

LA DURABILITÀ DELLE COPERTURE DISCONTINUE

di Giuseppe Alaimo

1 Introduzione

La ricerca svolta dall'Unità di Palermo dal titolo "Metodologie di progettazione e di valutazione sperimentale della durabilità di coperture discontinue" si inserisce nel quadro più generale della valutazione e del controllo della qualità tecnologica dei prodotti complessi per l'edilizia ed in particolare del requisito di durabilità, fondamentale per il perseguimento della qualità in edilizia (ISO 8402, UNI 10838), in quanto riguarda il mantenimento nel tempo delle prestazioni possedute al momento della entrata in esercizio e le modalità secondo cui esse decadono nel tempo.

Ai fini della ricerca sono risultati fondamentali i contributi normativi in campo internazionale del CIB W80/RILEM 175 (Service Life Methodologies) e ISO TC59-Buildings Construction, con la ISO 15686 *Building and Constructed Assets Service Life Planning*, ed in campo nazionale con la UNI11156 - 2006, "Valutazione della durabilità dei componenti edilizi" da poco approvata.

La metodologia seguita prevede la valutazione, con procedure distinte e complementari, dei due parametri essenziali della durabilità: l'*affidabilità* e la *durata*.

L'*affidabilità* viene stimata attraverso l'analisi funzionale e oggettiva che consente una valutazione qualitativa secondo una procedura comparativa condotta tra gli elementi di un repertorio di soluzioni tecniche della classe, considerati fuori sistema e fuori contesto.

La *durata* viene indagata invece attraverso prove sperimentali su campioni di elementi tecnici esposti agli agenti naturali e a prove di invecchiamento accelerato in laboratorio.

Nel nostro caso come componente edilizio da indagare è stato scelto il pannello sandwich.¹

La fase sperimentale della ricerca su campioni di "pannello sandwich" è stata condotta attraverso i seguenti passi: individuazione dei parametri da monitorare; analisi delle prestazioni iniziali; esposizione in esterno e monitoraggio dei parametri meteorologici del contesto; studio del quadro degli agenti-azioni-effetti; messa a punto del ciclo di invecchiamento accelerato; monitoraggio delle caratteristiche prestazionali dei campioni durante l'invecchiamento (in esterno e in laboratorio); rescaling temporale, elaborazione dei risultati e conclusioni finali sui modelli di previsione del comportamento nel tempo del pannello (vita utile di riferimento).

L'attività sperimentale è stata condotta presso laboratori diversi, cosa che ci ha consentito di fruire anche di apporti interdisciplinari.²

Alla ricerca ha dato un notevole contributo l'ing. Francesco Accurso, dottorando presso il DPCE, che ha scelto quello in oggetto, come argomento della sua tesi di dottorato.

¹ A tale scopo sono stati intrapresi contatti con l'AIPPEG (Associazione Italiana Produttori Pannelli ed Elementi Grecati) che gentilmente ha offerto la propria collaborazione.

² Per questo ringrazio i proff. Andrea Failla, Carlo Giaconia, Giovanni Rizzo, ed i rispettivi laboratori della Facoltà di Ingegneria che hanno contribuito con loro preziosi consigli alla realizzazione di tali esperienze che altrimenti sarebbe stato problematico svolgere.

2 Le coperture discontinue

La copertura si presenta come un sistema costituito da più elementi funzionali, ognuno dei quali contribuisce in modo diverso allo sviluppo dei requisiti tecnologici connotanti e che definisce le prestazioni che essa dovrà fornire (tenuta all'acqua, isolamento termico, resistenza meccanica, etc.).

La configurazione di una copertura discontinua risulta da diversi fattori interdipendenti fra loro, fra cui: fattori funzionali; climatici; contestuali; formali; specifici del manto.

Il pacchetto di elementi funzionali, ciascuno con le proprie caratteristiche fisiche e chimiche e la reciproca collocazione, determina il comportamento della copertura.

2.1 Requisiti delle coperture discontinue

I principali requisiti che riguardano la classe delle coperture discontinue e in particolare le coperture realizzate con elementi metallici (UNI 10372) sono: resistenza meccanica e stabilità, sfasamento e smorzamento, isolamento termico, controllo della condensazione superficiale, isolamento acustico, tenuta all'acqua, resistenza e reazione al fuoco, resistenza agli urti, resistenza al gelo e allo shock termico, resistenza all'irraggiamento solare, resistenza agli agenti biologici, resistenza agli agenti aggressivi atmosferici.

2.2 Il repertorio

È stato costruito un repertorio di 24 soluzioni tecniche (fig. 2.1), che comprende anche soluzioni rappresentative degli usi locali, nonché soluzioni "innovative" per studiarne e confrontarne i caratteri rispetto a quelle "tradizionali".

2.3 La stima dell'affidabilità

Il metodo (Rejna, 1995), inserito nella norma UNI 11156 - 2006, che si basa sull'analisi funzionale e oggettiva dell'elemento, procede attraverso la valutazione, con precisi criteri di giudizio, delle quattro componenti dell'affidabilità (fig. 2.2):

- *affidabilità funzionale* che, mediante l'analisi funzionale, individua la distribuzione delle funzioni all'interno della soluzione, da cui dipende il grado di affaticamento dell'elemento durante il suo funzionamento;
- *affidabilità esecutiva* che, mediante l'analisi oggettiva, verifica il grado di rispondenza esecutiva rispetto alle previsioni di progetto;
- *affidabilità inerente* che riguarda le possibili variazioni dimensionali del componente in fase di esercizio;
- *affidabilità critica* che considera le compatibilità fisico-chimiche tra materiali adiacenti di differente natura costituenti la soluzione tecnica.

2.4 L'affidabilità globale

La propensione all'affidabilità globale (fig. 2.3) esprime in termini qualitativi e comparativi il grado di probabilità che le soluzioni tecniche hanno di durare nel tempo. Tali valori risultano dalla media aritmetica tra i corrispondenti valori di affidabilità delle quattro componenti.

Sulla base della scala dei valori fissata è possibile eseguire per comparazione: la progettazione di una soluzione di data affidabilità, o stimare l'affidabilità di una soluzione data, diversa da quelle a repertorio.

Fig. 2.1 - Coperture Discontinue (CD): repertorio di soluzioni tecniche

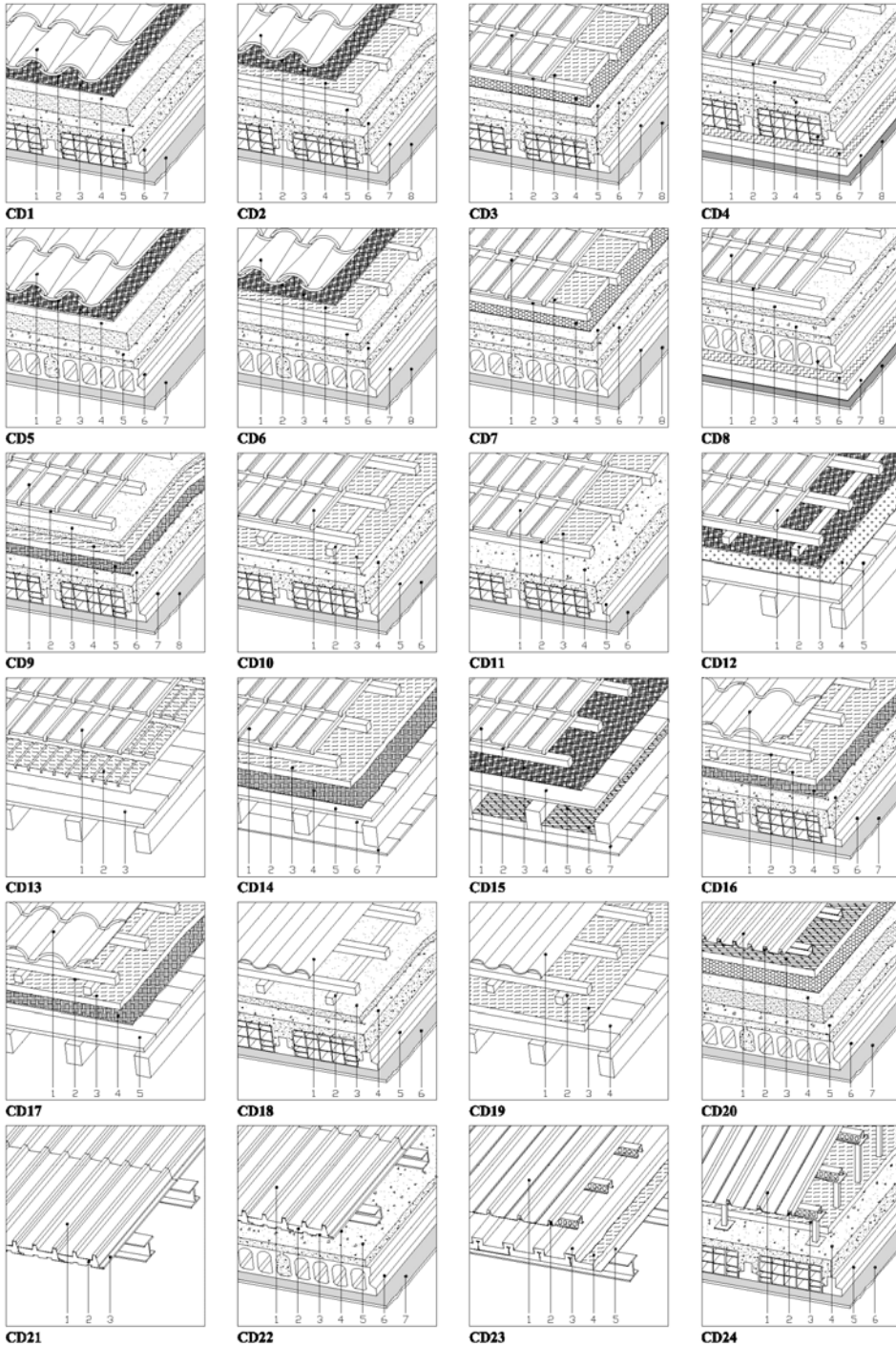


Fig. 2.2 - Schema della metodologia per la valutazione dell'affidabilità

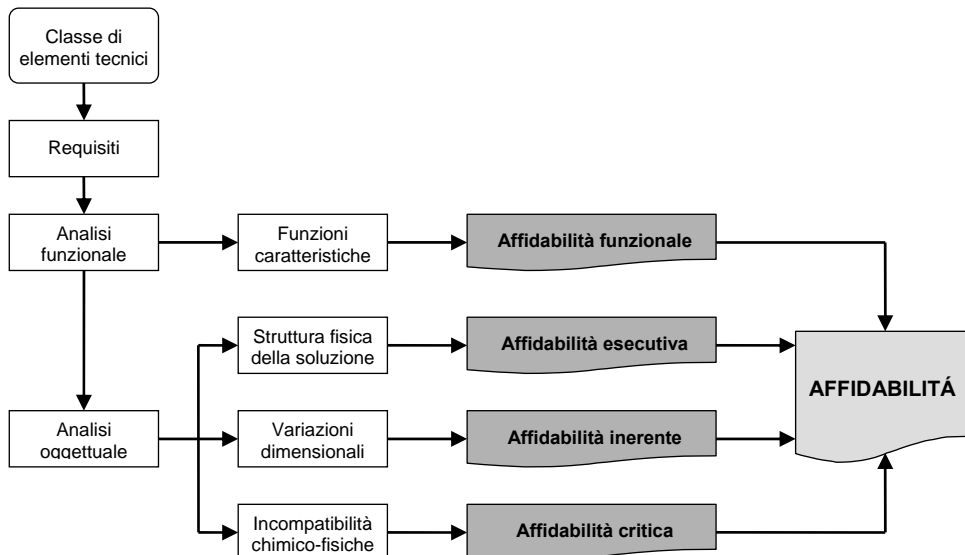
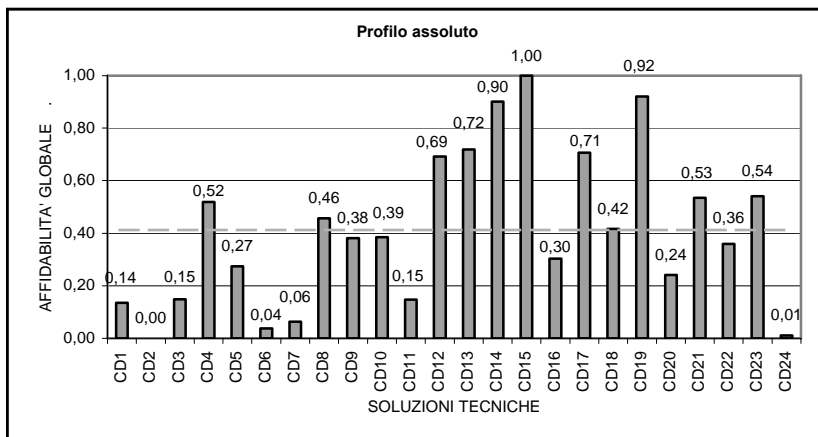


Fig. 2.3 - Propensione all'affidabilità globale del repertorio



3 Il pannello sandwich

Quale componente da indagare sperimentalmente si è scelto il pannello sandwich che costituisce l'elemento di tenuta di alcune soluzioni tecniche del repertorio di cui al punto 2.

3.1 Il Quadro normativo

L'ambito di riferimento normativo per le coperture discontinue e per i pannelli compositi, in Italia, è rappresentato dalla UNI10372:2004.

Per i pannelli compositi con anima di poliuretano espanso e paramenti rigidi vige invece la UNI10386:1998, che oltre a fornire una classificazione dei pannelli, ne indica i principali requisiti e le caratteristiche che il produttore deve garantire.

Più recentemente a livello europeo, allo scopo di ottenere l'acquisizione della marcatura CE, sono state pubblicate:

- le Guide Tecniche EOTA della serie ETAG 016 *Self-supporting Composite Lightweight Panels*, suddivisa in quattro parti e finalizzata all'ottenimento del Benestare Tecnico europeo dei pannelli compositi.
- la norma europea armonizzata EN 14509 *Self supporting double skin metal faced insulating sandwich panels. Factory made products. Specifications*, ad opera del CEN TC 128/SC 11, riguardante in particolare i pannelli isolanti con paramenti metallici (sandwich).

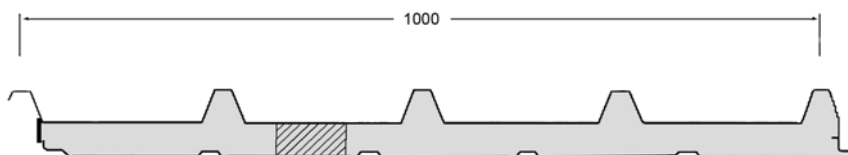
Queste ultime normative forniscono anche indicazioni sui metodi di prova per valutare le caratteristiche del pannello ed in particolare, il requisito di durabilità del pannello.

3.2 La scelta dei campioni

Una delle idee di partenza della ricerca è stata quella di studiare l'influenza che il diverso colore della superficie esterna può avere sul decadimento prestazionale del pannello sandwich e delle sue parti, per effetto dell'invecchiamento.

Lo studio è stato condotto su campioni di misure 100x100, 100x250, 100x1000 mm, tratti da pannelli standard come in fig. 3.1.

Fig. 3.1 - Sezione del pannello intero e punti da cui sono stati tratti i campioni



Il pannello "Tipo" è costituito da una doppia lamiera metallica in acciaio zincato preverniciato e da un'anima isolante in poliuretano espanso (PUR) dello spessore complessivo di 40 mm.

I colori della superficie all'estradosso sono: Bianco Grigio e Rosso Siena.

Tab. 3.1 - Riepilogo delle caratteristiche dei campioni

		Campioni tipo 1 (copertura)	Campioni tipo 2 (parete)
	Colore	Rosso Siena	Bianco Grigio
Lamiera estradosso	Faccia A	Acciaio zincato preverniciato 0,45 mm con rivestimento poliestere da 25 μ	Acciaio zincato preverniciato 0,45 mm con rivestimento poliestere da 25 μ
	Faccia B	Primer da 5 μ	Primer da 5 μ
Isolante		PUR da 40 mm	PUR da 40 mm
	Colore	Bianco Grigio	Bianco Grigio
Lamiera intradosso	Faccia A	Acciaio zincato preverniciato 0,35 mm con rivestimento poliestere da 25 μ	Acciaio zincato preverniciato 0,45 mm con rivestimento poliestere da 25 μ
	Faccia B	Primer da 5 μ	Primer da 5 μ

3.3 Il quadro agenti, azioni, effetti

Premessa metodologica necessaria alla fase sperimentale vera e propria, risulta la definizione del quadro di riferimento degli agenti - azioni - effetti³ e quindi dei corrispondenti degradi che possono insorgere nei componenti in studio sulla base dello specifico contesto climatico.

Ciò costituisce fra l'altro premessa necessaria per la stessa definizione del ciclo di invecchiamento accelerato, per il quale verranno considerati solo gli agenti naturali.

3.4 Le prove e i parametri

Sui campioni (nuovi, invecchiati in esterno e invecchiati in laboratorio) sono state condotte indagini non distruttive e distruttive per monitorare i seguenti parametri e caratteristiche: aspetto; peso; colore; caratteristiche termofisiche (conducibilità e resistenza termica); caratteristiche meccaniche (trazione, taglio e flessione).

4 L'invecchiamento naturale

I campioni di pannello sandwich sono stati esposti in esterno nel mese di marzo 2004, orientati verso Sud ed inclinati di 30° rispetto all'orizzontale (fig. 4.1a).

Prima dell'esposizione i bordi dei campioni sono stati protetti con un'apposita vernice poliuretana.

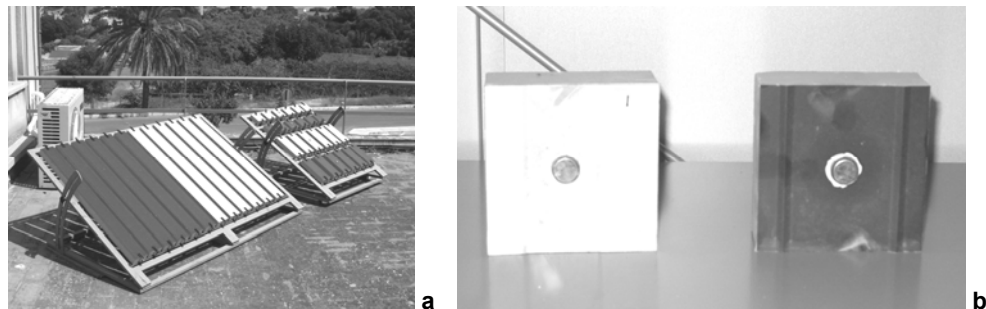
Su alcuni campioni sono stati applicati dei microregistratori programmabili (fig. 4.1b), allo scopo di registrare l'andamento delle temperature superficiali raggiunte (faccia esposta e faccia in ombra) durante l'esposizione.

I dati raccolti, tra marzo 2004 e marzo 2006, hanno consentito di determinare l'andamento reale delle temperature massime, minime e medie raggiunte sulla superficie dei campioni a Palermo nelle diverse stagioni dell'anno.

La definizione delle caratteristiche e dei parametri (tipo, intensità, durata) del contesto climatico costituisce premessa fondamentale per la definizione e la messa a punto del ciclo di invecchiamento accelerato da utilizzare nella camera climatica.

A tal fine sono state individuate le stazioni meteo climatiche più vicine al sito di esposizione dei campioni in esame ed elaborati i dati degli ultimi dieci anni.

Fig. 4.1 - Campioni esposti in esterno e sensori



³ Per le definizioni relative si rinvia al glossario del CIB W86 *Building Pathology*.

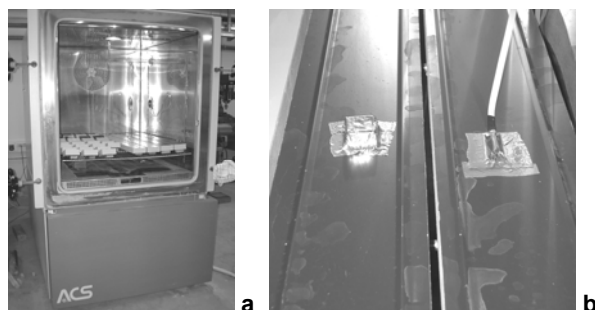
5 L'invecchiamento accelerato

5.1 Il ciclo e la sua calibrazione

Dall'analisi dei dati stagionali e dall'andamento dei diversi parametri climatici, si sono individuate quattro stagioni rappresentative del contesto climatico della città di Palermo. Ed in particolare: una "stagione estiva" (caldo secco); una "stagione autunnale" (pioggia); una "stagione invernale" (freddo); una "stagione primaverile" (caldo umido).

Per ogni stagione sono stati individuati i valori caratteristici dei quattro parametri principali: temperatura, umidità, precipitazioni e radiazione solare.

Fig. 5.1 - Camera climatica e sensori per il rilievo delle temperature superficiali



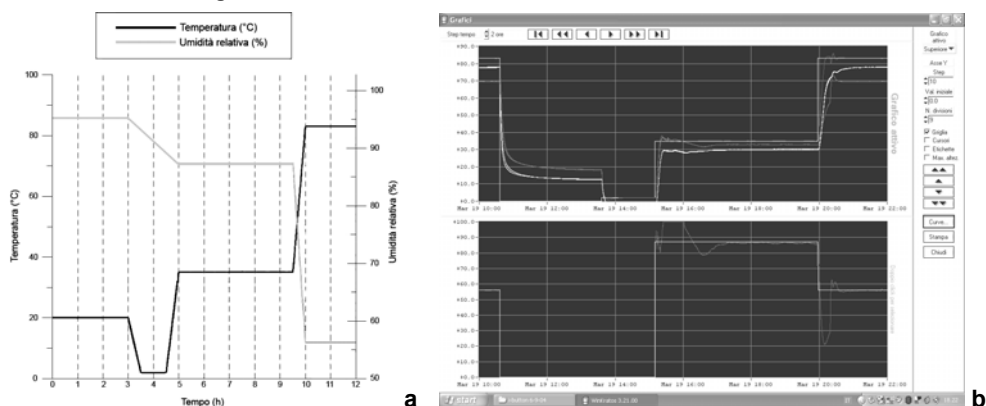
Tab. 5.1 - Ciclo di invecchiamento definitivo

Fase	Parametro		
	ore	T (°C)	RH (%)
Pioggia	3,0	-	-
Freddo	1,5	2	-
Caldo umido	5,0	35	87
Caldo secco	2,5	83	56
Totale	12		

La fase di calibrazione del ciclo è necessaria per validare le ipotesi preliminari e verificare il raggiungimento delle condizioni di sollecitazione volute sui campioni (in superficie, all'interno, nell'interfaccia) nella camera climatica (fig. 5.1).

Alla fine di questa fase, tenuto conto di altri fattori di influenza quali l'inclinazione dei campioni, il colore superficiale, le variazioni di temperatura nell'ultimo decennio e le normative esistenti sullo shock termico, si arriva al seguente definitivo ciclo di invecchiamento accelerato (tab. 5.1, fig. 5.2a).

Fig. 5.2 - Cicli di invecchiamento accelerato: teorico e reale.



La camera climatica simula i principali agenti climatici: pioggia, irraggiamento solare, temperature, umidità, attraverso una unità di controllo che consente di programmare la sequenza desiderata degli agenti, l'intensità e la durata.

Fissata la durata del ciclo di invecchiamento accelerato (12 ore), le durate delle fasi sono risultate di conseguenza. Occorre ricordare che nel ciclo reale, tra una fase e la successiva vi sono dei transitori, in cui temperatura e umidità nella camera prima di raggiungere i valori fissati, impiegano un certo tempo. Tuttavia, per ragioni di opportunità tali transizioni (della durata complessiva di circa 2 h) sono stati compresi nella durata complessiva del ciclo (fig. 5.2b).

6 Prove e risultati

Le prove che come detto si distinguono in non distruttive (aspetto superficiale, peso, colore, proprietà termiche sul campione intero) e distruttive (resistenza a trazione, flessione e taglio, proprietà termiche sulla sezione di PUR), hanno riguardato: i campioni al tempo zero; i campioni invecchiati in esterno a 1 e 2 anni; i campioni invecchiati artificialmente dopo 30, 60 e 120 cicli corrispondenti a 360, 720 e 1440 ore di invecchiamento accelerato.

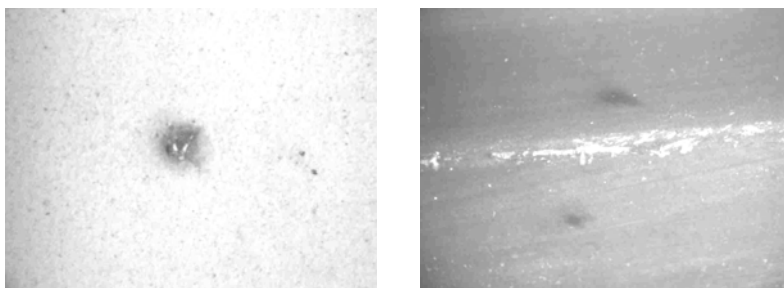
Al termine di ogni fase di invecchiamento sono state eseguite sui campioni indagini rivolte a valutare le variazioni subite da caratteristiche e parametri, rispetto al tempo zero.

Per ogni prova sono stati testati un numero minimo di tre campioni.

6.1 Aspetto superficiale

L'analisi dell'aspetto non mostra sostanziali differenze tra i campioni invecchiati in esterno a 24 mesi e quelli invecchiati in laboratorio fino a 60 cicli. Si sono sviluppate prevalentemente macchie e ossidazioni puntuali superficiali (fig. 6.1).

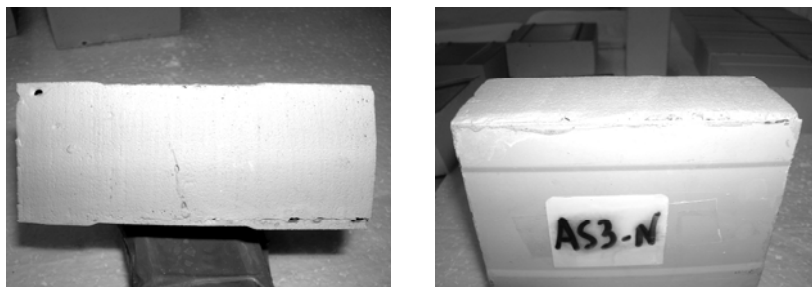
Fig 6.1 - Piccole anomalie al microscopio



Dopo 120 cicli i campioni anche per le loro limitate dimensioni, hanno mostrato deformazioni della forma: aumento dello spessore di 1-2 mm e distacchi tra lamiera e PUR lungo i bordi che come previsto costituiscono punti critici dove si sono innescati tali degradi malgrado la vernice protettiva (fig. 6.2).

Dal confronto tra gli effetti riscontrati si può ipotizzare una corrispondenza temporale tra i 60 cicli di invecchiamento accelerato e i 24 mesi di esposizione in esterno.

Fig 6.2 - Distacco tra PUR e lamiera



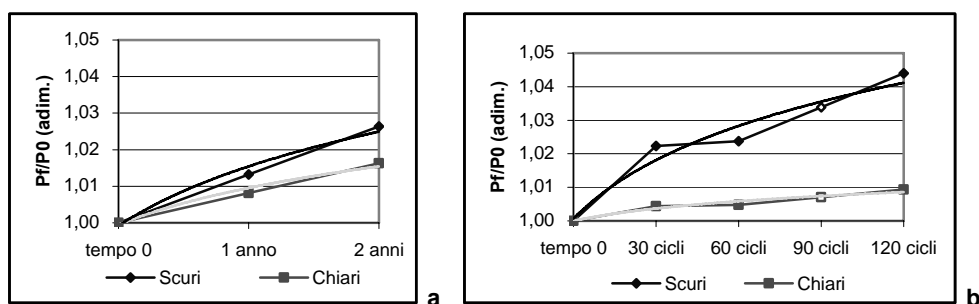
6.2 Peso

I pannelli sandwich nel loro complesso si possono considerare impermeabili. Tuttavia il vapore e con esso l'acqua può migrare all'interno dello strato isolante in poliuretano provocando delle variazioni dimensionali che influenzano la forma, il peso e le stesse prestazioni del componente.

Dal confronto dei risultati tra invecchiamento naturale (fig. 6.3a) e invecchiamento accelerato (fig. 6.3b) emerge una significativa analogia sia qualitativa che quantitativa fra le variazioni di peso dei campioni, molto contenute e maggiore per i campioni scuri.

Anche sotto tale aspetto l'effetto dei primi due anni di invecchiamento in esterno risulta del tutto confrontabile con quello prodotto dai primi 60 cicli di invecchiamento in camera climatica.

Fig. 6.3 - Variazione del peso dei campioni invecchiati in esterno e in laboratorio



6.3 Colore

Va ricordato che gli effetti delle diverse azioni sul pannello e sulle sue parti dipendono dalle caratteristiche di finitura del pannello (vernice), che nel nostro caso sono del tipo standard per ambiente normale privo di sostanze chimiche aggressive.

I risultati dell'invecchiamento naturale mostrano una variazione di colore più accentuata per i campioni chiari (3 unità CIELAB) rispetto a quelli scuri (1 unità).

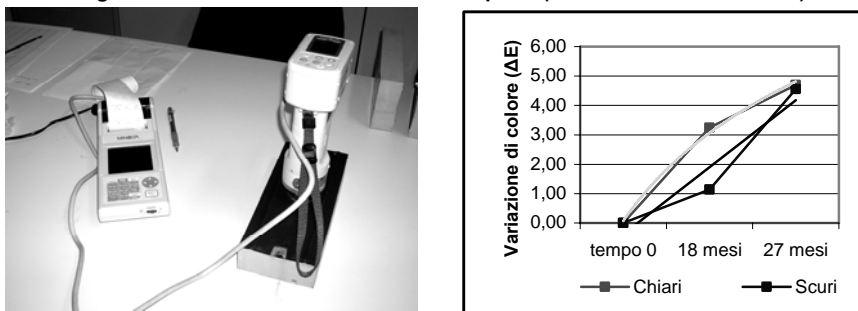
Dopo 27 mesi tale tendenza permane pur rimanendo la variazione ΔE^* per

entrambi i tipi di pannello al di sotto delle 5 unità,⁴ con un progressivo ingiallimento dei campioni chiari.

I due tipi di vernice di finitura dal punto di vista della variazione di colore si comportano in modo del tutto diverso.

L'aspetto della variazione del colore rispetto a quello originario, dato il frequente uso dei pannelli per strati esterni di involucri (coperture e/o pareti), non è un aspetto da trascurare poiché connota la qualità dell'intero involucro. Il mantenimento del colore di progetto nel tempo è un aspetto che merita un peso adeguato tra i parametri da tenere sotto controllo e una più chiara normativa in tal senso sicuramente servirebbe a dare un contributo ulteriore ed importante alla qualità del prodotto.

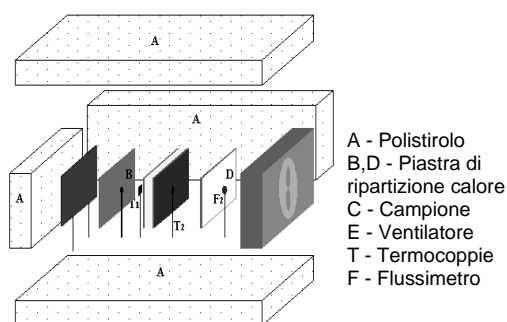
Fig. 6.4 - La variazione di colore nei campioni (invecchiamento naturale)



6.4 Caratteristiche termo-fisiche

La procedura usata è quella per la misura della conducibilità termica di materiali edilizi in stato stazionario, secondo la norma UNI/CTI 7745 "Determinazione della conduttività termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia".

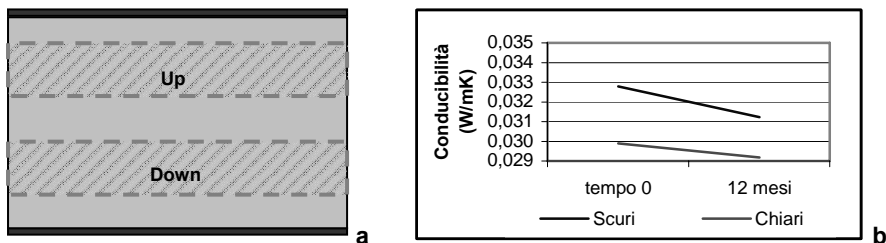
Fig. 6.5 - Apparecchiature di prova



⁴ La norma ASTM D-2244 prevede che dopo 5 anni di esposizione in esterno la variazione di colore sia inferiore a 5 unità Cielab; mentre i produttori di preverniciati garantiscono dopo 10 anni in atmosfera normale una variazione inferiore a 8 unità Cielab.

Le misure sono state condotte sia sul campione di pannello intero che sul solo poliuretano (utilizzando dal cuore di ogni campione due sezioni dello spessore di 10 mm) (fig. 6.6a), al fine di valutare le influenze degli elementi metallici esterni e delle interfacce col poliuretano.

Fig. 6.6. Sezioni di PUR e variazione della conducibilità (invecchiamento naturale)

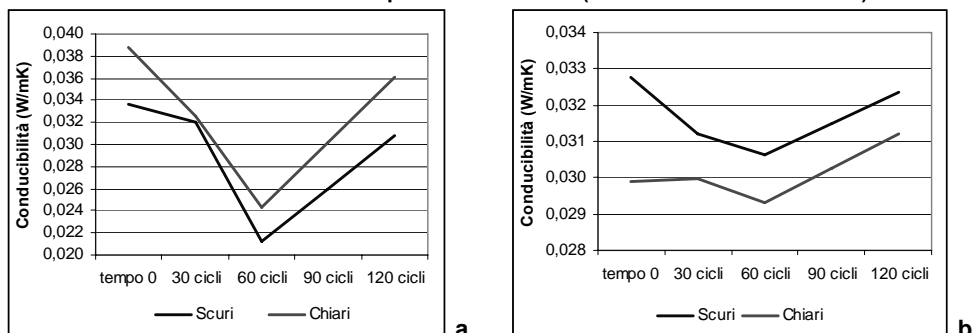


Fino a 24 mesi di esposizione in esterno la conducibilità dei campioni è rimasta sostanzialmente costante, sia nei campioni interi che nelle sezioni di PUR.

In generale la conducibilità dei campioni interi risulta maggiore di quella delle sezioni in PUR, per la minore resistenza di contatto dovuta alle lamiere di rivestimento incollate al PUR.

Le prossime prove verranno condotte a tre anni di esposizione naturale.

Fig. 6.7 - Variazione della conducibilità nei campioni interi e nelle sezioni di PUR da campioni chiari e scuri (invecchiamento accelerato)



Vi è sostanziale costanza tra le misure sui campioni "Up" con quelle sui campioni "Down".

I risultati delle prove in camera climatica mostrano un comportamento analogo dal punto di vista qualitativo fra i campioni interi (fig. 6.7a) e le sezioni di PUR (fig. 6.7b) sia per i campioni Bianco Grigio che per quelli Rosso Siena.

Anche in questo tipo di prove dopo i 60 cicli si osserva una inversione di tendenza con una sostanziale costanza della conducibilità sia nel primo anno di invecchiamento naturale, che nei primi 30 cicli di invecchiamento accelerato.

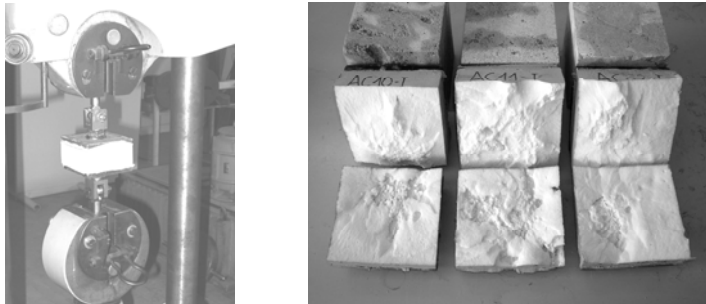
6.5 Resistenza meccanica

Prova di trazione

La prova tendente a valutare la resistenza a trazione della schiuma poliuretanicca e la sua adesione al supporto metallico (ETAG 016-1, UNI EN 1607, EN 14509)

mostra un miglioramento della resistenza a trazione fino a 60 cicli, successivamente tale tendenza si inverte all'aumentare del numero di cicli (fig. 6.7a).

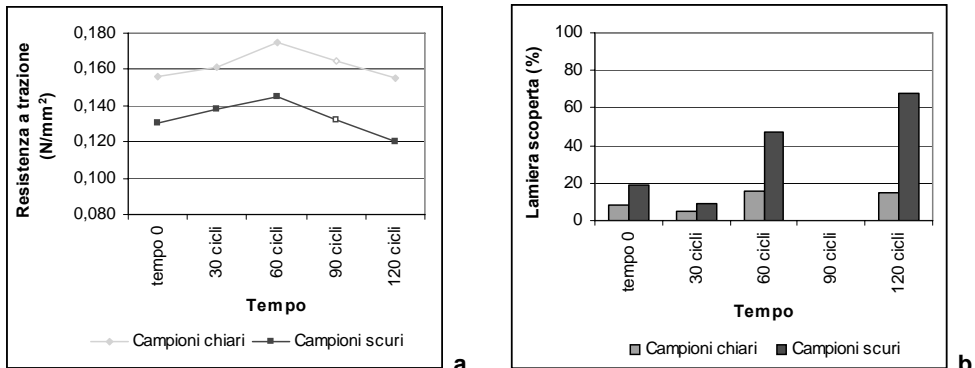
Fig. 6.8 - Prova di trazione e rottura del pannello (PUR)



Ci sembra interessante evidenziare la relazione riscontrata fra la resistenza a trazione, la percentuale di lamiera scoperta e la durata dell'invecchiamento. L'invecchiamento provoca infatti un aumento della percentuale di lamiera che rimane scoperta alla rottura, effetto più accentuato nei campioni scuri (fig. 6.7b).

Dal confronto tra gli effetti dei due tipi di invecchiamento, anche in questo tipo di prove si può rilevare una corrispondenza tra gli effetti a 60 cicli e quelli a 2 anni di esposizione naturale.

Fig. 6.9 - Prove di trazione e lamiera scoperta nella rottura a trazione (invecchiamento accelerato)



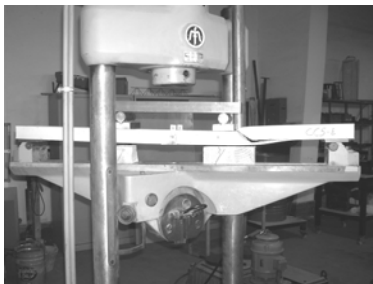
Prova di flessione su quattro punti

La prova (EN 14509), condotta su campioni di dimensioni 1000x100 mm con incrementi del carico di 100 N, ha portato alla costruzione della curva carichi-spostamenti e alla determinazione della tensione ultima di taglio e del modulo di taglio della schiuma.

Si è potuta osservare, fin qui, una leggera diminuzione nel tempo della resistenza a taglio del pannello, infatti, la tensione ultima di taglio diminuisce sia dopo circa 30 mesi di invecchiamento naturale che dopo 120 cicli di invecchiamento accelerato.

L'altro parametro osservato, il modulo di taglio della schiuma, rimane pressoché costante dopo i primi 30 mesi di esposizione in esterno, mentre aumenta dopo 120 cicli di invecchiamento accelerato. Ciò può essere dovuto ad un infragilimento della struttura del poliuretano che, nel campo della deformazione elastica, produce una minore flessibilità dei campioni.

Fig. 6.10 - Rottura a flessione del pannello



7 Conclusioni e sviluppi futuri

I risultati seppur parziali, consentono di esprimere alcune considerazioni sul comportamento nel tempo dei campioni di pannello sandwich indagati. In particolare, si è osservato che dopo due anni di esposizione in esterno le caratteristiche del rivestimento esterno (lamiera metallica preverniciata) e dello strato isolante in poliuretano non si discostano molto da quelle che il componente presentava in origine.

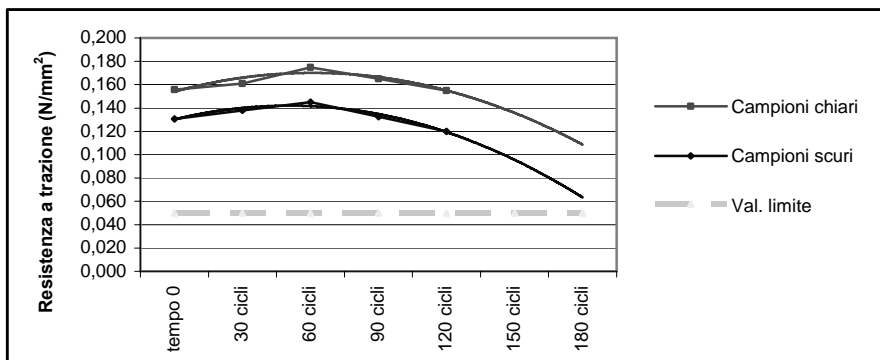
Si è osservato un comportamento analogo, dal punto di vista qualitativo, tra la resistenza a trazione e la conducibilità termica, e cioè un decremento della caratteristica fino a 60 cicli ed una successiva inversione di tendenza col passare dei cicli.

Comportamento che in qualche modo potrebbe essere collegato alle variazioni di peso e alla ginnastica dimensionale degli elementi costituenti il pannello (lamiera e isolante) favoriti da fenomeni di diffusione e assorbimento del vapore nella struttura cellulare dell'espanso. A tale proposito le prime misurazioni effettuate su campioni invecchiati in modo accelerato indicano una tendenza all'aumento della resistenza al passaggio di vapor d'acqua dopo i primi 30 cicli.

Il colore, che merita una maggiore attenzione dal punto di vista normativo, è la caratteristica che ha subito le variazioni maggiori tra quelle osservate. I campioni di colore chiaro presentano variazioni di colore (ΔE) maggiori rispetto a quelli scuri sia con l'invecchiamento naturale che con quello accelerato, tuttavia il comportamento nei due tipi di campione appare differente. Su quelli chiari si ha un andamento crescente di ΔE con l'invecchiamento, mentre in quelli scuri la variazione massima si ha dopo 30 cicli e successivamente tale valore diminuisce.

Per quanto riguarda la fine della vita utile del componente, secondo la EN 14509, è raggiunta quando il valore di resistenza a trazione è minore di $0,050 \text{ N/mm}^2$, così come si osserva dall'estrapolazione del diagramma di fig. 7.1.

Fig. 7.1 - Andamento delle caratteristiche di resistenza dei campioni



Sarà utile inoltre continuare a monitorare l'andamento della conducibilità dei campioni esposti in esterno per assumere nuovi elementi sul ruolo dell'interfaccia lamiera-isolante e sulla variabilità delle proprietà isolanti. Lo studio potrebbe mettere a fuoco proprietà del polimero invecchiato e del gas contenuto all'interno delle celle per sostenere una spiegazione al miglioramento delle caratteristiche (resistenza a trazione, conducibilità) misurate nella fase iniziale di invecchiamento del pannello.

8 Bibliografia

- 1) Alaimo G., Accurso F., *Il degrado delle coperture con pannelli sandwich nel contesto climatico di Palermo*, Convegno Internazionale "Involucri quali messaggi di architettura", Napoli, 2003.
- 2) Alaimo G., *L'affidabilità funzionale delle coperture discontinue*, EdiTecnica, Palermo, 2004.
- 3) Alaimo G., Accurso F., *The durability evaluation for sandwich panels: first experimental results*, 10th DBMC International Conference on "Durability of Building Materials and Components", Lyon, 2005.
- 4) Alaimo G., Accurso F., *La stima dell'affidabilità delle coperture discontinue*, EdiTecnica, Palermo, 2006.
- 5) Alaimo G. (a cura di), *Valutazione sperimentale della durabilità di coperture discontinue. Un'applicazione al pannello sandwich*. EdiTecnica, Palermo, 2006.
- 6) Maggi P.N. (a cura di), *La qualità tecnologica dei componenti edilizi - La durabilità*, Epitesto, Bologna, 2000.
- 7) Maggi P.N. (a cura di), *La qualità tecnologica dei componenti edilizi - La valutazione della durabilità*, Epitesto, Bologna, 2001.
- 8) Rejna M., *Valutazione della qualità tecnologica utile dei prodotti complessi per l'edilizia*, Quaderni DISET vol. 4, Società Editrice Esculapio, Bologna, 1995.