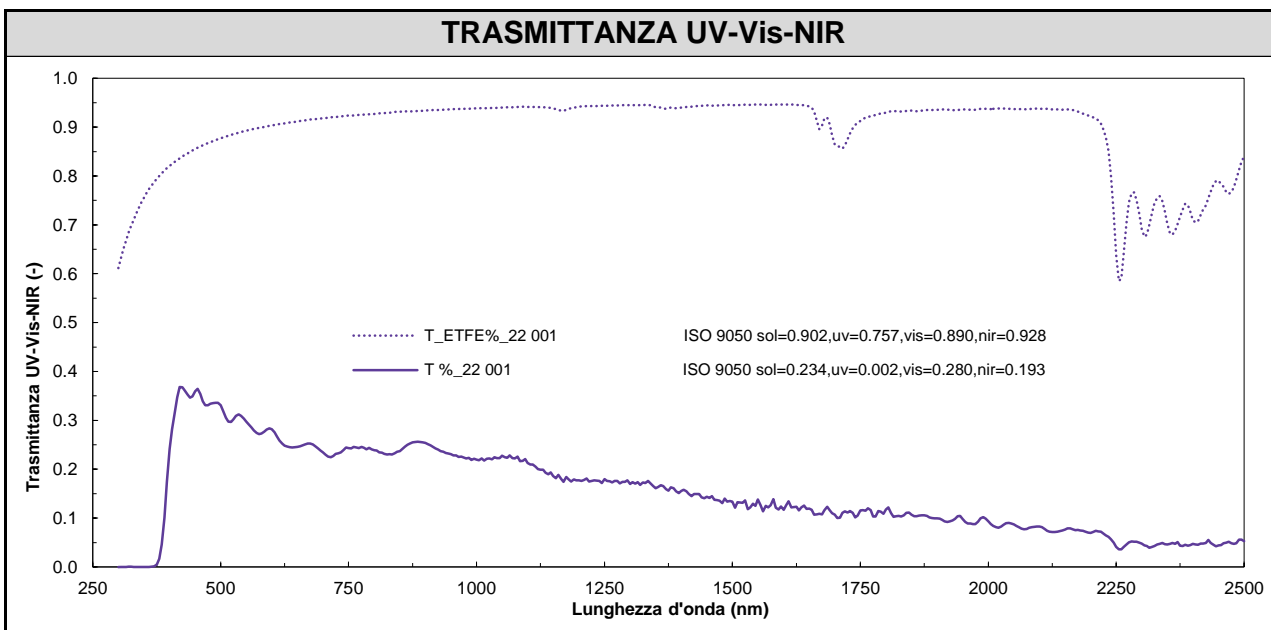
**DESCRIZIONE**  
 Membrana ETFE clear con trattamento corona su un lato, spessore 200 µm + Pellicola antisolare di sicurezza da esterni, spessore 75 µm, riflettente, argento.



**PROPRIETÀ INTEGRATE**

Energetiche	$\tau_{e,ETFE}$		$\rho_{e,ETFE}$		$\rho_{e,d,ETFE}$
	90.2%		8.7%		4.4%
	$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d,f}$	$\rho_{e,d,b}$
	23.4%	45.9%	42.0%	2.0%	5.1%
Luminose	$\tau_{v,ETFE}$		$\rho_{v,ETFE}$		$\rho_{v,d,ETFE}$
	89.3%		9.9%		5.7%
	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	29.1%	44.4%	39.3%	2.4%	7.6%

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

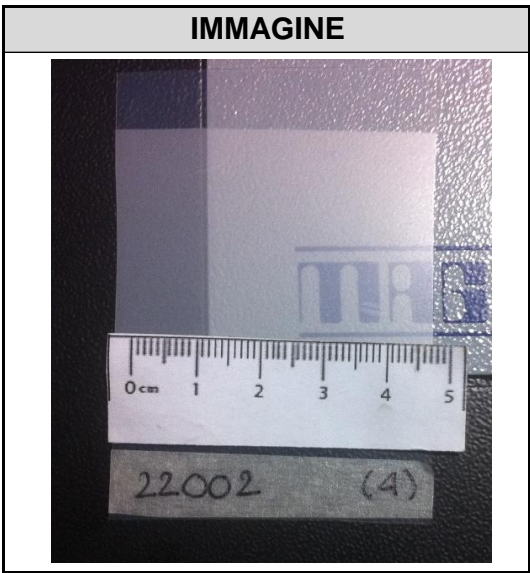
Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>ETFE + Pellicola di sicurezza da interno bianca</b>	<b>A B</b>	CODICE
			22 002

**DESCRIZIONE**

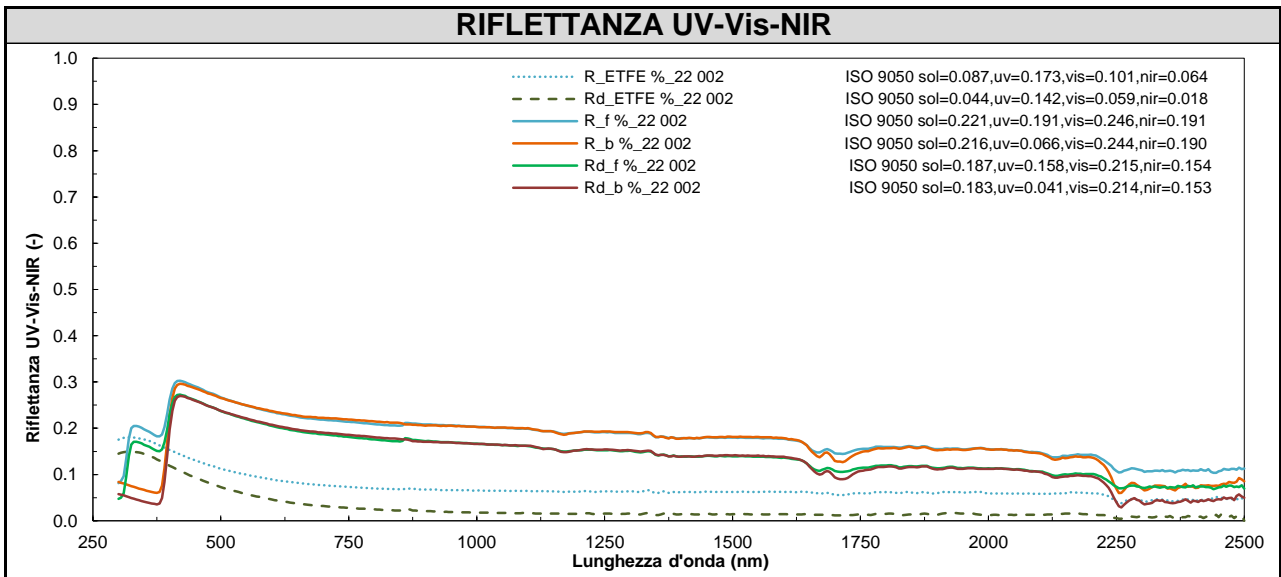
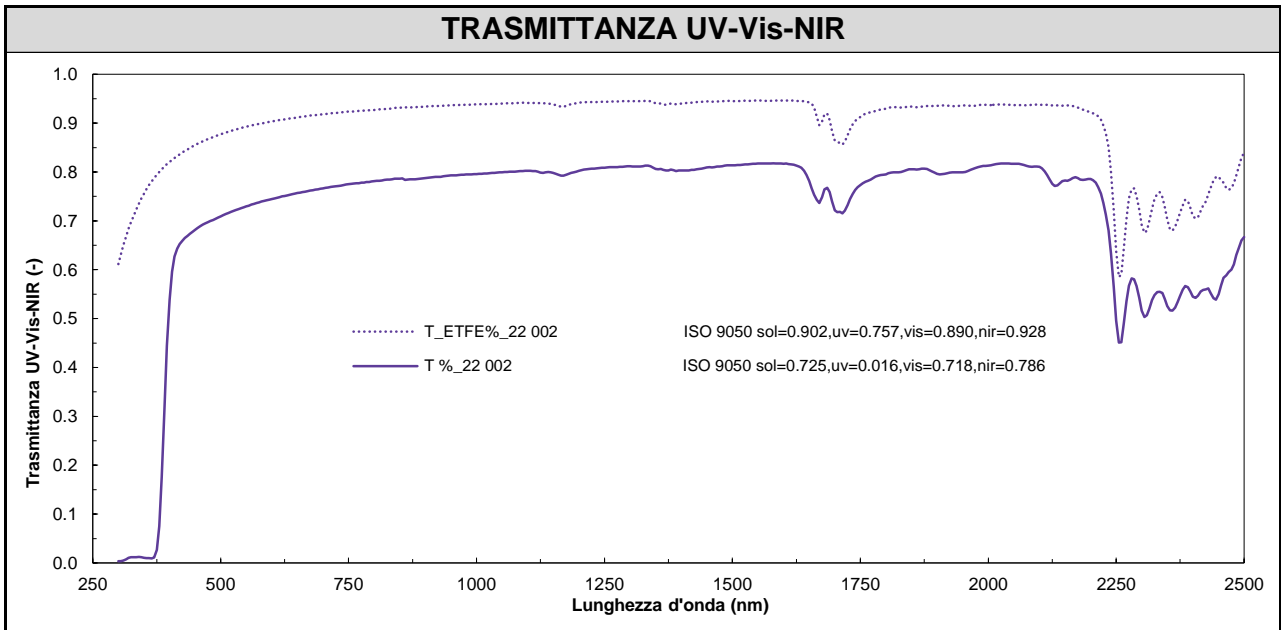
Membrana ETFE clear con trattamento corona su un lato, spessore 200 µm + Pellicola di sicurezza da interno, opaca, bianca.



**PROPRIETÀ INTEGRATE**

Energetiche	$\tau_{e,ETFE}$	$\rho_{e,ETFE}$		$\rho_{e,d,ETFE}$	
	90.2%	8.7%		4.4%	
Luminose	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	72.5%	22.1%	21.6%	18.7%	18.3%
Luminose	$\tau_{v,ETFE}$	$\rho_{v,ETFE}$		$\rho_{v,d,ETFE}$	
	89.3%	9.9%		5.7%	
Luminose	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	73.0%	24.8%	24.9%	21.9%	22.0%

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

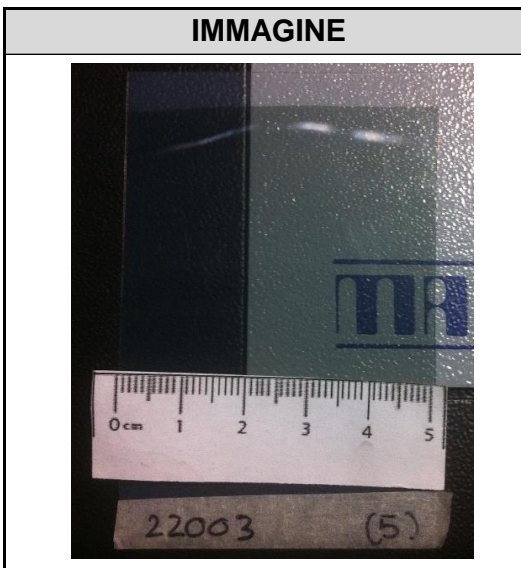
Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	ETFE + Pellicola antisolare da esterni azzurra	A B	CODICE
			22 003

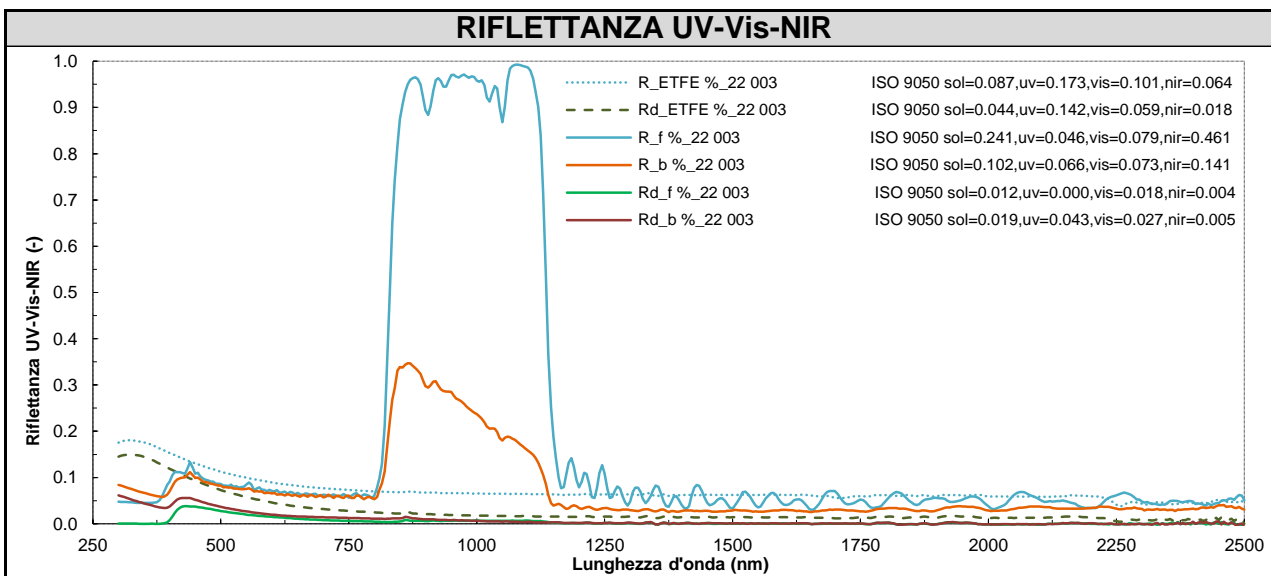
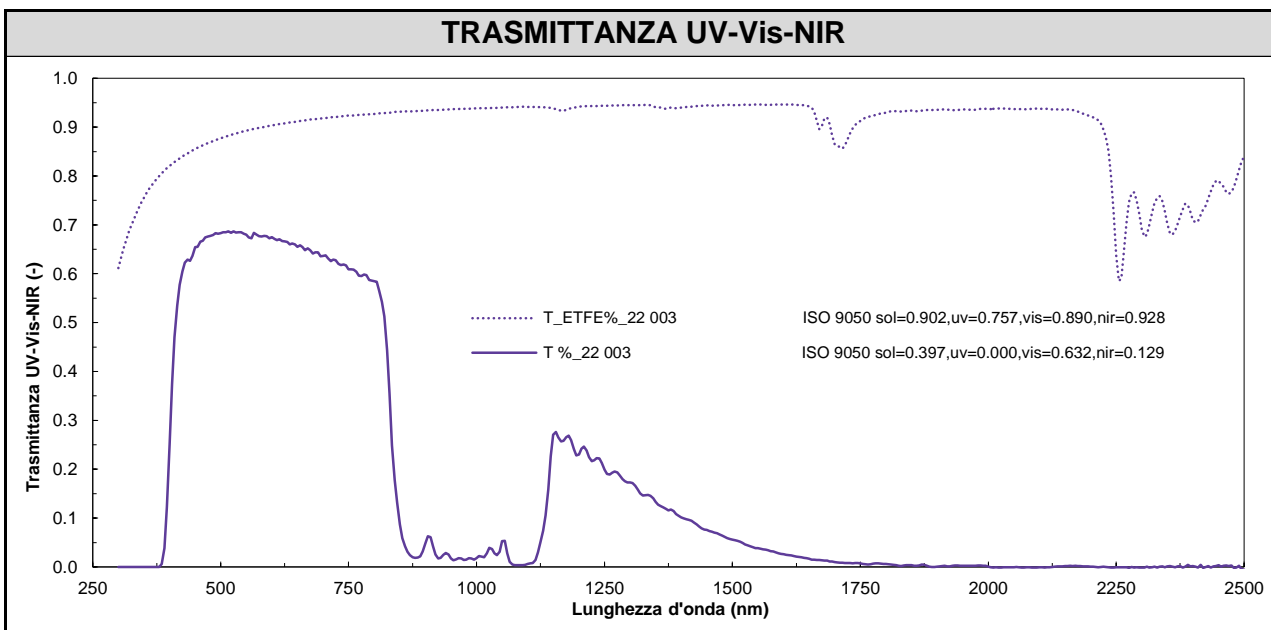
**DESCRIZIONE**  
 Membrana ETFE clear con trattamento corona su un lato, spessore 200 µm + Pellicola antisolare di sicurezza da esterni, spessore 62 µm, azzurra.



**PROPRIETÀ INTEGRATE**

Energetiche	$\tau_{e,ETFE}$		$\rho_{e,ETFE}$		$\rho_{e,d,ETFE}$
	90.2%		8.7%		4.4%
	$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d,f}$	$\rho_{e,d,b}$
	39.7%	24.1%	10.2%	1.2%	1.9%
Luminose	$\tau_{v,ETFE}$		$\rho_{v,ETFE}$		$\rho_{v,d,ETFE}$
	89.3%		9.9%		5.7%
	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	67.7%	7.9%	7.3%	2.0%	2.7%

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

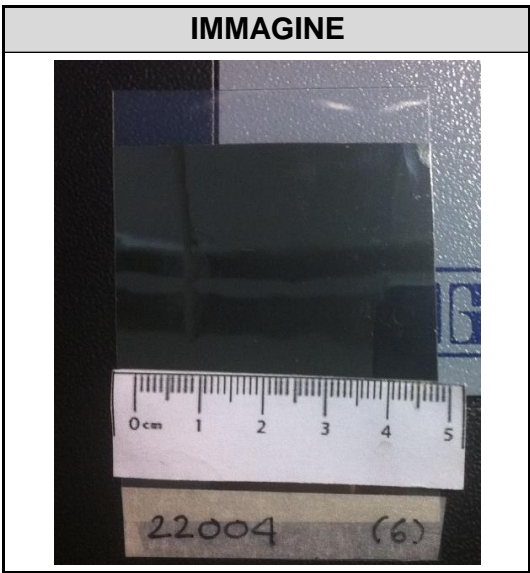
Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>ETFE + Pellicola antisolare da esterni argento</b>	<b>A B</b>	CODICE
			22 004

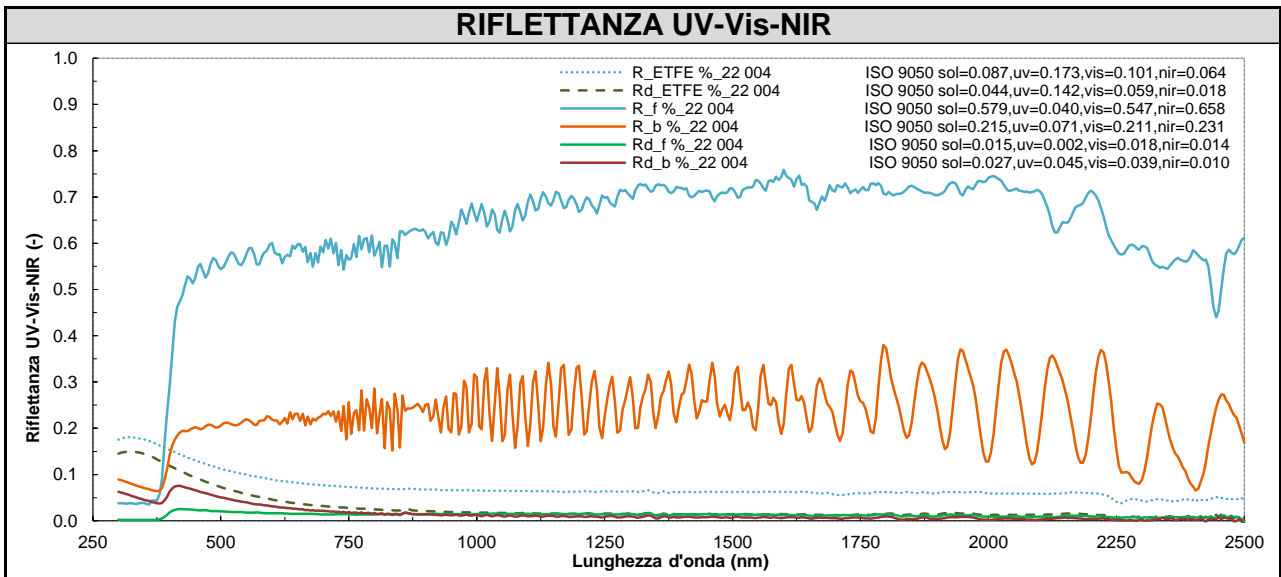
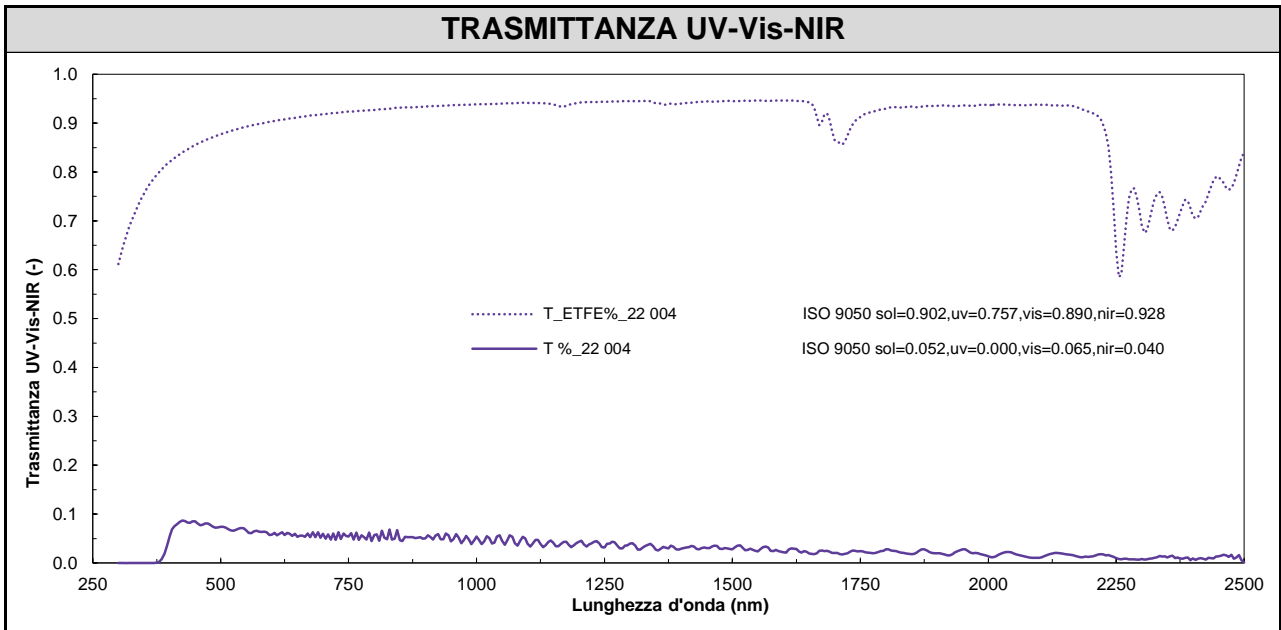
**DESCRIZIONE**  
 Membrana ETFE clear con trattamento corona su un lato, spessore 200 µm + Pellicola antisolare di sicurezza da esterni, spessore 75 µm, sputtered, argento



**PROPRIETÀ INTEGRATE**

Energetiche	$\tau_{e,ETFE}$	$\rho_{e,ETFE}$		$\rho_{e,d,ETFE}$	
	90.2%	8.7%		4.4%	
	$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d,f}$	$\rho_{e,d,b}$
	5.2%	57.9%	21.5%	1.5%	2.7%
Luminose	$\tau_{v,ETFE}$	$\rho_{v,ETFE}$		$\rho_{v,d,ETFE}$	
	89.3%	9.9%		5.7%	
	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	6.6%	57.0%	21.3%	1.8%	3.9%

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

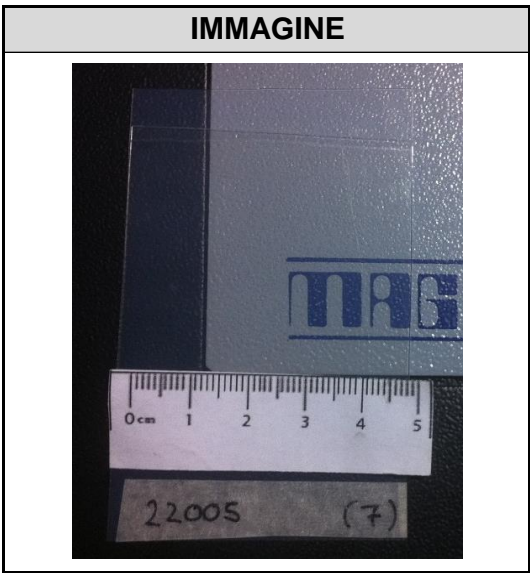
Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	<b>ETFE + Pellicola di sicurezza da esterni trasparente</b>	<b>A B</b>	CODICE
			22 005

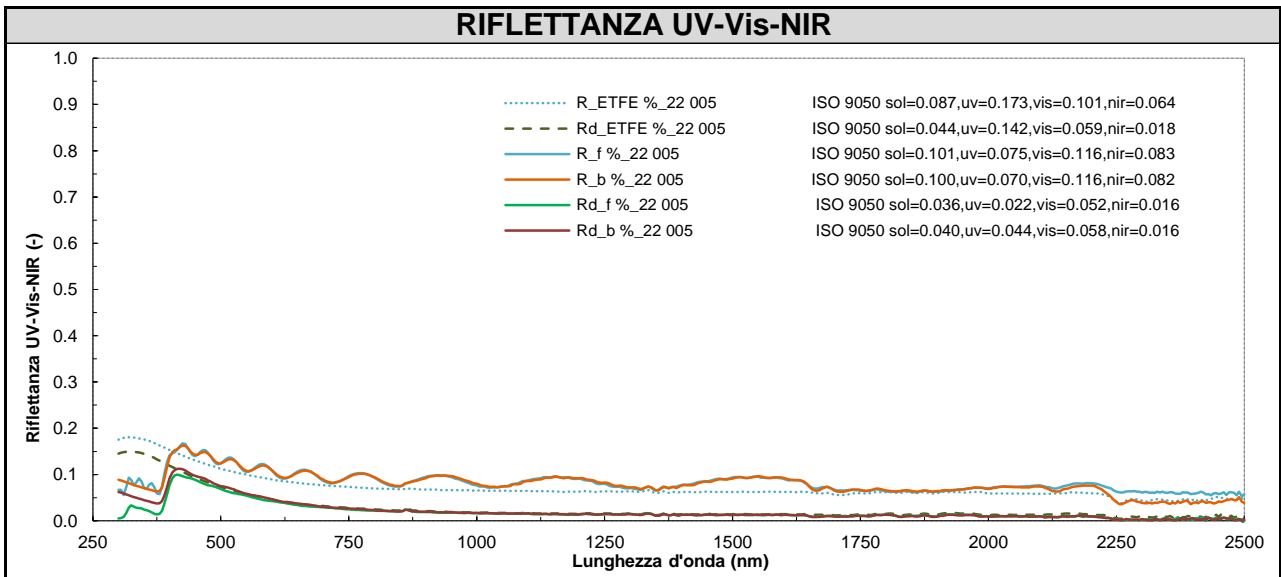
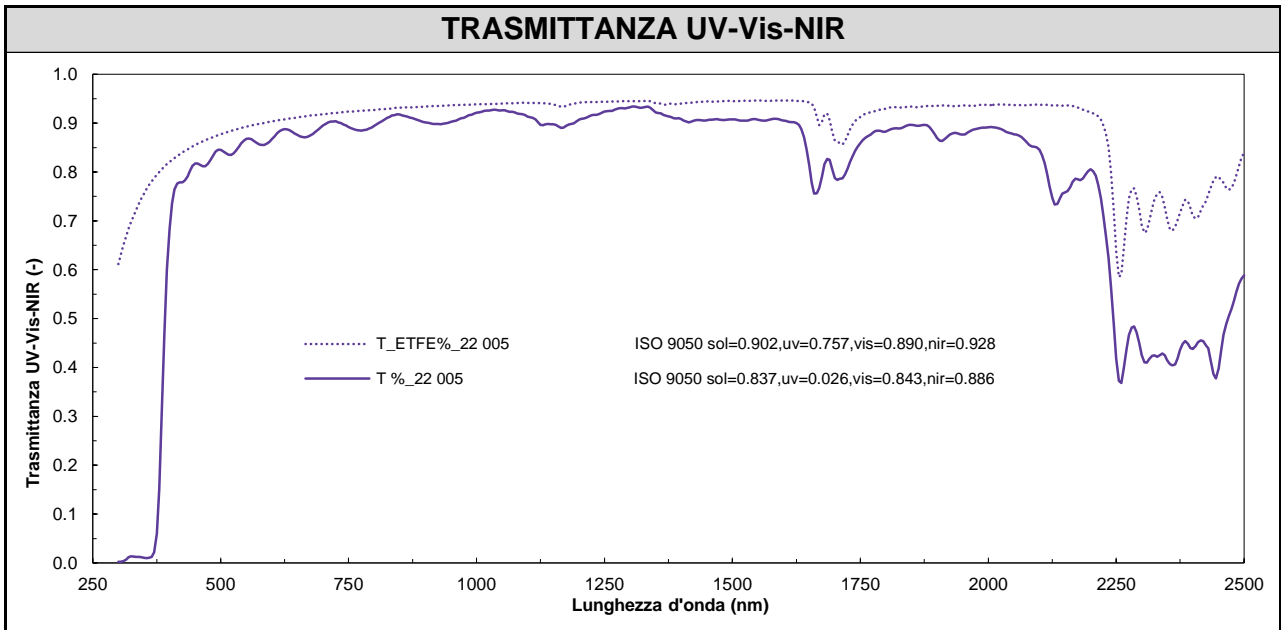
**DESCRIZIONE**  
 Membrana ETFE clear con trattamento corona su un lato, spessore 200 µm + Pellicola di sicurezza da esterni, spessore 175 µm, trasparente.



**PROPRIETÀ INTEGRATE**

Energetiche	$\tau_{e,ETFE}$	$\rho_{e,ETFE}$		$\rho_{e,d,ETFE}$	
	90.2%	8.7%		4.4%	
	$\tau_e$	$\rho_{e,f}$	$\rho_{e,b}$	$\rho_{e,d,f}$	$\rho_{e,d,b}$
	83.7%	10.1%	10.0%	3.6%	4.0%
Luminose	$\tau_{v,ETFE}$	$\rho_{v,ETFE}$		$\rho_{v,d,ETFE}$	
	89.3%	9.9%		5.7%	
	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	85.7%	11.7%	11.7%	5.3%	5.9%

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

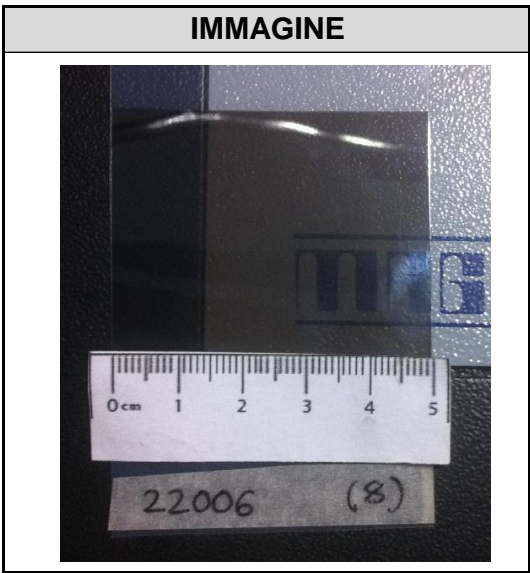
Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

SCHEDA PRODOTTO	ETFE + Pellicola antisolare da esterni bronzo fumé	A B	CODICE
			22 006

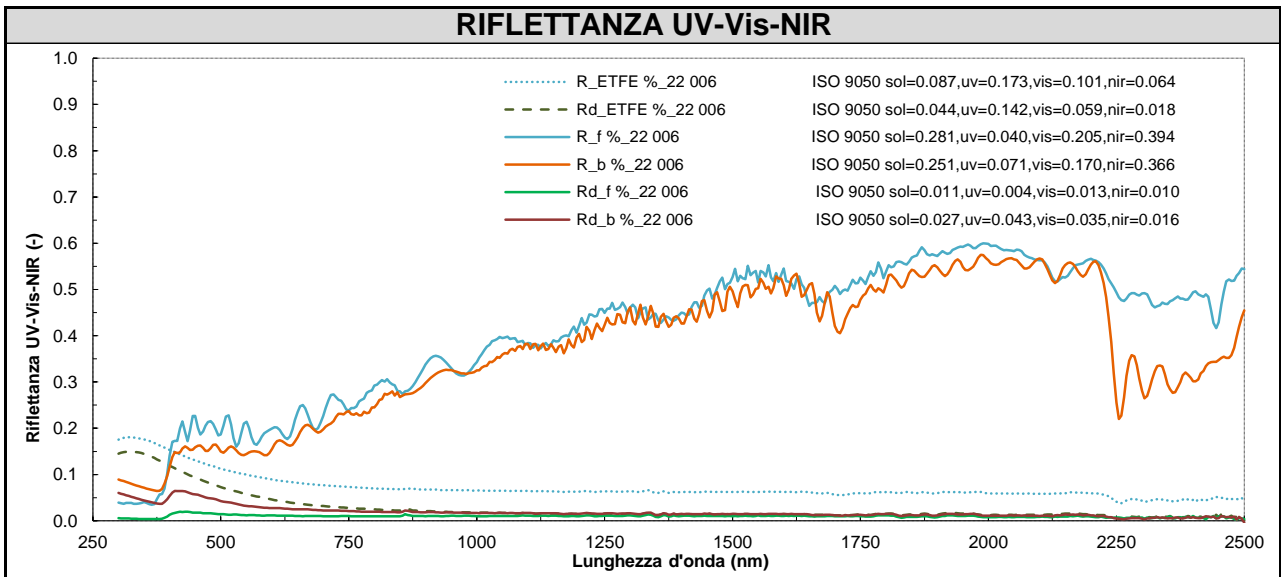
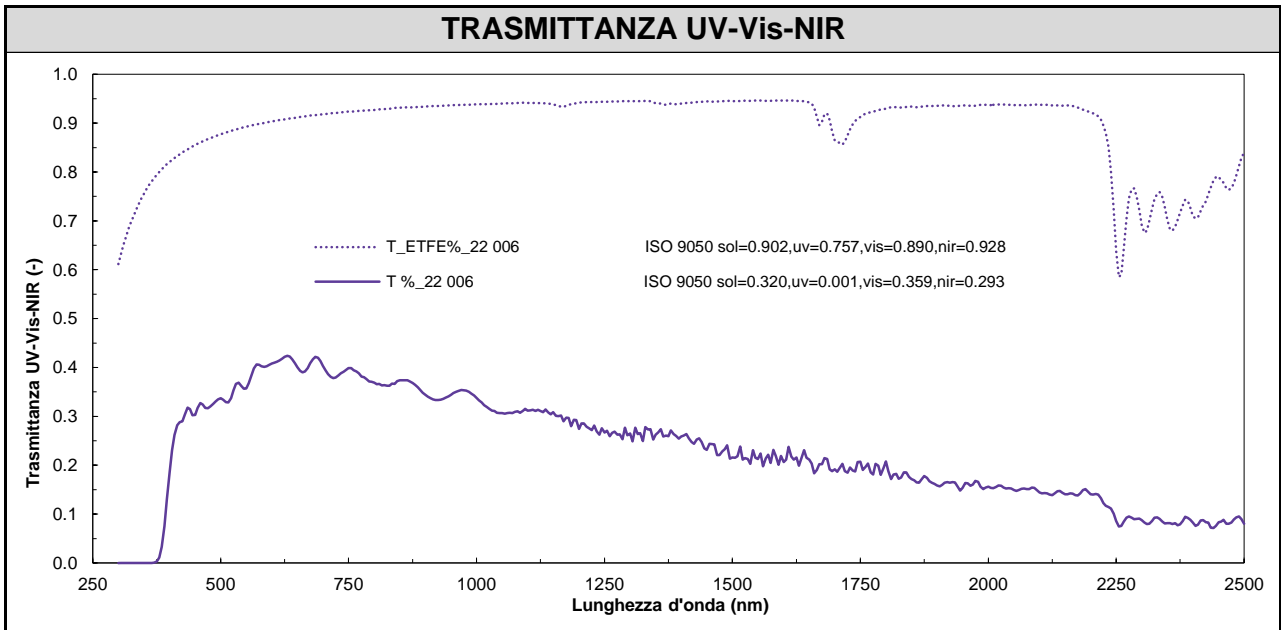
**DESCRIZIONE**  
 Membrana ETFE clear con trattamento corona su un lato, spessore 200 µm + Pellicola antisolare di sicurezza da esterni, spessore 75 µm, sputtered, bronzo fumé.



**PROPRIETÀ INTEGRATE**

Energetiche	$\tau_{e,ETFE}$	$\rho_{e,ETFE}$		$\rho_{e,d,ETFE}$	
		90.2%	8.7%		4.4%
Luminose	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	32.0%	28.1%	25.1%	1.1%	2.7%
Energetiche	$\tau_{v,ETFE}$	$\rho_{v,ETFE}$		$\rho_{v,d,ETFE}$	
	89.3%	9.9%		5.7%	
Luminose	$\tau_v$	$\rho_{v,f}$	$\rho_{v,b}$	$\rho_{v,d,f}$	$\rho_{v,d,b}$
	37.6%	19.2%	15.3%	1.2%	3.3%

Note:



Tessuto

Maglia / Rete metallica

Lamiera metallica

Polimero spalmato

Composito

## Allegato B – Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

**Tiziana Poli**, nata a Milano il 6 Maggio 1968, è laureata in Architettura, ha conseguito il dottorato in Ingegneria dei Sistemi Edilizi è professore associato di Architettura Tecnica presso il Politecnico di Milano. Dal 2003 al 2010 è membro del comitato scientifico del Building Environment Science and Technology Laboratory (BEST Lab) presso il Politecnico di Milano.

Principali attività didattiche e di ricerca:

- La tecnologie e le prestazioni dell' involucro edilizio per edifici a basso fabbisogno energetico (membro di IEA-SHC Task 47 "Renovation of Non-Residential Buildings towards Sustainable Standards);
- Caratterizzazione ottico-energetica delle superfici per l'involucro edilizio;
- Innovazione di prodotti, sistemi e componenti per l'edilizia;
- Mitigazione dell'effetto isola di calore e ricadute delle prestazioni dell'involucro edilizio sul microclima urbano (membro di CIB W108 climate change and built environment);
- Consulente per industrie del settore edile.

**Andrea Giovanni Mainini**, nato a Gallarate (Va) il 17 Giugno 1980. Laureato in Ingegneria Edile nel 2006 ha conseguito nel 2011 il dottorato in Ingegneria dei Sistemi Edilizi presso il Politecnico di Milano. E' assegnista di ricerca post Doc. Principali attività didattiche e di ricerca:

- Efficienza energetica degli edifici, near zero energy buildings e integrazione nell'edificio di impianti che sfruttano risorse rinnovabili;
- Innovazione di prodotti, sistemi e componenti per l'edilizia;
- Caratterizzazione ottico-energetica delle superfici per l'involucro edilizio;
- Tecnologia dell' involucro edilizio: controllo, ottimizzazione ed eliminazione dei ponti termici in edilizia;
- Consulente energetico per differenti aziende del settore delle costruzioni;
- Docente di numerosi corsi di aggiornamento per professionisti e per certificatori energetici.

**Riccardo Paolini**, nato a Milano nel 1980, è laureato in Ingegneria Edile e ha conseguito nel 2011 il dottorato di ricerca in Ingegneria dei Sistemi Edilizi presso il Politecnico di Milano, con una tesi (sviluppata a Milano, al Lawrence Berkeley National Lab e al King's College London) sulla mutua influenza fra superfici urbane e microclima. E' assegnista di ricerca Dal 2009 è affiliato all'Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory. Le sue attività di ricerca riguardano principalmente:

- La caratterizzazione delle proprietà ottico-radiative dei materiali per le costruzioni;
- La modellazione numerica del bilancio energetico urbano;
- Test igrotermici e di durabilità di materiali e componenti edilizi (membro della commissione CIB W080 e supporto all'attività pre-normativa per la commissione ISO TC59 SC14);
- La modellazione numerica del trasporto simultaneo di calore e umidità nei mezzi porosi.

**Alberto Speroni**, nato a Milano (Mi) il 18 Luglio 1988. Laureato in Ingegneria dei Sistemi Edilizi nel 2013 presso il Politecnico di Milano. Ha lavorato come stagista presso l'ufficio di Milano di Arup; dal 2013 è dottorando di ricerca e collaboratore del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano. I principali ambiti di studio e ricerca sono:

- Ottimizzazione e sviluppo di tecnologie e componenti per l'involucro edilizio;
- Analisi energetiche con particolare attenzione per l'involucro edilizio;
- Analisi e ricerca di materiali innovativi per il controllo solare.

**Lorenzo Vercesi**, nato a Milano nel 1988. Laureato in Ingegneria dei Sistemi Edilizi nel 2013 presso il Politecnico di Milano, ha lavorato come stagista per un anno presso Arup nel team di Ingegneria delle Facciate a Milano. Dal 2013 svolge il ruolo di collaboratore di ricerca presso il dipartimento ABC del Politecnico di Milano. Le tematiche di studio e ricerca si concentrano prevalentemente sugli aspetti tecnologici ed energetici dell'involucro edilizio, in particolare:

- Integrazione di materiali avanzati nei dispositivi adattivi di controllo solare;
- Modellazione parametrica per l'ottimizzazione dei componenti di facciata;
- Analisi delle geometrie complesse e discretizzazione razionale delle superfici di facciata.