



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Edile Architettura

Dipartimento di Building Environment Science and Technology BEST

LA DURABILITA' DEI MATERIALI E DEI COMPONENTI

Prof. BRUNO DANIOTTI

- Professore Associato nel settore Scientifico Disciplinare di "Produzione Edilizia".
- Coordinatore di gruppi internazionali presso l'EOTA (European Organization for Technical Approval);
- Coordinatore del gruppo di lavoro: CIB W80/RILEM TC 175 "SLM Service Life Methodologies";
- Delegato ai programmi Internazionali per la Facoltà di Ingegneria Edile Architettura
- Coordinatore il gruppo di lavoro UNI su "Valutazione di durabilità dei componenti edilizi"
- Membro dei gruppi di lavoro internazionali sulle metodologie di valutazione di durabilità:
- ISO TC 59 SC14 "Building Construction. Design life
- Responsabile del laboratorio Durabilità del Dipartimento BEST del Politecnico di Milano.
- Responsabile della Linea di Ricerca "Valutazione della qualità tecnologica"
- Docente per la Facoltà di Ingegneria Edile- Architettura del Politecnico di Milano nei corsi:
 - "Durabilità' e manutenzione" per la Laurea Magisrale in Ingegneria Edile,
 - "Durabilità' e analisi del degrado" per la Laurea in Gestione del Costruito.
 - Building durability and maintenance per il Master of Science in Building Engineering

1

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 1

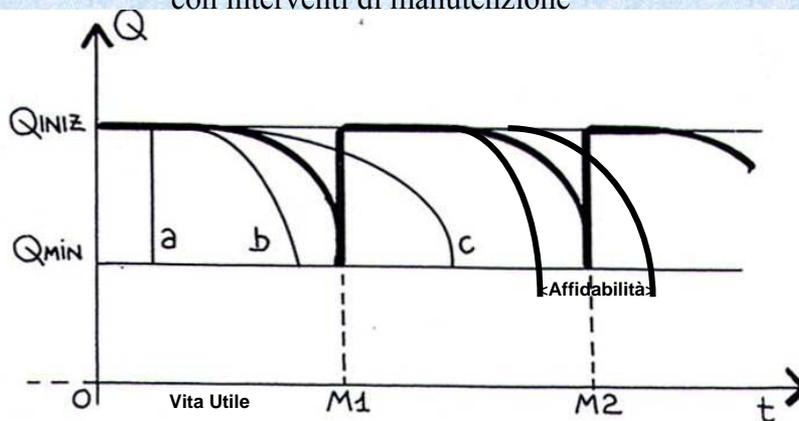
DURABILITA'

- Lo stato dell'arte internazionale e nazionale
- I parametri per la valutazione della durabilità: Vita Utile e Affidabilità
- La previsione della Vita Utile e della propensione all'affidabilità
- La valutazione sperimentale della Vita Utile di Riferimento
- La certificazione di durabilità
- Il rilievo in opera del decadimento prestazionale
- La valutazione della durabilità per la programmazione della manutenzione e la valutazione di sostenibilità

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 2

Durabilità e ciclo di vita dei componenti edilizi

Andamento temporale della qualità nel ciclo di vita di un componente con interventi di manutenzione



M1/M2 scadenze programmate per gli interventi di manutenzione in cui si riporta il livello di qualità dell'elemento, ai valori iniziali

[a] Guasto accidentale del ciclo programmato.

[b] Durata dell'elemento tecnico minore di quella prevista dal programma di manutenzione.

[c] Durata dell'elemento tecnico maggiore di quella prevista dal programma di manutenzione.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 3

DURABILITA': definizioni

• **Durabilità**

- La capacità da parte di opere, prodotti e materiali di mantenere nel tempo, entro limiti accettabili per le esigenze di servizio, i valori dei livelli prestazionali e delle caratteristiche funzionali

Parametri di valutazione della durabilità:

• **Durata o Vita utile (Service life)**

- Periodo di tempo dopo l'installazione durante il quale l'edificio o le sue parti mantengono livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione.

• **Affidabilità**

- L'affidabilità di un elemento tecnico (o di un sistema di elementi) si intende la probabilità che il sistema o l'elemento funzioni senza guastarsi ad un livello predisposto, per un certo tempo t e in predeterminate condizioni ambientali.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 4

GUASTO: La cessazione dell'attitudine di un'entità ad eseguire la funzione richiesta

(ref.: UNI EN 13306.2003. Manutenzione. Terminologia.)

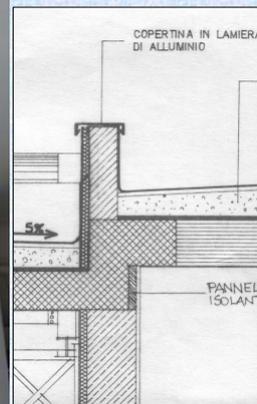
DEGRADO: Progressivo deterioramento dell'integrità fisica (alterazione) ovvero della efficienza prestazionale (decadimento prestazionale) di un oggetto edilizio.

- Guasto Durabilistico (per invecchiamento): guasto causato dai normali fenomeni di degrado dovuti all'invecchiamento ovvero all'azione degli agenti e legato al raggiungimento della fine prevedibile di vita utile.
- Guasto Patologico: Guasto causato da difetti dovuti ad errori di progettazione, esecuzione o gestione, anticipato rispetto alla fine prevedibile di vita utile.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 5

Esempio di degrado visibile: **Muffe all'interfaccia tra parete esterna e chiusura superiore**

Cause: **Ponte termico tra parete esterna e copertura**



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 6

Affidabilità

- L'affidabilità A_i all'istante t_i risulta:

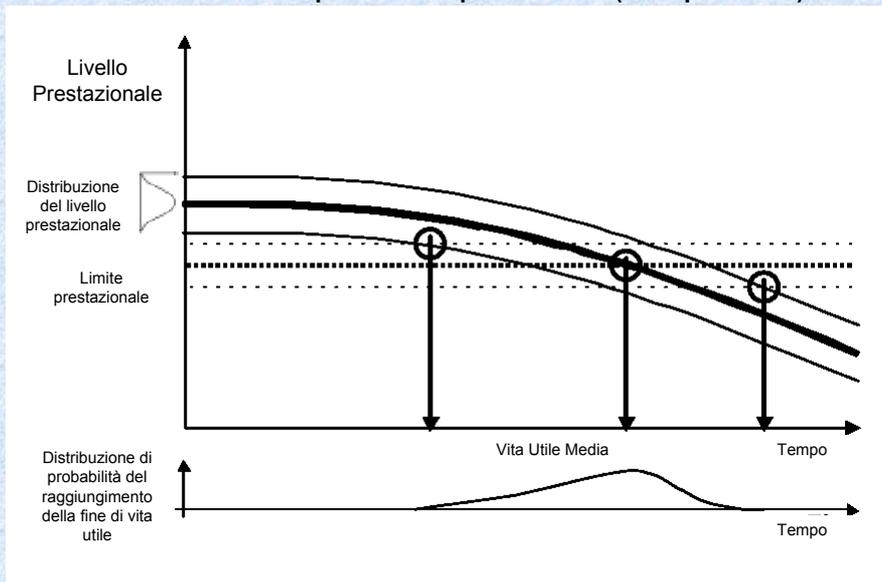
$$A_i = 1 - F_i$$

- F_i è la **probabilità che si verifichi un guasto** fra i tempi t_0 e t_i compreso, di un campione di N elementi omogenei fra loro e operanti nelle stesse condizioni data dal rapporto:

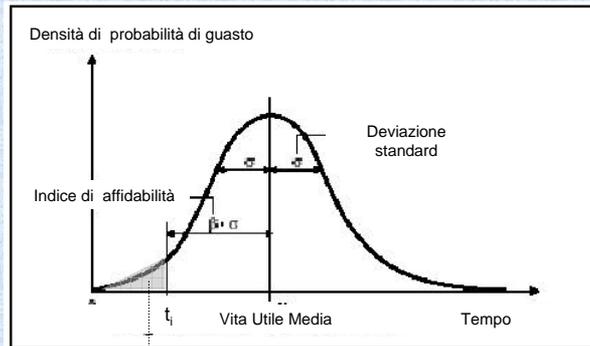
$$F_i = \frac{n_i}{N}$$

dove n_i è il numero di elementi del campione che hanno subito un guasto fino all'istante t_i compreso.

Andamento nel tempo dei livelli prestazionali (esemplificativo)



Densità di probabilità relativa alla Vita Utile



L'area sottesa dalla curva (integrale) fino al tempo t_i rappresenta la probabilità che non venga raggiunto il valore t_i , e viene chiamata probabilità di guasto

$f(t)$	è la funzione densità di probabilità
$F(t) = \int_0^t f(t)dt$	è la funzione di distribuzione cumulativa (probabilità di guasto fino al tempo t)
$R(t) = 1 - F(t)$	è l'affidabilità ovvero la probabilità di non guastarsi
$S.L. = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt$	è la Vita Utile Media (M.S.L. Mean Service Life)

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 9

Valutazione della propensione all'affidabilità del componente edilizio

Affidabilità esecutiva A_E

Grado di prevedibile rispondenza dell'esecuzione del componente alle intenzionalità di progetto. E' un indice dell' imprecisione prevedibile nella messa in opera del componente.

Affidabilità inerente A_I

Grado di non uniformità di variazioni dimensionali tra gli elementi funzionali del componente durante il suo esercizio a fronte del contesto sollecitante. E' un indice di perdita di integrità funzionale del componente in esercizio.

Affidabilità critica A_C

Grado di incompatibilità chimico-fisica che caratterizza i diversi materiali che costituiscono gli elementi funzionali di un componente. E' un indice di rischio di precoce perdita di integrità strutturale del componente

Affidabilità funzionale A_F

Grado di equilibrio nella distribuzione delle funzioni analitiche negli elementi funzionali del componente valutabile attraverso l' esame del modello funzionale del componente. E' indice di affaticamento cui il componente si troverà ad essere soggetto nella sua fase di esercizio.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 10

Stato dell'Arte

- 1987 – CIB W80 RILEM 71 PSL “Prediction of service life of building materials and components” Convegni Internazionali CIB DBMC (Lione 2005) www.cibworld.nl
- 1999 – ISO TC59 SC14: 15686 “Service life planning” www.iso.ch
- 1999 – CE Guidance paper F “Durabilità e la Direttiva sui prodotti per la costruzione” www.cenorm.be ETAG Pannelli www.eota.be
- 2001 Seminario Internazionale: “La qualità tecnologica dei componenti edilizi. La valutazione della durabilità.”Milano
- 2002 - UNI “Valutazione della durabilità dei componenti edilizi”
- 2002 - CEN/CSN Task Force on Durability to establish guides on the inclusion of durability requirements in products standards. revisione Guidance paper F.
- 2003 International Workshop Politecnico di Milano CIB “Management of durability in the building process”. Milano
- 2003/4 Master in Gestione della durabilità e della manutenzione nel processo edilizio. Politecnico di Milano
- 2004/5 Ricerca Nazionale MURST “Metodologie applicate alla valutazione sperimentale della durabilità’ dei componenti edilizi”
- 2006 Convegno Internazionale “la valutazione della durabilità dei componenti edilizi Palermo Editecnica
- 2011 12 DBMC Durability of building materials and components Porto (Portogallo)

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 11

CIB W080: Prediction of Service Life of Building Materials and Components

Work Programme 2011-2013

- WG 1: Service Life Prediction methods
 - B. Daniotti, Italy
- WG 2: Service life data collection
 - J. Hans, France
- WG 3: Service Life for Sustainability
 - W. Trinius, Germany

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 12

Programma di Ricerca Nazionale MIUR 2004/2005
Coordinato dal Politecnico di Milano
Collana “La valutazione della durabilità dei componenti edilizi”
Editecnica Palermo. 15 settembre 2006

METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE E VALUTAZIONE DELLA DURABILITA' DI COMPONENTI EDILIZI :
VALUTAZIONE SPERIMENTALE DI DURATA DEI COMPONENTI EDILIZI IN CONDIZIONI DI RIFERIMENTO

Pareti perimetrali verticali non portanti. - Politecnico di Milano

Pareti perimetrali verticali portanti. - Università di Brescia

Infissi esterni verticali. - Politecnico di Torino

Coperture continue - Università di Napoli

Coperture discontinue - Università di Palermo

Componenti specifici per l'area Mediterranea - Università di Catania

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 13

Riferimenti normativi

Normativa internazionale

- ISO 15686 Buildings and constructed assets -- Service life planning
- CE Guidance paper F “Durabilità e la Direttiva sui prodotti per la costruzione”

Normativa nazionale

- UNI 11156: 2005 Valutazione della durabilità dei componenti edilizi.
 - Parte 1. Terminologia e definizione dei parametri di valutazione.
 - Parte 2. Il metodo di valutazione della propensione all'affidabilità.
 - Parte 3. Il metodo di valutazione della durata (vita utile)

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 14

ISO 15686 “Buildings and constructed assets. Service life planning”.

Divisa in 9 parti:

1. **General principles. 2000**
 - Principi generali per la programmazione della vita utile di edifici e componenti
2. **Service life prediction procedures. 2001**
 - Metodi per la determinazione della vita utile.
3. **Performance audits and reviews. 2002.**
 - Metodi per il controllo della durabilità nel processo edilizio.
4. **Description of the data required in estimating service life. (progetto di norma)**
 - Specificazione tecnica che descrive i dati necessari per le stime di Durata dei componenti e degli edifici.
5. **Maintenance and life cycle costing (progetto di norma)**
 - Guida all'analisi dei costi del ciclo di vita e della manutenzione
6. **Guidelines for considering environmental impacts. 2004**
 - Guida sulla considerazione degli impatti ambientali nella programmazione della vita utile.
7. **Performance Evaluation for feedback of service life data from practise. (progetto di norma)**
 - Base per la raccolta di dati di durabilità da edifici esistenti.
8. **Reference service life and service life estimation. (progetto di norma)**
 - Guida alla fornitura e raccolta di dati di Durata di riferimento (RSL)
9. **Guide on the inclusion of requirements of service life assessment and service life declaration in product standards. (progetto di norma)**
 - Guida per i normatori su come considerare le valutazioni di durabilità nelle normative di prodotto.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 15

Direttiva Prodotti della Costruzione

I Requisiti Essenziali

- I prodotti devono essere idonei alla realizzazione di opere pronte all'uso, nell'integrità e nelle relative parti, tenendo conto dell'aspetto economico, e a tal fine devono soddisfare i seguenti requisiti essenziali, laddove, siano stabiliti.
- **Detti requisiti devono, fatta salva la normale manutenzione, essere soddisfatti per un periodo di tempo economicamente adeguato.**
- I requisiti come norma presuppongono azioni prevedibili.
 - Resistenza meccanica e stabilità
 - Sicurezza in caso di incendio
 - Igiene, salute e ambiente
 - Sicurezza nell'impiego
 - Protezione contro il rumore
 - Risparmio energetico e ritenzione di calore

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 16

La Working Life :La Direttiva Prodotti per la Costruzione

Ref.: CE Guidance paper F "Durabilità e la Direttiva sui prodotti per la costruzione"

•La Working Life del prodotto è intesa come il periodo di tempo durante il quale le prestazioni del prodotto stesso sono mantenute ad un livello tale da consentire alle opere, correttamente progettate ed eseguite, di soddisfare i sei Requisiti Essenziali della Direttiva.

•La Working Life dipende dalla durabilità spontanea dei prodotti sottoposti agli agenti, e dalla manutenzione normale (ordinaria), escludendo le operazioni di riparazione straordinaria.

Durata prevista per l'edificio		Working life dei prodotti della costruzione (anni) Categorie		
Classe	Durata (anni)	Facilmente riparabile o sostituibile	Riparabile o sostituibile meno facilmente	Durata dell'opera
Breve	10	10	10	10
Media	25	10	25	25
Normale	50	10	25	50
Lunga	100	10	25	100

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 17

UNI 11156 La durabilità dei componenti edilizi. p. 3 "METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA DURATA (VITA UTILE)"

1. Metodologia per la determinazione sperimentale della vita utile di riferimento di un elemento tecnico
2. Metodi per la stima della vita utile in condizioni di progetto
 - Metodo fattoriale
 - Metodi ingegneristici
 - Metodi statistici (probabilistici)

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 18

Il Metodo Fattoriale per la stima della vita utile in condizioni di progetto

$$ESL = RSL * A * B * C * D * E * F * G$$

ESL : Vita utile stimata (Estimated Service Life)

RSL: Vita utile di riferimento (Reference service life)

FATTORI			CONDIZIONI RILEVANTI
Fattori legati alla qualità intrinseca del componente	A	Qualità del componente	Fabbricazione, stoccaggio, trasporto, ...
	B	Qualità di progettazione	Protezioni da altre parti dell'edificio, ...
	C	Qualità di esecuzione	Qualità della manodopera, condizioni climatiche durante l'installazione, ...
Ambiente	D	Ambiente interno	Aggressività dell'ambiente, ventilazione, condensazione, ...
	E	Ambiente esterno	Altezza dell'edificio, micro-ambiente, ...
Utilizzo	F	Condizioni d'uso	Impatti meccanici, tipologia di utenza, ...
	G	Livello di manutenzione	Qualità e frequenza della manutenzione, accessibilità, ...

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 19

Il Metodo Fattoriale: SERRAMENTO IN LEGNO TENERO

FATTORI		Aspetti da considerare	Condizioni d'utilizzo			
			Scarse	Normali	Buone	
Fattori legati alla qualità intrinseca del componente	A	Qualità del componente	Tipo e qualità dei materiali Legno di alburo, guarnizioni e dettagli non di qualità.	Legno di alburo, guarnizioni e dettagli di qualità.	Legno di durame (midollo) durevole, guarnizioni e dettagli di qualità.	
		Aspetti specifici relativi alla durabilità: es. sistemi di protezione.	Specie miste o non permeabili, impregnate o solo immerse.	Specie miste impregnate a pressione con solventi organici secondo un programma appropriato. Alcune lavorazioni (taglio e levigatura) dopo il trattamento preservante.	Specie permeabili impregnate a doppio vuoto. Nessuna lavorazione (taglio e levigatura) dopo il trattamento preservante.	
	B	Qualità di progettazione	Dettagli costruttivi; giunti, fissaggi	Soglia non in pendenza, spigoli non arrotondati	Soglia in pendenza, spigoli arrotondati	Spigoli arrotondati, soglia in pendenza, installato verso l'interno
	C	Qualità di esecuzione	Lavorazioni in cantiere	Modifiche in cantiere, montaggio vetro, verniciatura e trattamenti protettivi in cantiere con scarso controllo di qualità.	Nessuna modifica in cantiere. Montaggio vetro, e trattamenti protettivi in cantiere con controllo normale di qualità	Nessuna modifica in cantiere. Montaggio vetro e trattamenti protettivi in fabbrica con controllo di qualità in produzione.
Ambiente	D	Ambiente interno	Condizioni ambientali influenti; es. condensazione	Alto rischio di condensazione.	Rischio occasionale di condensazione, nessun agente interno aggressivo.	Alto rischio di condensazione. Edificio occupato saltuariamente.
	E	Ambiente esterno	Condizioni ambientali influenti es: Clima inquinato o a marino	Cicli regolari di bagnatura e asciugatura. Alto rischio di inquinanti.	Cicli occasionali di bagnatura e asciugatura.	Protezione dall'esposizione a pioggia/inquinanti.
Utilizzo	F	Condizioni d'uso	Aspetti specifici, es. vandalismo	Accesso regolare di bambini.	Accesso occasionale di bambini ma basso rischio di urto.	Nessun accesso da parte di bambini
	G	Livello di manutenzione	Frequenza e qualità degli interventi	Trattamenti protettivi rari e scarso controllo sulla preparazione/ applicazione.	Trattamenti protettivi rinnovati ogni 3 - 6 anni.	Trattamenti protettivi rinnovati ogni 3 - 6 anni. Controllo elevato.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 20

Banca Dati relativa alla durabilità dei componenti edilizi CSTB – Politecnico di Milano

Definizione delle griglie – ETICS

Grid's Features External Thermal Insulation Composite Systems
 Family : Superstructure, Category : Outside partitions, Sub Category : Outside protections

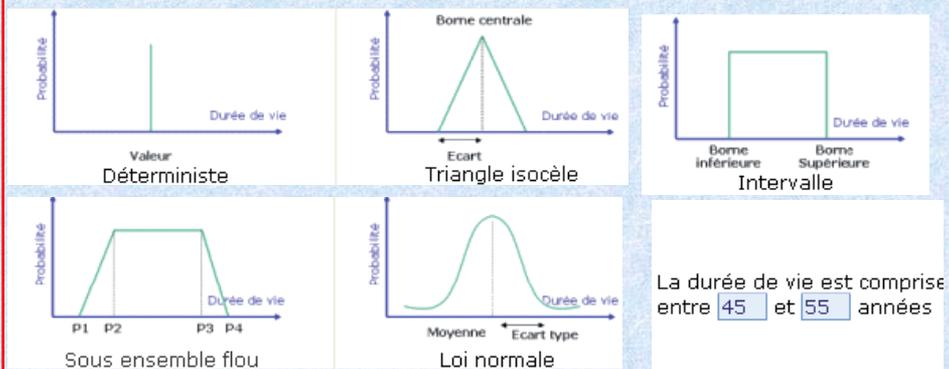
Failure ways [List of the failure ways associated to the Grid]

Factors	respective factors levels					
Type of support	Rammed concrete	Hollow blocks	Bricks	Structural framework	Wood panels	Distributed insulation
Type of coating	Thin coating on insulator			Thick coating (hydraulic) on insulator		
Type of insulator	Moulded expanded polystyren		Mineral wool (glass or wood)		Wood fibers	Extruded polystyren
Finishing color	Bright			Medium		
Finishing roughness	Coarse grain		Average grain		Thin grain	
Type of support	Existing			New		
Type of fixing	Dowels		Profiles		Glue	
N° of fixing elements/mq	N<8		8<=N<=12		N>12	
Presence of expansion joints	Yes			No		
Presence of protecting elements on the surface accessible to public or exposed to shocks	Yes			No		
Complexity of the facade	Non applicable					
Exposure to rain	Totally		Partially		Not exposed	
Type of coating's treatment	Gross of application		Grésé	Ribbé	Smooth	Plastered
Shifted vertical joints	Yes			No		
Distance between panels	D < 2 mm	D < 2 mm with coating inside joints	D < 2 mm without coating inside joints		D < 2 mm avec bouchage des joints avec de bouts d'isolant	
Quantity of adhesive mortar	Q < 3 kg/mq		3 kg/mq <= Q <= 5 kg/mq			Q > 5 kg/mq
Position of mechanic fixinas	Modality A			Modality B		

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 21

Banca Dati relativa alla durabilità dei componenti edilizi CSTB – Politecnico di Milano

Formati relativi alla Vita Utile documentata



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 22



<http://www.blplifeplans.com>

<http://www.blpinsurance.com>



<http://www.housingcorp.com>

The **Construction Durability Database** contains durability rankings for a vast range of building components, including some of the more innovative and modern components. **It will be a valuable aid to RSLs and their partners when setting out whole life value and asset management considerations."**

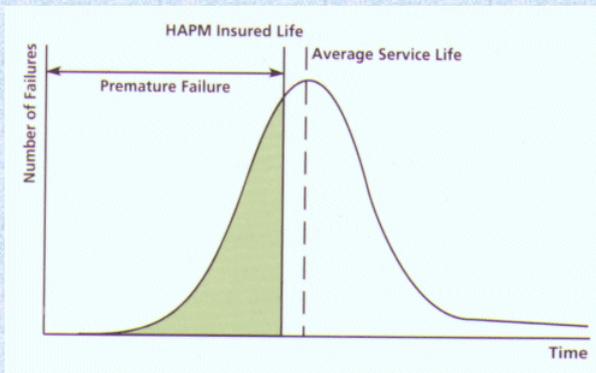
The Database is a risk management tool, published by Building LifePlans Ltd and based on 15 years of data and research carried out by the Building Performance Group.

The durability rankings are risk management figures used to indicate the relative durability of components. Components with higher durability rankings have physical properties that lead us to expect improved durability for a given environment.

The data includes explicit criteria that determine durability, maintenance requirements, design and installation assumptions and adjustment factors.

The durability data can form the basis of whole life cost plans, component specifications and selection, and maintenance plans and asset management strategies.

HAPM Data Base of Insured Components Service Life HAPM's Technical Audit Unit (TAU)



THE HAPM LIFE CODES

Coding	Insured Life Class
A	35+ years
B	35 years
C	30 years
D	25 years
E	20 years
F	15 years
G	10 years
H	5 years
U	0 years

Reference

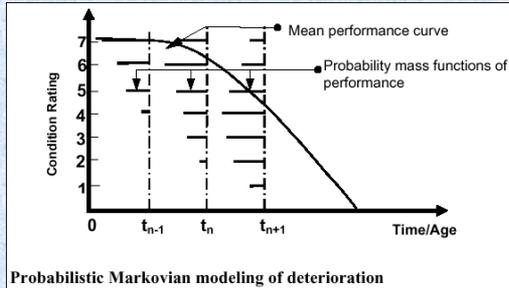
- HAPM Housing Association Property Mutual
- BRE Building Research Establishment:
- BSRIA Building Services Research and Information Association:
- CIRIA Construction Industry Research and Information Association:
- TRADA Timber Research and Development Association:
- BCA British Cement Association
- BBA British Board of Agreement

Metodi statistici (probabilistici)

Il **degrado** è trattato come un **fenomeno stocastico**: per ogni caratteristica, in ogni periodo di tempo, è definita una probabilità di decadimento prestazionale [catena di Markov].

- Numero significativo di dati di input.
- Modelli di calcolo complessi.

Esempi di applicazioni del metodo a progetti molto grandi e solitamente limitati ad un solo materiale [il C.A.] e ad un solo agente [penetrazione di cloruri].



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 25

Metodi ingegneristici

Caratterizzati da complessità paragonabile a quella comunemente affrontata dal progettista nella pratica comune [strutture, impianti, ...];

Possono avere input probabilistici ma il **modello** di calcolo che rappresenta il **degrado** deve essere **semplice** [Es. una singola equazione];

Obiettivo: unire facilità di applicazione (es. metodo fattoriale) a migliore rappresentazione della realtà dei metodi probabilistici;

Ricerca procede su due vie:

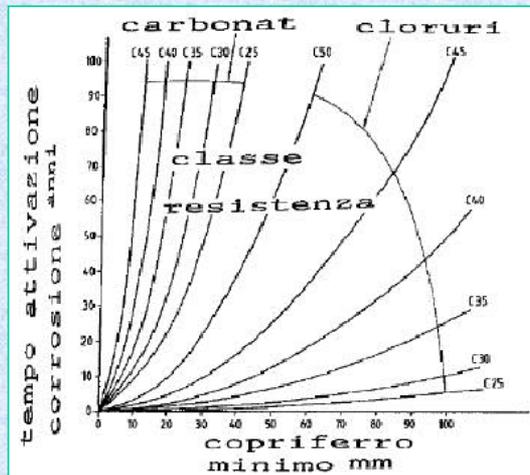
- sviluppo del metodo fattoriale evoluto;
- definizione di un modello di simulazione del comportamento nel tempo delle prestazioni.

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 26

Metodo Ingegnistico di valutazione della Vita Utile del Calcestruzzo Armato

Ref.: Institution of Civil Eng., 1986 *Improvement of concrete durability*

Il diagramma indica gli anni di vita utile in funzione della classe di resistenza e per un dato spessore del copriferro.



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 27

metodo fattoriale evoluto

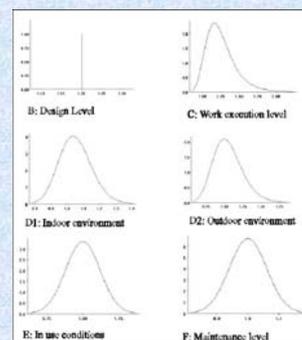
$$ESL = RSL * A * B * C * D * E * F * G$$

Il modello matematico rimane lo stesso [molto semplice];

Si utilizzano distribuzioni di probabilità al posto di fattori deterministici;

ESL si calcola con modelli probabilistici molto semplici [Metodo Montecarlo];

Esempi in letteratura: Moser K. (1999), *Towards: the practical evaluation of service life – Illustrative application of the probabilistic approach*, pp. 1319-1329, 8DBMC.

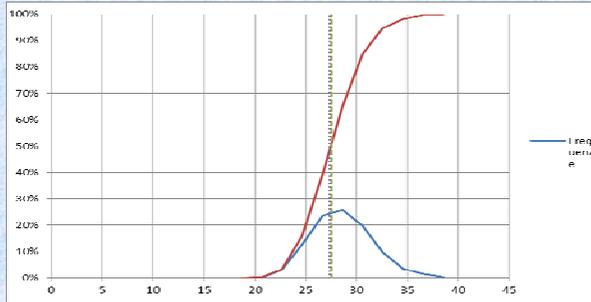


Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 28

Esempio di metodo fattoriale evoluto

Modellazione con metodo Montecarlo (input triang)

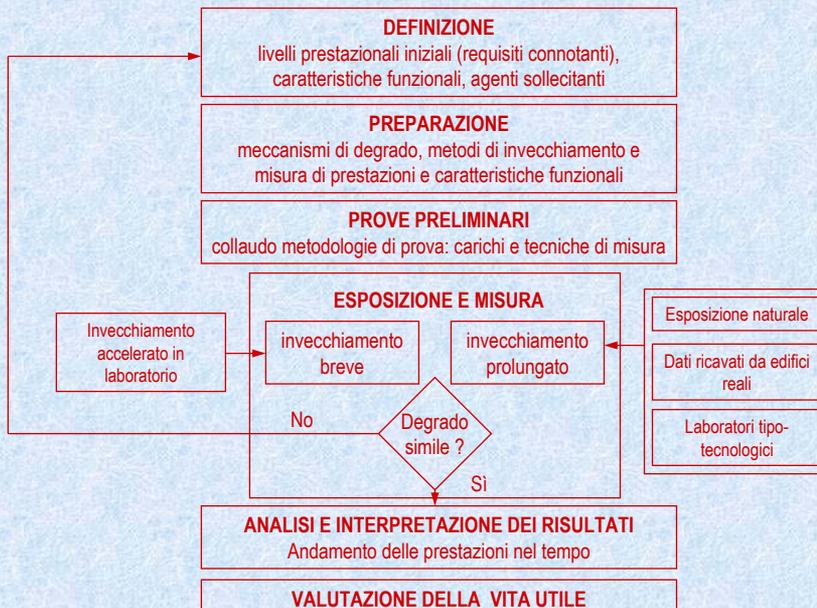
RSL	25		Fattore	Valore	Minimo	Più Prob.	Massimo	
ESL	39.1266	Media	A	1.133	1	1.2	1.2	Componente
	20.4941	Minimo	B	1.067	0.8	1.2	1.2	Progettazione
	68.3121	Massimo	C	1.067	0.8	1.2	1.2	Esecuzione
	7.55867	Dev. Std.	D	1.067	1	1	1.2	Ambiente interno
			E	1.067	0.8	1.2	1.2	Ambiente esterno
			F	1.067	1	1	1.2	Condizioni d'uso
			G	1.000	0.8	1	1.2	Manutenzione



Distribuzione di probabilità relativa alla fine di vita utile

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 29

VALUTAZIONE SPERIMENTALE DELLA VITA UTILE DI RIFERIMENTO DI UN COMPONENTE EDILIZIO



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 30

Politecnico di Milano

Gruppo Durabilità dei Componenti Edilizi

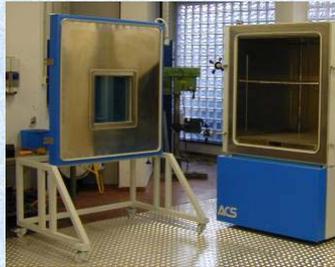
Attività sperimentale

✓ Livello: componente edilizio

✓ Condizioni : Vita Utile di Riferimento (RSL)

Invecchiamento accelerato di pareti con isolamento esterno a cappotto (ETICS)

MILANO



Invecchiamento accelerato ed esposizione in esterno di pareti in muratura

MILANO - LUGANO

Laboratorio Durabilità
Camera climatica

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 31

Lista degli agenti di degrado significativi per la stima di vita utile degli elementi tecnici
UNI 8290 p.3. Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti

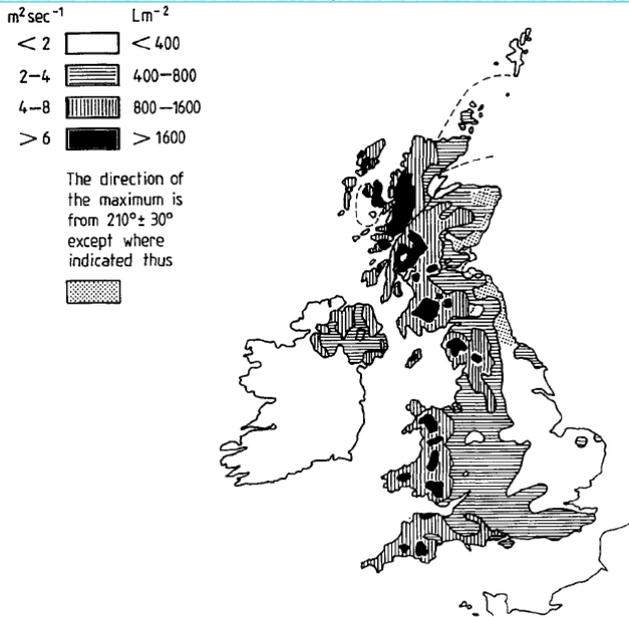
Categorie di agenti	Agenti
Agenti climatici	Pioggia, Neve, Ghiaccio, Grandine ,Vapore acqueo Vento Particelle Alte e basse temperature ,Cicli di temperatura Radiazione solare ,Radiazione termica
Agenti chimici	COx, NOx, SOx, Ox, Acido solforico Acido carbonico Sali
Agenti artificiali esterni	Radiazione elettromagnetica (tutte tranne radiazioni solari e termiche) Stress meccanici discontinui
Agenti artificiali dovuti all'uso	Acqua di lavaggio Detergenti Stress meccanici continui
Agenti biologici	Animali (vertebrati, invertebrati, batteri) Vegetali

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 32

Mappa del Regno Unito relativa all'indice pioggia-vento (valore massimo annuale)

Ref.: BS 7543 Guide to durability of buildings and building elements, products and components

UNI EN ISO 15927-3:2009. Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 33

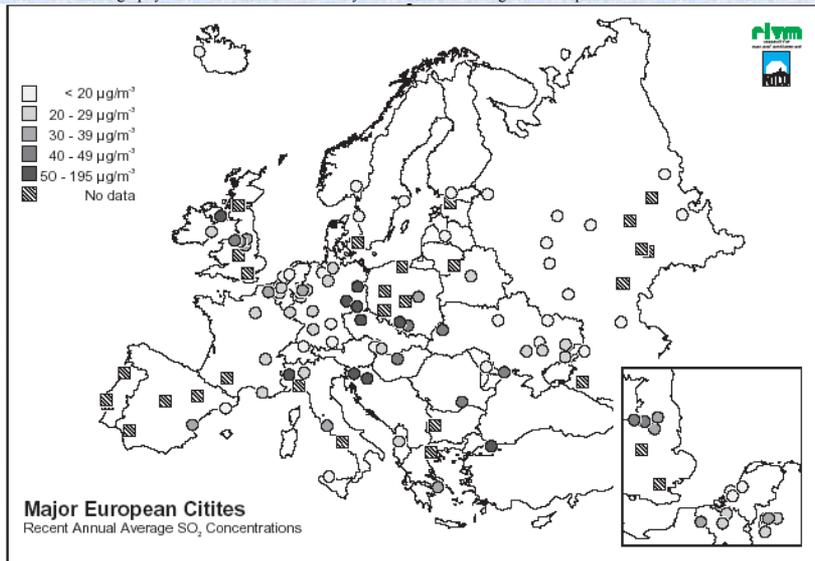
Sinossi relativa alle entità significative per l'analisi dei fenomeni di degrado per il calcestruzzo armato

Agenti	Azioni	Effetti
Pioggia Vento CO ₂	Dilavamento con penetrazione di CO ₂	Corrosione Erosione
Pioggia Vapore acqueo O ₂	Penetrazione di acqua e O ₂	Fessurazione, distacco dei copriferri Corrosione armature
Vapore acqueo CO ₂	Permeazione di vapore ed assorbimento di CO ₂	Carbonatazione Corrosione
Vento Particelle	Urto e attrito di particelle	Abrasione
Ghiaccio Cicli di temperatura	Gelo-disgelo	Fessurazioni Disgregazione superficiale
Animali Vegetali	Attacco biologico	Crescita biologica Corrosione Biologica

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 34

Concentrazione media annuale di SO₂ nelle principali città Europee

Ref.: Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components CIB Publication No. 295. 2004



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 35

Materiale		Funzioni dose-response
METALLI		
Acciaio	Non protetto	$ML = 85 + 0,26TOW + 432TOW$
	Protetto	$ML = 106 + 0,54TOW [SO_2][O_3]$
Zinco	Non protetto	$4ML = 14,5 + 0,043TOW [SO_2][O_3] + 80Rain[H^+]$
	Protetto	$4ML = 5,5 + 0,013TOW [SO_2][O_3]$
Alluminio	Non protetto	$ML = 0,85 + 0,028TOW [SO_2][O_3]$
	Protetto	$ML = -0,03 + 0,053TOW [SO_2][O_3] + 74[Cl^-]$
Rame	Non protetto	$ML = 19,3 + 0,011[SO_2][O_3] + 162Rain[H^+]$
PIETRA		
Calcearea	Non protetto	$ML = 34,4 + 5,96TOW [SO_2] + 338Rain[H^+]$
	Protetto	$MI = 2,536 + 0,80TOW [SO_2][O_3]$
Arenaria	Non protetto	$ML = 29,2 + 6,24TOW [SO_2] + 480Rain[H^+]$
	Protetto	$MI = 2,84 + 0,88TOW [SO_2]$

FUNZIONI DOSE – RESPONSE ricavate nel programma sperimentale UN ECE ICP (1986-2000)

Esposizione in esterno in 39 siti in 12 paesi in Europa, USA e Canada.

ML e *MI* sono la perdita di massa (ML) e l'aumento di massa (g/m²), dopo quattro anni di esposizione, *TOW* è il tempo di bagnatura (RH>80 %, T>0°) come frazione temporale in un anno, [SO₂] e [O₃] sono concentrazioni in (µg/m³), [Cl⁻] è la concentrazione di ioni cloruro in (mg/l), *Rain* è la precipitazione per anno (m/year) e [H⁺] è la concentrazione in (g/l).

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 36

INVECCHIAMENTO ACCELERATO IN LABORATORIO E DI ESPOSIZIONE NATURALE IN ESTERNO

VARIABILI

Resine: Viniliche-Acricliche

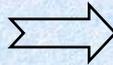
Inclinazione (45° - 90°)

Esposizione (MI - LU)

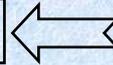
CVP (40% - 60%)



ESPOSIZIONE
NATURALE IN
ESTERNO



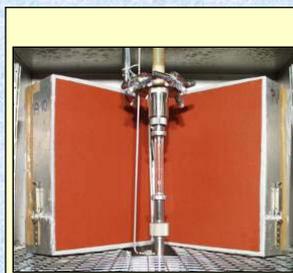
TIME
RE-SCALING



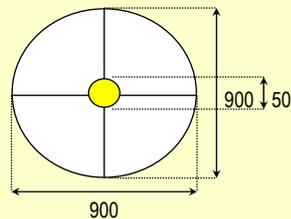
INVECCHIAMENTO
ACCELERATO IN
LABORATORIO

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 37

INVECCHIAMENTO ACCELERATO IN LABORATORIO

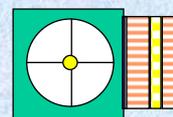
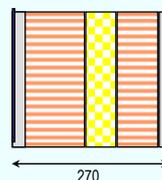
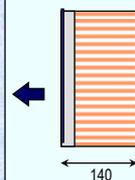
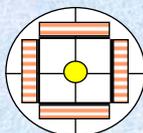


Camera Climatica



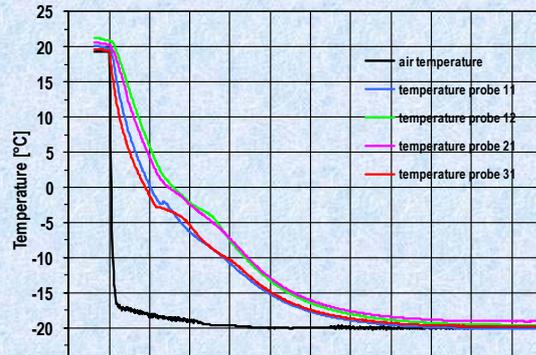
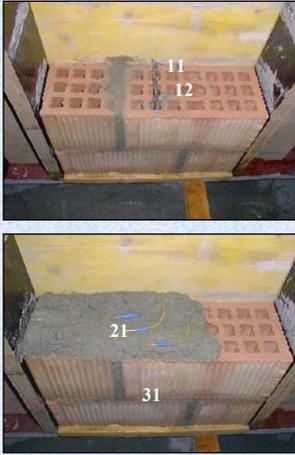
Prove su
pacchetto esterno

Prove su
componente

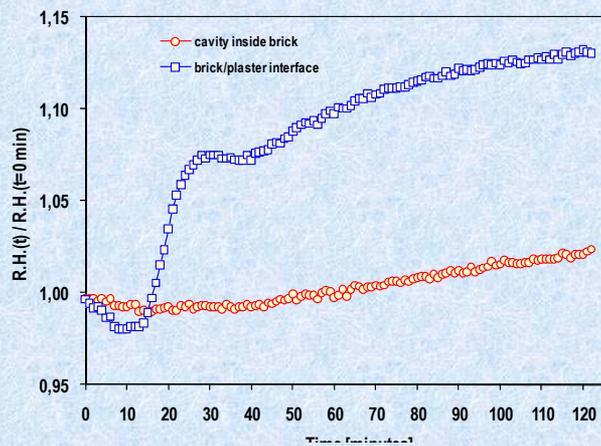


Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 38

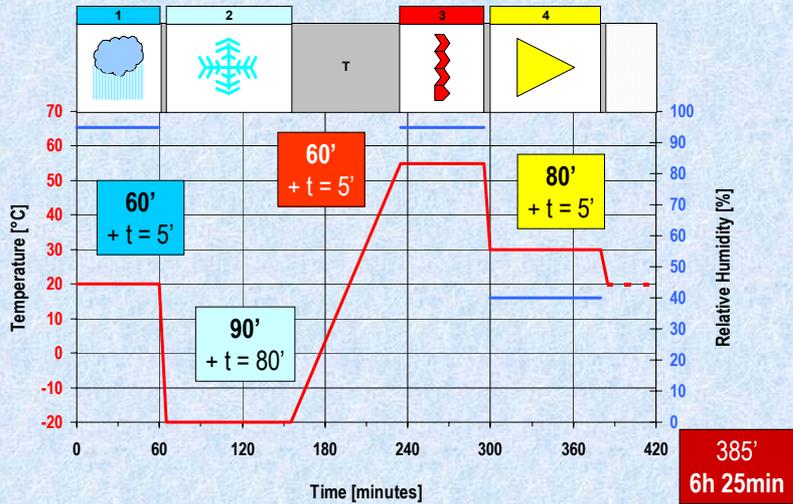
TEST PRELIMINARI DI CALIBRATURA DEL CICLO Temperatura



TEST PRELIMINARI DI CALIBRATURA DEL CICLO Umidità relativa

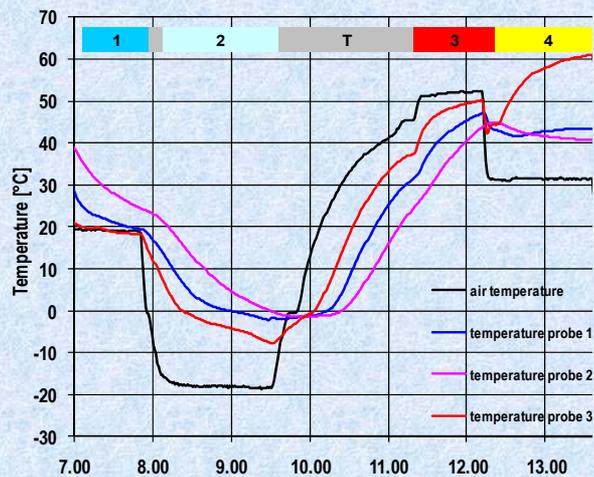


CICLO DI INVECCHIAMENTO ACCELERATO



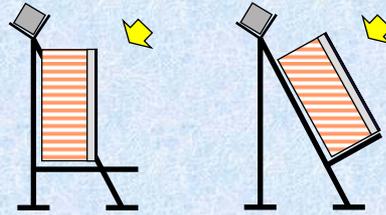
Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 41

CICLO ACCELERATO DI INVECCHIAMENTO: Verifica dell'andamento delle temperature



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 42

PROVE IN ESTERNO

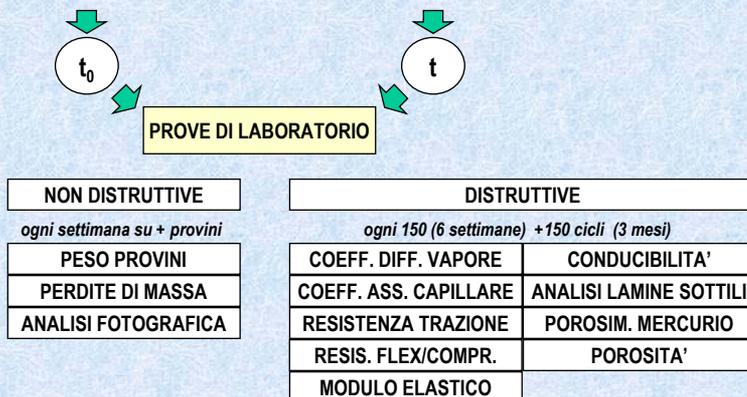


CONTESTO ESPOSIZIONE [Milano (I) - Lugano (CH)]



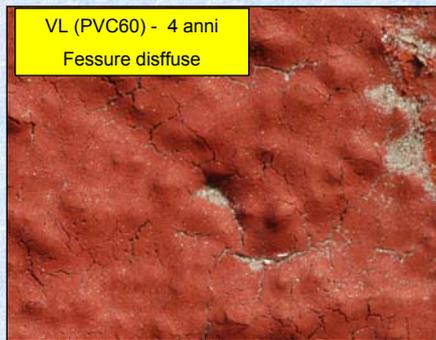
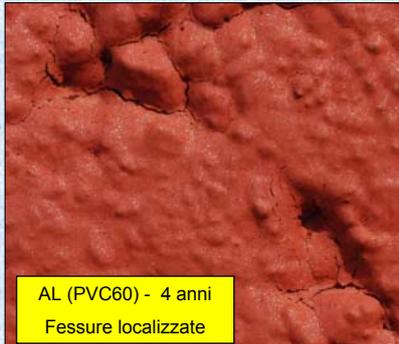
Su cui si eseguono prove non distruttive ogni 2 mesi [PESO, FOTOGRAFIE SUPERFICIE]

Le PROVE PER LA DETERMINAZIONE DEL DECADIMENTO DELLE CARATTERISTICHE FUNZIONALI



Meccanismi di Degrado

RESINE ACRILICHE		RESINE VINILVERSATICHE	
AH (PVC40)	AL (PVC60)	VH (PVC40)	VL (PVC60)
presenza saltuaria di bolle	Fessure localizzate	Estesa presenza di bolle lacerate, distacchi	Rete di fessure



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 45

CLASSIFICAZIONE DEI LIVELLI DI DEGRADO FINITURE DI PARETI ESTERNE CAMPIONI ESPOSTI AD INVECCHIAMENTO NATURALE IN ESTERNO

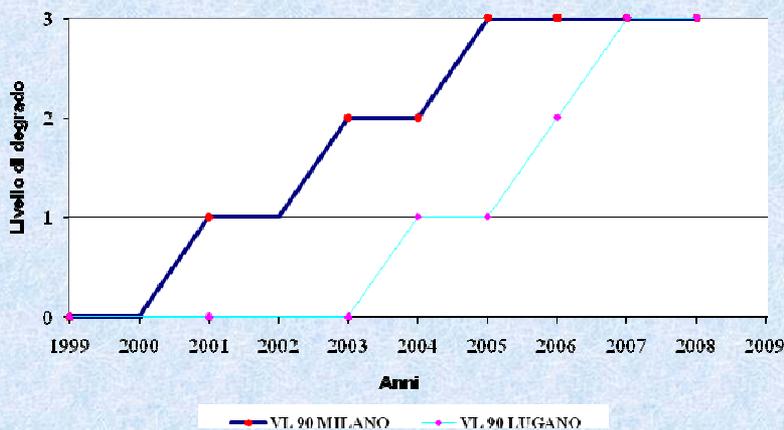
- ✓ DL0: Assenza di degradi significativi
- ✓ DL1: Presenza di degradi localizzati (microfessurazioni, distacchi)
- ✓ DL2: Fitta rete di microcavillature
- ✓ DL3: Estesa presenza di bolle lacerate, distacchi e cristallizzazione di sali sulla superficie

SAMPLE	45°	90°
AH	DL1	DL0
AL	DL1	DL1
VH	DL1	DL1
VL	DL3	DL2

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 46

Analisi del livello di degrado nel tempo

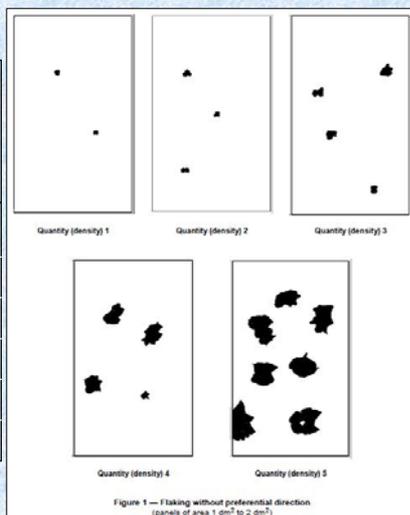
Pitture a base di resine vinilversatiche a bassa concentrazione



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 47

Proposta di nuova classificazione per la valutazione di delaminazioni e distacchi della pittura

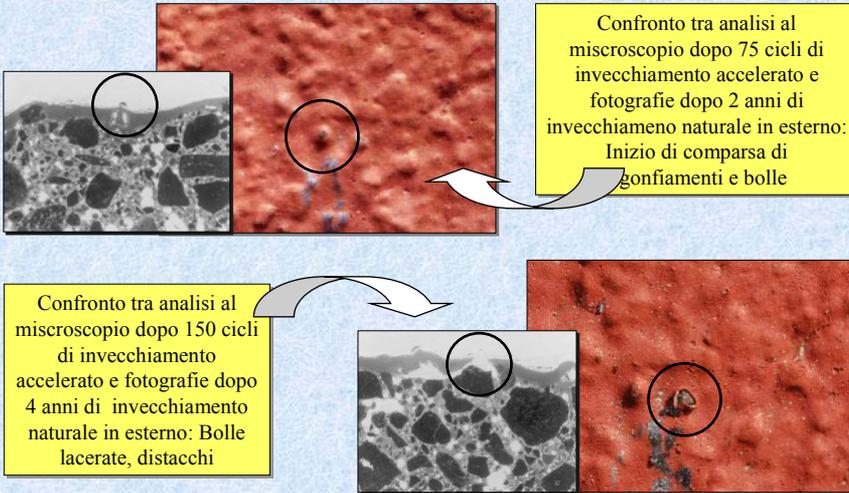
Classe	Area delaminata con distacchi della pittura %	Classe	Dimensione delle aree con distacchi della pittura (larghezza dimensione)
0	0	0	non visibile con un ingrandimento x 10
1	0,1	1	Fino a 1 mm
2	0,3	2	Fino a 3 mm
3	1	3	Fino a 10 mm
4	3	4	Fino a 30 mm
5	15	5	Maggiore di 30 mm



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 48

TIME RESCALING :
Comparazione tra invecchiamento accelerato in laboratorio e invecchiamento naturale in esterno (45°)

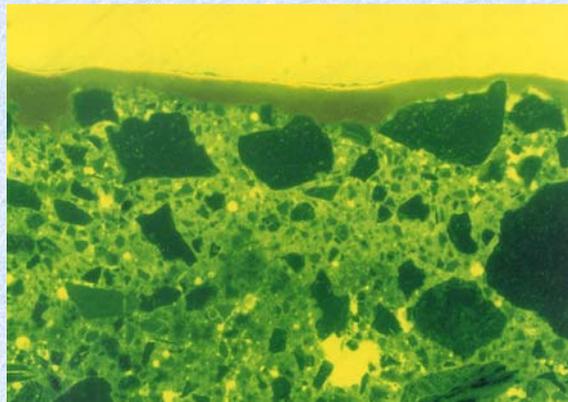
Campione protetto con pittura a base resine vinilversatiche



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 49

3. MICROSTRUTTURA

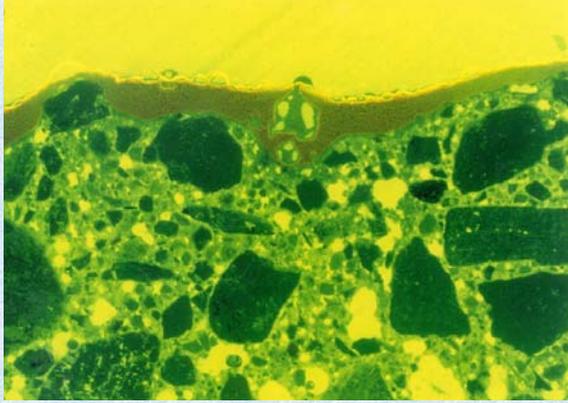
- Provino con pittura V, CVP40, a 0 cicli



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 50

3. MICROSTRUTTURA

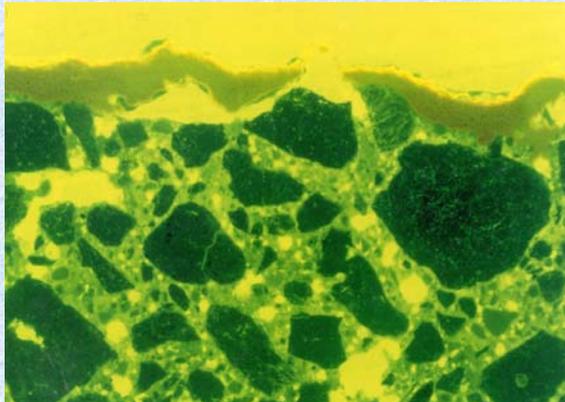
- Provino con pittura V, CVP40, a 75 cicli



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 51

3. MICROSTRUTTURA

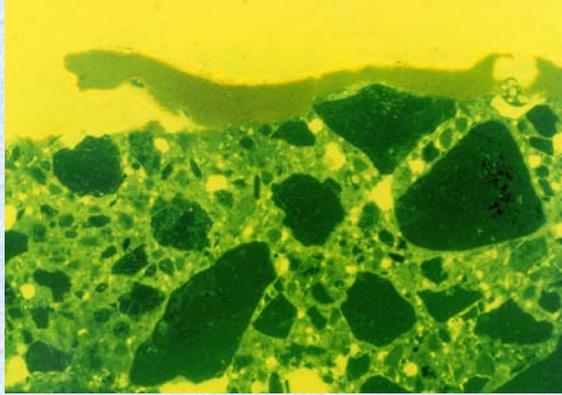
- Provino con pittura V, CVP40, a 150 cicli



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 52

3. MICROSTRUTTURA

- Provino con pittura V, CVP40, a 325 cicli



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 53

3. MICROSTRUTTURA

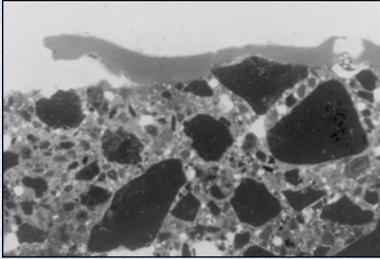
- Provino con pittura A, CVP40, a 325 cicli



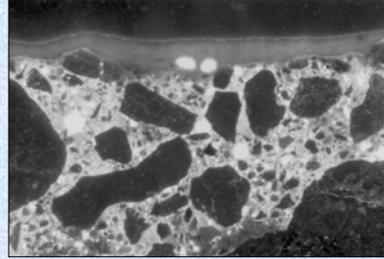
Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 54

Risultati delle analisi al microscopio ottico TIPO DI RESINA

**Pittura vinilversatica (CVP 45)
dopo 325 cicli**



**Pittura acrilica (CVP 45)
dopo 325 cicli**



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 55

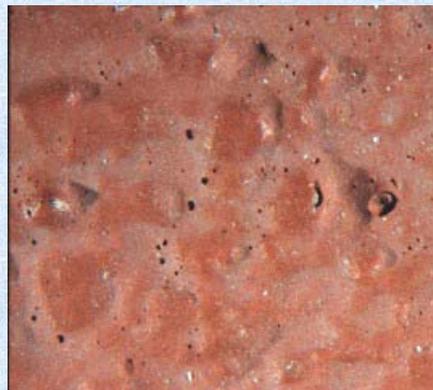
Confronto tra tipi di resina

Risultati delle analisi fotografiche della superficie
Campioni esposti ad invecchiamento accelerato in laboratorio

**Pittura vinilversatica
Alto contenuto di resina
dopo 325 cicli**



**Pittura acrilica
Alto contenuto di resina
dopo 325 cicli**



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 56

IL GRADO PROTETTIVO DELLE PITTURE IL Contenuto in Volume di Polveri CVP (pigmenti e aggregati)

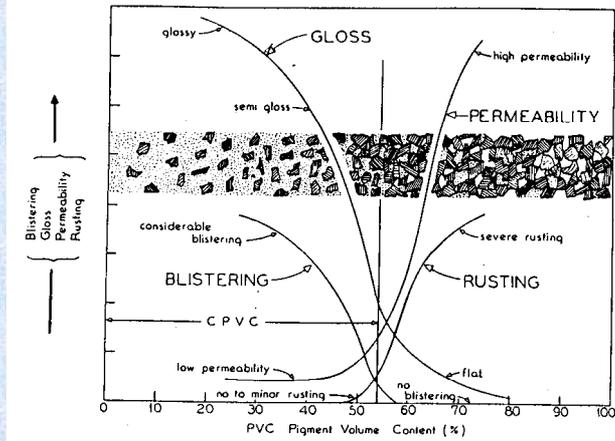
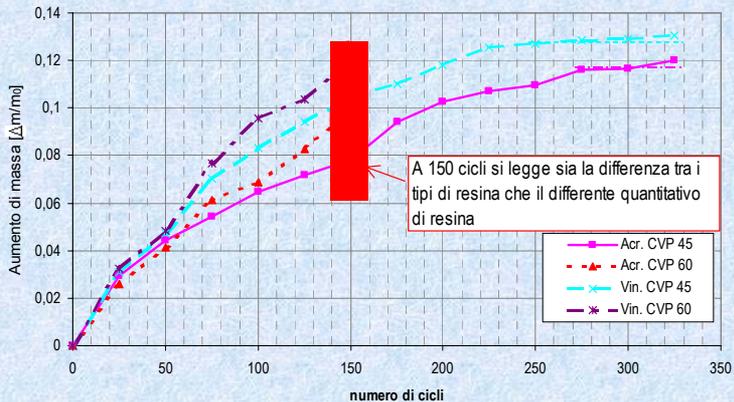
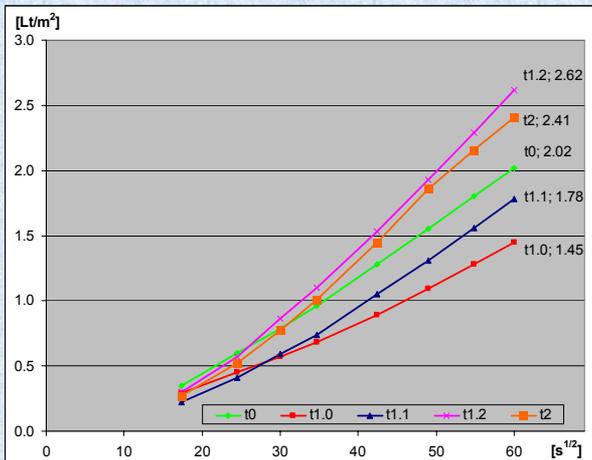


Fig. 7-1 Graph illustrating the sharp breaks that occur in many film properties at the critical pigment volume concentration (CPVC).

Aumento di massa in funzione del numero di cicli d'invecchiamento



MISURE DI ASSORBIMENTO CAPILLARE Karsten's method



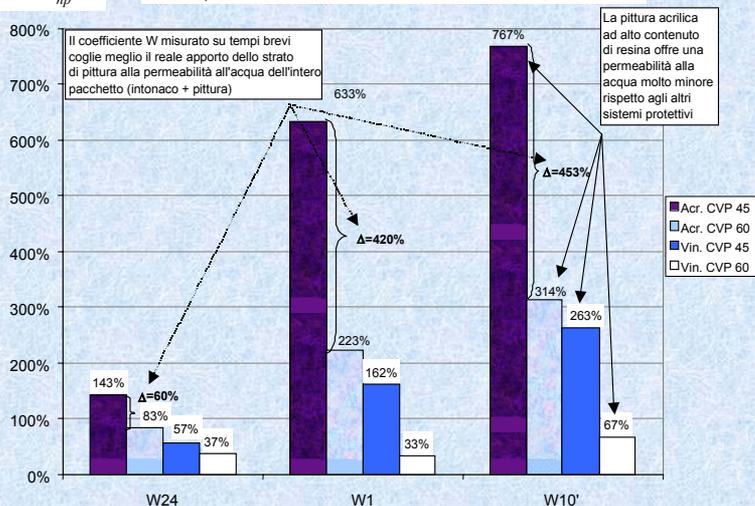
Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 59

Grado protettivo all'acqua relativo alle diverse tipologie di pittura

$$P = \frac{A_{np} - A_p}{A_{np}}$$

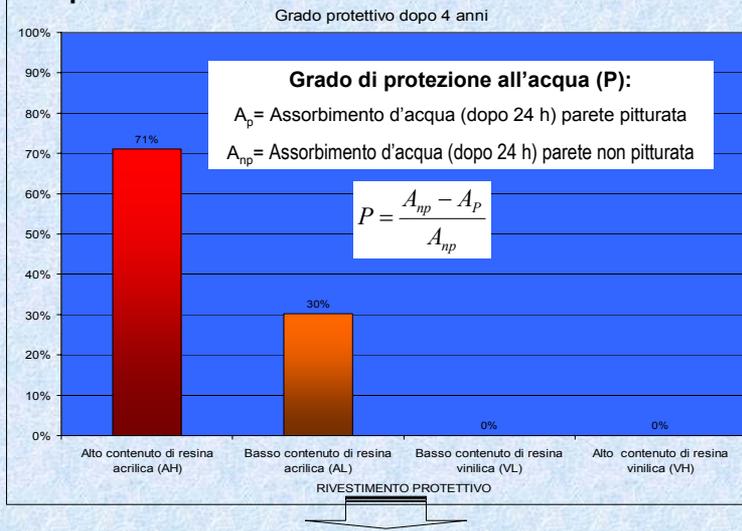
A_p = Assorbimento d'acqua (dopo 24 h) parete pitturata

A_{np} = Assorbimento d'acqua (dopo 24 h) parete non pitturata



Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 60

Valutazione prestazionale del grado protettivo dopo 4 anni di invecchiamento naturale



Pittura a base di resine vinilversatiche: Vita Utile di Riferimento = 4 anni

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 61

Simulazioni condotte a partire dalla sperimentazione Politecnico - SUPSI

Risultati delle simulazioni HMT FIB – Contenuto d'acqua nel supporto in laterizio

➤ I dati sperimentali hanno consentito di implementare metodi ingegneristici per la simulazioni del comportamento nel tempo della soluzione tecnica

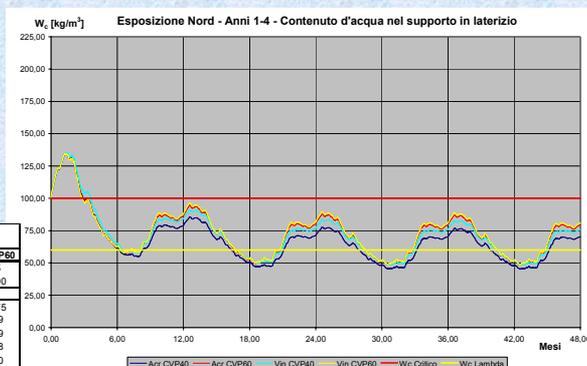


TABELLA RIASSUNTIVA				
	Acr CVP40	Vin CVP40	Acr CVP60	Vin CVP60
A_p [kg(m ² h ^{0.5})]	0,17	0,18	0,23	0,25
A_{np} [kg(m ² h ^{0.5})]	200,00	325,00	180,00	165,00
W_c Max [kg/m ³]	134,53	135,34	134,71	134,75
W_c Medio 1° Anno [kg/m ³]	83,76	87,33	86,30	86,46
W_c Medio 2° Anno [kg/m ³]	64,50	68,90	70,44	71,29
W_c Medio 3° Anno [kg/m ³]	61,40	65,96	68,00	68,88
W_c Medio 4° Anno [kg/m ³]	61,08	65,69	67,77	68,70
W_c Min [kg/m ³]	45,25	48,50	48,32	48,65
Ore superamento W_c Critico [%]				
1° Anno	24,67	29,93	23,96	23,48
2° Anno	0,00	0,00	0,00	0,00
3° Anno	0,00	0,00	0,00	0,00
4° Anno	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	6,17	7,48	5,99	5,87
Ore superamento W_c Lambda [%]				
1° Anno	82,59	88,17	86,06	86,50
2° Anno	60,41	64,89	65,66	66,13
3° Anno	56,64	62,28	63,34	64,52
4° Anno	55,67	62,02	62,69	64,24
Totale	63,80	69,34	69,51	70,35

➤ La pittura che garantisce la migliore protezione al supporto in laterizio è l'acrilica CVP40 anche se W_c rimane oltre il valore che ne fa aumentare la conducibilità termica per oltre il 60% delle ore annue

Prof. B. Daniotti - Durabilità - Dia. n. 62

Sintesi dei risultati

L'analisi delle risultanze sperimentali dopo le prove di invecchiamento accelerato in laboratorio ha potuto quindi portare alle seguenti conclusioni:

- Si sono potute valutare differenze di comportamento nel tempo per le pitture utilizzate, con il riscontro degli effetti di **degrado**, evidenziati nelle analisi fotografiche e al microscopio ottico, e confermati dal diverso andamento dell'assorbimento d'acqua nel tempo:
 - **Le pitture a base di resine vinilversatiche hanno mostrato effetti di degrado più rilevanti, dopo un tempo di invecchiamento minore rispetto alle pitture a base di resine acriliche**
 - **Il maggiore contenuto di resina utilizzato consente di ottenere un minore degrado.**
- Si è potuto valutare il diverso **grado protettivo** per le pitture utilizzate, attraverso la misura dell'aumento di massa dei provini sottoposti ai cicli di invecchiamento e dell'assorbimento capillare:
 - **Le pitture a base di resine acriliche hanno mostrato un migliore grado di protezione all'agente acqua, rispetto alle pitture a base di resine vinilversatiche;**
 - **Il maggiore contenuto di resina utilizzato consente di ottenere un migliore grado di protezione.**
- Il time-rescaling per i campioni a base di resine vinil-versatiche è stato valutato, come segue:
 - 2 anni ↔ 75 cicli;**
 - 4 anni ↔ 150 cicli;**
- Le prove distruttive hanno confermato che dopo 4 anni di esposizione naturale in esterno (1999 – 2003) le pitture a base di resine vinil-versatiche hanno raggiunto la fine di vita utile.