

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile**

Tesi di Laurea Magistrale

Isolamento termico esterno

Sperimentazione e confronto tra sistemi ETICS



Relatore

Carlo Caldera

Candidato

Alessio Schepisi

Correlatori

Paolo Piantanida

Paolo Roffina

Dicembre 2019

Indice

Abstract	1
Premessa	2
1 Introduzione	3
1.1 Involucro verticale opaco	3
1.1.1 Terminologia e classificazione	3
1.1.2 Requisiti	5
1.2 Problematiche energetiche	7
1.2.1 La certificazione energetica	8
1.2.2 L'influenza dell'involucro edilizio.....	10
2 Sistemi di isolamento termico	11
2.1 Isolamento interno	11
2.2 Isolamento in intercapedine	13
2.2.1 Intercapedine a cassa vuota	14
2.2.2 Facciata ventilata	15
2.3 Isolamento esterno.....	17
2.4 Proprietà dei materiali isolanti	18
2.4.1 Conduttività termica e massa volumica.....	20
2.4.2 Comportamento al fuoco	22
2.4.3 Isolamento acustico.....	25
2.5 Tipologie di pannelli isolanti	27
2.5.1 Pannelli in materiali minerali.....	28
2.5.2 Pannelli in materiale di origine vegetale	29
2.5.3 Pannelli in materiale petrolchimico.....	29
2.5.4 Pannelli in materiale di origine animale	31
3 Sistema ETICS.....	32
3.1 Norme di riferimento.....	32
3.1.1 Linee guida ETAG004 e certificato di valutazione ETA004	32
3.2 Componenti del sistema	34
3.3 Modalità di posa e condizioni d'opera	35
3.3.1 Preparazione dello strato di supporto	36
3.3.2 Incollaggio e fissaggio del pannello isolante.....	37
3.3.3 Rasatura armata	41
3.3.4 Intonaco di finitura	42

4	Valutazione del degrado e sistemi di manutenzione.....	43
4.1	Cura del costruito e processi di intervento.....	43
4.1.1	Processi di obsolescenza.....	46
4.2	Degrado: agenti, azioni ed effetti	47
4.3	Rilievo e analisi del degrado	50
4.3.1	Metodi e tecniche per il rilevamento e il monitoraggio dei processi di degrado.....	52
4.4	Strategia di programmazione della manutenzione	58
4.4.1	Tecniche di programmazione	60
4.4.2	I requisiti della progettazione tecnologica	63
4.4.3	L'informazione tecnica per la gestione e l'elaborazione dei programmi di manutenzione	64
4.4.4	Il facility management	64
4.5	Valutazione della durabilità.....	65
4.6	Meccanismi di degrado sui sistemi a cappotto.....	69
4.6.1	Modello di rilievo e di valutazione dei degradi.....	69
4.6.2	I punti deboli del sistema.....	70
4.6.3	Fattori di degrado e difetti.....	70
4.6.4	Programmazione degli interventi	75
5	Sperimentazione: prove di laboratorio.....	79
5.1	Identificazione degli agenti patogeni.....	79
5.2	Effetto della grandine sui sistemi ETICS.....	81
5.2.1	La grandine, caratterizzazioni del fenomeno meteorico	81
5.2.2	La simulazione dell'effetto.....	83
5.2.3	Le norme sulle prove di resistenza all'urto.....	84
5.3	L'apparecchiatura sperimentale	86
5.3.1	Metodologia di prova	87
5.3.2	Procedura	90
5.4	Protocolli di prova.....	94
5.4.1	Prova di resistenza alla grandine	94
5.4.2	Prova di permeabilità al vapore acqueo	98
5.4.3	Prova di assorbimento dell'acqua	101
5.4.4	Determinazione del comportamento igrotermico	103
5.4.5	Prova di resistenza all'impatto	107
5.4.6	Prova di resistenza all'adesione tra rasante e materiale isolante	110
6	Sperimentazione: fase operativa.....	113
6.1	Descrizione dei materiali isolanti.....	113
6.1.1	Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS).....	113

6.1.2 Poliuretano Espanso Rigido (PU)	115
6.1.3 Lana di roccia (MW)	117
6.1.4 Fibre di legno (WF).....	120
6.1.5 Fibre di canapa (HF)	121
6.1.6 Aerogel (AG).....	122
6.2 Descrizione degli strati di finitura	125
6.2.1 Composizione delle malte rasanti	126
6.2.2 Le finiture a rivestimento continuo	127
6.3 Codifica e stratigrafie dei provini.....	132
6.4 Risultati delle prove	137
6.4.1 Gruppo 1	138
6.4.2 Gruppo 2	146
6.4.3 Gruppo 3	154
6.4.4 Gruppo 4	162
6.4.5 Gruppo 5	170
6.4.6 Gruppo 6	178
6.4.7 Gruppo 7	186
7 Risultati ottenuti	188
7.1 Resistenza alla grandine	188
7.2 Analisi multicriteri.....	190
7.2.1 Applicazioni e classificazione	190
7.2.2 Sviluppo dell'analisi multicriteri	192
7.2.3 Scelta del sistema ETICS.....	194
Conclusioni.....	198
Bibliografia.....	200
Sitografia.....	202
Allegati.....	203

Indice delle figure

Figura 1. Stralcio schema di classificazione del sistema tecnologico. Norma UNI 8290	4
Figura 2. Stralcio della classificazione del sistema tecnologico, raggruppamento omogeneo per subsistemi. Fonte: Morra L. e Caldera C. in CNR “Progetto finalizzato edilizia-innovazione”, <i>Controllo e qualificazione dell’attività manutentiva</i> , Bologna, 1996.	5
Figura 3. Parte del format di Attestato di Prestazione Energetica degli edifici (APE). Fonte: Appendice B, D.M. 26/06/2015	9
Figura 4. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento interno. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., <i>Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia</i> , Politecnico di Torino, Torino, 2016.....	12
Figura 5. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento in intercapedine. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., <i>Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia</i> , Politecnico di Torino, Torino, 2016	13
Figura 6. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento in intercapedine a cassa vuota. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., <i>Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia</i> , Politecnico di Torino, Torino, 2016.....	15
Figura 7. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento a facciata ventilata. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., <i>Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia</i> , Politecnico di Torino, Torino, 2016	17
Figura 8. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento esterno (cappotto). Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., <i>Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia</i> , Politecnico di Torino, Torino, 2016	18
Figura 9. Determinazione delle proprietà dei materiali isolanti. Fonte: Murano G., <i>Novità, programmi di lavoro del SC1 del CTI e proposte</i> , UNI, Milano, 2013.....	19
Figura 10. Determinazione delle proprietà dei materiali isolanti. Fonte: Murano G., <i>Novità, programmi di lavoro del SC1 del CTI e proposte</i> , UNI, Milano, 2013.....	19
Figura 11. Simboli identificativi del requisito degli elementi costruttivi. Fonte: Vancetti R., <i>Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale</i> , Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018.....	23
Figura 12. Classificazione di reazione al fuoco e metodi di prova. Fonte: UNI EN 13501-1:2019	24
Figura 13. Stralcio DPCM 5 dicembre 1997	25
Figura 14. Schema della reazione di condensazione tra fenolo e formaldeide, l'asterisco indica le posizioni reattive. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Resine_fenoliche	30
Figura 15. Frontespizi dei documenti ETA (a destra) e EAD (a sinistra). Fonte: Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC)	33
Figura 16. Componenti del sistema ETICS. Fonte: Consorzio Cortexa, <i>Manuale per l’applicazione del Sistema a Cappotto</i> , 2019	35
Figura 17. Mezzi d'opera utilizzati per la realizzazione del sistema a cappotto. Fonte: http://www.aipe.biz/pdf/isolamento/13_isolamento_esterno_cappotto.pdf	36
Figura 18. Applicazione del collante a cordoli perimetrali e a punti centrali. Fonte: Consorzio Cortexa, <i>Manuale per l’applicazione del Sistema a Cappotto</i> , 2019.....	37
Figura 19. Applicazione del collante a tutta superficie. Fonte: Consorzio Cortexa, <i>Manuale per l’applicazione del Sistema a Cappotto</i> , 2019.....	38
Figura 20. Dettaglio del profilo di partenza. Fonte: Caldera C., <i>Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale</i> , Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018	39
Figura 21. Schema di tassellatura a T. Fonte: Consorzio Cortexa, <i>Manuale per l’applicazione del Sistema a Cappotto</i> , 2019	40

Figura 22. Schema di tassellatura a W. Fonte: Consorzio Cortexa, <i>Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto</i> , 2019	40
Figura 23. Posizione dei lembi di armatura sugli spigoli. Fonte: Consorzio Cortexa, <i>Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto</i> , 2019.....	41
Figura 24. La sequenza delle fasi del metodo clinico. Rielaborazione dalla fonte: Bardelli P. G. e Ribaldone M., <i>Curare documentare mantenere</i> , Alinea editrice, Firenze, 2009	44
Figura 25. La sequenza delle fasi dell'intervento sul costruito. Rielaborazione dalla fonte: Bardelli P. G. e Ribaldone M., <i>Curare documentare mantenere</i> , Alinea editrice, Firenze, 2009	46
Figura 26. Schema dell'evoluzione del degrado. Rielaborazione dalla fonte: Rejna M. (a cura di), <i>Modificazioni patologiche in edilizia</i> , Epitesto, Milano, 2005.....	48
Figura 27. Immagine termografica. Fonte: http://geomebsrls.weebly.com/indagini-termografiche.html	53
Figura 28. Sezione lucida di un frammento pittorico prelevato da un dipinto murale. Fonte: http://www.proarteitaly.it/tecniche.asp#thumb	57
Figura 29. Sezione sottile di un impasto a base di calce e sabbia a base di quarzo. Fonte: http://www.proarteitaly.it/tecniche.asp#thumb	58
Figura 30. Variazione dei livelli qualitativi di elementi soggetti a processi di degrado differenti nell'arco del ciclo di vita di un edificio Rielaborazione dalla fonte: Lee R., <i>Manutenzione edilizia programmata</i> , Hoepli, Milano, 1993	59
Figura 31. Condizioni che possono verificarsi nello sviluppo di un piano di interventi secondo scadenze programmate. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Manuale di Progettazione Edilizia</i> , Hoepli, Milano, 1995	61
Figura 32. Logica di sviluppo di un piano di interventi secondo condizione. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Manuale di Progettazione Edilizia</i> , Hoepli, Milano, 1995.....	62
Figura 33. Processo per la definizione della Vita Utile di Riferimento UNI 11156-3	67
Figura 34. Stralcio della tabella sul metodo di verifica per l'ETICS o i suoi componenti. Fonte: Etag004.....	68
Figura 35. Cappotto fessurato nei giunti. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010.....	73
Figura 36. Colonizzazione biologica sul sistema a cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010.....	73
Figura 37. Sbollatura sul sistema a cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010	74
Figura 38. Esfoliazione sul sistema al cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010	74
Figura 39. Rotture per urti accidentali o vandalici. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010	74
Figura 40. Rigonfiamento sul sistema a cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010	75
Figura 41. Rotture a causa della grandine. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., <i>Guasti in edilizia</i> , Maggioli Editore, Rimini, 2010	75
Figura 42. Foto di chicchi di grandine. Zona: Madonna di campagna, Torino. 01/07/2019.....	82
Figura 43. Grafico della velocità di caduta (ordinata - cm) in funzione del diametro (ascissa - m/s) del chicco di grandine. Fonte: Nelva R. "L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme", Zenital, Monza, 2008	82
Figura 44. Apparecchiatura di prova realizzata presso il Dipartimento ISEG del Politecnico di Torino. Fonte: Manuale di uso e manutenzione. Allegato 1	87
Figura 45. Confronto del danno su tegole laterizie. A destra danno causato da grandine reale e a sinistra quello provocato col metodo previsto dalla UNI 10890. Fonte: Nelva R., <i>L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme</i> , Zenital, Monza, 2008	88

Figura 46. Esempio di rottura riscontrata su cupola in metacrilato: fessurazioni con incrinature a stella. Fonte: Nelva R., <i>L'effetto della grandine su cupole e lucernari</i> . Sperimentazioni e Norme, Zenital, Monza, 2008.....	88
Figura 47. Esempio dell'effetto della prova su cupola in metacrilato antiurto: impatto denunciato dalla macchia opaca nel materiale. Fonte: Nelva R., <i>L'effetto della grandine su cupole e lucernari</i> . Sperimentazioni e Norme, Zenital, Monza, 2008	89
Figura 48. Posizionamento del supporto inclinato di 60° sotto la canna di sparo	89
Figura 49. Quadro comando motore di aspirazione. Fonte: Manuale di uso e manutenzione. Allegato 1.....	91
Figura 50. Quadro connessioni PC (sinistra) e quadro comando simulatore (destra). Fonte: Manuale di uso e manutenzione. Allegato 1.....	91
Figura 51. Posizionamento del provino sul supporto utilizzando il filo a piombo per determinare la zona di impatto	92
Figura 52. Inserimento delle sfere di poliammide all'imbocco della canna di sparo	92
Figura 53. Regolazione della pressione, tramite le valvole, fino ad eseguire il tiro alla velocità voluta	93
Figura 54. 1-Acqua satura di sale o essicante 2-Campione di prova 3-Sigillante 4-Nastro sigillante. Fonte: UNI EN 12086:2013	99
Figura 55. 1-Contenitore 2-Contrappeso 3-Campione di prova. Fonte: UNI EN 1609:2013	102
Figura 56. Schema della parete di prova con apertura. Fonte: UNI EN 16383:2017	103
Figura 57. Ciclo di calore e pioggia. 1-Ciclo 2-Calore 3-Pioggia 4-Scarico. Fonte: UNI EN 16383:2017	104
Figura 58. Cicli di caldo e freddo. 1-Ciclo 2-Calore 3- Freddo. Fonte: UNI EN 16383:2017	105
Figura 59. Cicli di pioggia, congelamento e scongelamento. 1- Ciclo 2-Freddo 3-Scarico 4-Pioggia. Fonte: UNI EN 16383:2017	105
Figura 60. 1- Altezza della sfera 2-Finitura 3-Rasatura 4-Pannello isolante 5-Supporto 6-tubo verticale (se previsto) 7-Sfera. Fonte: UNI EN 13497.....	109
Figura 61. 1-Dispositivo per il montaggio centrale delle piastre rigide 2-Piastre rigide 3-Rasante armato 4-Pannello isolante 5-Colla. Fonte: UNI EN 13494:2002	111
Figura 62. Polimerizzazione dello stirene. Fonte: https://www.chimicamo.org/chimica-generale/polistirolo.html	113
Figura 63. Reazione tra le molecole di un isocianato, che contiene due o più gruppi isocianato per molecola (-N=C=O) e con un poliolo, che contiene due o più gruppi -OH per molecola. Fonte: https://www.chimicamo.org/chimica-generale/poliuretani.html	116
Figura 64. Blocco di aereogel. Fonte: Courtesy NASA/JPL-Caltech - NASA Stardust Website.....	123
Figura 65. Classificazione dei rivestimenti - Prospetto 1. UNI 8752:1985.....	128
Figura 66. L'unità base dei silossani. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Silossani	129
Figura 67. Struttura dell'acido acrilico. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Acido_acrilico	130
Figura 68. Stoccaggio dei provini presso il laboratorio sistemi edilizi del DISEG (Politecnico di Torino)	132
Figura 69. Struttura della codifica utilizzata per i provini.....	133
Figura 70. Struttura gerarchica dell'AHP. Fonte: Bottero M. e Mondini G., <i>Dispense del corso di valutazione di impatto ambientale</i> , Politecnico di Torino, 2016	192
Figura 71. Scala fondamentale di Saaty.....	193
Figura 72. Struttura della matrice di confronto a coppie	193
Figura 73. Struttura gerarchica del problema decisionale	195
Figura 74. Calcolo semplificato dell'autovettore. Fonte: Rebaudengo M., <i>Dispense del corso fattibilità e valutazione economica dei progetti - Le analisi multicriteri</i> , Politecnico di Torino, 2019	195

Indice delle tabelle

Tabella 1. Requisiti fondamentali che caratterizzano le chiusure opache. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., <i>Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia</i> , Politecnico di Torino, Torino, 2016.....	6
Tabella 2. Principali proprietà dei materiali isolanti. Rielaborazione dalla fonte: De Angelis E. (edizione italiana a cura di), <i>Materiali isolanti</i> , UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009.	20
Tabella 3. Agenti in grado di modificare le prestazioni dell'organismo edilizio. Fonte: ISO 6241:1984	49
Tabella 4. Difetti minori. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia</i> , Maggioli Editori, Ravenna, 2003.....	71
Tabella 5. Difetti seri. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia</i> , Maggioli Editori, Ravenna, 2003.....	72
Tabella 6. Difetti gravi. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia</i> , Maggioli Editori, Ravenna, 2003.....	72
Tabella 7. Interventi di manutenzione preventiva programmata. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia</i> , Maggioli Editori, Ravenna, 2003	76
Tabella 8. Interventi di controllo e manutenzione secondo condizione. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia</i> , Maggioli Editori, Ravenna, 2003	77
Tabella 9. Interventi di manutenzione correttiva sui sistemi a cappotto. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., <i>Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia</i> , Maggioli Editori, Ravenna, 2003	78
Tabella 10. Livelli energetici e altezza dalla superficie del campione. Fonte: UNI EN 13497.....	109
Tabella 11. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 2	114
Tabella 12. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 3	115
Tabella 13. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 4	117
Tabella 14. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 5	119
Tabella 15. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 6	121
Tabella 16. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 7	122
Tabella 17. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 8	125
Tabella 18. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 9) e scheda dati di sicurezza	126
Tabella 19. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 10) e scheda dati di sicurezza	127
Tabella 20. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 11) e scheda dati di sicurezza	127
Tabella 21. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 12) e scheda dati di sicurezza	127
Tabella 22. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 13) e scheda dati di sicurezza	130
Tabella 23. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 14) e scheda dati di sicurezza	131
Tabella 24. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 15) e scheda dati di sicurezza	131
Tabella 25. Codifica delle prove eseguite	132
Tabella 26. Stratigrafie dei tipi di provini testati	136
Tabella 27. Descrizione dei livelli di danno.....	137
Tabella 28. Glossario delle lesioni.....	137
Tabella 29. Matrice riassuntiva dei risultati ottenuti	188

Tabella 30. Matrice di confronto a coppie tra i criteri considerati	195
Tabella 31. Matrice di confronto a coppie per il criterio della sostenibilità ambientale e il relativo vettore delle priorità (B).....	196
Tabella 32. Matrice di confronto a coppie per il criterio dei costi e il relativo vettore delle priorità (C).....	196
Tabella 33. Matrice di confronto a coppie per il criterio delle caratteristiche fisico-tecniche e il relativo vettore delle priorità (D).....	197
Tabella 34. Matrice di confronto a coppie per il criterio delle caratteristiche fisico-tecniche e il relativo vettore delle priorità (E)	197
Tabella 35. Classifica delle alternative.....	197

Abstract

Questa tesi propone una metodologia di sperimentazione e di confronto tra i diversi sistemi ETICS. Nei primi capitoli sono affrontati i temi dell'efficienza energetica, delle peculiarità dei vari sistemi di isolamento termico e dei materiali impiegati, con particolare approfondimento sui meccanismi di degrado e sulla durabilità del sistema a cappotto. Per quel che concerne la fase di sperimentazione trattata nei capitoli successivi, sono stati redatti alcuni protocolli di prova, riferendosi alle linee guida ETAG004 e alle vigenti normative, ritenuti i più caratterizzanti il sistema ETICS. All'interno della trattazione sperimentale, uno degli obiettivi principali è stato lo sviluppo di una nuova metodologia di prova, che determini il comportamento del sopracitato sistema tecnologico nei confronti della grandine di dimensioni anomale. A tale scopo, sono stati sottoposti alla prova di resistenza all'impatto 25 provini, suddivisi in gruppi in base al tipo di pannello isolante: EPS additivato con grafite, EPS ad alta densità, poliuretano, lana di roccia, fibra di legno, fibra di canapa e aerogel. Come risultato finale della tesi vengono confrontate le alternative sperimentate secondo i criteri della sostenibilità ambientale, dei prezzi, delle caratteristiche fisico-tecniche e della durabilità.

This thesis proposes a methodology of experimentation and comparison between different ETICS systems. The first chapters deal with the issues of energy efficiency, the characteristics of the various thermal insulation systems and the materials used, with particular attention to the mechanisms of degradation and durability of the coating system. As regards the experimental phase dealt with in the following chapters, a number of test protocols have been drawn up, referring to the ETAG004 guidelines and existing regulations, which are considered to be the most characteristic of the ETICS system. One of the main objectives of the experimental study was the development of a new test method, which would determine the behaviour of the aforementioned technological system against abnormally large hail. For this purpose, 25 test pieces were subjected to impact resistance test, divided into groups according to the type of insulation panel: EPS with graphite additive, high density EPS, polyurethane, rock wool, wood fiber, hemp fiber and aerogel. The final result of the thesis is the comparison of the tested options according to the criteria of environmental sustainability, prices, technical-physics characteristics and durability.

Premessa

Il seguente lavoro di tesi nasce dall'esigenza di valutare ed esplorare le diverse metodologie e le soluzioni sistemiche atte a migliorare le performance dell'involucro edilizio.

Negli ultimi anni, le repentine evoluzioni tecnologiche e le immissioni sul mercato di nuovi materiali e prodotti, più o meno innovativi, sono state accompagnate da uno sviluppo altrettanto accelerato ed incontrollato di degradi di natura patologica. L'elevata dinamica innovativa tende ad influenzare ed ibridare i sistemi costruttivi tradizionali, creando molto spesso problemi connessi a nuovi modi di guasto ed evoluzioni patologiche. Infatti, si tende sempre di più ad applicare le moderne tecnologie costruttive senza averle sperimentate con tempi e modalità sufficientemente adeguati.

Questo saggio si inserisce in quel complesso di tecnologie edilizie di isolamento termico esterno come alternativa al modo di costruire comunemente impiegato. Vengono messi a confronto tra loro diversi sistemi ETICS, considerando quali sono le procedure sperimentali per valutare le loro prestazioni. Per fare ciò si è reso necessario redigere dei protocolli di prova, riguardanti solo alcuni dei molteplici test per la certificazione del cappotto termico, basati sulle linee guida ETAG004 e sulle normative vigenti. In particolare, la tesi sviluppa una nuova metodologia di prova che determini il comportamento del sistema ETICS nei confronti della grandine di dimensioni anomale. Essa si verifica sempre più frequentemente ed imprevedibilmente nelle stagioni primaverili ed estive, causando effetti disastrosi. È stato indispensabile analizzare la normativa UNI 10890:2000 ed adattarla al caso in esame, in quanto essa descrive un metodo per la valutazione del comportamento di elementi di copertura sotto l'impatto simulato della grandine.

Dopo una parte teorica introduttiva, che non aveva l'obiettivo di perseguire risultati pratici se non l'analisi dei diversi sistemi di isolamento termico e delle patologie ad essi attribuibili, si sono esaminati i requisiti e le prestazioni dei suddetti. Allo scopo di attuare una metodologia di confronto, idonea e basata sulla sperimentazione, sono stati presi in esame diversi sistemi ETICS.

Essenziale è stato il supporto dell'azienda Amagpag, che ha collaborato alla stesura di questa tesi, coadiuvata dall'azienda produttrice Caparol, che ha realizzato i provini secondo quanto concordato in fase preventiva. I campioni sono stati prodotti sia in materiali tradizionali, come pannelli in EPS, poliuretano, lana di roccia e fibra di legno con rasature a base di leganti minerali, sia innovativi, come pannelli in aerogel e canapa con rasature rinforzate in fibre di carbonio. Le schede tecniche relative ai sopracitati materiali sono allegate alla fine di questa trattazione.

1 Introduzione

1.1 Involucro verticale opaco

1.1.1 Terminologia e classificazione

Il sistema edilizio, dove per sistema si intende l'insieme di entità legate tra loro da condizioni di relazione, è composto da **unità** ed **elementi**. Le unità possono essere di tipo ambientale (si identificano con un raggruppamento di attività compatibili spazialmente e temporalmente) o tecnologico (si identificano con un raggruppamento di funzioni, compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni ambientali). Mentre gli elementi possono essere di tipo spaziale (si identificano con una porzione di spazio fruibile destinata ad accogliere interamente o parzialmente una o più unità ambientali) o tecnico (si identifica con un prodotto edilizio più o meno complesso capace di svolgere completamente o parzialmente funzioni proprie di una o più unità tecnologiche).

Secondo quanto descritto dalla **UNI 8290-1:1981** (*Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.*), che ha lo scopo di unificare la terminologia nel campo dell'edilizia, la classificazione per il sistema tecnologico si fonda sui seguenti criteri:

- La scomposizione presenta tre livelli o insiemi denominati come segue:
 - classi di unità tecnologiche (primo livello);
 - unità tecnologiche (secondo livello);
 - classi di elementi tecnici (terzo livello).
- Le locuzioni che compongono i vari insiemi sono dette voci, selezionate secondo criteri di omogeneità:
 - le voci dei primi due livelli sono tali da essere le più opportune a rappresentare funzioni finalizzate a soddisfare le esigenze dell'utenza;
 - le voci del terzo livello corrispondono a classi di prodotti che configurano modalità di risposta complessiva o parziale alle funzioni delle unità tecnologiche.
- Ai fini operativi, la scomposizione può essere estesa ad ulteriori livelli (quarto livello e successivi), non citati nella norma ma che possono essere individuati secondo i seguenti criteri:
 - è opportuno che i livelli di classificazione, quarto e successivi, prefigurino oggetti sempre più particolari;
 - è necessario che le voci di ciascun livello siano omogenee tra di loro;
 - per uno stesso livello è possibile che esistano voci basate sulla scomposizione di diversi criteri non omogenei tra loro, in particolare sono utilizzabili riferimenti a complessità, tipo, forma, composizione, tecnica costruttiva, materiali costituenti.

Al N° d'ordine 3.2.1, della norma UNI precedentemente citata, viene definito il termine **chiusura verticale**: "Insieme degli elementi tecnici verticali del sistema edilizio aventi funzione di separare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno."

Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
Struttura portante (3.1)	Struttura di fondazione (3.1.1)	3.1.1.1. Strutture di fondazione dirette 3.1.1.2. Strutture di fondazione indirette
	Struttura di elevazione (3.1.2)	3.1.2.1. Strutture di elevazione verticali 3.1.2.2. Strutture di elevazioni orizzontali ed inclinate 3.1.2.3. Strutture di elevazione spaziali
	Struttura di contenimento (3.1.3)	3.1.3.1. Strutture di contenimento verticali 3.1.3.2. Strutture di contenimento orizzontali
Chiusura (3.2)	Chiusura verticale (3.2.1)	3.2.1.1. Pareti perimetrali verticali 3.2.1.2. Infissi esterni verticali
	Chiusura orizzontale inferiore (3.2.2)	3.2.2.1. Solai a terra 3.2.2.2. Infissi orizzontali
	Chiusura orizzontale su spazi esterni (3.2.3)	3.2.3.1. Solai su spazi aperti
	Chiusura superiore (3.2.4)	3.2.4.1. Coperture 3.2.4.2. Infissi esterni orizzontali
Partizione interna (3.3)	Partizione interna verticale (3.3.1)	3.3.1.1. Pareti interne verticali 3.3.1.2. Infissi interni verticali 3.3.1.3. Elementi di protezione
	Partizione interna orizzontale (3.3.2)	3.3.2.1. Solai 3.3.2.2. Soppalchi 3.3.2.3. Infissi interni orizzontali
	Partizione interna inclinata (3.3.3)	3.3.3.1. Scale interne 3.3.3.2. Rampe interne

Figura 1. Stralcio schema di classificazione del sistema tecnologico. Norma UNI 8290

L'utilizzo del termine involucro è piuttosto recente e nasce come evoluzione del concetto di chiusura, che identifica, come unità distinte tra loro, i tamponamenti esterni (orizzontali, verticali, opachi, trasparenti, etc.). L'involucro edilizio, termine che indica l'intero sistema di chiusura esterno, è articolato in diversi strati funzionali e materiali.

Il crescente interesse verso le problematiche ambientali ha fatto sì che l'involucro edilizio non venga più considerato solo come l'elemento separatore tra interno ed esterno, ma come un'interfaccia dinamica in continua ed attiva interazione con i fattori climatici esterni (progetti *green building*). L'efficienza dell'involucro è data dalla capacità di reagire in maniera flessibile alla variabilità delle condizioni ambientali, minimizzando le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando l'innalzamento della temperatura in quello estivo, con il conseguente miglioramento del comfort abitativo e della qualità ambientale.

Una ulteriore proposta di classificazione del sistema tecnologico viene fatta dal dipartimento di ingegneria Edile del Politecnico di Torino (Figura 2), a cura dei professori Morra L. e Caldera C. in CNR "Progetto finalizzato edilizia-innovazione", *Controllo e qualificazione dell'attività manutentiva*, Bologna, 1996.

Struttura portante (1)	Fondazioni (1.1) Strutture elevantisì sulle fondazioni (1.2)
Involucro verso il suolo (2)	Pareti contro terra (2.1) Coperture sotto terra (2.2) Impalcati inferiori verso terra (2.3) Finiture superficiali, anche a favore dell'immagine architettonica interna (2.4)
Involucro sopra il suolo (2)	Pareti perimetrali (2.5) Impalcati inferiori verso lo spazio aperto (2.6) Infissi esterni (2.7) Coperture (2.8) Finiture superficiali, anche a favore dell'immagine architettonica interna ed esterna (2.4)
Partizioni interne (3)	Pareti di partizione interna (3.1) Impalcati di partizione interna (3.2) Serramenti interni (3.3) Barriere interne di protezione e separazione (3.4) Strutture di collegamento interne (3.5) Finiture superficiali, anche a favore dell'immagine architettonica interna (2.4)
Partizioni esterne (4)	Impalcati di partizione esterna (4.1) Elementi di protezione superiore (4.2) Barriere esterne di protezione e separazione (4.3) Serramenti all'aperto (4.4) Strutture di collegamento esterne (4.5) Finiture superficiali, anche a favore dell'immagine architettonica esterna (2.4)
Impianti (5)	Impianto per la sicurezza antincendio Impianto per la sicurezza anti scariche elettriche atmosferiche

Figura 2. Stralcio della classificazione del sistema tecnologico, raggruppamento omogeneo per subsistemi. Fonte: Morra L. e Caldera C. in CNR "Progetto finalizzato edilizia-innovazione", *Controllo e qualificazione dell'attività manutentiva*, Bologna, 1996.

Viene definito alla nota 2.5, descritta dal documento sopra riportato, il raggruppamento **pareti perimetrali**: *"raccolge i subsistemi aventi funzione di separare lo spazio artificiale utile dalle sollecitazioni del contesto naturale circostante"*.

Dove l'involucro viene paragonato ad una terza pelle: sequenza delle tre pelli che caratterizzano la vita umana svolgendo funzione protettiva, fronteggiando quegli agenti altrimenti responsabili di danni irreversibili all'organismo umano e assicurando benessere e salute. Infatti il tessuto cutaneo che riveste il nostro corpo e l'abbigliamento sono paragonabili all'involucro dell'abitazione, inteso non come "chiusura", separazione tra interno ed esterno, ma come frontiera di trasformazione in grado di governare le condizioni ambientali interne rispetto a quelle esterne¹.

1.1.2 Requisiti

Per *requisito* si intende la trasposizione di un'esigenza in un insieme di caratteri che la contraddistinguono. Mentre quando si parla di *prestazione* ci si riferisce al comportamento di un elemento in determinate condizioni di uso e di sollecitazione². Nella tabella sottostante vengono riportati i requisiti che devono possedere le chiusure opache.

¹ Caldera C., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, 2018

² Maggi P.N., *Metodi e strumenti di progettazione edilizia*, Clup, Milano, 1988

Requisito	Descrizione
Controllo della condensa interstiziale	Attitudine ad evitare la formazione di acqua di condensa all'interno degli elementi di involucro
Controllo della condensa superficiale	Attitudine ad evitare la formazione di acqua di condensa sulla superficie degli elementi
Controllo della reazione al fuoco	Attitudine a non accendersi per effetto di limitati inneschi e a non propagare il fuoco e a non sviluppare fumi o gas tossici in caso di incendio
Controllo dell'inerzia termica estiva	Attitudine a limitare la trasmissione delle variazioni termiche esterne proprie della stagione estiva, all'interno dell'involucro edilizio
Controllo dell'inerzia termica invernale	Attitudine a limitare la trasmissione delle variazioni termiche esterne proprie della stagione invernale, all'interno dell'involucro edilizio
Isolamento acustico ai rumori	Attitudine a limitare il passaggio dei rumori aerei
Isolamento termico	Attitudine a limitare il passaggio di calore in funzione delle condizioni climatiche
Non rumorosità	Attitudine a limitare la produzione di rumore sotto l'azione di determinate sollecitazioni naturali
Resistenza agli urti	Attitudine a contrastare il prodursi di rotture o deformazioni sotto l'azione di determinate sollecitazioni
Resistenza al fuoco	Attitudine a mantenere, sotto l'effetto d'incendio, la stabilità e la funzionalità minima per un tempo specificabile
Resistenza al vento	Attitudine a non produrre cedimenti o deterioramenti e a limitare deformazioni per effetto del vento
Resistenza meccanica	Attitudine a contrastare il prodursi di rotture o deformazioni sotto l'azione di determinate sollecitazioni
Resistenza meccanica ai carichi sospesi	Attitudine a contrastare il prodursi di rotture o deformazioni sotto l'azione di determinati carichi sospesi
Tenuta all'acqua	Attitudine a non permettere che l'acqua meteorica passi all'interno o in parti non previste per essere bagnate
Tenuta all'aria	Attitudine a limitare il passaggio all'interno dell'aria esterna in sovrappressione
Permeabilità al vapore	Attitudine a controllare il passaggio del vapore acqueo attraverso l'involucro

Tabella 1. Requisiti fondamentali che caratterizzano le chiusure opache. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino, 2016

1.2 Problematiche energetiche

Oggi, a causa dell'incremento delle attività industriali e urbane nei Paesi sviluppati e dell'aumento della popolazione, si è arrivati ad un incremento della richiesta di energia. In particolare in Europa il 40% è dovuto al settore edilizio, sia commerciale che residenziale, il 32% al settore industriale e il restante ai trasporti³.

Quasi metà del patrimonio edilizio europeo comprende edifici costruiti prima del 1960, i quali rispetto a quelli di nuova costruzione, contribuiscono maggiormente al consumo di energia.

Gli obiettivi climatici ed energetici proposti dall'Unione Europea, per il periodo dal 2021 al 2030, sono i seguenti⁴:

- riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (dai livelli del 1990);
- utilizzo di almeno il 32% di quota per le energie rinnovabili;
- miglioramento di almeno il 32,5% dell'efficienza energetica.

I precedenti target sono stati adottati per la prima volta dal Consiglio europeo nell'ottobre 2014. Gli obiettivi per le energie rinnovabili e l'efficienza energetica sono stati rivisti al rialzo nel 2018.

Per quanto riguarda l'efficienza energetica si fa riferimento al seguente quadro legislativo europeo e nazionale:

- D.Lgs. 192/2005 e s.m.i, *attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*;
- Direttiva 2009/28/UE, *sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili*;
- Direttiva 2010/31/UE, *sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD)*;
- D.Lgs. 28/2011 e s.m.i, *attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili*;
- Direttiva 2012/27/UE, *sull'efficienza energetica (DEE)*;
- D.Lgs. 102/2014 e s.m.i, *attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*;
- D.M. 26/06/2015, *applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*.
- Direttiva 2018/844, pubblicata il 19 giugno sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea e datata 30 maggio 2018, *modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD) e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (DEE)*.

³ European Insulation Manufacturers Association, *Ecofys VII- U values for Better Energy Performance of Buildings*, EURIMA, 2007

⁴ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

1.2.1 La certificazione energetica

La maggior parte degli edifici esistenti ha un consumo di energia annuo compreso tra 120 kWh/m² e 150 kWh/m², in alcuni casi ci si trova anche al di sopra dei 200 kWh/m² annui⁵. La prestazione energetica degli edifici è determinata sulla base della quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate ad un uso standard dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore non residenziale, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili.

La *certificazione energetica degli edifici* è una procedura di valutazione volta a promuovere il miglioramento energetico degli edifici in termini di efficienza energetica, atta ad informare i proprietari e gli utilizzatori dell'immobile circa i consumi energetici richiesti per mantenere determinate condizioni ambientali interne. La certificazione energetica è un documento ufficiale, introdotto dalla normativa europea sulle certificazioni energetiche (2002/91/CE), contenuta nel D.Lgs 192/2005, che indica il rendimento o la prestazione energetica di un edificio. Si tratta di un documento redatto da un tecnico abilitato, chiamato certificatore energetico, che tiene conto delle caratteristiche architettoniche dell'edificio, dei materiali impiegati, della zona climatica, dell'esposizione, del tipo di riscaldamento e di tutto ciò che può influire sui consumi energetici. Diverse nazioni in tutto il mondo hanno creato dispositivi capaci di calcolare l'efficienza energetica degli edifici, sia estiva che invernale: l'Unione Europea ha emanato una serie di direttive per dare ai singoli stati membri dispositivi simili per la valutazione energetica. Dal 2015 sono in vigore le nuove regole sui requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e per la redazione dell'**APE** (Attestato di Prestazione Energetica).

Nel seguito è fornita la metodologia di classificazione adottata a livello nazionale per il raggiungimento degli obiettivi posti dalla direttiva 2010/31/UE, in relazione allo stato del patrimonio edilizio nazionale.

La classe energetica dell'edificio è determinata sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio, per mezzo del confronto con una scala di classi prefissate, ognuna delle quali rappresenta un intervallo di prestazione energetica definito. La classe energetica è contrassegnata da un indicatore alfabetico in cui la lettera G rappresenta la classe caratterizzata dall'indice di prestazione più elevato (maggiori consumi energetici), mentre la lettera A rappresenta la classe con il miglior indice di prestazione (minori consumi energetici). Un indicatore numerico, affiancato alla lettera A, identifica i livelli di prestazione energetica in ordine crescente a partire da 1 (rappresentante del più basso livello di prestazione energetica della classe A). Un apposito spazio, se barrato, indica che si tratta di un "Edificio a energia quasi zero".

⁵ <http://old.enea.it/com/web/pubblicazioni/rapporto99.html>

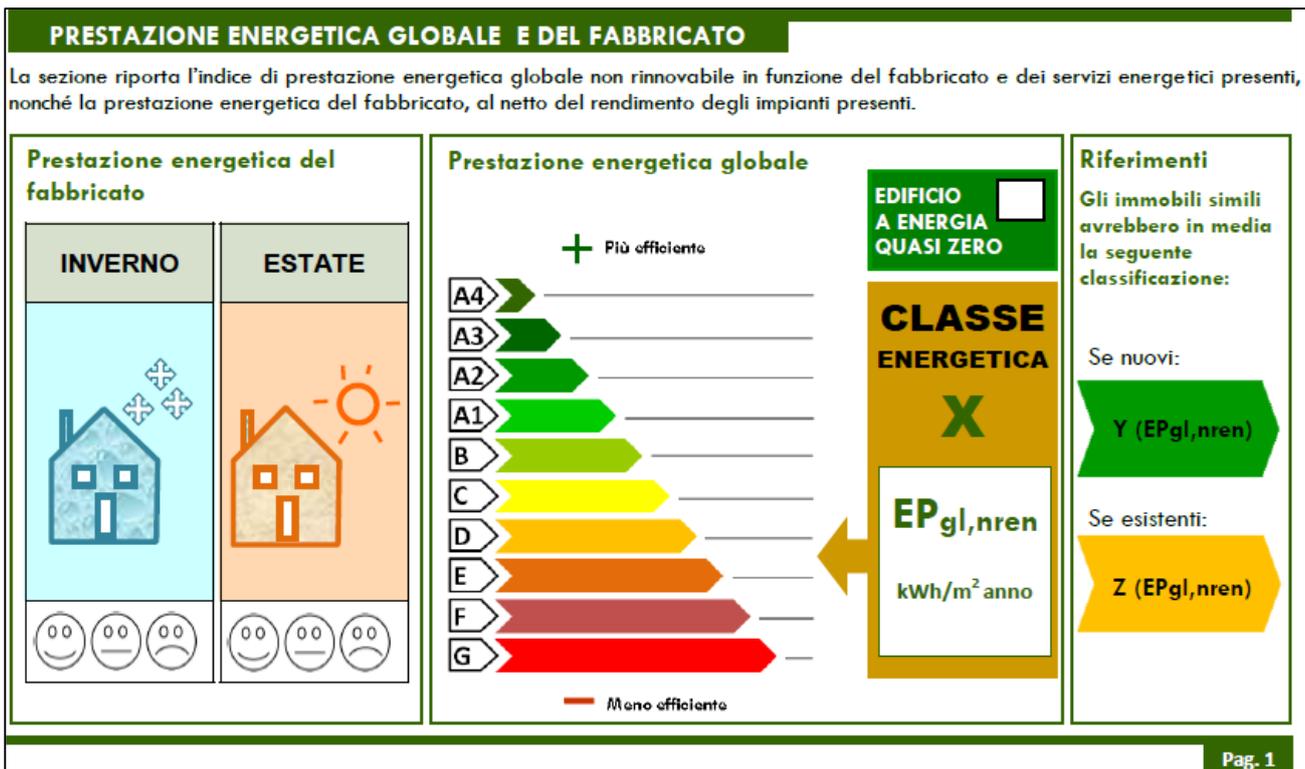


Figura 3. Parte del format di Attestato di Prestazione Energetica degli edifici (APE). Fonte: Appendice B, D.M. 26/06/2015

Per la compilazione e la stampa dell'attestato di prestazione energetica è possibile ricorrere all'utilizzo di software. Ad esempio il modulo EC705-Attestato energetico, della software-house **EDILCLIMA**, conforme alle Linee Guida Nazionali 2015 (D.M. 26/6/2015) e al D.M. 26/6/2009 (Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici).

Per case a basso consumo energetico si intendono unità abitative caratterizzate da un fabbisogno di calore di 50 kWh/m² annui. Inoltre all'interno dell'articolo 2 della Direttiva Europea 31/2010/UE viene data la definizione di edificio ad **energia quasi zero**: "edificio ad altissima prestazione energetica, (...). Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze". In termini di efficienza energetica il fabbisogno termico per il riscaldamento invernale non deve superare i 15 kWh/m² annui mentre quello complessivo (inclusi i consumi per altri usi domestici) i 42 kWh/m² annui.

Oltre la certificazione APE, esistono altri enti certificatori per costruzioni energeticamente efficienti e sostenibili, come ad esempio **CasaClima**. Il certificato energetico CasaClima è un documento redatto in linea con la Direttiva del Parlamento Europeo sulla prestazione energetica nell'edilizia (2010/31/UE). L'Agenzia CasaClima è un ente di certificazione pubblico ed indipendente. Essa ha come obiettivo quello di coniugare risparmio, benessere abitativo e sostenibilità, attraverso le sue categorie che permettono di identificare il grado di consumo energetico di un edificio⁶:

- *CasaClima Oro*: fabbisogno energetico inferiore a 10 kWh/m² annui.
- *CasaClima A*: fabbisogno energetico inferiore a 30 kWh/m² annui.
- *CasaClima B*: fabbisogno energetico inferiore a 50 kWh/m² annui.

⁶ <https://www.agenziasaclima.it/it/certificazione-edifici/classi-casaclima-1409.html>

1.2.2 L'influenza dell'involucro edilizio

Gli edifici devono raggiungere livelli di efficienza energetica e avere un design rispettoso dell'ambiente e sostenibile, al fine di ridurre il consumo di materie prime, l'inquinamento dell'ambiente e la qualità dell'aria sia interna che esterna. L'efficienza energetica può essere migliorata adottando strategie energetiche attive o passive. Con strategie attive vengono classificati gli interventi attuati sugli impianti di riscaldamento, raffrescamento e di ventilazione, mentre per strategie passive si intendono i miglioramenti riguardanti l'involucro dell'edificio.

Come già precedentemente detto, con il termine involucro si identifica l'insieme degli elementi che separano l'ambiente interno dall'esterno, il quale permette di controllare le condizioni interne nonostante quelle esterne siano caratterizzate da un regime non stazionario. L'involucro edilizio, influisce sul bilancio termico dell'edificio, in quanto gli elementi che lo costituiscono partecipano sia alla trasmissione termica sia all'accumulo e al rilascio di calore, infatti la sua funzione principale è quella di ridurre le dispersioni di calore dall'interno verso l'esterno nel periodo invernale. In altre parole l'involucro edilizio è la fonte principale delle dispersioni che avvengono nell'edificio e le strutture opache verticali, data la loro ampia superficie di interfaccia con l'esterno, sono quelle maggiormente responsabili dei fenomeni di dispersioni. Inoltre la maggior parte degli edifici presenti nel patrimonio italiano non è adeguatamente isolata ed è caratterizzata dalla presenza di svariate tipologie di ponti termici. I ponti termici risultano essere causa delle dispersioni di calore e provocano il raffreddamento delle superfici interne dell'edificio con conseguente formazione di condensa e muffa. La condensa è responsabile del degrado dei materiali costituenti l'involucro edilizio, mentre muffa e funghi provocano il peggioramento della qualità dell'aria interna. La progettazione energetica ci permette di selezionare ogni singolo elemento costruttivo in funzione della sua qualità termica e allo stesso tempo permette di orientare le scelte progettuali verso la massimizzazione della convenienza economica. Tuttavia, bisogna progettare ogni singolo edificio in modo da adattare le scelte progettuali alle sue peculiarità, come ad esempio: la zona climatica in cui è ubicato, il suo orientamento, il rapporto tra superficie e volume, gli eventuali elementi ombreggianti, l'integrazione impiantistica e la connotazione architettonica.

In sintesi per una corretta progettazione integrale dell'edificio, sostenibile e a basso impatto ambientale, bisogna fare riferimento ai seguenti principi:

- ✓ Massimizzare l'isolamento termico delle pareti, delle coperture e di tutti gli elementi disperdenti dell'involucro.
- ✓ Serramenti che limitino le dispersioni termiche verso l'esterno, orientati in modo tale da favorire gli apporti termici solari gratuiti nel periodo invernale e efficacemente ombreggiati con schermature fisse o mobili per limitare il surriscaldamento nel periodo estivo.
- ✓ Riduzione e/o eliminazione dei ponti termici.
- ✓ Ventilazione naturale e/o meccanica (ibrida) con recuperatore di calore.
- ✓ Tenuta all'aria dell'involucro.
- ✓ Manutenibilità.

2 Sistemi di isolamento termico

L'isolamento termico deve essere realizzato con particolare cura ed attenzione, poiché un isolamento inadeguato, scorrettamente posato o una parete non trattata con i giusti accorgimenti, riduce le prestazioni energetiche dell'intero organismo edilizio. L'isolamento termico interessa soprattutto l'involucro dell'edificio: muri perimetrali, sottotetti e solai contro terra. Inoltre è buona prassi coibentare anche le pareti o i solai che confinano con locali non riscaldati come ad esempio cantine, autorimesse e scale di servizio.

In edilizia esistono diverse tecnologie relative all'impiego dell'isolamento termico, che si distinguono principalmente per il posizionamento dell'isolante: all'esterno, all'interno o in intercapedine. La posizione dell'isolante influisce sulla distribuzione della temperatura e della pressione di saturazione del vapore acqueo nella parete, con le relative conseguenze che riguardano il benessere termoigrometrico.

2.1 Isolamento interno

In Italia, l'isolamento applicato dall'interno costituisce una pratica poco diffusa e si preferisce coibentare dall'esterno o in intercapedine. Infatti, esso può essere considerato come una soluzione migliorativa da praticare solo in caso di interventi su edifici la cui facciata debba rimanere a vista.

Il materiale isolante viene posato in corrispondenza dei muri esterni, dei sottotetti e dei muri controterra. In pratica viene applicato sulla superficie interna dell'involucro edilizio o del muro di confine tra ambiente riscaldato e non riscaldato.

Tuttavia questa soluzione presenta diversi inconvenienti:

- lo spessore degli isolanti può ridurre sensibilmente la superficie abitabile;
- l'inerzia termica del muro non viene sfruttata;
- i ponti termici sono numerosi e la loro eliminazione risulta difficoltosa con rischi di condensazione all'interno della parete.

Dall'altra parte questo tipo di isolamento permette di ottenere un rivestimento impeccabile della parete interna (indipendentemente dallo stato del muro in origine) e la posa risulta meno complicata e dispendiosa (non è necessario la realizzazione di ponteggi esterni).

La tecnica di isolamento termico posto sulla faccia interna della parete può essere realizzata principalmente in tre modi:

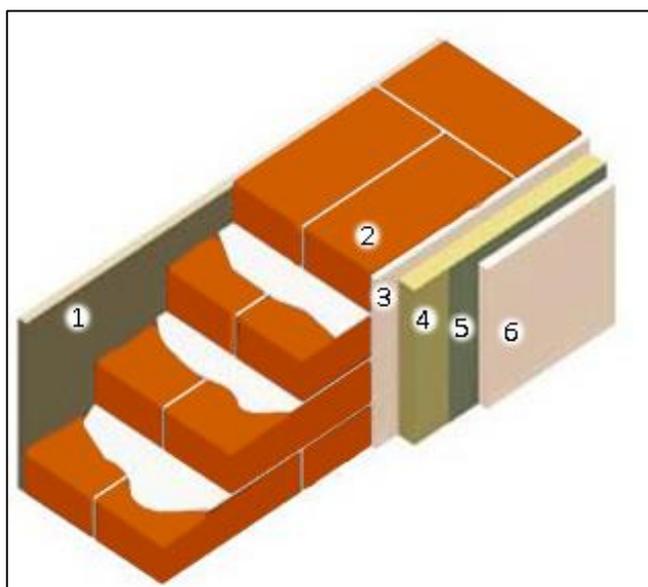
Intonaco termoisolante. Questa tecnica permette di ottenere spessori complessivi molto ridotti, pari a circa 4 -5 cm, ovviando così alla riduzione della superficie di calpestio ma bisogna tenere presente che tale materiale tende ad assorbire l'umidità incorporata nella parete. L'intonaco deve possedere caratteristiche termoisolanti e contenere materiali inerti leggeri, miscelati con leganti

idraulici quali calce o cemento. Le superfici da intonacare si devono presentare sane, pulite, le sporgenze eccessive vanno rimosse ed i difetti di planarità devono essere eliminati. Parti incoerenti o in via di distacco devono essere asportate e ripristinate.

Pannelli isolanti. Questi sono incollati sulla faccia interna del muro, e successivamente intonacati su rete porta intonaco. Anche in questo caso è necessario procedere alla pulizia della superficie muraria prima di procedere alla posa del pannello, o effettuare operazioni di rifacimento e eventuale consolidamento. Rispetto alla prima soluzione quest'ultima comporta uno spessore complessivo maggiore e un maggior tempo di posa in opera, ma consente di ottenere migliori prestazioni dal punto di vista termico.

In entrambe le soluzioni è possibile l'impiego di materiali isolanti naturali: nel primo caso sotto forma di granuli naturali (sia di origine minerale che vegetale) impiegati come inerti per la preparazione dell'intonaco (perlite espansa, vermiculite, granulato di sughero, etc.), nel secondo caso in pannelli (di origine vegetale o minerale) come pannelli in fibra di cocco, juta, canapa, vetro cellulare, etc.

Pannelli isolanti rivestite in cartongesso. Questa soluzione consente di eliminare i ponti termici tra gli spigoli verticali e tra parete e serramenti, ma non consente di eliminare il ponte termico che si forma fra solaio e parete. Si tratta di una soluzione piuttosto economica e di facile esecuzione, soprattutto se si deve intervenire su edifici esistenti. Per questo tipo di soluzione si dispongono montanti, ancorati al supporto murario mediante elementi metallici, ad un interasse di circa 1,20 m. Successivamente si procede alla posa del pannello isolante e in ultimo alla lastra in cartongesso. Una volta avvenuto il fissaggio si procederà alla stuccatura di tutti i giunti e alla posa degli strati di finitura. La manutenzione in questo caso risulta più semplice poiché sfrutta i vantaggi di un assemblaggio a secco, che consente la sostituzione dei singoli elementi.



1. Intonaco esterno
2. Muratura in laterizio
3. Intonaco di regolarizzazione e collante
4. Pannello isolante
5. Rete porta intonaco
6. Intonaco interno

Figura 4. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento interno.
Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino, 2016

2.2 Isolamento in intercapedine

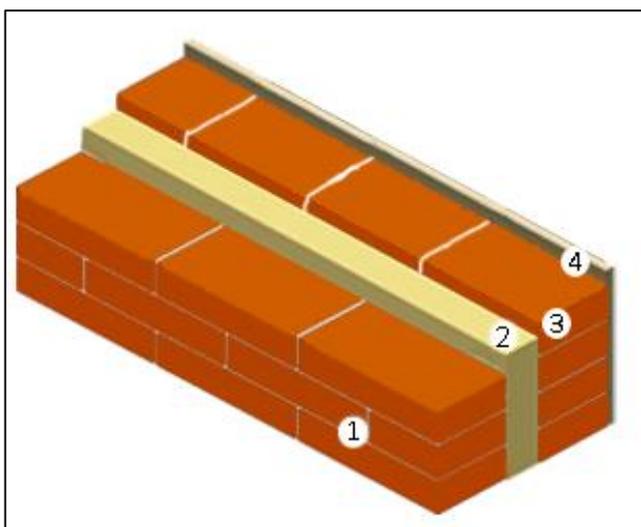
I muri con intercapedine sono costituiti da due paramenti in laterizio (interno ed esterno), tra i quali vi è lo spazio che consente l'inserimento del materiale termoisolante.

Questo tipo di muratura presenta soprattutto i seguenti vantaggi:

- Il muro portante posto all'interno possiede un'elevata inerzia termica, accumula e mantiene il calore, assicurando un ottimo isolamento e comfort termico.
- Non si creano ponti termici con i solai, se il muro portante è posto esclusivamente all'interno.
- L'intercapedine permette l'utilizzo di una grande varietà di materiali, anche di quelli sciolti (fibre di cellulosa, granulato di perlite, vermiculite espansa, granulato di sughero, etc.) poco adatti ad una applicazione all'esterno.
- Le caratteristiche del materiale laterizio consentono alla parete (esterna) faccia a vista di resistere, per lungo tempo, ai cicli di gelo e disgelo che possono verificarsi durante la vita del fabbricato.
- La parete ed il maggior peso del mattone faccia a vista garantiscono un potere fonoisolante molto alto (circa 50 decibel). Quest'ultimo aumenta di 0,7 decibel per ogni incremento di 10 kg/m² del peso della muratura.

Per quanto riguarda la posa dei mattoni esterni faccia a vista, essi vengono posizionati a fascia con sfalsamento di mezzo mattone, con giunti di malta verticali e orizzontali costipati della stessa composizione della malta di allettamento specifica per muratura faccia a vista.

Le due pareti devono essere mutuamente collegate mediante ancoraggi metallici in acciaio per evitare il ribaltamento del paramento esterno.



1. Muratura esterna, mattoni faccia a vista
2. Pannello o materiale isolante sciolto
3. Muratura interna
4. Intonaco interno

Figura 5. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento in intercapedine. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino. 2016

2.2.1 Intercapedine a cassa vuota

Nelle murature a doppia parete con intercapedine a cassa vuota, è sempre consigliabile garantire un minimo di aerazione (dell'intercapedine) per smaltire eventuale umidità dovuta a fenomeni di condensa, o a infiltrazioni meteoriche causate da difetti esecutivi e di progettazione. A tale scopo è sufficiente prevedere, nella parte bassa della muratura, delle aperture che possono essere realizzate sia mediante griglie metalliche collocate in sostituzione di un mattone (circa ogni due metri), oppure non stilando con malta alcuni giunti verticali della prima fila di mattoni (almeno uno ogni tre).

Nel caso in cui il pannello isolante sia **posato nella parte interna della parete esterna**, viene lasciata una lama d'aria dello spessore di qualche centimetro verso l'interno. Questo fa in modo che la parete interna sia protetta da eventuali infiltrazioni d'acqua e contribuisce alla resistenza termica della parete.

Nel caso in cui il pannello isolante sia **posato nella parte esterna della parete interna**, è fondamentale che abbia un corretto comportamento nei confronti della diffusione del vapore acqueo e dell'umidità. Infatti è necessario che non si verifichi il fenomeno di condensa interstiziale, dato che molti dei materiali isolanti in commercio assorbono facilmente l'umidità che ne causa il decadimento prestazionale.

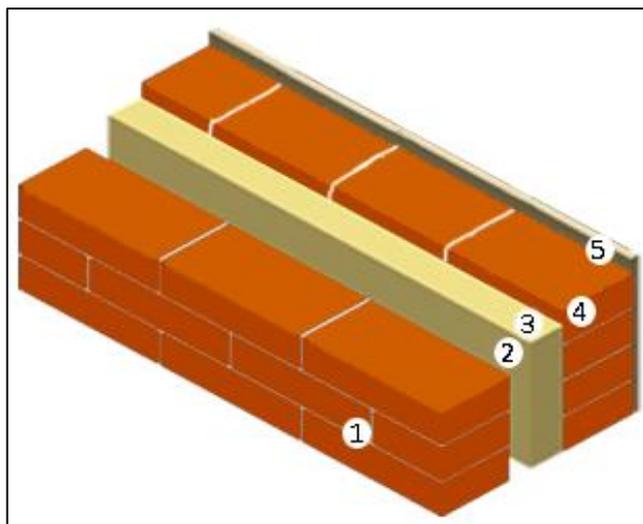
Pertanto, è bene costruire intercapedini ventilate che permettano a questi materiali di asciugarsi ed evitare la proliferazione di funghi e muffe. La ventilazione si ottiene tramite opportune aperture nel paramento esterno e le proprietà termoisolanti del muro dipendono principalmente dal paramento interno e dallo strato termoisolante. Il problema dei ponti termici, tipico del tamponamento di strutture a telaio, è facilmente risolvibile facendo passare il paramento esterno e lo strato termoisolante davanti ai pilastri e ai solai.

I principali vantaggi dell'isolamento in intercapedine nelle pareti perimetrali sono:

- Innesco di un minimo di "volano termico" nella parete interna che garantisce una più rapida messa a regime della temperatura ambientale quando il riscaldamento è intermittente.
- Garanzia di impermeabilità all'aria (e quindi al rumore) e all'acqua, grazie alla presenza dall'intercapedine d'aria.
- Miglioramento del comfort ambientale invernale. Infatti la presenza dell'isolante fa aumentare la temperatura superficiale della parete interna, eliminando così la possibilità del formarsi della condensa superficiale.
- Abbattimento efficace del rumore alle differenti frequenze grazie alla struttura della parete che presenta due strati di chiusura con diversa massa. L'isolante interposto incrementa le prestazioni fonoisolanti della struttura multistrato.
- Riduzione delle dilatazioni termiche a causa della maggior massa del mattone e pertanto le sollecitazioni nei punti di contatto fra struttura e tamponamento sono minime.

Per entrambi i casi di posa del coibente (sul paramento interno e su quello esterno), è consigliabile:

- fissare sul lato interno della parete esterna i pannelli coibenti, mediante punti di malta adesiva;
- rivolgere la barriera al vapore verso l'interno dell'ambiente;
- sigillare con nastro adesivo plastificato e far combaciare i giunti tra pannello e pannello.



1. Muratura esterna, mattoni faccia a vista
2. Intercapedine di aria
3. Pannello isolante
4. Muratura interna
5. Intonaco interno

Figura 6. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento in intercapedine a cassa vuota. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino, 2016

Miglioramento energetico tramite la tecnica di insufflaggio. La tecnica dell'insufflaggio in intercapedine a cassa vuota, consiste nell'inserimento di materiale isolante sciolto all'interno dell'intercapedine presente tra le murature perimetrali dell'edificio. Tale operazione viene svolta praticando dei fori sul lato esterno o interno della muratura distanziati in modo regolare di circa 80-100 cm e distanti da pavimenti e soffitti di circa 30 cm. Tale tecnica viene applicata anche per isolare sottotetti o le cavità costruttive di altra natura come cavedi e giunti. Lo svantaggio principale di questa procedura è dovuto al fatto che, non si ha alcun controllo visivo di come e dove si deposita il materiale isolante all'interno della muratura. Infatti non si può garantire che, il materiale insufflato, occupi in modo omogeneo e compatto tutto lo spazio senza lasciare vuoti o accumuli. Inoltre non si eliminano i ponti termici, al contrario può esserci la possibilità che si formino in corrispondenza dei solai. Di contro la tecnica dell'insufflaggio ha dei costi di realizzazione molto più contenuti rispetto alle soluzioni esistenti e una posa in opera molto più rapida.

2.2.2 Facciata ventilata

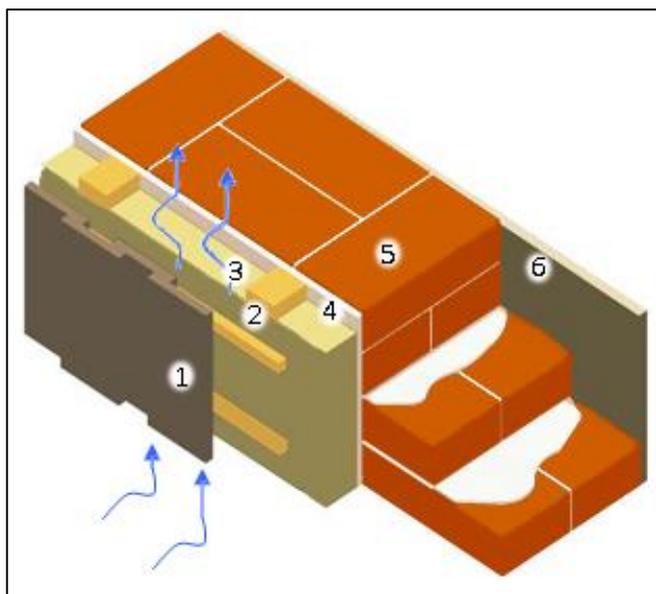
Dal punto di vista costruttivo una parete ventilata si presenta come un rivestimento esterno fissato al muro perimetrale dell'edificio mediante un sistema di intelaiatura costituito da montanti e traversi, in lega di alluminio o in legno, che consentono il passaggio dell'aria tra muro e rivestimento. Inoltre viene inserito, in questa intercapedine ventilata, uno strato di materiale isolante fissato alla parete esterna dell'edificio. Il sistema costituito dalla facciata ventilata può essere impiegato sia su pareti di nuova costruzione che su muri preesistenti. Nel caso in cui il telaio sia in legno, è necessario valutare la vulnerabilità all'aggressione di batteri e umidità. Per le giunzioni fra gli elementi del paramento esterno vanno impiegate tecniche a incastro, in modo da ridurre l'uso di colle. Per garantire la ventilazione naturale della parete è fondamentale lasciare due aperture, una in superiore ed una in corrispondenza dell'estremità inferiore, proteggendole da insetti e volatili mediante opportune griglie metalliche.

Il comportamento termico della facciata ventilata è determinato dallo sfruttamento dell'effetto camino, che si genera grazie allo strato d'aria compreso fra il paramento e la parete dell'edificio, caratterizzato da una circolazione naturale dovuta a sovra o sotto-depressioni (a seconda della stagione) dell'aria contenuta nell'intercapedine rispetto all'aria esterna. Per poter ottenere questo effetto, l'intercapedine d'aria deve avere spessore tra i 5 e i 7 cm. In prossimità dei giunti si applicano dei paraspigoli se gli elementi di rivestimento sono di grandi dimensioni, oppure si sovrappongono semplicemente se di piccole dimensioni. La normativa di riferimento è la **UNI 11018:2003** (*Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione - Rivestimenti lapidei e ceramici*).

In estate il fenomeno di ventilazione naturale creata dall'intercapedine porta alla diminuzione della trasmissione di calore fra interno ed esterno, grazie alla minore differenza di temperatura tra le superfici del muro. In inverno invece si potrebbe verificare la diminuzione della temperatura sulla superficie dell'isolante interno all'intercapedine, riducendone la prestazione, ma tale effetto penalizzante risulta essere limitato dalla lieve differenza di temperatura tra aria esterna e intercapedine, che diminuisce l'effetto camino pur mantenendo gli altri aspetti positivi quali la permeabilità al vapore della parete e l'eliminazione dei ponti termici. Tuttavia, in quest'ultimo caso, è possibile prevedere un sistema di sportelli mobili in modo da poter limitare la ventilazione.

I principali vantaggi sono:

- Ottimo isolamento termico e acustico: infatti la facciata ventilata assicura un notevole miglioramento riguardante la dispersione della quantità di vapore interna alla parete in muratura (sia proveniente dall'interno dell'edificio, sia depositatasi all'interno della muratura stessa in fase di costruzione) attraverso l'effetto camino, con conseguente beneficio per la durabilità del muro stesso.
- Facilità di installazione: applicabilità anche a muri non esattamente planari, grazie alle compensazioni consentite dalle strutture di ancoraggio (ideale pertanto per ristrutturazioni di edifici).
- Facilità di manutenzione: facile sostituibilità degli elementi rotti o usurati, grazie al sistema costruttivo a secco.
- Garanzia di prolungata efficienza dello strato di materiale isolante, mantenuto perfettamente asciutto dal continuo ricircolo di aria in prossimità della sua superficie.
- Migliore resistenza agli shock termici, rispetto ai sistemi di rivestimento tradizionali, prodotti dall'ambiente esterno.
- Migliore resistenza agli assestamenti strutturali dell'edificio, grazie all'utilizzo come paramento esterno di più elementi fissati in modo indipendente alla sottostruttura. In tal modo i singoli elementi sono in grado di assorbire le dilatazioni termiche e le deformazioni prodotte dall'edificio, senza che insorgano tensioni nel rivestimento in grado di generare fenomeni di degrado della facciata, con conseguenti esigenze di manutenzione e ripristino.



1. Rivestimento di protezione esterno
2. Aria di ventilazione
3. Pannello isolante e telaio di sospensione
4. Intonaco di regolarizzazione
5. Muratura in laterizio
6. Intonaco interno

Figura 7. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento a facciata ventilata. Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino, 2016

2.3 Isolamento esterno

L'isolamento applicato dall'esterno è la soluzione più diffusa, sia in caso di ristrutturazione totale o parziale, sia per la realizzazione di nuove costruzioni. La posa in opera prevede un isolante posato sulla superficie esterna della facciata e finito con un intonaco o rivestito da materiali resistenti agli agenti aggressivi proveniente dall'esterno. Questo tipo di posa è quello che garantisce le migliori prestazioni energetiche e prende il nome di sistema a cappotto.

Infatti:

- L'isolamento continuo e uniforme elimina i ponti termici, evitando così il formarsi di muffe da condensa del vapore, quindi maggiore risparmio energetico e maggiore salubrità degli ambienti interni.
- L'elevata inerzia termica della muratura migliora il comfort interno.
- C'è una riduzione dello spessore delle pareti perimetrali con il conseguente aumento delle superfici abitabili.
- La coibentazione risulta economicamente conveniente e rallenta il naturale processo di degrado degli edifici.

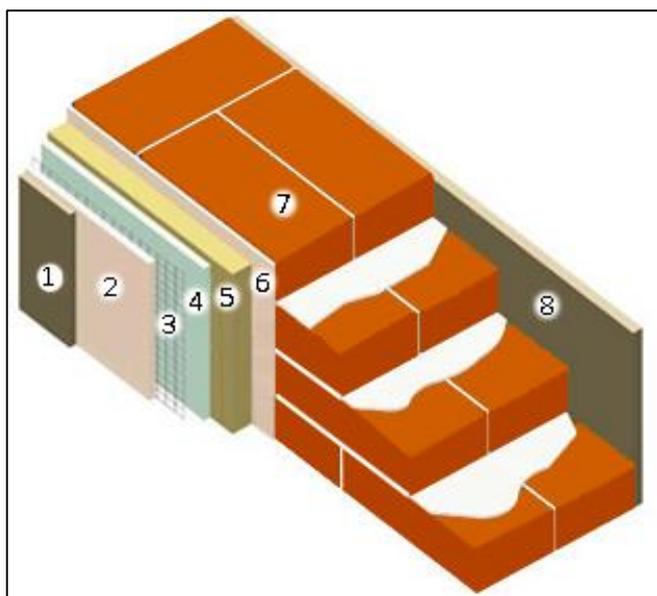
Lo svantaggio principale è nella minore durata dello strato di rivestimento della facciata rispetto alle soluzioni tradizionali, che presentano spessori di rivestimento molto più elevati. Inoltre le operazioni di manutenzione risultano essere dispendiose e frequenti. La manutenzione del sistema riguarda la pulizia o la rinfrescatura del rivestimento plastico di finitura. La pulizia è normalmente eseguibile con acqua nebulizzata o a pressione controllata.

L'eventuale ripittura viene svolta con prodotti all'acqua e di quantità tale da non generare barriere vapore e da sviluppare forte idrorepellenza. Sono particolarmente idonee le idropitture,

non pellicolanti a base metilsiliconica. Nel caso di fratture del sistema, dovute a impropri atti meccanici o vandalici, sono possibili riparazioni integrali, mediante il rifacimento parziale partendo dalle lastre isolanti.

La superficie (o supporto) su cui vengono applicati i pannelli isolanti, deve essere esente da polvere e/o sporco ed essere regolare. Per quanto riguarda le operazioni di fissaggio possono essere utilizzati collanti di diversa natura oppure elementi di fissaggio meccanico tramite tassellatura.

I principali rischi possono essere associati, durante le operazioni di rimozione, alla dispersione in ambiente di particelle respirabili. Solitamente la posa del cappotto è effettuata a circa 2 m sopra il piano di calpestio per evitare danni da urti.



1. Rivestimento di finitura
2. Intonaco rasante
3. Rete di armatura porta intonaco
4. Intonaco di base
5. Pannello isolante
6. Intonaco di regolarizzazione e collante
7. Muratura in laterizio
8. Intonaco interno

Figura 8. Esempio di stratigrafia del sistema di isolamento esterno (cappotto). Rielaborazione dalla fonte: Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino, 2016

2.4 Proprietà dei materiali isolanti

I materiali isolanti rappresentano una delle tecnologie più innovative che il mercato dell'edilizia ha a disposizione per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici. Di seguito vengono riportate le principali normative tecniche sui materiali isolanti.

Norma	Pubblicazione UNI	Determinazione di:
EN 822 (REVIEW)	2013	Lunghezza e larghezza
EN 823 (REVIEW)	2013	Spessore
EN 824 (REVIEW)	2013	Ortogonalità
EN 825 (REVIEW)	2013	Planarità
EN 826 (REVIEW)	2013	Comportamento a compressione
EN 1602 (REVIEW)	2013	Massa volumica apparente
EN 1603 (REVIEW)	2013	Stabilità dimensionale in condizioni costanti e normalizzate di laboratorio (temperatura 23 °C/umidità relativa 50%)
EN 1604 (REVIEW)	2013	Stabilità dimensionale in condizioni specificate di umidità e di temperatura
EN 1605 (REVIEW)	2013	Deformazione in condizioni specificate di carico di compressione e di temperatura
EN 1606 (REVIEW)	2013	Scorrimento viscoso a compressione
EN 1607 (REVIEW)	2013	Resistenza a trazione perpendicolare alle facce
EN 1608 (REVIEW)	2013	Resistenza a trazione parallela alle facce
EN 1609 (REVIEW)	2013	Assorbimento d'acqua per breve periodo per immersione parziale

Figura 9. Determinazione delle proprietà dei materiali isolanti. Fonte: Murano G., *Novità, programmi di lavoro del SC1 del CTI e proposte*, UNI, Milano, 2013

Norma	Pubblicazione UNI	Determinazione di:
EN 12430 (REVIEW)	2013	Comportamento sotto carico concentrato
EN 12431 (REVIEW)	2013	Spessore degli isolanti per pavimenti galleggianti
EN 12085 (REVIEW)	2013	Dimensioni lineari dei provini
EN 12086 (REVIEW)	2013	Proprietà di trasmissione del vapore acqueo
EN 12087 (REVIEW)	2013	Assorbimento d'acqua a lungo termine: prova attraverso immersione
EN 12088 (REVIEW)	2013	Assorbimento d'acqua per diffusione per lungo periodo
EN 12089 (REVIEW)	2013	Determinazione del comportamento a flessione
EN 12090 (REVIEW)	2013	Comportamento a taglio
EN 12091 (REVIEW)	2013	Resistenza al gelo-disgelo
EN 13469 (REVIEW)	2012	Proprietà di trasmissione del vapore acqueo dell'isolamento preformato di tubazioni
EN 13472 (REVIEW)	2012	Assorbimento d'acqua nel breve periodo per immersione parziale dell'isolamento preformato di tubazioni
EN 14706 (REVIEW)	2012	Temperatura massima di impiego
EN 14707 (REVIEW)	2012	Temperatura massima di impiego dell'isolamento preformato di tubazioni

Figura 10. Determinazione delle proprietà dei materiali isolanti. Fonte: Murano G., *Novità, programmi di lavoro del SC1 del CTI e proposte*, UNI, Milano, 2013

La proprietà più importante dei materiali isolanti è senza dubbio la bassa conducibilità termica; tuttavia, a seconda dell'applicazione, per la scelta di un materiale isolante possono risultare determinanti anche altre caratteristiche: ad esempio resistenza a compressione o comportamento al fuoco. Non esiste un materiale isolante che soddisfi alla perfezione tutti i parametri ecologici, prestazionali e che sia magari poco costoso. Infatti, solitamente, alcune caratteristiche si escludono a vicenda, come ad esempio: resistenza a compressione e isolamento da calpestio o porosità e

impermeabilità. Di seguito viene presentata una tabella con i valori di massa volumica apparente e di conduttività termica (o conducibilità termica) di diversi materiali isolanti utilizzati in edilizia⁷.

2.4.1 Conduttività termica e massa volumica

Materiale isolante	Massa volumica apparente [kg/m ³]	Conduttività λ [W/(m·k)]
Acido silicico pirogenato	300	0,021
Aerogel	60-80	0,017-0,021
Argilla espansa	260-500	0,85-0,10
Canna palustre	120-225	0,055-0,090
Cotone	20-60	0,040
Fibre di canapa	20-68	0,040-0,050
Fibre di cellulosa	30-80	0,040-0,045
Fibre di cocco	70-120	0,030-0,070
Fibre di legno (WF)	30-270	0,040-0,090
Fibre di lino	20-80	0,037-0,045
Fibre di poliestere	15-20	0,035-0,045
Fibre e schiume ceramiche	120-560	0,040-0,050
Granulato derivato dalla lavorazione di cereali	105-115	0,050
Lana di legno in pannelli (WW)	350-600	0,090
Lana di pecora	25-30	0,040-0,045
Lane minerali (MW)	20-200	0,035-0,045
Laterizi isolanti	500-750	0,080-0,140
Pannelli sotto vuoto (VIP)	150-300	0,002
Perlite espansa	90-490	0,045-0,070
Polietilene espanso (PE)	50-110	0,033
Polistirene espanso (EPS)	15-30	0,035-0,040
Polistirene espanso estruso (XPS)	25-45	0,030-0,040
Poliuretano espanso rigido (PU)	30-100	0,024-0,030
Pomice	150-230	0,060-0,080
Resina urea-formaldeide espansa (UF)	10	0,035-0,040
Resine fenoliche espanse (PF)	40	0,022-0,040
Resine melamminiche (MF)	10	0,035
Silicati di calcio espansi	115-300	0,045-0,065
Sughero espanso (ICB)	100-220	0,045-0,060
Vermiculite espansa (EV)	70-160	0,046-0,070
Vetro cellulare (CG)	115-220	0,040-0,060
Vetro espanso	150-230	0,070-0,093
Zostera marina (alghe)	75	0,043-0,050

Tabella 2. Principali proprietà dei materiali isolanti. Rielaborazione dalla fonte: De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009.

⁷ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

Dove per **massa volumica apparente** si intende il rapporto tra la massa del materiale e il volume che esso occupa. Quando il materiale contiene eterogeneità e cavità macroscopiche, come un laterizio forato, si usa l'espressione massa volumica apparente per indicare la caratteristica nel suo insieme dell'elemento, alveoli compresi. Essa influenza in modo determinante le caratteristiche termiche di un materiale isolante, infatti una bassa massa volumica è solitamente correlata a una porosità elevata e risulta pertanto una riduzione della conduttività. La massa volumica apparente viene determinata ai sensi della norma **UNI EN 1602:2013** (*Isolanti termici per edilizia - Determinazione della massa volumica apparente*). In genere la massa volumica dei materiali più performanti, per isolare termicamente, è compresa tra i 20 e i 100 kg/m³. Nel caso di valori inferiori aumenta la quota di calore trasportato per irraggiamento (per la trasparenza del materiale all'infrarosso), viceversa (con masse volumiche superiori a 100 kg/m³) la quantità di calore trasmessa aumenta mediante conduzione.

Mentre per **conduttività termica** (λ), o conducibilità termica, si intende la facilità con cui viene trasmesso il calore ed è una caratteristica specifica di ogni materiale. Tanto minore è la conduttività del materiale, tanto minore è la quantità di calore che lo attraversa.

La conduttività indica la potenza termica che attraversa un cubo di materiale con lato di un metro per una differenza di temperatura di un grado Kelvin tra le due facce parallele, infatti viene misurata in Watt al metro per Kelvin (W/mK).

Secondo quanto indicato dalla normativa tedesca DIN 4108, possono essere definiti termoisolanti i materiali con conduttività $\leq 0,10$ W/mK. La maggior parte degli isolanti è caratterizzata da una conduttività compresa tra 0,03 e 0,05 W/mK che, in questo intervallo, può essere definita buona.

La conduttività termica dei materiali isolanti è fortemente influenzata dai seguenti fattori:

- massa volumica apparente;
- macrostruttura (forma fisica) e microstruttura;
- contenuto di umidità;
- calore specifico;
- gas contenuti nelle porosità dei materiali.

Inoltre per i materiali isolanti in fibre risultano fondamentali le dimensioni delle fibre e il loro orientamento. Per misurare la conduttività esistono diverse prove di laboratorio, le quali tengono in considerazione le caratteristiche specifiche dei materiali e vengono descritte nelle norme **EN 12664**, **EN 12667** e **EN 12939**. Per offrire ai progettisti la sicurezza nel calcolo dell'isolamento, le norme stabiliscono un valore di progetto della conduttività (λ_d), ottenuto dividendo il valore di conduttività termica (λ) per un opportuno coefficiente di sicurezza dato dalla normativa vigente.

Se la conduttività termica caratterizza i materiali da costruzione, la resistenza termica e la trasmittanza sono le prestazioni termiche offerte dai componenti edilizi realizzati con tali materiali. La **resistenza termica** (**R**) di uno strato omogeneo è funzione della conduttività specifica (λ) del materiale utilizzato e del suo spessore (**d**):

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Tanto maggiore è la resistenza termica, tanto maggiore risultano le prestazioni termiche dello strato considerato. La somma delle resistenze termiche di tutti gli strati dell'elemento edilizio, comprese le resistenze termiche liminari, tra la superficie del componente e l'ambiente interno (R_{si}) ed esterna (R_{se}), è la resistenza termica totale R_T .

La **trasmissione termica (U)** è l'inverso della resistenza termica totale e indica la potenza che attraversa una superficie di 1 m^2 , di un componente edilizio, quando i due ambienti che separa sono caratterizzati da una differenza di temperatura di 1 Kelvin:

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{W}{\text{m}^2 K} \right]$$

Il **calore specifico** di un materiale indica la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado la temperatura di un'unità di massa e si calcola come:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \left[\frac{J}{\text{kgK}} \right]$$

Il calore specifico viene determinato con un procedimento di misurazione, che fa uso di un apparato sperimentale detto calorimetro, atto alla misurazione di grandezze calorimetriche. La quantità di calore che si può accumulare dipende fortemente dalla struttura e dalla densità di un materiale. Grandi masse necessitano di tempi prolungati per essere riscaldate, inoltre maggiore è il calore specifico e maggiore è il calore che il materiale può accumulare.

2.4.2 Comportamento al fuoco

Il comportamento al fuoco di materiali e strutture è valutato secondo i principi di resistenza e reazione al fuoco, che vengono definiti di seguito⁸:

La **resistenza** è la capacità di un elemento costruttivo (strutturale o separante) di mantenere per un certo tempo determinate caratteristiche durante l'incendio.

Essa riguarda: la capacità portante in caso di incendio, per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale e la capacità di compartimentazione (attitudine di un elemento costruttivo a conservare, sotto l'azione del fuoco, la propria stabilità, sufficiente isolamento termico, sufficiente tenuta ai fumi e ai gas e a tutte le altre prestazioni se richieste) rispetto all'incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, sia non strutturali, come porte e tramezzi.

Le caratteristiche di un compartimento dipendono da:

- destinazione d'uso dell'ambiente (secondo normative specifiche);
- carico d'incendio (vedi Allegato 1, DM 9 marzo 2007).

⁸ Vancetti R., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018

Nel **D.M. 09/03/2007** vengono definite le classi di resistenza al fuoco come l'intervallo di tempo, espresso in minuti, definito in base al carico di incendio specifico di progetto, durante il quale il compartimento antincendio garantisce la capacità di compartimentazione.

Le classi sono: 15 - 30 - 45 - 60 - 90 -120 -180 - 240 precedute da simboli che identificano i requisiti che devono essere garantiti dagli elementi costruttivi portanti e separanti.

R	Capacità portante	P o PH	Continuità di corrente o capacità di segnalazione
E	Tenuta	G	Resistenza all'incendio della fuliggine
I	Isolamento	K	Capacità di protezione al fuoco
W	Irraggiamento	D	Durata della stabilità a temperatura costante
M	Azione meccanica	DH	Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura
C	Dispositivo auto-matico di chiusura	F	Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore
S	Tenuta al fumo	B	Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore

Figura 11. Simboli identificativi del requisito degli elementi costruttivi. Fonte: Vancetti R., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018

Mentre la **reazione** al fuoco è definita come il grado di partecipazione alla combustione di un materiale esposto al fuoco. Quindi definisce il modo in cui un materiale brucia, se non brucia affatto o se brucia con quale facilità.

Essendo una caratteristica del materiale essa viene convenzionalmente espressa in classi di reazione al fuoco. Tali classi sono uno strumento prescrittivo di protezione passiva nell'ambito della prevenzione incendi. Lo scopo di utilizzare materiali di adeguata classe di reazione al fuoco è quello di ridurre la velocità di propagazione dell'incendio, affinché la fiamma non investa altri materiali combustibili e si aumentino i tempi di evacuazione prima del flash-over (fenomeno di combustione in cui il materiale combustibile contenuto in un'area chiusa si incendia quasi contemporaneamente).

Il **D.M. 26 giugno 1984** e la modifica del 2001 regolamentano la classificazione della reazione al fuoco dei materiali ai fini della prevenzione incendi. Le classi vanno dalla 0 alla 5. Quelli di classe 0 sono incombustibili mentre le classi da 1 a 5 sono riferite ai materiali combustibili (la 0 è la migliore e la 5 è la peggiore).

La norma europea **UNI EN 13501-1:2019** (*Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco*) regola la classificazione di reazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione. I materiali vengono classificati secondo le Euroclassi A1, A2, B, C, D, E ed F. I materiali classificati A1 sono incombustibili e quelli certificati A2, B, C, D, E, F bruciano in ordine crescente. La classificazione europea prevede anche la classificazione dei fumi e del gocciolamento. Esempio: B-s1,d0, dove s sta per smoke (fumo) e d per drops (gocce). La classificazione va da 0 (assente) a 3 (elevato).

Table 1 — Classes of reaction to fire performance for construction products excluding floorings and linear pipe thermal insulation products			
Class	Test method(s)	Classification criteria	Additional classification
A1	EN ISO 1182 ^a and	$\Delta T \leq 30$ °C; and $\Delta m \leq 50$ %; and $t_f = 0$ s (i.e. no sustained flaming)	-
	EN ISO 1716	$PCS \leq 2,0$ MJ/kg ^a and $PCS \leq 2,0$ MJ/kg ^b ^c and $PCS \leq 1,4$ MJ/m ² ^d and $PCS \leq 2,0$ MJ/kg ^e	-
A2	EN ISO 1182 ^a or	$\Delta T \leq 50$ °C; and $\Delta m \leq 50$ %; and $t_f \leq 20$ s	-
	EN ISO 1716 and	$PCS \leq 3,0$ MJ/kg ^a and $PCS \leq 4,0$ MJ/m ² ^b and $PCS \leq 4,0$ MJ/m ² ^d and $PCS \leq 3,0$ MJ/kg ^e	-
	EN 13823	$FIGRA_{0,2 MJ} \leq 120$ W/s and $LFS <$ edge of specimen and $THR_{600s} \leq 7,5$ MJ	Smoke production ^f and Flaming droplets/particles ^g
B	EN 13823 and	$FIGRA_{0,2 MJ} \leq 120$ W/s and $LFS <$ edge of specimen and $THR_{600s} \leq 7,5$ MJ	Smoke production ^f and Flaming droplets/particles ^g
	EN ISO 11925-2 ⁱ ; Exposure = 30 s	$F_s \leq 150$ mm within 60 s	
C	EN 13823 and	$FIGRA_{0,4 MJ} \leq 250$ W/s and $LFS <$ edge of specimen and $THR_{600s} \leq 15$ MJ	Smoke production ^f and Flaming droplets/particles ^g
	EN ISO 11925-2 ⁱ ; Exposure = 30 s	$F_s \leq 150$ mm within 60 s	
D	EN 13823 and	$FIGRA_{0,4 MJ} \leq 750$ W/s	Smoke production ^f and Flaming droplets/particles ^g
	EN ISO 11925-2 ⁱ ; Exposure = 30 s	$F_s \leq 150$ mm within 60 s	
E	EN ISO 11925-2 ⁱ ; Exposure = 15 s	$F_s \leq 150$ mm within 20 s	Flaming droplets/particles ^h
F	EN ISO 11925-2 ⁱ ; Exposure = 15 s	$F_s > 150$ mm within 20 s	

^a For homogeneous products and substantial components of non-homogeneous products.
^b For any external non-substantial component of non-homogeneous products.
^c Alternatively, any external non-substantial component having a $PCS \leq 2,0$ MJ/m², provided that the product satisfies the following criteria of EN 13823: $FIGRA \leq 20$ W/s, and $LFS <$ edge of specimen, and $THR_{600s} \leq 4,0$ MJ, and s1, and d0.
^d For any internal non-substantial component of non-homogeneous products.
^e For the product as a whole.
^f s1 = $SMOGRA \leq 30$ m²/s² and $TSP_{600s} \leq 50$ m²; s2 = $SMOGRA \leq 180$ m²/s² and $TSP_{600s} \leq 200$ m²; s3 = not s1 or s2
^g d0 = No flaming droplets/ particles in EN 13823 within 600 s;
d1 = no flaming droplets/ particles persisting longer than 10 s in EN 13823 within 600 s;
d2 = not d0 or d1.
Ignition of the paper in EN ISO 11925-2 results in a d2 classification.
^h Pass = no ignition of the paper (no classification);
Fail = ignition of the paper (d2 classification).
ⁱ Under conditions of surface flame attack and, if appropriate to the end-use application of the product, edge flame attack.

Figura 12. Classificazione di reazione al fuoco e metodi di prova. Fonte: UNI EN 13501-1:2019

2.4.3 Isolamento acustico

Gli edifici di nuova costruzione devono soddisfare specifiche prestazioni di isolamento ai rumori. I limiti da rispettare sono indicati nel **DPCM 5 dicembre 1997** (*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*) e riguardano:

- l'isolamento dai rumori aerei tra differenti unità immobiliari (R'_w);
- l'isolamento dai rumori provenienti dall'esterno (isolamento acustico di facciata) ($D_{2m,nT,w}$);
- l'isolamento dai rumori da calpestio (L'_{nw});
- l'isolamento dai rumori degli impianti di funzionamento continuo (L_{ASeq}) e discontinuo (L_{ASmax});
- il tempo di riverberazione di aule scolastiche e palestre (T o τ_{60}).

Per ognuna di queste tipologie di rumore sono descritti (nel DPCM - allegato A: *Grandezze di riferimento: definizioni, metodi di calcolo e misure*) gli indicatori (R'_w , $D_{2m,nT,w}$, L'_{nw} , etc). I valori limite da rispettare ad edificio finito, vengono riportati di seguito.

Tabella A - Classificazioni, degli ambienti abitativi (art. 2)					
- categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;					
- categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;					
- categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;					
- categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;					
- categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;					
- categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;					
- categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.					
Tabella B - Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici					
Categorie di cui alla Tab. A	Parametri				
	R'_w (*)	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

Figura 13. Stralcio DPCM 5 dicembre 1997

Norme tecniche per la progettazione dei requisiti acustici passivi

- **UNI EN ISO 12354:2017**

Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti

- Parte 1: *Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti*
- Parte 2: *Isolamento acustico al calpestio tra ambienti*
- Parte 3: *Isolamento acustico dal rumore proveniente dall'esterno per via aerea*
- Parte 4: *Trasmissione del rumore interno all'esterno*

- **UNI EN 12354**

Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti

- Parte 5: *Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici (2009)*

- Parte 6: *Assorbimento acustico in ambienti chiusi* (2006)
- **UNI TR 11175:2005** (*Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale*).
- **UNI 11532-1:2018** (*Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinanti*).

Norme tecniche per la misura in opera dei requisiti acustici passivi

- **UNI EN ISO 16283:2018**
Misure in opera dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio
 - Parte 1: *Isolamento acustico per via aerea*
 - Parte 2: *Isolamento dal rumore di calpestio*
 - Parte 3: *Isolamento acustico di facciata*
- **UNI EN ISO 16032:2005** (*Misurazione del livello di pressione sonora di impianti tecnici in edifici - Metodo tecnico progettuale*)
- **UNI EN ISO 10052:2010** (*Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea, del rumore da calpestio e della rumorosità degli impianti - Metodo di controllo*)
- **UNI 8199:2016** (*Collaudo acustico di impianti a servizio di unità immobiliari - Linee guida contrattuali e modalità di misurazione all'interno degli ambienti serviti*)
- **UNI EN ISO 3382**
Misurazione dei parametri acustici degli ambienti
 - Parte 1: *Sale da spettacolo* (2009)
 - Parte 2: *Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari* (2008)
 - Parte 3: *Open space* (2012)

Infine la norma tecnica **UNI 11367:2010** (*Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera*) spiega come determinare la classe acustica di una unità immobiliare esistente, sulla base delle misure fonometriche eseguite sull'edificio. La UNI 11367 prevede quattro classi acustiche: I, II, III, IV. La Classe I individua le prestazioni migliori e la IV prestazioni modeste. Le tipologie di rumori considerati e i descrittori adottati nella norma UNI 11367 sono in sostanza i medesimi del DCPM 1997. Mentre i valori limite del DPCM 1997 sono riferiti ai singoli elementi tecnici (la singola parete, la singola facciata, etc.), i valori limite delle classi acustiche invece riguardano una "prestazione media" dell'intera unità immobiliare.

L'applicazione delle classi acustiche in generale non è obbligatoria e il rispetto di una specifica prestazione può essere richiamato solo nelle condizioni contrattuali.

Tuttavia il DM 11 ottobre 2017 sui "**Criteri Ambientali Minimi**" ha imposto, per le gare di appalto degli edifici pubblici, il raggiungimento della Classe II e di altri parametri descritti nella UNI 11367 quali il comfort in ospedali e scuole, la qualità acustica interna degli ambienti e l'isolamento delle stanze rispetto alle parti comuni⁹.

⁹ <https://www.anit.it/anit-risponde/classificazione-acustica-delle-unita-immobiliari-sintesi-anit/>

2.5 Tipologie di pannelli isolanti

Per pannello in materiale isolante si intende un prodotto prefabbricato compatto, con una grande resistenza termica, progettato per conferire proprietà isolanti al substrato sul quale è applicato. Come già detto precedentemente, la funzione principale di questi tipi di pannello è quindi di isolare termicamente il manufatto dal freddo nei mesi invernali e di proteggerlo dal calore eccessivo nei mesi estivi, contribuendo in questo modo alla riduzione delle emissioni di CO₂ prodotti dagli impianti di climatizzazione e riscaldamento.

Un buon materiale isolante, per essere considerato tale, deve possedere delle caratteristiche specifiche le quali sono in parte garantite dalla presenza della marchiatura CE. I materiali isolanti attualmente più utilizzati sono la lana minerale (sigla **MW** secondo la norma EN 13162:2015) e il polistirene espanso sinterizzato (sigla **EPS** secondo la norma EN 13163:2017). Negli ultimi anni si sta diffondendo sempre di più anche l'utilizzo di poliuretano espanso rigido (sigla **PU** secondo norma EN 13165:2016). Nelle aree esposte a spruzzi d'acqua si utilizzano polistirene espanso sinterizzato ad alta densità, poliuretano espanso rigido oppure polistirene espanso estruso (sigla **XPS** secondo la norma EN 13164:2015).

Altri prodotti isolanti meno utilizzati, ai quali è comunque riservata una norma ad hoc, sono:

- Prodotti di resine fenoliche espanse (sigla **PF** secondo la norma EN 13166:2015);
- Prodotti di vetro cellulare (sigla **CG** secondo la norma EN 13167:2015);
- Prodotti di lana di legno (sigla **WW** secondo la norma EN 13168:2015);
- Pannelli di perlite espansa (sigla **EPB** secondo la norma EN 13169:2015);
- Prodotti di sughero espanso (sigla **ICB** secondo la norma EN 13170:2015);
- Prodotti di fibre di legno (sigla **WF** secondo la norma EN 13171:2015);
- Prodotti di polietilene espanso (sigla **PEF** secondo la norma EN 16069:2015);

Tuttavia i pannelli prefabbricati attualmente in commercio sono molteplici e sono realizzati attraverso l'uso di materiali compositi e innovativi.

Possono essere classificati in base a¹⁰:

Tipo di materiale:

- Minerale
- Vegetale
- Petrochimica
- Animale

Natura del materiale:

- Naturale
- Sintetico
- Organico
- Inorganico

¹⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Isolamento_termico

Struttura:

- Fibrosa
- Cellulare
- Porosa

Un'altra possibile classificazione¹¹ viene fatta rispetto alla materia prima di cui sono composti i materiali isolanti e principalmente in base alle loro origine: **inorganica e organica**. All'interno dei due gruppi, i materiali isolanti si articolano (in funzione della lavorazione a cui è sottoposta la materia prima) in sintetici e naturali. Nei prodotti naturali, la materia prima rimane invariata. Mentre se la materia prima viene modificata nella sua composizione attraverso delle lavorazioni, venendo quindi assemblata e/o riprodotta mediante processi tecnologici, si parla di materiali sintetici.

Alcuni materiali isolanti naturali contengono quantità relativamente elevate di additivi, come: sali ignifughi, impregnanti, fibre protettive e leganti. Questi ultimi non sono di origine naturale, tuttavia secondo alcuni studi¹² se gli additivi risultano essere inferiori al 25% del materiale, esso può comunque essere definito naturale.

Oltre alle precedenti classificazioni, possono essere individuate altre tipologie di materiali isolanti. Taluni dei quali possono essere considerati innovativi. Questo grazie allo sviluppo di nanotecnologie che hanno portato all'impiego di materiali sempre più performanti, sotto, come ad esempio: phase change material (PCM), schiume nanocellulari, aerogel, vacuum insulated panels (VIP), vacuum glazing e transparent insulation material (TWD-TIM).

2.5.1 Pannelli in materiali minerali

A questa tipologia di pannelli appartengono: Argilla espansa, perlite espansa, vermiculite espansa, pomice, fibre ceramiche, acido silicico pirogenato, lana di scoria, gesso espanso, vetro cellulare, vetro espanso, lana di roccia, lana di vetro, calce-cemento cellulare e silicati di calcio espansi.

Il vetro cellulare ha un'ottima resistenza a compressione, è impermeabile al vapore, non assorbe l'umidità, resiste al fuoco e possiede una discreta inerzia termica. È costituito in buona parte da vetro riciclato, rappresenta un ottimo isolante (è privo di sostanze nocive) tuttavia è necessaria molta energia per produrlo. Mentre la lana minerale si ottiene fondendo i minerali che la compongono, risolidificandoli sotto forma di fibre che spesso sono tenute insieme da un legante a base di resine termoindurenti.

¹¹ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), Materiali isolanti, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

¹² Dott.ssa Margit Fuehres, isoliertechnik 5/1996

2.5.2 Pannelli in materiale di origine vegetale

A questa tipologia di pannelli appartengono: Fibra di cellulosa, fibra di legno, fibra di legno mineralizzata, fibra di canapa, fibra di lino, fibra di cocco, fibra di juta, fibre di lino, cotone e lana di legno, zosteria marina (alghe), granulato derivato dalla lavorazione di cereali, canna lacustre, torba e sughero.

La fibra di cellulosa è ottenuta da carta di giornale riciclata, è un prodotto riutilizzabile, igroscopico, traspirante, buon fonoisolante e fonoassorbente. Può essere utilizzata in fiocchi, grani e pannelli. Dal punto di vista del bilancio energetico ed ecologico è uno degli isolanti più indicati.

I pannelli di fibra di legno vengono prodotti partendo da scarti di lavorazione che vengono sminuzzati e pressati, il collante è la lignina, naturalmente presente nel legno.

La canna lacustre unisce ad una discreta capacità isolante un'eccellente resistenza all'umidità. Questo la rende ideale, oltre che per realizzare tetti, per l'isolamento a cappotto in zone umide.

La coibentazione con sughero ha come base di partenza il prodotto granulato, che viene ricavato dalla polpa pulita della corteccia. Il granulato può essere utilizzato direttamente in forma sciolta, per le intercapedini, oppure trasformato in pannelli. I pannelli si possono realizzare in due modi: tramite incollaggio (pannelli più chiari) oppure tramite una sorta di sinterizzazione: riscaldando e comprimendo i granuli si provoca la fuoriuscita della suberina, contenuta naturalmente nel sughero, che raffreddandosi lega i granuli (pannelli scuri).

2.5.3 Pannelli in materiale petrolchimico

A questa tipologia di pannelli appartengono: Poliuretano, polistirene, polietilene, resine fenoliche e resine melamminiche.

I poliuretani espansi rigidi sono costituiti da polimeri e hanno valori di conduttività termica estremamente bassi. L'applicazione del poliuretano espanso può essere effettuata con sistemi diversi, si possono utilizzare pannelli pretagliati e formati oppure applicando il poliuretano a mezzo colata (nelle intercapedini) oppure a spruzzo.

Resine fenoliche espanse (PF)

Dalle resine fenoliche furono sviluppate le prime plastiche, come ad esempio la bachelite (sviluppata dal chimico belga Leo Hendrik Baekeland), intorno al 1907. Questa tecnologia americana è stata introdotta a metà degli anni '80 in Europa dalla Joint Venture di Marec Isolatie a Kesteren (Paesi Bassi). Questa azienda ha prodotto la prima schiuma isolante fenolica in Europa e ha sviluppato il materiale per stabilire lo standard di prodotto. Da questa azienda molti altri seguirono e svilupparono la propria tecnologia che in parte si basa ancora sulle formulazioni originali¹³.

¹³ <http://www.teqtix.com/knowledgebase/>

Le materie prime per la produzione di questa schiuma sono le resine fenoliche, il pentano come agente espandente e un indurente. Le resine fenoliche sono una famiglia di polimeri ottenuti per reazione tra fenolo e formaldeide, sono in genere materiali termoindurenti, ovvero non possono essere ulteriormente fusi dopo lo stampaggio, perché possiedono una struttura reticolare. In funzione del rapporto tra i due reagenti si dividono a loro volta in novolacche e resoli. La sintesi, che porta alle resine fenoliche, è una reazione di sostituzione elettrofila attraverso cui una molecola di formaldeide si sostituisce agli atomi di idrogeno nelle posizioni orto e para del fenolo; il metilolfenolo così ottenuto reagisce con altre molecole di fenolo eliminando una molecola di acqua per ogni reazione, il risultato è che più molecole di fenolo risultano unite da ponti -CH₂- legati alle loro posizioni orto e para.

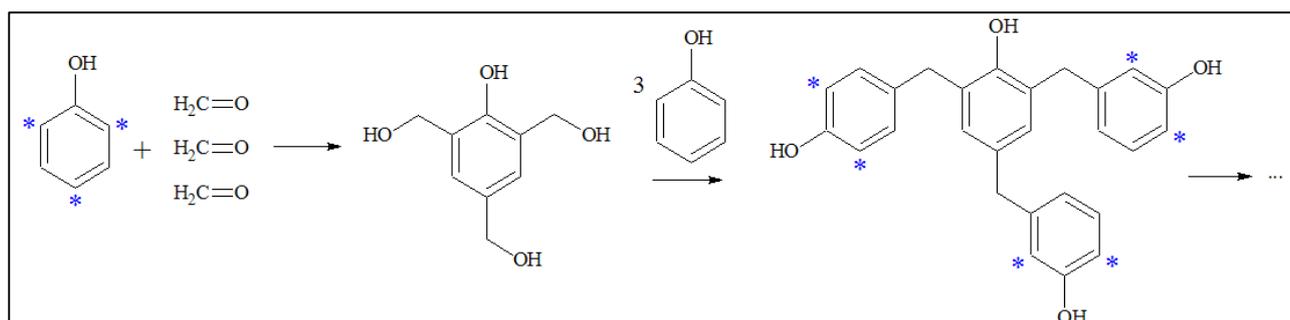


Figura 14. Schema della reazione di condensazione tra fenolo e formaldeide, l'asterisco indica le posizioni reattive. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Resine_fenoliche

La schiuma prima dell'indurimento è viscosa e in una seconda fase viene rivestita sui due lati con tessuto non tessuto di vetro. Dopo l'indurimento e l'asciugatura, che avviene in forni di stagionatura, la resina viene tagliata in pannelli, ai quali saranno rifilati gli spigoli.

Le resine fenoliche espansive sono una schiuma rigida e fragile con ottime proprietà termoisolanti, dato che l'elevata percentuale di cellule chiuse minimizza le perdite del gas (responsabile della bassa conduttività) contenute nel materiale. La temperatura limite di impiego nel lungo periodo è di 150 °C; difficilmente produce fiamma e per questo ha una buona reazione al fuoco, in caso di incendio rilascia formaldeide e resta un residuo simile al carbone che continua a bruciare per lungo tempo. Requisiti di protezione antincendio: Euroclasse C. Le PF resistono bene agli agenti chimici, agli insetti e ai roditori. I pannelli isolanti vengono usati principalmente per le coperture, su terrazze, sotto i massetti (in assenza di requisiti di isolamento da calpestio) e come nucleo isolante nei pannelli sandwich. Nonostante la sua densità relativamente elevata è possibile tagliarli con la sega e altri utensili tradizionali, tuttavia a causa della sua fragilità è necessario sia maneggiato con cura. Se i pannelli vengono posati sotto uno strato di bitume caldo, è consigliabile l'inserimento di uno strato intermedio (ad esempio pannelli di perlite espansa). A contatto con l'umidità il fenolo può rilasciare acidi sulfonici, che provocano danni da corrosione. Inoltre per le resine fenoliche espansive è consigliabile evitare il contatto diretto con i metalli¹⁴.

¹⁴ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

2.5.4 Pannelli in materiale di origine animale

La lana di pecora è composta da pura lana ed è ottenuta molto spesso riciclando la materia prima. Additivi come i sali sodici (borace), i derivati dell'urea o i sali di boro proteggono la lana dagli attacchi delle tarme e migliorano la protezione antincendio. Inoltre la lana ha buone proprietà isolanti, non irrita la pelle e non marcisce. Può assorbire umidità fino al 33% del proprio peso, per poi rilasciarla con relativa rapidità.

3 Sistema ETICS

ETICS è l'abbreviazione, abitualmente utilizzata a livello internazionale, di External Thermal Insulation Composite System (in italiano sistema composito di isolamento termico esterno), comunemente chiamato sistema a cappotto. Questo sistema di isolamento termico nasce in Germania intorno agli anni '60 e venne importato in Italia qualche decennio dopo. Oggi i sistemi a cappotto vengono utilizzati sempre di più in tutta l'Europa.

3.1 Norme di riferimento

Le norme di riferimento principali sono: la **UNI/TR 11715:2018** (*Isolanti termici per l'edilizia - Progettazione e messa in opera dei sistemi isolanti termici per l'esterno (ETICS)*) e la **UNI 11716:2018** (*Attività professionali non regolamentate - Figure professionali che eseguono la posa dei sistemi compositi di isolamento termico per esterno (ETICS) - Requisiti di conoscenza, abilità e competenza*). Tuttavia i concetti espressi nelle precedenti norme vengono trattati nel manuale del cappotto termico **CORTEXA** (redatto dal consorzio Cortexa), infatti esso rappresenta il riferimento in Italia per la corretta progettazione e posa dell'isolamento a cappotto.

3.1.1 Linee guida ETAG004 e certificato di valutazione ETA004

L'ente tecnico europeo di riferimento per il settore delle costruzioni, l'EOTA (European Organization for Technical Approval), ha redatto la Linea Guida Tecnica ETAG 004 (European Technical Approval Guideline) per sistemi ETICS su supporti in muratura e calcestruzzo.

La certificazione per il cappotto termico che garantisce l'efficacia del Sistema è l'ETA004. L'ETA (European Technical Assessment), ossia la Valutazione Tecnica Europea è un documento che contiene le prestazioni di un prodotto da costruzione. Quest'ultima viene rilasciata per i prodotti per i quali manca una norma armonizzata, ma per cui è disponibile come riferimento il Documento per la Valutazione Europea (European Assessment Document – EAD). In altre parole l'ETA004 per il cappotto termico deriva dalle linee guida ETAG004. Le linee guida ETAG004 descrivono quali requisiti devono avere i sistemi di isolamento termico per l'isolamento delle facciate degli edifici.

Nello specifico, le linee guida ETAG004 individuano¹⁵:

- i metodi di verifica per valutare i requisiti del cappotto termico come sistema;
- i parametri, le classi e i livelli per classificare i valori dei requisiti;
- le condizioni di progetto e di realizzazione dell'intervento di isolamento termico con cappotto termico.

¹⁵ <https://www.cortexa.it/norma/certificazione-cappotto-termico/>

Le caratteristiche del sistema di isolamento termico a cappotto da verificare sono in accordo con i requisiti della direttiva europea sui materiali da costruzione:

- resistenza meccanica e stabilità;
- sicurezza in caso di incendio;
- igiene e salubrità ambientale;
- sicurezza nell'uso;
- protezione dal rumore;
- risparmio energetico.

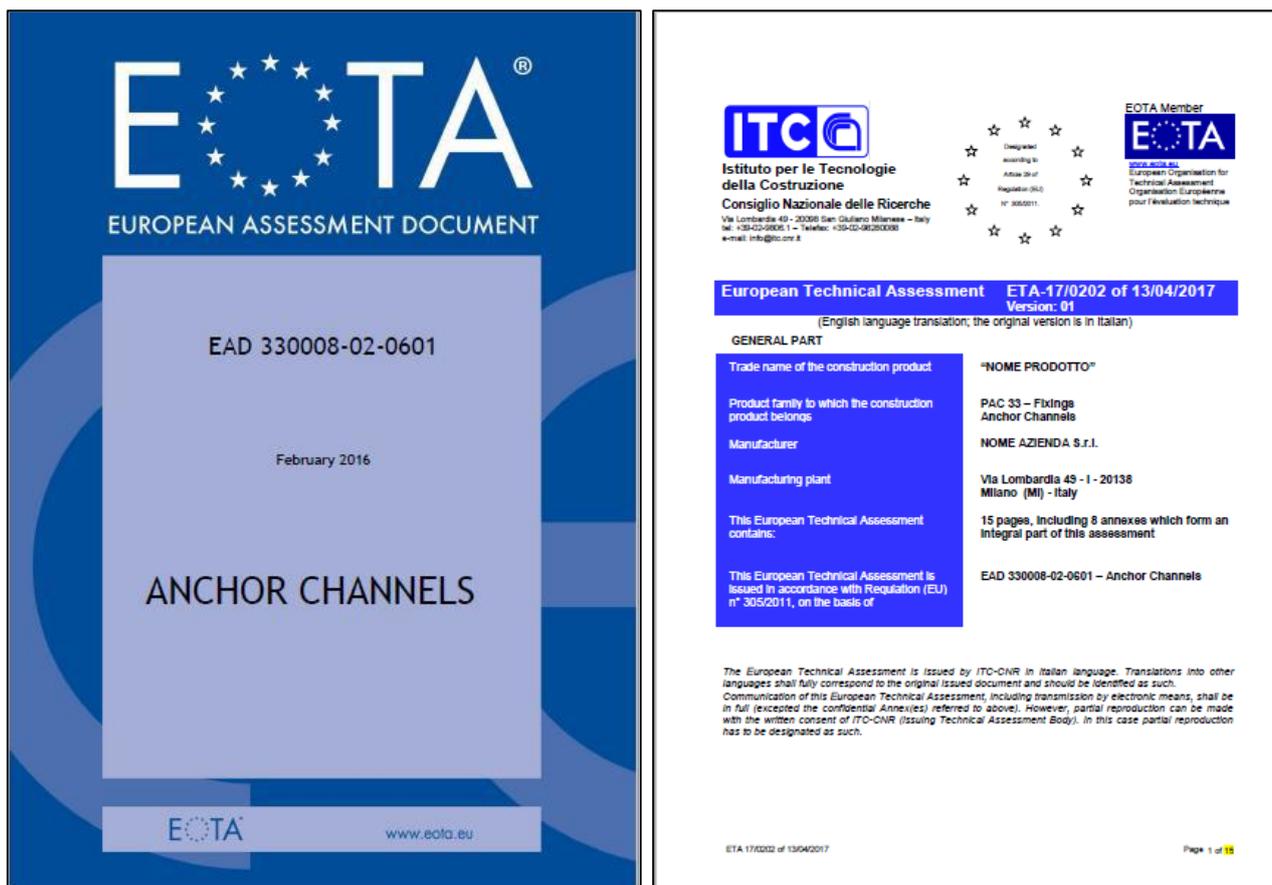


Figura 15. Frontespizi dei documenti ETA (a destra) e EAD (a sinistra). Fonte: Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC)

Stabiliti i requisiti vengono descritti i metodi di prova da impiegare. Al requisito infatti corrisponde un parametro che può essere valutato per mezzo di prove di laboratorio standardizzate. Il risultato della prova deve poter poi essere, sempre in modo standardizzato, classificato.

Per la certificazione del cappotto termico, i test sono da effettuare sia sull'intero sistema sia sui singoli componenti:

- materiale isolante;
- tasselli;
- profili;
- colle rasanti;
- finiture;
- armature.

All'interno dell'ETAG sono poi indicati, per tipo di requisito, i valori minimi per l'idoneità all'uso dei vari componenti nel sistema di isolamento termico a cappotto. Stabiliti quindi i requisiti dei prodotti e del sistema, testati e valutati, l'ETAG descrive i corretti passaggi per progettare e realizzare il sistema.

3.2 Componenti del sistema

Il sistema di isolamento a cappotto è costituito dai seguenti elementi:

1. **Collante e/o tasselli.** La funzione affidata a questi elementi è quella di fissare l'isolante alla muratura di supporto. Il fissaggio può avvenire tramite semplice incollaggio o, dove necessario, può essere effettuato tramite tasselli di materiale plastico o metallico. In alternativa per un migliore fissaggio dell'isolante ai supporti è possibile ricorrere alla combinazione di collante e tasselli che garantiscono una maggiore stabilità dell'isolante sia durante la presa della colla sia durante la fase di esercizio.
2. **Pannello isolante.** L'isolante deve presentarsi in forma di pannello con superfici regolari e con adeguate caratteristiche di resistenza meccanica. Gli spessori sono determinati di volta in volta dalle caratteristiche climatiche di progetto, dalle specifiche richieste della normativa vigente (ad esempio la Legge 10/91 sul contenimento dei consumi degli edifici) e da eventuali esigenze di risparmio, di gestione e di benessere abitativo. Inoltre al di sotto di un certo spessore l'intervento si può rivelare antieconomico.
3. **Rete di armatura.** La rete di armatura è un elemento dello strato di rasatura la cui funzione è quella di conferire al sistema una adeguata capacità di resistere agli urti e ai movimenti dovuti a escursioni termiche o a fenomeni di ritiro. La realizzazione dello strato avviene mediante l'incollaggio della rete in fibra di vetro apprettato sull'intonaco di base che ricopra il pannello isolante.
4. **Malta rasante.** Ha la funzione di proteggere il pannello isolante e di creare la superficie adatta alla stesura degli strati successivi di finitura. All'interno di questo strato viene annegata la rete di armatura.
5. **Sottofondo stabilizzante (o primer-fissativo).** Viene utilizzato per ottenere migliori condizioni di adesione e compatibilità dello strato di finitura con lo strato di intonaco sottile armato già realizzato.
6. **Rivestimento di finitura.** Ha la funzione di realizzare la finitura dell'intervento e di proteggere gli strati sottostanti dalle intemperie e dalle radiazioni solari; deve possedere una buona elasticità alle sollecitazioni meccaniche e deve essere sufficientemente permeabile al vapore d'acqua. Si tratta di un rivestimento o di una particolare pittura a base sintetica o minerale che si può realizzare con varie finiture speciali: rustico, rasato, liscio, graffiato, spugnato o spruzzato.
7. **Accessori.** Elementi utilizzati per realizzare giunzioni con strutture diverse (ad esempio finestre), protezione (paraspigoli con o senza gocciolatoi), sostegno (profili di partenza e guide) ed elementi decorativi.

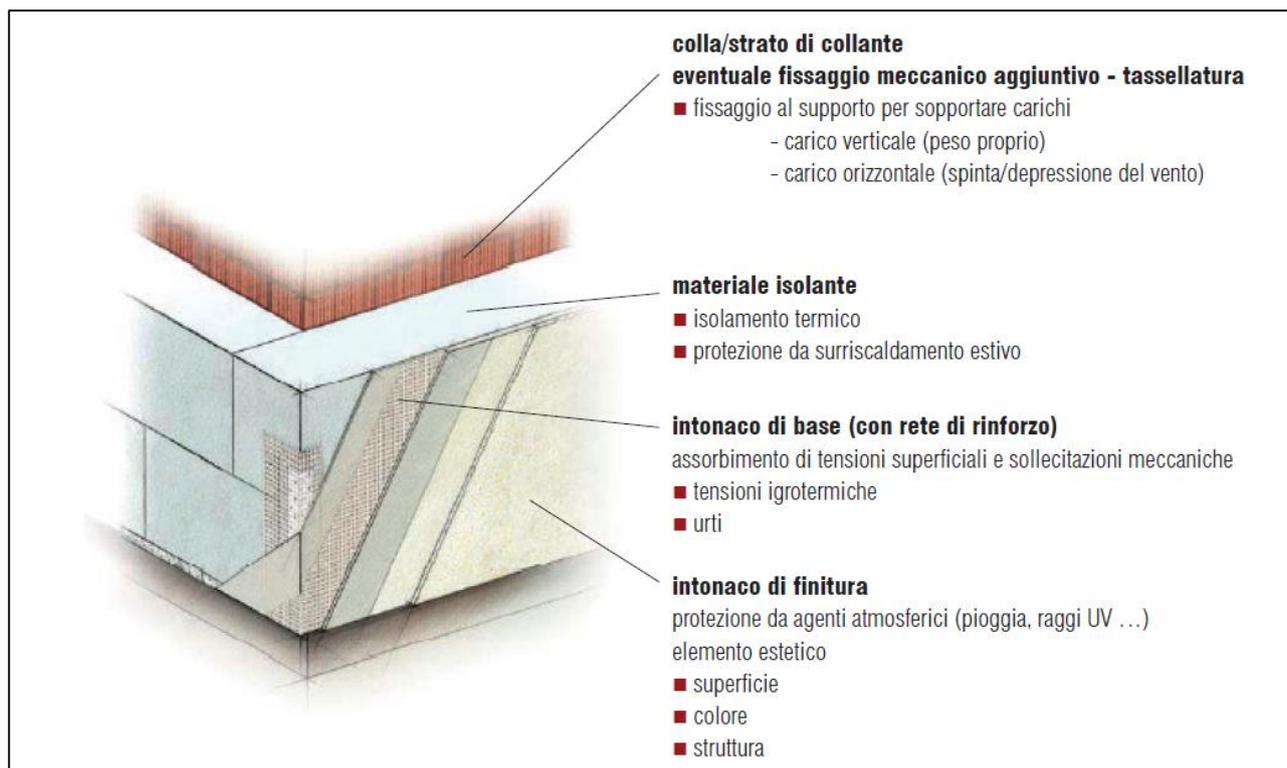


Figura 16. Componenti del sistema ETICS. Fonte: Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019

3.3 Modalità di posa e condizioni d'opera

Il sistema di isolamento a cappotto viene applicato su nuove costruzioni e in moltissimi casi sul patrimonio edilizio esistente, sfruttando una molteplicità di supporti differenti come, ad esempio: pareti intonacate, murature piene, rivestimenti in clinker, rivestimenti ceramici, rivestimenti in laterizio, pareti in calcestruzzo a vista. Può essere applicato anche su supporti in legno e in pannelli da costruzione leggeri, però è necessario fare riferimento a prodotti diversi ed è comunque indispensabile garantire la protezione dall'umidità, perché può causare il rigonfiamento (quindi la riduzione di resistenza) dei supporti. L'intervento risulta invece problematico nel caso di edifici sotto tutela storico-ambientale.

- Sopralluogo per la valutazione del tipo e dello stato del supporto ed in particolare dell'umidità del supporto, del rischio di risalita dell'acqua per il sistema ETICS e l'individuazione di crepe nel sottofondo.
- Prova di sfregamento eseguita con il palmo della mano e/o con un panno scuro per determinare l'assenza di polveri, efflorescenze dannose o rivestimenti esistenti friabili.
- Prova di resistenza all'abrasione o all'incisione con un oggetto duro appuntito per determinare la resistenza e la capacità di sopportazione del carico da parte del supporto.
- Prova di bagnatura con pennello e/o spruzzatore per determinare l'assorbimento e l'umidità del supporto.
- Valutazione dell'umidità del supporto in loco (analisi visiva).
- Verifica di planarità, se nell'edificio vengono superate le tolleranze nazionali è necessario applicare idonee misure di compensazione realizzando un supporto portante adatto all'incollaggio.
- Per i supporti con rivestimento esistente è necessario effettuare una prova di resistenza allo strappo: ciò può avvenire con l'annegamento di una rete di armatura in fibra di vetro di almeno 30x30 cm col collante previsto. Alla prova di strappo, a distanza di tre giorni, si deve rimuovere solo l'armatura.

3.3.2 Incollaggio e fissaggio del pannello isolante

In fase di preparazione del collante, occorre rispettare accuratamente le indicazioni del produttore (indicazioni sull'imballo del prodotto, schede tecniche, schede di sicurezza). L'applicazione della colla può avvenire manualmente o a macchina. In ogni caso occorre verificare che tra l'isolante e il supporto non deve passare aria (altrimenti si verifica l'effetto camino) e che la lastra sia fissata uniformemente alla superficie del supporto.

L'applicazione del collante può avvenire con il metodo di incollaggio a cordolo perimetrale e a punti centrali o a tutta superficie. Nel primo caso la malta viene applicata al pannello isolante in maniera tale da formare strisce di qualche centimetro di larghezza parallele ai bordi del pannello, e da questi distanziate di circa 2 cm, e posizionate anche al centro del pannello. Questa tipologia di incollaggio è consigliata in presenza di supporti con piccole irregolarità che possono essere compensate.

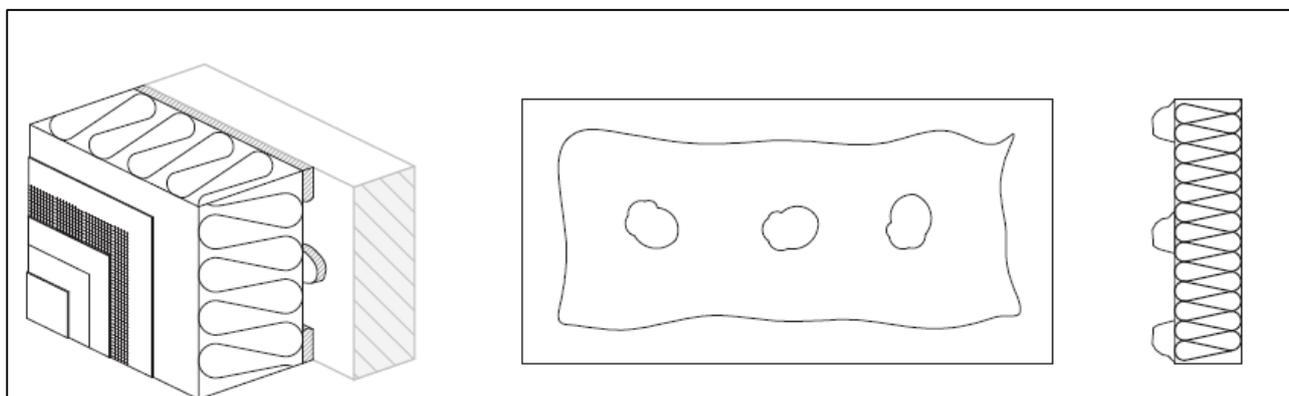


Figura 18. Applicazione del collante a cordoli perimetrali e a punti centrali. Fonte: Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019

Mentre mediante l'incollaggio a tutta superficie, lo strato di malta adesiva viene steso su tutta la superficie del pannello isolante per mezzo di una spatola dentata. È opportuno eliminare il collante dai bordi del pannello per una distanza di circa 2 cm per evitare il defluire della malta stessa nei giunti dei pannelli e la conseguente formazione di piccoli ma significativi ponti termici locali. L'incollaggio per esteso risulta particolarmente adatto quando si opera su supporti che presentano una buona planarità.

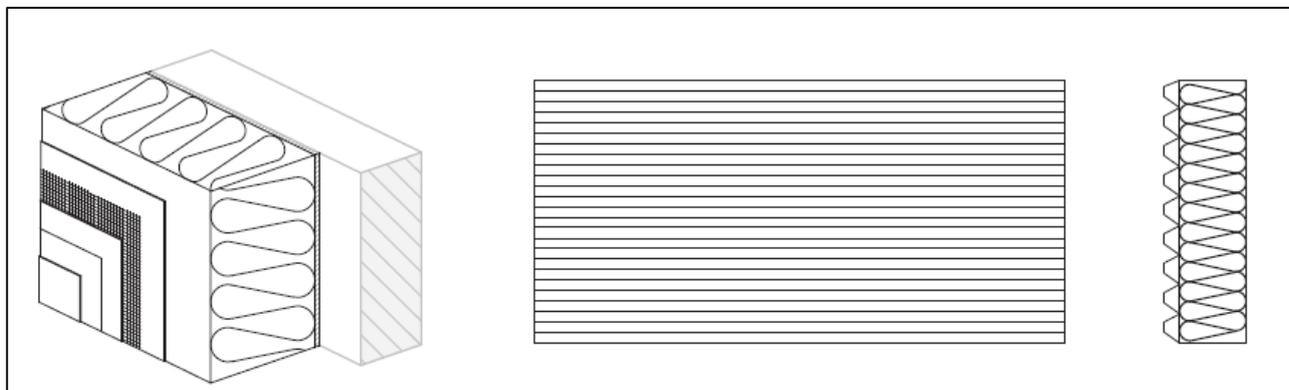


Figura 19. Applicazione del collante a tutta superficie. Fonte: Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019

Il materiale isolante deve presentarsi in forma di pannello con superfici regolari e con adeguate caratteristiche di resistenza meccanica. La posa dei pannelli, da effettuare sempre dal basso verso l'alto, deve essere preceduta dal posizionamento di un apposito elemento di supporto o "profilo di partenza" da posizionare in bolla con tasselli ad espansione.

I pannelli vanno applicati subito dopo aver posizionato il collante e devono essere attaccati al supporto mantenendo il lato lungo del pannello stesso in posizione orizzontale. La posa va effettuata a giunti verticali sfalsati (come per le murature di mattoni). È opportuno controllare con una certa frequenza la planarità del sistema durante la posa, e per tale operazione si può utilizzare una staggia. La posa deve essere effettuata in maniera tale da evitare la presenza di fessure tra i giunti. Eventuali aperture vanno chiuse con pezzi di isolante opportunamente sagomati. È fondamentale che tra pannello e pannello non ci siano dislivelli $\geq 0,5$ mm, nel caso si dovrà operare con raschiatura per ripianare il dislivello stesso.

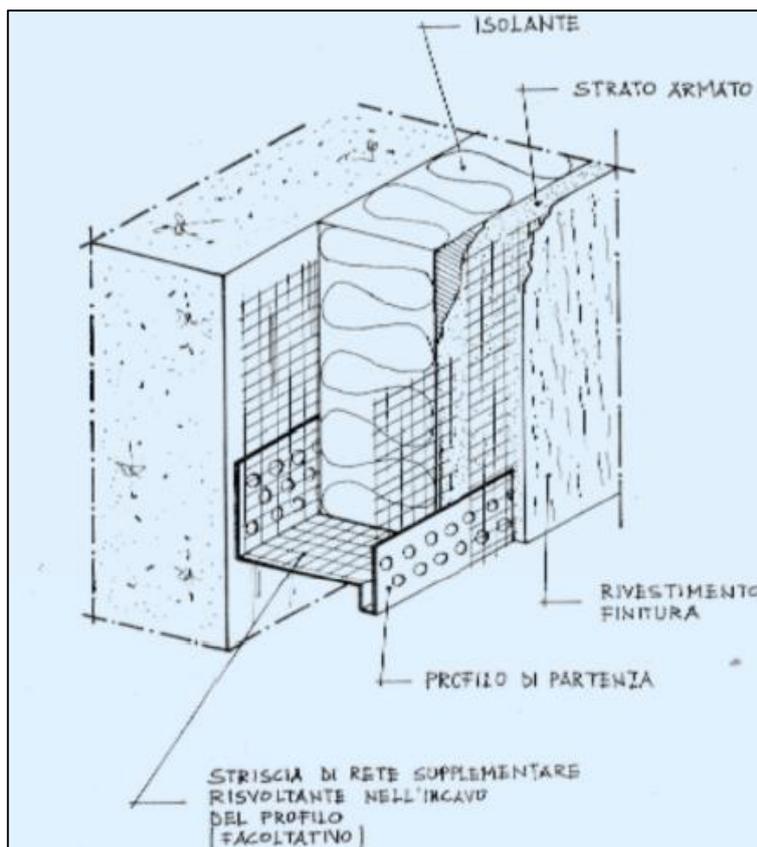


Figura 20. Dettaglio del profilo di partenza. Fonte: Caldera C., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018

In aggiunta, ma non in alternativa all'incollaggio, può essere previsto un fissaggio meccanico dei pannelli con appositi tasselli costituiti da un disco e da un gambo. Il disco ha la funzione di pressare l'isolante contro il supporto senza danneggiarlo per punzonamento mentre il gambo è l'elemento che deve garantire la presa al supporto. L'utilizzo dei tasselli dipende in linea di massima dal tipo di sistema adottato ma si può rendere particolarmente utile in presenza di supporti che presentano cattive condizioni sul supporto in superficie; in questo caso la tassellatura aggiuntiva permette di evitare possibili sfaldamenti tra lo strato strutturale e il rivestimento esistente, con conseguenti danneggiamenti del sistema di isolamento a cappotto.

Il numero di tasselli deriva dalle prove di sicurezza statica **UNI EN 1991-1-4:2005** (*Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento*) e ai rispettivi documenti nazionali di recepimento e applicazione. Questo calcolo dipende dai seguenti parametri:

- resistenza allo strappo del tassello dal supporto;
- tipo e caratteristiche del materiale isolante (resistenza alla trazione e alla perforazione);
- altezza dell'edificio;
- posizione dell'edificio;
- località in cui sorge l'edificio;
- forma dell'edificio.

L'altezza dell'edificio e l'orientamento influiscono sulla quantità dei tasselli da utilizzare, dato che essi svolgono la loro funzione principale soprattutto in zone dove l'azione del vento può creare situazioni di depressione consistente. In funzione del carico del vento viene determinata la larghezza

delle zone perimetrali (mai essere inferiore ad 1 m e superiore a 2 m), sulle quali è necessario aumentare il numero dei tasselli. In ogni caso va sempre assicurato lo schema di tassellatura a T o a W a seconda del materiale isolante.

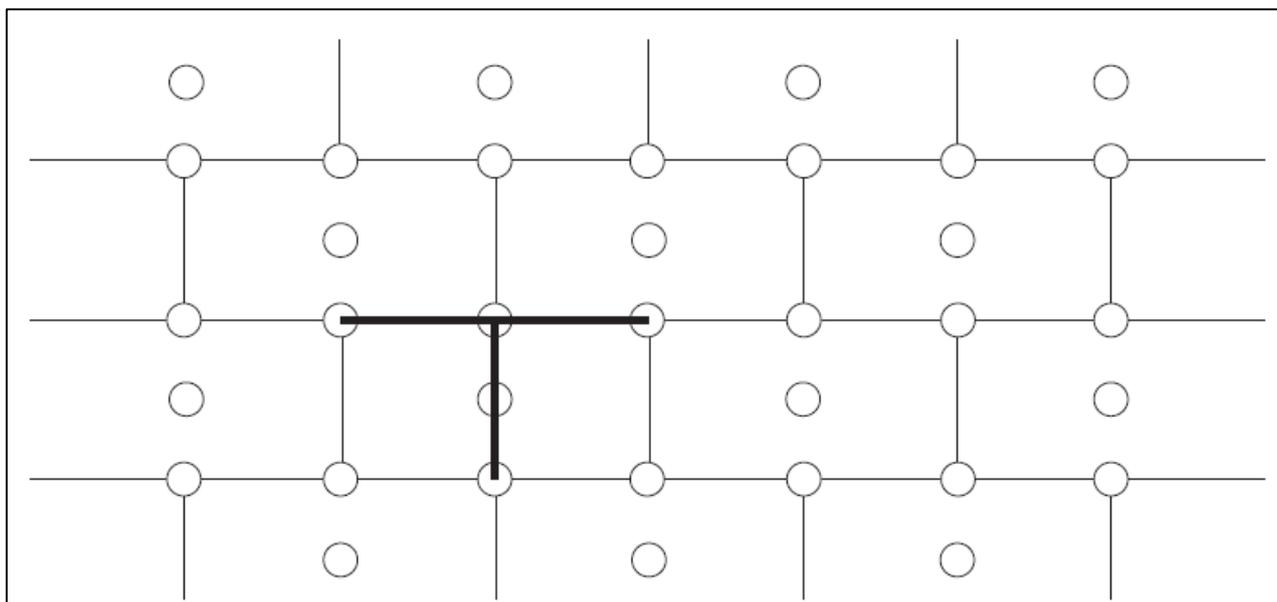


Figura 21. Schema di tassellatura a T. Fonte: Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019

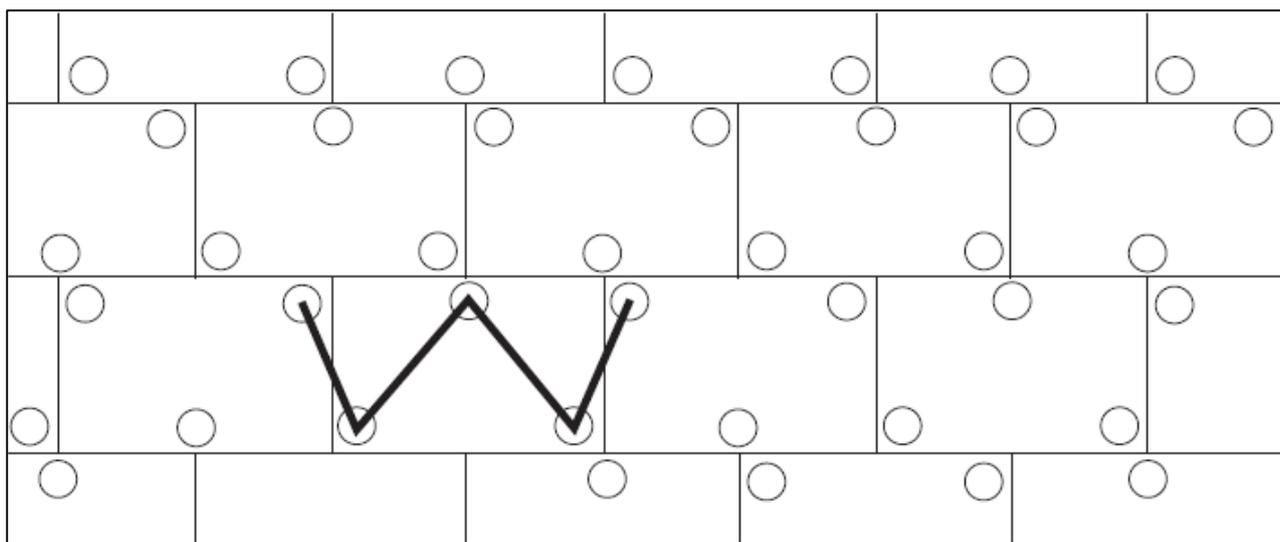


Figura 22. Schema di tassellatura a W. Fonte: Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019

I tasselli vengono applicati secondo le seguenti indicazioni:

- i tasselli devono essere inseriti a filo con l'isolante;
- il perno del tassello viene inserito a percussione o ad avvitamento, in base al tipo di tassello;
- verificare il corretto fissaggio del tassello;
- rimuovere i tasselli piegati o allentati (con scarsa tenuta). Inserire poi un nuovo tassello, non utilizzando lo stesso foro. I fori visibili devono essere riempiti con isolante/schiuma.

3.3.3 Rasatura armata

La rasatura armata, chiamata anche intonaco di base (o di fondo), è composto fondamentalmente da due elementi: la malta rasante e la rete d'armatura. È possibile utilizzare diversi tipi di intonaco di fondo in base ai requisiti del sistema e al materiale delle lastre isolanti (tipo di materiale e caratteristiche). Si distinguono intonaci di fondo a spessore sottile, medio e alto.

La malta rasante viene applicata con una spatola liscia in acciaio per uno spessore uniforme di circa 3 mm, seguendo le indicazioni fornite dal produttore del sistema. Dopo la formazione del primo strato (omogeneo e uniforme) di malta rasante si procederà alla posa della rete di armatura che viene annegata dall'applicazione dei successivi strati di malta rasante. L'armatura, che viene annegata nello strato di rasatura è generalmente costituita da una rete in fibra di vetro a maglia quadrata e può essere:

- armatura normale: rete in fibra di vetro del peso superficiale di circa 150 g/m². Questa armatura viene utilizzata normalmente per le parti della facciata che non sono soggette a particolari azioni meccaniche.
- armatura rinforzata: rete di vetro semirigida del peso di circa 300 g/m² che viene utilizzata in situazioni di utilizzo gravose (ad esempio un basamento di un fabbricato in prossimità di una zona a traffico veicolare) in cui è richiesta una prestazione di resistenza meccanica del sistema superiore al normale.

L'armatura, commercializzata in forma di rotoli, viene posata in verticale annegandola con l'ausilio di una spatola e prevedendo una sovrapposizione tra le strisce adiacenti di almeno 10 cm; è importante in questa fase che la rete sia posata con attenzione e cura, al fine di evitare la formazione di bolle o pieghe che non devono essere assolutamente eliminate ricorrendo al taglio della rete stessa. Agli angoli di porte e finestre è necessario inserire reti di armatura diagonali, da applicare nell'intonaco di fondo prima dell'applicazione della rasatura armata, e da fissare, in modo che i bordi delle strisce si trovino direttamente sull'angolo con inclinazione di circa 45°. Le strisce di rete hanno una dimensione di circa 200 x 300 mm.

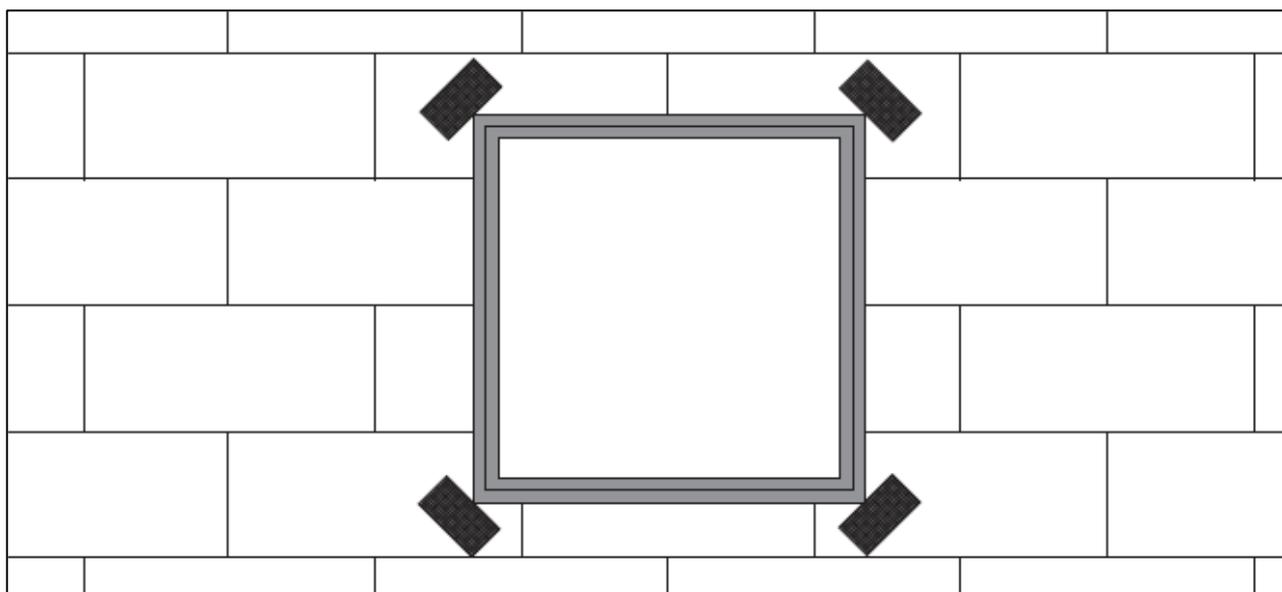


Figura 23. Posizione dei lembi di armatura sugli spigoli. Fonte: Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019

In caso di utilizzo di profili per la protezione degli spigoli con rete in fibra di vetro sovrapposta e di angoli con rete, si deve applicare l'intonaco di fondo nella stessa larghezza della striscia di rete prevista in modo che il profilo angolare e la striscia di rete vengano annegate in esso.

3.3.4 Intonaco di finitura

La realizzazione dello strato di finitura rappresenta la fase finale del lavoro, inoltre contribuisce a rendere il sistema resistente agli agenti atmosferici e gradevole all'aspetto (colore, brillantezza). Occorre che lo strato di rasatura sia completamente asciutto prima di iniziare la finitura; il periodo di asciugatura del sottofondo può durare da alcuni giorni a diverse settimane. Prima della posa del rivestimento finale può essere necessario, se espressamente richiesto dalle modalità di realizzazione del sistema, applicare uno strato di pittura o vernice di fondo (primer) la cui funzione essenziale è quella di garantire una adeguata adesione del rivestimento di finitura allo strato sottile di rasatura armata. Di solito se intonaco di fondo e finitura hanno la stessa base legante (resina sintetica o leganti minerali a base di calce e cemento) non è necessario utilizzare il primer.

Lo spessore minimo consigliato dello strato è 1,5 mm con finitura piena e 2 mm con finitura rigata. Per ottenere una superficie con struttura fine, per la quale è necessario un intonaco di finitura con grana inferiore a 1,5 mm, è necessario applicare più mani per raggiungere lo spessore minimo richiesto. L'utilizzo di sufficiente manodopera evita giunti visibili. Una lavorazione fresco su fresco evita il rischio di variazioni cromatiche e strutturali della superficie; le pause di lavoro dovrebbero corrispondere al completamento di superfici intere.

L'applicazione dei prodotti di fondo viene effettuata in maniera tradizionale utilizzando attrezzi quali pennello e rullo o mediante applicazione a spruzzo. Per la realizzazione dello strato di finitura si utilizza solitamente l'applicazione a spatola grazie alla migliore capacità di eliminare e compensare eventuali difetti di regolarità dello strato di rasatura.

Per evitare il raggiungimento di temperature superficiali troppo elevate, che potrebbero danneggiare la funzionalità dell'isolante e del suo rivestimento esterno, si consiglia dunque di adottare su superfici esposte al sole dei colori sufficientemente chiari.

Si consiglia inoltre di evitare, sempre su superfici particolarmente esposte al sole, i forti contrasti dovuti all'accostamento di colori chiari vicino a colori molto scuri poiché le differenti temperature superficiali che si raggiungerebbero in zone adiacenti porterebbero a movimenti differenziali di origine termica molto accentuati con la formazione di fessure.

4 Valutazione del degrado e sistemi di manutenzione

Negli ultimi anni, le repentine evoluzioni tecnologiche e le immissioni sul mercato di nuovi materiali e prodotti (più o meno innovativi), sono state accompagnate da uno sviluppo altrettanto accelerato e incontrollato di degradi di natura patologica. L'elevata dinamica innovativa (che nel nostro caso interessa i sistemi di involucro verticale) tende a influenzare ed ibridare i sistemi costruttivi più tradizionali, creando molto spesso problemi connessi a nuovi modi di guasto ed evoluzioni patologiche. Tale dinamica ha spezzato il legame tra progetto e cantiere, ovvero il rapporto esistente tra progetto esecutivo e momento costruttivo, quest'ultimo maturato nel tempo storico: infatti si tende sempre di più ad applicare nuove tecnologie costruttive senza averle sperimentate per un tempo sufficiente.

Per quanto riguarda il termine "*patologia edilizia*" si intende quando il deterioramento, considerato come perdita prestazionale di un componente o dell'intero sistema, si manifesta in tempi precedenti rispetto a quelli attesi. In altre parole la nascita di uno stato patologico si sviluppa sempre a causa della presenza di difetti all'interno di una fase, delle svariate fasi, in cui si sviluppa il processo edilizio. La patologia edilizia ha quindi l'obiettivo di studiare i fattori che attivano i degradi patologici, partendo dai fenomeni di alterazione e sviluppando strumenti di supporto logici, analitici e procedurali per la fase diagnostica e prognostica. Queste prime due fasi, permettono di mettere a punto le strategie di intervento manutentive più opportune (mirate ad eliminare i difetti e i fattori patologici generatori di guasto).

La strategia manutentiva che si attua sull'intervento a guasto avvenuto, ovvero quando l'abbassamento dei livelli prestazionali di un componente si è trasformata in avaria, porta ad operazioni molto spesso effettuate in situazioni ormai irreversibili o realizzate secondo una non adeguata conoscenza del fenomeno a cui si vuole rimediare. Questo comporta, oltre ad uno spreco di risorse, una inefficacia degli interventi manutentivi.

L'obiettivo è quindi razionalizzare la gestione tecnica ed economica degli interventi necessari a mantenere inalterato nel tempo il livello qualitativo di un manufatto, ristabilendo i livelli di efficienza e affidabilità delle opere soggette a fenomeni di obsolescenza e degrado. Questo sta alla base delle strategie di manutenzione programmata¹⁶.

4.1 Cura del costruito e processi di intervento

Come abbiamo visto nell'introduzione del capitolo, quando ci si riferisce ad attività di recupero e di manutenzione del patrimonio edilizio, si fa uso molto spesso di termini utilizzati nell'ambito medico: si parla di *patologia* riferendosi a fenomeni di degrado, di *sintomi* che l'edificio mostra e ci segnalano la presenza di un'anomalia e di *terapia* per indicare le operazioni di intervento. L'obiettivo

¹⁶ Di Giulio R., *Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, 2003

dell'intervento è quello di riportare il grado delle prestazioni attese dell'edificio entro limiti accettabili, come il medico cura il proprio paziente fino al recupero delle proprie funzionalità e la guarigione. L'edificio invecchiando va incontro a fenomeni di degrado che possono essere di natura *fisiologica* (invecchiamento naturale) e *patologica*.

Tuttavia la medicina ha sviluppato metodi di indagine molto efficienti, basati su procedure operative e metodi di strutturazione, che si sono affermate nel tempo. Per questo motivo, ripercorrendo la sequenza logica che la medicina percorre si possono analizzare i significati più profondi delle parole conservazione e restauro, che mirano a *curare* e *guarire* l'intero organismo edilizio.

Il metodo clinico segue una procedura codificata che consente, attraverso un processo logico e sequenziale, di definire la terapia più idonea alla cura del paziente. Le fasi principali in cui si articola il metodo clinico sono le seguenti:

- 1. Anamnesi.** Riguarda l'insieme delle informazioni che il medico raccoglie dai ricordi del malato e dei suoi familiari circa le circostanze che hanno preceduto e accompagnato la malattia. Oltre agli esami riguardanti i principali parametri vitali, che valutano lo stato generale di salute del paziente, l'anamnesi ricostruisce le modalità di insorgenza ed il decorso della patologia in sviluppo. Da questa prima fase il medico è in grado di predisporre le analisi e gli esami clinici più idonei per formulare la diagnosi più corretta.
- 2. Diagnosi.** Permette di collegare la patologia con i sintomi che si sono manifestati. Acquisendo le informazioni, attraverso la loro comprensione e interpretazione. Il processo diagnostico si compone delle seguenti fasi:
 - fase di abduzione, nella quale il medico suppone le malattie che meglio riescono a spiegare i sintomi manifestati;
 - fase di conferma o falsificazione delle ipotesi formulate, acquisendo nuovi dati che possono confermare o andare contro le supposizioni fatte;
 - fase di deduzione, che porta all'eliminazione delle ipotesi che non corrispondono col nuovo quadro di dati;
 - iterazione ciclica dei ragionamenti precedentemente esposti, al fine di ricondurre le alternative individuate (nelle fasi precedenti) a quella che meglio spiega la compresenza dei parametri acquisiti.
- 3. Terapia.** Anche detta "cura", consiste nel corretto trattamento delle malattie e delle ferite. Ha un duplice obiettivo: riportare uno stato patologico ad uno stato sano e/o alleviare i sintomi dolorosi.
- 4. Prognosi.** È un giudizio di previsione in funzione dell'andamento della malattia e della terapia applicata. Viene formulata secondo analoghe situazione note in precedenza.

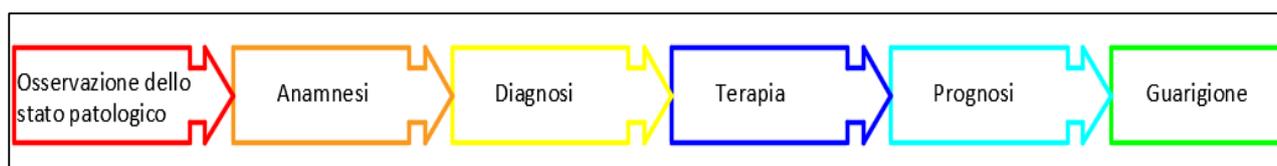


Figura 24. La sequenza delle fasi del metodo clinico. Rielaborazione dalla fonte: Bardelli P. G. e Ribaldone M., *Curare documentare mantenere*, Alinea editrice, Firenze, 2009

La sequenza delle fasi di intervento sul costruito è caratterizzata da complesse interazioni e reiterazioni fra gli attori coinvolti nel processo. Inoltre l'apporto specialistico della chimica (che partecipa alla comprensione dei fenomeni a livello microscopico nei materiali) si accompagna alla petrografia, alla scienza dei materiali, alla scienza e tecnica delle costruzioni, alla storia dell'architettura e alla storia delle tecniche costruttive. Il momento di sintesi, che risulta di fondamentale importanza, è quello di messa in atto della terapia. Spetta al progettista gestire la complessità (nata dall'intrecciarsi delle varie competenze), coordinando e acquisendo i diversi contributi attraverso un metodo iterativo: alternando le fasi di analisi con quelle di sintesi, operando un controllo continuo e verificando ogni scelta e ogni fase del processo, analizzando le problematiche di dettaglio senza perdere di vista la problematica generale.

Il progetto di intervento sul costruito deve quindi denunciare le problematiche connesse all'intervento stesso, dimostrando attenzione all'analisi del problema e alle tecniche d'avanguardia. Di seguito si riportano le fasi¹⁷ in cui deve articolarsi correttamente l'intervento sul costruito:

- 1. Rilevamento dello stato di ammaloramento.** Il processo di intervento parte dal rilievo del degrado che si manifesta sul manufatto: invecchiamento naturale dei propri componenti o di uno stato di degrado di natura patologica.
- 2. Fase anamnestica.** Vengono acquisiti i dati identificativi del bene architettonico oggetto di studio e di intervento: attività manutentiva, analisi storico-critiche, studio dei materiali e delle tecniche costruttive, rilievi geometrici, analisi del comportamento strutturale, degradi e dissesti. Un'accurata ricerca storica, condotta tramite fonti archivistiche e bibliografiche, permette di ricostruire le vicende progettuali e costruttive, di trovare notizie circa i progettisti e le maestranze coinvolte, di reperire le specifiche tecniche e in alcuni casi gli interventi manutentivi (ordinari e straordinari) che hanno interessato l'opera dopo la sua costruzione. Tutte queste informazioni permettono di individuare gli strumenti di analisi più adatti a indagare i sintomi del degrado, patologico o fisiologico, che interessano il manufatto e a comprenderne le cause di alterazione. Viene anche detta fase di prediagnosi, in questa prima fase le indagini sono basate sui rilevamenti a vista.
- 3. Fase diagnostica.** Vengono individuate le alterazioni e le manifestazioni di degrado cui è soggetto il manufatto, mettendo in relazione le cause (dirette o indirette) che hanno originato il difetto. Grazie al rilevamento e all'interpretazione diagnostica è possibile individuare una serie di ipotesi, che vengono confrontate ed eventualmente approfondite secondo un processo iterativo portato avanti per gradi successivi.
- 4. Individuazione della terapia e progettazione:** Viene individuata una terapia e viene proposto un progetto, ovvero un insieme di azioni organizzate in modo da arrestare o rallentare il degrado, anche grazie alla correzione di dettagli tecnologici. Sotto il punto di vista dell'edilizia risultano ancora delle carenze da non trascurare: infatti, molto spesso, nella pratica di cantiere (dove si agisce direttamente sulla materia e si compiono le scelte operative di conservazione) non viene redatta la documentazione puntuale delle terapie applicate e dei loro esiti. La medicina moderna ha messo a punto protocolli operativi che trattano delle cure e delle terapie per ogni stadio della malattia. Raccogliere in modo preciso

¹⁷ Bardelli P. G. e Ribaldone M., *Curare documentare mantenere*, Alinea editrice, Firenze, 2009

e dettagliato gli esiti dei propri interventi, ha consolidato nel tempo un bagaglio di conoscenze scientifiche: archiviando sistematicamente i dati ricavati dall'esperienza al fine di creare una base di conoscenza condivisa.

- 5. Fase di gestione, cura e controllo dell'intervento:** È l'ultima fase ed inizia al termine dell'intervento, ovvero quando il bene inizia un nuovo ciclo di vita. Molto spesso i manufatti edilizi non ricevono una costante e periodica manutenzione, quindi sono soggetti ad interventi di urgenza messi in atto quando ormai versano in condizioni di forte degrado.

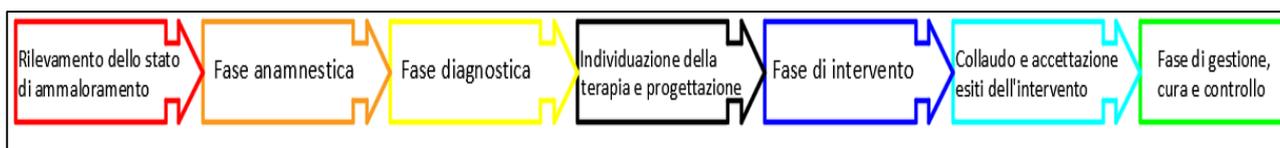


Figura 25. La sequenza delle fasi dell'intervento sul costruito. Rielaborazione dalla fonte: Bardelli P. G. e Ribaldone M., *Curare documentare mantenere*, Alinea editrice, Firenze, 2009

Sussistono alcune fondamentali differenze fra la scienza medica e la disciplina della conservazione. La più evidente consiste nel fatto che la medicina può contare su una base statistica per comprendere i fenomeni, il loro decorso e la loro ricorrenza. Inoltre il medico può avere riscontro quasi immediatamente sul decorso della malattia, tanto da poter somministrare una terapia generalizzata e in un secondo momento correggerla o ridosarla. In materia di conservazione i tempi del progettista sono più ampi: parlare di ricette mediche, soprattutto per i casi con caratteristiche particolari, può portare a conseguenze disastrose. L'edificio, a differenza dell'organismo umano, non può dirsi completamente noto, in quanto ogni edificio costituisce un unicum e di fatti un prototipo di sé stesso.

4.1.1 Processi di obsolescenza

L'obsolescenza di un edificio o di una parte di esso è la conseguenza di un insieme di fattori, che causano il progressivo decadimento prestazionale dei materiali e dei componenti ed è determinata dal processo di invecchiamento naturale o a fenomeni patologici.

Differentemente dai processi di invecchiamento naturale, più o meno prevedibili e stimabili nel tempo, il degrado patologico si manifesta in tempi ed effetti estremamente variabili. In questa seconda categoria rientrano i difetti, le avarie o i guasti, causati da agenti di degrado che alterano il ciclo di vita dell'edificio o di una sua parte. Oltre all'obsolescenza che colpisce le prestazioni fisiche, chimiche e meccaniche dei materiali (*obsolescenza fisica*) bisogna tenere conto anche dell'*obsolescenza funzionale* e dell'*obsolescenza tecnologica*.

L'obsolescenza funzionale riguarda quelle unità tecnologiche che non sono più in grado di svolgere pienamente le funzioni per le quali sono state progettate: questo accade nel caso in cui si operano trasformazioni non previste nella fase di progetto, che richiedono la sostituzione di determinati componenti, quando si attuano trasformazioni nella destinazione d'uso o quando l'introduzione di nuove norme impone dei cambiamenti sostanziali nell'uso di materiali o prodotti.

L'obsolescenza tecnologica è invece legata ai processi di innovazione tecnica: la sostituzione di un componente può infatti diventare vantaggiosa in relazione all'immissione sul mercato di nuovi

prodotti, capaci di offrire livelli qualitativi più elevati. Quest'ultime, anche se non provocano guasti o avarie nelle unità tecnologiche, determinano un abbassamento dei livelli prestazionali al di sotto di una soglia di "qualità minima accettabile" misurata in relazione alle esigenze dell'utenza, alla sicurezza, agli standards normativi o più in generale ai requisiti che un edificio deve soddisfare. Bisogna sottolineare come questa soglia non sia costante nel tempo, infatti mutuano le esigenze e gli standards abitativi¹⁸.

4.2 Degrado: agenti, azioni ed effetti

Per degrado si intende il progressivo deterioramento, più o meno evidente, dell'integrità fisica o dell'efficienza prestazionale dell'organismo edilizio o di una sua parte.

La disciplina preposta allo studio del degrado è la patologia edilizia, spesso intesa come sinonimo di degrado, guasto o anomalia.

La conoscenza del processo che porta ad uno stato patologico consente, da un lato, di risalire dal guasto al difetto che l'ha generato, dall'altro di individuare i criteri di intervento più idonei adottare per riportare l'elemento tecnico sui livelli di prestazione programmati.

Per una corretta tecnica di manutenzione è necessario individuare, attraverso un'indagine diagnostica, gli **agenti** e le **azioni** che generano come **effetto** il guasto. Generalmente gli agenti che portano all'invecchiamento naturale coincidono con quelli che portano ad un degrado patologico, tuttavia la sequenza concatenata e combinata di azioni ed effetti che portano al guasto sono molto diversi. Va sottolineato, in ogni caso, il fatto che un difetto è in grado di attivare un guasto solo quando stimolato dallo specifico agente a cui è sensibile; non è detto infatti che la presenza di un prodotto difettoso sia di per sé sufficiente ad accelerare il processo di invecchiamento. Errori di progetto, di costruzione, di gestione e di manutenzione, dai quali derivano i difetti, possono accentuare in termini di velocità e intensità l'evoluzione di anomalie.

Come detto precedentemente, un guasto può essere connesso ad un difetto solo in presenza di un agente che lo scateni. Dunque, in generale, l'evolversi del degrado può essere schematizzato nel seguente modo¹⁹:

¹⁸ Di Giulio R., *La manutenzione programmata*, in "Manuale di progettazione edilizia", vol.6, Hoepli, Milano, 1995

¹⁹ Rejna M. (a cura di), *Modificazioni patologiche in edilizia*, Epitesto, Milano, 2005

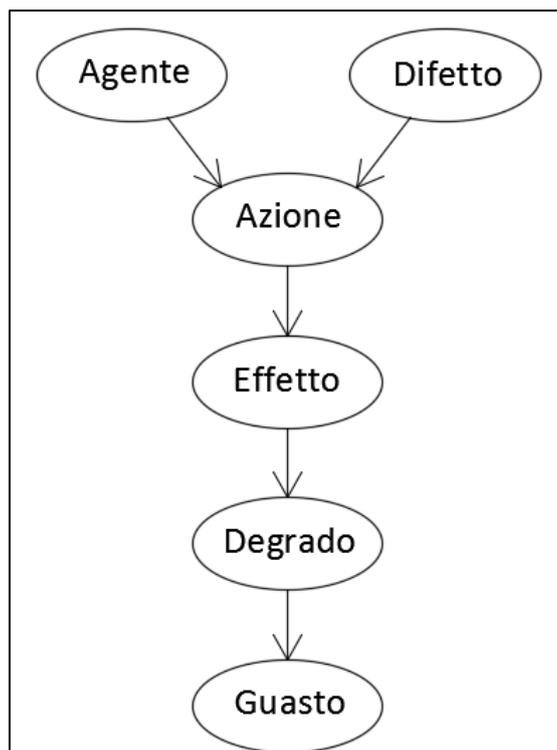


Figura 26. Schema dell'evoluzione del degrado. Rielaborazione dalla fonte: Rejna M. (a cura di), *Modificazioni patologiche in edilizia*, Epitesto, Milano, 2005

Pertanto gli agenti provocano determinati effetti, in grado di generare guasti mediante le proprie azioni e il deterioramento del componente edilizio avviene quando è presente l'agente a cui il componente stesso è vulnerabile. Per poter intervenire tempestivamente e porre rimedio all'inadeguatezza della soluzione tecnica, è necessario conoscere tutti gli agenti in grado di modificare le prestazioni dell'organismo edilizio.

La tabella seguente, riassume tutti gli agenti che possono causare fenomeni di degrado.

Natura degli agenti		<u>Origine</u>			
		Esterna all'edificio		Interna all'edificio	
		Atmosfera	Terreno	Imposti dall'uso	Conseguenza della progettazione
AGENTI MECCANICI	<i>Peso</i>	Carichi da neve e da pioggia	Spinta del terreno e spinte idrostatiche	Carichi di esercizio	Carichi permanenti
	<i>Forze e deformazioni imposte</i>	Pressione del ghiaccio, dilatazioni termiche e igroscopiche	Cedimenti e scivolamenti	Sforzi di manovra, punzonamento	Ritiro, forze e deformazioni imposte
	<i>Energia cinetica</i>	Vento e grandine	-	Impatto, strofinamento	Colpi d'ariete
	<i>Vibrazioni e rumori</i>	Rumori di: vento, tuoni, aerei, esplosioni, traffico e macchinari	Terremoti, vibrazioni dovute al traffico e ai macchinari	Rumori e vibrazioni dovuti a musica, danza ed apparecchi domestici	Rumori e vibrazioni dell'edificio o dei suoi impianti

AGENTI ELETTROMAGNETICI	<i>Irraggiamento</i>	Irraggiamento solare e radioattività	-	Lampade, irraggiamento, radioattività	Superfici radianti
	<i>Elettricità</i>	Fulmine	Correnti vaganti	-	Elettrostaticità e distribuzione elettrica
	<i>Magnetismo</i>	-	-	Campi magnetici	Campi magnetici
AGENTI TERMICI	<i>Temperatura</i>	Irraggiamento solare e convezione	Conduzione	Riscaldamento e irraggiamento	Superfici radianti e di distribuzione
	<i>Escursione termica</i>	Irraggiamento solare e convezione	Conduzione	Riscaldamento e irraggiamento	Superfici radianti e di distribuzione
AGENTI CHIMICI	<i>Acqua e solventi</i>	Umidità dell'aria, condensazioni e precipitazioni	Acqua di superficie e acqua di falda	Proiezioni d'acqua, condensazioni, detergenti e alcool	Acque di distribuzione, acque di scarico e infiltrazioni
	<i>Ossidanti</i>	Ossigeno, ozono, ossido d'azoto	Potenziali elettrochimici positivi	Disinfettanti e candeggianti	Potenziali elettrochimici positivi
	<i>Riduttori</i>	-	Solfuri	Agenti di combustione e ammoni	Agenti di combustione e potenziali elettrochimici negativi
	<i>Acidi</i>	Acido carbonico e acido solforico	Acido carbonico e acidi presenti nell'humus	Aceto, acido citrico e acido carbonico	Acido solforico e acido carbonico
	<i>Basi</i>	-	Calce	Soda caustica, potassio e idrati d'ammoniaca	Soda caustica e cementi
	<i>Sali</i>	Nebbie saline	Nitrati, fosfati, cloruri e solfati	Cloruro di sodio	Cloruro di calcio e solfati di gesso
	<i>Sostanze neutre</i>	Polveri neutre	Calcare e silice	Grassi, oli, inchiostri e polveri neutre	Grassi, oli e polveri neutre
AGENTI BIOLOGICI	<i>Vegetali e microrganismi</i>	Batteri e semi	Batteri, muffe, funghi e radici	Batteri e piante domestiche	Polveri e resti organici
	<i>Animali</i>	Insetti e uccelli	Roditori	Animali domestici	Polveri e resti organici
AGENTI UMANI		-	-	Persone	Progetto da sistema, procedure di installazione e manutenzione

Tabella 3. Agenti in grado di modificare le prestazioni dell'organismo edilizio. Fonte: ISO 6241:1984

Sotto l'azione di un agente scatenante, il degrado attivato da un difetto, ancor prima della comparsa del guasto, può essere registrato attraverso la comparsa di anomalie visibili e/o comportamentali percepibili solo attraverso l'uso di sensori o strumenti di indagine. Pertanto il rilievo delle anomalie visibili o misurabili è un momento estremamente importante per l'analisi del degrado e durante la fase di diagnosi è possibile giungere alle seguenti conclusioni:

- L'anomalia visibile evidenzia direttamente il difetto dell'elemento su cui compare. Ad esempio le microfessurazioni nella malta di allettamento, che provocano la perdita di impermeabilità dello strato.
- L'anomalia visibile evidenzia indirettamente l'esistenza di un difetto attivatore di un guasto. Ad esempio il deposito disomogeneo di polvere e muffe all'intradosso di una copertura, in corrispondenza dei travetti (zone più fredde), dovuto alla non uniformità della temperatura superficiale (fenomeno di termoforesi).
- L'anomalia visibile evidenzia indirettamente un guasto che riguarda strati interni e non visibili. Ad esempio lo stato di guasto nelle membrane impermeabili delle coperture (fenomeno di stillicidio).
- L'anomalia visibile esprime direttamente il guasto e indirettamente l'esistenza di un difetto in strati non visibili. Ad esempio la fessurazione di una membrana impermeabile sovrapposta ad un giunto di accostamento tra pannelli isolanti, che evidenzia uno stato tensionale anomalo generato dalle deformazioni differite dei materiali.

In conclusione, si può dire che ancor prima della comparsa di guasti veri e propri è possibile valutare fin da subito gli opportuni interventi di manutenzione preventiva da eseguire.

4.3 Rilievo e analisi del degrado

Il degrado prodotto da invecchiamento naturale e quello dovuto a fenomeni patologici rientrano, in molti casi, nell'evoluzione di uno stesso processo: essendo i secondi, spesso, una degenerazione dei primi. Fanno eccezione le forme di degrado dovute a eventi accidentali (incendio, terremoto, eventi catastrofici ecc.) e a difetti di progettazione, realizzazione o posa in opera. Tuttavia gran parte delle patologie edilizie sono la conseguenza di forme naturali di obsolescenza che, in assenza di interventi di manutenzione, portano ad un abbassamento delle prestazioni tale da pregiudicare la resistenza alle azioni degli agenti.

Le proprietà dei materiali e le caratteristiche dei singoli componenti, consentono di valutare e prevedere (con più o meno ampi gradi di approssimazione) come il fenomeno di degrado si evolverà in funzione del processo di invecchiamento. Valutando tutte le possibili cause alle quali le forme patologiche di degrado sono riconducibili e redigendo un piano di controllo in grado di rilevare tempestivamente i sintomi di un processo di degrado.

I principali fattori che determinano l'insorgere di degrado e di patologie sono da ricondursi all'azione degli agenti atmosferici, al verificarsi di eventi accidentali, all'uso scorretto dell'utenza (scarsa conoscenza delle modalità d'uso e manutenzione), incuria e in alcuni casi vandalismo. Per quanto riguarda gli eventi accidentali e i fenomeni atmosferici, l'intensità e la frequenza con la quale si verifica l'insorgere di una o più patologie, dipendono dalle condizioni ambientali alla quale sono esposti i materiali e alle condizioni di esercizio a cui sono destinati. Quindi per una corretta

valutazione del ciclo di vita, anche solo di un singolo elemento, è necessario considerare la sua posizione fisica e la modalità del suo utilizzo.

In più l'azione degli agenti di degrado, viene amplificata in presenza di errori di progettazione e/o di esecuzione.

Molto spesso gli **errori di progettazione** dipendono da: scelta sbagliata delle soluzioni tecnologiche e dei materiali, impiego di tecnologie non sufficientemente sperimentate, errata valutazione dei fenomeni ambientali, carenza o errori nei dettagli costruttivi che determinano una scorretta esecuzione delle opere da parte dell'impresa.

Mentre gli **errori di posa in opera** possono derivare da: errata interpretazione delle specifiche di progetto, mancato controllo della qualità dei materiali e prodotti, assenza di un adeguato controllo durante le fasi realizzative e competenze non idonee delle maestranze.

Bisogna tener conto anche dei fattori di degrado dovuti all'esecuzione tardiva e/o non appropriata degli interventi manutentivi che provocano il peggioramento del difetto, innescando nuove forme patologiche e danneggiando gli elementi che altrimenti sarebbero rimasti intatti.

L'analisi del degrado, la diagnosi dei fenomeni patologici in atto, gli strumenti e le procedure finalizzate alla valutazione delle condizioni di un manufatto, sono la componente essenziale per lo sviluppo delle strategie di manutenzione. Per analizzare le cause e gli effetti delle patologie edilizie bisogna ricorrere a rilevamenti, prove in laboratorio (principalmente prove chimico-fisiche e meccaniche), prove in situ e ai test strumentali (temperatura ambiente, umidità relativa, esposizione, etc.). Nella maggior parte dei casi le procedure di controllo non necessitano di apparecchiature sofisticate, ma per una corretta diagnosi necessario avere uno strumento che guidi l'operatore addetto alle ispezioni. Questa strumentazione di supporto deve ridurre al massimo i costi, i tempi ed essere oggettiva; a tal fine è possibile ricorrere a questionari, check list o schede di rilevamento (atte a garantire una corretta interpretazione e una lettura critica dei componenti del sistema).

La programmazione delle procedure di controllo prevedono ispezioni frequenti, che consentano di individuare tempestivamente la presenza di un difetto, di un guasto o anomalia. La realizzazione di delle procedure di controllo diventa indispensabile, soprattutto nel caso di edifici complessi o di immobili di grandi dimensioni, pertanto è necessario prevedere un sistema di monitoraggio organizzato secondo una successione programmata di ispezioni.

I problemi che riguardano il controllo dei materiali in condizioni di esercizio, sono principalmente relativi a due ordini di questioni. Il primo riguarda la scelta, per ogni sottosistema, degli *intervalli temporali* secondo i quali effettuare i rilevamenti. Il problema viene risolto raccogliendo e sistematizzando tutti i dati tecnici dell'edificio al fine di tracciare, per ogni unità tecnologica, una "curva teorica" dei processi di obsolescenza, che consenta di calibrare gli intervalli tra i cicli di ispezione. La seconda questione è relativa alla messa a punto di metodi e strumenti di monitoraggio che consentano di ridurre al minimo la soggettività. La messa a punto di queste *guide di ispezione* richiede l'acquisizione di una documentazione completa per poter stabilire:

- ✓ elementi e metodi di controllo da ispezionare;
- ✓ sintomi che si manifestano nei fenomeni di degrado;

- ✓ livello di gravità da attribuire al difetto trovato;
- ✓ registrazione di dati, affinché siano interpretati e utilizzati anche da altri.

4.3.1 Metodi e tecniche per il rilevamento e il monitoraggio dei processi di degrado

Già a partire dalla prima metà degli anni novanta, il settore delle tecniche di indagine non distruttive ha sviluppato una serie di strumentazioni di nuova generazione di grande potenzialità ed efficienza. Ciò ha consentito di sviluppare (integrando controlli distruttivi e non) il campo della diagnostica, che tende sempre di più ad essere un momento preventivo nella gestione della qualità dell'edificio nel tempo. Prevedere e prevenire i fenomeni di decadenza nei componenti (sia del patrimonio esistente sia di quello nuovo) necessita di strumenti di analisi delle condizioni dei componenti stessi, i quali interpretando il dato forniscono come input l'intervento riparativo da eseguire.

Monitorare le condizioni di un edificio significa effettuare controlli non distruttivi in modo continuativo, attraverso l'integrazione fra il componente edilizio e lo strumento diagnostico. Molto spesso, nei metodi di ispezione convenzionali, il fenomeno di degrado viene valutato in modo qualitativo. Però, per i fini manutentivi, si necessita che il fenomeno patologico venga studiato come evento misurabile in termini quantitativi, per poterne misurare il grado di avanzamento e rendere l'analisi del degrado il più possibile oggettiva.

Le tecniche di indagine possono essere non distruttive, semidistruttive o distruttive²⁰:

- Per prove **non distruttive** si definiscono tutte quelle tecniche, più o meno sofisticate, utilizzate su strutture, superfici e particolari architettonici che non richiedono la demolizione. Quindi non compromettono l'integrità e la funzionalità del manufatto o di sue parti, non alterandone l'aspetto e la materia. Alcuni di questi metodi sono orientati alla restituzione fisica dell'oggetto, altri al rilievo di degradi o alla messa in evidenza di inefficienze prestazionali. Nel caso di decadimenti prestazionali si fa riferimento alla prestazione considerata, mentre in altri casi si deve ricorrere a letture indirette che necessitano di essere comprese successivamente. La maggior parte delle volte, i metodi di indagine non distruttivi, non portano direttamente alla diagnosi ma richiedono del contributo di specialisti per l'interpretazione dei risultati.
- I metodi **semidistruttivi** non necessitano di demolizioni che modificano irreversibilmente l'oggetto di indagine, ma si limitano solo a modeste alterazioni del manufatto (ad esempio piccoli fori o prelievi di campioni di dimensioni millimetriche).
- Infine per **metodi distruttivi** si intendono tutte quelle tecniche che richiedono il prelievo di campioni, talvolta anche consistenti, dell'oggetto in esame, distruggendolo o modificandolo in maniera irreversibile.
-
-

²⁰ Gasparoli P., *Le superfici esterne degli edifici*, Alinea editrice, Firenze, 2002

Un'altra distinzione, di tecniche di indagini, fa riferimento al luogo in cui possono essere eseguite le prove: in sito o in laboratorio. Di seguito verranno presentate le tecniche maggiormente impiegate per i metodi distruttivi e semidistruttivi.

Prove in sito

Termografia

È un metodo d'indagine utilizzato in diversi campi, viene utilizzato per rilevare:

- dispersioni termiche;
- distacchi d'intonaco o di rivestimenti;
- anomalie strutturali (discontinuità, aperture tamponate, etc.);
- fenomeni dovuti all'umidità.

L'apparecchiatura termografica rileva le radiazioni elettromagnetiche nello spettro dell'infrarosso termico. Per effettuare una misurazione è necessario creare un gradiente di temperatura all'interno dell'oggetto d'indagine, infatti è opportuno rilevare le dispersioni termiche nella stagione invernale (con l'impianto di riscaldamento in funzione). Il flusso di calore uscente dall'involucro è funzione della conducibilità termica, della densità e del calore specifico del materiale. Se ci sono delle discontinuità della diffusività termica, nell'immagine termografica emergono delle variazioni di temperatura (caldo o freddo) che sono generate da differenti valori termici. Dove la resistenza termica dei materiali è più bassa, dove cioè si hanno più dispersioni termiche, la temperatura superficiale esterna sarà più alta rispetto a quella delle superfici a maggiore resistenza termica.

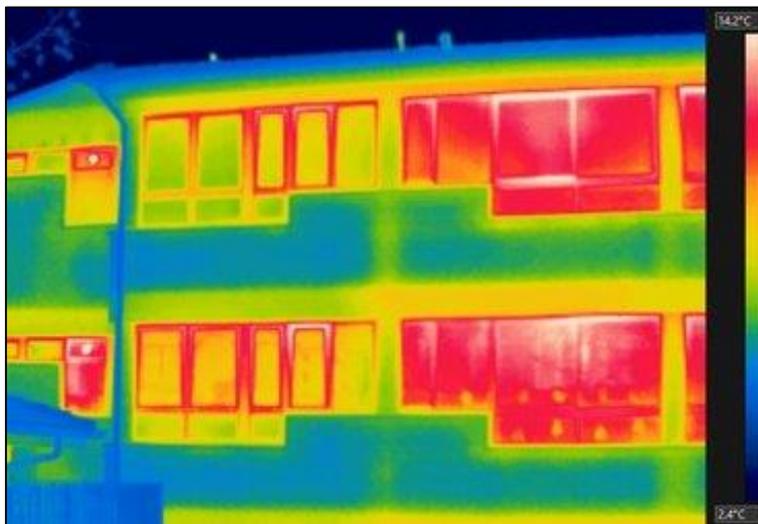


Figura 27. Immagine termografica. Fonte: <http://geomebsrls.weebly.com/indagini-termografiche.html>

Il vantaggio del rilievo termografico è quello di poter studiare le superfici a distanza. È un'indagine non distruttiva, tuttavia le misurazioni non sono sempre precise, soprattutto se la superficie da misurare è molto distante e/o variano le condizioni termiche di contorno.

Monitoraggio ambientale

È utile a valutare le condizioni al contorno degli edifici e degli ambienti interni, in più permette di stabilire le propensioni al degrado dell'edificio o di sue parti. I parametri che spesso vengono misurati sono:

- temperature dell'aria interna ed esterna;
- umidità relativa interna ed esterna;
- temperatura superficiale delle pareti;
- velocità e direzione del vento;
- precipitazioni meteoriche;
- illuminazione;
- irraggiamento;
- livello di pressione acustica;
- presenza di inquinanti (CO₂, SO_x, NO_x, etc.).

Il sistema di monitoraggio ambientale può essere realizzato con due diverse metodologie, che fanno uso di strumenti diversi (sensori, sonde, trasmettitori, etc.) e differenti dati rilevabili. Il sistema computerizzato può gestire una notevole quantità di dati e attraverso l'impiego di alcuni software è possibile gestire contemporaneamente differenti sensori e rilevare i dati secondo condizioni particolari (intervalli temporali e/o condizioni da misurare prestabilite). Mentre i datalogger sono dei minisistemi autonomi di dimensioni ridotte con dei sensori che registrano i valori da rilevare in intervalli di tempo regolari. Da misurazioni, come umidità e temperatura, è possibile prevedere l'eventuale formazione di condense e quadri fessurativi dovuti a movimenti indotti dal calore. Inoltre vengono molto spesso utilizzati per la determinazione del comfort ambientale (PMV).

Radiografia

Attraverso i raggi x e γ viene utilizzata per studiare le strutture in metallo e i dipinti. Si basa sulla variazione di attenuazione, che le radiazioni elettromagnetiche subiscono quando incontrano un difetto mentre attraversano un materiale. La penetrazione delle onde viene in parte assorbita e in parte riflessa, in funzione del peso atomico degli elementi che costituiscono l'oggetto e della sua eterogeneità. Le variazioni di intensità del fascio emergente, vengono rilevate poiché formano sul materiale zone ad intensità differente da cui si ricava l'immagine radiante.

Magnetometria

Permette di rilevare i corpi metallici nascosti, come ad esempio tubature di impianti ed elementi strutturali presenti nelle murature. Il magnetometro è costituito da una centralina e una sonda (con campo d'azione di 6 o 12 cm) che genera un campo magnetico indotto. I limiti di questo metodo di indagine sono:

- se viene superato il limite del campo di azione, non viene rilevato l'oggetto metallico;
- se sono presenti più oggetti metallici, non è possibile determinarne l'esatta posizione.

Ultrasuoni

Viene impiegata per valutare la compattezza di un materiale, il suo spessore, il modulo elastico e la profondità delle lesioni (se presenti). Il principio di funzionamento si basa sul tempo impiegato dalle onde (longitudinali o trasversali) emesse dalla sonda sorgente ad essere raggiunte dalla sonda ricevente. A seconda dall'informazione che si vuole ottenere si dispongono le sonde in modi diversi. I limiti di questa indagine sono:

- possibile cattiva aderenza tra la superficie del materiale e la sonda;
- la frequenza dell'onda deve essere tale da permettere l'osservazione anche dei piccoli difetti, infatti lo spessore da attraversare è inversamente proporzionale alla frequenza.

Indagine sonica

Il principio di funzionamento è simile a quello degli ultrasuoni e viene utilizzato per determinare la compattezza delle murature o per la misura della profondità delle fondazioni. Quando le onde, che attraversano l'oggetto da rilevare, incontrano una discontinuità vengono in parte riflesse e in parte rifratte. L'impulso sonico dopo aver attraversato l'oggetto giunge ai sensori rilevatori che lo traducono in impulso elettrico. La velocità dell'impulso, che dipende dal modulo elastico e dalla resistenza del materiale, viene ritardata dalla presenza di eterogeneità all'interno dell'oggetto da rilevare. Infatti questo metodo viene molto influenzato dalle discontinuità presenti nelle murature e i dati ricavati risultano poco affidabili, a meno che i corpi indagati non siano particolarmente compatti o a struttura monolitica.

Endoscopia

È una tecnica che fa uso di un endoscopio, il quale permette di osservare i manufatti al loro interno. Viene impiegata per l'analisi dei sistemi di rivestimento delle partizioni orizzontali e quelle verticali. L'endoscopio è composto da una sonda, che può essere dotata di uno specchietto che permette la visione laterale, da un corpo che trasmette l'immagine all'oculare (dal quale l'operatore vede l'immagine rilevata) e una sorgente luminosa, che permette di illuminare l'interno del foro. Esistono tre tipologie di endoscopi:

- rigido a luce calda, non altera significativamente il colore del materiale ma lo surriscalda;
- rigido a luce fredda, non riscalda ma altera molto i colori rendendo i materiali irricognoscibili;
- flessibile, la sorgente luminosa è esterna.

Misura del contenuto d'acqua

Esistono principalmente tre metodi per questo tipo di indagine: ponderale, con carburo di calcio e conduttimetrico. Il primo consiste nel valutare la perdita di peso di un campione a seguito dell'essiccamento circa 100 °C. Il secondo si basa sulla pressione sviluppata dentro un contenitore ermetico, dall'acetilene ottenuto dalla reazione tra il carburo di calcio e l'umidità di un campione. Mentre il terzo, un po' meno preciso rispetto ai due precedenti, sfrutta la conducibilità dell'acqua che può essere alterata dalla presenza di sali.

Pull-off

Viene utilizzata per valutare l'aderenza di un rivestimento (intonaco, gesso, vernice, fibre di carbonio, etc.) al proprio supporto. Si pratica un'incisione circolare o quadrata sul rivestimento fino ad arrivare al supporto, dopo si incolla una piastra di adeguate dimensioni e si produce lo strappo. L'attrezzatura è collegata ad un dinamometro, dal quale è possibile conoscere la forza necessaria per lo strappo e determinare la condizione di aderenza.

Prova sclerometrica

Serve a valutare la compattezza e la resistenza a compressione di conglomerato cementizio o materiali lapidei. Si percuote, con una massa ed una forza (generata da una molla) note, la superficie dell'oggetto in esame e si misura l'indice di rimbalzo. Sono le prove non distruttive più frequentemente utilizzate, sebbene i valori che restituiscono, se non abbinate a prove ultrasoniche, non risultino estremamente affidabili. La funzionalità dello sclerometro va verificata e calibrata facendo ricorso a misurazioni su un'apposita massa denominata incudine di taratura o massa di riscontro.

Monitoraggio dei dissesti

Vengono utilizzati per misurare e monitorare nel tempo quadri fessurativi dovuti a dissesti strutturali (lesioni, perdite di verticalità, cedimenti differenziali, etc.) oppure dovuti a fenomeni ciclici (dilatazioni termiche). In prima analisi bisogna capire se i fenomeni fessurativi sono in atto oppure se si tratta di fenomeni ormai assestati; attraverso lo studio dei cinematismi si è in grado di rilevare determinati fenomeni fisici:

- movimento delle lesioni;
- inclinazione rispetto l'asse verticale o orizzontale;
- vibrazioni;
- cedimenti differenziali.

Per studiare questi cinematismi generalmente vengono impiegate quattro tipologie di sistemi di monitoraggio:

- Vetrini, rettangoli di vetro con spessore di circa 2mm che vengono incollati o vincolati a ridosso delle lesioni. La loro rottura indica che la lesione è in movimento, tuttavia questo metodo non è molto attendibile (rottura per effetto di escursioni termiche o scorrimento sul materiale a causa del non perfetto incollaggio), anche se sono molto utilizzati.
- Fessurimetri, costituiti da due placchette di plastica che vengono incollate indipendentemente sui lati della lesione, permettono di misurare anche spostamenti millimetrici.
- Trasduttori elettronici, misurano fino al centesimo di millimetro e permettono un monitoraggio continuo.
- Deformatori, sono molto sensibili e vengono incollati (di solito con resine) a cavallo della fessurazione tre dischetti metallici (misure di trilaterazione).

Oggi grazie alle nuove tecnologie è possibile ricorrere al rilievo fotogrammetrico, laser scanner e ai sistemi radar, tutte apparecchiature finalizzate alla misurazione e alla valutazione dei dissesti;

Prove di laboratorio

Cromatografia ionica

È un'analisi chimica che permette di conoscere il contenuto qualitativo e quantitativo degli ioni dei sali solubili. I sali in soluzione acquosa si scindono in anioni (ioni con carica negativa) e cationi (ioni con carica positiva). Gli anioni sono: nitrati, nitriti, solfati, cloruri, fosfati, ossalati e carbonati. Mentre i cationi sono: calcio, magnesio, potassio, ammonio e sodio. Questo metodo viene utilizzato per effettuare analisi chimiche delle acque e dei fluidi.

Sezione lucida

È un'analisi condotta su un campione rappresentativo dello strato di colore di una finitura o del degrado di una superficie lapidea, infatti viene utilizzata principalmente sugli affreschi e i dipinti. Permette di osservare, trasversalmente, tutti gli strati di cui è composta la superficie, potendone descrivere le caratteristiche morfologiche (spessore di ogni strato, regolarità, condizioni di degrado, cromatismi, etc.).

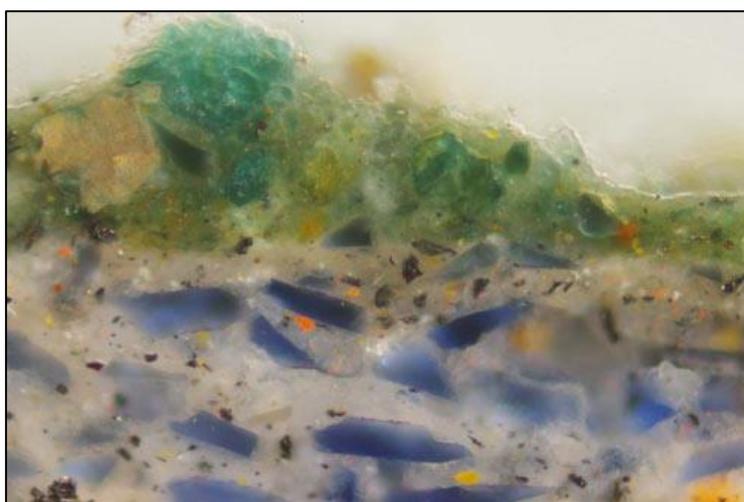


Figura 28. Sezione lucida di un frammento pittorico prelevato da un dipinto murale. Fonte: <http://www.proarteitaly.it/tecniche.asp#thumb>

Indagini mineralogico-petrografiche

Questa tecnica permette di identificare il tipo di roccia, naturale o artificiale, e il suo stato di conservazione. Vengono fornite informazioni sul tipo di aggregato, dei minerali (dimensioni e distribuzione) e sul tipo di legante. Si possono osservare sia le alterazioni del legante (dissoluzione, solfatazione, etc.) sia dell'aggregato (dolomitizzazione). L'analisi viene eseguita sulla sezione sottile (il campione è spesso circa 30 micron e viene preparato con resine e lucidato) impiegando un microscopico ottico in luce polarizzata.

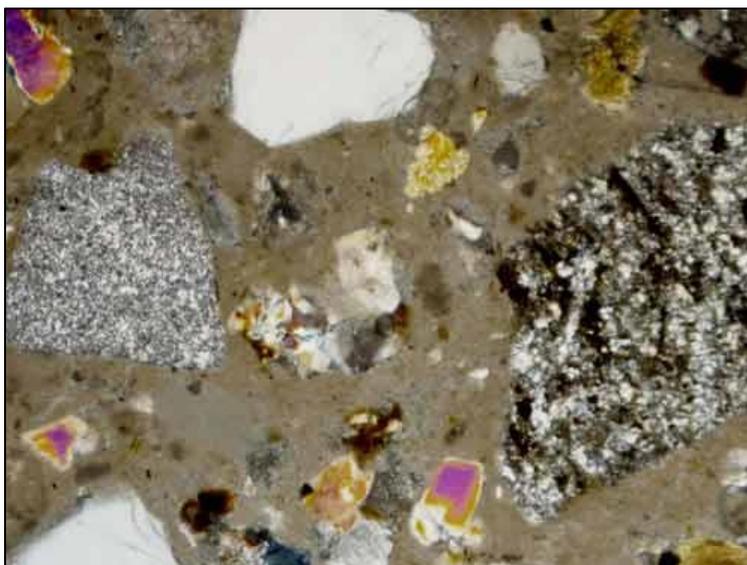


Figura 29. Sezione sottile di un impasto a base di calce e sabbia a base di quarzo. Fonte: <http://www.proarteitaly.it/tecniche.asp#thumb>

Termogravimetria con curva differenziale

È un'analisi chimica che permette di identificare qualitativamente o semi quantitativamente alcune sostanze. Il campione viene riscaldato fino a circa 1000 °C con un incremento costante a partire dalla temperatura ambiente. Il provino durante il riscaldamento perde peso; la temperatura a cui si ha la perdita di peso insieme alla natura energetica (esotermica o endotermica) permettono di identificare la sostanza. Questo metodo viene utilizzato per lo studio dei leganti idraulici (cemento, gesso, calce).

Prove meccaniche

Vengono utilizzate per avere un quadro complessivo delle caratteristiche fisiche dei materiali lapidei. Possono essere suddivise in due categorie a seconda della caratterizzazione che si vuole individuare: prove per caratterizzare la coesione interna del materiale (resistenza a compressione, trazione, flessione e taglio) e prove per caratterizzare le proprietà meccaniche superficiali (durezza e resistenza all'abrasione).

4.4 Strategia di programmazione della manutenzione

Programmare le procedure di manutenzione significa conoscere le caratteristiche e le condizioni del fabbricato, al fine di determinare i fattori di degrado a cui potrà potenzialmente essere esposto. Per ciò vengono definite le "soglie minime di accettabilità" della qualità e, in relazione a queste, le tipologie e le scadenze corrispondenti ai "cicli di rinnovo".

In altre parole le operazioni preliminari da seguire sono: la determinazione degli standard qualitativi accettabili e la sistematizzazione dei dati riguardanti l'edificio attraverso programmi informatizzati di gestione. In particolare i dati da raccogliere riguardano:

- Età, funzioni e destinazione d'uso dell'edificio.
- Dimensioni e tipologie costruttive.
- Valore globale dell'immobile e i relativi costi di gestione annuali.
- Previsioni delle possibili variazioni di fruizione nell'arco di tempo coincidente con il programma di manutenzione.
- Vincoli normativi e requisiti di sicurezza.

La grande variabilità dei processi di obsolescenza, delle varie parti dell'edificio, rende assai difficile valutare in modo assoluto gli standard accettabili. Quindi vengono stabilite preventivamente delle soglie di accettabilità per le singole unità tecnologiche, attribuendovi un intervallo di valori compresi tra lo standard qualitativo massimo e quello minimo accettabile (ovvero quello in cui è più probabile si verificano guasti o anomalie e non si soddisfino i requisiti dell'utenza).

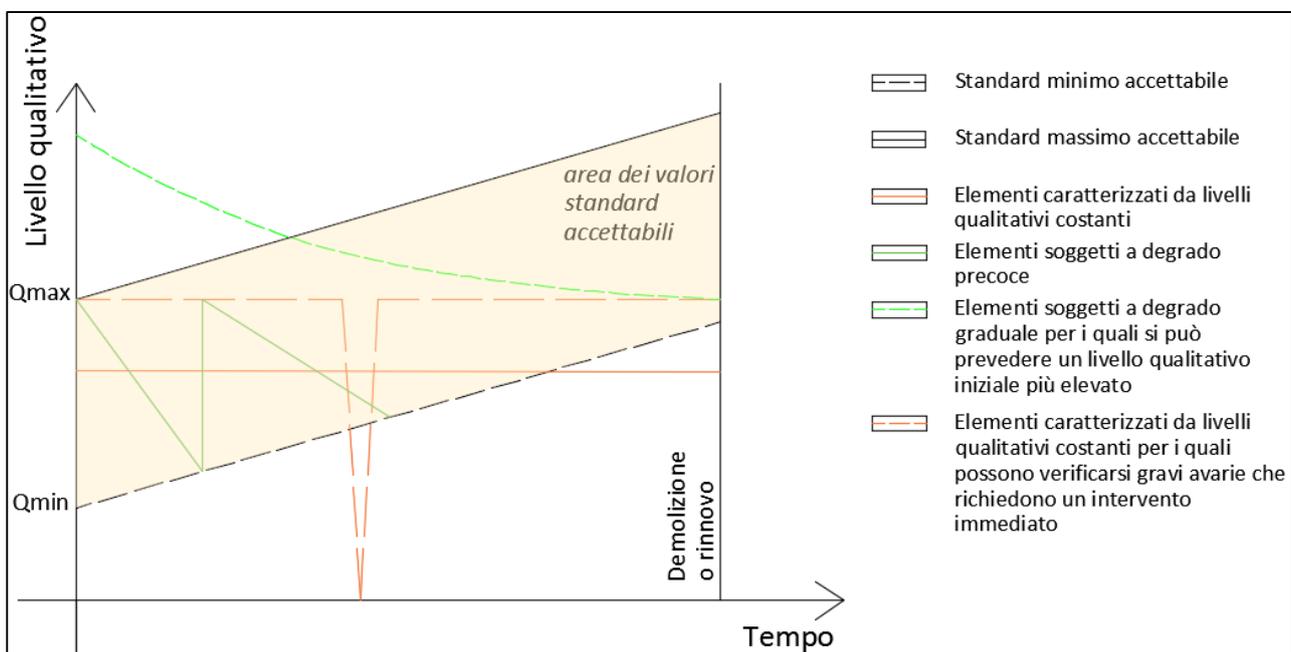


Figura 30. Variazione dei livelli qualitativi di elementi soggetti a processi di degrado differenti nell'arco del ciclo di vita di un edificio
Rielaborazione dalla fonte: Lee R., *Manutenzione edilizia programmata*, Hoepli, Milano, 1993

Per valutare il comportamento nel tempo dei singoli componenti vengono utilizzati dei modelli teorici, basati sulle caratteristiche tecniche dell'elemento (e dei materiali di cui è composto). Bisogna evidenziare che questi modelli non tengono conto di fattori complessi e molto variabili, dovuti alle interazioni fra i diversi componenti con i quali vengono assemblati.

Quindi per prevedere i processi di degrado non basta basarsi esclusivamente sulla verifica dei livelli prestazionali dei singoli elementi rapportati alle normali condizioni di esercizio, ma anche considerare i fattori accidentali dovuti ad avarie degli altri elementi.

Ricavati tutti i dati sopracitati insieme alla valutazione del rischio di guasto per ogni componente, è possibile stabilire la periodicità degli interventi e le tecniche da utilizzare (pulizia, sostituzione di parti, ripristino, etc.). Potendo così pianificare:

- Periodicità e costo dei cicli di rinnovo (consistono in rilevanti operazioni di sostituzione e ripristino).

- Consistenza e costi degli interventi di routine, necessari a mantenere tra un ciclo di rinnovo e l'altro un livello qualitativo adatto.
- Stima presunta dei costi dovuti agli interventi straordinari per la riparazione dei guasti accidentali, valutabili in base a calcoli probabilistici.

I componenti o elementi possono avere le seguenti peculiarità:

- Durata prevista pari a quella dell'edificio e che richiedono interventi di sola manutenzione di emergenza (a causa del verificarsi di difetti dovuti ad errori di progettazione e/o di posa). Appartengono a questa categoria, per esempio, i componenti strutturali non esposti ad agenti di degrado.
- Sostituzione periodica di parti, affinché siano garantiti i livelli di funzionalità e sicurezza. Come nel caso degli impianti tecnologici.
- Esposti alle azioni degli agenti di degrado esterni, quindi soggetti a progressivo deterioramento a cui possono aggiungersi fenomeni patologici. Necessitano sia di interventi preventivi e quindi a scadenze prefissate sia quelli d'emergenza.
- La durata varia al variare delle condizioni di esercizio. Questo è il caso, ad esempio, dei pavimenti delle finiture interne e dei serramenti, le cui prestazioni di durabilità variano nel tempo in relazione al tipo di spazio a cui sono destinati.
- Svolgono una funzione protettiva di altri componenti, devono essere sottoposti a frequenti cicli di rinnovo. Ad esempio il rivestimento di una superficie esterna, la quale può essere soggetta solo a degrado parziale, ma che necessita il rifacimento perché provoca infiltrazioni dannose negli strati sottostanti.
- Soggetti a forme di obsolescenza tecnologica e quindi necessitano di essere sostituiti nel momento in cui il mercato offra prodotti capaci di migliorare i livelli qualitativi e di ottenere, nello stesso tempo, una riduzione dei costi di utilizzo e di gestione.

4.4.1 Tecniche di programmazione

Predisporre i piani di manutenzione significa: mantenere in uno stato funzionale ottimale sia i componenti edilizi sia gli impianti mediante il controllo del degrado naturale, prevenire e intervenire sui fenomeni patologici cui ogni tecnologia è soggetta, organizzare le procedure da attivare nei casi di emergenza. I sistemi di programmazione della manutenzione si rifanno a tre modelli principali²¹:

1. Manutenzione preventiva programmata

Riguarda la pianificazione degli interventi secondo una successione programmata di scadenze corrispondenti ai cicli di rinnovo previsti per le diverse parti dell'edificio. Viene utilizzata principalmente per quei componenti caratterizzati da cicli di vita sostanzialmente costanti e prevedibili.

²¹ Di Giulio R., *Manuale di Progettazione Edilizia*, Hoepli, Milano, 1995

Il fattore critico che condiziona l'efficacia di questa strategia è quello di determinare il ciclo di vita dell'elemento tecnologico, infatti i metodi utilizzati per determinare il comportamento e la durata nel tempo dei componenti edilizi sono soggetti a numerose approssimazioni.

I dati di cui si dispone derivano da prove di laboratorio (invecchiamento che simula le condizioni di esercizio) o da informazioni ottenute da elementi già utilizzati in passato e aventi condizioni analoghe. Tuttavia l'attendibilità di questi dati è influenzata da una sostanziale differenza tra le condizioni previste o simulate e quelle reali, ad esempio non consentono di valutare le interferenze prodotte dall'assemblaggio di vari componenti e materiali e le dinamiche di un evento accidentale.

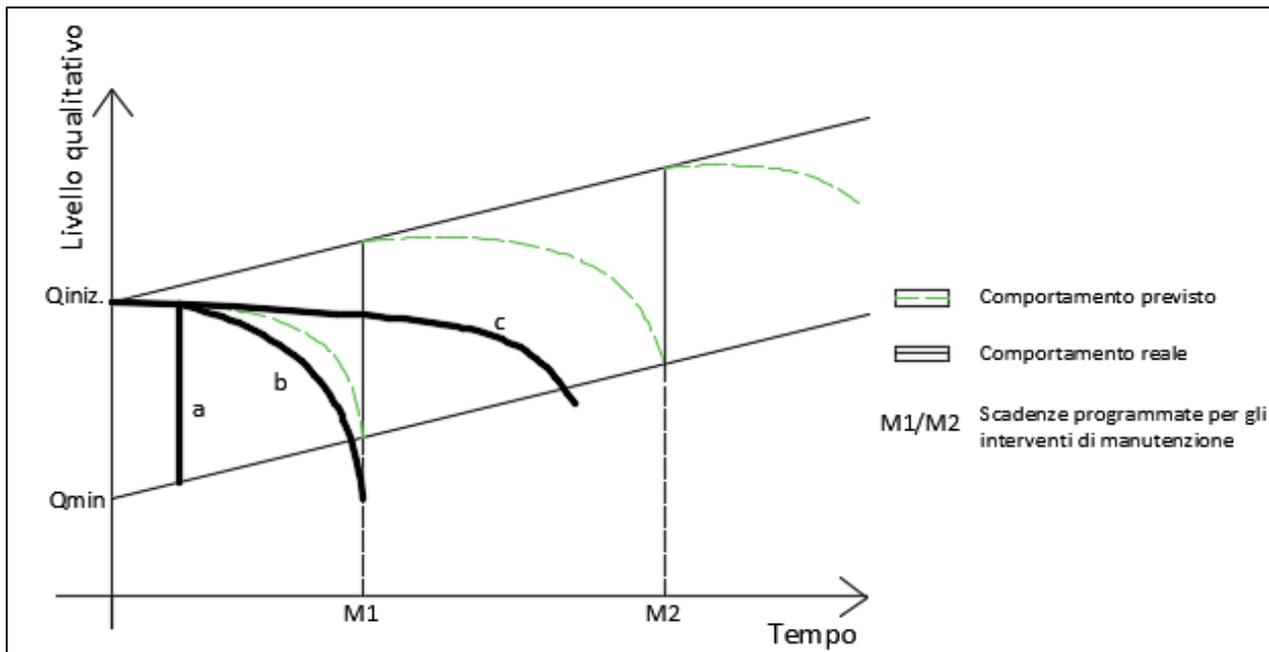


Figura 31. Condizioni che possono verificarsi nello sviluppo di un piano di interventi secondo scadenze programmate. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Manuale di Progettazione Edilizia*, Hoepli, Milano, 1995

Nella figura sopra riportata $M1$ e $M2$, in ascissa, indicano le scadenze programmate in cui devono avvenire gli interventi di manutenzione. Mentre $Q_{iniz.}$ e $Q_{min.}$, in ordinata, riguardano i valori relativi alla Qualità iniziale (standard qualitativo ottimale) e alla Qualità minima ammissibile (limite oltre al di sotto del quale i livelli prestazionali non garantiscono più il buon funzionamento dell'elemento). Quest'ultimi non hanno valori costanti, poiché sono caratterizzati da valori soggetti a progressivi incrementi (nuove esigenze e normative, innovazione tecnologica, etc.).

Le curve verdi indicano l'andamento teorico del decadimento prestazionale, mentre a, b e c indicano tre casi che possono verificarsi riguardo ai comportamenti anomali o imprevedibili. In particolare:

La curva **a** indica un comportamento anomalo che provoca un guasto, tra un ciclo di manutenzione e quello successivo. Quindi è necessario riparare il guasto prima del momento $M1$.

La curva **b** indica un comportamento anomalo dell'unità tecnologica, che anche se non registra vere e proprie anomalie, il decadimento prestazionale risulta essere avvenuto in tempi più brevi rispetto quelli previsti. Anche qui il momento per l'intervento programmato risulta tardivo.

La curva **c**, infine, indica un processo di invecchiamento più lento del previsto. Allora la durata dell'unità tecnologica risulta più lunga e l'intervento programmato nel tempo $M1$ risulta inappropriato.

In conclusione, le scadenze relative agli interventi di manutenzione sono determinate a partire dalle curve di decadimento prestazionale (differenti per ogni unità tecnologica) e l'efficacia dell'intervento di manutenzione dipende dall'attendibilità delle previsioni fatte.

2. Manutenzione secondo condizione

È basata sulla predisposizione di un piano di controllo e monitoraggio che, fornendo le informazioni aggiornate sulle condizioni delle varie parti dell'edificio, consente di determinare le scadenze per eseguire gli interventi. È utilizzata per i sottosistemi soggetti a variabili condizioni di esercizio e che quindi hanno una durata poco prevedibile. Consiste nel predisporre un sistema di controllo e di rilevamento delle condizioni dell'edificio e quindi la programmazione degli interventi manutentivi non corrisponde a intervalli temporali predeterminati. Gli interventi sono dipendenti dal reale processo di degrado dei componenti e da una più attendibile previsione dei guasti.

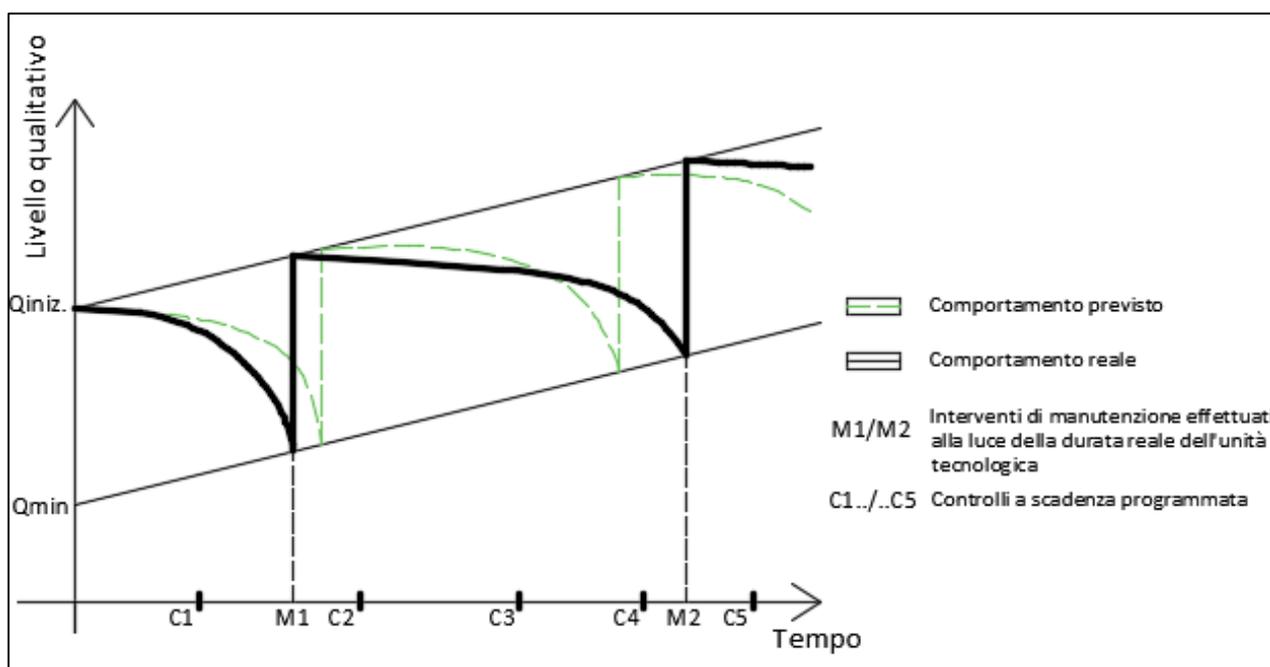


Figura 32. Logica di sviluppo di un piano di interventi secondo condizione. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Manuale di Progettazione Edilizia*, Hoepli, Milano, 1995

Nel grafico, questa volta, ad ogni scadenza programmata non corrisponde un intervento manutentivo ma esclusivamente un'operazione di controllo (C1 e C2). Le curve di decadimento prestazionale sono quelle reali e costruite sulla base dei rilevamenti effettuati con ritmi più o meno serrati a seconda dell'unità tecnologica. Grazie a questi dati vengono stabiliti i tempi e le modalità di esecuzione degli interventi manutentivi. Nell'esempio descritto nel grafico il primo intervento (M1) viene anticipato rispetto a quanto previsto dalla curva teorica, grazie al controllo (C1) che ha consentito di rilevare l'abbassamento precoce dei livelli prestazionali. Al contrario, nell'intervento successivo (M2), fa seguito un ciclo più lungo del previsto e la maggiore durata dell'unità tecnologica viene costantemente controllata (C2, C3 e C4).

In conclusione, nel primo caso si prevedono gli effetti di un intervento tardivo mentre nel secondo si sfrutta la migliore qualità di durata del componente e si evita di intervenire in modo superfluo.

3. Manutenzione correttiva

In questo caso l'attività di programmazione è limitata alla predisposizione delle procedure da attivare in seguito alla comparsa di un fenomeno di degrado in atto o alla segnalazione di un guasto. In altre parole il processo manutentivo (quindi le procedure correttive da adottare nel caso di fenomeni di degrado) viene determinato a partire dai controlli previsti dalla procedura secondo condizione o da guasti accidentali che determinano avaria.

4.4.2 I requisiti della progettazione tecnologica

Per una corretta programmazione del piano di manutenzione, in fase di progetto, occorre una corretta valutazione delle soluzioni tecniche, alla luce dei requisiti dai quali dipendono le prestazioni delle opere. Il verificarsi di difetti o guasti (in forma più o meno grave e in tempi più o meno lunghi) dipende dagli aspetti di qualità che influenzano direttamente la durata dell'edificio.

Prevedere gli interventi manutentivi deve costituire un riferimento per le soluzioni progettuali, al fine di garantire un'agevole esecuzione delle operazioni previste nel piano di manutenzione (controlli, pulizia, sostituzione, riparazione, etc.).

In termini operativi occorre tradurre questi principi attraverso criteri di valutazione della qualità edilizia; dunque il progettista deve analizzare le proprie scelte individuando i requisiti delle unità tecnologiche, che sono strettamente connessi a quattro principali tipi di prestazioni:

1. **Durabilità:** Capacità di un elemento tecnico di resistere nel tempo alle sollecitazioni indotte dagli agenti di degrado e invecchiamento, senza subire danni tali da compromettere le prestazioni di sicurezza, benessere e aspetto.
2. **Affidabilità:** Capacità di soddisfare in esercizio l'insieme dei requisiti richiesti, riducendo le probabilità di guasti o avarie.
3. **Manutenibilità:** Predisposizione dei subsistemi e dei componenti agli interventi di manutenzione, secondo il criterio del disassemblaggio (costruzioni a secco).
4. **Adattabilità alla variazione d'uso:** Attitudine del sistema tecnologico a subire le modifiche necessarie a soddisfare le trasformazioni nelle destinazioni d'uso degli spazi, mantenendo inalterate le proprie peculiarità qualitative.

Per soddisfare determinati requisiti, gli strumenti a disposizione del progettista sono funzione di due operazioni fondamentali:

- La scelta dei materiali e dei componenti, basata sull'esame delle prestazioni di durata e affidabilità.
- L'utilizzo nelle soluzioni costruttive di accorgimenti e dispositivi che facilitino la manutenibilità, l'accessibilità alle parti nascoste, la smontabilità, etc.

Ovviamente tali scelte devono essere valutate in funzione di quello che è il bilancio totale dei costi di costruzione e gestione dell'edificio. Infatti non si può pensare di aspirare totalmente al massimo della qualità per ciascun prodotto o tecnologia. Poiché, oltre ad essere difficilmente attuabile sotto il punto di vista economico, questa strada potrebbe rilevarsi svantaggiosa in quanto si rischia di pagare per il costo di prestazioni "inutili".

4.4.3 L'informazione tecnica per la gestione e l'elaborazione dei programmi di manutenzione

L'insieme dei dati necessari allo sviluppo dei programmi di manutenzione generalmente viene definito "Sistema Informativo di Gestione"²²; nel quale, trattandosi di un vero e proprio sistema, vengono elaborate e riordinate informazioni di diverso tipo e provenienza.

Le varie tipologie di dati che vengono analizzati e utilizzati possono essere suddivisi in due categorie: informazioni sui **costi** della manutenzione e quelle sulle **tecnologie** impiegate negli interventi. Si deve inoltre distinguere tra informazioni "interne" ed "esterne" per entrambe le categorie sopracitate.

Per la prima categoria, riguardante le informazioni interne, ci si basa sull'esame analitico dell'andamento e della distribuzione delle spese sostenute o da sostenere, in funzione del tipo di intervento o di opera. Mentre le informazioni esterne riguardano i prezziari, listini prezzi, andamento del mercato, etc.

Per la seconda categoria, riguardante le informazioni interne, troviamo: descrizione e specifiche di materiali e prodotti, tecniche di esecuzione delle opere di manutenzione, tutti i dati tecnici relativi allo stato di conservazione e i criteri (e rimedi) per individuare le cause di patologie. Anche qui la differenza tra le informazioni interne ed esterne dipende dalla provenienza dei dati, infatti le informazioni esterne sono costituite da: manuali e pubblicazioni tecniche (pubbliche e private).

4.4.4 Il facility management

La necessità di riuscire a gestire con più efficienza gli edifici e l'innovazione derivata dai nuovi sistemi di gestione e progettazione, ha amplificato l'importanza del piano di manutenzione. Infatti oggi le grandi società, proprietarie di enormi complessi civili o industriali, sono costrette a gestire attività di manutenzione articolate e complicate. Per questo si stanno sviluppando sempre di più nuove forme di pianificazione e gestione, al fine di ottimizzare gli interventi di manutenzione necessari per mantenere in funzione il manufatto edilizio. Lo sviluppo di sistemi informatizzati per la progettazione ha permesso di realizzare modelli di edifici sempre più performanti dal punto di vista gestionale.

In passato la sovrapposizione dei diversi elaborati (strutturali, impiantistici, architettonici, etc.) e la mancanza di informazioni relative alla tipologia e alle caratteristiche degli elementi costituenti l'edificio, non erano in grado di fornire un quadro generale dello stato di conservazione del manufatto edilizio.

Oggi sfruttando la visualizzazione tridimensionale e la realtà aumentata, associata alla presenza di abachi dettagliati (di rapida lettura) con le proprietà di ogni componente, la gestione di un manufatto risulta semplificata e agevole. Una delle metodologie che sfrutta questo tipo di struttura è il BIM (Building Information Modeling), attraverso il quale è possibile realizzare un progetto dettagliato e preciso, al quale sono associati una serie di database con delle informazioni, ad esempio le schede tecniche dei componenti (sistemi tecnologici, impianti, materiali, etc.).

²² Di Giulio R., *Manuale di Progettazione Edilizia*, Hoepli, Milano, 1995

Il livello di dettaglio e la semplicità di rintracciare un dato permettono di realizzare un piano di manutenzione più specifico ed immediato, in grado di aiutare l'utente ad organizzare le attività di manutenzione in maniera tale da ottimizzare il risultato finale.

Durante le attività manutentive, l'operatore fa uso di semplici dispositivi portatili (smartphone e tablet), i quali gli permettono di capire la geometria del sistema che sta analizzando e quali sono le caratteristiche degli elementi e la loro posizione. I lati positivi sono sicuramente molteplici, riduzione dei costi e dei tempi, migliore qualità, etc. Tuttavia si necessita di avere un modello BIM continuamente aggiornato, a partire dalle fasi di progettazione e costruzione (modello as built), comprendendo tutti i successivi interventi manutentivi e non, fino alla demolizione. Inoltre vi è la necessità di dover immagazzinare una notevole quantità di dati, i quali devono essere gestiti e conservati in modo appropriato.

4.5 Valutazione della durabilità

La conoscenza della durabilità dei componenti edilizi (durata e affidabilità) è fondamentale per operare una scelta in termini compatibili con la sostenibilità del loro impiego in funzione dell'obsolescenza differenziata dalle parti dell'edificio e, in particolare, per decidere circa la tipologia manutentiva da adottarsi. Infatti, a parità di durata, la stima dell'affidabilità consente di adottare la tipologia manutentiva ottimale. Per consentire tale pianificazione manutentiva, basata sulla conoscenza della "Vita Utile", è necessario pertanto implementare i metodi e gli strumenti di previsione ad oggi disponibili attraverso il lavoro di ricerca volto all'applicazione ed allo sviluppo dei metodi di previsione descritti nella **UNI 11156:2006** (*Valutazione della durabilità dei componenti edilizi*).

La stima della vita utile in condizioni di progetto, secondo quanto indicato nella UNI 11156:2006, si basa sull'utilizzo di uno dei seguenti tipi di metodo, che si differenziano principalmente per il grado di complessità (e quindi per la quantità di informazioni e risorse necessarie per applicarlo):

- **Metodo fattoriale:** è un metodo che consente di determinare la vita utile in opera correggendo la Vita Utile di Riferimento (RSL) con dei fattori moltiplicativi (generalmente compresi tra 0,8 e 1,2) che tengono conto delle condizioni particolari in cui il componente è utilizzato (qualità di produzione, progettazione e posa in opera, agenti sollecitanti, manutenzione programmata molto frequente, particolare cura dei dettagli costruttivi, etc.). Il maggior pregio di tale metodo, che è contemporaneamente anche il suo più grande difetto, è la sua semplicità che consente di applicarlo economicamente anche in progetti di piccole dimensioni, ma che comunque risulta di assai scarsa affidabilità per la soggettività dei valori attribuiti ai fattori correttivi della Vita Utile di Riferimento.
- **Metodi statistici:** sono metodi che si basano sull'analisi stocastica sia del contesto sollecitante (agenti) sia del comportamento dei materiali. Data la loro natura statistica necessitano di un'elevata quantità di informazioni e comportano un grande impiego di risorse, risultando quindi economicamente applicabili solamente in progetti di grandi

dimensioni. Nei metodi statistici il degrado è trattato come un fenomeno stocastico: per ogni caratteristica, in ogni periodo di tempo, è definita una probabilità di degrado.

- **Metodi ingegneristici:** sono metodi caratterizzati da un grado di complessità paragonabile a quello comunemente affrontato dai progettisti nella pratica di progettazione. Il Politecnico di Milano ha sviluppato il metodo ingegneristico dei limiti prestazionali, basato sulla modellazione del decadimento delle prestazioni tecnologiche. Le caratteristiche del metodo dei limiti prestazionali lo rendono utilizzabile specificatamente per la determinazione della vita utile di elementi tecnici che influiscono sulle condizioni di comfort ambientale dell'edifici, e quindi molto utile per la valutazione di durabilità di componenti d'involucro. Alla luce della definizione data, la previsione della vita utile di un componente deve necessariamente basarsi sul concetto di prestazione.

L'applicazione di uno dei metodi citati permette la previsione della durata dei singoli componenti edilizi e dell'intero edificio: in sede progettuale è quindi possibile operare delle scelte di materiale, tecnologia, sistema sulla base della previsione fatta. A tal proposito mediante, ad esempio, l'introduzione del requisito di durabilità all'interno dei capitolati prestazionali è possibile richiedere in sede progettuale la definizione della vita utile dei componenti e dell'intero sistema-edificio, in modo da ottimizzare gli interventi previsti nel piano di manutenzione.

In particolare, il metodo dei limiti prestazionali si propone di legare la definizione della vita utile di un componente alle prestazioni ambientali (comfort igrotermico) dello spazio che il componente delimita.

Il metodo dei limiti prestazionali è composto dai seguenti quattro fasi:

1. La prima attività da svolgere per stimare la vita utile di un componente è la definizione delle prestazioni minime. Si ritiene importante riferirsi a prestazioni dello spazio costruito, cioè a prestazioni direttamente percepibili dall'utente finale dell'edificio, per definire la durata di un componente. Questa scelta lega la durata del componente in opera alle ipotesi progettuali sullo spazio costruito (dimensioni dei locali, posizioni delle aperture, etc.);
2. Individuazione dei requisiti e delle specificazioni di prestazione che il componente deve fornire.
3. Traduzione delle specificazioni di prestazione in specifiche tecniche delle caratteristiche funzionali e l'individuazione delle soglie di vita utile prestazionale. Si individuano, partendo dalle prestazioni richieste al componente, dei valori limite per le caratteristiche (funzionali) dei materiali costituenti il componente tali che il superamento degli stessi comporta l'impossibilità di ottenere le prestazioni ambientali obiettivo (e quindi la fine della vita utile). Tali valori limite vengono chiamati "limiti prestazionali".
4. La stima della vita utile del componente nasce dal confronto tra l'andamento nel tempo delle caratteristiche funzionali dei materiali costituenti il componente stesso ed i valori di soglia (limiti prestazionali) trovati.

Il metodo per la valutazione sperimentale della durabilità di componenti per l'edilizia trattato nella UNI 11156 si compone nei seguenti punti:

- **Definizione:** delle esigenze degli utenti, dei requisiti tecnologici, dei requisiti connotanti l'elemento tecnico, del contesto sollecitante (tipo e intensità degli agenti), delle prestazioni richieste, caratterizzazione dei materiali, etc.
- **Preparazione:** identificazione dei meccanismi di degrado e degli effetti, scelta dei criteri di misura per le caratteristiche funzionali e le prestazioni, ricerca bibliografica, etc.
- **Prove preliminari:** per testare le metodologie di prova e le tecniche di misura per le caratteristiche funzionali.
- **Esposizione e misura:** la fase in cui si svolgono i test d'invecchiamento, sia naturale sia accelerato, ed in cui si misurano gli effetti degli agenti sui componenti edilizi (degradi);
- **Analisi ed interpretazione dei risultati:** è il momento in cui, analizzando i risultati ottenuti con la sperimentazione (in termini di andamento delle prestazioni nel tempo), viene valutata una vita utile di riferimento per il componente, in determinate condizioni di sollecitazione.

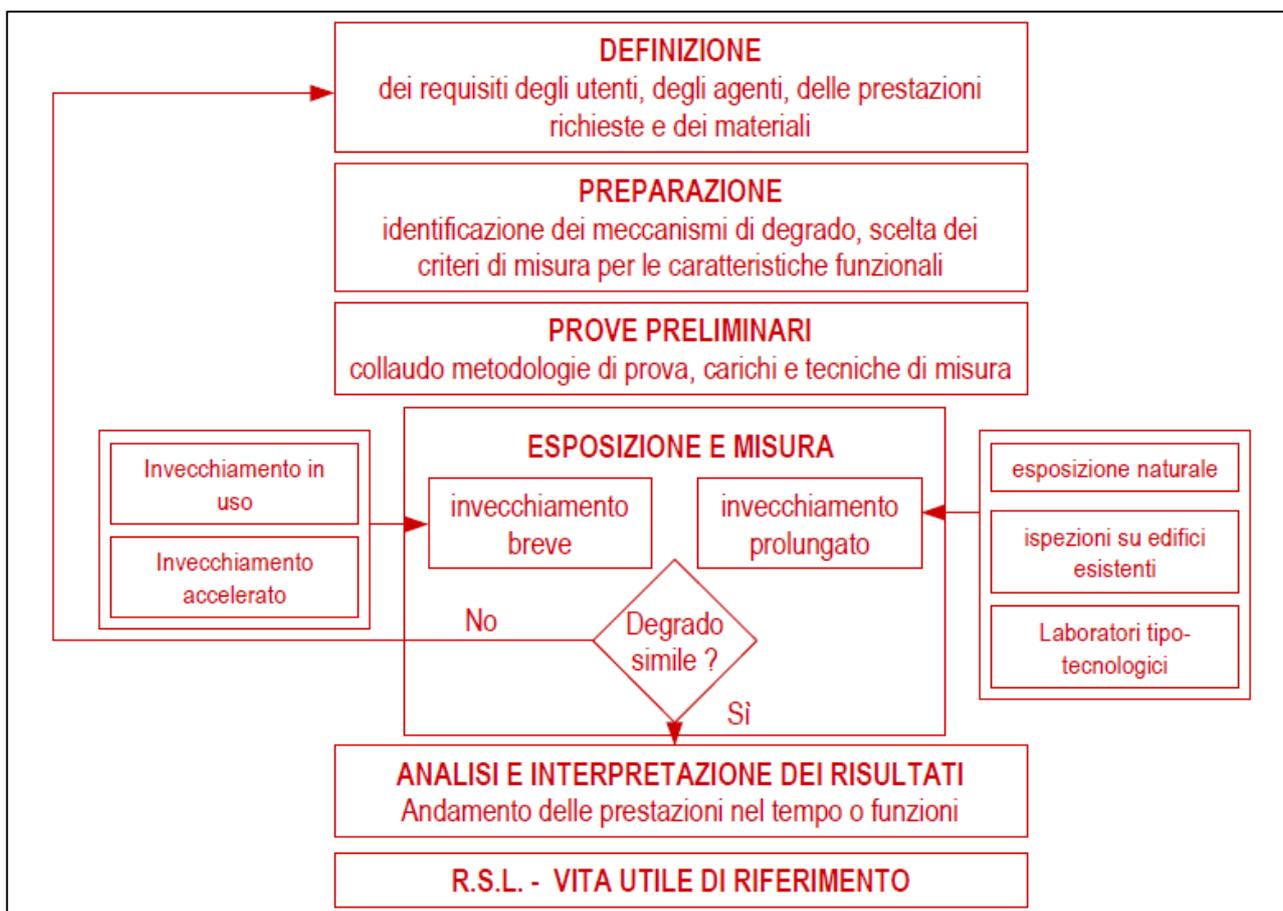


Figura 33. Processo per la definizione della Vita Utile di Riferimento UNI 11156-3

In sintesi l'invecchiamento dipende dal tipo di materiale, dai rivestimenti, dalle strutture, dagli agenti sollecitanti, dalla temperatura e dalle dimensioni del materiale. Per un determinato materiale, l'effetto dell'invecchiamento può essere ottenuto da modelli teorici convalidato da dati sperimentali. Non ci sono regole semplici per correlare l'invecchiamento nel tempo per un determinato materiale. Se il valore prestazionale dichiarato tiene conto dell'invecchiamento, non è richiesta alcuna ulteriore conversione per considerarne l'invecchiamento. Può venire utilizzato un fattore di conversione, il quale deve consentire il calcolo del valore di invecchiamento della prestazione corrispondente a un tempo non inferiore alla metà della durata di vita del prodotto.

Nessun coefficiente di conversione è indicato nelle norme internazionali per derivare il fattore di conversione dell'invecchiamento²³.

Per quanto riguarda il sistema ETICS, i metodi di valutazione inclusi o riferiti nell'ETAG004 tengono conto della vita lavorativa per l'uso previsto di 25 anni (a condizione di un'installazione appropriata). Queste disposizioni si basano sullo stato dell'arte attuale e sulle conoscenze ed esperienze disponibili. Nel valutare il prodotto si tiene conto dell'uso previsto come previsto dal fabbricante. La vita lavorativa reale può essere, in condizioni di uso normale, considerevolmente più lunga senza un notevole degrado che influisce sui requisiti di base delle opere.

Le indicazioni fornite sulla vita lavorativa del prodotto da costruzione non possono essere interpretate come una garanzia né fornita dal produttore del prodotto o dal suo rappresentante, né dall'EOTA, né dall'ente di valutazione tecnica che emette un ETA ma sono considerate solo come un mezzo per esprimere la vita lavorativa prevista ragionevole del prodotto. La vera vita lavorativa di un prodotto incorporato in un lavoro specifico dipende dalle condizioni ambientali a cui è soggetto, nonché dalle condizioni particolari di progettazione, esecuzione, uso e manutenzione di tali opere. Pertanto, non si può escludere che in certi casi la vita lavorativa reale del prodotto possa essere anche più breve di quella sopra citata.

L'ETICS deve essere stabile alla temperatura, all'umidità e al restringimento. Né le alte né le basse temperature devono esercitare un effetto distruttivo o irreversibilmente deformante.

Le basse temperature dell'aria dell'ordine di -20 °C e le alte temperature dell'aria di 50 °C sono generalmente considerate come gli estremi nel cambiamento di temperatura. Nei paesi del nord Europa, tuttavia, le temperature dell'aria possono scendere a -40 °C. La radiazione solare aumenta le temperature superficiali dell'ETICS quando esposto. L'aumento dipende dal flusso di radiazione e dall'assorbimento di energia della superficie (colore). È generalmente considerato che la massima temperatura superficiale è di 80 °C. Un cambiamento (dell'ordine di 30 °C) della temperatura superficiale non deve causare danni.

Secondo l'ETAG004, per quanto riguarda gli aspetti di durabilità e manutenzione, devono essere ripetute le prove riportate nella seguente figura:

Aspects of durability and serviceability	4.7 Resistance to temperature, humidity and shrinkage		<p>5.1.7 ETICS</p> <p>Resistance to temperature, humidity and shrinkage Resistance to freeze/thaw Dimensional stability (treated under relevant ERs)</p> <p>5.1.7.1 Bond strength after ageing</p>	<p>5.6.7 REINFORCEMENT</p> <p>5.6.7.1 Glass fibre mesh – Tensile strength and elongation</p> <p>5.6.7.2 Metal lath or mesh</p> <p>5.6.7.3 Other reinforcements</p>
--	---	--	--	--

Figura 34. Stralcio della tabella sul metodo di verifica per l'ETICS o i suoi componenti. Fonte: Etag004

Ad esempio, per testare la forza adesiva tra isolante e finitura, l'invecchiamento avviene dopo i cicli igrotermici (caldo-pioggia e caldo-freddo cicli) e almeno 7 giorni di asciugatura.

²³ Daniotti B. e Spagnolo S. L., *La gestione del ciclo di vita dei componenti e degli organismi edilizi*, Politecnico di Milano – BEST Via Ponzio 31, Milano, 2006

4.6 Meccanismi di degrado sui sistemi a cappotto

4.6.1 Modello di rilievo e di valutazione dei degradi

I modelli di programmazione della manutenzione, soprattutto quelli di manutenzione secondo condizione, mirano a regolare la periodicità degli interventi con l'andamento dei reali processi di degrado. Quindi risulta essenziale definire una metodologia per valutare lo stato di conservazione di un edificio e delle sue singole unità tecnologiche, operativamente è necessario:

- definire strumenti e metodi per verificare il degrado e valutare le condizioni dei componenti edilizi;
- mettere a punto il modello procedurale che regoli le decisioni relative alla programmazione e alla gestione dei piani di manutenzione.

Per individuare e giudicare, in modo oggettivo, le condizioni di un'unità tecnologica o di un singolo componente bisogna mettere a punto una procedura che consenta di:

1. Indentificare i tipi di degrado

La prima procedura avviene attraverso la classificazione e descrizione dei degradi relativi ad ogni unità tecnologica. Per far ciò è possibile utilizzare immagini fotografiche esemplificative, accompagnate dalle descrizioni dei degradi e una serie di informazioni utili ad una prima valutazione delle condizioni del componente edilizio.

2. Valutare per ogni degrado un peso, in relazione all'incidenza sulle prestazioni dell'elemento in esame

Nella maggior parte dei casi, durante le ispezioni, si verifica la presenza di più di un fenomeno di degrado e per formulare un giudizio complessivo si deve tener conto di tutti i difetti rilevati. A tale scopo è necessario considerare le prestazioni delle unità tecnologiche e i requisiti di cui hanno bisogno per essere soddisfatte, ovvero i requisiti: tecnici, funzionali e di aspetto.

Analizzando la relazione presente tra il soddisfacimento di questi requisiti e ogni diverso tipo di patologia, sono individuate tre tipologie²⁴ di effetti provocati dal degrado:

Minori: anche se condizionano il livello qualitativo del componente, in genere compromettono solo una caduta dei livelli prestazionali connessi ai requisiti di aspetto, quindi non pregiudicano le prestazioni tecniche e funzionali;

Seri: compromettono le funzioni svolte dal componente ma non causano una vera e propria avaria, oltre ai requisiti di aspetto risultano compromessi anche quelli funzionali.

Gravi: determinano condizioni critiche, ad esempio connesse alla sicurezza d'uso, quindi non sono più soddisfatte l'insieme di prestazioni richieste.

A seconda del tipo di edificio e quindi in relazione all'importanza che assumono i requisiti tecnici, funzionali e di aspetto, ogni tipologia di degrado peserà in misura più o meno maggiore sulle condizioni generali dell'unità tecnologica.

²⁴ Di Giulio R., Intonaci a cappotto - *Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

3. Valutare l'intensità e l'estensione di ogni patologia rilevata

È necessario definire i metodi e i parametri di valutazione dell'intensità e dell'estensione della patologia rilevata. Per fare ciò è necessario ricorrere a delle ipotesi semplificative, poiché il problema è molto complesso e soggetto a condizioni di variabilità: ad esempio un tipo di degrado che si manifesta nello stesso modo su due tipologie diverse di unità tecnologica può essere di scarsa importanza per il primo caso e sintomo di un pericoloso processo di degrado nel secondo.

I parametri relativi all'intensità devono essere valutati tenendo conto della specificità dei materiali impiegati e delle tecniche di posa in opera. Mentre i parametri relativi all'estensione definiscono un criterio per la valutazione dell'entità e la tipologia di interventi manutentivi da effettuare.

4. Valutare le condizioni complessive dell'unità tecnologica

Per stabilirne l'incidenza sulla qualità complessiva dell'edificio è necessario ricorrere a diagnosi più dettagliate delle cause che hanno determinato l'insorgere del fenomeno di degrado, valutando prima le condizioni globali dell'unità tecnologica e successivamente quelle dell'intero edificio.

4.6.2 I punti deboli del sistema

Nel sistema a cappotto, lo strato di protezione dell'isolante è composto dalla rasatura armata (intonaco) e dalla finitura (di solito a base di resine polimeriche), quest'ultimo è il principale componente soggetto ai fenomeni patologici; ciò non esclude che si possano verificare anomalie anche negli strati sottostanti.

Ci sono principalmente due tipi di intonaci utilizzati per questo sistema: gli intonaci tradizionali e i rivestimenti plastici ad applicazione continua (RPAC). Questo strato di tenuta, che deve essere il più possibile permeabile al vapore e allo stesso tempo impermeabile all'acqua, deve svolgere anche la funzione di regolarizzare e ripartire i carichi.

Il posizionamento dell'isolante all'esterno della parete permette di mantenere in quiete termica le strutture degli edifici, tuttavia se i coefficienti di dilatazione termica dell'isolante e dell'intonaco sono molto diversi tra loro, i movimenti reciproci potrebbero aumentare gli stati tensionali indotti sul rivestimento esterno.

Bisogna anche considerare i rapporti tra le permeabilità al vapore dei diversi strati, i prodotti vengono formulati con valori opportuni di permeabilità/impermeabilità, per evitare la formazione di muffe e inumidimenti superficiali delle facciate.

4.6.3 Fattori di degrado e difetti

La durata reale del sistema è molto influenzata e può ridursi notevolmente in funzione della modalità di posa e delle condizioni di esposizione.

L'agente di degrado più rilevante in generale è il regime variabile delle condizioni ambientali esterne, che l'intonaco subisce in maniera amplificata. Le variazioni termiche si trasferiscono solo sulla

superficie dell'intonaco, dal momento che lo strato isolante inibisce l'azione di volano termico operante dalla muratura interna, con conseguente e ripetuta esposizione a shock termici. Inoltre il posizionamento dell'isolante all'esterno, sposta la formazione della condensa sulla superficie esterna della parete.

Le problematiche di degrado del sistema riguardano:

- Il rivestimento, il quale rimanendo umido per lunghi periodi di tempo è soggetto alla formazione di muffe.
- Le lesioni provocate nei giunti a ragione delle sollecitazioni di compressione, a causa del non sufficiente inglobamento della rete nell'intonaco. Inoltre, la presenza della rete, evita le lesioni derivanti dalle sollecitazioni di trazione indotte nel rivestimento.
- La capacità del supporto di mantenere nel tempo una valida connessione con lo strato isolante, così come la capacità della rete e dell'intonaco di collegarsi saldamente all'isolante.
- La non accurata posa dei pannelli sia in termini di planarità sia di scostamento, con conseguente disomogeneità dello spessore e nella continuità dell'intonaco soprastante.
- La posa dei pannelli con giunti non sfalsati, che genera linee preferenziali di fessurazioni.
- Il sistema di fissaggio meccanico, sottodimensionato e/o posizionato in maniera scorretta.

Mentre le principali patologie che con maggiore frequenza si verificano sono:

- **Distacchi, lesioni, sbollature** nel rivestimento esterno (con la conseguente penetrazione di acqua e inquinanti) in seguito alla rottura per fatica (movimenti differenziali prodotti da shock termici, vibrazioni, assestamenti, etc.) o alla pressione del vapore acqueo.
- **Distacchi con spancamenti** o caduta di porzioni di rivestimento a causa dello scollamento dello strato isolante dal supporto e della rottura del sistema di fissaggio (se previsto).
- **Fessurazioni** prodotte da spessori troppo contenuti dell'intonaco sottile o in seguito alla non perfetta planarità dello strato isolante. Le fessurazioni possono essere dovute a fenomeni di trazione (si presentano come fessurazioni nette e piane) o di compressione (si presentano come fessurazioni con protuberanze).
- **Microfessurazioni** che si formano in corrispondenza dei giunti allineati.
- **Formazione di muffe**, solitamente di colore nerastro e/o verdognolo, generalmente sulle facciate esposte a nord e nelle zone basse non protette da balconi, sporti del tetto, davanzali e pensiline.
- **Affioramento della rete**, dovuta ad un cattivo controllo della posa e dell'omogeneità di spessore dell'intonaco o del posizionamento della rete stessa.

<u>Minori</u>	
Compromettono solo l'aspetto dell'intonaco	
Effetti	Descrizione
Alterazione cromatica	Variazione o perdita del colore originario dello strato di finitura superficiale
Depositi superficiali	Accumulo di polveri e incrostazioni di vario spessore, consistenza e aderenza
Macchie e graffiti	Imbrattamento mediante inchiostro, vernici e tutte le altre sostanze capaci di aderire e penetrare nell'intonaco

Tabella 4. Difetti minori. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

<u>Seri</u>	
Compromettono l'aspetto e la funzionalità dell'intonaco	
Effetti	Descrizione
Alterazione della finitura superficiale	Distacchi, esfoliamenti, disgregazioni dello strato di finitura superficiale
Croste	Stratificazione superficiale dure, di spessore variabile e fragile, generalmente prodotte da sostanza inquinanti
Esposizione della rete	Disomogeneità di spessore dello strato di rasatura
Microfessurazioni	Lesioni capillari e cavillature superficiali generalmente in corrispondenza dei giunti
Sbollatura	Fessurazioni con la presenza di protuberanze dovuti alle sollecitazioni di compressione (dilatazione impedita) sullo strato di rivestimento. Il fenomeno è aggravato dall'incremento del contenuto d'acqua nell'intonaco, che ne provoca una riduzione delle proprietà meccaniche.

Tabella 5. Difetti seri. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

<u>Gravi</u>	
Compromettono l'insieme delle prestazioni dell'intonaco	
Effetti	Descrizione
Attacco biologico	Attacco da parte di funghi, alghe, muschi, piante e insetti con conseguente formazione di macchie e depositi superficiali
Disgregazione	Perdita di consistenza dello strato di intonaco con conseguente friabilità, decoesione e perdita di materiale sotto forma di polvere e/o granuli
Distacchi	Rotture e distacco di parti dello strato di intonaco, dovuti al ristagno dell'acqua tra il rivestimento e l'isolante e ai cicli gelo e disgelo.
Fessurazioni	Lesioni isolate e spaccature ad andamento lineare dello strato di intonaco generalmente in corrispondenza di discontinuità della planarità dei pannelli
Formazioni di muffe	Penetrazione di umidità prodotta dalla formazioni di condensa generalmente in corrispondenza i giunti fra i pannelli
Rigonfiamento e spancamenti	Cedimento dei fissaggi e distacco localizzato dello strato isolante dal supporto con conseguente sollevamento del rivestimento di intonaco
Rotture	Rotture da impatto con esposizione della rete di armatura

Tabella 6. Difetti gravi. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

Le anomalie più ricorrenti sono le muffe (circa 85% degli edifici), seguono le fessurazioni e le microlesioni (rispettivamente circa 38% e 22,5%)²⁵.

²⁵ Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

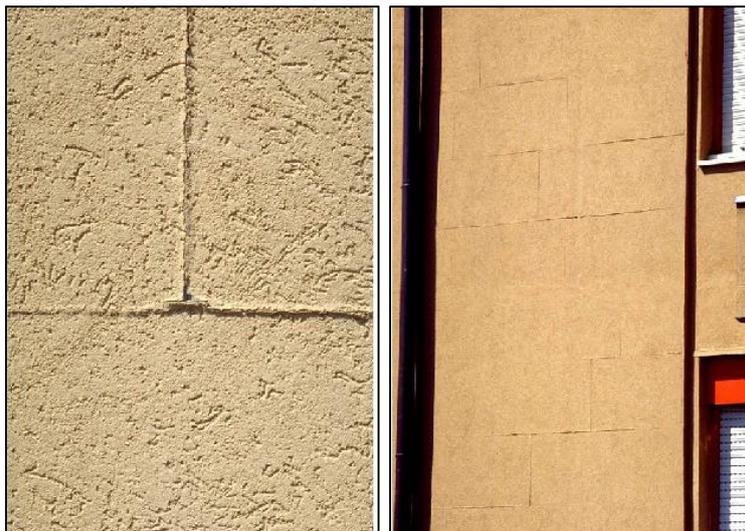


Figura 35. Cappotto fessurato nei giunti. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010

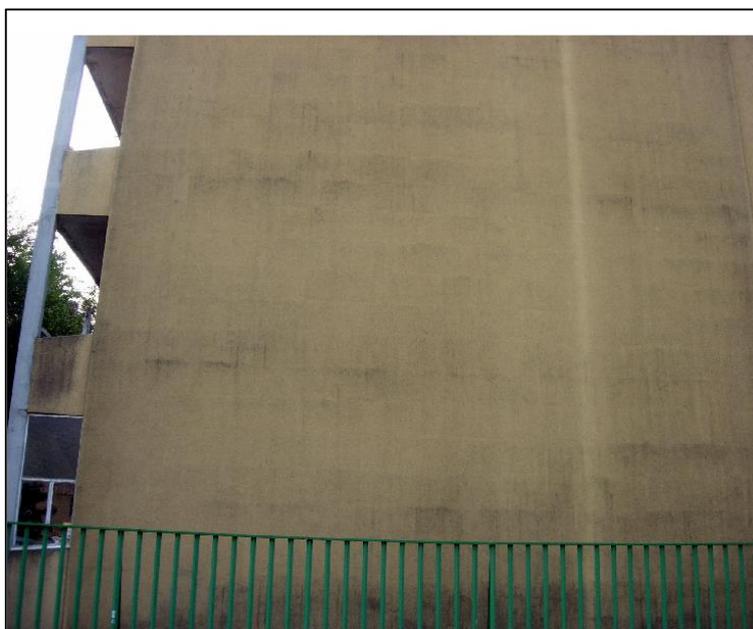


Figura 36. Colonizzazione biologica sul sistema a cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010



Figura 37. Sbollatura sul sistema a cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010



Figura 38. Esfoliazione sul sistema al cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010



Figura 39. Rotture per urti accidentali o vandalici. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010



Figura 40. Rigonfiamento sul sistema a cappotto. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010



Figura 41. Rotture a causa della grandine. Fonte: Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010

4.6.4 Programmazione degli interventi

Di seguito vengono riportati alcuni interventi di manutenzione da adottare, secondo le tre diverse tipologie di programmazione della manutenzione di cui si è parlato precedentemente. Le informazioni riportate sono a titolo puramente esemplificativo, in quanto esse dipendono dai materiali utilizzati e dalle indicazioni date dal produttore.

Interventi di manutenzione		Frequenza		
Descrizione	Specifiche	Bassa	Media	Alta
Pulizia Lavaggio ad acqua della superficie	Il lavaggio viene eseguito con tecniche ed eventuali detergenti idonei al tipo di intonaco e di finitura su cui si interviene. Nel caso si intervenga su macchie, graffi o incrostazioni è necessario sgrassare (mediante metodi chimici o meccanici) prima del lavaggio.	5-7 anni	2-4 anni	1-2 anni
Riprese Sostituzione di parti più soggette a degrado	Interventi di ripristino localizzato mediante ricoprimento con sottintonaco pronto all'impiego, privo di cemento, armatura e strato di finitura. Prevedendo una quota parte di interventi più consistenti, (poiché maggiormente degradati) nei quali è necessario demolire anche la zona limitrofa a quella danneggiata e ripristinare completamente (isolante, rasatura, armatura e finitura).	2-3 anni	1-2 anni	6-12 mesi
Tinteggiatura Ripristino della finitura	Pulizia ed eventuale preparazione del supporto con consolidanti, primer o mani di fondo adeguati alla composizione chimica della pittura da utilizzare. Applicazione di almeno due mani di pittura dello stesso tipo di quella preesistente.	10-15 anni	5-10 anni	3-5 anni
Ripristino totale Sostituzione completa del sistema di rivestimento	Demolizione del rivestimento esistente e rifacimento previa adeguata preparazione del sottofondo.	>30 anni	25-30 anni	15-20 anni

Tabella 7. Interventi di manutenzione preventiva programmata. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

Controlli		Frequenza		
Procedura di controllo	Oggetto del controllo	Bassa	Media	Alta
Verifica della condizione della finitura superficiale Controlli a vista	Stato di conservazione della finitura e dell'uniformità cromatica. Presenza di depositi, macchi, efflorescenze, sbollature, croste e microfessurazioni.	12-24 mesi	6-12 mesi	3-6 mesi
Verifica della funzionalità dell'intonaco Controlli a vista o strumentali	Planarità e regolarità della superficie. Presenza di disgregazioni, distacchi, fessurazioni, rigonfiamenti, esposizione della rete di armatura e muffe.	18-24 mesi	12-18 mesi	6-12 mesi

Controlli di danni superficiali o strutturali dovuti a condizioni, prevedibili, di maggiore sollecitazione Controlli a vista o strumentali	Presenza di fessurazioni e di muffe sulle pareti più sollecitate dagli agenti atmosferici (Est, Sud e Ovest per gli shock termici e Nord per le formazioni di muffe e patine biologiche). Condizioni della finitura nelle zone più esposte ad atti vandalici. Presenza di infiltrazioni di umidità in prossimità di gronde e pluviali o dell'attacco a terra: distacchi, disgregazioni o fessurazioni in prossimità dei ponti termici.	12-24 mesi	6-12 mesi	3-6 mesi
Controllo di danni superficiali o strutturali dovuti ad eventi imprevedibili Controlli a vista o strumentali	Alterazioni della finitura superficiale. Infiltrazioni di umidità, fessurazioni, rotture e distacchi nelle zone interessate dall'evento accidentale e in quelle limitrofe.	In occasione dell'evento impreveduto		
Controllo di danni strutturali indotti Controlli a vista o strumentali	Verifica delle condizioni ambientali, delle condizioni di rischio di attacco biologico, di penetrazione di umidità in relazione alle condizioni di elementi e componenti adiacenti, di rotture e fessurazioni dovuti a movimenti strutturali.	2-3 anni	1-2 anni	6-12 mesi
Controllo di difetti di esecuzione e/o manutenzione Controlli a vista sotto l'azione di luce radente	Verifica della qualità di esecuzione, della corretta maturazione, della planarità, di eventuali irregolarità della superficie, dell'uniformità cromatica.	Dopo la realizzazione o dell'intervento di manutenzione		

Tabella 8. Interventi di controllo e manutenzione secondo condizione. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

Interventi riparativi a guasto avvenuto	
Degrado	Diagnosi e criteri di intervento
Alterazione cromatica	Analisi dell'entità e delle cause del fenomeno. Rifacimento dello strato di finitura con caratteristiche analoghe e compatibili con quelle originarie.
Depositi superficiali	Analisi della consistenza e della natura dei depositi. Rimozione mediante spazzolatura e lavaggio con acqua addizionata con detersivi.
Macchie e graffi	Analisi della sostanza imbrattante e del livello di penetrazione. Rimozione mediante solventi o estrattori chimici (previa verifica di compatibilità con il tipo di intonaco utilizzato) e lavaggio con acqua.
Alterazione della finitura superficiale	Valutazione dell'estensione e dell'entità del degrado. Rifacimento dello strato di finitura superficiale.
Croste	Analisi della consistenza e dell'estensione del fenomeno. Rimozione mediante spazzolatura, applicazione di detersivi specifici e successivo lavaggio con acqua.

Esposizione della rete	Verifica dell'estensione e della causa del degrado. Ripristino locale mediante ricopertura con sotto intonaco pronto all'impiego, privo di cemento, armatura e strato di finitura.
Microfessurazioni	Verifica dell'estensione e della causa del degrado. Eventuale rimozione e rifacimento parziale o totale del rivestimento (a seconda dell'estensione del fenomeno).
Sbollatura	Verifica dell'estensione e della causa del degrado. Rimozione e ripristino locale o totale (a seconda dell'estensione del fenomeno) degli strati interessati.
Attacco biologico	Analisi della natura e dell'entità dell'attacco. Lavaggio ed eventuale trattamento con fungicidi.
Disgregazione	Analisi delle cause che hanno determinato il fenomeno e verifica dell'entità e dell'estensione del degrado. Rimozione e ripristino locale o totale degli strati interessati dal fenomeno.
Distacchi	Analisi delle cause che hanno determinato distacchi. Demolizione della zona limitrofa a quella in cui si è verificato il distacco e ripristino dello strato isolante, delle armature, del rasante e dello strato di finitura.
Fessurazioni e punzonamenti	Analisi delle cause che hanno determinato il fenomeno. Demolizione della zona interessata dalle lesioni e ripristino dello strato isolante, delle armature, del rasante e dello strato di finitura.
Formazioni di muffe	Analisi delle cause del fenomeno. Rimozione mediante lavaggio con acqua e detersivi specifici e successiva applicazione di prodotti antimuffa.
Rigonfiamenti e spancamenti	Analisi delle cause che hanno determinato i rigonfiamenti. Demolizione della zona interessata dal fenomeno e ripristino dello strato isolante, delle armature, del rasante e dello strato di finitura.
Rotture	Analisi delle cause che hanno determinato la rottura degli strati interessati e degli eventuali fenomeni di degrado indotti sugli strati sottostanti. Demolizione della zona limitrofa a quella in cui si è verificato il distacco e ripristino dello strato isolante, delle armature, del rasante e dello strato di finitura.

Tabella 9. Interventi di manutenzione correttiva sui sistemi a cappotto. Rielaborazione dalla fonte: Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003

5 Sperimentazione: prove di laboratorio

5.1 Identificazione degli agenti patogeni

La premessa metodologica necessaria alla fase sperimentale vera e propria, è risultata la definizione del quadro di riferimento riguardante: agenti, azioni ed effetti e i degradi che possono insorgere, in relazione allo specifico contesto in cui si è collocati. Quindi in seguito vengono riportati i tipi di sollecitazioni (o agenti), che più frequentemente generano fenomeni di degrado sui sistema a cappotto. Mentre nel paragrafo successivo verrà trattato più nello specifico l'effetto della grandine.

Shock termico estivo ed invernale

Lo strato di rivestimento sull'isolante, essendo molto sottile, è particolarmente sensibile a questo genere di sollecitazioni in quanto l'inerzia termica è praticamente trascurabile. Il rivestimento esterno è quindi soggetto a variazioni di temperatura estremamente rapide: ad esempio i raffreddamenti superficiali durante le notti di inverno possono essere seguiti da repentini riscaldamenti al sorgere del sole (soprattutto sulle facciate esposte a Sud e a Est), oppure le pareti intensamente irraggiate e improvvisamente raffreddate dai temporali estivi (prevalentemente prospetti Sud ed Ovest).

L'azione del fenomeno è la rapida variazione fra la temperatura superficiale (circa uguale alla temperatura sole-aria) e l'interfaccia tra rasante e isolante. Per tale motivo l'intensità del fenomeno è legata alla temperatura operante esterna, l'irradianza, il coefficiente di assorbimento del colore, la rugosità della finitura esterna (influenza il coefficiente di scambio termico convettivo-radiativo), la resistenza termica dell'isolante (quindi il suo spessore). Mentre i parametri che influenzano la risposta del sistema sono: le proprietà meccaniche del rasante (resistenza a trazione, a compressione e modulo elastico) e l'assorbimento capillare (più assorbe rapidamente l'acqua, più decresce la temperatura e quindi più velocemente cambia il segno della sollecitazione).

Dopo ogni shock termico gli effetti che si verificano sono: auto tensioni da dilatazioni e contrazioni impedito, diminuzione della resistenza meccanica della malta (bagnata dalla pioggia o dalla condensa superficiale), fessurazione dell'intonaco (prevalentemente in corrispondenza dei giunti) e aumento della permeabilità all'acqua, questo provoca un decadimento generale delle prestazioni termiche e meccaniche del sistema.

Gelo-disgelo

A causa dello scambio termico radiativo si raggiungono temperature superficiali inferiori, anche di 5-6 °C, alla temperatura dell'aria esterna con conseguente formazione di condensa superficiale esterna e si verificano depositi di rugiada e brina. Anche la rugosità della superficie favorisce la condensazione superficiale e insieme al deposito delle polveri contribuiscono a generare le condizioni di condensazione capillare ed adsorbimento. Per questo motivo si ha un numero

maggior di eventi critici di gelo-disgelo rispetto le altre tipologie costruttive. Le caratteristiche del rasante e della finitura interessate dal fenomeno sono: diametro dei pori e la loro capacità di diffusione del vapore, la temperatura esterna, il numero di cicli con la conseguente disgregazione della matrice cementizia.

Pioggia

Provoca il fenomeno di dilavamento e quindi anche del trascinamento dello sporco, con conseguente assorbimento di acqua, formazione di muffe e funghi. A causa dell'assorbimento dell'acqua (incrementato dall'aumento dei pori dovuto dagli shock termici) si ha un aumento della conducibilità dei materiali costituenti il sistema, soprattutto nel caso di isolanti in lana minerale. Per questa ragione si sottostima la trasmittanza termica in condizione di progetto valutata nelle condizioni a "secco".

Variazioni cicliche di temperatura e umidità

La differenza tra i diversi coefficienti di dilatazione termica e di permeabilità al vapore, dei materiali isolanti e della malta rasante, creano deformazioni differite all'interfaccia tra i diversi componenti del sistema. Questo fenomeno induce delle sollecitazioni cicliche nella strato di finitura che lo portano a danneggiarsi.

Radiazione ultravioletta

La radiazione UV (lunghezza d'onda compresa tra i 315 nm e i 400 nm) riscalda il polimero, di cui è costituito lo strato di finitura, causando una degradazione termica (eccita gli elettroni dei legami covalenti, che provoca un infragilimento della struttura). Il polimero si degrada soprattutto nelle parti superficiali esposti alla radiazione, diminuendo così la capacità di protezione.

La maggior parte degli agenti sopra riportati sollecitano soprattutto gli strati di malta rasante e di finitura, i quali è necessario rimangano integri al fine di assicurare la protezione degli strati più interni. L'agente che più colpisce lo strato isolante è quello di variazione di umidità e temperatura, ciò significa che altera sensibilmente le sue caratteristiche prestazionali e funzionali nonostante esso sia protetto dallo strato di rasante e finitura.

5.2 Effetto della grandine sui sistemi ETICS

5.2.1 La grandine, caratterizzazioni del fenomeno meteorico

La grandine con dimensioni anomale è un tipo di precipitazione che si verifica in modo più frequente in primavera e in estate. Infatti per via delle elevate temperature, le grandinate possono avere risvolti assai dannosi. L'estate è la stagione grandinigena per eccellenza, almeno al centro e al nord Italia: "Il caldo durante le settimane precedenti all'evento, accumula grande energia nell'atmosfera e calore sulla superficie terrestre. La rapidità del cambio atmosferico e quindi l'alta pressione proveniente dall'Africa che si dissipa, mentre si accumula aria dal Nord-Est Europea e aria umida proveniente dall'Atlantico, portano alla formazione dei chicchi di grandi dimensioni"²⁶. La grandine di maggiore dimensione si sviluppa in condizioni climatiche relativamente calde, con forte riscaldamento del suolo che esalta le correnti ascensionali. I danni più o meno rilevanti non sono proporzionali solamente alla dimensione del chicco, ma dipendono da una somma di altri fattori. Questi sono cinque e dipendono da:

- dimensione del chicco di grandine;
- velocità di caduta del chicco;
- durezza del chicco;
- forma del chicco;
- orientamento della traiettoria di caduta del chicco.

Il problema delle precipitazioni di grandine interessa con i suoi effetti non solo il campo automobilistico, con danni alle carrozzerie dei veicoli, o quello dell'agricoltura, con distruzioni di raccolti, ma anche quello edilizio, in particolare delle coperture degli edifici, con danni anche notevoli nel caso di precipitazioni caratterizzate da chicchi particolarmente grossi. Mentre per l'agricoltura si possono avere danni con chicchi di grandine a partire dal diametro di 8 ÷ 9 mm, nel campo edilizio, a seconda delle opere interessate, si possono constatare danni seri con chicchi superiori a 25 ÷ 30 mm di diametro. Relativamente alla grandine sono disponibili molti dati di rilevamenti locali e di ricerche che riportano anche le frequenze percentuali dei diametri, però tali dati non sono generalizzabili essendo il fenomeno meteorico assai imprevedibile e casuale. Ad esempio nel luglio del 1984 si sono avute in Germania (zone di Monaco, Stoccarda, Heilbronn) e nella Svizzera centrale forti grandinate e si sono rilevati chicchi del diametro eccezionale di 95 mm, (massa 300 g e velocità d'impatto dell'ordine di 40 m/s, ovvero oltre 140 km/h). Nelle zone intorno a Torino e nell'astigiano, si sono rilevati negli anni passati chicchi di grandine di diversi centimetri di diametro che raggiungevano anche la dimensione di un uovo²⁷.

²⁶ <https://www.quotidiano.net/cronaca/grandine-come-si-forma-1.4692530>

²⁷ Nelva R., *L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme*, Zenital, Monza, 2008



Figura 42. Foto di chicchi di grandine. Zona: Madonna di campagna, Torino. 01/07/2019

La velocità di caduta dei chicchi è stata studiata da diversi ricercatori²⁸; raggiunti determinati valori della velocità non si hanno più incrementi della stessa, poiché il moto di caduta libera del chicco di grandine è il risultato dell'equilibrio fra le forze di gravità e le resistenze aerodinamiche che vi si oppongono (crescenti con la velocità).

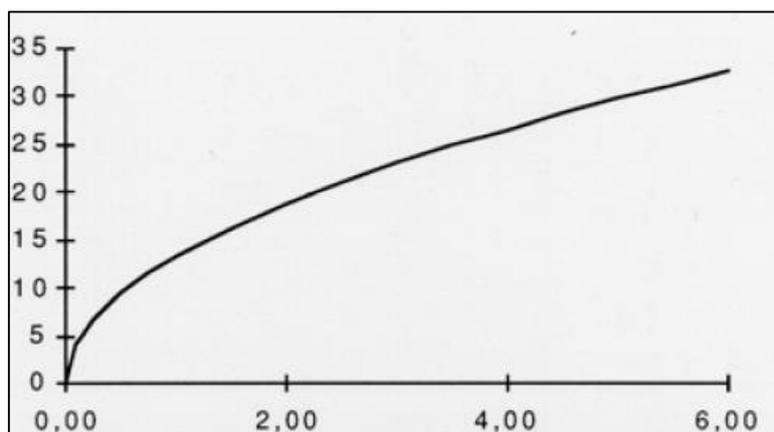


Figura 43. Grafico della velocità di caduta (ordinata - cm) in funzione del diametro (ascissa - m/s) del chicco di grandine. Fonte: Nelva R. "L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme", Zenital, Monza, 2008

La velocità di caduta dipende da diversi fattori, principalmente dal diametro del chicco (d), dalla sua massa volumica (ρ_H), dal coefficiente di resistenza aerodinamica (c), dalle caratteristiche dell'aria, etc. Le valutazioni analitiche della velocità di caduta si basano sulla formula di caduta libera nell'aria di un corpo sferico. Il diagramma della velocità di caduta di un chicco di grandine in funzione del suo diametro è determinato sulla base della formula generale che fornisce la velocità v , in m/s:

$$v = \sqrt{\left[\frac{4 \cdot \rho_H \cdot d \cdot g}{3 \cdot \rho_A \cdot c} \right]}$$

²⁸ Admirat P., Goyer G.G., Wojtiw L., Carte E. A., Roos D., Lozowski E.P., A comparative study of hailstorms in Switzerland, Canada and South Africa, *Journal of Climatology*, 5, 35-51, 1985; Aparo A., Rosini E., Vento D., Sulla velocità limite di caduta dei chicchi di grandine, in *Convegno di meteorologia appenninica*, Reggio Emilia 7-10 Aprile 1979; Bauer E., Hail resistance of solar installations, Ageing test AT4, Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Ispra Establishment, Italy, August 1985; Prodi F., Franzini A., Il chicco di grandine dalla nube al laboratorio, Calderini, Bologna, 1985.

dove:

c = coefficiente di resistenza aerodinamica [-] (compreso tra 0,4 e 0,6);

d = diametro del chicco [m];

g = accelerazione di gravità [m/s^2] (assunta pari a 9,81);

ρ_H = massa volumica grandine [kg/m^3] (assunta pari a 900 ± 100);

ρ_A = massa volumica dell'aria [kg/m^3] (assunta pari a $1,11 \pm 0,1$).

5.2.2 La simulazione dell'effetto

In diverse parti del mondo sono stati studiati metodi di prova per la verifica del comportamento degli elementi di copertura, basati su apparecchiature sperimentali di simulazione della caduta della grandine. Tali apparecchiature impiegano un proiettile di definite dimensioni e materiale (sfere di legno, di ghiaccio, di poliammide, di acciaio, etc.), lanciato a velocità nota (da pochi metri al secondo sino a più di 25 m/s) e fatto urtare contro gli elementi in prova, eventualmente sottoposti a preventivo repentino raffreddamento, riscaldamento o a cicli di invecchiamento.

Le apparecchiature più semplici sfruttano il principio di caduta dei gravi (dispositivi a caduta), mentre le più sofisticate impiegano dispositivi appositi (lanciatori centrifughi, cannoncini ad aria compressa, a carica esplosiva e a molla).

Nel caso dei dispositivi a caduta, per limiti pratici sull'altezza di caduta, le velocità raggiunte dal proiettile sono relativamente basse dell'ordine di alcuni metri al secondo e molto inferiori a quelle della grandine reale; per disporre di una energia cinetica paragonabile a quella della grandine occorrono sfere di massa ben maggiore di quella della grandine, tipo sfere di acciaio. Il tipo di impatto risulta quindi molto diverso da quello reale e si tratta più propriamente di "prove di resistenza all'urto da corpo duro".

Nel caso di dispositivi centrifughi si ha la possibilità di lanciare con la medesima apparecchiatura proiettili di materiali e diametri differenti, con linea di mira in genere orizzontale, a fronte di una certa complicazione costruttiva.

Nel caso di apparecchiature a cannoncino ad aria compressa è possibile raggiungere velocità elevate (più di 25 m/s) dello stesso ordine di quelle della grandine reale. Si possono così utilizzare proiettili di massa specifica piuttosto simile alla grandine reale ed avere energie cinetiche simili. Se si usano diametri crescenti del proiettile occorrono canne calibrate sostituibili, con complicazioni procedurali e costruttive. Relativamente alla posizione reciproca linea di lancio - bersaglio, le apparecchiature possono avere la linea di lancio orizzontale ed elementi in prova posti verticalmente oppure la linea di lancio verticale ed elementi in prova posti orizzontalmente o pseudorizzontalmente. Questa ultima posizione permette di disporre gli elementi in prova come nelle reali condizioni di posa in opera.

Influenza dello shock termico

Se si tiene conto che i fenomeni grandinigeni avvengono prevalentemente nel periodo estivo, un rapido abbassamento di temperatura dovuto al fenomeno di dilavamento della grandine può influire sul comportamento di alcuni materiali (in genere di tipo organico) che possono presentare riduzioni di resistenza all'impatto. Ad esempio i prodotti tradizionali di una certa massa (pietre regolari, tegole, etc.) non subiscono significative modifiche di comportamento, le membrane impermeabilizzanti a base bituminosa presentano riduzioni di resistenza a causa dell'irrigidimento del materiale. La norma Sia V 280 prevedeva di effettuare i tiri dopo aver lasciato per 3 minuti sulla membrana da provare uno strato di ghiaccio tritato. Per i prodotti per i quali si ritiene un peggioramento del comportamento sotto shock termico (per il materiale costituente, per il suo spessore, etc.) si è prevista una procedura di prova che contempli il raffreddamento dei provini. Sono state svolte anche delle prove esplorative per confrontare le resistenze di cupole provate a temperatura ambiente e con raffreddamento repentino. Prima dei tiri si ricopre la zona di impatto con uno strato di ghiaccio tritato (500 g di ghiaccio su una superficie di circa 450 cm²; spessore di circa 1,5-2 cm).

5.2.3 Le norme sulle prove di resistenza all'urto

Negli anni sono stati elaborati diversi progetti o norme su prove di resistenza alla grandine o all'urto di corpo duro di elementi di copertura. Tali norme si basano su metodi di prova anche sensibilmente differenti. Alcune prevedono una prova con cannoncino ad aria compressa e linea di mira verticale, con proiettili costituiti da sfere in poliammide, diametro 40 mm, ad esempio: la **SIA 281:2017** svizzera sulle membrane impermeabilizzanti sintetiche, la **UNI EN 1013:2015** sulle lastre profilate trasparenti di materia plastica e la **UNI EN 13583:2012** sulle membrane impermeabili per coperture. Anche nel documento ETAG 10 europeo dell'EOTA, sulle lastre traslucide autoportanti per coperture, nella prova di resistenza alla grandine viene richiamato il metodo della EN 1013 che impiega sfere di poliammide. Altre norme prevedono il lancio di sfere di ghiaccio, tra cui la **ASTM F320:2016** statunitense sugli elementi trasparenti in campo aerospaziale, la **ASTM E1038-10:2019** statunitense sui moduli fotovoltaici, la **ASTM E822-92:2015** statunitense sui collettori solari, le **IEC 61215:2016** internazionale sui moduli fotovoltaici. Altre norme ancora prevedono prove di resistenza all'urto con sfere o dardi di acciaio lasciati cadere da altezze prestabilite.

Infine la norma **UNI EN 12975-2:2005** per la convalida della durabilità, dell'affidabilità e dei requisiti di sicurezza dei collettori solari, prevede due metodi di resistenza alla grandine. Con il primo metodo il collettore viene colpito da sfere di acciaio (massa 150 g) lasciate cadere verticalmente da altezze progressivamente crescenti (da 0,4 a 2 m) nel caso il collettore sia posto orizzontalmente, o con impatto orizzontale di un pendolo nel caso il collettore sia posto verticalmente. Con il metodo 2 il collettore viene colpito da sfere di ghiaccio di diametro 25 mm lanciate a velocità nota (23 m/s) da apposita apparecchiatura pneumatica.

Principali aspetti della Norma UNI 10890:2000

Titolo: "Elementi complementari di copertura, Cupole e lucernari continui in materiale plastico - Determinazione della resistenza alla grandine e limiti di accettazione".

La norma descrive un metodo di prova per valutare il comportamento di cupole e lucernari continui in materiale plastico per coperture, sotto l'impatto simulato della grandine. La prova si basa sulla determinazione della velocità d'impatto di una sfera di caratteristiche note che provoca la rottura dell'elemento provato.

Il provino è costituito da un singolo prodotto. Per lucernari continui la prova viene effettuata su un elemento modulare. Sono previsti due tipi di condizionamento dei provini:

Tipo A: il prodotto rimane in ambiente a temperatura compresa tra 18 °C e 25 °C per 24 h, nessun ulteriore condizionamento.

Tipo B: il prodotto rimane in ambiente a temperatura compresa tra 18 °C e 25 °C per 24 h, prima della prova si copre per 4 minuti la zona d'impatto con uno strato di ghiaccio tritato di spessore circa 1,5-2 cm (viene definita dalla norma anche la superficie e la quantità di ghiaccio da impiegare). La prova deve essere effettuata entro 10 s successivi a quando viene tolto lo strato di ghiaccio.

La scelta del tipo di condizionamento, A o B, è funzione dell'inerzia termica del prodotto (spessore e tipo di materiale) e della sensibilità allo sbalzo termico del materiale.

L'apparecchiatura è costituita da un cannoncino che permette di proiettare contro il provino sfere di poliammide (Nylon 6.6) di 40 mm di diametro e massa di $(38 \pm 0,5)$ g ad una velocità prestabilita. La linea di tiro è verticale e la direzione verso il basso; l'energia è fornita tramite aria compressa. Un dispositivo misura la velocità della sfera con accuratezza di misura di 0,5%; un opportuno supporto permette il fissaggio degli elementi sottoposti a prova come nelle reali condizioni di posa in opera. Il procedimento della prova segue le fasi seguenti:

Il provino, condizionato secondo il tipo A o B, viene fissato al supporto come nelle reali condizioni di posa in opera ed è posizionato in modo tale che la distanza tra esterno della base di misura e punto di impatto sia di (300 ± 100) mm.

Si effettuano gli spari, regolando opportunamente la pressione di aria compressa, ad una velocità corrispondente a quella della classe di resistenza richiesta. I tiri vengono effettuati in almeno 3 diverse zone in cui si ritiene più probabile la rottura (3 tiri per zona), tra cui il bordo di fissaggio, gli spigoli, la superficie centrale.

La velocità del proietto nei tiri richiesti deve essere:

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| - Classe 11 A (e B) | $v = (11 \pm 0,5) \text{ m/s}$ |
| - Classe 15 A (e B) | $v = (15 \pm 0,7) \text{ m/s}$ |
| - Classe 19 A (e B) | $v = (19 \pm 0,8) \text{ m/s}$ |
| - Classi V A (e B) | $v = (V \pm 0,8) \text{ m/s}$ |

Vengono valutati gli effetti degli impatti sia dal punto di vista della conservazione dell'impermeabilità dei provini, sia dal punto di vista delle eventuali modificazioni dell'aspetto: si considera superata la prova quando, per una determinata classe, nessuno dei tiri ha provocato la "rottura", si considera rottura se si rilevano fessure passanti o rotture. In casi dubbi è necessario

effettuare una prova di impermeabilità all'acqua. Devono essere anche esaminate le criccate, fessure non passanti, opacità, se ben visibili, che modificano l'aspetto del prodotto, anche se non pregiudicano al momento la tenuta all'acqua e non inficiano i risultati della prova. La loro presenza deve essere annotata in modo da rendere esplicita la loro possibile formazione in seguito alla prova. La norma è stata siglata "sperimentale" in modo da permettere ulteriori affinamenti che potranno scaturire dalle sperimentazioni specialmente per quanto riguarda la definizione delle classi di resistenza²⁹.

5.3 L'apparecchiatura sperimentale

Presso il Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi del Politecnico di Torino viene sperimentata su prodotti di copertura una apparecchiatura di prova basata su un cannone ad aria compressa che può lanciare sfere di poliammide di diametro 40 mm con velocità graduabili e misurabili da pochi metri al secondo sino a circa 20 m/s. L'apparecchiatura è stata sperimentata inizialmente quale studio per Tesi di Laurea su coperture in tegole laterizie. La metodologia di prova è stata successivamente verificata su membrane di impermeabilizzazione, seguendo le procedure della norma Sia V280, su lastre in fibrocemento, su pannelli metallici e sperimentata su cupole in materiale sintetico di copertura. L'apparecchiatura, modificata in senso migliorativo con il procedere delle sperimentazioni, è attualmente costituita principalmente da:

- canna calibrata, con dispositivo di sgancio sfere con elettrocalamite a bassa tensione;
- serbatoio dell'aria compressa, e relative valvole di riempimento e manometro;
- sistema di aspirazione, per il caricamento del proiettile;
- sistema misuratore di velocità, con fotocellule su base misurata di 20 cm;
- PC e software per il calcolo della velocità, la registrazione e la stampa dei risultati;
- sistema di alimentazione a bassa tensione in corrente continua (12 V);
- struttura di sostegno degli elementi in prova (inclinabile);
- struttura di supporto del complessivo e dispositivi di sicurezza (rete, schermo, etc.);
- sistema di individuazione del punto di impatto mediante filo a piombo.

²⁹ Nelva R., *L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme*, Zenital, Monza, 2008

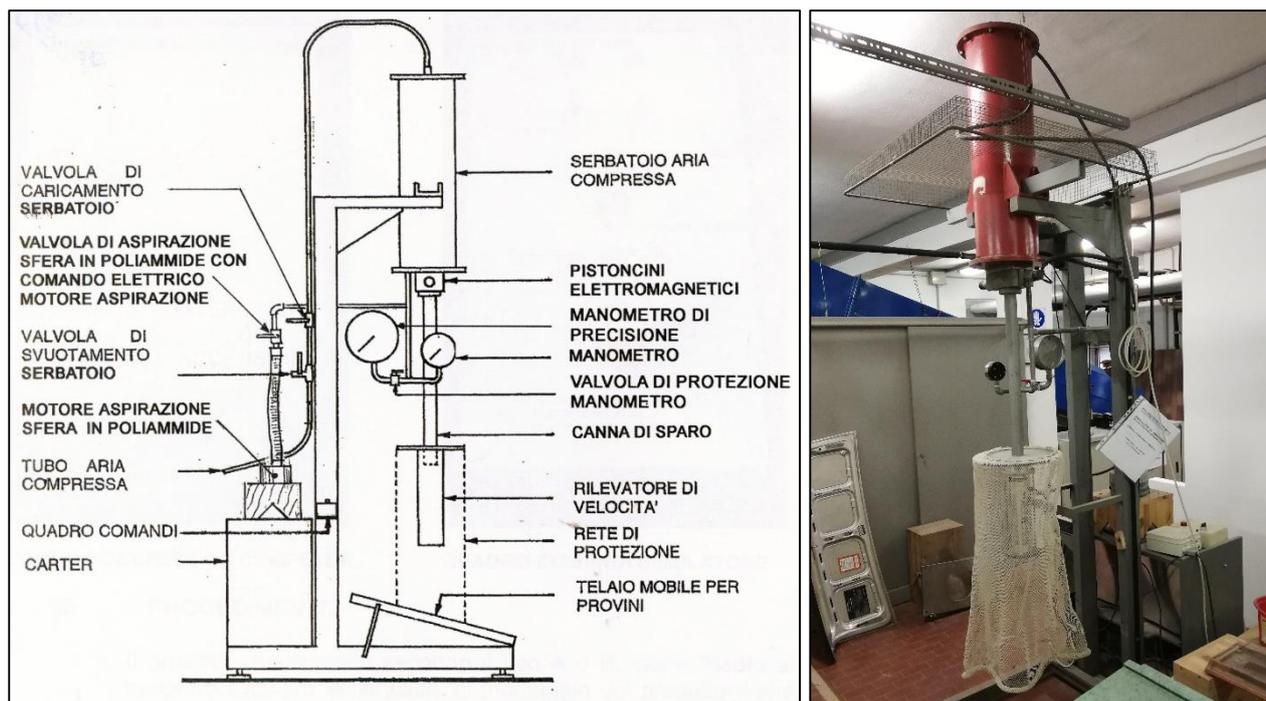


Figura 44. Apparecchiatura di prova realizzata presso il Dipartimento ISEG del Politecnico di Torino. Fonte: Manuale di uso e manutenzione. Allegato 1

5.3.1 Metodologia di prova

La metodologia di prova, che si basa sulla determinazione della velocità di rottura degli elementi colpiti da sfere di poliammide, presenta diversi aspetti positivi:

- essa è stata sperimentata in laboratori diversi con risultati confrontabili;
- diverse norme o progetti di norma, anche internazionali, la richiamano espressamente;
- il cannoncino ad aria compressa è ben modulabile e la scelta della linea di mira verticale permette di provare gli elementi posti come nelle reali condizioni di posa in opera;
- l'impiego di palline di poliammide, di massa volumica non molto diversa da quella della grandine ($\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$) e lanciate a velocità prossime a quelle di caduta della stessa, fornisce dei tipi di impatto non troppo dissimili dalla realtà.

Inoltre sono stati confrontati presso il Politecnico di Torino i danni subiti da prodotti effettivamente colpiti dalla grandine con quelli ottenuti nelle prove di laboratorio, riscontrando esiti positivi che rendono la prova ripetibile. La valutazione della resistenza alla grandine può essere basata sul valore della massima velocità di impatto a cui ha resistito l'elemento in prova. Ciò implica però un notevole dispendio di tempo e i livelli di danno che il provino può subire variano in funzione della velocità e del tipo di componente testato. Per rendere più semplici le procedure di prova si tende a definire delle classi di resistenza. In pratica, definiti degli intervalli di velocità si valuta il livello di danno procurato durante l'urto. Tale definizione risulta però molto delicata se si intende avere anche una correlazione con l'effettivo comportamento in servizio dei prodotti. Nel caso specifico si sono presi in considerazione i valori delle velocità di resistenza, ottenuti nelle sperimentazioni su altri tipi di prodotti (di copertura), nonché di dati provenienti da sperimentazioni di altri laboratori:

- Tegole tradizionali in laterizio, a seconda del tipo e del prodotto, possono resistere a tiri dell'ordine di 10 m/s.
- Lastre ondulate in fibrocemento, a seconda del prodotto, possono resistere a tiri generalmente da 11 m/s sino a 19 m/s (prove presso DISET).
- Cupole in PMMA da 4-5 mm resistono a tiri generalmente oltre 8,5 m/s e sino a circa 12,5 m/s.
- Cupole in PMMA antiurto e cupole in policarbonato non si sono fessurate con tiri di velocità di 16-20 m/s.



Figura 45. Confronto del danno su tegole laterizie. A destra danno causato da grandine reale e a sinistra quello provocato col metodo previsto dalla UNI 10890. Fonte: Nelva R., *L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme*, Zenital, Monza, 2008

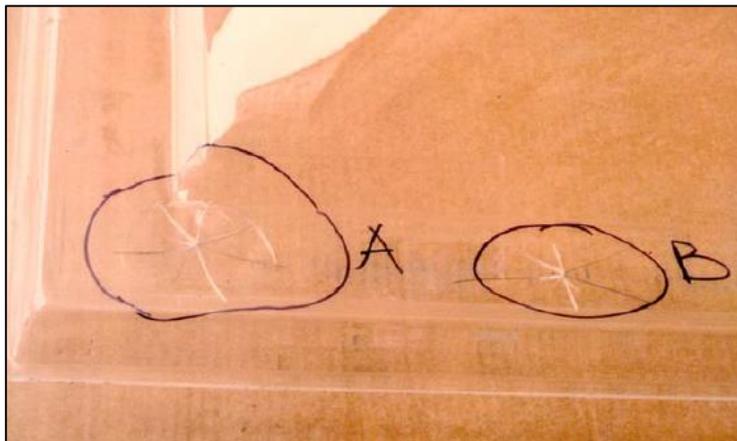


Figura 46. Esempio di rottura riscontrata su cupola in metacrilato: fessurazioni con incrinature a stella. Fonte: Nelva R., *L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme*, Zenital, Monza, 2008



Figura 47. Esempio dell'effetto della prova su cupola in metacrilato antiurto: impatto denunciato dalla macchia opaca nel materiale. Fonte: *Nelva R., L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme, Zenital, Monza, 2008*

Inoltre si è ipotizzata un'inclinazione del supporto di 60° , considerando la velocità di caduta³⁰ della grandine (di grosse dimensioni) 20 m/s e la velocità media del vento³¹ di 12 m/s. Per questo motivo è stato necessario realizzare un supporto su cui fosse possibile posizionare i provini.



Figura 48. Posizionamento del supporto inclinato di 60° sotto la canna di sparo

³⁰ Secondo la formula descritta nel §5.2.1 e le sperimentazioni sugli altri tipi di componenti (tegole, lucernari, etc.)

³¹ Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali (a cura del), *Forti temporali del 06.07.2019*, Arpa, Torino, 2019

Per determinare il comportamento dei campioni da testare vengono presi in considerazione i seguenti aspetti:

- materiale costituente e spessore del provino;
- punto di impatto;
- velocità critiche di rottura;
- Tipo di rottura e gravità del danno: microrotture, danneggiamenti degli strati interni con più evidenti opacità nel punto di impatto, fessure, cavillature, ammaccature, etc.

5.3.2 Procedura

1. Accensione del computer e avviamento del software per il rilevamento delle velocità.
2. Accensione dei quadri: di comando simulatore della grandine (due interruttori: rosso e giallo-verde), di connessione (spia verde) e del motore di aspirazione (spia rossa).
3. Verificare che nel serbatoio del compressore vi sia aria compressa a sufficienza (circa 9 bar), altrimenti accendere il compressore.
4. Il provino viene posizionato sul supporto, condizionato secondo le modalità previste. Tramite l'utilizzo del filo a piombo è possibile determinare la posizione del punto di impatto.
5. Chiudere la valvola di protezione del manometro di precisione
6. Aprire i pistoncini elettromagnetici tramite il pulsante rosso sul quadro comandi, si spegne la spia giallo-verde e si accende la spia rossa.
7. Inserire a mano la sfera di poliammide all'imbocco della canna di sparo.
8. Azionare la valvola di aspirazione, si accende il motore e la sfera sale per depressione in posizione di tiro.
9. Chiudere i pistoncini elettromagnetici tramite il pulsante rosso sul quadro su quadro dei comandi, si spegne la spia rossa e si accende quella giallo-verde.
10. Chiudere la valvola di aspirazione, si arresta il motore.
11. Verificare che la rete di protezione sia abbassata e non presenti aperture dalle quali la sfera potrebbe uscire. Se necessario fissare la rete in modo opportuno.
12. Aprire lentamente la valvola di riempimento serbatoio del simulatore.
13. Aprire la valvola di protezione del manometro di precisione una volta raggiunta la pressione adatta a non danneggiarlo circa 0,25 bar.
14. Regolare lentamente la valvola di riempimento serbatoio del simulatore finché viene raggiunto il valore di pressione voluto.
15. Premere il pulsante rosso sul quadro dei comandi del simulatore per effettuare il tiro.
16. Chiudere lentamente la valvola di riempimento serbatoio del simulatore.

Le velocità a cui viene sparato il proietto sono funzione della pressione all'interno del serbatoio, rilevabile tramite il manometro di precisione. In particolare alla pressione di 0,3 bar corrisponde la velocità di circa 10 m/s, alla pressione di 0,7 bar corrisponde la velocità di circa 15 m/s e alla pressione di 1,3 bar corrisponde la velocità di circa 20 m/s.



Figura 49. Quadro comando motore di aspirazione. Fonte: Manuale di uso e manutenzione. Allegato 1

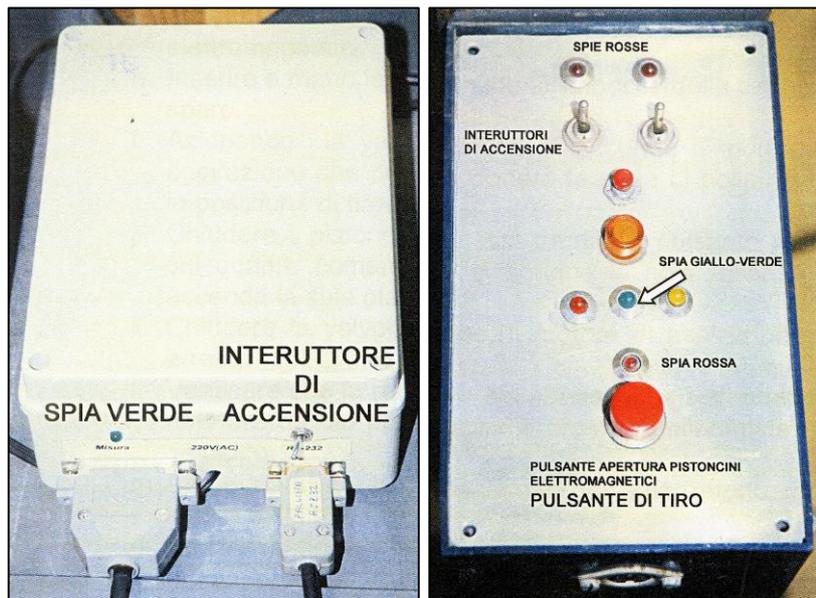


Figura 50. Quadro connessioni PC (sinistra) e quadro comando simulatore (destra). Fonte: Manuale di uso e manutenzione. Allegato 1



Figura 51. Posizionamento del provino sul supporto utilizzando il filo a piombo per determinare la zona di impatto



Figura 52. Inserimento delle sfere di poliammide all'imbocco della canna di sparo



Figura 53. Regolazione della pressione, tramite le valvole, fino ad eseguire il tiro alla velocità voluta

5.4 Protocolli di prova

Le prove che possono essere svolte sui sistemi ETICS sono molteplici e di diversa natura. In questo lavoro di tesi si è deciso di elaborare dei protocolli soltanto per alcune prove e di eseguire la prova di resistenza alla grandine a titolo di approfondimento sperimentale. Si è partiti dalle indicazioni, talvolta poco chiare ed esaustive (anche in lingua inglese), fornite dalle normative vigenti (sia italiane che europee) e dalle linee guida ETAG004.

Questi test, descritti nei seguenti protocolli di prova, sono ritenuti i più caratterizzanti il sistema ETICS.

5.4.1 Prova di resistenza alla grandine

Protocollo di prova

Prova di resistenza alla grandine

Tema: Determinazione della resistenza all'impatto da grandine del sistema ETICS

Tipologia sperimentale: Prova di resistenza all'impatto

Tipologia di prova: Prove sul sistema ETICS

Norme di riferimento: UNI ISO 7892:1990
UNI 10890:2000
UNI EN 13497:2018
ETAG 004:2013

01 - Oggetto di indagine

Descrizione: Provino di forma rettangolare del sistema ETICS (pannello in MDF smaltato, pannello isolante, malta rasante con rete in fibra di vetro, finitura).

Dati geometrici:

Lunghezza (a)	250	[mm]
Larghezza (b)	500	[mm]
Spessore (c)	-	[mm]

Dati fisici:

Massa totale (m)	-	[g]
Densità pannello isolante (ρ)	-	[kg/m ³]

02 – Condizioni di prova

Condizioni ambientali: Prova eseguita in laboratorio a temperatura e umidità controllate $T = (20 \pm 5)$ °C e $UR = (50 \pm 5)$ %.

Condizioni dell'elemento in prova:

- L'ETICS è applicato, in conformità con le istruzioni del produttore, su una tavola in MDF che funge da substrato di supporto.
- Dopo la realizzazione del provino accertarsi che sia trascorso il tempo per la maturazione dello strato di finitura (almeno 15 giorni).
- L'elemento viene fissato al telaio dell'apparecchiatura di prova in modo da riprodurre le reali condizioni di posa in opera. Il telaio mobile permette di posizionare l'elemento in prova nella posizione voluta, in modo da poter scegliere il punto di impatto in relazione alla linea di sparo.
- Confrontare le resistenze dei campioni provati a temperatura ambiente, con i provini disposti orizzontalmente, con quelli riscaldati in camera climatica ($T = 50$ °C e $UR = 50\%$ per almeno 10 ore) disposti a 60° , raffreddati in camera climatica ($T = -8$ °C e $UR = 70\%$ per almeno 10 ore) disposti a 60° . La prova viene eseguita entro 20 secondi dal prelievo del provino dalla camera climatica.

03 – Analisi delle grandezze

Punti di impatto: Parte centrale e bordi.

Velocità critiche di rottura: Tiri a velocità crescenti: 10 m/s, 15 m/s e 20 m/s.

Tipo di danno: Opacizzazione, fessure, cavillature, delaminazione e ammassatura. Se presente può anche essere misurato il diametro e la profondità dell'impronta d'impatto.

04 – Strumentazione

Simulatore di grandine, apparecchiatura sperimentale:

L'apparecchiatura di prova è basata su un cannoncino ad aria compressa che può lanciare sfere di poliammide (PA), di diametro 40 mm e massa $38 \pm 0,5$ g, con velocità graduabili e misurabili da pochi metri al secondo sino a 20 m/s.

La metodologia di prova è stata verificata su membrane di impermeabilizzazione, seguendo le procedure della norma Sia V280, su lastre in fibrocemento, su pannelli metallici e sperimentata su cupole in materiale sintetico di copertura (UNI 10890:2000).

- canna calibrata con dispositivo di sgancio sfere con elettrocalamite a bassa tensione;
- serbatoio dell'aria compressa e relative valvole di riempimento e manometro;
- sistema di aspirazione per il caricamento del proiettile;
- sistema misuratore di velocità con fotocellule su base misurata di 20 cm;
- PC e software per il calcolo della velocità, la registrazione e la stampa dei risultati;

- sistema di alimentazione a bassa tensione in corrente continua (12 V);
- struttura di sostegno degli elementi in prova (inclinabile);
- struttura di supporto del complessivo e dispositivi di sicurezza (rete, schermo, etc.);
- sistema di individuazione del punto di impatto mediante filo a piombo.

Per ulteriori informazioni si veda l'allegato 1 (MANUALE DI USO E MANUTENZIONE).

Camera climatica:

Costruttore	Angelantoni industrie S.p.A.
Modello	CH250
Matricola	9751
Ultima manutenzione	18/01/2019
Temperature	-40/+180 °C
Umidità	10/98 %
Dimensioni interne	530x580x690 mm
Dimensioni esterne	1500x900x1600 mm
Potenza	7,7 kW



Figura 2. Camera climatica situata presso il DISEG del Politecnico di Torino

05 – Elaborazione dei dati sperimentali

La metodologia di prova scelta, si basa sulla determinazione della velocità di rottura degli elementi colpiti da sfere di poliammide, di massa volumica non molto diversa da quella della grandine ($\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$):

- la sfera viene inserita nella macchina grazie all'impianto di aspirazione;
- sul telaio mobile viene posizionato il pannello. Il cannoncino ad aria compressa è ben modulabile e la scelta della linea di mira verticale permettono di provare gli elementi posti come nelle reali condizioni di posa in opera;
- una volta sparato il proietto viene annotata la reale velocità di tiro, grazie all'ausilio delle fotocellule e del software presente sul pc;
- vengono analizzati e documentati (tramite fotografie) gli eventuali danneggiamenti che si sono verificati sul pannello.

06 – Analisi dei risultati

La valutazione della resistenza alla grandine si basa sul valore della massima velocità di impatto a cui ha resistito l'elemento in prova, tenendo conto del danneggiamento che esso subisce. Per rendere più semplici le procedure di prova si tende a definire delle classi di resistenza (nel caso specifico degli intervalli di velocità), come riportato di seguito.

classe 10 - resistenza uguale o superiore a 10 m/s (e inferiore a 15 m/s);

classe 15 - resistenza uguale o superiore a 15 m/s (e inferiore a 20 m/s);

classe 20 - resistenza uguale o superiore a 20 m/s.

5.4.2 Prova di permeabilità al vapore acqueo

Protocollo di prova

Prova di permeabilità al vapore acqueo

Tema: Determinazione della permeabilità al vapore acqueo

Tipologia sperimentale: Prova di permeabilità al vapore acqueo

Tipologia di prova: Prove sul sistema ETICS

Norme di riferimento: UNI EN 12086:2013

DIN 52615:1987

ETAG 004:2013

01 - Oggetto di indagine

Descrizione: Provino di forma cilindrica comprendenti solo lo strato più esterno del sistema ETICS (pannello isolante, malta rasante con rete in fibra di vetro, finitura).

Dati geometrici:

Diametro(D)	100	[mm]
Spessore(d)	50	[mm]

Dati fisici:

Massa iniziale (m_0)	-	[g]
Densità pannello (ρ)	-	[kg/m ³]

02 – Condizioni di prova

Condizioni ambientali: Prova eseguita in laboratorio a temperatura e umidità controllate.

Condizioni dell'elemento in prova:

- Dopo la realizzazione del provino accertarsi che sia trascorso il tempo per la maturazione dello strato di finitura.
- Il campione di prova è sigillato sul lato aperto del piatto di prova contenente un essiccante (CaCl_2) o un liquido acquoso saturo (soluzione salina).
- Lo spazio d'aria tra l'essiccante e il campione deve essere (15 ± 5) mm.
- Utilizzare cera cristallina fusa per sigillare il provino sui lati.

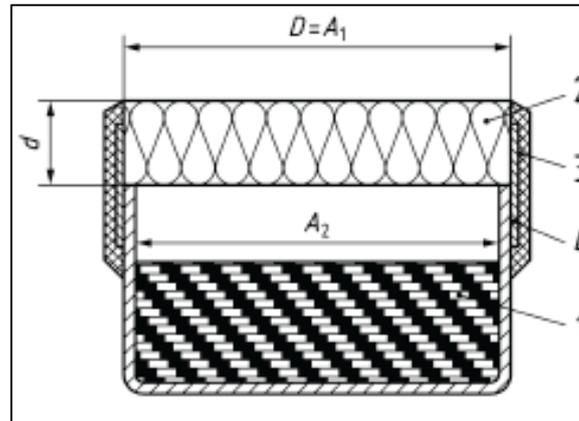


Figura 54. 1-Acqua satura di sale o essicante 2-Campione di prova 3-Sigillante 4-Nastro sigillante. Fonte: UNI EN 12086:2013

03 – Analisi delle grandezze

Pesature periodiche del gruppo di prova:

Pesatura	t[h]
1	12
2	24
3	48
4	120
5	216
6	334

04 – Strumentazione

Misura della massa: Bilancia elettronica ad altissima precisione.

Costruttore	-
Modello	-
Portata massima	-
Unità di formato	-
Precisione	-

05 – Elaborazione dei dati sperimentali

1. Calcolare la *variazione di massa* ($G_{1,2}$) per l'intervallo di tempo selezionato in grammi all'ora, usando formula:

$$G_{1,2} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

dove:

m_1 è la massa al tempo t_1 [mg];

m_2 è la massa al tempo t_2 [mg];

t_1 e t_2 sono successivi istanti di tempo di pesate [h].

2. Calcolare G , la media determinazioni successive di $G_{1,2}$, in milligrammi all'ora.

06 – Analisi dei risultati

1. Calcolare la *velocità di trasmissione del vapore acqueo* (g) utilizzando la formula:

$$g = \frac{G}{A}$$

dove A è l'aerea esposta del campione di prova [m²].

2. Calcolare la *permeanza al vapore acqueo* (W) utilizzando la formula:

$$W = \frac{G}{A \times \Delta p}$$

dove $\Delta p = 1210$ è la differenza di pressione del vapore acqueo [Pa], dipende dalle condizioni di prova.

3. Calcolare la *resistenza al vapore acqueo* (Z) utilizzando la formula:

$$Z = \frac{1}{W}$$

4. Calcolare la *permeabilità al vapore acqueo* (δ) utilizzando la formula:

$$\delta = W \times d$$

dove d è lo spessore del provino [m].

5. Calcolare il *fattore di resistenza al vapore acqueo* (μ) utilizzando la formula

$$\mu = \frac{\delta_{air}}{\delta}$$

dove δ_{air} è la permeabilità all'aria del vapore acqueo (varia a seconda della pressione barometrica media durante la prova) pari a circa $1,94 \times 10^{-10} \frac{Kg}{m \cdot sec \cdot Pa}$

5.4.3 Prova di assorbimento dell'acqua

Protocollo di prova

Prova di assorbimento dell'acqua

Tema: Determinazione assorbimento dell'acqua a breve termine per immersione parziale

Tipologia sperimentale: Prova di assorbimento dell'acqua

Tipologia di prova: Prove sul sistema ETICS

Norme di riferimento: UNI EN 1609:2013

DIN 52617:1987

ETAG 004:2013

01 - Oggetto di indagine

Descrizione: Provino di forma quadrata comprendenti solo lo strato più esterno del sistema ETICS (pannello isolante, malta rasante con rete in fibra di vetro, finitura).

Dati geometrici:

Lato(l)	200	[mm]
Spessore(d)	50	[mm]

Dati fisici:

Massa iniziale(m_0)	-	[g]
Densità pannello(ρ)	-	[kg/m ³]

02 – Condizioni di prova

Condizioni ambientali: Prova eseguita in laboratorio a temperatura e umidità controllate.

Condizioni dell'elemento in prova:

- Dopo la realizzazione del provino accertarsi che la stagionatura non sia inferiore ai 28 giorni.
- Il campione di prova è impermeabilizzato, sul bordo laterale, con resina.
- Il campione di prova viene immerso con la sua parte inferiore in acqua (a circa 23 °C) per 10 mm.

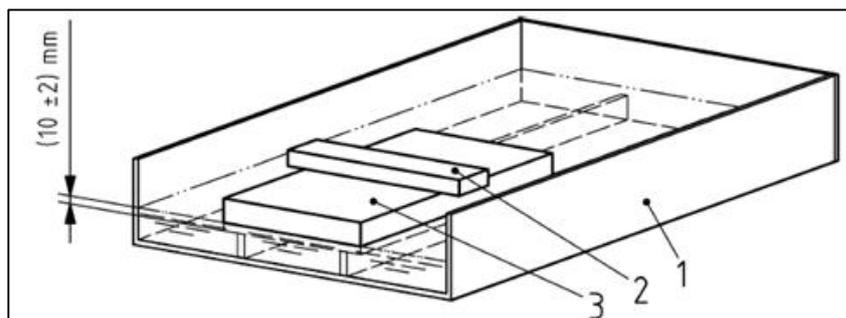


Figura 55. 1-Contenitore 2-Contrappeso 3-Campione di prova. Fonte: UNI EN 1609:2013

03 – Analisi delle grandezze

Pesature:

Rimuovere il campione mantenendolo in posizione orizzontale e posizionarlo entro 5 s in un vassoio di plastica di massa nota ed effettuare le pesature.

Pesatura	Tempo
1	10 secondi
2	24 ore

04 – Strumentazione

Misura della massa: Bilancia elettronica di precisione.

05 – Elaborazione dei dati sperimentali

Calcolare l'assorbimento d'acqua a breve termine (W) mediante immersione, usando le seguente formula:

$$W_p = \frac{m_{24} - m_1}{A_p}$$

dove:

m_1 è la massa del campione incluso l'assorbimento di acqua iniziale [kg];

m_{24} è la massa del campione dopo immersione parziale di 24 h [kg];

A_p è la superficie della faccia del campione m^2 ;

06 – Analisi dei risultati

W_p dovrebbe essere un valore vicino a 0,01 kg/m².

Se il campione assorbe molto acqua, lo strato di finitura non è idoneo e non protegge gli strati sottostanti. Questo porta ad un processo di invecchiamento prematuro nel sistema e soprattutto un decadimento della resistenza termica.

5.4.4 Determinazione del comportamento igrotermico

Protocollo di prova

Determinazione del comportamento igrotermico

Tema: Determinazione del comportamento igrotermico

Tipologia sperimentale: Prova per la valutazione del decadimento prestazionale dopo cicli di invecchiamento

Tipologia di prova: Prove sul sistema ETICS

Norme di riferimento: UNI EN 16383:2017

EAD 04:2018

ETAG 004:2013

01 - Oggetto di indagine

Descrizione: Paramento murario con sistema a cappotto. Il substrato deve essere realizzato in muratura o calcestruzzo se non diversamente specificato.

Dati geometrici della superficie esposta alle intemperie:

- superficie $\geq 5 \text{ m}^2$;
- larghezza $\geq 2,5 \text{ m}$;
- altezza $\geq 2 \text{ m}$.

Nei 2/3 superiori dell'altezza totale del muro è inclusa un'apertura con una larghezza di $0,5 \pm 0,1 \text{ m}$ e all'altezza di $0,5 \pm 0,1 \text{ m}$. L'apertura può essere ottenuta da una rientranza nell'isolamento.

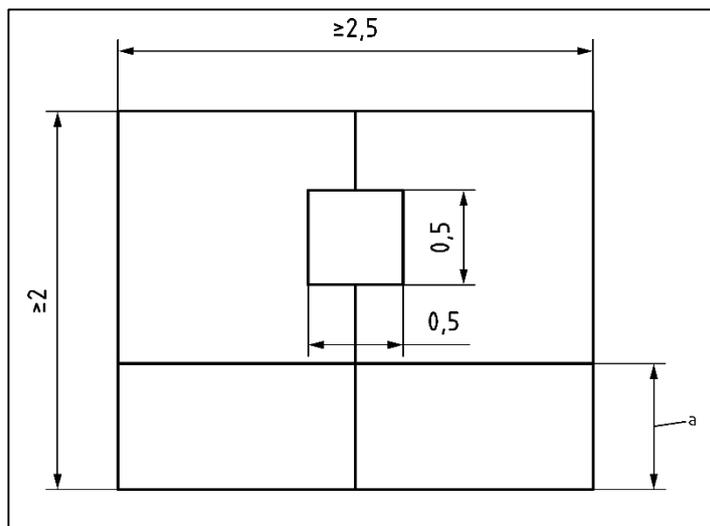


Figura 56. Schema della parete di prova con apertura. Fonte: UNI EN 16383:2017

L'ETICS è applicato, in conformità con le istruzioni del produttore.

02 – Condizioni di prova

Condizioni ambientali: Prova eseguita in laboratorio a temperatura e umidità controllate.

Condizioni dell'elemento in prova:

- Dopo la realizzazione del provino accertarsi che la stagionatura non sia inferiore ai 28 giorni.
- È composto da diversi materiali secondo le modalità previste dal produttore del sistema ETICS (angolari, tasselli, guide, etc.).

03 – Analisi delle grandezze

Per verificare il comportamento igrotermico della parete di prova, i cicli devono essere eseguiti nel seguente ordine:

a) 80 cicli di calore e pioggia.

- condizionare almeno 48 h ad una temperatura di (23 ± 3) °C prima di iniziare il ciclo b (caldo e freddo) e c (calore, pioggia, congelamento e scongelamento);
- riscaldare la superficie della parete di prova a fino 70 ± 5 °C almeno in 1 ora e tenerla per almeno 2 ore ad una umidità relativa inferiore al 30%;
- bagnare la parete di prova per 1 ora con una quantità superiore a $1 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ di acqua alla temperatura di 15 ± 5 °C;
- scaricare la parete per 2 ore ad una temperatura di 20 ± 5 °C.

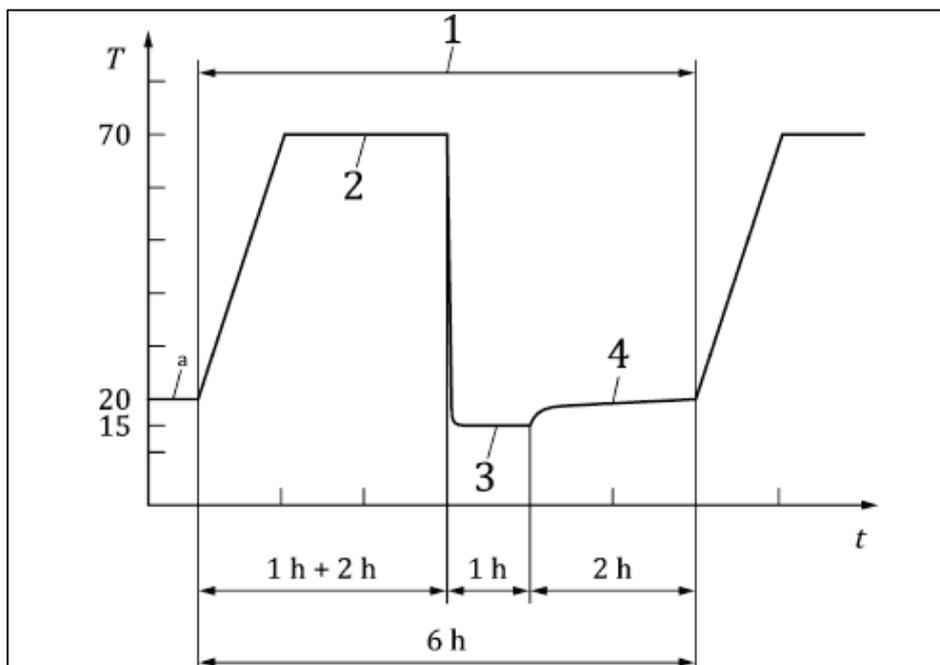


Figura 57. Ciclo di calore e pioggia. 1-Ciclo 2-Calore 3-Pioggia 4-Scarico. Fonte: UNI EN 16383:2017

b) 5 cicli di caldo e freddo.

- riscaldare la superficie della parete di prova a $50 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ almeno in 1 ora e tenerla per almeno 7 ore ad un'umidità inferiore al 30%;
- raffreddare la superficie della parete di prova in un massimo di 2 ore a $-20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ e mantenere questa temperatura per 14 h (in totale 16 h).

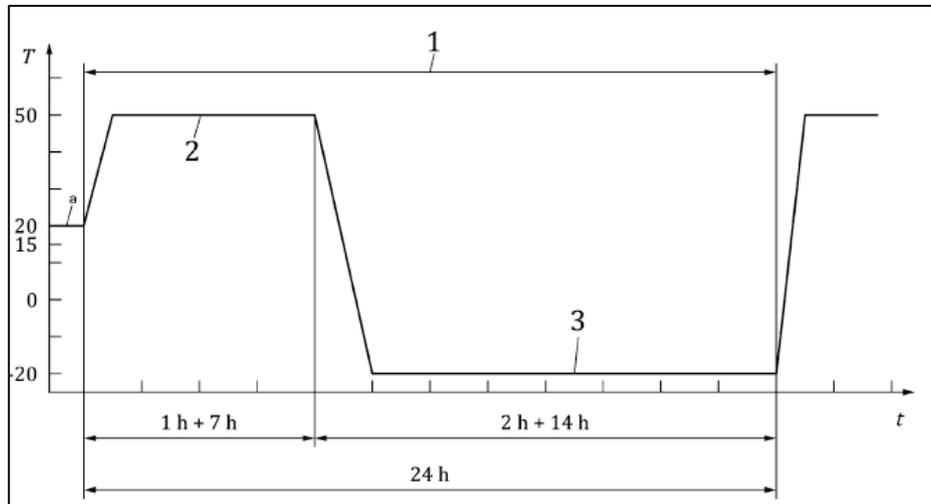


Figura 58. Cicli di caldo e freddo. 1-Ciclo 2-Calore 3- Freddo. Fonte: UNI EN 16383:2017

c) 30 cicli di pioggia, congelamento e scongelamento.

- condizionare la superficie della parete di prova fino a $15 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ e bagnarla con $1,5 \pm 0,5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ per almeno 8 ore;
- congelare la superficie in almeno due ore e mantenerla a $-20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ per 4 ore (in totale 6 ore);
- tornare a temperatura ambiente $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ in 1 ora ;
- bagnare la superficie per 1 ora con $1,5 \pm 0,5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ di acqua.

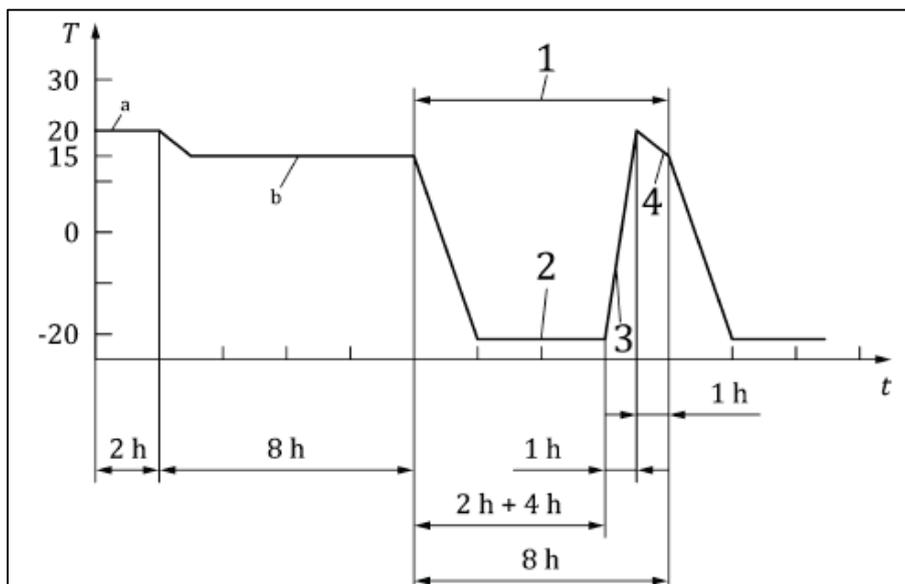


Figura 59. Cicli di pioggia, congelamento e scongelamento. 1- Ciclo 2-Freddo 3-Scarico 4-Pioggia. Fonte: UNI EN 16383:2017

04 – Strumentazione

Sono necessari i seguenti dispositivi per effettuare il test:

- dispositivo di bagnatura: bagnare l'intera superficie della parete di prova con acqua di rubinetto con una temperatura di 15 ± 5 °C e una quantità compresa tra $1 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ e $1,5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ con l'uso di ugelli per assicurare distribuzione uniforme dell'acqua;
- dispositivo di riscaldamento: per riscaldare la superficie della parete regolata a 70 ± 5 °C. Al momento del riscaldamento, l'umidità dell'aria vicina alla superficie del muro deve essere inferiore al 30%;
- dispositivo di raffreddamento: per raffreddare la superficie della parete di prova a -15 ± 5 °C.

05 – Elaborazione dei dati sperimentali

Dopo il completamento del test, vengono condotte delle indagini che prevedono la rimozione di sezioni contenenti crepe per osservare la penetrazione di acqua all'interno dell'ETICS. Dopo i cicli si ripetono le prove di aderenza tra rasante secondo la EN 13494 e isolante e la prova di resistenza all'urto secondo la EN 13497, eseguite sull'impianto di perforazione, dopo almeno 7 giorni di asciugatura.

06 – Analisi dei risultati

Per la valutazione del comportamento igrotermico sia per il rivestimento di fondo rinforzato sia per l'intero sistema ETICS, si possono osservare i seguenti difetti:

- vesciche o desquamazione di qualsiasi mano di finitura;
- rottura o fessurazione associata a giunti tra pannelli di prodotto isolante;
- distacco del rivestimento;
- cracking che consente la penetrazione dell'acqua nello strato isolante.

5.4.5 Prova di resistenza all'impatto

Protocollo di prova

Prova di resistenza all'impatto

Tema: Determinazione della resistenza all'impatto da corpo duro

Tipologia sperimentale: Prova di resistenza all'impatto

Tipologia di prova: Prove sul sistema ETICS

Norme di riferimento: UNI EN 13497:2018
ETAG 004:2013

01 - Oggetto di indagine

Descrizione: Provino di forma quadrata comprendenti solo lo strato più esterno del sistema ETICS (pannello isolante, malta rasante con rete in fibra di vetro, finitura).

Dati geometrici:

Lato(l)	200	[mm]
Spessore(d)	50	[mm]

Dati fisici:

Massa (m_0)	-	[g]
Densità pannello(ρ)	-	[kg/m ³]

02 – Condizioni di prova

Condizioni ambientali: Prova eseguita in laboratorio a temperatura e umidità controllate.

Condizioni dell'elemento in prova:

- Dopo la realizzazione del provino accertarsi che la stagionatura non sia inferiore ai 28 giorni.
- Il campione di prova deve essere posizionato su un supporto. Il supporto deve essere piatto, non si deve piegare, deformare o assorbire energia d'impatto durante il test, ad es. supporto in calcestruzzo, al fine di non influenzare il risultato del test. Il provino non deve muoversi o essere urtato durante il test.
- Il campione di prova deve avere la dimensione per consentire un minimo di 5 impatti che tengano conto delle distanze minime descritte successivamente.
- La distanza minima tra qualsiasi posizione di impatto e i bordi del campione devono essere di almeno 100 mm. La distanza da centro a centro tra due impatti deve essere di almeno 100 mm.

03 – Analisi delle grandezze

La resistenza all'urto o resistenza all'impatto da corpo duro, viene determinata mediante una sfera d'acciaio che cade sulla superficie del sistema ad una determinata altezza di caduta corrispondente ad un dato livello di energia.

Eventuali danni verificatisi sono visibilmente valutati (ad esempio, il rinforzo è diventato visibile dalla superficie esterna, il rivestimento di finitura o il sistema di intonacatura è visibilmente delaminato o stato perforato) e vengono misurate le larghezze e delle fessure.

04 – Strumentazione

La palla d'acciaio viene fatta cadere da un'altezza specificata sulla superficie del provino. Evitando un secondo impatto (rimbalzo) della palla. Le sfere sono fatte di acciaio con pesi e diametri nominali indicati nella tabella.

Per misurare la larghezza di eventuali fessure formate a seguito dell'impatto della sfera d'acciaio sulla superficie del provino. Il misuratore deve essere in grado di misurare da 0,1 mm ed essere graduato in passi di 0,05 mm.

Un tubo verticale fabbricato da un metallo o una plastica rigida può essere utilizzato per controllare la discesa della sfera d'acciaio con un diametro interno di almeno 2 mm superiore al diametro della sfera d'acciaio. Le pareti del tubo dovrebbero preferibilmente includere fori perforati regolari per evitare che l'aria all'interno del tubo si comprima a causa della velocità della palla durante la sua discesa e agendo quindi da "cuscinetto di resistenza" all'impatto della palla con la superficie del campione.

05 – Elaborazione dei dati sperimentali

Impact energy J	Steel ball nominal diameter mm	Steel ball weight kg	Specified height from the surface mm
3	50,0	0,499	620
10	63,5	1,022	1 000
15	63,5	1,022	1 500
20	63,5	1,022	2 000
30	80,0	2,088	1 470
40	80,0	2,088	1 960
60	100,0	4,079	1 500
80	100,0	4,079	2 000
100	100,0	4,079	2 500
125	125,0	7,930	1 610
150	125,0	7,930	1 930

175	125,0	7,930	2 250
200	125,0	7,930	2 580

Tabella 10. Livelli energetici e altezza dalla superficie del campione. Fonte: UNI EN 13497

La sfera d'acciaio viene fatta scendere dall'altezza specificata sulla superficie del provino, come determinato nella Tabella. Per ciascun livello di energia scelto, vengono eseguiti cinque diversi impatti a differenti livelli posizioni del provino.

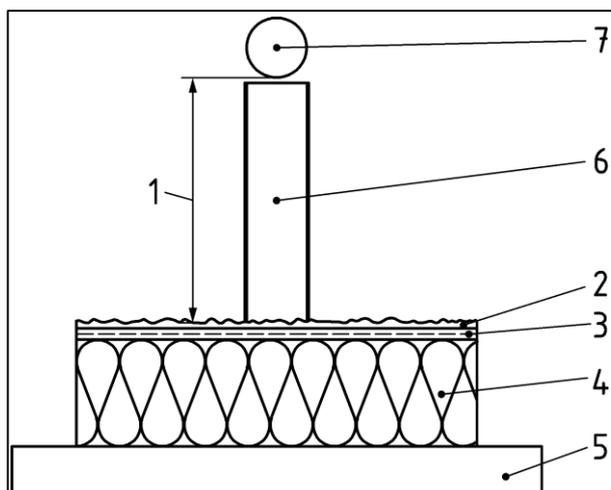


Figura 60. 1- Altezza della sfera 2-Finitura 3-Rasatura 4-Pannello isolante 5-Supporto 6-tubo verticale (se previsto) 7-Sfera. Fonte: UNI EN 13497

06 – Analisi dei risultati

I risultati dei test vengono visibilmente osservati e descritti. Le osservazioni sono fatte sulla superficie esterna e sulla faccia posteriore del sistema. Il prodotto isolante deve essere rimosso accuratamente. Le osservazioni devono essere prese in ciascuna zona d'impatto. Possono essere osservati uno o più dei seguenti difetti:

- delaminazione: tra lo strato di finitura e il rivestimento di base, tra la mano di fondo e il prodotto isolante e all'interno della mano di fondo;
- visibilità del rinforzo;
- perforazione dello strato di finitura e/o mano di fondo;
- incrinature nella superficie colpita superiore a 0,2 mm.

Se nessuno di questi difetti viene osservato, indicarlo nel rapporto di prova ed esaminare le crepe su ciascuna zona d'impatto. La zona d'impatto deve essere esaminata da più angoli con una luce bianca per misurare la larghezza massima della fessura più ampia:

- crepe nella superficie esterna del sistema.
- crepe nella parte posteriore del sistema. Viene misurata la larghezza massima della fessura più ampia;
- scheggiatura dei grani nel punto di impatto;
- riportare la profondità massima per ogni zona d'impatto con il millimetro.

5.4.6 Prova di resistenza all'adesione tra rasante e materiale isolante

Protocollo di prova

Prova di resistenza all'adesione tra rasante e materiale isolante

Tema: Determinazione dell'adesione tra rasante e materiale isolante

Tipologia sperimentale: Prova di resistenza a trazione

Tipologia di prova: Prove sul sistema ETICS

Norme di riferimento: UNI EN 13494:2002

UNI EN 1607:2013

ETAG 004:2013

01 - Oggetto di indagine

Descrizione: Provino di forma quadrata comprendenti solo lo strato più esterno del sistema ETICS (pannello isolante, malta rasante con rete in fibra di vetro, finitura).

Dati geometrici:

Lato (l)	200	[mm]
Spessore(d)	50	[mm]

Dati fisici:

Massa(m)	-	[g]
Densità pannello(ρ)	-	[kg/m ³]

02 – Condizioni di prova

Condizioni ambientali: Prova eseguita in laboratorio a temperatura e umidità controllate.

Condizioni dell'elemento in prova:

- Dopo la realizzazione del provino accertarsi che sia trascorso il tempo per la maturazione dello strato di finitura.
- I campioni non devono includere fissaggi meccanici.
- Il condizionamento dei campioni deve essere effettuato come specificato nella pertinente norma di prodotto ETICS.
- Applicare uno strato sottile di colla su entrambe le superfici del provino in modo che la colla formi uno strato completo tra le piastre rigide e il provino. Con una leggera pressione incollare la piastra rigida sul provino assicurandosi che il centro delle piastre rigide coincida

con il campione di prova. La colla non deve colare lungo i lati del provino. Lasciare indurire la colla in conformità con le istruzioni del produttore.

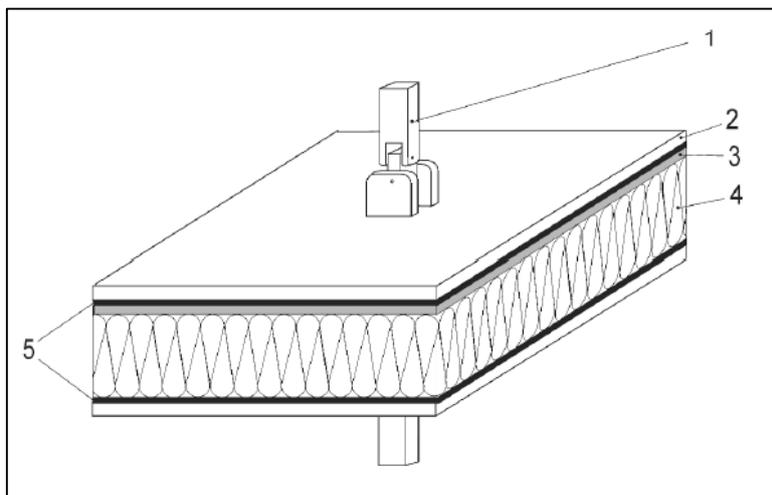


Figura 61. 1-Dispositivo per il montaggio centrale delle piastre rigide 2-Piastra rigida 3-Rasante armato 4-Pannello isolante 5-Colla. Fonte: UNI EN 13494:2002

03 – Analisi delle grandezze

La resistenza di adesione tra il rasante e il materiale isolante termico è determinata da un carico diretto perpendicolare alla superficie del rasante o del rivestimento di base.

Applicare la tensione perpendicolarmente all'area di prova attraverso le piastre rigide mediante la macchina per prove di trazione. Aumentare il carico con una velocità costante regolata su (10 ± 1) mm/min. Registrare la forza di trazione a rottura. Non sono valide le prove in cui la modalità di rottura è una frattura tra lo strato di colla tra il provino e le piastre rigide. Per materiali isolanti termici rigidi o fragili, può essere meglio effettuare la misurazione con un carico controllato velocità di 100 N/s.

04 – Strumentazione

Il carico di trazione viene applicato mediante una piastra rigida incollata all'area di prova del rasante o del rivestimento di base.

La colla deve essere adatta per superfici ruvide e per legno (ad esempio adesivo epossidico senza solventi o adesivo poliuretano). La colla non deve danneggiare il materiale di isolamento termico, la mano di fondo o il rasante e non influenzare i risultati.

Le piastre rigide (ad esempio compensato di spessore 20 mm o piastre di acciaio di spessore 5 mm) devono avere dimensioni di (200) mm x (200) mm. La stabilità meccanica o le piastre rigide non devono influenzare i risultati del test

Sega meccanica (ad esempio sega circolare o sega a nastro) con guide per un taglio rettangolare. La sega deve essere adatta per il taglio dei campioni di rasante indurito con il rinforzo.

La macchina per prove di trazione, appropriata per la gamma di forze e spostamenti coinvolti, in grado di avere un velocità costante della traversa mobile (10 ± 1) mm/min e adatta per il test di

campioni con le dimensioni di 200 mm x 200 mm. Deve essere in grado di misurare la forza con un limite di errore di almeno l'1% (EN 1607).

05 – Elaborazione dei dati sperimentali

Calcola la resistenza a trazione perpendicolare alle facce (σ_{mt}) in kilopascal, usando la formula:

$$\sigma_{mt} = \frac{F_m}{A} = \frac{F_m}{l \times b}$$

dove:

F_m è la forza di trazione massima registrata [kN];

A è l'area della sezione trasversale del provino [m²];

l, b sono la lunghezza e la larghezza del provino [m].

Il risultato deve essere espresso come il valore medio dei valori misurati, a due cifre significative.

06 – Analisi dei risultati

Oltre al valore di resistenza a trazione massimo possono essere ricavate ulteriori informazioni sulla modalità di rottura, disponibili se la curva di carico/spostamento viene misurata durante il test. Inoltre il test non è ritenuto valido se si verifica:

- cedimento dell'adesivo tra la piastra della macchina e la rasatura o con il materiale di isolamento termico;
- cedimento coesivo nella rasatura;
- cedimento coesivo nel materiale di isolamento termico.

6 Sperimentazione: fase operativa

6.1 Descrizione dei materiali isolanti

6.1.1 Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS)

Sviluppi storici e diffusione

Il polistirene (chiamato anche polistirolo) è stato scoperto per la prima volta nel 1839 da Eduard Simon (1789-1856), farmacista berlinese³². Mentre il polistirene espanso sinterizzato fu sviluppato per la prima volta nel 1951 e il nome commerciale Styropor è un marchio commerciale della BASF. A metà degli anni novanta, grazie all'aggiunta di grafite nella struttura cellulare, si è riusciti a ridurre ulteriormente la conduttività termica. Infatti le particelle di grafite conferiscono alla materia plastica un colore grigio-argento e assorbono gli infrarossi, riflettendo le radiazioni termiche bloccandone il passaggio. I materiali isolanti a base di EPS sono economici e facilmente reperibili e sono particolarmente utilizzati nei sistemi a cappotto.

Processo di preparazione

L'EPS viene prodotto attraverso la lavorazione e miscelazione delle seguenti sostanze: polistirene, agente schiumogeno, ritardante di fiamma (HBDC) e stabilizzatori. La produzione di materiali isolanti a base di EPS comprende diverse fasi. Attraverso la polimerizzazione dello stirene (un idrocarburo aromatico, caratterizzato da un'elevata reattività a polimerizzare) e l'aggiunta di un agente schiumogeno si ottengono i granuli di polistirene (perle vetrose con diametro fino a 3 mm), i quali vengono espansi, nella fase successiva, fino a 20-50 volte il loro volume con un trattamento a base di vapore acqueo in cui l'agente schiumogeno evapora. Dopo aver fatto raffreddare le perle, plastiche e leggermente collose, vengono sottoposte al trattamento di sinterizzazione (di nuovo mediante l'utilizzo di vapore acqueo), con il quale si forma un materiale dalla consistenza omogenea. Ottenuti così i blocchi di grande formato, dopo un'ulteriore essiccazione, vengono tagliati in lastre e a volte profilati.

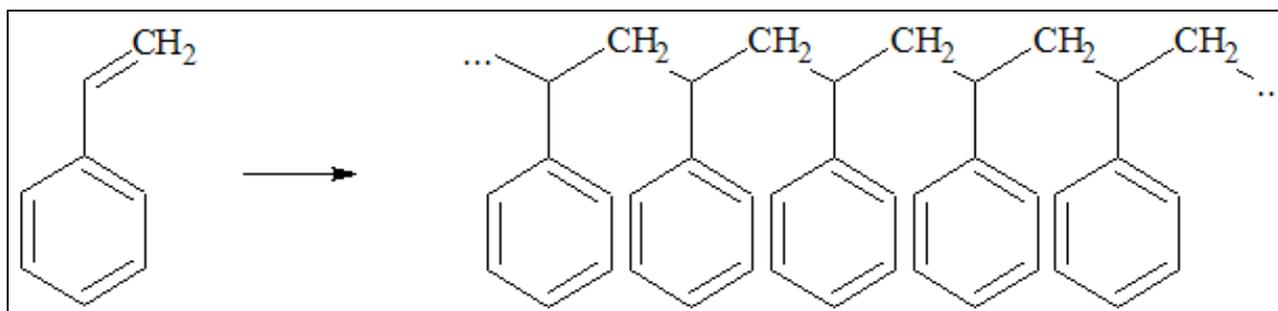


Figura 62. Polimerizzazione dello stirene. Fonte: <https://www.chimicamo.org/chimica-generale/polistirolo.html>

³² <http://www.treccani.it/90anni/parole/1938-polistirolo.html>

Caratteristiche fisico-chimiche e applicazioni

I materiali isolanti a base di EPS posseggono ottime proprietà termoisolanti, di resistenza a compressione, non sono igroscopici e non marciscono. Speciali lastre “elasticizzate” possono essere utilizzate anche come isolamento per il rumore da calpestio e in caso di sottofondi rigidi consentono miglioramenti fino a 30 dB³³. I diversi sistemi produttivi permettono di ottenere un’ampia gamma di prodotti con caratteristiche diverse, in funzione della densità e del grado di saldatura tra le perle. Nel caso in cui la radiazione UV agisca per molto tempo sulle lastre di EPS, queste ingialliscono e si infragiliscono in superficie; ecco perché è necessario posare al più presto gli strati di copertura previsti. Inoltre il polistirene è sensibile ai solventi, ai carburanti, agli oli minerali e non è adatto per applicazioni con bitume bollente o asfalto colato. D’altro canto non viene danneggiato dalla maggior parte delle soluzioni acide e alcaline. Il polistirene è classificato come biologicamente neutro ed è utilizzato anche per gli imballaggi degli alimenti, però in caso di incendio vengono rilasciati sostanze dannose come stirene e policarburi aromatici. Requisiti di protezione antincendio: Euroclasse E.

Molte tipologie di lastre possono essere impiegate come isolamento controterra (impermeabilizzando l’EPS), all’interno di sistemi di isolamento cappotto, nei tetti rovesci, nelle costruzioni stradali e anche in opere di protezione ambientale (zone in cui il congelamento del terreno può rappresentare un problema significativo). A volte viene anche fornito in forma sciolta per essere insufflato nelle murature a cassa vuota. L’EPS è facile da lavorare, infatti le lastre più sottili possono essere tagliate con un cutter, mentre quelle più spesse con una sega circolare o a banda. Tuttavia per non danneggiare le perle e ottenere un taglio esatto è consigliato l’utilizzo di una termosega. Durante le operazioni di taglio, sega e perforazione non si forma polvere o altri composti irritanti.

Gli scarti riutilizzabili vengono raccolti e sminuzzati per essere riutilizzati (ad esempio negli imballaggi o come aggregato leggero nel calcestruzzo, nei laterizi e nelle malte d’intonaco), mentre se non sono riutilizzabili vengono smaltiti secondo le leggi regionali in vigore.

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Pannello in polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite al 70%	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 100	- Conducibilità termica $\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$
- L2= 50	- Trazione 150 kPa
- H= 4 ÷ 30	- Compressione (10%) 100 kPa
	- Assorbimento d’acqua (parziale) $W_{lp} \leq 0,1 \text{ kg/m}^2$
	- Densità 18 kg/m^3
	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 20-40$
	- Calore specifico 1450 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco E

Tabella 11. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 2

³³ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Polistirene espanso sinterizzato ad alta densità	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 100	- Conducibilità termica $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$
- L2= 50	- Assorbimento d'acqua (parziale) $W_{lp} \leq 0,1 \text{ kg/m}^2$
- H= 4 ÷ 30	- Densità 32 kg/m^3
	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 70$
	- Calore specifico 1450 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco E

Tabella 12. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 3

6.1.2 Poliuretano Espanso Rigido (PU)

Sviluppi storici e diffusione

La reazione chimica per la sintesi dei poliuretani è stata scoperta in Germania tra la prima e la seconda guerra mondiale. Ma il primo impulso alla scoperta venne da Wurtz nel 1849: egli scoprì la formazione di un isocianato alifatico quando faceva reagire un solfato organico con un cianato. La produzione industriale del poliuretano risale al 1937, quando il professor Otto Bayer sviluppò una nuova tecnica di polimerizzazione facendo reagire gli di-isocianati per ottenere una fibra che potesse competere con le fibre di nylon³⁴. Negli anni sessanta e settanta lo sviluppo come materiale termoisolante divenne sempre più significativo, gli agenti espandenti allora utilizzati a base di CFC (clorofluorocarburi) furono sostituiti alla fine degli anni ottanta dai clorofluorocarburi parzialmente alogenati e in seguito dai fluorocarburi, caratterizzati dall'assenza di cloro. Oggi viene utilizzato prevalentemente il pentano.

Processo di preparazione

Il poliuretano viene prodotto da due materie prime principali: polioli (tipicamente un glicole poli-propilenico o un poliestere-diolo) e polisocianati (P-MDI), aromatico o alifatico. I polioli possono derivare dal petrolio ma anche dalla canna da zucchero, dal mais o dalle patate. Come agenti espandenti vengono utilizzati principalmente pentano, miscele di pentano e CO₂, mentre il tricloropropilfosfato (TCPP) è utilizzato come ritardante di fiamma. La produzione dei pannelli di poliuretano espanso rigido avviene per laminazione. Per motivi tecnici queste schiume vengono prodotte da una miscela di poliuretano e PIR (polisocianurati), quest'ultimo deriva principalmente dagli isocianurati, che formano una struttura reticolare più fitta della schiuma; permettendo così di realizzare prodotti termicamente più stabili e con una resistenza al fuoco più elevata. La miscela dei due componenti viene spruzzata attraverso ugelli su un nastro, dove espande e si incolla (se necessario) a uno strato superiore e inferiore in tessuto non tessuto, guaina bituminosa, pellicola metallica o altri materiali compositi. I blocchi vengono prodotti con un procedimento che porta la

³⁴ <https://www.pelma.it/la-storia-del-poliuretano/>

schiuma a passare dalla testa di miscelazione ad una vasca. Dopo la reazione e la maturazione, i blocchi, lunghi fino a 5 metri, vengono tagliati in pannelli o elementi sagomati.

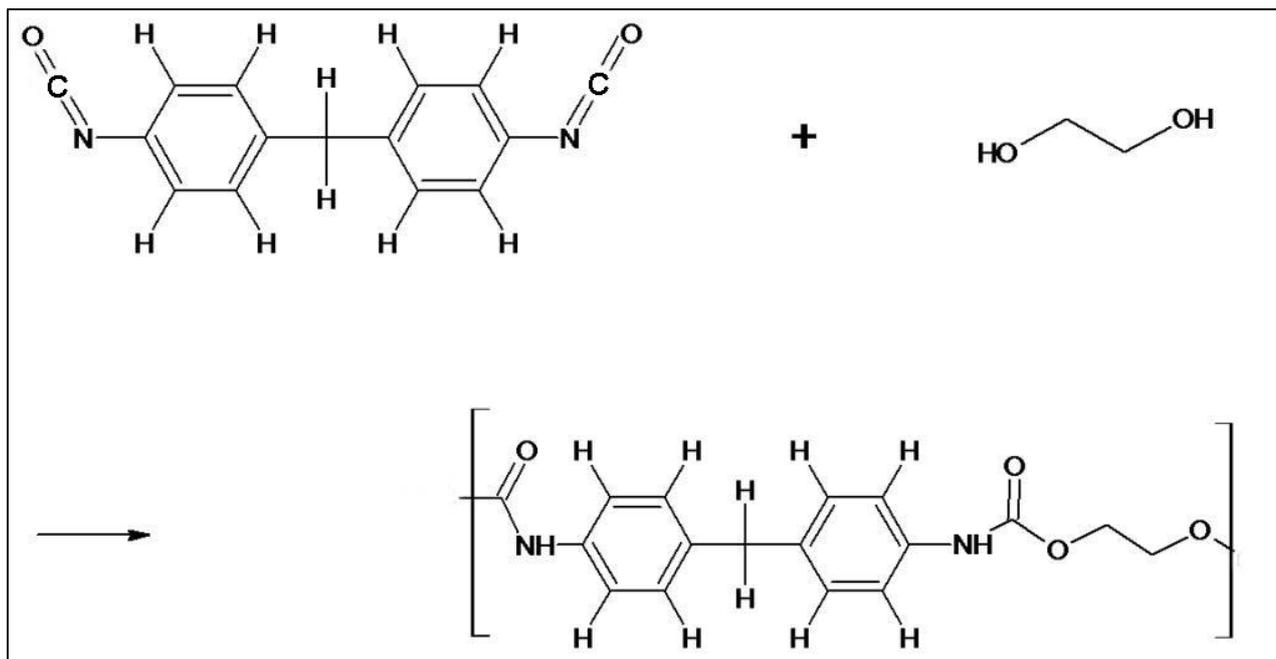


Figura 63. Reazione tra le molecole di un isocianato, che contiene due o più gruppi isocianato per molecola ($-N=C=O$) e con un poliolo, che contiene due o più gruppi $-OH$ per molecola. Fonte: <https://www.chimicamo.org/chimica-generale/poliuretani.html>

Caratteristiche fisico-chimiche e applicazioni

I poliuretani espansi rigidi hanno oltre il 90% di celle chiuse e sono caratterizzati da conduttività molto basse ed elevata resistenza a compressione. Senza strati di rivestimento sono permeabili e hanno un buon comportamento al fuoco (può essere sottoposto a temperature fino a 250 °C per brevi periodi). Il PU possiede una buona resistenza ai solventi contenuti nelle colle, nei materiali bitumosi (la lavorazione con bitume bollente non presenta problemi) o nelle sostanze per le guarnizioni e anche nei confronti dei plastificanti, che si trovano ad esempio nelle pellicole di PVC. Carburanti, oli minerali e soluzioni acide e basiche attaccano le schiume in PU in maniera limitata. Questo materiale non marcisce ed è resistente alle muffe, ma non resiste all'azione prolungata dei raggi UV.

I principali campi di applicazione per i pannelli isolanti sono le terrazze, le coperture inclinate e i pavimenti. Un altro esempio di applicazione è rappresentato dall'impiego come nucleo isolante negli elementi metallici a sandwich nelle strutture di copertura e di facciate degli edifici industriali. Inoltre è adatto come riempimento isolante per gli elementi di porte e facciate, chiusure, avvolgibili, nei profili per le strutture a montanti e traversi e nei telai delle finestre. I pannelli con resistenza a compressione molto elevata, fino a 500 kPa, possono essere utilizzati anche per pavimenti industriali soggetti a notevole sollecitazione di compressione e nelle coperture utilizzate come parcheggio. I pannelli speciali in materiale riciclato possono raggiungere perfino resistenze a compressione fino a 900 kPa, i quali però non hanno ottime prestazioni termoisolanti ($\lambda= 0,070$ W/mk).

Dato che questa schiuma si presta a molteplici applicazioni e lavorazioni, ha un ruolo molto importante anche al di fuori dell'edilizia, ad esempio: soles delle calzature, finta pelle, come imbottitura per sedie e divani. Possono essere realizzate anche applicazioni speciali come l'isolamento dei serbatoi per il trasporto di gas liquido, con temperature costanti di $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ o l'isolamento di tubature di vapore con temperature fino a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Requisiti di protezione antincendio: Euroclassi C e B (pannelli sandwich).

I PU vengono commercializzati soprattutto in forma di pannelli ed elementi sagomati, le superfici di alcuni di questi prodotti vengono rivestite di tessuto non tessuto in fibra di vetro, guaine bitumose leggere o strati di rivestimento in alluminio. La lavorazione in cantiere non richiede particolari misure di sicurezza. Di fatto, essendo i pannelli stabili, possono essere tagliati, segati e fresati con facilità e utensili tradizionali. Possono essere posati singolarmente o su più strati utilizzando collante a base di bitume bollente. I raggi UV possono danneggiare i pannelli in superficie, le parti esposte alterate dai raggi UV vengono rimosse, tramite spazzolatura, prima di ulteriori lavorazioni. Il PU espanso rigido non presenta alcun problema di igiene e salute durante l'uso e la lavorazione. Inoltre per il riciclo esistono diverse alternative:

- pressatura con incollaggio, alla schiuma macinata vengono aggiunti leganti compatibili e la pressatura, oltre a darne la forma in pannelli, fornisce l'adatta resistenza all'umidità;
- glicolisi, il PU di composizione nota viene diluito con glicolo e può essere nuovamente utilizzato per produrre il PU;
- combustione, nei moderni termovalorizzatori per i rifiuti con recupero di energia.

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Schiuma Polyiso PIR (Pannello in poliuretano espanso rigido) rivestita su entrambe le facce con velo vetro saturato	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 120	- Conducibilità termica $\lambda = 0,026\text{ W/mK}$
- L2= 60	- Trazione 80 kPa
- H= 4 ÷ 20	- Compressione (10%) 150 kPa
	- Densità 35 kg/m^3
	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 56$
	- Calore specifico 1464 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco E

Tabella 13. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 4

6.1.3 Lana di roccia (MW)

Sviluppi storici e diffusione

La lana di roccia fa parte, insieme alla lana di vetro, alla categoria di materiali isolanti "lane minerali" (MW) regolati dalla norma EN 13162:2015. La possibilità di produrre lana di roccia venne scoperta nel 1935 nel New Jersey, negli Stati Uniti. Un'azienda svedese acquistò i diritti per l'utilizzo della tecnologia e iniziò a produrre stuoie in lana di roccia. Inizialmente, a causa dell'elevata percentuale

di granuli nella lana, i prodotti risultavano essere pesanti, ma a partire dagli anni settanta è stato sviluppato un processo di produzione che ne riduceva la densità e quindi il peso. I processi di produzione sono stati costantemente migliorati, pertanto oggi esiste una grande scelta di prodotti sul mercato, ottimizzati per le più diverse applicazioni. In Europa le lane minerali sono di gran lunga il materiale isolante più utilizzato, addirittura in Germania la quota di mercato è pari a circa il 55%³⁵. Dal punto di vista ecologico, a favore delle lane minerali, vi sono la buona disponibilità di materie prime e la brevità del trasporto necessario. Da 1 m³ di materia prima possono essere ottenuti circa 100 m³ di lana di roccia.

Processo di preparazione

La lana di roccia è un materiale isolante inorganico a base di fibre e viene prodotta partendo da diversi tipi di rocce, come diabase, dolomia e calcare. Questi elementi vengono fusi a temperature che si attestano sui 1400 °C e il composto viene filato (utilizzando una macchina sfibratrice), in fibre minerali artificiali. Per coadiuvare la fusione viene impiegato del solfato di sodio. Un altro metodo è il procedimento di soffiaggio, nel quale il liquido viene soffiato fino a formare una sottile fascia e poi sfibrato. Dopo il processo di sfibratura viene quindi aggiunto il legante sciolto in acqua. L'acqua evapora e le fibre raffreddandosi si irrigidiscono come il vetro, successivamente vengono fatte passare attraverso forni a tunnel per l'indurimento del legante, a temperature di 200-250 °C. La compattazione, il contenuto di legante e l'orientamento delle fibre della lana sono aspetti fondamentali per determinare le proprietà dei vari tipi di prodotto. Se si producono isolanti termici per pareti in forma di pannello, essi vengono inoltre sottoposti ad un trattamento impermeabilizzante con delle sostanze idrofobizzanti a base di silicone o oli minerali (al massimo 1 %), che servono a ridurre anche la formazione di polveri.

Una delle caratteristiche prestazionali imprescindibili per un isolante termico per pareti e affini è la stabilità: questa viene ottenuta addizionando al composto minerale la bakelite (resina fenolo formaldeide) con funzione di legante. La percentuale di bakelite varia in funzione del grado di stabilità richiesta al prodotto, si va dal 1% al 3%. Nonostante la bakelite sia una resina fenolo-formaldeide, quindi potenzialmente dannosa per il nostro benessere, il contenuto di formaldeide a prodotto finito è ampiamente sotto la soglia massima consentita³⁶.

Caratteristiche fisico-chimiche e applicazioni

I materiali isolanti a base di lana di roccia possiedono una buona capacità isolante e sono molto permeabili, inoltre sono resistenti ai parassiti, non marciscono, non vengono alterati da soluzioni alcaline deboli, acidi, solventi e radiazioni ultraviolette. Per di più, in funzione della densità e della struttura delle fibre, hanno anche buone proprietà fonoassorbenti, che vengono sfruttati nell'isolamento acustico di tetti inclinati, sistemi a cappotto e nelle partizioni interne leggere.

La lana di roccia è generalmente di colore grigio-verde oliva e la resistenza alla temperatura è molto elevata (senza leganti, questi prodotti possono arrivare a temperature costanti di 750 °C e la temperatura di fusione è superiore a 1000 °C. La favorevole reazione al fuoco rende la lana di roccia

³⁵ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

³⁶ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

uno dei materiali preferibilmente utilizzati per soddisfare i requisiti di protezione antincendio (Euroclassi e classi del materiale A1 e A2).

I materiali isolanti a base di lane minerali sono disponibili in molte forme commerciali, anche idrorepellenti:

- sfusi in sacchi come materiali per imbottiture;
- in rotoli rivestiti e non rivestiti (spessore 70-240 mm, larghezza 600-1200 mm, lunghezza fino a 9 m);
- in lastre rivestite e non rivestite (spessore 12-200 mm, larghezza 400-625 mm, lunghezza 0,8-2 m);
- in stuoie rivestite e non rivestite (spessore 15-70 mm, larghezza 400-625 mm, lunghezza fino a 100 m);
- in stuoie fissate su reti metalliche;
- in stuoie lamellari e lastre lamellari;
- in semigusci per isolamenti tecnici;
- in cunei triangolari.

Questi materiali sono facili da trasportare e lavorare, infatti i rotoli possono venire compressi nella fase di imballaggio riducendone il volume. Possono essere tagliati a misura con l'aiuto di cutter e di una guida o righello.

In base alle norme vigenti, per la lavorazione di questi prodotti devono essere rispettati i principi di igiene sui luoghi di lavoro, che valgono per tutti i materiali contenenti fibre:

- mantenere i luoghi di lavoro il più puliti possibile, trattando con attenzione prodotti e sfridi;
- indossare indumenti di lavoro non aderenti, chiusi e guanti adatti;
- in caso di formazione di polvere, indossare una protezione adatta (mascherina antipolvere) ed eventualmente occhiali protettivi;
- lavare via la polvere al termine del lavoro.

Le lane minerali sono parzialmente riciclabili o riutilizzabili. Gli scarti di produzione possono essere ricondotti nel processo produttivo o utilizzati come aggregati nella produzione di tegole o piastrelle. Inoltre alcuni prodotti possono essere smaltiti in discarica come macerie minerali.

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Pannello in lana di roccia doppia densità	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 120	- Conducibilità termica $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
- L2= 60	- Compressione (10%) 15 kPa
- H= 6 ÷ 28	- Trazione 7,5 kPa
	- Assorbimento d'acqua (parziale) $W_{lp} \leq 0,01 \text{ kg/m}^2$
	- Densità 78 kg/m^3
	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 1,4$
	- Calore specifico 1030 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco A1

Tabella 14. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 5

6.1.4 Fibre di legno (WF)

Sviluppi storici e diffusione

La fibra di legno è uno dei materiali principali utilizzati in bioedilizia per isolare le case naturalmente. Ottenuta grazie agli scarti della lavorazione del legno, quindi già di origine riciclata, si differenzia dalla totalità degli isolanti di origine petrolchimica principalmente per essere completamente compostabile una volta terminato il suo ciclo vita, a meno che non sia trattata con colle speciali o additivi. Le imprese produttrici risiedono per la maggior parte nel nord Europa (Svizzera, Germania, Polonia), dove maggiormente si dispone di materia prima; In Italia invece i prodotti provengono per lo più da imprese distributrici con sede legale a Bolzano in Trentino-Alto Adige.

Processo di preparazione

Per i materiali isolanti in fibra di legno viene utilizzato il legname delle conifere, caratterizzato da lunghe fibre, e in parte anche il legname delle latifoglie, scartato dall'industria della lavorazione del legno. A seconda del processo di produzione, come legante viene utilizzato del lattice o un'emulsione di cera con solfato di alluminio, e sali di boro come protezione antincendio e dai parassiti. Alcuni tipi di pannelli vengono inoltre impermeabilizzati con emulsioni bituminose o a base di resine naturali. La produzione può avvenire per via umida o per via secca: in entrambi i casi i materiali legnosi vengono lavorati da una sminuzzatrice, successivamente macerati con il vapore in autoclave e sfibrati da macine. Nel processo per via secca: le fibre, una volta asciutte, vengono miscelate con un collante a base di lattice e pressate in pannelli o in alternativa lavorate con acqua e altri additivi a formare una poltiglia, pressate e asciugate. Mentre nel processo per via umida come collante tra le fibre vengono utilizzate le resine proprie del legno.

Caratteristiche fisico-chimiche e applicazioni

I pannelli in fibra di legno hanno buone proprietà termoisolanti e di isolamento acustico. Sono molto porosi, hanno un'elevata capacità termica e regolano l'umidità. I pannelli con elevate densità resistono molto bene alle sollecitazioni di compressione, ma posseggono peggiori proprietà isolanti. In particolare i prodotti più leggeri possono assorbire e rilasciare umidità in modo relativamente rapido. Per tale caratteristica, questi prodotti tendono a rigonfiare, tuttavia riescono assorbire bene il rigonfiamento e il ritiro degli elementi di legno adiacenti. Per questo tipo di pannello isolante la temperatura limite di impiego nel lungo periodo è di 110 °C. Requisiti di protezione antincendio: Euroclasse E. Questi pannelli inoltre mostrano una buona resistenza a muffe e parassiti e una buona capacità di accumulo del calore, che in estate si traduce in un buon livello di ritardo nel passaggio del calore dall'esterno all'interno.

Per effettuare tagli possono essere utilizzati i tradizionali utensili per la lavorazione del legno. I pannelli più duri possono essere perforati e fresati senza problemi e fissati con chiodi e viti. A causa dell'elevata formazione di polveri si consiglia di indossare la mascherina e gli occhiali protettivi. Sono anche reperibili fibre di legno sfuse per isolamenti da insufflare in opera, l'insufflaggio dovrebbe essere realizzato da ditte specializzate.

I materiali a base di fibra di legno dal punto di vista sanitario sono innocui, mentre dal punto di vista del riciclo se non sono stati danneggiati possono essere riutilizzati, se non bitumati possono essere compostate e usate per alleggerire il terreno. Mentre se le fibre di legno contengono additivi inquinanti possono essere smaltiti in discarica oppure possono essere bruciati nei termovalorizzatori.

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Pannello in fibre di legno pressate	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 131,5	- Conducibilità termica $\lambda = 0,040$ W/mK
- L2= 60,5	- Trazione 15 kPa
- H= 8 ÷ 20	- Compressione (10%) 100 kPa
	- Densità 140 kg/m ³
	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 5$
	- Calore specifico 2100 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco E

Tabella 15. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 6

6.1.5 Fibre di canapa (HF)

Sviluppi storici e diffusione

La canapa è una pianta coltivata da lungo tempo che vanta una tradizione millenaria. Si tratta di una materia prima che cresce fino a 4 metri in soli 100 giorni, in base alla varietà. La pianta inoltre non ha bisogno di fertilizzanti e data la sua resistenza ai parassiti rende superfluo l'impiego di sostanze chimiche. In Europa le corde di canapa sono sempre state utilizzate per rendere i giunti a tenuta e anche per rendere a tenuta stagna le travi in tronchi delle vecchie costruzioni. La coltivazione è stata vietata per lungo tempo, ma dal 1996 in Germania possono essere nuovamente coltivate le specie che contengono basse quantità di sostanze stupefacenti³⁷.

Processo di preparazione

Per la produzione dei materiali isolanti a base di canapa vengono utilizzati i frammenti della corteccia dello stelo e le fibre della pianta di canapa (*cannabis sativa*). A seconda del prodotto che si vuole ottenere, vengono aggiunti diversi additivi come: fibre bicomponenti (fibre di sostegno arricciate, in genere in poliestere), amido di patate, vetro solubile, carbonato di sodio o sali di boro (come antifiamma) e bitume per l'impermeabilizzazione. I frammenti della corteccia possono essere utilizzate direttamente sfusi per isolamento e riempimento, mentre le fibre per produrre pannelli isolanti. A volte, le fibre di canapa, vengono miscelate con le fibre di lino, per formare fasci che vengono macerati e infine lavorati per formare feltri. Le fibre aggiunte (circa il 10 %) contribuiscono alla stabilità dimensionale e migliorano la flessibilità.

³⁷ De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009

Caratteristiche fisico-chimiche e applicazioni

I materiali isolanti a base di canapa possiedono buone proprietà di isolamento termico e acustico, essendo materiali porosi. Tuttavia perdono queste proprietà se soggetti a compressione e umidità. L'attacco da parte di parassiti e insetti è molto improbabile, mentre la resistenza alla muffa e alle soluzioni acide e/o alcaline è abbastanza limitata. Requisiti di protezione antincendio: Euroclasse E.

Nastri e corde di canapa vengono utilizzati per la sigillatura di giunti. Ma i materiali isolanti sono prevalentemente forniti in bobine o stuoie; le fibre sciolte sono disponibili come isolamento da insufflare (tecnica di insufflaggio effettuata da personale specializzato autorizzato) o per imbottiture.

È possibile effettuare le operazioni di taglio manualmente o con la sega elettrica. Durante le lavorazioni non è necessario adottare misure di protezione specifiche. La canapa non trattata può essere facilmente riciclata, se presenti ritardanti di fiamma e fibre di poliestere il compostaggio e il riciclo risultano difficilmente attuabili.

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Pannello in fibra di canapa pressate	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 80	- Conducibilità termica $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$
- L2= 62,5	- Densità 100 kg/m^3
- H= 4 ÷ 20	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 3,9$
	- Calore specifico 1700 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco E

Tabella 16. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 7

6.1.6 Aerogel (AG)

Sviluppi storici e diffusione

Le prime molecole di aerogel risalgono al 1931, anno in cui Steven Kistler³⁸ del College of the Pacific a Stockton in California scoprì il segreto per asciugare il gel evitandone il collasso³⁹. Kistler cercò di provare che un gel contiene una matrice solida delle stesse dimensioni e forma del gel stesso. Il modo più immediato di provare questa ipotesi era quello di rimuovere la parte liquida dal gel lasciando integra la parte solida. In realtà se il gel veniva semplicemente fatto asciugare, la struttura collassava, giungendo solo ad una frazione del volume iniziale, con la rottura della struttura solida. Kistler suppose, correttamente, che la componente solida del gel fosse microporosa e che l'interfaccia liquido-vapore del liquido evaporante esercitasse delle intense forze di tensione superficiale, che portavano alla distruzione della struttura dei pori. Kistler intuì quindi l'aspetto chiave della produzione degli aerogel: sostituire il liquido con aria, facendolo passare attraverso condizioni supercritiche in cui, pertanto, non fossero presenti contemporaneamente le due fasi e

³⁸ Kistler S. S., *Coherent Expanded Aero-gels and Jelliers*, Nature, 1931

³⁹ Kistler S. S., *Coherent expanded aero- gels*, Journal of Physical Chemistry, 1932

fossero così assenti le tensioni superficiali. Portando il liquido allo stato supercritico, e quindi a condizioni supercritiche in termini di temperatura e pressione, facendo lentamente diminuire la pressione: il fluido supercritico viene quindi espulso dal gel senza i distruttivi effetti dovuti alla tensione superficiale.

Il primo risultato fu il gel di silice. Per l'aerogel possono essere usati materiali molto diversi; il lavoro di Kistler portò ad aerogel basati su silicio, alluminio, cromo, e stagno.

L'aerogel è la sostanza solida meno densa conosciuta, ovvero la più leggera per metro cubo (solo $0,02 \text{ g/cm}^3$); è composta dal 99,8% di aria e dal 0,2% di diossido di silicio, il principale componente del vetro. Esso è molto meno denso del vetro, solo tre volte più pesante dell'aria, sopporta altissime temperature (fino a circa 1200 °C) ed è un ottimo isolante termico⁴⁰. In seguito alla sua scoperta, l'aerogel è stato ampiamente studiato e sono state prodotte diverse tipologie di materiale: l'aerogel granulare, i pannelli flessibili e i blocchi monolitico.



Figura 64. Blocco di aereogel. Fonte: Courtesy NASA/JPL-Caltech - NASA Stardust Website

Processo di preparazione

Gli aerogel più comuni sul mercato sono ottenuti dal processo di sintesi della silice. Tuttavia la sua preparazione impiega non solo la silice, ma anche materiali come alluminio, cromo, ossido di stagno e polimeri. Oggi i metodi di produzione sono molteplici e cambiano in funzione del tipo di prestazione che si vuole ottenere e alla tecnologia utilizzata.

Il processo di sintesi della silice prevede sostanzialmente 3 fasi:

- a. Preparazione del gel: effettuata dissolvendo i componenti solidi (principalmente silice SiO_2) in un agglomerato liquido (ad esempio alcol liquido, come l'etanolo) generando un gel a struttura tridimensionale;
- b. Invecchiamento del gel: che consente alla soluzione di diventare più dura e più resistente;
- c. Asciugatura supercritica: che comporta la sostituzione del liquido presente nella struttura del gel con l'aria.

⁴⁰ <https://it.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

Caratteristiche fisico-chimiche e applicazioni

Nonostante l'aerogel di silice sia sintetizzato a partire da un gel, è un materiale rigido, asciutto e friabile con porosità fino al 99% del volume con densità (a secco e senza aggiunta di altri materiali) di circa 2 kg/m^3 . La dimensione dei pori, è di circa 20 nm, caratteristica che ne determina l'assenza di conduzione gassosa nel materiale. La trasmissione di calore attraverso l'irraggiamento, inoltre, viene minimizzata grazie all'aggiunta di materiali opacizzanti. Nonostante sia repellente all'acqua, proprietà acquisita in seguito al trattamento idrofobizzante, consente al vapore di migrare riducendo la possibilità di crescita di muffa. Gli effetti benefici acustici e termici dei materassini d'aerogel sono già stati riscontrati e provati in diversi laboratori (λ compresa tra 0,017 e 0,019 W/mK). Sono stati sviluppate anche dei sistemi di vetrate ad alte prestazioni termiche realizzando vetri monolitici o introducendo l'aerogel in forma granulare con rispettive riduzioni della trasmittanza solare e consentendo di diminuire le perdite di calore fino al 55% rispetto ad un vetro basso emissivo. L'aerogel non è un materiale nocivo per la salute anche se la prolungata esposizione potrebbe causare problemi alle vie respiratorie e il maneggiamento senza opportuni dispositivi di protezione potrebbe portare ad irritazioni cutanee (infatti se il materiale è toccato a mani nude, si ha essiccamento della pelle)⁴¹.

Gli aerogel sono materiali che trovano diverse applicazioni. Commercialmente, sono stati utilizzati in forma granulare per conferire isolamento termico alle finestre degli edifici. Dopo diversi esperimenti in assenza di forza di gravità, un gruppo di ricercatori⁴² ha dimostrato che la produzione di aerogel in un ambiente microgravitazionale può dare origine a particelle di dimensioni più uniformi e ridurre l'effetto dovuto allo scattering negli aerogel di silice, rendendo quindi il materiale più trasparente.

L'elevata area superficiale dell'aerogel lo rende utile nella purificazione chimica tramite adsorbimento. Questa caratteristica gli conferisce anche un grande potenziale di utilizzo quale catalizzatore o come supporto per un altro catalizzatore.

In relazione a una specifica applicazione, la prestazione dell'aerogel può essere aumentata aggiungendo degli agenti dopanti, rinforzandone la struttura o aggiungendo diverse sostanze. In tal modo il campo di applicazione di questi materiali può essere ampiamente esteso.

La NASA ha utilizzato l'aerogel per intrappolare le particelle di polvere interstellare durante la missione della sonda Stardust. Queste particelle vaporizzano per impatto con solidi e passano attraverso i gas, ma possono essere intrappolate negli aerogel. La NASA li ha utilizzati anche per l'isolamento termico del Mars Exploration Rover e delle tute spaziali⁴³.

Nanocompositi metallo-aerogel possono essere preparati impregnando l'idrogel di partenza con una soluzione contenente ioni di opportuni metalli nobili o di transizione. L'idrogel impregnato viene quindi sottoposto a irradiazione con raggi gamma, ottenendo così la precipitazione delle nanoparticelle metalliche.

⁴¹ Tesi di laurea di Grosso G., *analisi numerico sperimentale di rasature isolanti a base aerogel*, Politecnico di Torino, a.a.2017/18 (Relatore: Prof. Perino Marco, Correlatori: Arch. Fantucci Stefano e Dott. Fenoglio Elisa)

⁴² <http://www.zerogaerogel.com/aboutaerogel.html>

⁴³ https://www.nasa.gov/mission_pages/stardust/spacecraft/aerogel-index.html

Grazie alla sua biocompatibilità, l'aerogel può essere utilizzato come sistema di dispensazione dei farmaci. L'elevata area superficiale e la struttura porosa permettono l'assorbimento dei farmaci da CO₂ supercritica. La velocità di rilascio del farmaco può essere definita in base alle proprietà dell'aerogel⁴⁴.

Gli aerogel di carbonio sono utilizzati nella costruzione di piccoli super condensatori. In relazione all'elevata area superficiale dell'aerogel, questi condensatori possono raggiungere dimensioni inferiori da 2000 a 5000 volte rispetto a quelle dei condensatori elettrolitici similmente classificabili⁴⁵. I super condensatori che utilizzano aerogel possono avere valori molto bassi di impedenza rispetto ai normali super condensatori e possono assorbire o produrre picchi molto alti di corrente.

L'impiego di questo materiale però ha costi elevati dovuti soprattutto al processo di produzione, il prezzo dell'aerogel si attesta a 80-90 €/m² (considerando uno spessore di circa 2 cm); il costo degli intonaci termoisolanti è compreso tra 45 e 60 €/m². L'aumento e la diminuzione del costo del materiale è influenzato dallo spessore, quindi anche dalla percentuale di aerogel impiegato⁴⁶.

Caratteristiche del prodotto utilizzato

Pannello in aerogel accoppiato a una membrana in polipropilene armato con fibra di vetro	
Dimensioni [cm]	Dati tecnici
- L1= 140	- Conducibilità termica $\lambda = 0,015 \text{ W/mK}$
- L2= 72	- Compressione (10%) 80 kPa
- H= 1 ÷ 4	- Assorbimento d'acqua (parziale) $W_{lp} \leq 0,01 \text{ kg/m}^2$
	- Densità 230 kg/m ³
	- Resistenza diffusione al vapore $\mu = 5$
	- Calore specifico 1000 J/kgK
	- Euroclasse Reazione al fuoco C s1 d0

Tabella 17. Fonte: Scheda tecnica. Allegato 8

6.2 Descrizione degli strati di finitura

Nel sistema a cappotto, come già detto precedentemente, è lo strato di rivestimento (intonaco armato e finitura) che determina l'indispensabile funzione protettiva dei pannelli e quindi ne assicura la durabilità delle funzioni proprie dell'isolamento. La proprietà richiesta allo strato di intonaco, oltre a quella di adesione, consiste nella necessaria deformabilità (basso valore del modulo elastico) per le sollecitazioni a trazione e compressione alle quali è sottoposto; a causa dei diversi coefficienti di dilatazione termica dei materiali sui quali è posto in opera.

⁴⁴ <http://www.zerogaerogel.com/aboutaerogel.html>

⁴⁵ Smirnova I., Suttiruengwong S., Arlt W., *Feasibility study of hydrophilic and hydrophobic silica aerogels as drug delivery systems*, Journal of Non-Crystalline Solids 350: 54-60, 2004

⁴⁶ Buratti C., Moretti E., Belloni E., *Aerogel plasters for building energy efficiency*, Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency, 2016

6.2.1 Composizione delle malte rasanti

Leganti minerali

Una malta da cappotto “tradizionale”, è composta da una miscela di legante idraulico (cemento) o parzialmente idraulico (cemento/calce) e sabbia (definita aggregato) alla quale viene aggiunta acqua nella quantità necessaria ad ottenere una posa agevole. Per legante idraulico si intende un composto il cui indurimento o processo di idratazione è dovuto a reazioni con l’acqua ed avviene in due fasi:

La **presa** è il periodo durante il quale l’impasto, dopo la posa, è soggetto ad un progressivo indurimento (inizia circa dopo 45 minuti e deve finire prima delle 12 ore).

L’**indurimento** è il periodo di tempo necessario, dopo la presa, per ottenere le specifiche resistenze fisiche (valutate a 28 giorni dalla posa) derivate dalla funzione propria del componente idraulico a legare gli aggregati.

Le resistenze fisiche dello strato di finitura dipendono dal rapporto acqua/legante, oltre che dal rapporto ottimale con l’aggregato.

Collante e rasante minerale ad alta adesività		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - EPS - PU - MW - WF - HF - Rasature armate su intonaci - Rasatura su elementi in calcestruzzo e calcestruzzo armato 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistenza agli agenti atmosferici - Basso assorbimento di acqua - Reazione al fuoco: ininfiammabile o scarsamente infiammabile - Idrorepellente secondo DIN V 18550 - Diffusivo verso il vapore acqueo - Alta stabilità della malta fresca - Eco-compatibile - Legante minerale con promotore di adesione 	<ul style="list-style-type: none"> - Densità: Ca. 1400 kg/m³ - Granulometria massima: 1,0 mm - Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu \leq 25$ - Permeabilità all'acqua (valore w): $\leq 0,2 \text{ kg/m}^2$ - Resistenza alle tensioni sotto flessione: 3,6 MPa (valore medio) - Resistenza a compressione: 7,6 MPa (valore medio)

Tabella 18. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 9) e scheda dati di sicurezza

Leganti additivate con resina e fibre di carbonio

Vi sono principalmente due tipologie di malte additivate con resina: la prima con resina in polvere aggiunta al cemento e alla sabbia (di solito commercializzata già premiscelata) da additivare con acqua prima della posa. La seconda con un tipo di resina in dispersione acquosa, alla quale può essere aggiunta sia la sabbia sia il cemento oppure già in miscela con la sabbia a cui si aggiunge solo il cemento prima della posa in opera.

Il secondo tipo è di solito quello più utilizzato, poiché non presenta acqua in eccesso e se correttamente miscelato si hanno significative modifiche alle proprietà meccaniche della malta, dovute all’aggiunta della resina.

Rasante organico pronto all'uso, irrobustito con fibra di carbonio		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - EPS - PU - Restauro di facciate 	<ul style="list-style-type: none"> - Basse tensioni termoplastiche - Eccellente lavorabilità - Resistente agli agenti atmosferici - Resistenza meccanica fino a 15 J (singola rete) 	<ul style="list-style-type: none"> - Densità: Ca. 1700 kg/m³ - Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu \leq 410$ - Permeabilità all'acqua (valore w): <0,02 kg/m² - Adesione: $\geq 0,08$ MPa

Tabella 19. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 10) e scheda dati di sicurezza

Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - MW - HF - WF 	<ul style="list-style-type: none"> - Non infiammabile - Elevata adesione - Resistente agli agenti atmosferici - Resistenza meccanica fino a 20 J (singola rete) - Resistenza meccanica fino a 60 J (doppia rete) - Idrorepellente e permeabile al vapore acqueo 	<ul style="list-style-type: none"> - Densità: Ca. 1300 kg/m³ - Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu \leq 90$ - Permeabilità all'acqua (valore w): < 0,1 kg/m² - Comportamento al fuoco: A2-s1, d0

Tabella 20. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 11) e scheda dati di sicurezza

Collante e rasante impermeabilizzante, bicomponente rinforzato con fibre di carbonio		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - Materiali bitumosi - EPS - XPS 	<ul style="list-style-type: none"> - Impermeabile all'acqua - Resistente al gelo - Resistente ai sali neutri e a soluzioni di sale antigelo - Diffusivo al vapore acqueo - Resistente agli alcali - Molto elastico (crack bridging) - Copolimeri di resine sintetiche in dispersione 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu=1350$ - Permeabilità all'acqua (valore w): <0,02 kg/m²

Tabella 21. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 12) e scheda dati di sicurezza

6.2.2 Le finiture a rivestimento continuo

Tutti i sistemi destinate ad opere edilizie, realizzate mediante prodotti vernicianti sono definiti "rivestimenti continui" dalla **UNI 8752:1985** (*Verniciature, pitturazioni, RPAC, tinteggiature, impregnazioni superficiali. Classificazione, terminologia e strati funzionali*), per distinguerli dai rivestimenti di parete e pavimentazione ottenuti da elementi precostituiti (carta da parati, guaine bitumose, piastrelle, etc.).

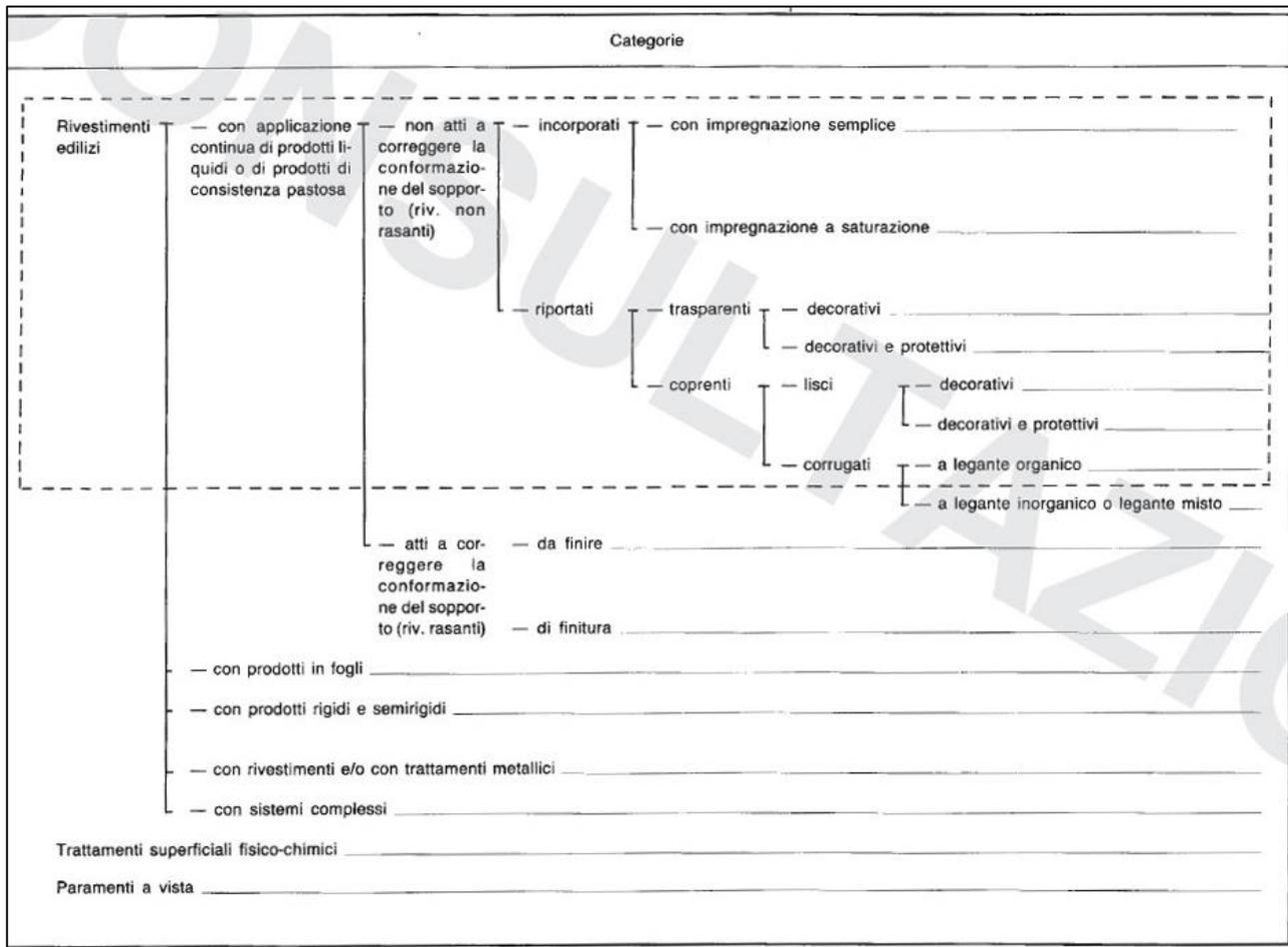


Figura 65. Classificazione dei rivestimenti - Prospetto 1. UNI 8752:1985

Esistono sostanzialmente due sistemi di classificazione: quello secondo la **UNI EN 1062-1** e quello secondo la **UNI 8681**. Il primo metodo, secondo la UNI EN 1062-1, prevede una classificazione in base ad una serie di parametri: impiego finale, natura chimica e stato fisico del legante, stato fisico del legante, grado di brillantezza, spessore della pellicola, granulometria, permeabilità al vapore acqueo, permeabilità all'acqua liquida. Mentre la UNI 8681:1984 (*Prodotti per sistemi di verniciatura, pitturazione, RPAC, tinteggiatura e impregnazione superficiale. Criteri generali di classificazione*), stabilisce, oltre ad alcuni criteri generali, l'elenco dei leganti prevalentemente impiegati, prevedendo un metodo di identificazione alfa-numerico. Esiste, inoltre, una classificazione specifica per i prodotti di verniciatura all'acqua, fornita dalla norma **UNI EN 13300**, la quale fissa delle classi per quattro caratteristiche: brillantezza, rapporto di contrasto, resistenza alla spazzolatura ad umido e granulometria. Tuttavia ciò che determina la funzionalità di qualsiasi finitura in opera su un supporto, è lo strato solido e definitivo del prodotto impiegato.

Tutti i prodotti vernicianti sono comunque costituiti da cinque componenti.

- **Leganti:** conferiscono le proprietà fondamentali (tipo di essiccamento, aderenza al supporto, il comportamento nel tempo, etc.). I principali tipi sono costituiti da dispersioni o soluzioni di resine sintetiche o in alcuni casi di tipo inorganico come i silicati, la calce e composti cementizi.

- **Sostanze volatili:** componenti liquidi e volatili, sono costituiti da solventi organici o da acqua che mantengono il prodotto in soluzione o in dispersione.
- **Pigmenti:** sono particelle finissime (da 0,1 μm a qualche μm) e conferiscono colore e potere coprente. Fra i pigmenti inorganici (a base di ossidi metallici e che conferiscono maggiore resistenza ad ambienti alcalini ed all'azione dei raggi UV) vi è il biossido di titanio; i pigmenti di natura organica conferiscono invece tinte più vivaci.
- **Cariche:** diminuiscono la brillantezza, migliorano l'aderenza e il potere riempitivo e sono anch'esse particelle solide di granulometria leggermente maggiore rispetto ai pigmenti. Sono costituite usualmente da carbonato di calcio, quarzo, talco, caolino ed altri silicati.
- **Additivi:** sono di varie tipologie a seconda del fine come impedire la sedimentazione, evitare la formazione di schiuma, migliorare la dispersione dei pigmenti, facilitare la filmazione, etc. Il progetto della miscela di questi componenti consente molteplici variazioni e pertanto i sistemi di pitturazione hanno sempre presentato una notevole una grande varietà di prodotti.

Per la realizzazione dei provini sono state usate due differenti tipologie di pitture: silossaniche e acril-silossaniche.

Silossaniche

I silossani⁴⁷ sono una classe di composti chimici nella cui struttura si ripete il gruppo funzionale R_2SiO , dove R è un idrogeno o un gruppo alchilico (alcano privato di un atomo di idrogeno) o arilico. Il nome "silossano" deriva dalla combinazione di silicio, ossigeno e alcano. Vengono considerati parte della classe dei composti organosilicei. I polimeri dei silossani dove R è un gruppo alchilico, sono comunemente noti come siliconi o "polisilossani". In chimica organica alchile (o gruppo alchilico) è il nome generico del gruppo funzionale corrispondente ad un alcano privato di un atomo di idrogeno. I gruppi alchilici prendono il nome dai corrispondenti alcani e hanno formula generale $-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$. Tra i vari gruppi alchilici fa parte anche il metil $-\text{CH}_3$.

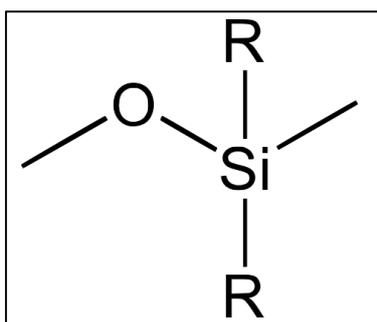


Figura 66. L'unità base dei silossani. Fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/Silossani>

I materiali per cappotto silossanici hanno una doppia proprietà: traspirante e impermeabile. Tale qualità consente la fuoriuscita di umidità contenuta all'interno del muro e impedisce la penetrazione di acqua all'interno. Queste finiture per cappotto vengono quindi utilizzate soprattutto in luoghi molto umidi e/o con elevate precipitazioni in quanto, grazie alle caratteristiche idrofile e idrorepellenti, sono ideali per la conservazione della muratura. La posa dei materiali silossanici per

⁴⁷ <https://it.wikipedia.org/wiki/Silossani>

l'isolamento a cappotto esterno è facilmente eseguibile dal momento che non richiede determinate condizioni ambientali. In facciata queste finiture presentano un aspetto opaco ma un po' satinato.

Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - Rasature - Intonaci minerali o rivestiti con prodotti sintetici 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta traspirabilità al vapore acqueo - Idrorepellente - Facile da applicare - A basso odore, ecocompatibile - Elevata stabilità del colore - Resistente agli alcali - Non termoplastico - Reazione al fuoco: B1 secondo DIN 4102 - Con film protetto dall'aggressione di microrganismi 	<ul style="list-style-type: none"> - Densità: Ca. 1700-1900 kg/m³ - Permeabilità all'acqua (valore w): < 0,10 kg/m²

Tabella 22. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 13) e scheda dati di sicurezza

Acrilsilossaniche

Sono un misto tra le finiture silossaniche e acriliche (sono composte da resine sintetiche con proprietà idrorepellenti) come dice il nome stesso. Le resine acriliche⁴⁸ (poliacrilati) sono ottenute dalla polimerizzazione di monomeri acrilici, principalmente acido acrilico ed esteri acrilici o metacrilici. L'acido acrilico (CH₂=CHCOOH) è il più semplice acido carbossilico insaturo con un gruppo carbossilico ed un doppio legame carbonio-carbonio.

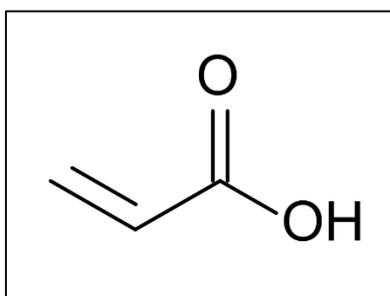


Figura 67. Struttura dell'acido acrilico. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Acido_acrilico

Con questi prodotti vengono offerti un elevato grado di impermeabilizzazione e lavabilità e una discreta traspirazione. Queste finiture possiedono anche proprietà elastomeriche che permettono di assorbire e smorzare i movimenti in facciata, evitando il problema di cavillature. Le finiture per cappotto acrilsilossaniche sono versatili per molti tipi di pannelli per cappotto e in parete hanno un aspetto estetico privo di aloni e di ombreggiature.

⁴⁸ [https://it.wikipedia.org/wiki/Acriclico_\(fibra\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Acriclico_(fibra))

Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - Rasature - Intonaci - Calcestruzzo e calcestruzzo armato - Rivestimenti con vecchie pitture 	<ul style="list-style-type: none"> - Aspetto compatto ed omogeneo - Alta resa, facilmente lavorabile - Alta traspirabilità e idrorepellenza - Film protetto contro l'attacco di funghi e alghe - Resistente agli agenti atmosferici e all'abrasione 	<ul style="list-style-type: none"> - Densità: Ca. 1750 kg/m³ - Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd: Classe V1 – Alta - Permeabilità all'acqua (valore w): Classe W2 - Media)

Tabella 23. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 14) e scheda dati di sicurezza

Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto		
Supporti su cui è applicabile	Proprietà del materiale	Dati tecnici
<ul style="list-style-type: none"> - Rivestimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Facile e veloce applicazione a spatola - Struttura superficiale estremamente fine - Resistente agli agenti atmosferici e all'acqua 	<ul style="list-style-type: none"> - Densità: Ca. 1250 kg/m³ - Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd: 0,19 m - Permeabilità all'acqua (valore w): < 0,06 kg/m²

Tabella 24. Caratteristiche del prodotto utilizzato. Fonti: Scheda tecnica (Allegato 15) e scheda dati di sicurezza

6.3 Codifica e stratigrafie dei provini

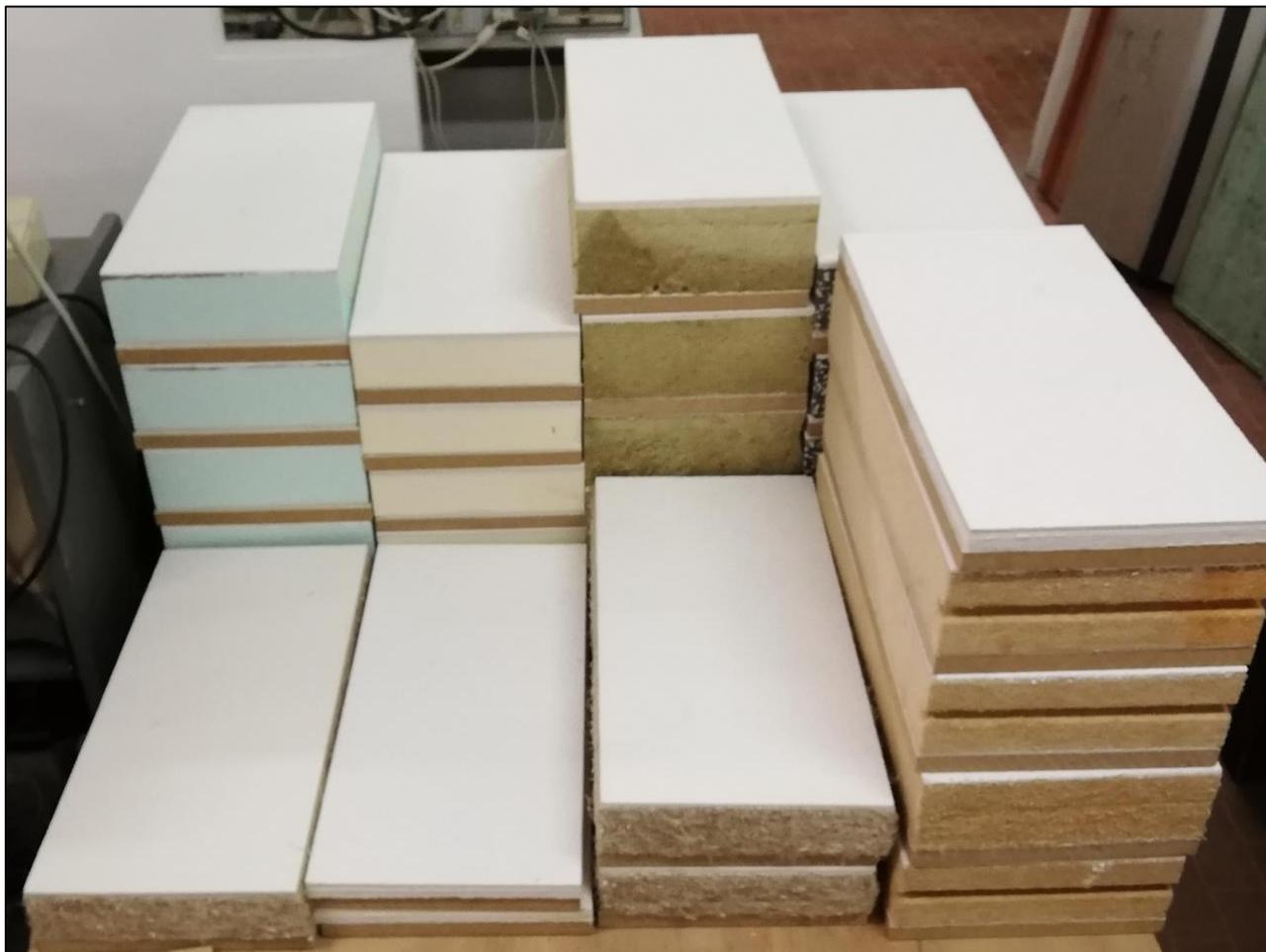


Figura 68. Stoccaggio dei provini presso il laboratorio sistemi edilizi del DISEG (Politecnico di Torino)

Prova	Descrizione
A10	Impatto a temperatura ambiente a 10 m/s
A15	Impatto a temperatura ambiente a 15 m/s
A20	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s
B20	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s, con riscaldamento del provino di circa 10 ore a 50°C e UR 50%. Prova eseguita entro 20 secondi dal prelievo del provino dalla camera climatica
C20	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s, con raffreddamento del provino di circa 10 ore a -8°C e UR 70%. Prova eseguita entro 20 secondi dal prelievo del provino dalla camera climatica
O20	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s, con il provino in posizione orizzontale

Tabella 25. Codifica delle prove eseguite

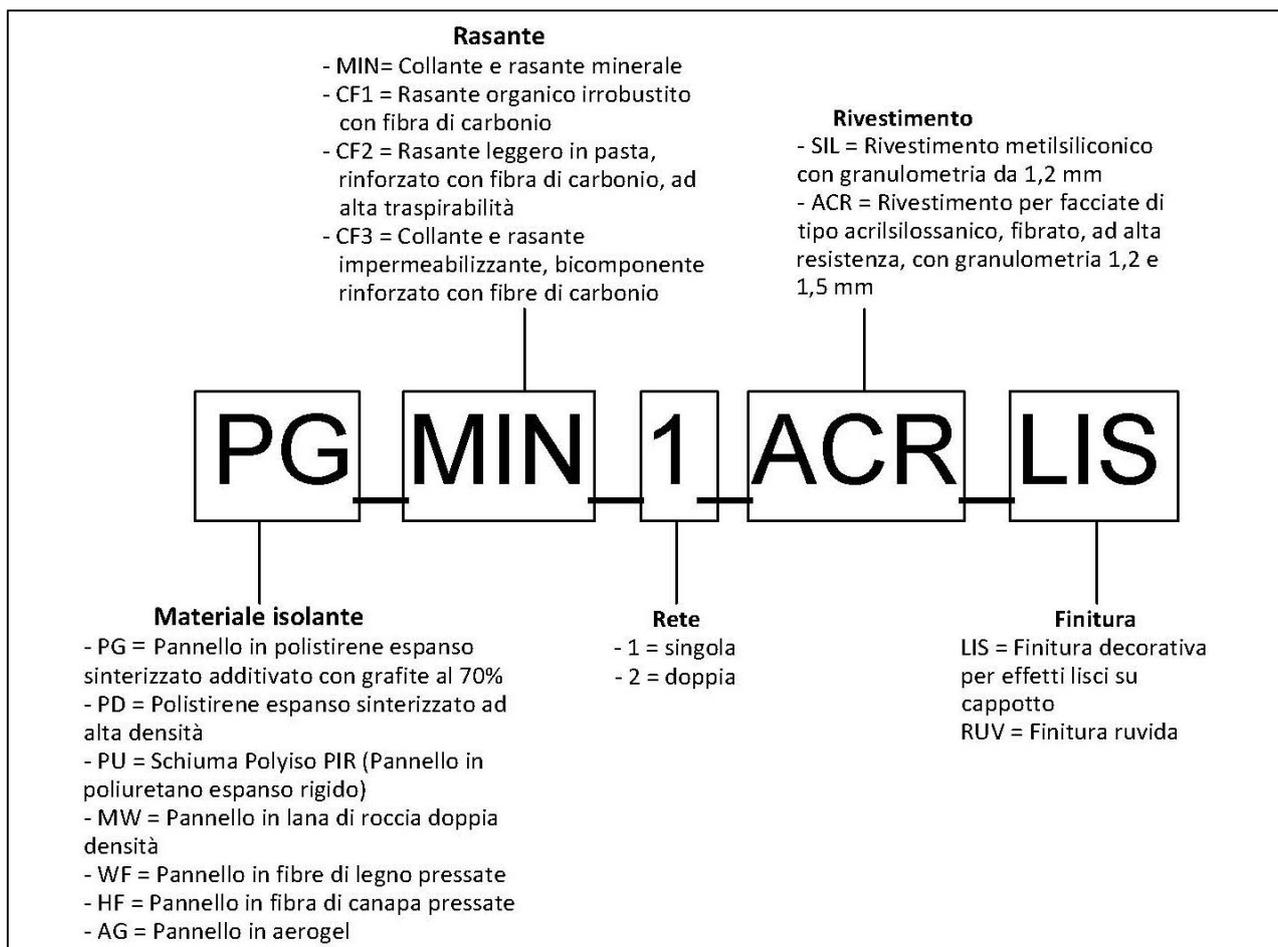


Figura 69. Struttura della codifica utilizzata per i provini

La seguente tabella mostra la composizione stratigrafica dei provini utilizzati per la prova di resistenza alla grandine. In totale sono 25 e saranno divisi successivamente in gruppi.

Provino	Pannello isolante	Rasatura armata	Finitura
PG_MIN_1_ACR_RUV	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO ADDITIVATO CON GRAFITE AL 70%	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PG_CF1_1_ACR_RUV	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO ADDITIVATO CON GRAFITE AL 70%	Rasante in pasta pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PG_CF1_2_ACR_RUV	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO	Rasante in pasta pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio con doppia rete per	Fondo fine di collegamento per esterni e interni

	ADDITIVATO CON GRAFITE AL 70%	sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PG_MIN_1_ACR_LIS	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO ADDITIVATO CON GRAFITE AL 70%	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Strato 1. Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Strato 2. Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
			Strato 3. Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto + Finitura decorativa incolore o metallescente protettiva
PD_MIN_1_ACR_RUV	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO AD ALTA DENSITA'	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PD_CF3_1_ACR_RUV	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO AD ALTA DENSITA'	Collante e rasante impermeabilizzante, bicomponente rinforzato con fibre di carbonio. Con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PD_CF3_2_ACR_RUV	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO AD ALTA DENSITA'	Collante e rasante impermeabilizzante, bicomponente rinforzato con fibre di carbonio. Con doppia rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PD_MIN_1_ACR_LIS	PANNELLO IN POLISTIRENE ESPANSO AD ALTA DENSITA'	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Strato 1. Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Strato 2. Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
			Strato 3. Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto + Finitura decorativa incolore o metallescente protettiva
PU_MIN_1_ACR_RUV	PANNELLO IN POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrilossilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm

PU_CF1_1_ACR_RUV	PANNELLO IN POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	Rasante in pasta pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrilossilosanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PU_CF1_2_ACR_RUV	PANNELLO IN POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	Rasante in pasta pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio con doppia rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrilossilosanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
PU_MIN_1_ACR_LIS	PANNELLO IN POLIURETANO ESPANSO RIGIDO	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Strato 1. Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Strato 2. Rivestimento per facciate di tipo acrilossilosanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm
			Strato 3. Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto + Finitura decorativa incolore o metallescente protettiva
MW_MIN_1_SIL_RUV	PANNELLO IN LANA DI ROCCIA DOPPIA DENSITA'	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
MW_CF2_1_SIL_RUV	PANNELLO IN LANA DI ROCCIA DOPPIA DENSITA'	Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità. Con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
MW_CF2_2_SIL_RUV	PANNELLO IN LANA DI ROCCIA DOPPIA DENSITA'	Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità. Con doppia rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
MW_MIN_1_SIL_LIS	PANNELLO IN LANA DI ROCCIA DOPPIA DENSITA'	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Strato 1. Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Strato 2. Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
			Strato 3. Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto + Finitura decorativa incolore o metallescente protettiva

WF_MIN_1_SIL_RUV	PANNELLO IN FIBRA DI LEGNO	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
WF_CF2_1_SIL_RUV	PANNELLO IN FIBRA DI LEGNO	Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità. Con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
WF_CF2_2_SIL_RUV	PANNELLO IN FIBRA DI LEGNO	Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità. Con doppia rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
WF_MIN_1_SIL_LIS	PANNELLO IN FIBRA DI LEGNO	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Strato 1. Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Strato 2. Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
			Strato 3. Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto + Finitura decorativa incolore o metallescente protettiva
HF_MIN_1_SIL_RUV	PANNELLO IN FIBRA DI CANAPA	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
HF_CF2_1_SIL_RUV	PANNELLO IN FIBRA DI CANAPA	Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità. Con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
HF_CF2_2_SIL_RUV	PANNELLO IN FIBRA DI CANAPA	Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità. Con doppia rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
HF_MIN_1_SIL_LIS	PANNELLO IN FIBRA DI CANAPA	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Strato 1. Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Strato 2. Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm
			Strato 3. Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto + Finitura decorativa incolore o metallescente protettiva
AG_MIN_1_ACR_RUV	PANNELLO IN AEROGEL PER DETTAGLI COSTRUTTIVI	Collante e rasante minerale ad alta adesività con rete per sistemi a cappotto ininfiammabili e ad alta resistenza meccanica	Fondo fine di collegamento per esterni e interni
			Rivestimento per facciate di tipo acrisilossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm

Tabella 26. Stratigrafie dei tipi di provini testati

6.4 Risultati delle prove

Per valutare il livello di danno è stata adottata la seguente classificazione:

Livello di danno	Descrizione del tipo di danno	Interventi manutentivi
Non presente	Nessun danno visibile	Nessuno
Trascurabile	Scheggiatura dei grani nel punto di impatto, Opacizzazione, Guasto solo a livello visivo	Ripitturazione (discrezionale)
Modesto	Delaminazione, Cavillature, Ammacatura lieve	Ripristino dello strato di rivestimento e di finitura
Critico	Delaminazione, Fessurazione, Ammacatura grave	Ripristino dello strato di rasatura armata, di rivestimento e di finitura

Tabella 27. Descrizione dei livelli di danno

Mediante l'utilizzo di un calibro a nonio semplice decimale (precisione dello strumento di 0,1 mm) e un righello da meccanico, sono stati misurati l'asse maggiore, l'asse minore e la profondità dell'impronta.

Per i provini con superficie ruvida, le misurazioni relative alla profondità sono state depurate della rugosità della superficie, dovuta ai granuli presenti nello strato di finitura. Quindi alla misura presa col calibro è stato sottratto 1 mm, che è circa la dimensione dei grani.

Per una più corretta e comoda lettura delle schede riportate di seguito e una migliore comprensione dei contenuti richiamati nella tabella precedente, si riporta la definizione delle anomalie utilizzate come sistema di classificazione.

Scheggiatura dei grani	Asportazione della pittura mediante abrasione dei granuli, da cui è possibile misurare l'impronta ellittica dell'impatto
Opacizzazione	Alterazione del colore originario dello strato di finitura (provini con rivestimento liscio)
Ammaccatura lieve	Formazione di cavità sulla superficie del provino. Profondità massima < 1 mm
Ammaccatura grave	Formazione di cavità sulla superficie del provino. Profondità massima \geq 1 mm
Cavillatura	Microfessurazione superficiale molto sottile. Apertura massima < 0,5 mm
Fessurazione	Formazione di discontinuità irregolari nel materiale, con eventuale distacco localizzato di piccole porzioni degli strati del rivestimento. Apertura massima \geq 0,5 mm
Delaminazione	Separazione e scorrimento tra gli strati superficiali

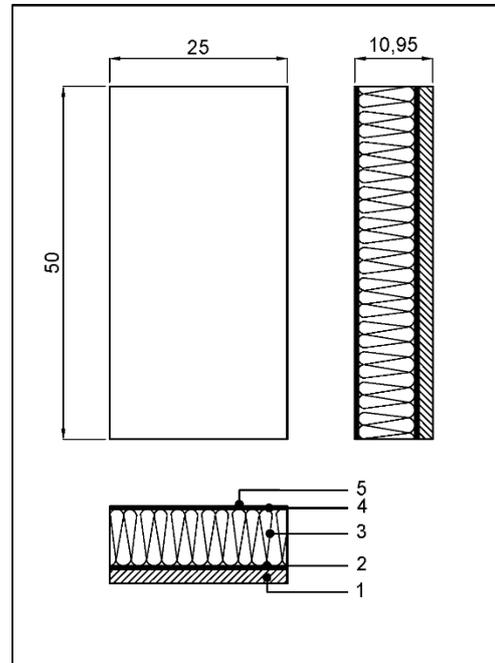
Tabella 28. Glossario delle lesioni

6.4.1 Gruppo 1

PG_MIN_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m^2K] (riferita solo al pannello isolante)
3,95	0,375

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite	Capatect PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus	80
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 109,5

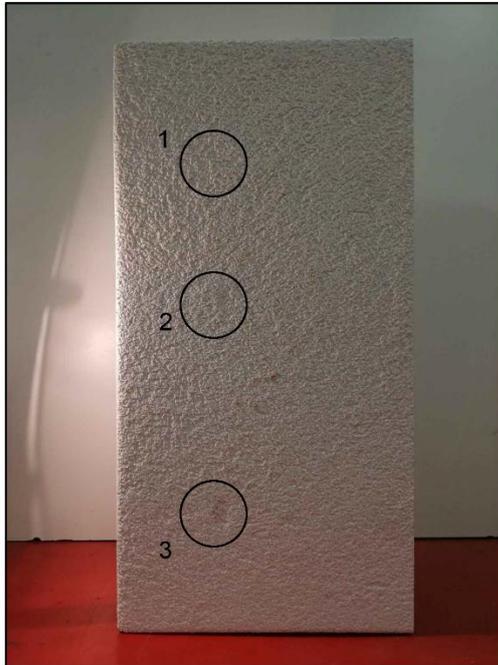
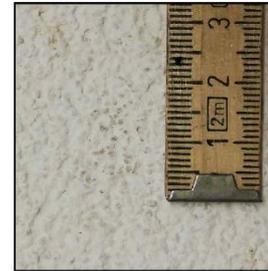


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

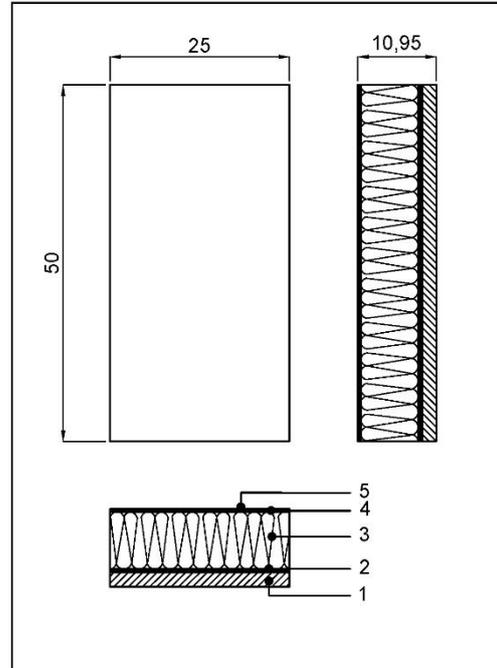
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,15	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,02	2	Scheggiature dei grani	Trascurabile
A20	18,26	3	Cavillature, Ammaccatura lieve	Modesto

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,7	1	Non rilevabile
3	2,5	1,5	0,4

PG_CF1_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,35	0,375

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite	Capatect PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus	80
4	Rasante irrobustito con fibre di carbonio armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: CarbonSpachtel	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 109,5

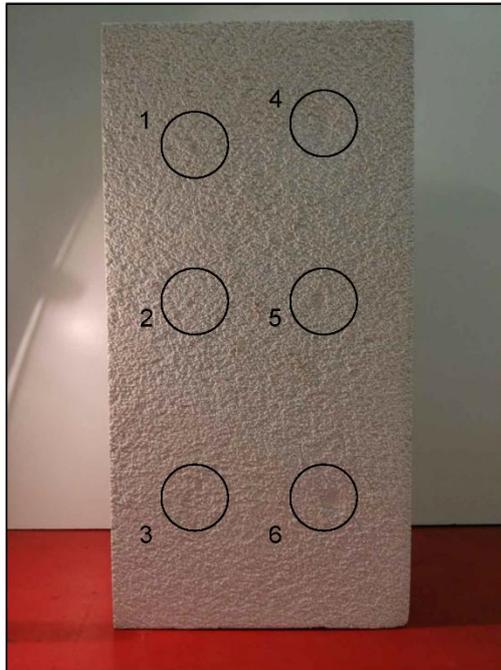
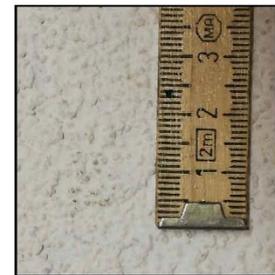


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



Zona di impatto 6

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

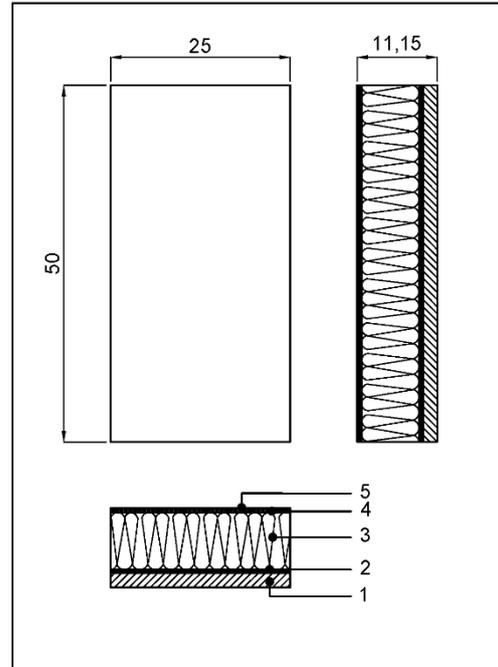
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	9,37	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,43	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,8	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
B20	21,62	4	Nessun danno	Non presente
C20	21,41	5	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
O20	20,89	6	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	2,3	1	Non rilevabile
4	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
5	2	1,2	Non rilevabile
6	2,3	2,3	0,8

PG_CF1_2_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,75	0,375

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite	Capatect PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus	80
4	Rasante irrobustito con fibre di carbonio armato con doppia rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: CarbonSpachtel	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 111,5

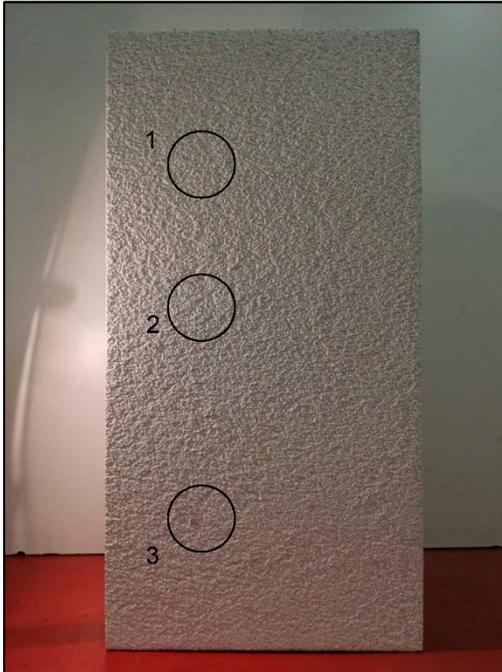


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



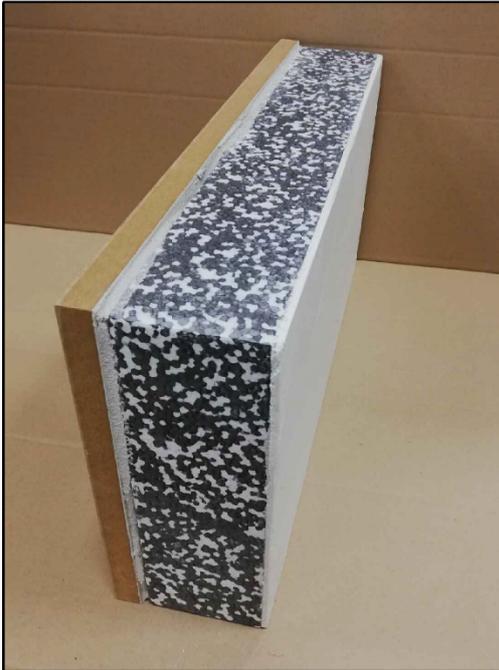
Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

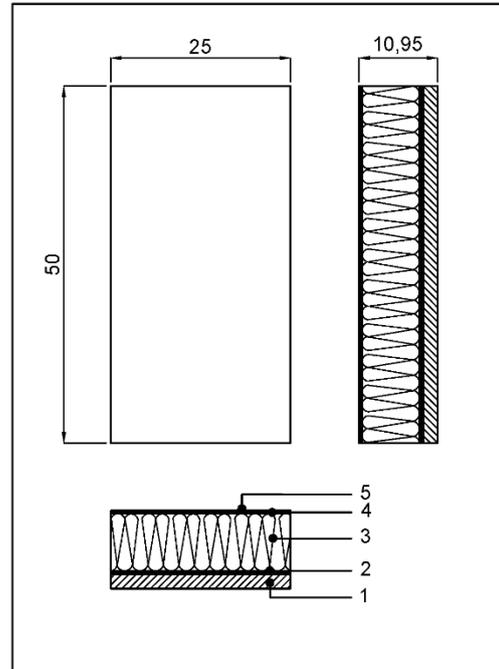
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,86	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,38	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,08	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	1,5	1	Non rilevabile

PG_MIN_1_ACR_LIS



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,95	0,375

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite	Capatect PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus	80
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12 Finitura: Capatect Accento-Spachtel + Capatect Accento Effektpachtel	1,5
			Tot 109,5

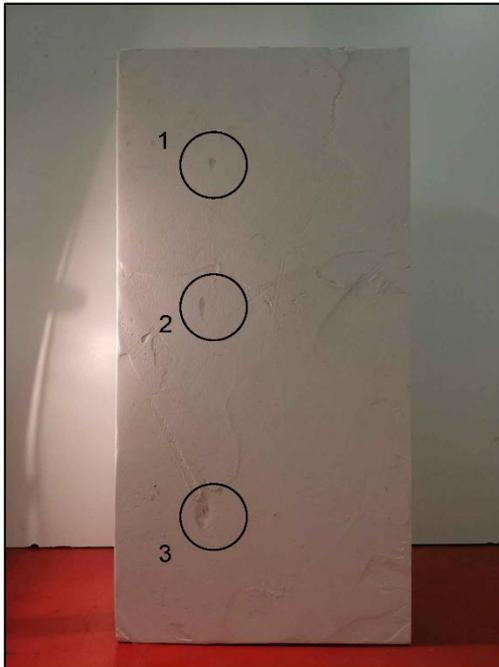


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

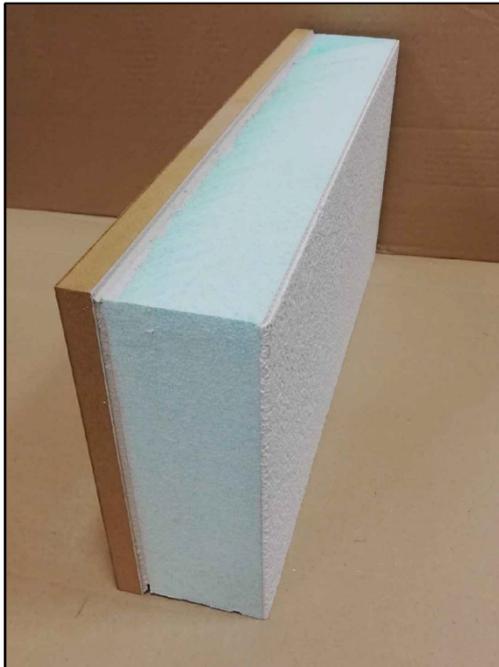
A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	9,33	1	Opacizzazione	Trascurabile
A15	14,37	2	Opacizzazione	Trascurabile
A20	19,75	3	Ammaccatura lieve, Cavillatura	Modesto

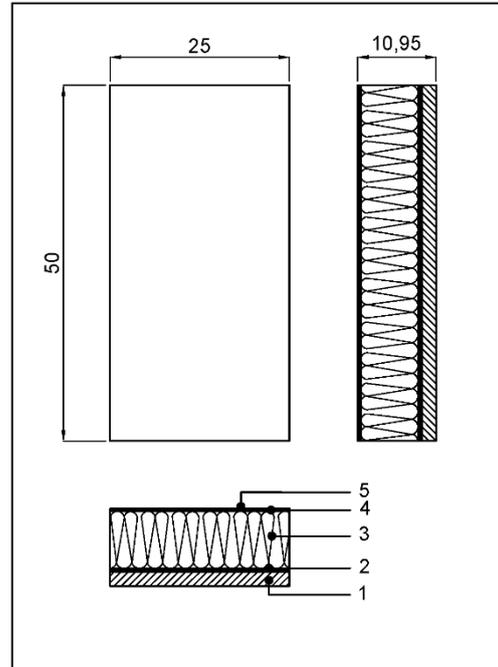
Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	0,8	0,6	Non rilevabile
2	2	0,7	Non rilevabile
3	2,5	1,2	0,6

6.4.2 Gruppo 2

PD_MIN_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,41	0,4

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso ad alta densità	Capatect PS Perimeterdämmplatte X	80
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 109,5

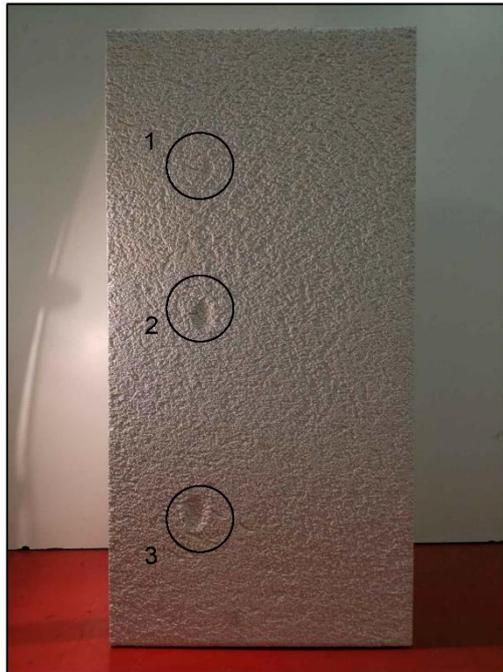
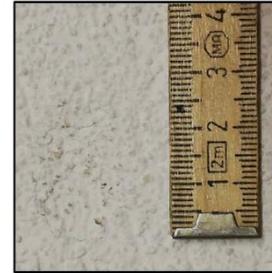


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



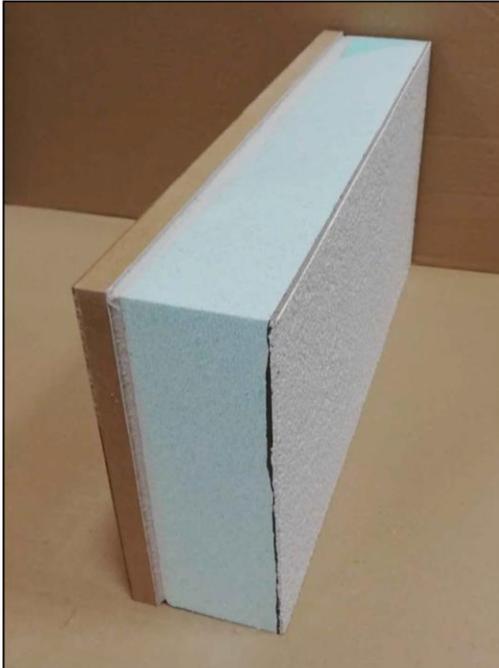
Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

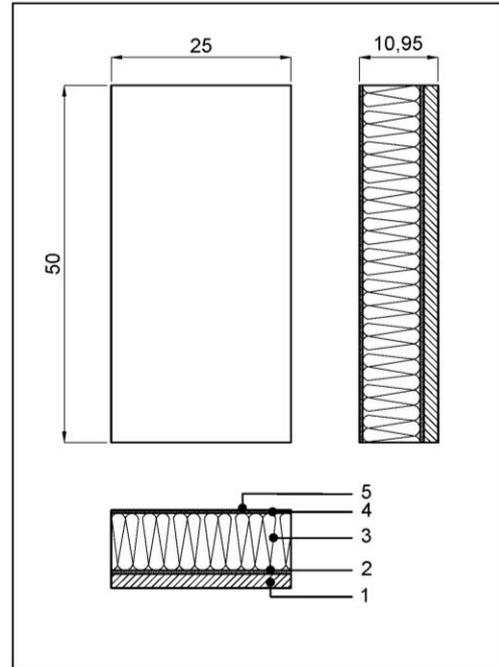
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,39	1	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A15	16,68	2	Ammaccatura lieve, Cavillature,	Modesto
A20	20,03	3	Ammaccatura grave, Delaminazione, Fessurazioni	Critico

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	2	1	Non rilevabile
2	2,7	2,3	0,7
3	3	2,3	1,1

PD_CF3_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,22	0,4

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso ad alta densità	Capatect PS Perimeterdämmplatte X	80
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect Sockelflex Carbon	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 109,5

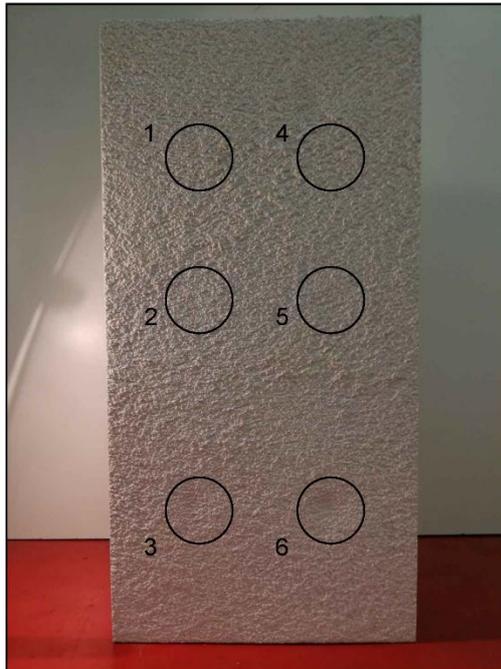
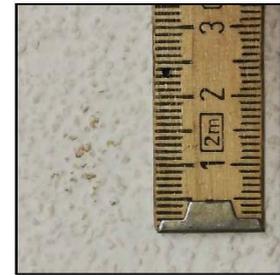


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



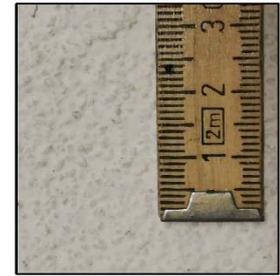
Zona di impatto 1



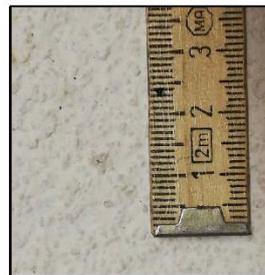
Zona di impatto 2



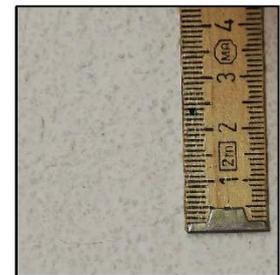
Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



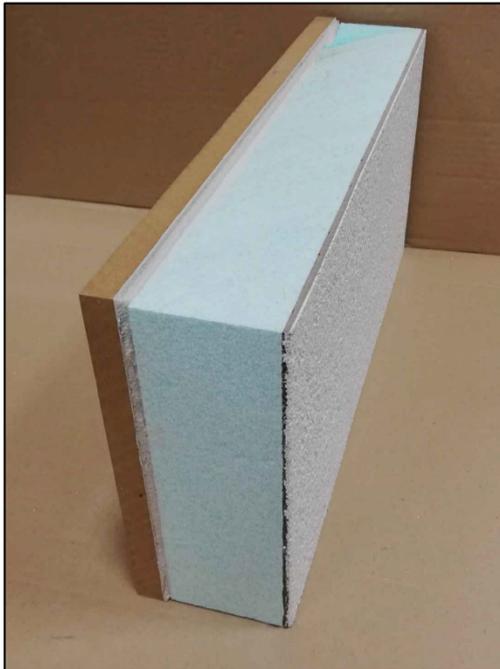
Zona di impatto 6

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

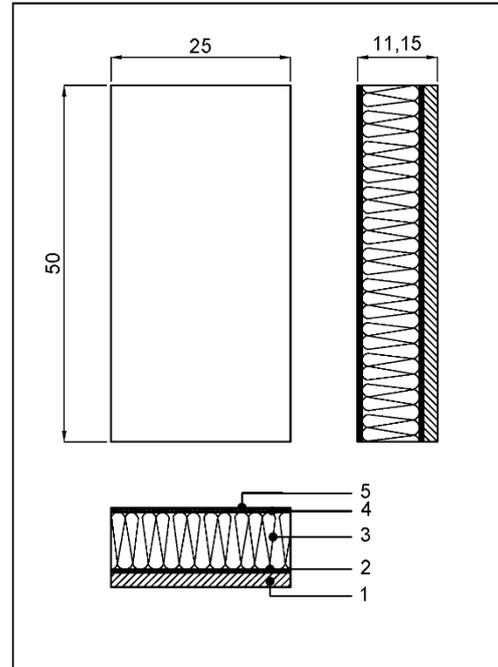
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	9,37	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,43	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,8	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
B20	21,62	4	Nessun danno	Non presente
C20	21,41	5	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
O20	20,89	6	Ammaccatura grave, Cavillatura	Critico

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,4	1	Non rilevabile
3	2	1,2	Non rilevabile
4	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
5	2,5	1,5	Non rilevabile
6	2,7	2,7	1,4

PD_CF3_2_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,41	0,4

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso ad alta densità	Capatect PS Perimeterdämmplatte X	80
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio armato con doppia rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect Sockelflex Carbon	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 111,5

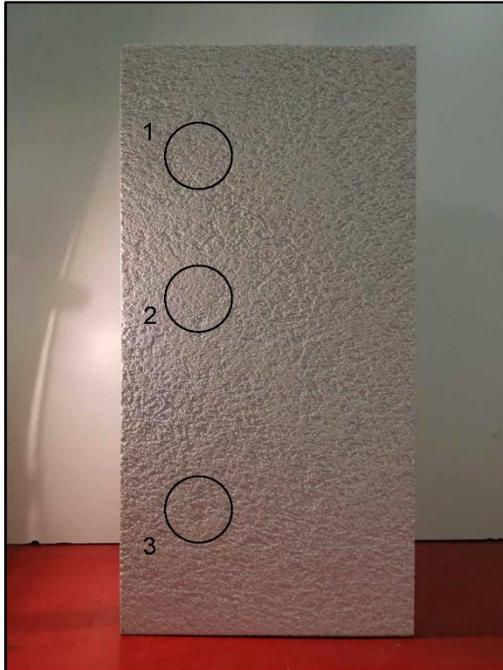


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



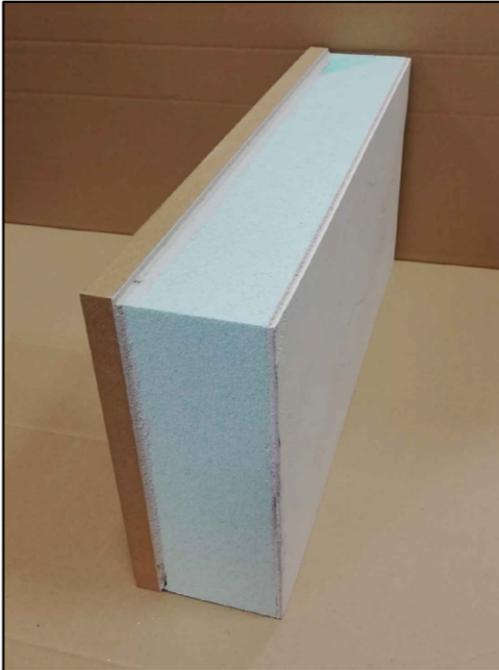
Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

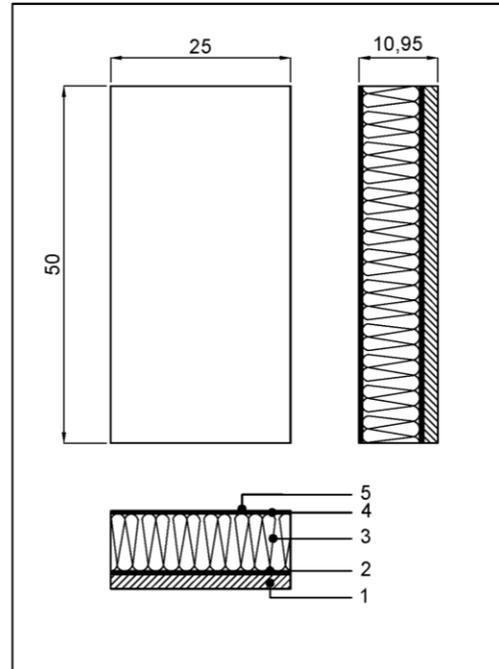
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,39	1	Nessun danno	Non presente
A15	16,68	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	20,03	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,5	0,7	Non rilevabile
3	1,7	1	Non rilevabile

PD_MIN_1_ACR_LIS



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,38	0,4

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in polistirene espanso ad alta densità	Capatect PS Perimeterdämmplatte X	80
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12 Finitura: Capatect Accento-Spachtel + Capatect Accento Effektpachtel	1,5
			Tot 109,5

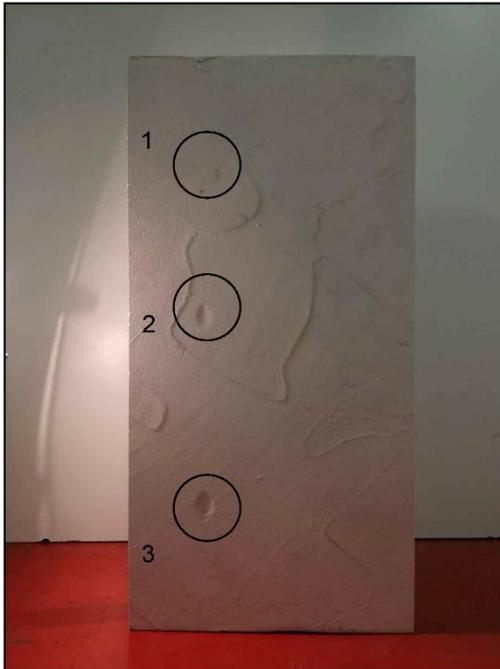
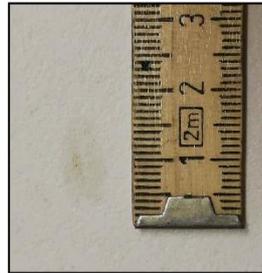
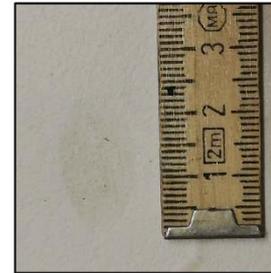


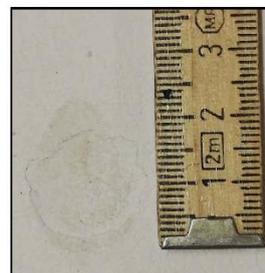
Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

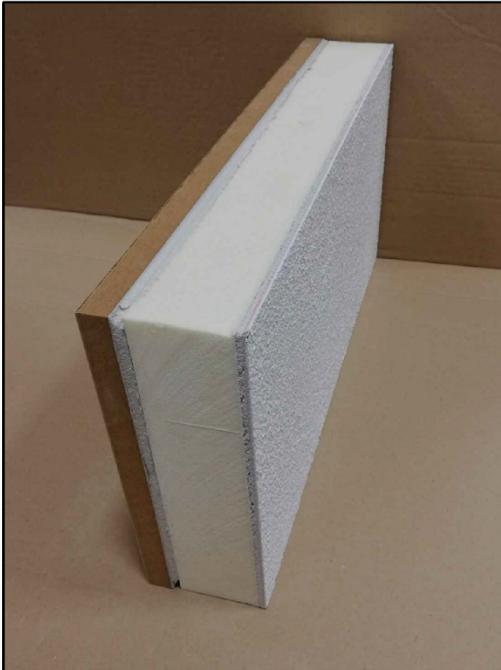
A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,22	1	Nessun danno	Non presente
A15	16,09	2	Opacizzazione	Trascurabile
A20	19,8	3	Ammaccatura lieve, Delaminazione, Cavillature	Modesto

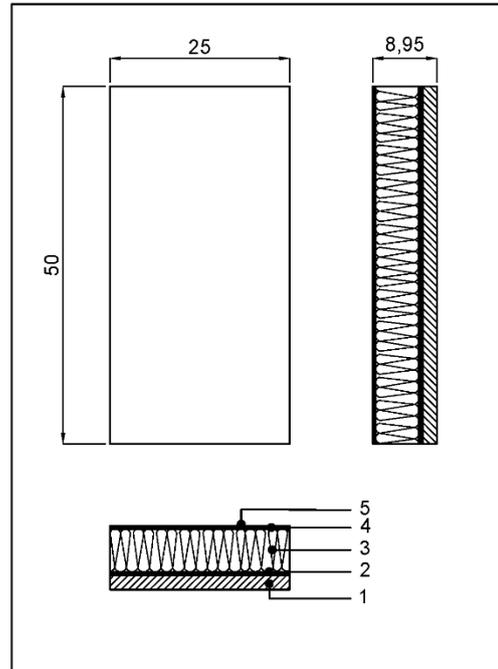
Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	2,2	1,2	Non rilevabile
3	2,4	1,9	0,7

6.4.3 Gruppo 3

PU_MIN_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,95	0,43

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in poliuretano espanso rigido	Capatect PU Fassadendämmplatte Class SK	60
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 89,5

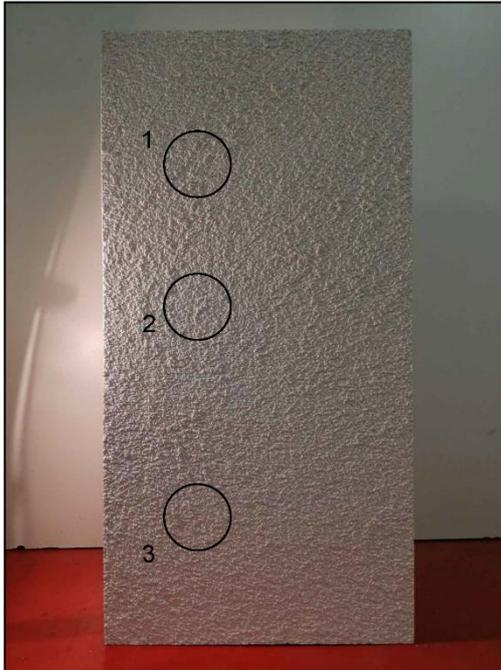


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

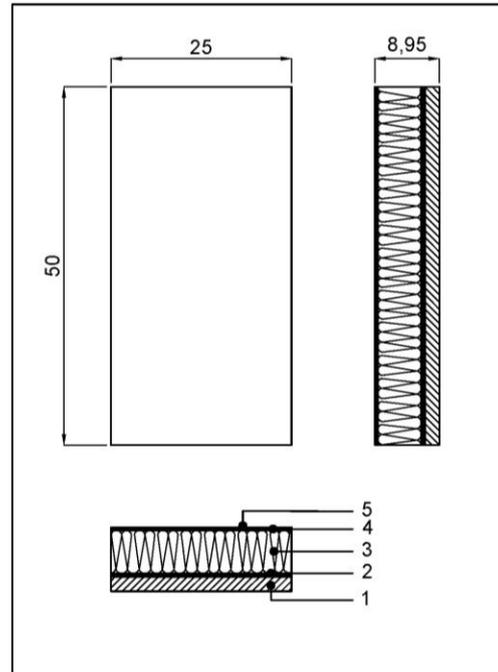
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,09	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,93	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,28	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,2	0,7	Non rilevabile
3	1,5	1	Non rilevabile

PU_CF1_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,44	0,43

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in poliuretano espanso rigido	Capatect PU Fassadendämmplatte Class SK	60
4	Rasante irrobustito con fibre di carbonio armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: CarbonSpachtel	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 89,5

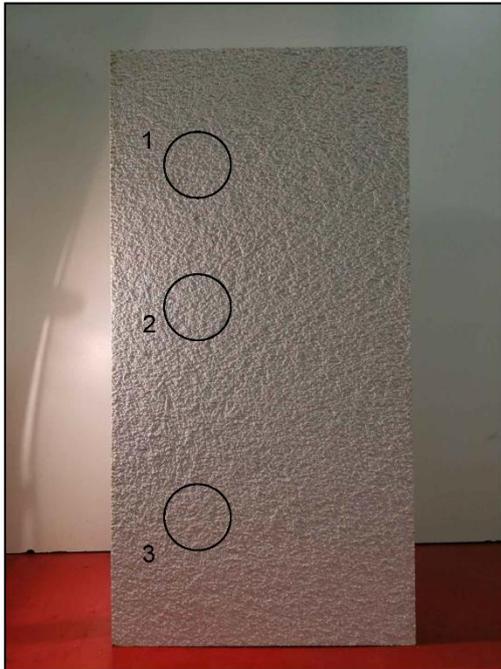


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



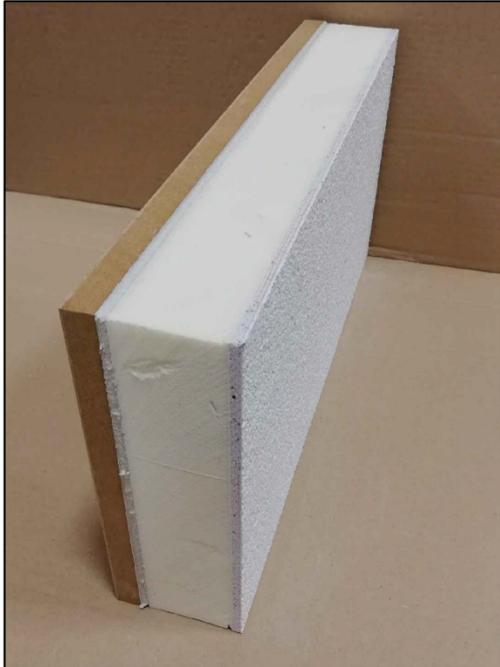
Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

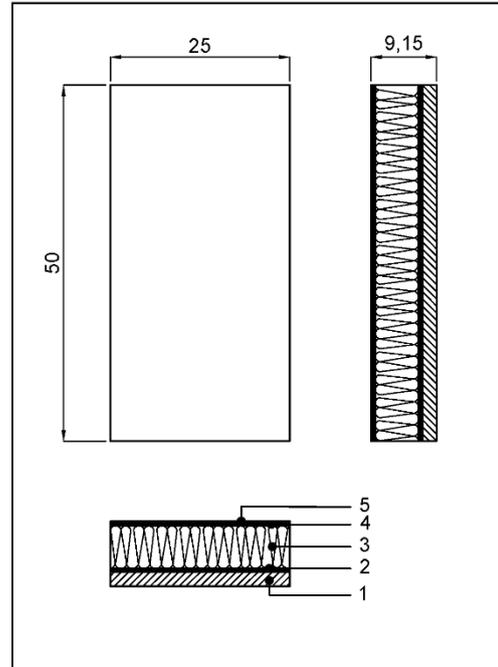
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,09	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,93	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,28	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,3	0,5	Non rilevabile
3	2	0,7	Non rilevabile

PU_CF1_2_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m²K] (riferita solo al pannello isolante)
3,83	0,43

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in poliuretano espanso rigido	Capatect PU Fassadendämmplatte Class SK	60
4	Rasante irrobustito con fibre di carbonio armato con doppia rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: CarbonSpachtel	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 91,5

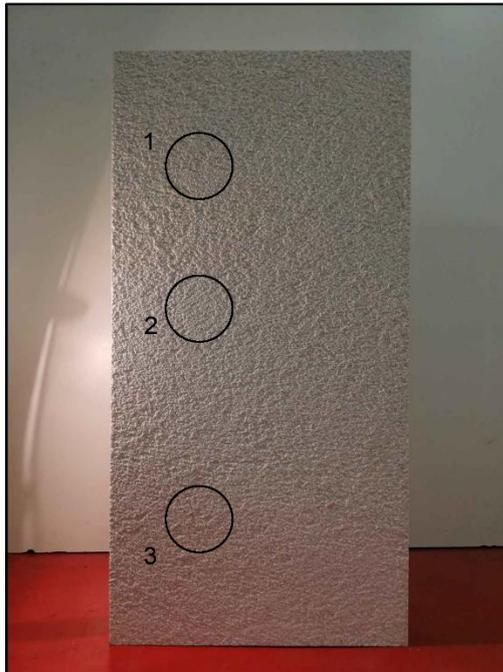


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



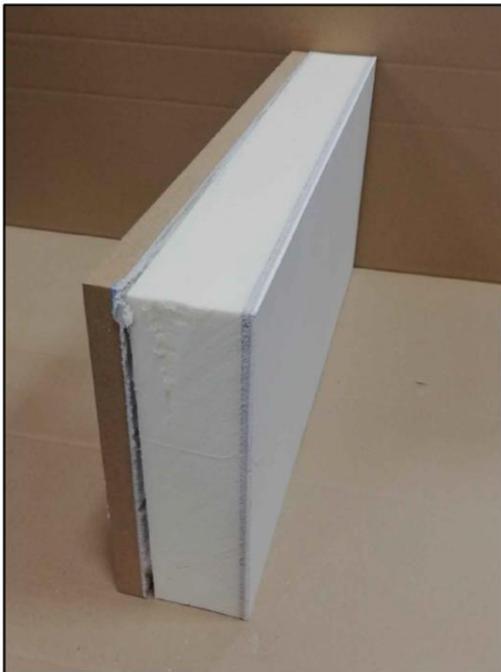
Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

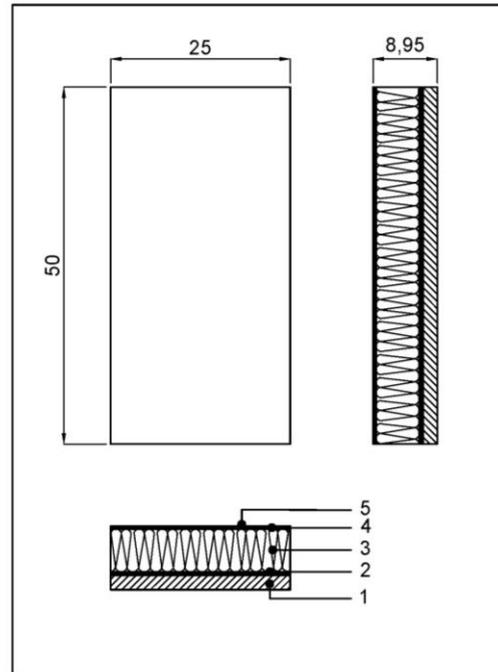
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,38	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,13	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,31	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,3	0,7	Non rilevabile
3	1,8	0,9	Non rilevabile

PU_MIN_1_ACR_LIS



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m²K] (riferita solo al pannello isolante)
3,97	0,43

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in poliuretano espanso rigido	Capatect PU Fassadendämmplatte Class SK	60
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12 Finitura: Capatect Accento-Spachtel + Capatect Accento Effektspachtel	1,5
			Tot 89,5

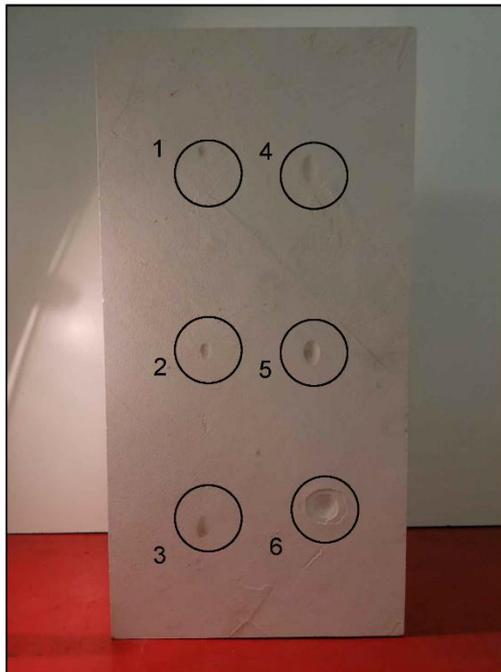
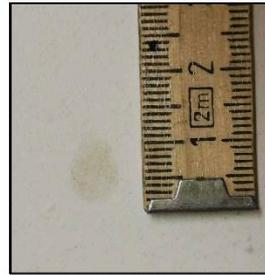
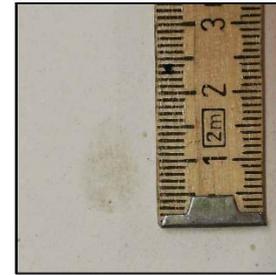


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



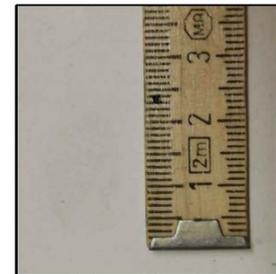
Zona di impatto 1



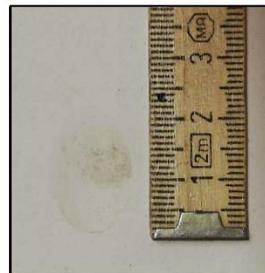
Zona di impatto 2



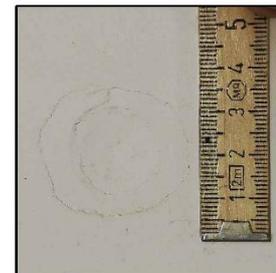
Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



Zona di impatto 6

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,25	1	Opacizzazione	Trascurabile
A15	16,04	2	Opacizzazione	Trascurabile
A20	19,17	3	Cavillatura	Modesto
B20	20,35	4	Ammaccatura lieve	Modesto
C20	21,41	5	Cavillatura, Ammaccatura lieve	Modesto
O20	21	6	Fessurazione, Ammaccatura grave	Critico

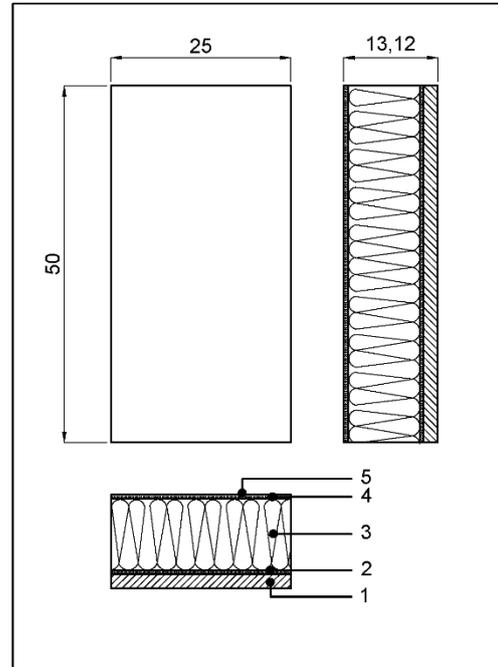
Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	1	0,7	Non rilevabile
2	1,4	0,9	Non rilevabile
3	2	1,1	0,6
4	2	1,1	0,4
5	2,1	1,4	0,8
6	3,5	3	1,8

6.4.4 Gruppo 4

MW_MIN_1_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
4,17	0,35

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in lana di roccia	Capatect MW Fassadendämmplatte	100
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 131,2

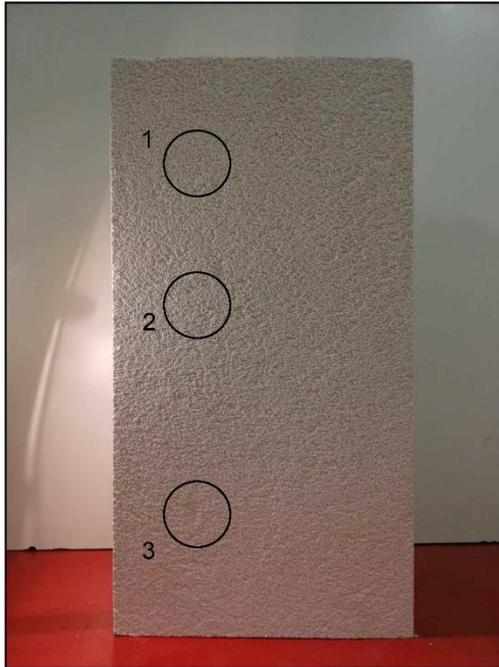


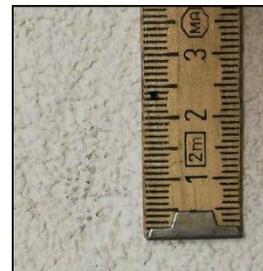
Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

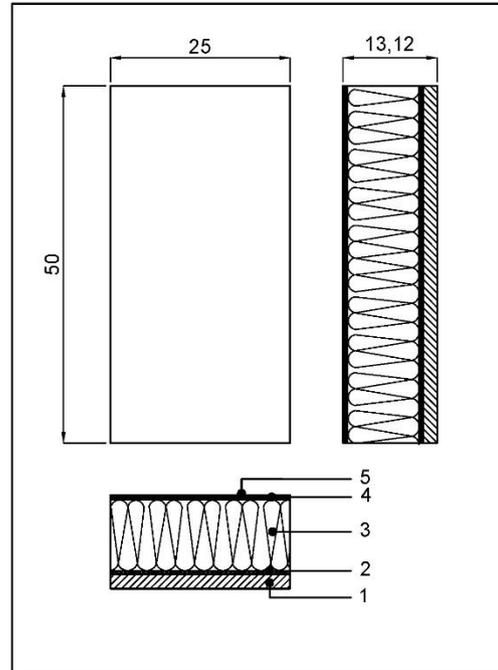
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,15	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,94	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,14	3	Nessun danno	Non presente

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile

MW_CF2_1_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
4,37	0,35

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in lana di roccia	Capatect MW Fassadendämmplatte	100
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: OrCa-Spachtel	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 131,2

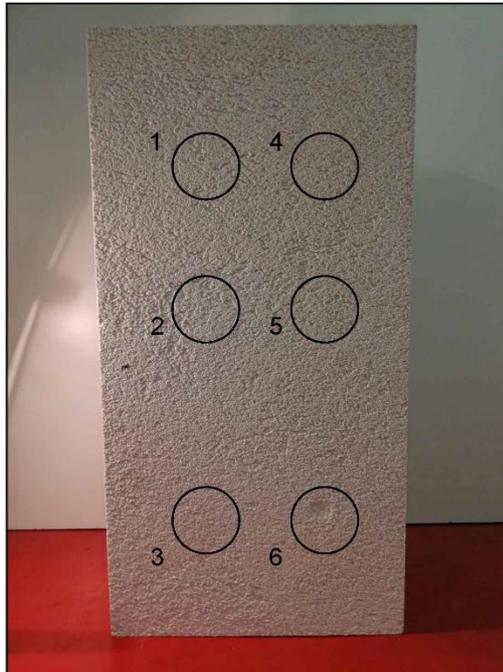


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



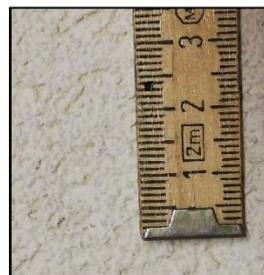
Zona di impatto 2



Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



Zona di impatto 6

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

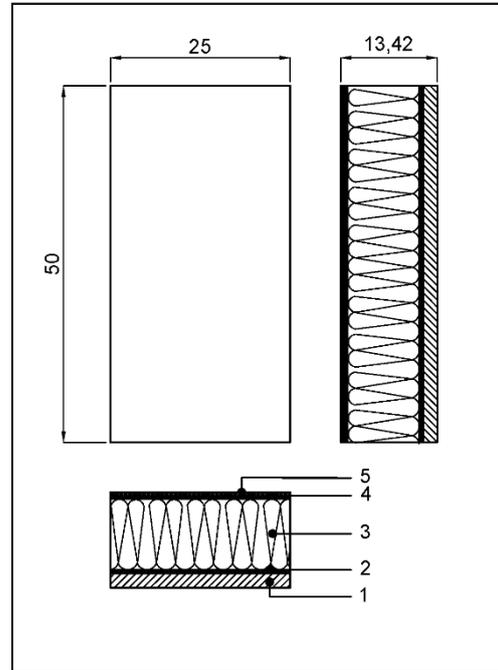
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,11	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,72	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,67	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
B20	21,26	4	Nessun danno	Non presente
C20	20,73	5	Cavillature	Modesto
O20	20,38	6	Cavillature, Ammaccature lieve	Modesto

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	1,3	0,7	Non rilevabile
4	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
5	1,5	1	Non rilevabile
6	2	1,7	0,7

MW_CF2_2_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m²K] (riferita solo al pannello isolante)
4,36	0,35

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in lana di roccia	Capatect MW Fassadendämmplatte	100
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio armato con doppia rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: OrCa-Spachtel	8
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphoSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 134,2

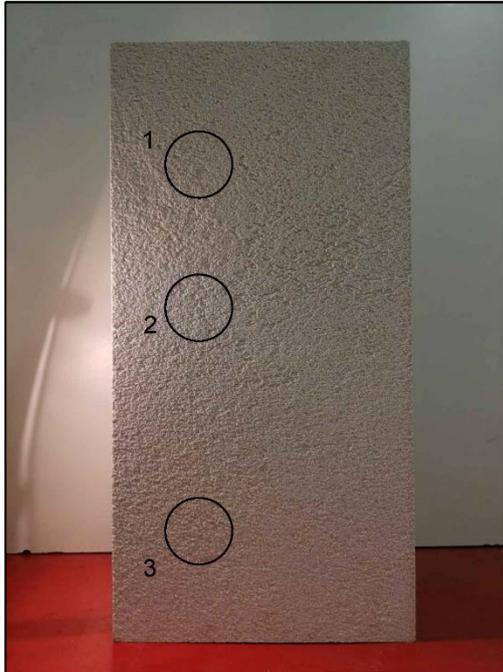
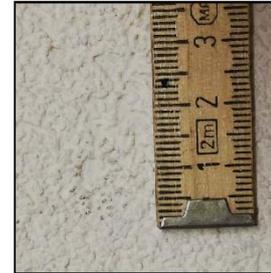


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



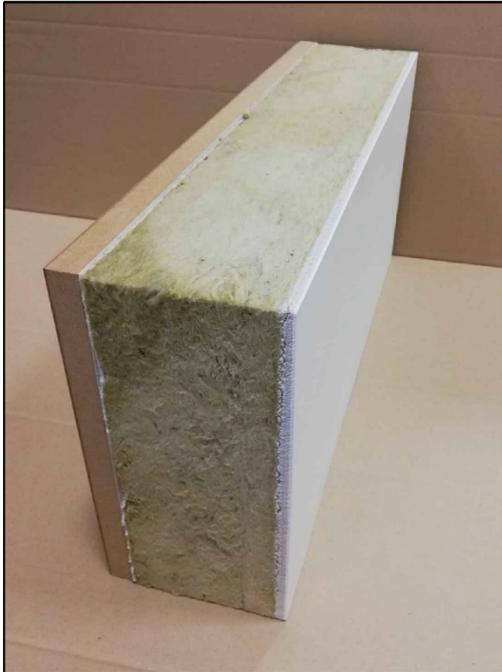
Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

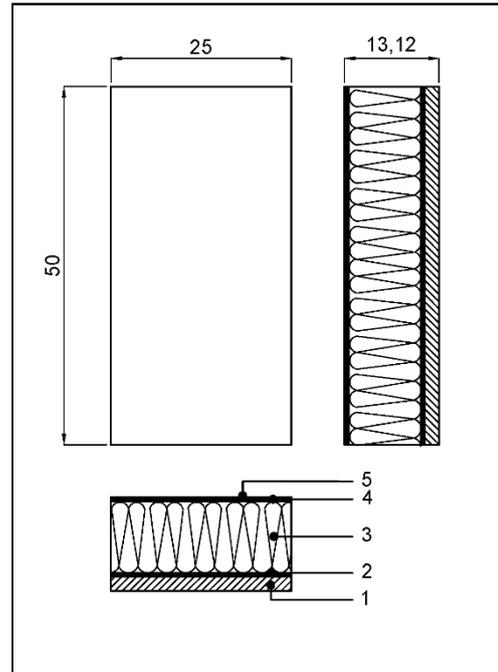
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,86	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,85	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,38	3	Nessun danno	Non presente

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile

MW_MIN_1_SIL_LIS



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
4,52	0,35

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in lana di roccia	Capatect MW Fassadendämmplatte	100
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12 Finitura: Capatect Accento-Spachtel + Capatect Accento Effektspachtel	1,2
			Tot 131,2

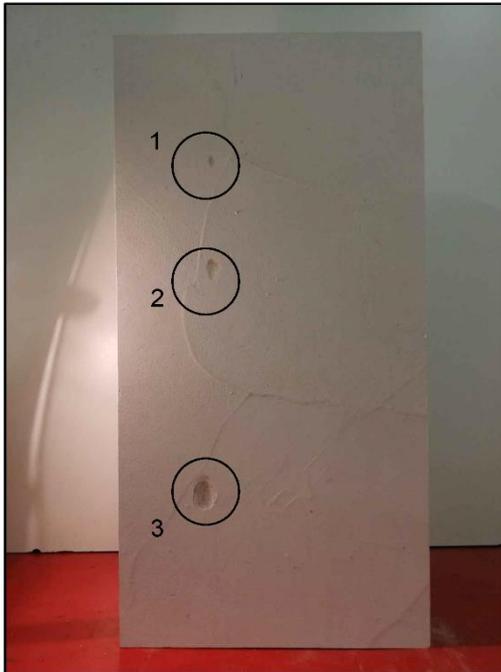
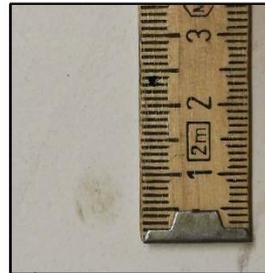


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	9,27	1	Opacizzazione	Trascurabile
A15	14,62	2	Opacizzazione, Ammaccatura lieve	Trascurabile
A20	18,82	3	Fessurazioni, Ammaccatura grave	Critico

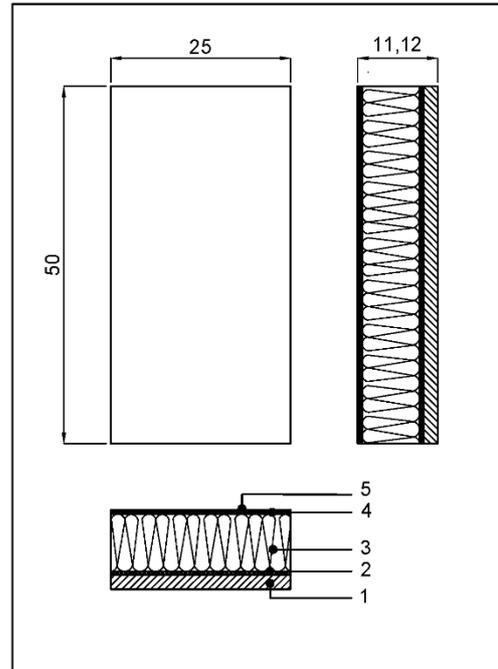
Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	0,9	0,6	Non rilevabile
2	1,8	1	0,8
3	2,4	1,9	1,1

6.4.5 Gruppo 5

WF_MIN_1_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m^2K] (riferita solo al pannello isolante)
4,81	0,5

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di legno	WF Fassadendämmplatte Exterior Compact 1.4	80
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 111,2

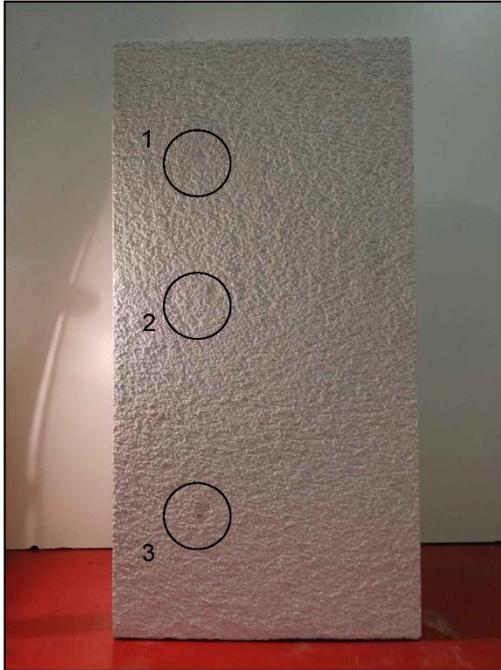


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

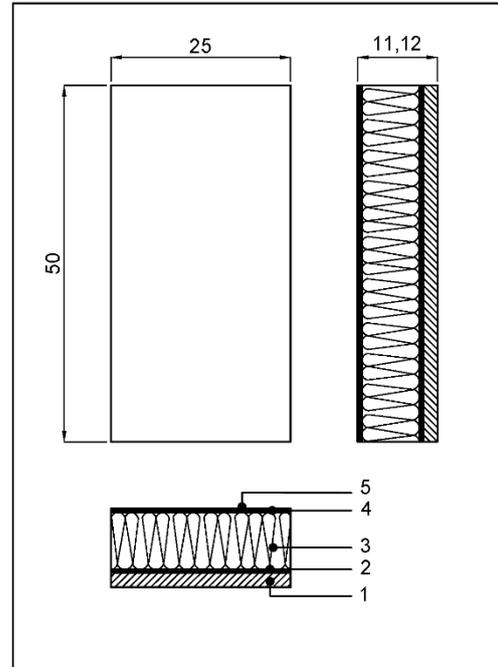
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,86	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,57	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,64	3	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,7	1	Non rilevabile
3	2,3	1,4	0,4

WF_CF2_1_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m^2K] (riferita solo al pannello isolante)
4,26	0,5

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di legno	WF Fassadendämmplatte Exterior Compact 1.4	80
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: OrCa-Spachtel	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 111,2

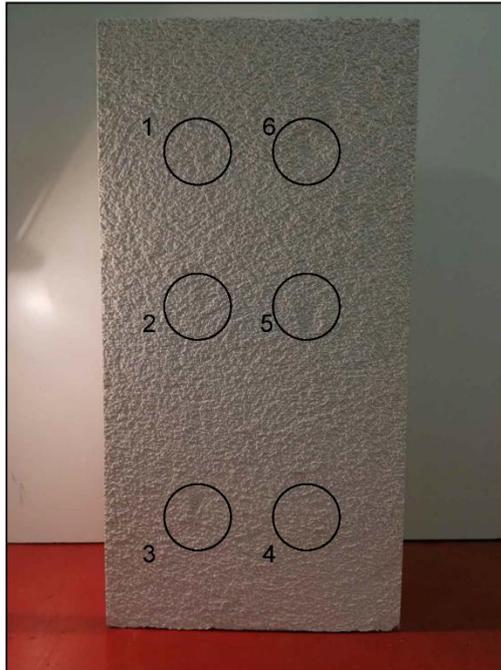


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



Zona di impatto 6

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

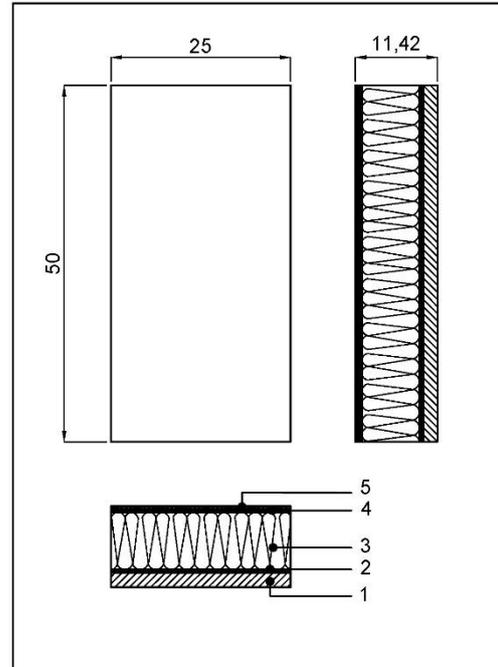
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,16	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,05	2	Scheggiature dei grani	Trascurabile
A20	19,34	3	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto
B20	20,58	4	Nessun danno	Non presente
C20	22,3	5	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto
O20	20,47	6	Ammaccatura grave, Fessurazioni	Critico

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	2	0,8	Non rilevabile
3	2	1,4	0,4
4	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
5	2,5	2,2	0,5
6	4	3,5	1

WF_CF2_2_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m²K] (riferita solo al pannello isolante)
4,47	0,5

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di legno	WF Fassadendämmplatte Exterior Compact 1.4	80
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio con doppia rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: OrCa-Spachtel	8
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 114,2

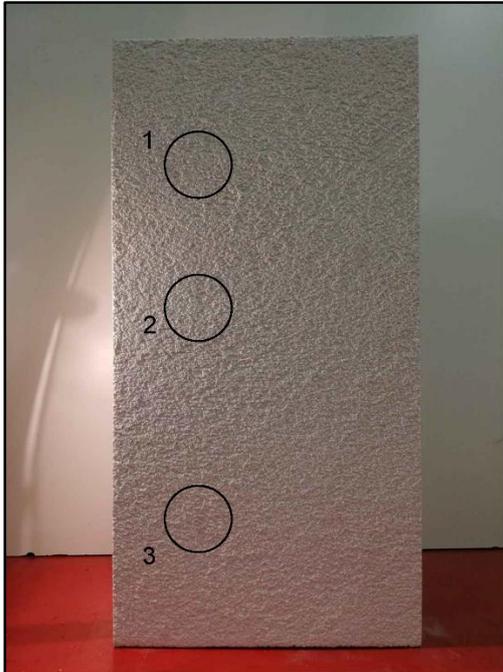


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

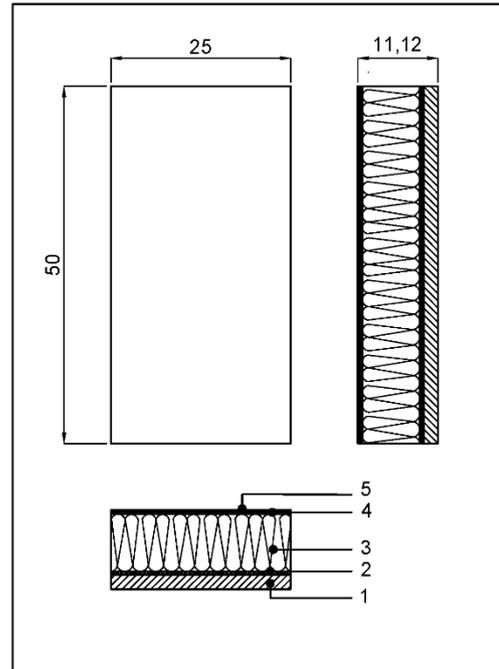
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,16	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,05	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,34	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,3	0,8	Non rilevabile
3	2	1,4	Non rilevabile

WF_MIN_1_SIL_LIS



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
4,65	0,5

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di legno	WF Fassadendämmplatte Exterior Compact 1.4	80
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12 Finitura: Capatect Accento-Spachtel + Capatect Accento Effektspachtel	1,2
			Tot 111,2

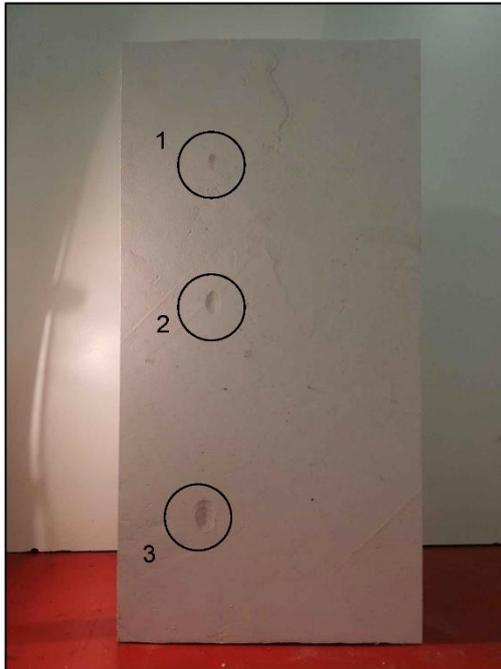
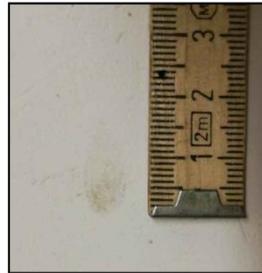


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,12	1	Opacizzazione	Trascurabile
A15	14,78	2	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto
A20	19,29	3	Ammaccatura lieve, Cavillature, Delaminazione	Modesto

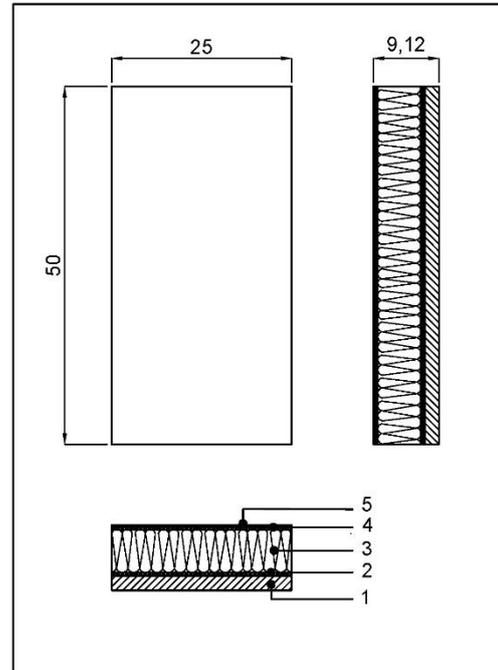
Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	1,3	0,7	Non rilevabile
2	1,9	1,4	0,5
3	2,6	1,7	0,8

6.4.6 Gruppo 6

HF_MIN_1_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
4,14	0,65

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di canapa	Capatect HF Fassadendämmplatte Wall	60
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 91,2

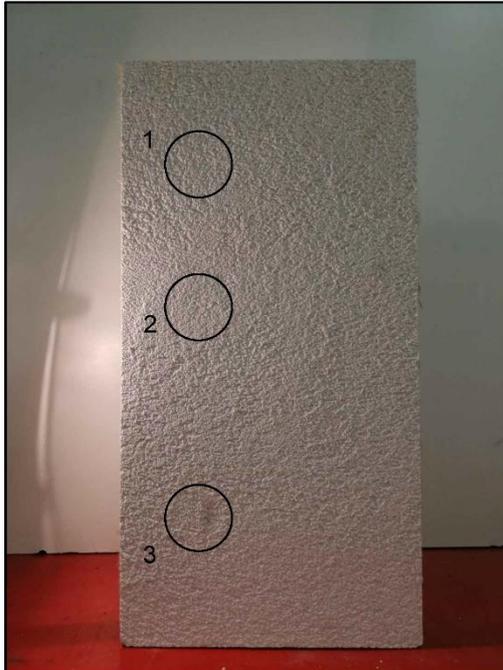


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

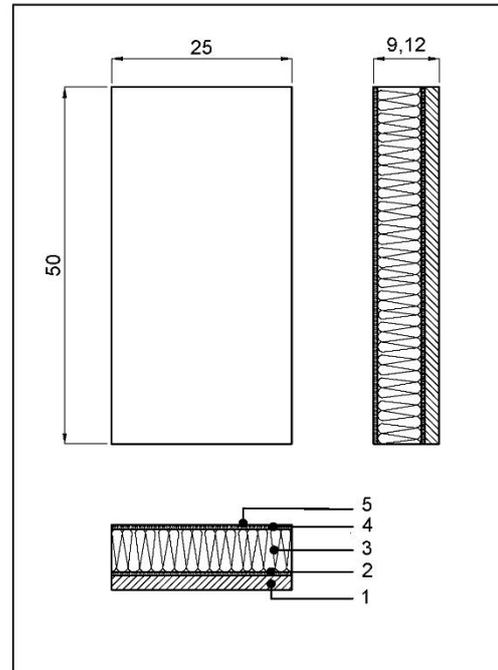
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,05	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,32	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,9	3	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	2,5	2	0,4

HF_CF2_1_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,81	0,65

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di canapa	Capatect HF Fassadendämmplatte Wall	60
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: OrCa-Spachtel	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 91,2

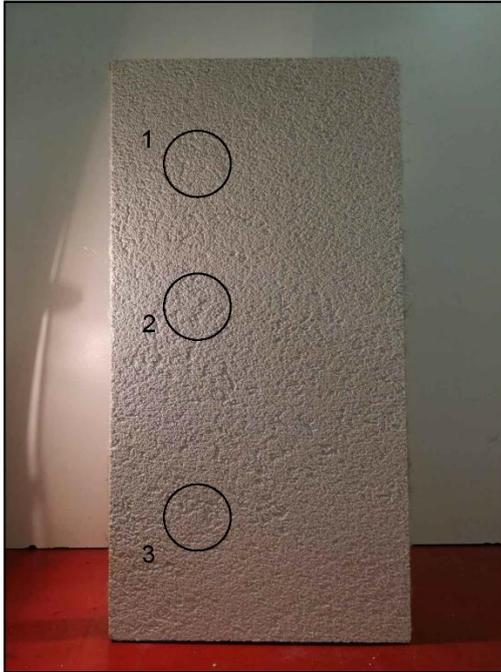
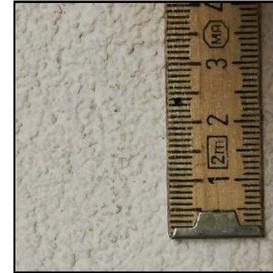


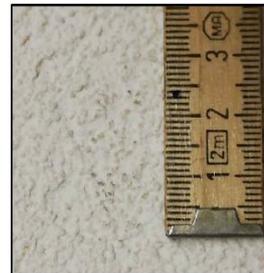
Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

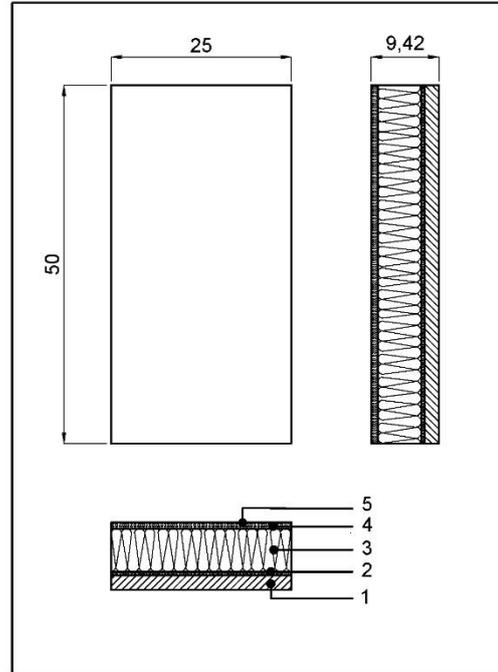
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	9,64	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,48	2	Nessun danno	Non presente
A20	18,29	3	Nessun danno	Non presente

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile

HF_CF2_2_SIL_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,78	0,65

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di canapa	Capatect HF Fassadendämmplatte Wall	60
4	Rasante rinforzato con fibre di carbonio con doppia rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: OrCa-Spachtel	8
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 94,2

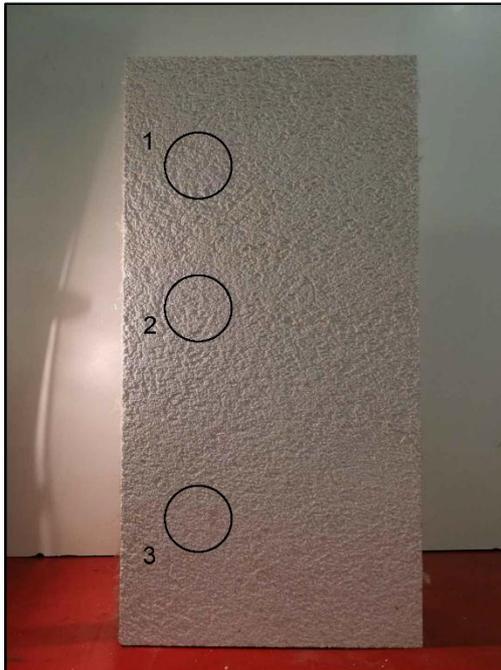


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



Zona di impatto 3

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

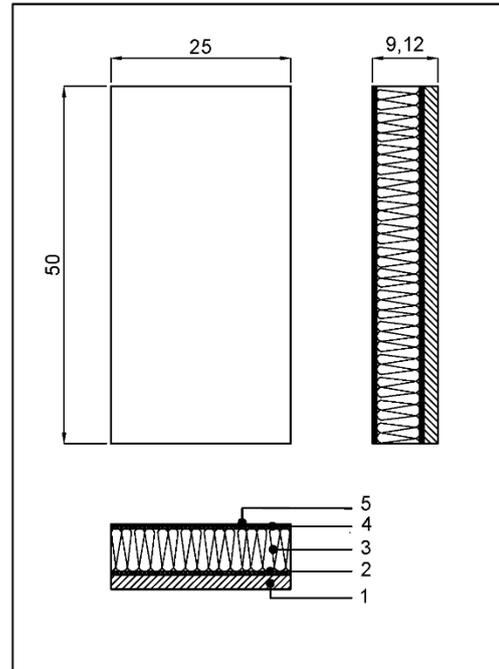
Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	10,05	1	Nessun danno	Non presente
A15	15,32	2	Nessun danno	Non presente
A20	19,9	3	Scheggiatura dei grani	Trascurabile

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
3	1,4	1	Non rilevabile

HF_MIN_1_SIL_LIS



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m^2K] (riferita solo al pannello isolante)
3,95	0,65

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in fibra di canapa	Capatect HF Fassadendämmplatte Wall	60
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12	1,2
			Tot 91,2

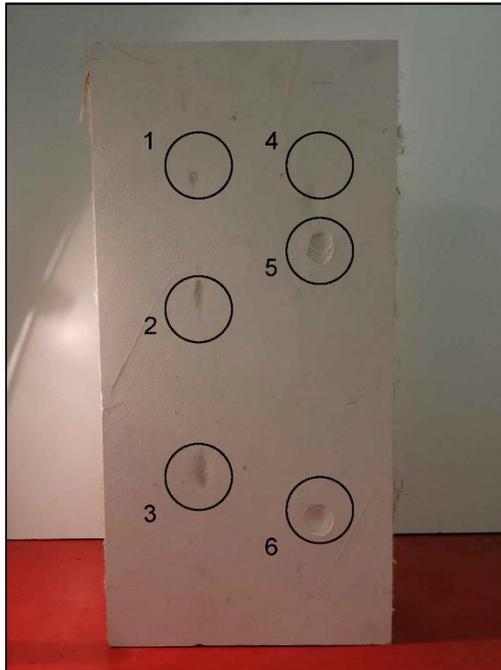
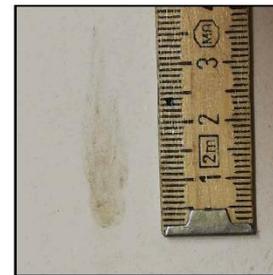


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



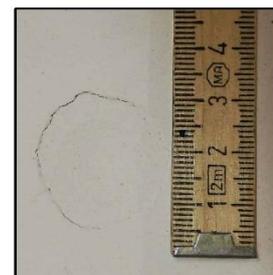
Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



Zona di impatto 6

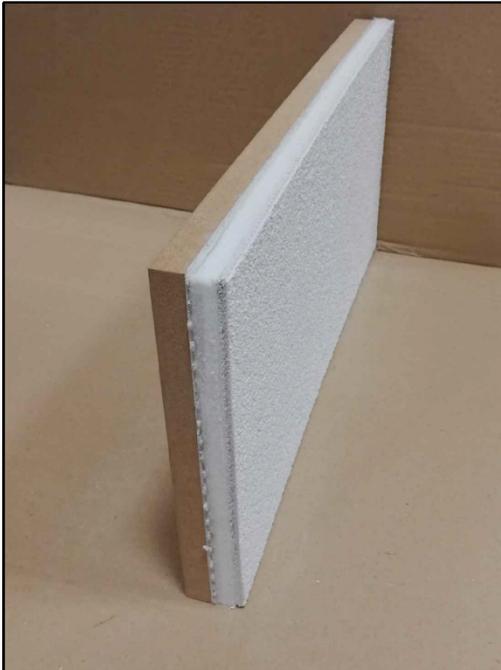
A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,25	1	Opacizzazione	Trascurabile
A15	16,04	2	Opacizzazione	Trascurabile
A20	19,17	3	Ammaccatura lieve	Modesto
B20	22,25	4	Ammaccatura lieve	Modesto
C20	18,8	5	Fessurazioni, Delaminazione,	Critico
O20	19,55	6	Ammaccatura grave, Fessurazioni	Critico

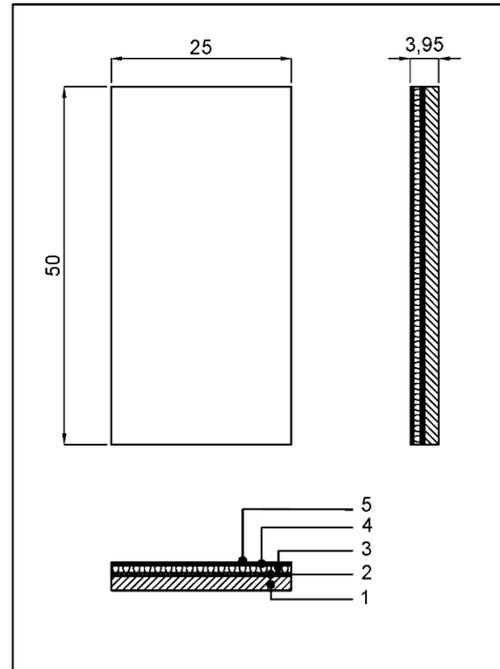
Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	1,2	0,7	Non rilevabile
2	2,5	0,6	Non rilevabile
3	3,3	1,5	0,7
4	Non rilevabile	Non rilevabile	0,5
5	2,6	2,2	1,1
6	2,5	2,5	2

6.4.7 Gruppo 7

AG_MIN_1_ACR_RUV



Provino



Dimensione del provino in cm

Massa M [kg]	Trasmittanza U [W/m ² K] (riferita solo al pannello isolante)
3,52	1,5

Strato	Materiale	Nome del prodotto commerciale	Spessore [mm]
1	MDF	-	20
2	Collante e rasante minerale ad alta adesività	Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	5
3	Pannello in aerogel	Capatect AG Fassadendämmplatte Ultra	10
4	Rasante minerale armato con singola rete	Rete: Capatect Gewebe 650/110 Rasante: Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190	3
5	Finitura	Fondo: Putzgrund Rivestimento: Muresko Putz K12	1,5
			Tot 39,5

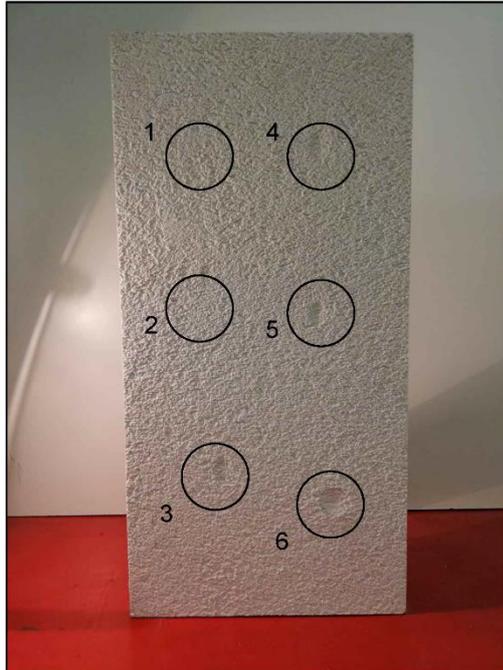


Foto del provino con luce radente dopo la prova di resistenza all'impatto



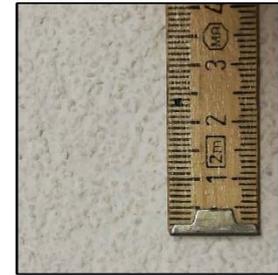
Zona di impatto 1



Zona di impatto 2



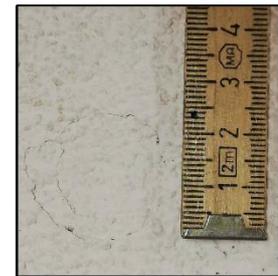
Zona di impatto 3



Zona di impatto 4



Zona di impatto 5



Zona di impatto 6

A: Temperatura ambiente	B: Dopo riscaldamento	C: Dopo raffreddamento	O: Orizzontale
-------------------------	-----------------------	------------------------	----------------

Prova eseguita	Velocità effettiva del lancio [m/s]	Zona di impatto	Lesione	Livello di danno
A10	11,15	1	Nessun danno	Non presente
A15	14,56	2	Scheggiatura dei grani	Trascurabile
A20	19,43	3	Ammaccatura lieve, Cavillature	Modesto
B20	21,35	4	Ammaccatura lieve	Modesto
C20	21,63	5	Cavillature, Ammaccatura lieve	Modesto
O20	20,27	6	Ammaccatura grave, Fessurazioni	Critico

Zona di impatto	Asse maggiore [cm]	Asse minore [cm]	Profondità [mm]
1	Non rilevabile	Non rilevabile	Non rilevabile
2	1,3	1	Non rilevabile
3	2	1,6	0,5
4	2	1,5	0,4
5	2,3	1,8	0,7
6	2,8	2,6	1,4

7 Risultati ottenuti

7.1 Resistenza alla grandine

Provini		A10	A15	A20	B20	C20	O20	Classi di resistenza
GRUPPO 1	PG_MIN_1_ACR_RUV	Green	Blue	Yellow	-	-	-	Classe 20
	PG_CF1_1_ACR_RUV	Green	Green	Blue	Green	Blue	Yellow	Classe superiore alla 20
	PG_CF1_2_ACR_RUV	Green	Green	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	PG_MIN_1_ACR_LIS	Blue	Blue	Yellow	-	-	-	Classe 20
GRUPPO 2	PD_MIN_1_ACR_RUV	Blue	Yellow	Red	-	-	-	Classe 15
	PD_CF3_1_ACR_RUV	Green	Blue	Blue	Green	Blue	Red	Classe superiore alla 20
	PD_CF3_2_ACR_RUV	Green	Blue	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	PD_MIN_1_ACR_LIS	Green	Blue	Yellow	-	-	-	Classe 20
GRUPPO 3	PU_MIN_1_ACR_RUV	Green	Blue	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	PU_CF1_1_ACR_RUV	Green	Blue	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	PU_CF1_2_ACR_RUV	Green	Blue	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	PU_MIN_1_ACR_LIS	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Classe 20
GRUPPO 4	MW_MIN_1_SIL_RUV	Green	Green	Green	-	-	-	Classe superiore alla 20
	MW_CF2_1_SIL_RUV	Green	Green	Blue	Green	Yellow	Yellow	Classe superiore alla 20
	MW_CF2_2_SIL_RUV	Green	Green	Green	-	-	-	Classe superiore alla 20
	MW_MIN_1_SIL_LIS	Blue	Blue	Red	-	-	-	Classe 20
GRUPPO 5	WF_MIN_1_SIL_RUV	Green	Blue	Yellow	-	-	-	Classe 20
	WF_CF2_1_SIL_RUV	Green	Blue	Yellow	Green	Yellow	Red	Classe 20
	WF_CF2_2_SIL_RUV	Green	Blue	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	WF_MIN_1_SIL_LIS	Blue	Yellow	Yellow	-	-	-	Classe 20
GRUPPO 6	HF_MIN_1_SIL_RUV	Green	Green	Yellow	-	-	-	Classe 20
	HF_CF2_1_SIL_RUV	Green	Green	Green	-	-	-	Classe superiore alla 20
	HF_CF2_2_SIL_RUV	Green	Green	Blue	-	-	-	Classe superiore alla 20
	HF_MIN_1_SIL_LIS	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Red	Red	Classe 20
GRUPPO 7	AG_MIN_1_ACR_RUV	Green	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Classe 20

Tabella 29. Matrice riassuntiva dei risultati ottenuti

Prova	Descrizione
A	Tre impatti a temperatura ambiente partendo da 10 m/s a 20 m/s
B	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s, con riscaldamento di circa 10 ore a 50°C e UR 50%
C	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s, con raffreddamento di circa 10 ore a -8°C e UR 70%
O	Impatto a temperatura ambiente a 20 m/s, con il provino in posizione orizzontale

Livello di danno	
Green	Non presente
Blue	Trascurabile
Yellow	Modesto
Red	Critico
-	Non eseguita

Per determinare la massima velocità di impatto a cui ha resistito il provino, quindi la classe di resistenza, si fa riferimento al livello di danno “modesto” (secondo la prova in condizioni ambientali e provino inclinato di 60°). Infatti per tale tipo di danno bisogna intervenire ripristinando lo strato di rivestimento. Questo è necessario poiché a causa delle cavillature (o microfessurazioni) che si sono formate, dopo l’impatto, si avrebbe la penetrazione dell’acqua negli strati sottostanti con le relative conseguenze patologiche sul sistema.

In conclusione, si è potuto osservare che la resistenza all’impatto è influenzata principalmente dallo spessore e dal tipo di materiale di cui è composto lo strato di rivestimento del pannello isolante.

Tuttavia, anche il diverso materiale isolante che compone gli stessi, influenza la resistenza all’impatto. In relazione al fatto che i pannelli isolanti più deformabili dissipano un quantitativo maggiore di energia cinetica, per di più l’energia viene dissipata in modo minore col diminuire dello spessore dell’isolante (come nel caso dell’aerogel). Questo viene dimostrato, in primo luogo, dal fatto che i pannelli in EPS ad alta densità e rivestiti con rasante a base di leganti minerali, hanno riscontrato un grado di danno maggiore rispetto ai pannelli in EPS additivati con grafite e quelli in poliuretano. In secondo luogo, si è osservato che i provini in lana di roccia hanno subito un danneggiamento inferiore rispetto a quelli in fibre di legno e canapa, a parità di spessore e materiale di finitura.

Inoltre, è stata verificata la validità della rasatura rinforzata in fibre di carbonio che, a parità di spessore con la rasatura tradizionale, ha mostrato un livello di danno inferiore a quest’ultima. Mentre i provini con finitura liscia hanno evidenziato di essere i più vulnerabili, in quanto nella maggior parte dei provini si presenta opacizzazione già per velocità di caduta di 10 m/s.

Per quanto riguarda i test in cui il provino è stato condizionato tramite la camera climatica, è stato possibile notare che la maggior parte di essi hanno evidenziato un comportamento più fragile dopo il raffreddamento e più duttile dopo il riscaldamento. Ciò è dovuto probabilmente alla natura polimerica di cui sono composti gli strati di finitura.

7.2 Analisi multicriteri

Al fine di confrontare le diverse tipologie di sistema a cappotto è necessario sviluppare una valutazione critica e sistemica, che tenga conto di molteplici aspetti spesso conflittuali tra loro. Infatti una corretta progettazione implica la conoscenza completa di un prodotto, in modo da utilizzare materiali differenti a seconda del contesto in cui si inseriscono.

Aspetti come la sostenibilità ambientale, i costi, le prestazioni (resistenza meccanica, resistenza termica etc., determinate attraverso prove di laboratorio e in condizione di esercizio) e il comportamento del materiale ad aggressioni di varia natura, che possono accelerarne il naturale decadimento prestazionale.

Per fare questo è necessario attribuire dei pesi, in maniera più o meno soggettiva. Principalmente per questi motivi si è deciso di utilizzare l'analisi multicriteri.

7.2.1 Applicazioni e classificazione

L'espressione metodi di Analisi Multicriteri (AMC) viene usata per descrivere una serie di tecniche valutative che tentano di tenere esplicitamente in considerazione diversi criteri simultaneamente (sia qualitativi, sia quantitativi). Lo scopo è di far emergere i punti di vista degli attori coinvolti e offrire al decisore o ai decisori una base razionale a problemi di scelta che nella realtà risultano sempre più caratterizzati da una molteplicità di obiettivi/criteri, spesso in conflitto tra loro.

Quello delle Analisi Multicriteri è un avanzato campo di studi che si è sviluppato rapidamente nel corso degli ultimi tre decenni, sia a livello di ricerca, sia a livello pratico.

Tale sviluppo, a partire dagli anni '60, è stato motivato dalla consapevolezza che la soluzione ai problemi decisionali reali, per loro natura sempre più complessi, ovvero caratterizzati da una multidimensionalità di obiettivi (spesso interagenti tra loro secondo dinamiche non lineari) e dall'esistenza di molteplici soluzioni possibili, non possa essere cercata sulla base di un approccio unidimensionale (proprio, ad esempio, delle analisi Costi- Benefici)⁴⁹.

I seguenti motivi, sono a favore della crescente importanza dei metodi di comparazione a criteri multipli rispetto a quelli più tradizionali:

- l'impossibilità di includere effetti intangibili e/o non misurabili nelle tecniche di valutazione convenzionali;
- la natura conflittuale dei moderni problemi di pianificazione e valutazione;
- il passaggio dal convenzionale "one shot decision taking" a procedure di processi decisionali istituzionali, in cui molti aspetti di natura politica ed economica giocano un ruolo preponderante;
- l'ambizione, di non trovarsi di fronte ad una soluzione forzata, ma di avere davanti un ampio spettro di possibilità.

Riconoscendo l'imponderabilità di alcuni fattori e l'esistenza di relazioni spesso non lineari tra le componenti di un sistema, si comprende facilmente come l'attenzione sia traslata verso

⁴⁹ Bottero M. e Mondini G., *Dispense del corso di valutazione di impatto ambientale*, Politecnico di Torino, 2016

metodologie più idonee a cogliere e riflettere la complessità e la multidimensionalità dei problemi, quali appunto le tecniche di Analisi Multicriteri.

In altre parole le ipotesi relative a possibili benefici, in questo caso riguardanti le diverse tecnologiche per il sistema a cappotto, sono inserite in un contesto decisionale più ampio e che comprende tutte le variabili che incidono sulla scelta. Rendendo possibile il confronto e l'ordinamento delle alternative attraverso l'uso di dati di varia natura (comunque combinati) e riferiti ad obiettivi anche contrastanti.

I metodi AMC possono essere classificati in base al numero di elementi da trattare, alla natura dell'informazione trattata e alla procedura adottata per rivelare la preferenza del decisore. Di seguito si riportano le caratteristiche della precedente classificazione.

Numero di elementi da trattare: Nel caso in cui il numero di elementi sia finito si parla di metodi multicriteri discreti, mentre nel caso in cui il numero di elementi sia infinito di metodi multiobiettivo continui. Quando si considerano problemi discreti, esistono i seguenti quattro diversi tipi di analisi che possono essere attuati al fine di fornire un significativo supporto al decision maker (Roy, 1985):

1. Individuazione della migliore alternativa o selezione di un numero limitato di migliori alternative (choice).
2. Costruzione di un ordine di classificazione delle alternative dalle migliori alle peggiori (ranking).
3. Classificazione/ordinamento delle alternative in gruppi omogenei predefiniti (classification/sorting).
4. Individuazione delle principali caratteristiche distintive delle alternative (description).

Natura dell'informazione trattata: si distingue fra tecniche quantitative, qualitative e miste.

1. Le tecniche quantitative sono caratterizzate da un processo metodologico comune, utilizzano hard information, ovvero dati quantitativi, e comprendono, tra gli altri, il metodo della sommatoria pesata e i metodi ELECTRE.
2. Le tecniche qualitative e miste non godono di un processo metodologico valido per tutte le informazioni (utilizzano prevalentemente soft information, ovvero informazioni qualitative) e comprendono: il metodo dell'analisi di frequenza, il metodo REGIME, il metodo EVAMIX, l'Analytic Hierarchy Process (AHP) e l'Analytic Network Process (ANP).

Procedura adottata per rivelare la preferenza del decisore:

1. Metodi cosiddetti outranking (Roy e Bouyssou, 1993) impiegano una procedura basata sulla costruzione di relazioni binarie (per lo più di concordanza e discordanza) tra coppie di elementi. Tra questi i più noti sono i metodi ELECTRE.
2. Una seconda categoria di metodi è basata sulla Teoria dell'Utilità Multiattributo (MAUT-Multiple Attribute Utility Theory). L'approccio viene applicato ogni qualvolta vengono aggregati indici attraverso una sommatoria pesata. Appartengono a questa categoria le metodologie Analytic Hierarchy Process (AHP) e Analytic Network Process (ANP).

7.2.2 Sviluppo dell'analisi multicriteri

A seconda del metodo AMC utilizzato la sequenza logica da seguire cambia sensibilmente. Si riportano di seguito le fasi principali in cui si articolano i metodi multicriterio.

1. Definizione del contesto decisionale. Obiettivi dell'AMC e definizione dei decisori e degli attori chiave.
2. Individuazione delle alternative.
3. Individuazione degli obiettivi e dei criteri.

Principali requisiti per la definizione dei criteri di valutazione:

- **Completezza:** tutti gli aspetti importanti sono inclusi nel modello.
- **Operatività:** è importante che ogni alternativa possa essere valutata dal punto di vista di ogni criterio. La valutazione può essere oggettiva (grandezza fisiche, misurabili) oppure soggettiva (aspetti intangibili o non misurabili direttamente).
- **Dimensione:** bisogna evitare di considerare un numero troppo elevato di criteri, soprattutto se ridondanti, perché lo sviluppo della valutazione e la comunicazione dei risultati finali possono diventare difficoltose.

Nel caso dell'AHP, permettono di prendere in considerazione criteri tangibili e intangibili e si basano sia su misure, dati e statistiche di natura quantitativa sia su informazioni di carattere qualitativo (giudizi di esperti, preferenze e feelings del decisore, etc.).

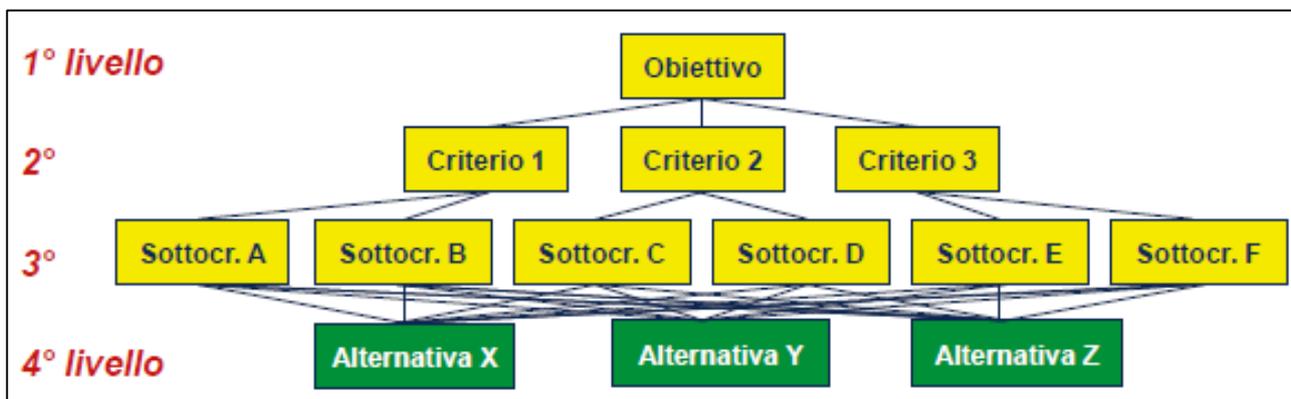


Figura 70. Struttura gerarchica dell'AHP. Fonte: Bottero M. e Mondini G., *Dispense del corso di valutazione di impatto ambientale*, Politecnico di Torino, 2016

4. Definizione delle performance delle azioni rispetto ai criteri di valutazione individuati.

Una volta stabiliti criteri, è necessario stimare la performance di ogni alternativa. La valutazione normalmente viene sviluppata secondo una matrice di valutazione multicriteri. Tale matrice è rappresentata da una tabella dove sulle righe sono individuate le alternative e sulle colonne i criteri. Ogni cella della matrice definisce la valutazione della performance di un'alternativa rispetto ad uno specifico criterio. Le valutazioni non sono espresse nella stessa unità di misura.

5. Pesatura. Assegnazione di pesi ai criteri di valutazione per riflettere l'importanza all'interno del problema decisionale.

Il concetto di “ponderazione” assume significati molto diversi a seconda nel metodo AMC impiegato per la valutazione. I principali metodi per la definizione dei pesi in un AMC sono: Il metodo SWING (particolarmente utile nei modelli basati sulla Teoria dell’Utilità Multi-Attributo), il metodo del confronto a coppie (alla base dei metodi AHP e ANP) e il metodo Simos-Figueira-Roy (SRF) (particolarmente impiegato nei modelli ELECTRE).

Nell’AHP la determinazione dell’importanza dei diversi elementi è basata sul principio del confronto a coppie. I confronti a coppie tra i vari elementi sono sviluppati rispetto alla loro importanza nei confronti dell’elemento “sorgente” (ovvero che sta al livello superiore), sulla base di una scala a 9 punti. In altre parole si crea una relazione binaria di preferenza tra i due elementi, mediante l’assegnazione di un punteggio tratto da una scala a 9 punti (“scala fondamentale di Saaty”).

Intensità	Definizione
1	Importanza uguale
3	Importanza moderatamente maggiore
5	Importanza forte
7	Importanza molto forte
9	Estrema importanza
2,4,6,8	Valori intermedi

Figura 71. Scala fondamentale di Saaty

I valori numerici stabiliti costituiranno delle matrici quadrate di confronto a coppie degli elementi. Una volta compilate le varie matrici di confronto a coppie, è possibile determinare per ognuna la priorità dei rispettivi componenti. Questa operazione viene effettuata attraverso l’estrazione, da ogni matrice, del principale vettore priorità che rappresenta in termini numerici la sintesi dei giudizi di preferenza espressi.

I valori numerici individuati vengono posti in matrici quadrate di confronto a coppie degli elementi, costruite ad ogni livello della gerarchia:

	A	B	C	...	n
A	1				
B		1			
C			1		
...					
n					1

Figura 72. Struttura della matrice di confronto a coppie

Le matrici di confronto a coppie sono quadrate, hanno la diagonale formata da elementi uguali a 1 e godono della proprietà di reciprocità.

6. Combinazione dei pesi e delle performance per derivare il valore finale.
7. Analisi dei risultati.

7.2.3 Scelta del sistema ETICS

Il metodo multicriterio adottato in questo lavoro di tesi, è l'AHP - Analytic Hierarchy Process (Thomas Saaty, 1980), il quale restituisce come input finale le alternative considerate in ordine di priorità.

Vista la numerosità dei provini a disposizione, l'analisi viene eseguita solo sulla tipologia di pannelli composti da rasatura a base di leganti naturali e finitura ruvida. I due sistemi in EPS vengono considerati come un'unica alternativa, dato che non ci sono sostanziali differenze tra essi. In totale le alternative considerate sono sei. Il contesto considerato per l'analisi è la Pianura Padana.

Le fonti principali su cui è fondata l'analisi provengono dalla Rivista trimestrale: *ilProgettoSostenibile Ricerca e tecnologie per l'ambiente costruito*, Anno 7 - n° 22-23 giugno-settembre 2009⁵⁰, dai listini prezzi e le schede tecniche della Caparol.

I criteri che sono stati presi in considerazione sono:

- **Sostenibilità ambientale.** Criterio in cui vengono considerati gli aspetti relativi alla riciclabilità, l'utilizzo di materie prime, i processi e l'energia impiegata durante la fabbricazione, emissioni. In altre parole, si tengono in considerazione gli impatti che la sua produzione ha sull'ambiente, nell'arco del ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino al suo smaltimento. Quindi nel confronto a coppie ha ricevuto un punteggio maggiore il sistema più sostenibile.
- **Prezzi:** Criterio riferito al mercato del Nord Italia, in cui sono compresi anche i costi di trasporto.
- **Caratteristiche fisico-tecniche:** Criterio che tiene conto delle performance in esercizio e che quindi caratterizzano il benessere termoigrometrico degli ambienti interni. Vengono analizzati non solo gli aspetti di isolamento acustico e termico, ma anche l'inerzia termica, la permeabilità al vapore, l'assorbimento dell'acqua e la resistenza meccanica. Quindi nel confronto a coppie ha ricevuto un punteggio maggiore il sistema più performante durante il normale impiego.
- **Durabilità:** Criterio considerato come definito dalla UNI 11156-1:2006 "Per durabilità di un prodotto per l'edilizia si intende la capacità di un prodotto di mantenere i livelli delle prestazioni e delle caratteristiche funzionali richieste nel tempo, sotto l'influenza di azioni prevedibili." Vengono tenute in considerazione il comportamento igrotermico, il possibile deterioramento dovuto ad attacchi biologici o da insetti, il comportamento al fuoco e la resistenza all'impatto da grandine. Gli ultimi due rientrano nel caso particolare di

⁵⁰ Caldera C., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018

prestazione eccezionali e puntuali. Quindi nel confronto a coppie ha ricevuto un punteggio maggiore il sistema con una durabilità maggiore.

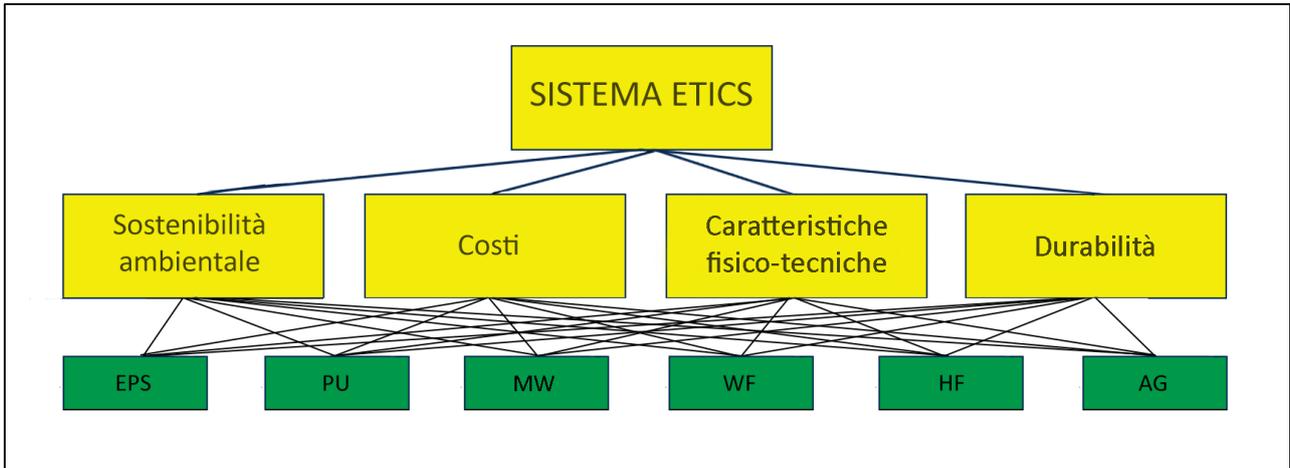


Figura 73. Struttura gerarchica del problema decisionale

Definiti l'obiettivo, i criteri e le alternative viene svolto il confronto a coppie tra gli elementi del secondo livello della struttura gerarchica, ovvero i criteri, utilizzando la scala di valori indicata in nella Figura 70 (Scala fondamentale di Saaty).

Trattandosi di 4 criteri, si è costruita una matrice di ordine 4 x 4:

	SOSTEN. AMBIENTALE	PREZZI	CARAT. FISICO- TECNICHE	DURABILITA'
SOSTEN. AMBIENTALE	1	3	2	3
PREZZI	1/3	1	1	2
CARAT. FISICO-TECNICHE	1/2	1	1	2
DURABILITA'	1/3	1/2	1/2	1

Tabella 30. Matrice di confronto a coppie tra i criteri considerati

Successivamente si estrae l'autovettore (V) principale della matrice di confronto a coppie, che viene normalizzato per ricavare il vettore priorità del secondo livello (A).



Figura 74. Calcolo semplificato dell'autovettore. Fonte: Rebaudengo M., *Dispense del corso fattibilità e valutazione economica dei progetti - Le analisi multicriteri*, Politecnico di Torino, 2019

V
2,060
0,904
1,000
0,537

Somma = 4,501

A
0,458
0,201
0,222
0,119

Somma = 1,000

In modo analogo si procede con il terzo livello della scomposizione gerarchica, viene svolto il confronto a coppie tra le alternative per ogni criterio ottenendo, quindi, 4 matrici 6x6. Le matrici di confronto a coppie vengono riportate di seguito insieme ai relativi autovettori normalizzati.

SOSTEN. AMBIENTALE							V	B
	EPS	PU	MW	WF	HF	AG		
EPS	1	3	1/4	1/5	1/5	4	0,702	0,084
PU	1/3	1	1/5	1/6	1/6	3	0,421	0,050
MW	4	5	1	1/3	1/2	5	1,598	0,191
WF	5	6	3	1	2	3	2,854	0,341
HF	5	6	2	1/2	1	7	2,438	0,292
AG	1/4	1/3	1/5	1/3	1/3	1	0,350	0,042

Tabella 31. Matrice di confronto a coppie per il criterio della sostenibilità ambientale e il relativo vettore delle priorità (B)

PREZZI							V	C
	EPS	PU	MW	WF	HF	AG		
EPS	1	4	2	3	4	8	3,026	0,399
PU	1/4	1	1/3	1	2	4	0,935	0,123
MW	1/2	3	1	3	4	5	2,117	0,279
WF	1/3	1	1/3	1	2	1/4	0,618	0,081
HF	1/4	1/2	1/4	1/2	1	3	0,600	0,079
AG	1/8	1/4	1/5	1/4	1/3	1	0,284	0,037

Tabella 32. Matrice di confronto a coppie per il criterio dei costi e il relativo vettore delle priorità (C)

CARATTER. FISICO-TECNICHE							V	D
	EPS	PU	MW	WF	HF	AG		
EPS	1	1/3	3	4	4	1/5	1,214	0,144
PU	3	1	5	5	5	1/3	2,236	0,266
MW	1/3	1/4	1	2	2	1/4	0,661	0,078
WF	1/4	1/5	1/2	1	1/2	1/6	0,357	0,042
HF	1/4	1/5	1/2	2	1	1/5	0,464	0,055
AG	5	3	4	6	5	1	3,488	0,414

Tabella 33. Matrice di confronto a coppie per il criterio delle caratteristiche fisico-tecniche e il relativo vettore delle priorità (D)

DURABILITA'							V	E
	EPS	PU	MW	WF	HF	AG		
EPS	1	1/2	1/3	4	5	2	1,372	0,236
PU	2	1	1	5	6	2	2,221	0,382
MW	3	1	1	4	5	2	2,221	0,382
WF	1/4	1/5	1/4	1	1/2	1/4	0,341	0,059
HF	1/5	1/6	1/5	1/2	1	1/3	0,322	0,055
AG	1/2	1/2	1/2	4	3	1	1,070	0,184

Tabella 34. Matrice di confronto a coppie per il criterio delle caratteristiche fisico-tecniche e il relativo vettore delle priorità (E)

Abbinando i vettori B, C, D ed E si ottiene la matrice delle priorità del terzo livello, che moltiplicata per il vettore priorità del secondo livello permette di ricavare l'ordine finale delle priorità (tra le alternative):

$$\begin{bmatrix} 0,084 & 0,399 & 0,144 & 0,236 \\ 0,050 & 0,123 & 0,266 & 0,382 \\ 0,191 & 0,279 & 0,078 & 0,382 \\ 0,341 & 0,081 & 0,042 & 0,059 \\ 0,292 & 0,079 & 0,055 & 0,055 \\ 0,042 & 0,037 & 0,414 & 0,184 \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,458 \\ 0,201 \\ 0,222 \\ 0,119 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,179 \\ 0,152 \\ 0,207 \\ 0,189 \\ 0,168 \\ 0,141 \end{pmatrix}$$

Classificando le alternative, espresse in percentuale e in ordine di priorità, si ottiene:

MW	20,658 %
WF	18,894 %
EPS	17,879 %
HF	16,817 %
PU	15,240 %
AG	14,069 %

Tabella 35. Classifica delle alternative

L'AHP porta quindi alla scelta della lana di roccia (MW) come l'alternativa progettuale più adatta al contesto di riferimento.

Conclusioni

I risultati delle sperimentazioni sui provini, svolte mediante l'utilizzo del simulatore alla grandine presente nel laboratorio del DISEG (prove prestazionali sui sistemi costruttivi) al Politecnico di Torino, sono stati raccolti e documentati mediante operazioni di rilievo sia qualitative, a mezzo di foto, che quantitative, tramite opportune misurazioni.

Durante l'organizzazione dei risultati ottenuti, si è riscontrata la necessità di avere una metodologia di rilievo del danno più accurata e strumenti più idonei (ad esempio microscopi e laser scanner), dei quali si potrebbe pensare di poter usufruire in futuro. Per quanto riguarda le ipotesi avanzate durante la fase sperimentale, i quali meriterebbero studi e indagini più mirate, questi riguardano principalmente la corretta simulazione dell'effetto della grandine: inclinazione del supporto, velocità e dimensione della pallina, tipi di condizionamento (caldo e freddo) e dimensioni del provino.

Ulteriori possibili sviluppi futuri potrebbero riguardare anche altri sistemi di involucro verticale, con o senza isolamento, in riferimento ai più diversi materiali e tecnologie presenti sul mercato edilizio.

A corredo della tesi è stata sviluppata un'analisi multicriterio che permette di valutare in modo critico e sistemico i molteplici aspetti che riguardano i diversi sistemi ETICS, approfonditi nelle precedenti pagine.

In particolare, nel nostro caso, è stato applicato il metodo multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process). Da questa analisi è risultato che il sistema di isolamento termico esterno che ha ottenuto la priorità tra le diverse alternative è la lana di roccia. Tuttavia data l'uniformità dei risultati si potrebbe pensare di implementare il metodo: rimuovendo o aggiungendo criteri e/o alternative oppure affinando la ricerca e l'affidabilità dei dati utilizzati per i confronti a coppie.

Bibliografia

- Morra L. e Caldera C. in CNR “Progetto finalizzato edilizia-innovazione”, *Controllo e qualificazione dell'attività manutentiva*, Bologna, 1996
- Caldera C., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018
- Maggi P.N., *Metodi e strumenti di progettazione edilizia*, Clup, Milano, 1988
- Piantanida P., *Dispense del corso Architettura tecnica e Progettazione edilizia*, Politecnico di Torino, Torino, 2016
- European Insulation Manufactures Association, *Ecofys VII- U values for Better Energy Performance of Buildings*, EURIMA, 2007
- De Angelis E. (edizione italiana a cura di), *Materiali isolanti*, UTET Scienze Tecniche, Milano, 2009
- Murano G., *Novità, programmi di lavoro del SC1 del CTI e proposte*, UNI, Milano, 2013
- Vancetti R., *Dispense del corso Laboratorio di progettazione integrale*, Politecnico di Torino, Torino, a.a. 2017/2018
- Consorzio Cortexa, *Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto*, 2019
- Di Giulio R., *Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, 2003
- Bardelli P. G. e Ribaldone M., *Curare documentare mantenere*, Alinea editrice, Firenze, 2009
- Di Giulio R., *La manutenzione programmata*, in “Manuale di progettazione edilizia”, vol.6, Hoepli, Milano, 1995
- Rejna M. (a cura di), *Modificazioni patologiche in edilizia*, Epitesto, Milano, 2005
- Gasparoli P., *Le superfici esterne degli edifici*, Alinea editrice, Firenze, 2002
- Lee R., *Manutenzione edilizia programmata*, Hoepli, Milano, 1993
- Di Giulio R., *Manuale di Progettazione Edilizia*, Hoepli, Milano, 1995
- Daniotti B. e Spagnolo S. L., *La gestione del ciclo di vita dei componenti e degli organismi edilizi*, Politecnico di Milano – BEST Via Ponzio 31, Milano, 2006
- Di Giulio R., *Intonaci a cappotto - Manuale di manutenzione edilizia*, Maggioli Editori, Ravenna, 2003
- Re Cecconi F. e De Angelis E., *Guasti in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 2010
- Daniotti B., *Durabilità e manutenzione edilizia*, UTET Scienze e tecniche, Lavis (TN), 2012
- Nelva R., *L'effetto della grandine su cupole e lucernari. Sperimentazioni e Norme*, Zenital, Monza, 2008

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali (a cura del), *Forti temporali del 06.07.2019*, Arpa, Torino, 2019

Kistler S. S., *Coherent Expanded Aero-gels and Jelliers*, Nature, 1931

Kistler S. S., *Coherent expanded aero- gels*, Journal of Physical Chemistry, 1932

Tesi di laurea di Grosso G., *analisi numerico sperimentale di rasature isolanti a base aerogel*, Politecnico di Torino, a.a.2017/18 (Relatore: Prof. Perino Marco, Correlatori: Arch. Fantucci Stefano e Dott. Fenoglio Elisa)

Smirnova I., Suttiruengwong S., Arlt W., *Feasibility study of hydrophilic and hydrophobic silica aerogels as drug delivery systems*, Journal of Non-Crystalline Solids 350: 54-60, 2004

Buratti C., Moretti E., Belloni E., *Aerogel plasters for building energy efficiency*, Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency, 2016

Bottero M. e Mondini G., *Dispense del corso di valutazione di impatto ambientale*, Politecnico di Torino, 2016

Rivista trimestrale, *ilProgettoSostenibile Ricerca e tecnologie per l'ambiente costruito*, Anno 7 - n° 22-23 giugno-settembre 2009

Rebaudengo M., *Dispense del corso fattibilità e valutazione economica dei progetti - Le analisi multicriteri*, Politecnico di Torino, 2019

Sitografia

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en (aggiornato al 14/11/2019)

<http://old.enea.it/com/web/pubblicazioni/rapporto99.html> (aggiornato al 14/11/2019)

<https://www.agenziacasaclima.it/it/certificazione-edifici/classi-casaclima-1409.html> (aggiornato al 14/11/2019)

<https://www.anit.it/anit-risponde/classificazione-acustica-delle-unita-immobiliari-sintesi-anit/> (aggiornato al 14/11/2019)

https://it.wikipedia.org/wiki/Isolamento_termico (aggiornato al 28/10/2019)

<http://www.teqtix.com/knowledgebase/> (aggiornato al 2017)

https://it.wikipedia.org/wiki/Resine_fenoliche (aggiornato al 19/06/2019)

<https://www.cortexa.it/norma/certificazione-cappotto-termico/> (aggiornato al 14/11/2019)

http://www.aipe.biz/pdf/isolamento/13_isolamento_esterno_cappotto.pdf (aggiornato al 14/11/19)

<http://geomebsrls.weebly.com/indagini-termografiche.html> (aggiornato al 14/11/2019)

<http://www.proarteitaly.it/tecniche.asp#thumb> (aggiornato al 2011)

<http://www.proarteitaly.it/tecniche.asp#thumb> (aggiornato al 2011)

<https://www.quotidiano.net/cronaca/grandine-come-si-forma-1.4692530> (aggiornato al 14/07/19)

<http://www.treccani.it/90anni/parole/1938-polistirolo.html> (aggiornato al 14/11/2019)

<https://www.chimicamo.org/chimica-generale/polistirolo.html> (aggiornato al giugno 2019)

<https://www.pelma.it/la-storia-del-poliuretano/> (aggiornato al 14/11/2019)

<https://www.chimicamo.org/chimica-generale/poliuretani.html> (aggiornato al 02/11/2013)

<https://ristrutturaconmade.it/lana-di-roccia-che-cose-e-come-si-realizza/> (aggiornato al 27/10/16)

<https://it.wikipedia.org/wiki/Aerogel> (aggiornato al 26/10/2019)

<http://www.zerogaerogel.com/aboutaerogel.html> (aggiornato al 2009)

https://www.nasa.gov/mission_pages/stardust/spacecraft/aerogel-index.html (aggiornato al 05/02/2008)

<https://it.wikipedia.org/wiki/Silossani> (aggiornato al 22/04/2019)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Acrllico_\(fibra\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Acrllico_(fibra)) (aggiornato al 28/08/2019)

Allegati

POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEI SISTEMI EDILIZI E TERRITORIALI

SIMULATORE DI GRANDINE APPARECCHIATURA SPERIMENTALE

MANUALE DI USO E MANUTENZIONE

NORMA TECNICA UNI 10890:2000

DATA 30 GIUGNO 2000

**NORMA ITALIANA
SPERIMENTALE**

Il simulatore di grandine segue la norma UNI 10890 per quanto riguarda caratteristiche dell'apparecchiatura nonché le procedura di prova. Di seguito si riportano alcune descrizioni della norma.

Elementi complementari di copertura

Cupole e lucernari continui di materiale plastico UNI 10890

Determinazione della resistenza alla grandine e limiti di accettazione.

DESCRITTORI

Copertura, cupola, lucernario, plastica, prova, determinazione, resistenza alla grandine, requisito, limite di accettazione.

CLASSIFICAZIONE ICS

91.060.20-60

SOMMARIO

La norma, sperimentale, descrive un metodo per la valutazione del comportamento di cupole e lucernari continui di materiale plastico per coperture sotto l'impatto simulato della grandine.

ORGANO COMPETENTE Commissione "Edilizia"

RATIFICA

Presidente dell' UNI, delibera del 22 maggio 2000

PREMESSA

La presente norma sperimentale è stata elaborata dalla Commissione "Edilizia" dell'UNI, nell'ambito del Gruppo di lavoro 3 "Coperture discontinue" della Sottocommissione 3 "Coperture, impermeabilizzazioni e filtrazione".

È stata esaminata ed approvata dalla Commissione Centrale Tecnica, per la pubblicazione come norma sperimentale, il 18 novembre 1999.

INDICE

01	DATI RELATIVI AL PROTOTIPO	pag. 03
02	DATI RELATIVI AL RESPONSABILE DEL PROTOTIPO	pag. 03
03	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	pag. 03
04	PRINCIPIO	pag. 03
05	PROVINO	pag. 04
06	CONDIZIONAMENTO	pag. 04
07	APPARECCHIATURA	pag. 04
08	PROCEDIMENTO	pag. 06
09	VALUTAZIONE DEI RISULTATI	pag. 08
10	RESOCONTO DI PROVA	pag. 08
11	NORME DI SICUREZZA E ANTINFORTUNISTICA	pag. 09
12	DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALI	pag. 09
13	MANUTENZIONE	pag. 09
14	GUASTI E DISFUNZIONI	pag. 10
15	SMALTIMENTO RIFIUTI	pag. 10

01 DATI RELATIVI AL PROTOTIPO

Il prototipo definito simulatore di grandine segue la norma UNI 10890 per quanto riguarda caratteristiche dell'apparecchiatura nonché le procedure di prova.

Il prototipo è costituito da : una struttura meccanica
un'apparecchiatura elettronica

La struttura meccanica

La struttura meccanica è costituita da

Un telaio fisso in acciaio, un telaio mobile inclinabile per simulare la pendenza della falda di un tetto.

Un serbatoio cilindrico, fissato al telaio fisso, delle dimensioni di Φ 22 cm per 80 cm di altezza per un volume di aria di $\sim 30 \text{ dm}^3$.

2 pistoncini elettromagnetici atti a trattenere il proiettile costituito da palline sferiche di poliammide (PA) di Φ 40 mm e massa $(38,5 \pm 0,5)\text{g}$.

La canna di tiro è in posizione verticale in modo che la linea di tiro sia verticale e la direzione verso il basso.

Due manometri di cui uno di precisione per determinare la pressione di tiro.

Motore di aspirazione del proiettile di tiro.

L'apparecchiatura elettronica

Un dispositivo di misurazione della velocità del proiettile.

Computer per l'acquisizione dei dati.

Quadri di controllo e comando.

02 DATI RELATIVI AL RESPONSABILE DEL PROTOTIPO

PROF. Riccardo Nelva Professore Ordinario con cattedra in Architettura Tecnica

03 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma descrive un metodo di prova per valutare il comportamento di elementi di copertura o elementi di illuminazione sottotetto tipo cupole e lucernari continui di materiale plastico per coperture sotto l'impatto simulato della grandine.

04 PRINCIPIO

Il metodo si basa sulla determinazione della velocità d'impatto di una sfera di caratteristiche note che provoca l'eventuale rottura dell'elemento sottoposto a prova.

05 PROVINO

Il provino è costituito da un singolo prodotto. Per lucernari continui la prova viene effettuata su un modulo.

06 CONDIZIONAMENTO

Il prodotto deve rimanere in ambiente a temperatura compresa tra 18°C e 25°C per 24 h.

Sono previsti due tipi di condizionamento:

Tipo A: nessun ulteriore condizionamento;

Tipo B: prima della prova si copre per 4 minuti la zona d'impatto con uno strato di ghiaccio tritato di spessore 1,5 cm + 2 cm (almeno su una superficie rettangolare di 30 cm x 15 cm per prove sul bordo piano, oppure su una superficie triangolare di 30 cm x 30 cm per impatti sull'angolo o sullo spigolo). La quantità di ghiaccio impiegata deve essere circa 500 g. la prova deve essere eseguita entro 10 secondi successivi a quando viene tolto lo strato di ghiaccio.

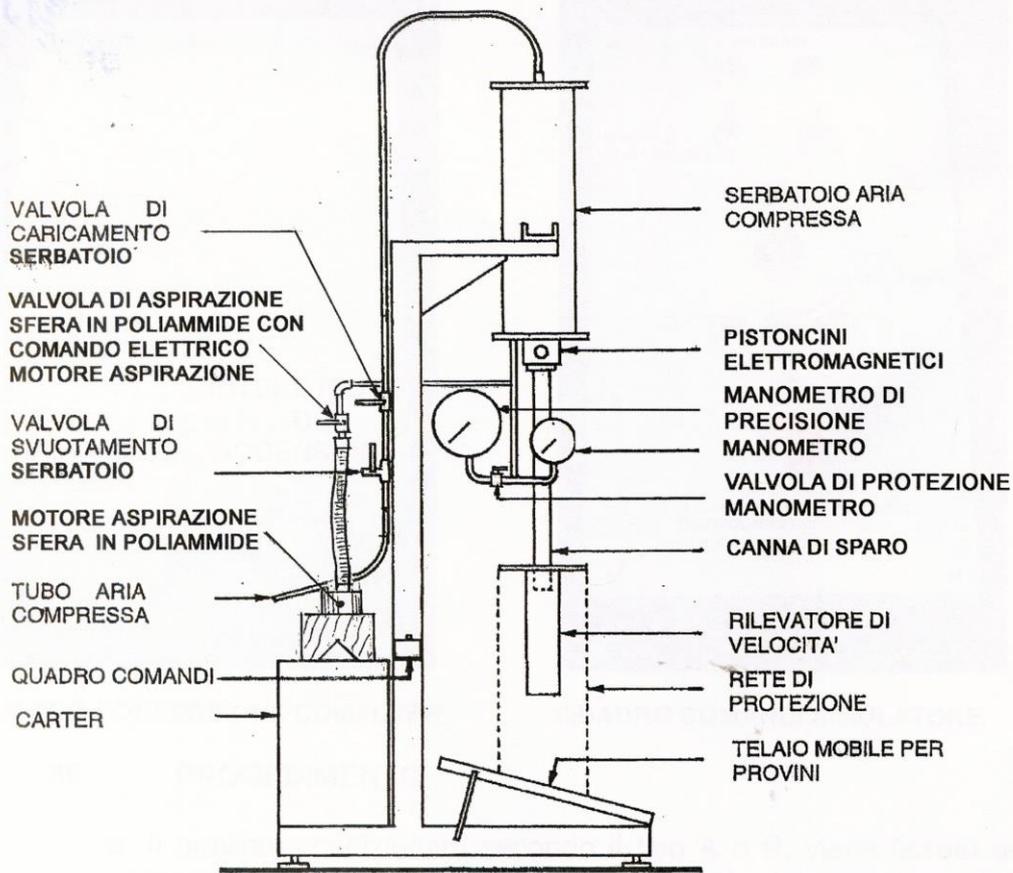
La scelta del tipo di condizionamento A o B è funzionale all'inerzia termica del prodotto (spessore e tipo di materiale) e della sensibilità allo sbalzo termico del materiale.

07 APPARECCHIATURA

Apparecchiatura che permette di proiettare contro il provino una sfera di caratteristiche note ad una velocità prestabilita.

L'apparecchiatura deve avere le seguenti caratteristiche:

- la linea di tiro deve essere verticale e la direzione verso il basso;
- l'energia deve essere fornita tramite aria compressa;
- la velocità iniziale della sfera deve essere controllata dalla pressione d'aria misurata tramite manometro;
- un dispositivo di misurazione della velocità della sfera con accuratezza di misura di 0,5%;
- il proiettile deve essere costituito da palline sferiche di poliammide (PA) di 40 mm e massa di $(38,5 \pm 0,5)$ g;
- un opportuno supporto permette il fissaggio degli elementi sottoposti a prova, come nelle condizioni reali di posa in opera.



QUADRO COMANDO MOTORE DI ASPIRAZIONE



QUADRO CONNESSIONE COMPUTER



QUADRO COMANDI SIMULATORE

08 PROCEDIMENTO

- a. Il provino, condizionato secondo il tipo A o B, viene fissato al supporto secondo le istruzioni di montaggio del produttore che riproducono realmente le condizioni di posa in opera.
- b. Il supporto deve essere posizionato in modo tale che la distanza tra elemento della base di misura e punto di impatto sia (300 ± 100) mm.
- c. Accendere il computer per il rilevamento dei dati.
- d. Verificare che nel serbatoio del compressore vi sia aria compressa a sufficienza altrimenti accendere il compressore e portare la pressione a circa 9 bar.
- e. Accendere l'apparecchiatura: quadro comando motore di aspirazione, si accende una spia rossa. Quadro di connessione con il computer, si accende una spia verde. Quadro comando simulatore di grandine tramite due interruttori, si accendono 2 spie rosse ed una giallo-verde che rileva la chiusura dei pistoncini elettromagnetici.
- f. Chiudere la valvola di protezione del manometro di precisione.
- g. Aprire i pistoncini elettromagnetici tramite il pulsante rosso sul quadro comandi simulatore, si spegne la spia giallo-verde e si

accende la spia rossa che rileva l'apertura dei pistoncini elettromagnetici.

- h. Inserire a mano la sfera di poliammide all'imbocco della canna di sparo.
- i. Azionando la valvola di aspirazione si accende il motore di aspirazione che per depressione porterà la sfera di poliammide in posizione di tiro.
- j. Chiudere i pistoncini elettromagnetici tramite il pulsante rosso sul quadro comandi simulatore, si spegne la spia rossa e si accende la spia giallo-verde.
- k. Chiudere la valvola di aspirazione, il motore di aspirazione si arresta.
- l. Verificare che la rete di protezione sia abbassata e non presenti aperture da cui potrebbe fuoriuscire la sfera di poliammide nel rimbalzo.
- m. Aprire la valvola di protezione manometri per poter effettuare la lettura della pressione di tiro.
- n. Aprire adagio la valvola di riempimento serbatoio del simulatore regolando opportunamente la pressione, tramite i manometri, finché venga raggiunto il valore di pressione che corrisponda alla classe di resistenza richiesta.
- o. Premere il pulsante rosso sul quadro comandi del simulatore per effettuare il tiro.

La posizione d'impatto deve interessare la zona in cui si ritiene più probabile la rottura (3 differenti zone), in particolare devono essere effettuati almeno 3 tiri per zona:

- n° 3 sul bordo di fissaggio
- n° 3 sugli angoli o sugli spigoli
- n° 3 sulla superficie centrale

- p. La velocità della sfera calcolata in m/s determina la classe di resistenza del provino, le classi sono 3 come indicato nel seguente prospetto:

Classe di resistenza tiro (bar)	Velocità di impatto sfera (m/s)	pressione di
Classe 11 A	$v = 11 + 0,5$	0,33
Classe 11 B	-0	
Classe 15 A	$v = 15 + 0,7$	0,68
Classe 15 B	-0	
Classe 19 A	$v = 19 + 0,8$	0,96
Classe 19 B	-0	

Classe V A	$v = V + 0,8$	da determinare
Classe V B	-0	

Le classi 11A, 15A, 19A, VA si riferiscono a prove con condizionamento tipo A

Le classi 11B, 15B, 19B, VB si riferiscono a prove con condizionamento tipo B

L'indice $V (> 19 \text{ m/s})$ corrisponde alla velocità della sfera.

09 VALUTAZIONE DEI RISULTATI

Vengono valutati gli effetti degli impatti sia dal punto di vista della conservazione dell'impermeabilità dei provini a), sia dal punto di vista delle eventuali modificazioni dell'aspetto b):

- a) si considera superata la prova quando, per una determinata classe, nessuno dei tiri (almeno 9) ha provocato la "rottura". Si considera "rottura" se si rilevano fessure passanti o rotture vere e proprie. In casi dubbi, è possibile effettuare una prova di impermeabilità all'acqua.
- b) devono essere anche esaminate le cricature, fessure non passanti, opacità, se ben visibili, che modificano l'aspetto del prodotto, anche se non pregiudicano al momento della prova la tenuta all'acqua e non inficiano i risultati della prova. La loro presenza deve essere annotata in modo da rendere esplicita la loro possibile formazione in seguito all'impatto della prova.

10 RESOCONTO DI PROVA

Nel resoconto di prova, si devono riportare le informazioni seguenti:

- a) il riferimento della norma tecnica a cui la prova fa riferimento UNI 10890 2000
- b) la temperatura e l'umidità relativa dell'ambiente;
- c) l'identificazione inequivocabile del campione sottoposto a prova (materiale, dimensione, spessore) e le condizioni di vincolo;
- d) le velocità effettive delle sfere per la classe richiesta ed il corrispondente esito con i relativi punti di impatto (mediante schizzo o fotografia);
- e) la presenza di cricature, fessure non passanti, opacità che modificano sensibilmente l'aspetto dei prodotti;
- f) gli eventuali fatti accidentali che possono avere influito sui risultati;
- g) la data di esecuzione della prova.

11 NORME DI SICUREZZA E ANTINFORTUNISTICA

Il rischio maggiore che l'apparecchiatura comporta è di essere colpiti dalla sfera di poliammide durante lo svolgimento della prova o direttamente, qualora si interponesse una parte del corpo tra l'uscita della canna di tiro ed il provino, o di rimbalzo dopo che la sfera di poliammide ha urtato il provino.

Per sopperire a tale pericolo l'apparecchiatura è fornita di una rete di protezione a maglie fitte atta a trattenere la sfera durante il rimbalzo. È fatto obbligo all'operatore di verificare, prima di effettuare il tiro, che la rete di protezione sia abbassata e non presenti aperture da cui la sfera possa fuoriuscire. Per eventuali ospiti che volessero assistere alla prova vi è uno schermo ad intelaiatura metallica con lastre in metacrilato trasparenti atto a garantire l'incolumità degli osservatori.

Durante le prove, in tutte e tre le classi di resistenza, la sfera di poliammide durante il rimbalzo è sempre stata trattenuta dalla rete di protezione, non ha mai presentato velocità tali da poter provocare seri danni a persone che eventualmente potessero essere colpite.

L'impianto elettrico dell'apparecchiatura è a bassa tensione 12 V non presenta rischi di folgorazione, però va escluso dalla rete elettrica alla fine delle prove onde evitare il surriscaldamento del trasformatore.

Il motore di aspirazione è completamente sigillato non presenta rischi se non quello, essendo un motore elettrico a 220 V, che non gli si versi all'interno alcun tipo di liquido.

I provini da esaminare possono essere di diversa natura: tegole in laterizio, lastre in fibrocemento, cupolotti in materiale plastico, elementi che manovrandoli potrebbero provocare piccole escoriazioni o tagli alle mani, pertanto devono essere forniti all'operatore come DPI dei guanti da lavoro.

Il provino colpito dal proiettile, costituito dalla sfera di poliammide, produce un rumore di 130 dB per una frazione di secondo pertanto è fatto obbligo l'utilizzo delle cuffie antirumore.

- 12** DPI: guanti da lavoro
cuffie antirumore

13 MANUTENZIONE

L'apparecchiatura non presenta grossi interventi di manutenzione se non la pulizia generale, la verifica delle tubazioni in gomma dell'alta pressione che non vi siano perdite, il funzionamento dei pistoncini elettromagnetici, il funzionamento del motore di aspirazione, l'accensione delle spie.

14 GUASTI E DISFUNZIONI

I guasti all'apparecchiatura che si possono verificare sono:

Rottura degli elettromagneti dei pistoncini ritenzione proiettile.

Rottura dei manometri rilevazione pressione di tiro.

Rottura del trasformatore gestione impianto elettrico.

Rottura del motore di aspirazione proiettile.

Rottura delle tubazioni in gomma per alta pressione.

Una disfunzione è costituita dal mancato funzionamento del compressore dell'aria che non è elemento facente parte dell'apparecchiatura bensì del laboratorio prove.

15 SMALTIMENTO RIFIUTI

I provini sono costituiti da elementi di copertura per la costruzione di tetti: tegole in laterizio, lastre di fibrocemento; elementi di pannelli solari, elementi di illuminazione sottotetti quali: cupolotti, lucernari in materiale plastico; guaine di impermeabilizzazione dei tetti piani.

I provini, che generalmente non sono mai oltre le 5 unità, vengono stoccati a fianco dell'apparecchiatura nel laboratorio prove.

Eseguite le prove i provini testati vengono restituiti alle ditte richiedenti la prova. Qualora la ditta richiedente non fosse interessata al ritiro dei provini questi vengono smaltiti tramite richiesta di smaltimento all'AMIAT.

INDICAZIONE TECNICA UNI 10890:2000

DATA 30 GIUGNO 2000

NUOVO

PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus

Pannello in polistirene espanso sinterizzato additivato con grafite al 70%.



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo in facciata, ottimizzato in termini di isolamento termico per alte performance.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect. Facciata.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento invernale ■ Buone caratteristiche di sostenibilità ■ Detensionato
Tipo di prodotto/Veicolo	Polistirene espanso sinterizzato.
Imballaggi	Dimensioni pannello: 100 x 50 cm 120 x 60 cm * in base al sito produttivo
Magazzinaggio	Spessori da 40 a 300 mm Passo 10 mm fino a sp. 160 mm Passo 20 mm da sp. 160 mm
Dati tecnici	I pannelli devono essere tenuti all'asciutto ed al riparo dal gelo. Non esporre per lunghi periodi all'azione dei raggi UV (luce diretta).
	Secondo EN 13163 e EN 13499

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$
Compressione (10%)	100 kPa
Trazione	150 kPa
Densità	18 kg/m ³
Res. diffusione vapore	$\mu = 20 \div 40$
Calore specifico	1340-1450 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	E



Scheda Tecnica PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus

Resistenza Termica (m²K/W) per spessore (mm)

Sp.	R _D	Sp.	R _D	Sp.	R _D
20	0,65	100	3,30	180	6,00
30	1,00	110	3,65	200	6,65
40	1,30	120	4,00	220	7,30
50	1,65	130	4,30	240	8,00
60	2,00	140	4,65	260	8,65
70	2,30	150	5,00	280	9,30
80	2,65	160	5,30	300	10,00
90	3,00	170	5,65		

Applicazione

Supporti idonei

I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani. I fondi vanno sempre adeguatamente puliti asportando parti non ben aderenti.

Incollaggio di pannelli isolanti

Applicare la colla in forma di strisce lungo i bordi dei pannelli per una larghezza di almeno 5 cm ed in tre punti al centro coprendo una superficie del pannello pari ad almeno il 40%. Variare eventualmente il quantitativo di colla lungo il pannello per eliminare le disuniformità dei supporti (differenza max. 1 cm).

Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Le file di pannelli isolanti devono essere applicate sfalsate al 50% uno sotto l'altro per evitare giunti incrociati. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati. Seguire l'allineamento e linee verticali per l'installazione. Spazi vuoti che possono formarsi tra i pannelli devono essere riempiti con strisce di pannello isolante o, dove necessario, con Capatect Füllschaum Extra.

Per l'incollaggio fare riferimento alla relativa Scheda Tecnica del collante.

Nota

Ombreggiare i pannelli mediante idonei teloni applicati sui ponteggi, in modo da diminuire le escursioni termiche giorno/notte e diminuire la temperatura dei pannelli dovuta all'irraggiamento solare fino a completa maturazione del collante.

Avvertenze

Smaltimento

Il prodotto e il suo imballo devono essere smaltiti in conformità con le locali disposizioni amministrative. I pannelli per l'isolamento termico devono essere tagliati usando tutte le cautele necessarie, e riutilizzati ove possibile, evitando rifiuti.

L'utilizzatore è responsabile della corretta gestione, codifica e denominazione dei rifiuti prodotti.

Residui inutilizzabili devono essere smaltiti in accordo col relativo codice europeo dei rifiuti.

Il materiale pulito può essere smaltito come materiale isolante CER 17 06 04 o come CER 17 02 03

(materie plastiche).

Residui di materiale utilizzato nell'ambito delle applicazioni previste devono essere smaltiti come rifiuti misti delle attività di costruzione e demolizione (categoria 17 09 dei codici CER).

Ulteriori informazioni

Voci di capitolato

Capatect PS Fassadendämmplatte Dalmatiner 160 Plus

Lastre isolanti in Polistirolo Espanso Sinterizzato composte dal 30% di polistirene bianco e dal 70% di polistirene additivato con grafite, idonee per cappotto, classe EPS 100, resistenti 150 kPa a trazione, densità 18 Kg/m³, prodotte in conformità alla norma UNI 13163 e rispondenti alle norme ETICS, difficilmente infiammabili – classe E secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica $\lambda = 0,030$ W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 1340-1450 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 20-40$ delle dimensioni di cm 50x100 - 60x120.

Aggiornamento: marzo 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

PS Perimeterdämmplatte X

Pannello in polistirene espanso per porzioni perimetrali



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo nelle zone perimetrali di zocolatura, ottimizzato in termini di isolamento termico, a basso assorbimento capillare d'acqua.
Campo di Applicazione	Per il sistema d'isolamento termico a cappotto, impieghi in prossimità del piano campagna e della zocolatura.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento invernale ■ Buone caratteristiche di sostenibilità
Tipo di prodotto/Veicolo	Polistirene espanso sinterizzato.
Imballaggi	Dimensione pannello: 100 x 50 cm Spessori da 40 a 300 mm Passo 10 mm fino a sp. 160 mm Passo 20 mm da sp. 160 mm
Magazzinaggio	I pannelli devono essere tenuti all'asciutto ed al riparo dal gelo. Non esporre per lunghi periodi all'azione dei raggi UV (luce diretta).
Dati tecnici	Secondo EN 13163 e EN 13499

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$
Assorbimento d'acqua (totale) Wlt	$\leq 1\%$
Assorbimento d'acqua (parziale) Wlp	$\leq 0,1 \text{ kg/m}^2$
Densità	32 kg/m^3
Res. diffusione vapore	$\mu = 70$
Calore specifico	1450 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	E

*Descrizione delle specifiche tecniche dei pannelli idonei per Sistemi Capatect ETICS.



Applicazione

Supporti idonei	I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani.
Preparazione del substrato	I supporti devono essere puliti, asciutti, stabili, portanti e privi di sostanze che potrebbero inibire una corretta adesione. Rimuovere residui di olio o disarmanti, sporco e sbavature di malte. Rimuovere rivestimenti precedenti sfaldati, non portanti e non completamente aderenti il più possibile in maniera accurata.
Incollaggio di pannelli isolanti	Intonaci con cavità vanno lavorati, riparati e riempiti a filo della superficie. Pulire accuratamente supporti sfarinanti, sabbianti o fortemente assorbenti; applicare una mano di idoneo fissativo. Incollare i pannelli con il metodo "a pettine" disegnando il cordolo perimetrale su tutti i lati del pannello fatta eccezione per il profilo inferiore e disegnando due o tre segmenti verticali al centro. In alternativa applicare mediante spatola dentata a tutta superficie disegnando una trama verticale. I metodi applicativi descritti vengono scelti onde evitare la formazione di eventuali ristagni d'acqua in caso di infiltrazioni accidentali, che comunque devono essere scongiurate dall'esecuzione delle impermeabilizzazioni. Variare eventualmente il quantitativo di colla lungo il pannello per eliminare le disuniformità dei supporti (differenza max. 1 cm).
Posa e giunzione	Per l'incollaggio fare riferimento alla relativa Scheda Tecnica del collante. Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati. Seguire l'allineamento e linee verticali per l'installazione. Spazi vuoti che possono formarsi tra i pannelli devono essere riempiti con strisce di pannello isolante o, dove necessario, con Capatect Füllschaum Extra.
Nota	Ombreggiare i pannelli mediante idonei teloni applicati sui ponteggi, in modo da diminuire le escursioni termiche giorno/notte e diminuire la temperatura dei pannelli dovuta all'irraggiamento solare fino a completa maturazione del collante.

Avvertenze

Smaltimento	Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfridi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.
Ulteriori informazioni	<p>Voci di capitolato</p> <p>Capatect PS Perimeterdämmplatte X</p> <p>Lastre isolanti in Polistirolo Espanso Sinterizzato, idonee per le porzioni perimetrali dei sistemi a cappotto, classe a basso assorbimento capillare $W_{it} \leq 1\%$ e $W_{lp} \leq 0,1 \text{ kg/m}^2$, densità 32 Kg/m^3, prodotto in conformità alla norma UNI 13163, difficilmente infiammabili – classe E secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$ secondo UNI EN 12667, calore specifico 1450 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 70$ delle dimensioni di $\text{cm } 50 \times 100$.</p>

Aggiornamento: novembre 2018

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

Caparol Italia - marchio della DAW Italia GmbH & Co KG - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

PU Fassadendämmplatte Class SK

Pannello in poliuretano espanso rigido



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo in facciata ottimizzato in termini di isolamento termico per massime performance.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect Special System Line. Facciata.
Proprietà del materiale	■ Ottimo isolamento invernale
Tipo di prodotto/Veicolo	Schiuma Polyiso PIR ETICS rivestita su entrambe le facce con velo vetro saturato.
Imballaggi	Dimensioni pannello: 120 x 60 cm Spessori da 40 a 200 mm Passo 10 mm fino a sp. 100 mm Passo 20 mm da sp. 100 mm
Magazzinaggio	I pannelli devono essere tenuti all'asciutto ed al riparo dal gelo. Non esporre per lunghi periodi all'azione dei raggi UV (luce diretta).
Dati tecnici	Secondo EN 13165

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,025 \mid 0,026 \mid 0,028 \text{ W/mK}$
Compressione (10%)	150 kPa
Trazione	80 kPa
Densità	35 kg/m^3
Res. diffusione vapore	$\mu = 56$
Calore specifico	1464 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	E

*Descrizione delle specifiche tecniche dei pannelli idonei per Sistemi Capatect ETICS.



Applicazione

Supporti idonei	I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani.
Preparazione del substrato	I supporti devono essere puliti, asciutti, stabili, portanti e privi di sostanze che potrebbero inibire una corretta adesione. Rimuovere residui di olio o disarmanti, sporco e sbavature di malte. Rimuovere rivestimenti precedenti sfaldati, non portanti e non completamente aderenti il più possibile in maniera accurata. Intonaci con cavità vanno lavorati, riparati e riempiti a filo della superficie. Pulire accuratamente supporti sfarinanti, sabbianti o fortemente assorbenti; applicare una mano di idoneo fissativo.
Incollaggio di pannelli isolanti	<p>Utilizzo a parete: Applicare la colla in forma di strisce lungo i bordi dei pannelli per una larghezza di almeno 5 cm ed in due o tre punti al centro (in base allo schema di tassellatura scelto) coprendo una superficie del pannello pari ad almeno il 40%. Variare eventualmente il quantitativo di colla lungo il pannello per eliminare le disuniformità dei supporti (differenza max. 1 cm). Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Le file di pannelli isolanti devono essere applicate sfalsate al 50% uno sotto l'altro per evitare giunti incrociati. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati. Seguire l'allineamento e linee verticali per l'installazione. Spazi vuoti che possono formarsi tra i pannelli devono essere riempiti con strisce di pannello isolante o, dove necessario, con Capatect Füllschaum Extra.</p> <p>Utilizzo in zone perimetrali di zoccolatura: Incollare i pannelli con il metodo "a pettine" disegnando il cordolo perimetrale su tutti i lati del pannello fatta eccezione per il profilo inferiore e disegnando due o tre segmenti verticali al centro. In alternativa applicare mediante spatola dentata a tutta superficie disegnando una trama verticale. I metodi applicativi descritti vengono scelti onde evitare la formazione di eventuali ristagni d'acqua in caso di infiltrazioni accidentali, che comunque devono essere scongiurate dall'esecuzione delle impermeabilizzazioni. Variare eventualmente il quantitativo di colla lungo il pannello per eliminare le disuniformità dei supporti (differenza max. 1 cm). Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati. Seguire l'allineamento e linee verticali per l'installazione. Spazi vuoti che possono formarsi tra i pannelli devono essere riempiti con strisce di pannello isolante o, dove necessario, con Capatect Füllschaum Extra.</p> <p>Per l'incollaggio fare riferimento alla relativa Scheda Tecnica del collante.</p>

Avvertenze

Smaltimento	Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfaldi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.
Ulteriori informazioni	<p>Voci di capitolato</p> <p>Capatect PU Fassadendämmplatte Class SK Lastre isolanti in poliretano espanso rigido specifiche per cappotto, rivestite su entrambe le facce con velo vetro saturato, con resistenza a compressione (10% di deformazione) 150 kPa, resistenza a trazione 80 kPa, densità 35 Kg/m³, prodotto in conformità alla norma UNI 13165 e rispondenti alle norme ETICS, difficilmente infiammabili – classe E secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica $\lambda = 0,028/0,026/0,025$ W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 1464 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 56$, delle dimensioni di cm 60x120.</p>

Aggiornamento: giugno 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

MW Fassadendämmplatte

Pannello in lana di roccia doppia densità



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo in facciata, ottimizzato in termini di isolamento termico, acustico, altamente diffusivo al vapor d'acqua ed ininfiammabile.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect Special System Line. Facciata.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento estivo ■ Buon isolamento invernale ■ Ottima traspirabilità
Tipo di prodotto/Veicolo	Lana di roccia doppia densità
Imballaggi	Dimensione pannello: 120 x 60 cm Spessori da 60 a 280 mm Passo 20 mm
Magazzinaggio	Conservare i pannelli in un luogo asciutto (fare attenzione in particolare all'eventuale umidità del pavimento) in posizione orizzontale.
Dati tecnici	Secondo EN 13162 e EN 13500

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Compressione (10%)	15 kPa
Trazione	7,5 kPa
Densità	78 kg/m^3 (120 - 70)
Res. diffusione vapore	$\mu = 1,4$
Calore specifico	1030 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	A1



Scheda Tecnica MW Fassadendämmplatte

Applicazione

Supporti idonei	I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani.
Preparazione del substrato	I supporti devono essere puliti, asciutti, stabili, portanti e privi di sostanze che potrebbero inibire una corretta adesione. Rimuovere residui di olio o disarmanti, sporco e sbavature di malte. Rimuovere rivestimenti precedenti sfaldati, non portanti e non completamente aderenti il più possibile in maniera accurata. Intonaci con cavità vanno lavorati, riparati e riempiti a filo della superficie. Pulire accuratamente supporti sfarinanti, sabbianti o fortemente assorbenti; applicare una mano di idoneo fissativo.
Incollaggio di pannelli isolanti	Applicare sul pannello una striscia di collante di 5 cm di larghezza lungo tutti i bordi, collocare al centro due o tre cumuli di collante delle dimensioni di una mano. La quantità di collante applicata e l'altezza della striscia variano a seconda delle tolleranze del supporto, in modo da ottenere una superficie di contatto incollata $\geq 40\%$. Lo spessore del collante è normalmente di 1 cm, consentendo una tolleranza massima (scostamenti di planarità) di cm 1,5 sul supporto. Un'ulteriore possibilità è l'applicazione meccanica parziale: la malta deve essere applicata meccanicamente a spruzzo, formando una serie di strisce (distanza 10 cm circa) sulla parete. La superficie di contatto incollata dei pannelli isolanti deve essere $\geq 50\%$.
Posa e giunzione	Per l'incollaggio fare riferimento alla relativa Scheda Tecnica del collante. Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati.

Avvertenze

Smaltimento	Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfridi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.
Ulteriori informazioni	Voci di capitolato Capatect MW Fassadendämmplatte Lastre isolanti in lana di roccia specifiche per cappotto di tipo bi-densità, con resistenza a compressione (10% di deformazione) 15 kPa, resistenza a trazione 7,5 kPa, densità 78 Kg/m ³ (70 Kg/m ³ corpo pannello, 120 Kg/m ³ parte corticale esterna), prodotto in conformità alla norma UNI 13162 e rispondenti alle norme ETICS, ininflammabili – classe A1 secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica $\lambda = 0,035$ W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 1030 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 1,4$, delle dimensioni di cm 60x120

Aggiornamento: marzo 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20060 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

WF Fassadendämmplatte Exterior Compact 1.4

Pannello in fibra di legno per pareti in muratura o con struttura in legno X-LAM



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo in facciata, ottimizzato in termini di isolamento termico, acustico, altamente diffusivo al vapor d'acqua.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect Special System Line. Facciata.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento estivo ■ Ottima traspirabilità ■ Ottime caratteristiche di sostenibilità
Tipo di prodotto/Veicolo	Fibre di legno pressate. Per garantire la resistenza all'umidità e la protezione antincendio vengono aggiunte delle sostanze additive: colofonia, paraffine, allume.
Imballaggi	Dimensione pannello: 131,5 x 60,5 cm (spessori da 80 a 120 mm) 81,5 x 60,5 mm (spessori da 140 a 200 mm). Spessori da 80 a 200 mm, passo 20 mm.
Magazzinaggio	Il pannello deve essere immagazzinato protetto contro l'umidità (badare in particolare anche a un'eventuale umidità del terreno). Evitare impronte e segni sulla superficie del pannello (pregiudica l'applicazione dell'intonaco). Al massimo si possono accatastare 2 pacchi l'uno sull'altro.
Dati tecnici	Secondo EN 13171

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
Compressione (10%)	100 kPa
Trazione	15 kPa
Densità	140 kg/m ³
Res. diffusione vapore	$\mu = 5$
Calore specifico	2100 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	E



Applicazione

Preparazione del substrato	Prima della posa dei pannelli verificare che il supporto sia asciutto e piano.
Condizioni di applicazione	<p>Esposizione agli agenti atmosferici naturali Il pannello Capatect WF Fassadendämmplatte Exterior Compact 1.4 può rimanere liberamente esposto agli agenti atmosferici per ca. 4 settimane. Se per ragioni costruttive dell'edificio i pannelli isolanti devono rimanere senza copertura per un tempo più lungo, essi vanno protetti contro gli effetti dell'umidità. Prima di applicare l'intonaco va accertata l'umidità del pannello isolante.</p> <p>Umidità del pannello prima dell'applicazione dell'intonaco L'umidità calibrata del materiale (fattore di calibratura 1,5 negli igrometri GANN, impostazione "abete") del pannello non deve superare il 13% prima della posa dell'intonaco.</p>
Incollaggio di pannelli isolanti	<p>Applicare sul pannello una striscia di collante di 5 cm di larghezza lungo tutti i bordi, collocare al centro due o tre cumuli di collante delle dimensioni di una mano. La quantità di collante applicata e l'altezza della striscia variano a seconda delle tolleranze del supporto, in modo da ottenere una superficie di contatto incollata $\geq 40\%$. Lo spessore del collante è normalmente di 1 cm, consentendo una tolleranza massima (scostamenti di planarità) di cm 1,5 sul supporto. Dopo la presa del collante applicare i tasselli. Garantire un sufficiente sfalsamento dei giunti dei pannelli per evitare giunti a croce.</p>
Posa e giunzione	<p>Giunti e sfalsamenti di spessore Riempire i giunti > 2 mm con il mastice resistente alla pressione Disbothan 235 PU Fugendicht in profondità sufficiente e levigare gli sfalsamenti di spessore. I residui di levigatura e le particelle di polvere vanno eliminate completamente prima di applicare l'intonaco.</p> <p>Giunti di collegamento Tutti i giunti di collegamento degli elementi strutturali devono essere eseguiti permanentemente stagni alla pioggia battente (ad es. mediante l'impiego di un nastro di tenuta Capatect Fugendichtband).</p>
Nota	Il pannello isolante può essere impiegato anche nelle zone esposte agli spruzzi d'acqua, tra l'intonaco di fondo e l'intonaco di finitura; qui tuttavia deve essere applicata uno strato di malta flessibile Disbocret 519 PCC Flex-Schlamme e una mano successiva con Putzgrund.

Avvertenze

Smaltimento	Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfaldi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.
Ulteriori informazioni	<p>Voci di capitolato</p> <p>Capatect WF Fassadendämmplatte - Exterior Compact 1.4 Lastre isolanti in fibra di legno specifiche per cappotto, per pareti in muratura o X-LAM, con resistenza a compressione (10% di deformazione) 100 kPa, resistenza a trazione 15 kPa, densità 140 Kg/m³, prodotto in conformità alla norma UNI 13171 e rispondenti alle norme ETICS, difficilmente infiammabili – classe E secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica $\lambda = 0,040$ W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 2100 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 5$, delle dimensioni di cm 60,5x131,5 (cm 60,5x81,5 da sp. cm 14)</p>

Aggiornamento: novembre 2018

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

Caparol Italia - marchio della DAW Italia GmbH & Co KG - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 94855237 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

HF Fassadendämmplatte Wall

Pannello in fibra di canapa per facciate



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo in facciata, ottimizzato in termini di isolamento termico, acustico, altamente diffusivo al vapor d'acqua, con bilancio attivo contro l'effetto serra.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect Special System Line. Facciata.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento estivo ■ Ottima traspirabilità ■ Ottime caratteristiche di sostenibilità
Tipo di prodotto/Veicolo	Fibre di canapa pressate.
Imballaggi	Dimensione pannello: 80 x 62,5 cm
Magazzinaggio	Spessori da 40 a 200 mm Passo 10 mm fino a sp. 60 mm Passo 20 mm da sp. 60 mm
Dati tecnici	Conservare i pannelli in un luogo asciutto (fare attenzione in particolare all'eventuale umidità del pavimento) in posizione orizzontale.

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$
Densità	100 kg/m^3
Res. diffusione vapore	$\mu = 3,9$
Calore specifico	1700 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	E

Applicazione

Supporti idonei	I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani.
-----------------	--



Preparazione del substrato	<p>Il supporto deve essere piano, pulito, portante e privo di sostante distaccanti. Pitture minerali o intonaci strutturati danneggiati e sfarinanti devono essere rimossi quanto più possibile. Eliminare le porzioni di intonaco distaccate e reintonacare a raso con idoneo materiale. Pulire accuratamente le superfici minerali sabbianti o sfarinanti e passare una mano di fondo di AmphiSilanTiefgrund LF.</p> <p>In caso di dubbio eseguire una prova di adesione a trazione con il rasante previsto, della stessa linea (annegare la rete e trascorso il tempo di essiccazione estrarla) o rivolgersi a uno dei nostri consulenti.</p>
Incollaggio di pannelli isolanti	<p>Incollaggio Sul retro del pannello applicare il rasante del sistema (preferibilmente Capatect Klebe- und Spachtelmasse 190) con il metodo cordolo perimetrale/pastiglie centrali (applicare lungo il perimetro cordoli larghi 6 cm circa e al centro del pannello 3 grandi pastiglie delle dimensioni del palmo di una mano). La quantità di rasante da applicare e l'altezza di cordolo/pastiglie varia a seconda delle tolleranze del supporto e devono essere tali da garantire che la superficie incollata corrisponda ad almeno il 40% della superficie complessiva. Irregolarità fino a +/- 1 cm possono essere compensate dal rasante. Prima di applicare il rasante con il metodo cordolo perimetrale/pastiglie, applicare un sottile strato di rasante a pressione sul materiale isolante.</p>
Posa e giunzione	<p>Posa Incollare i pannelli in sequenza, procedendo dal basso verso l'alto, e premere bene. Il rasante non deve entrare nei giunti tra i pannelli. Nella posa fare attenzione ad allineamento e perpendicolarità. Riempire eventuali fughe 5 mm.</p> <p>Tassellatura Tassellare sempre i pannelli, a prescindere dal supporto, con Capatect Universaldübel Rondelle STR Carbon. Per la tassellatura seguire il manuale di posa europeo del cappotto Cortexa EAE.</p> <p>Equalizzazione Dopo la tassellatura si applica una mano equalizzante di idoneo rasante.</p> <p>Armatura Per lo strato di armatura si applica uno strato minimo di 5-6 mm di spessore con idoneo rasante, disponendo a metà dello strato la rete Capatect Glasgewebe.</p> <p>Fondo Prima di applicare intonaci strutturati pastosi occorre applicare una mano di Putzgrund.</p> <p>Finitura Per la finitura applicare il prodotto della stessa linea adatto alla relativa struttura (preferibilmente Amphisilan Fassadenputz oppure Thermosan Fassadenputz). I pannelli in fibra di canapa, come i pannelli in fibra minerale, fanno parte della linea DarkSide. Il rivestimento con colori (indice di riflessione < 20) dipende da armatura, posizione e condizioni ambientali.</p>
Nota	<p>In linea di principio si applicano anche le nostre istruzioni di posa per i sistemi ETICS Capatect e accessori.</p> <p>Nell'incollaggio, ricordarsi che il lato ruvido del pannello isolante deve essere rivolto verso la parete.</p> <p>Davanzali e strutture finestrate possono presentare superfici di scorrimento dell'acqua piovana. Consigliamo pertanto di inserire un secondo piano di scorrimento dell'acqua. A tale fine occorre distinguere tra costruzioni in legno massiccio o costruzioni a telaio e controventatura. Per ulteriori dettagli si vedano le apposite istruzioni di posa.</p>

Avvertenze

Smaltimento	<p>Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfridi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.</p>
Ulteriori informazioni	<p>Prodotti complementari Capatect Schneid-Krone Hanf: Corona di taglio specifica per utensile di montaggio Capatect Montagetool per l'utilizzo su pannelli in fibra di canapa. In acciaio temprato pregiato. Capatect Hanffaser-Rondelle: Tappo di copertura per tasselli per la chiusura dei fori in caso di tassellatura a scomparsa. Ø = 60 mm.</p> <p>Voci di capitolato Capatect HF Fassadendämmplatte Wall Lastre isolanti in fibra di canapa specifiche per cappotto con bilancio attivo contro l'effetto serra, per pareti in muratura o X-LAM, densità 100 Kg/m³, difficilmente infiammabili – classe E secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica λ = 0,039 W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 1700 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore μ = 3,9, delle dimensioni di cm 80x62,5.</p>

AG Fassadendämmplatte Ultra

Pannello in aerogel per dettagli costruttivi



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per dettagli costruttivi di facciata quali imbotti e celini delle finestre, loggiati ed intradossi, ottimizzato in termini di isolamento termico per performance straordinarie.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect. Dettagli costruttivi di facciata.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento invernale ■ Ottime caratteristiche di traspirabilità ■ Buon isolamento estivo ■ Buone caratteristiche di sostenibilità
Tipo di prodotto/Veicolo	Aerogel accoppiato a una membrana in polipropilene armato con fibra di vetro specifico per utilizzo ETICS.
Imballaggi	Dimensioni pannello: 140 x 72 cm Spessori da 10 a 40 mm Passo 10 mm
Magazzinaggio	I pannelli devono essere tenuti all'asciutto ed al riparo dal gelo. Non esporre per lunghi periodi all'azione dei raggi UV (luce diretta).
Dati tecnici	

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,015 \text{ W/mK}$
Compressione (10%)	80 kPa
Assorbimento d'acqua (parziale) Wlp	$\leq 0,01 \text{ kg/m}^2$
Densità	230 kg/m^3
Res. diffusione vapore	$\mu = 5$
Calore specifico	1000 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	C s ₁ d ₀



Applicazione

Supporti idonei	I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani.
Preparazione del substrato	I supporti devono essere puliti, asciutti, stabili, portanti e privi di sostanze che potrebbero inibire una corretta adesione. Rimuovere residui di olio o disarmanti, sporco e sbavature di malte. Rimuovere rivestimenti precedenti sfaldati, non portanti e non completamente aderenti il più possibile in maniera accurata. Intonaci con cavità vanno lavorati, riparati e riempiti a filo della superficie. Pulire accuratamente supporti sfarinanti, sabbianti o fortemente assorbenti; applicare una mano di idoneo fissativo.
Incollaggio di pannelli isolanti	<p>Incollare i pannelli applicando il collante con il metodo floating buttering a spatola dentata a tutta superficie disegnando una trama verticale od orizzontale sul supporto e viceversa sul pannello. Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati.</p> <p>Variare eventualmente il quantitativo di colla lungo il pannello per eliminare le disuniformità dei supporti (differenza max. 1 cm).</p> <p>Seguire l'allineamento e linee verticali per l'installazione. Evitare assolutamente la presenza di porzioni non coibentate curando particolarmente l'accostamento dei pannelli tra loro ed all'interfaccia con il materiale isolante previsto per l'intera facciata.</p> <p>Per l'incollaggio fare riferimento alla relativa Scheda Tecnica del collante.</p>

Avvertenze

Smaltimento	Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfaldi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.
Ulteriori informazioni	<p>Voci di capitolato</p> <p>Capatect AG Fassadendämmplatte Ultra</p> <p>Lastre isolanti Aerogel accoppiato a una membrana in polipropilene armato con fibra di vetro specifiche per la realizzazione di dettagli costruttivi di facciata quali imbotti e celini delle finestre, loggiati ed intradossi, con resistenza a compressione (10% di deformazione) 80 kPa, densità 230 Kg/m³, difficilmente infiammabili – classe C s1 d0 secondo UNI EN 13501-1, conducibilità termica $\lambda = 0,15$ W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 1000 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 5$, assorbimento d'acqua a lungo termine per immersione parziale $W_{lp} \leq a$ 0,01 kg/m², delle dimensioni di cm 72x140.</p>

Aggiornamento: aprile 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol · Largo R. Murjahn, 1 · 20080 Vermezzo (MI) · Tel. +39 02 9485521 · fax +39 02 948552297 · email: info@dawitalia.it · web: www.dawitalia.it

Capatect Klebe- und Spachtelmasse 190

Collante e rasante minerale ad alta adesività



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Malta premiscelata in polvere a base di leganti minerali.
Campo di Applicazione	Incollaggio e rasatura armata pannelli isolanti in EPS grigio ed EPS misto bianco/grigio (percentuali di EPS grigio superiori al 50%), poliuretano, lana di roccia, fibra di legno, fibra di canapa. Realizzazione di rasature armate su intonaci. Rasatura su elementi in calcestruzzo e calcestruzzo armato.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottima adesione direttamente su lastre isolanti, su cemento, laterizi e intonaci minerali e/o priverstili, ma stabili e puliti ■ Alta resistenza agli agenti atmosferici ■ Basso assorbimento di acqua ■ Reazione al fuoco: ininfiammabile o scarsamente infiammabile in accordo con la struttura del sistema Capatect ETICS utilizzata. ■ Idrorepellente secondo DIN V 18550 ■ Diffusivo verso il vapore acqueo ■ Elevato tempo aperto ■ Alta stabilità della malta fresca ■ Eco-compatibile ■ Formula ottimizzata dal punto di vista granulometrico ■ Legante minerale con promotore di adesione
Imballaggi	Sacco da 25 kg.
Colori	Grigio chiaro
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Nelle confezioni originali sigillate la stabilità è garantita per sei mesi. Svuotare completamente container e silos prima dei lunghi periodi di fermo (pausa invernale).
Dati tecnici	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conducibilità termica: $\leq 0,45$ W/mK (P50); $\leq 0,49$ W/mK (P90) - secondo EN 998-1 (tabulati) ■ Densità apparente: Ca. 1,4 kg/dm³ ■ Granulometria massima: 1,0 mm ■ Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu \leq 25$ - secondo EN 998-1 ■ Permeabilità all'acqua (valore w): $\leq 0,2$ kg/(m² h^{0,5}), W₂ - secondo EN 998-1 ■ Resistenza alle tensioni sotto flessione: 3,6 MPa (valore medio) ■ Resistenza a compressione: 7,6 MPa (valore medio)



Applicazione

Supporti idonei	Murature prive di intonaco o con intonaco minerale. Rimuovere i rivestimenti organici. Irruvidire i rivestimenti minerali portanti per migliorarne l'aderenza.
Preparazione del substrato	Il fondo deve essere asciutto, pulito, portante, esente da residui di pitture o intonaco sgretolati, e da sostanze distaccanti. Rivestimenti minerali difettosi e scrostanti vanno eliminati il più possibile. Punti cavi nell'intonaco devono essere scrostati e intonacati a raso della superficie con Capatect Klebe- und Spachtelmasse 190. Superfici minerali sabbianti e sfarinanti devono essere pulite a fondo fino alla sostanza solida e ricoperte con una mano di AmphiSilan Tiefgrund LF o Histolith Silikat-Fixativ.
Preparazione del materiale	Versare ca. 5-6 litri d'acqua in un contenitore e aggiungere a poco a poco l'intero contenuto del sacco, rimescolando accuratamente con un agitatore adatto (max. 400 giri/min). Mescolare fino ad ottenere una massa priva di grumi, miscelare in ogni caso per almeno 5 minuti. Lasciare maturare per ca. 10 minuti e rimescolare ancora una volta. Per la miscelatura si può anche utilizzare un mescolatore a passaggio forzato o intonacatrici adeguate.
Rapporto di miscelazione	Aggiungere il 20-24% di acqua, corrispondente a circa 5-6 litri per ogni sacco da 25 kg.
Metodo di applicazione	In linea generale trovano applicazione le nostre istruzioni per l'impiego per sistemi di coibentazione termica a cappotto e accessori della linea Capatect. Incollaggio dei pannelli isolanti: Applicare intorno al bordo del pannello una striscia di prodotto larga ca. 5 cm, e 3 cumuli grandi come il palmo di una mano al centro della parte posteriore del pannello isolante. La quantità di collante applicata, in base alle tolleranze del sottofondo, deve essere variata in modo tale da raggiungere almeno il 40% della superficie di contatto dell'incollatura. Con la massa collante è possibile compensare eventuali aplanarità fino a 1 cm massimo. Incollare i pannelli isolanti spingendoli in giunzione dal basso verso l'alto e premere energicamente. Non fare entrare la massa collante nei giunti pannello. Assicurare una posa perfettamente allineata e perpendicolare. Rasatura armata: Levigare eventuali sfalsamenti esistenti sui giunti dei pannelli isolanti ed eliminare la polvere di levigatura. Dopo l'applicazione del salvaspigolo sugli intradossi di finestra e sugli spigoli, nonché dell'armatura diagonale sugli spigoli delle aperture di facciata, viene applicato il prodotto, di volta in volta più o meno nella larghezza della rete, in uno strato corrispondente ai 2/3 dello spessore richiesto, annegando poi la rete in fibra di vetro Capatect con almeno 10 cm di sovrapposizione. In seguito applicare ancora una volta a spatola bagnato su bagnato il rasante Capatect Klebe- und Spachtelmasse 190, in modo da assicurare una copertura della rete su tutta la superficie. Lo spessore complessivo deve essere di circa 3-4 mm. Restauro di facciate: Le superfici devono essere portanti, pulite ed asciutte. Applicare sul materiale isolante uno strato pieno ed omogeneo (ca. 3 mm) di Capatect Klebe- und Spachtelmasse 190 e posare immediatamente i teli di rete Capatect 650 sormontando i bordi di 10 cm. Con la talocchia far aderire la rete al rasante senza esercitare una pressione eccessiva e non sui sormonti, quindi ricoprire la rete applicando ulteriore rasante. Applicare eventualmente, dopo essiccazione, una seconda mano di Capatect Klebe- und Spachtelmasse 190, con consumo totale pari a 4-4,5 kg/m ² , tenendo comunque presente che la rete deve trovarsi nel terzo esterno della rasatura, o quantomeno nel mezzo della stessa. Lo spessore totale può arrivare fino a circa 4-6 mm.
Consumo/Resa	Consumi medi teorici: - Incollaggio: 4-4,5 kg/m ² - Armatura: circa 4,5 kg/m ² per pannello in polistirolo espanso rigido; circa 5,0 kg/m ² per pannello in lana minerale. - Risanamento intonaco: a seconda della struttura del fondo, determinare mediante prova campione. Le quantità di consumo indicate si basano su valori empirici e non sono vincolanti. L'effettivo consumo dipende da diversi fattori. I consumi esatti possono essere determinati solo mediante prova pratica sulla superficie specifica.
Lavorabilità	Il tempo di utilizzo è di circa 2-2,5 ore, e varia in funzione delle diverse condizioni ambientali. Il materiale che ha già iniziato a fare presa non deve mai essere nuovamente reso utilizzabile mediante l'aggiunta di acqua.
Condizioni di applicazione	Temperatura minima per l'applicazione: +5 °C, massima +30 °C (aria, supporto, prodotto). Umidità relativa massima consentita: 80%. Non applicare sotto l'azione diretta del sole, su superfici calde, in presenza di forte vento, pioggia, nebbia, pericolo di gelate notturne e in generale con temperatura inferiore a + 5 °C (aria, supporto, prodotto) senza adottare provvedimenti preventivi. Queste condizioni devono permanere per almeno 2 giorni dopo l'applicazione eseguita.
Essiccazione/Tempo di essiccazione	A + 20 °C e 65% di umidità relativa dell'aria almeno 2-3 giorni. Per evitare l'esposizione alla pioggia durante la fase d'essiccazione, coprire le facciate eventualmente con teloni. In particolare durante il periodo freddo dell'anno e con elevata umidità dell'aria, occorre tener conto di tempi di essiccazione più lunghi.

Pulizia degli utensili

Subito dopo l'uso con acqua.

Avvertenze

Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)

Provoca irritazione cutanea. Provoca gravi lesioni oculari. Può provocare una reazione allergica cutanea. Può irritare le vie respiratorie. Tenere fuori dalla portata dei bambini. In caso di consultazione di un medico, tenere a disposizione il contenitore o l'etichetta del prodotto. Evitare di respirare la polvere. Indossare guanti/indumenti protettivi/Proteggere gli occhi/il viso. IN CASO DI CONTATTO CON LA PELLE: lavare abbondantemente con acqua e sapone. IN CASO DI CONTATTO CON GLI OCCHI: sciacquare accuratamente per parecchi minuti. Togliere le eventuali lenti a contatto se è agevole farlo. Continuare a sciacquare. IN CASO DI INALAZIONE: trasportare l'infortunato all'aria aperta e mantenerlo a riposo in posizione che favorisca la respirazione. Contattare un CENTRO ANTIVELENI/un medico in caso di malessere. Contiene: Cemento Portland – Clinker; Diidrossido di calcio; Polvere di combustione di cemento Portland.

Smaltimento

Non smaltire il prodotto insieme ai rifiuti domestici. Non immettere nelle fognature. Il materiale deve essere smaltito in conformità con le norme locali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfridi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste. Conferire a riciclaggio solo le confezioni svuotate con residui di prodotto. Smaltire residui di materiale indurito come rifiuti di costruzione e demolizione.

Ulteriori informazioni

Voci di capitolato

Capatect Klebe-und Spachtelmasse 190

Applicazione a spatola, cazzuola, taloscia o macchia per spruzzare di collante/rasante minerale per sistemi di isolamento termico a cappotto per facciate avente una granulometria massima di 1,0-1,2mm, una conducibilità termica $\leq 0,45$ W/mK (P50); $\leq 0,49$ W/mK (P90) secondo EN 998-1, una resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu \leq 25$ secondo EN 998-1 ed una permeabilità all'acqua (valore w): $\leq 0,2$ kg/(m² h0,5), W2 secondo EN 998-1. Resa teorica 4,0-5,0 kg/mq. Diluire con acqua 20-24%.

Aggiornamento: gennaio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applioistore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

CarbonSpachtel

Rasante in pasta pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Rasante organico pronto all'uso, irrobustito con fibra di carbonio, per la realizzazione di rasature armate ad alta resistenza meccanica. Resistenza meccanica certificata fino a 15 Joule (con singola rete di armatura).
Campo di Applicazione	Rasature armate ad alta resistenza meccanica per sistemi isolanti a cappotto in EPS e PU e per il restauro di facciate. Zone soggette ad urti quali pallonate, grandine o più genericamente oggetti addossati (biciclette, carrelli, ...).
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rinforzato con fibre di carbonio ■ Elevata resistenza agli urti ■ Copertura di crepe nell'intonaco ■ Eccellente lavorabilità ■ Basse tensioni termoplastiche ■ Resistenza agli agenti atmosferici
Imballaggi	Confezione da 25 Kg.
Colori	Grigio chiaro
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Nelle confezioni originali sigillate la stabilità è garantita per un anno.
Dati tecnici	<ul style="list-style-type: none"> ■ Densità: Ca. 1, kg/l ■ Granulometria massima: 1 mm ■ Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu \leq 410$ ■ Permeabilità all'acqua (valore w): $\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$; Classe W₂ - Media ■ Adesione: $\geq 0,08 \text{ MPa}$

Applicazione

Supporti idonei	Per il restauro nell'ambito dei sistemi di risanamento Capatect, viene impiegato come stucco per facciate, allo scopo di riparare le superfici d'intonaco danneggiate su murature massicce. Capatect CarbonSpachtel, con rete di armatura, deve essere applicato su un sottofondo idoneo e pulito.
-----------------	--



Scheda Tecnica CarbonSpachtel

Preparazione del substrato	<p>Realizzazione di rasature armate Eventuali dislivelli presenti sui giunti dei pannelli isolanti in EPS devono essere levigati, rimuovendone poi il pulviscolo.</p> <p>Restauro di facciate e di sistemi componibili di coibentazione termica Il supporto deve essere portante, pulito ed esente da parti sgretolate e sostanze distaccanti. Intonaci strutturali danneggiati e in fase di distacco devono essere rimossi. Nel caso di fessure nello strato di finitura (intonaco di fondo e intonaco di finitura) oppure nella facciata, è necessaria la perizia da parte di personale esperto, al fine di determinarne le cause. Soltanto successivamente si potrà decidere riguardo all'intervento di risanamento ed alle più adatte modalità.</p>
Preparazione del materiale	Il prodotto è pronto per l'uso, ma deve essere brevemente rimescolato. In condizioni atmosferiche con elevate temperature è possibile eseguire una regolazione della consistenza, aggiungendo una ridotta quantità d'acqua.
Metodo di applicazione	<p>In linea generale sono valide le istruzioni d'impiego per i sistemi di isolamento termico Capatect e relativi accessori.</p> <p>Dopo il montaggio dei paraspigoli, degli altri profili protettivi e dell'armatura diagonale sugli spigoli delle aperture di facciata, occorre applicare il prodotto di volta in volta nella larghezza della rete mediante una spatola dentata 8 x 8 mm. Annegare quindi la rete con sovrapposizione di almeno 10 cm.</p> <p>Applicare ancora il prodotto bagnato su bagnato, in modo da garantire un rivestimento completo della rete su tutta la superficie. Lo spessore minimo dello strato di fondo è di 3 mm.</p>
Consumo/Resa	Ca. 5 kg/m ² con spessore di rivestimento nominale (NSD) da 3 mm. Rasatura su EPS: ca. 13,5 kg/m ² per 8 mm di spessore.
Condizioni di applicazione	<p>Temperatura minima per l'applicazione: compresa tra +15 e +30 °C, aria, supporto, prodotto. Umidità relativa massima consentita: 60%.</p> <p>Non applicare sotto l'azione diretta del sole, su superfici calde, in presenza di forte vento, pioggia, nebbia, pericolo di gelate notturne.</p>
Essiccazione/Tempo di essiccazione	<p>A +20° C e U.R. 65% il tempo di essiccazione è di 4 - 5 giorni. In presenza di temperature più basse e/o di umidità dell'aria più elevate i tempi indicati possono aumentare considerevolmente. Per evitare l'azione della pioggia durante la fase d'essiccazione, coprire le parti interessate eventualmente con teloni.</p>
Pulizia degli utensili	Subito dopo l'uso con acqua.
Nota	Con l'impiego di sabbie naturali sono possibili oscillazioni di tonalità; per questa ragione, su superfici attigue, vanno applicati solo materiali dello stesso lotto di produzione. Per evitare aloni, applicare il prodotto in un'unica passata, bagnato su bagnato. Al fine di conservarne le particolari caratteristiche, non miscelarlo con altri prodotti. Il materiale non è adatto per superfici orizzontali sollecitate da acqua.

Avvertenze

Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)	Tenere fuori dalla portata dei bambini. In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua. In caso di contatto con la pelle, lavarsi immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone. Non gettare i residui nelle fognature.
Smaltimento	Dopo l'utilizzo non disperdere i contenitori nell'ambiente. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità alla regolamentazione locale/nazionale. Conferire i contenitori con residui di prodotto liquido ai punti di raccolta rifiuti per pitture e smalti. Smaltire residui di prodotto indurito nei punti di raccolta di sfidri/ materiali edili.
Ulteriori informazioni	<p>Voci di capitolato</p> <p>CarbonSpachtel Applicazione di un rasante in pasta pronto all'uso rinforzato con fibra di carbonio, con permeabilità all'acqua < 0,02 kg(m2h0,5) - classe W3 secondo EN 1062, coefficiente di diffusione del vapore $\mu \leq 4,10$, conducibilità termica $\leq 0,7$ W/mK, densità apparente pari a ca. 1700 kg/m³. Resistenza meccanica certificata fino a 15 Joule (con singola rete di armatura)</p>

Aggiornamento: gennaio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20060 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

OrCa-Spachtel

Rasante leggero in pasta, pronto all'uso, rinforzato con fibra di carbonio, ad alta traspirabilità



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Rasante pronto all'uso sistemi componibileidi coibentazione termica. Resistenza meccanica certificata fino a 20 Joule (con singola rete di armatura OrCa Gewebe) e fino a 60 Joule (con doppia rete di armatura OrCa Gewebe + Panzergewebe).
Campo di Applicazione	Rasure armate ad alta resistenza meccanica su cappotto in MW, WF e HF. Per zone soggette ad urti quali pallonate, grandine o più genericamente oggetti addossati (biciclette, carrelli, ...).
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Non infiammabile ■ Elevata adesione ■ Alta resistenza agli agenti atmosferici ■ Idrorepellente ■ Permeabile al vapore acqueo ■ A base acqua ■ Pronto all'uso ■ Applicazione facile e flessibile ■ Resa elevata ■ Elevata resistenza agli urti e alla rottura
Imballaggi	Confezione da 20 kg.
Colori	Crema.
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Proteggere da irradiazione solare diretto.
Dati tecnici	<ul style="list-style-type: none"> ■ Densità: Ca. 1,3 kg/l ■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd: < 0,5 m; Classe V₂ - Media. Secondo EN 1062 ■ Permeabilità all'acqua (valore w): < 0,1 kg/(m² h^{0,5}); Classe W₃ - Bassa. Secondo EN 1062 ■ Comportamento al fuoco: A2-s1, d0. Secondo EN 13501-1
Nota	I dati indicati rappresentano valori medi che in seguito all'impiego di materie prime naturali possono leggermente differire da fornitura a fornitura.



Scheda Tecnica OrCa-Spachtel

Applicazione

Preparazione del materiale	Mescolare brevemente prima dell'utilizzo.
Metodo di applicazione	Il prodotto va applicato sui pannelli isolanti nella larghezza della rete Capatect-OrCa-Gewebe, che va annegata dentro con sovrapposizione di ca. 10 cm intorno agli spigoli. In seguito procedere alla ricopertura a mezzo spatola con tecnica bagnato su bagnato, in modo da assicurare la copertura del tessuto su tutta la superficie. Il tessuto dovrebbe trovarsi nella terza parte superiore dello strato di armatura. Lo spessore complessivo deve ammontare a 4-5 mm. Con l'utilizzo delle barre salvaspigo Capatect-Eckschutzschienen nella zona degli spigoli esterni, la rete va condotta intorno allo spigolo con sovrapposizione di ca. 10 cm. Con l'impiego dei tessuti salvaspigo Capatect-Gewebe-Eckschutz, i teli di tessuto vengono posati soltanto fino allo spigolo stesso.
Diluizione	OrCa-Spachtel è pronto all'uso e va soltanto brevemente rimescolato. E' possibile una regolazione della consistenza mediante aggiunta di una bassissima quantità d'acqua.
Consumo/Resa	Ca. 1,3 kg/m ² per ogni mm di spessore d'applicazione. Questi valori di consumo sono soltanto di riferimento; occorre tener conto degli scostamenti dipendenti dal supporto o dovuti al tipo d'applicazione.
Condizioni di applicazione	Temperatura minima per l'applicazione: +8°C, massima: +30°C (aria, supporto, prodotto). Umidità relativa massima consentita: 80%. Non applicare sotto l'azione diretta del sole, su superfici calde, in presenza di forte vento, pioggia, nebbia, pericolo di gelate notturne.
Essiccazione/Tempo di essiccazione	Ad una temperatura di +20°C e con il 65% di umidità relativa dell'aria, lo strato d'armatura è asciutto in superficie dopo 24 ore; completamente asciutto, sollecitabile e ricopribile dopo 2-3 giorni.
Pulizia degli utensili	Con acqua, subito dopo l'utilizzo.
Rivestimento	Il prodotto non deve essere ricoperto con intonaci di finitura e rasanti minerali, ma esclusivamente con le specifiche finiture a spessore Capatect ThermoSan Fassadenputz NQT e Capatect AmphiSilan Fassadenputz.

Avvertenze

Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)	Tenere fuori dalla portata dei bambini. In caso di consultazione di un medico, tenere a disposizione il contenitore o l'etichetta del prodotto. In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua. In caso di contatto con la pelle, lavarsi immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone. Non gettare i residui nelle fognature. Contiene 2-metil-2H-isotiazol-3-one, 1,2-benzisotiazol-3(2H)-one. Può provocare una reazione allergica. Scheda dati di sicurezza disponibile su richiesta.
Smaltimento	Dopo l'utilizzo non disperdere i contenitori nell'ambiente. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità alla regolamentazione locale/nazionale. Conferire i contenitori con residui di prodotto liquido ai punti di raccolta rifiuti per pitture e smalti. Smaltire residui di prodotto indurito nei punti di raccolta di sfidri/materiali edili.
Ulteriori informazioni	Voci di capitolato OrCa-Spachtel Applicazione di un rasante in pasta pronto all'uso rinforzato con fibra di carbonio ad alta traspirabilità con permeabilità all'acqua < 0,1 kg(m ² h ^{0,5}) - classe W3 secondo EN 1062, coefficiente di diffusione del vapore $\mu \leq 90$ (Sd < 0,26 m per 3 mm di spessore - classe V2 secondo EN 1062), conducibilità termica $\leq 0,7$ W/mK, densità apparente pari a ca. 1300 kg/m ³ , classe di reazione al fuoco A2-s1-d0, Resistenza meccanica certificata fino a 20 Joule (con singola rete di armatura OrCa Gewebe) e fino a 60 Joule (con doppia rete di armatura OrCa Gewebe + Panzergewebe)

Aggiornamento: gennaio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG - Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20060 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

Capatect Sockelflex Carbon

Collante e rasante impermeabilizzante, bicomponente rinforzato con fibre di carbonio



Descrizione del Prodotto

Campo di Applicazione	Per l'incollaggio di pannelli isolanti nell'area della zoccolatura e perimetrale, in particolare su supporti bituminosi e per la realizzazione di intonaci armati di pannelli isolanti in polistirene espanso ed estruso nell'area della zoccolatura e sotto il livello del suolo. Ideale protezione dall'umidità da stendere sopra il materiale in cui viene annegata l'armatura e sopra gli intonaci strutturali sotto il livello del suolo.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rinforzato con fibre di carbonio ■ Impermeabile all'acqua ■ Resistente al gelo ■ Resistente ai sali neutri e a soluzioni di sale antigelo ■ Diffusivo al vapore acqueo ■ Resistente agli alcali ■ Molto elastico (<i>crack bridging</i>)
Tipo di prodotto/Veicolo	Copolimeri di resine sintetiche in dispersione.
Imballaggi	Confezioni da 18 Kg. Componente A: 9,0 kg; Componente B: 9,0 kg (3 x 3,0 kg).
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Nelle confezioni originali sigillate la stabilità è garantita per un anno.
Dati tecnici	<ul style="list-style-type: none"> ■ Resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu=1350$ ■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd: Ca 2,7 m; Classe V₃ - secondo DIN 52615 (applicazione 2 mm) ■ Permeabilità all'acqua (valore w): 0,02 kg/(m²h^{0.5}); classe W₃ (bassa) - secondo EN 1062

Applicazione

Supporti idonei	Il requisito per l'applicazione di un isolamento nell'area della zoccolature e/o perimetrale è la predisposizione da parte del committente di una barriera per l'umidità adatta alle sollecitazioni prevalenti, corrispondente o equiparabile a quanto previsto dalla norma DIN 18195 relativamente a "umidità del suolo", "acqua non in pressione" e "acqua in pressione". Le misure volte alla predisposizione di barriera e isolamento termico non rendono superflue eventuali misure necessarie ai fini della deviazione dell'acqua mediante drenaggio secondo la norma DIN 4095 in caso di "ristagno di acqua" o di "acqua che eserciti costantemente una pressione". La barriera per l'umidità verticale deve estendersi sino a 30 cm circa dal livello del suolo, come da DIN 18195.
-----------------	---



Scheda Tecnica Capatect Sockelflex Carbon

Preparazione del substrato	Il supporto deve essere asciutto, pulito, piano, portante ed esente da sostanze distaccanti. (Attenersi alla norma austriaca ÖNORM) I supporti bituminosi devono essere lasciati essiccare per un tempo sufficiente e risultare completamente asciutti.
Metodo di applicazione	Barriera per l'umidità applicata con pennello/spatola Nel primo caso Capatect Sockelflex Carbon viene diluito con max. 10% di acqua e applicato con un pennello o una spazzola. (Non applicare quantità inferiori a quelle indicate). Nel secondo caso Capatect Sockelflex Carbon viene steso con uno spessore minimo di 2 mm. (Non applicare quantità inferiori a quelle indicate).
Ciclo di applicazione	Incollaggio di pannelli isolanti Capatect Applicare Capatect Sockelflex Carbon sul retro del pannello, formando una striscia perimetrale continua larga 6 cm lungo il bordo e tre cumuli grandi quanto il palmo di una mano al centro. La quantità di collante e l'altezza della striscia devono variare a seconda delle tolleranze del supporto in modo tale che la superficie di contatto con il collante sia min. 40%. Il collante consente di compensare irregolarità non superiori a +/-1 cm. In caso di supporti piani sotto il livello del suolo, il collante può essere applicato sul supporto anche con una spatola dentata da 10 x 10 mm. Per evitare la formazione di una pellicola preparare solo la quantità di collante necessaria per la posa dei pannelli. I pannelli vengono posati sul supporto in modo che combacino, procedendo dal basso verso l'alto, premendoli saldamente gli uni contro gli altri ed esercitando una lieve spinta. Non disporre alcun collante nei giunti di testa dei pannelli. Disporre i pannelli allineati e a piombo.
Consumo/Resa	Applicazione dell'intonaco di fondo Una volta posizionato il parasigoli su intradossi e spigoli, nonché l'armatura diagonale sugli angoli delle aperture della facciata, applicare Capatect Sockelflex Carbon con una spatola dentata (10 x 10 mm), mantenendo la stessa larghezza dei teli della rete, e annegare la rete in fibre di vetro Capatect con una sovrapposizione di min. 10 cm. Quindi stendere ancora una volta Capatect Sockelflex Carbon bagnato su bagnato, ricoprendo l'intera superficie della rete. Lo spessore complessivo dello strato di intonaco di fondo è pari a (spessore nominale) 3 mm e la rete è annegata all'incirca nel mezzo. <ul style="list-style-type: none"> ■ Collante: 4,0 kg/m² circa ■ Armatura: 3,8 kg/m² circa ■ Spessore nominale strato 3 mm. ■ Barriera applicata a pennello: 1,0 kg/m² circa ■ Barriera applicata a spatola: 1,3 kg/m² circa/per mm di spessore dello strato
Essiccazione/Tempo di essiccazione	A + 20 °C e 65 % di umidità relativa Capatect Sockelflex Carbon è asciutto in superficie. E' completamente asciutto e sollecitabile dopo 2-3 giorni. I tempi si allungano in presenza di una temperatura più bassa e di un'umidità più elevata.
Pulizia degli utensili	Subito dopo l'uso con acqua.
Nota	In linea generale si applicano anche le nostre istruzioni per la posa di sistemi di isolamento termico a cappotto e accessori Capatect. Per evitare tracce di sovrapposizioni, applicare bagnato su bagnato in un'unica soluzione. Per mantenere le caratteristiche speciali del prodotto, non miscelare Capatect Sockelflex Carbon con altri prodotti. Per proteggere il materiale durante l'essiccazione coprire eventualmente con dei teli. Proteggere la facciata da vento forte e luce solare diretta. Per evitare il ristagno di acqua, far defluire l'acqua piovana dall'edificio con misure costruttive.
Avvertenze	
Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)	Componente A: In caso di contatto con gli occhi o la pelle, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua. Contiene 1,2-benzisotiazol-3(2H)-one. Può provocare una reazione allergica. Componente B: Provoca irritazione cutanea. Provoca gravi lesioni oculari. Può provocare una reazione allergica cutanea. Può irritare le vie respiratorie. In caso di consultazione di un medico, tenere a disposizione il contenitore o l'etichetta del prodotto. Tenere fuori dalla portata dei bambini. Non respirare la polvere. IN CASO DI CONTATTO CON LA PELLE: Lavare abbondantemente con acqua e sapone. IN CASO DI CONTATTO CON GLI OCCHI: sciacquare accuratamente per parecchi minuti. Togliere le eventuali lenti a contatto se è agevole farlo. Continuare a sciacquare. Contattare un medico in caso di malessere. Trattamento specifico (vedere su questa etichetta). In caso di irritazione della pelle: consultare un medico. Conservare in luogo asciutto. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità con le disposizioni locali o nazionali. Contiene Cemento Portland, composti chimici; Polvere di combustione, cemento Portland; Esacalcio-esaossi-tris-(2-solfato)-(12)-dialluminato
Smaltimento	Basso contenuto di cromati ai sensi della Direttiva 2003/53/CE. Valore limite di soglia rispettato grazie all'aggiunta di sostanze riducenti fino a 6 mesi dalla data di produzione (v. numero lotto). Dopo l'utilizzo non disperdere i contenitori nell'ambiente. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità alla regolamentazione locale/nazionale. Conferire i contenitori con residui di prodotto liquido ai punti di raccolta rifiuti per pitture e smalti. Smaltire residui di prodotto indurito nei punti di raccolta di sfridi/materiali edili.

Scheda Tecnica Capatect Sockelflex Carbon

Ulteriori informazioni

Voci di capitolato

Capatect Sockelflex Carbon

Applicazione a pennello o spatola di un collante/rasante bicomponente rinforzato con fibre di carbonio o come protettivo contro l'umidità avente una resistenza alla diffusione del vapore acqueo: $\mu=1350$, una diffusione del vapore spessore di aria equivalente sd 2,7 m; Classe V3 secondo DIN 52615 (applicazione 2 mm) ed una permeabilità all'acqua (valore w) 0,02 kg/(m²h0,5); classe W3 (bassa) secondo EN 1062. Pronto all'uso o diluire con acqua al massimo 10%.

Aggiornamento: gennaio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/appliostratore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol · Largo R. Murjahn, 1 · 20080 Vermezzo (MI) · Tel. +39 02 9485521 · fax +39 02 948552297 · email: info@dawitalia.it · web: www.dawitalia.it

Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12

Rivestimento metilsiliconico con granulometria da 1,2 mm



Descrizione del Prodotto

Descrizione	I prodotti Capatect AmphiSilan-Fassadenputz sono rivestimenti minerali silossanici pronti all'uso, formulati con una particolare combinazione di pigmenti, cariche minerali e resine silossaniche che consentono di mantenere le facciate pulite per periodi di tempo molto lunghi.
Campo di Applicazione	Rivestimento di rasature minerali Capatect, di normali intonaci minerali o rivestiti con prodotti sintetici. I prodotti Capatect AmphiSilan-Fassadenputz sono indicati anche per la protezione decorativa colorata sui sistemi d'isolamento termico "a cappotto" Capatect. Non sono adatti supporti che presentano efflorescenze saline.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta traspirabilità al vapore acqueo ■ Idrorepellente ■ Facile da applicare ■ A basso odore, ecocompatibile ■ Elevata stabilità del colore ■ Resistente agli alcali ■ Non termoplastico ■ Reazione al fuoco: B1 secondo DIN 4102 ■ Con film protetto dall'aggressione di microrganismi
Imballaggi	<p>Confezioni da:</p> <p>Bianco/Base 1: 5 e 25 kg</p> <p>Base 3: 4,9 e 24,5 kg</p>
Colori	<p>Il prodotto è disponibile in Bianco/Base 1 e Base 3, tinteggiabili secondo il sistema tintometrico ColorExpress e con le basi AVA, fino a un massimo del 2%.</p> <p>In quantitativi secondo vigente listino, possono essere prodotte in fabbrica tinte delle ns. cartelle o similari.</p> <p>Stabilità dei colori secondo foglio informativo BFS No. 26: Classe: A Gruppo: 1</p>
Opacità	Opaco G ₃ - secondo EN 1062
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Nelle confezioni originali sigillate la stabilità è garantita per un anno.
Dati tecnici	Secondo EN 1062



Scheda Tecnica Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12

■ Densità:	Ca. 1,7 -1,9 kg/l
■ Granulometria massima:	1,2 mm; S ₃ - Grosso
■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd:	< 0,12 m; Classe V ₁ - Alta
■ Permeabilità all'acqua (valore w):	< 0,10 kg/(m ² h ^{0,5}); Classe W ₃ - Bassa

Applicazione

Supporti idonei	Rasature minerali Capatect, normali intonaci minerali o rivestiti con prodotti sintetici. Indicati anche per la protezione decorativa colorata sui sistemi d'isolamento termico "a cappotto" Capatect. Non sono adatti supporti che presentano efflorescenze saline, supporti in legno o plastica.
Preparazione del substrato	I supporti devono essere stabili, portanti, asciutti, puliti e privi di sostanze distaccanti. L'essiccazione necessaria dipende sia dalle condizioni del supporto che da quelle atmosferiche. Lasciare maturare gli intonaci nuovi per almeno tre settimane. L'umidità residua ammessa deve essere inferiore al 5%. I prodotti Capatect AmphiSilan-Fassadenputz sono finiture silossaniche minerali idonee per superfici esterne. Supporti prerivestiti con smalti o pitture in dispersione o con vecchi rivestimenti minerali vanno adeguatamente rimossi completamente se non ben aderenti, puliti se ben coesi.
Preparazione del materiale	In presenza di muffe, funghi o alghe lavare le superfici con getti d'acqua in pressione, applicare Capatop e lasciare asciugare almeno 24 ore. Su sistemi di isolamento termico a cappotto o su rasature minerali Capatect applicare una mano di Putzgrund come fondo. Pulire le superfici contaminate da inquinamento industriale (fumi industriali) o fuliggine con un pulitore ad alta pressione e idoneo detergente, secondo le vigenti normative.
Metodo di applicazione	Prima dell'applicazione i prodotti vanno miscelati con agitatore meccanico lento, adattando eventualmente la viscosità per l'applicazione con l'aggiunta di acqua. Mediante talosce e apparecchi di spruzzatura misto aria (pressione 3-4 bar). Applicare con una taloscia in acciaio inox o idoneo sistema di spruzzatura in maniera omogenea su tutta la superficie. Lisciare a raso del granulo guida rimuovendo e strutturare in modo circolare e uniforme con una taloscia in plastica o con tavola in PU o EPS. La scelta degli strumenti applicativi influisce sul profilo di ruvidità della superficie, di conseguenza lavorare e strutturare sempre con lo stesso attrezzo. In caso di applicazione a spruzzo applicare in maniera accurata e omogenea; le dimensioni dell'ugello dipendono dallo spessore del granulo del prodotto. Per ottenere una superficie omogenea, le superfici attigue andrebbero sempre eseguite in un unico ciclo di lavoro. Per evitare aloni sarà necessario un numero sufficiente di lavoratori su ogni ponteggio di impalcatura per un'applicazione continua e scorrevole, bagnato su bagnato. Lavorare sempre su superfici intere o unità di facciata complete senza interruzione.
Diluizione	Con acqua. Max. 1% per applicazione manuale, max. 2% per applicazione a spruzzo.
Ciclo di applicazione	Applicare Putzgrund in tinta con la finitura scelta. Attendere una corretta e profonda asciugatura delle mani di fondo/intermedie prima di procedere con la finitura.
Consumo/Resa	Circa 1,9 kg/m ² 0,5 m ² /kg, a seconda dalla ruvidezza e della struttura del supporto, sia dall'effetto finale desiderato per il rivestimento. Il valore riportato deve considerarsi indicativo poiché l'esatto consumo va determinato mediante applicazione di prova.
Condizioni di applicazione	Temperatura minima per l'applicazione: +5°C, massima: +30°C (aria, supporto, prodotto). Umidità relativa massima consentita: 80%. Non applicare sotto l'azione diretta del sole, su superfici calde, in presenza di forte vento, pioggia, nebbia, pericolo di gelate notturne e in generale con temperatura inferiore a + 5°C (aria, supporto, prodotto).
Essiccazione/Tempo di essiccazione	A +20° C e U.R. 65% il tempo di essiccazione in superficie è di circa 24 ore; dopo 2-3 giorni è ricopribile ed esercibile. In presenza di temperature più basse e/o di umidità dell'aria più elevate i tempi indicati possono aumentare considerevolmente.
Pulizia degli utensili	Con acqua, dopo l'uso.
Nota	Non adatto per superfici orizzontali con accumulo di acqua. Onde evitare l'esposizione alla pioggia durante la fase d'essiccazione, installare eventualmente dei teloni. In caso di forte vento o irradiazione solare, consigliamo di proteggere la facciata, coprendola con un telo da cantiere.

Scheda Tecnica Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12

Avvertenze

Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)

Nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata. Tenere fuori dalla portata dei bambini. In caso di consultazione di un medico, tenere a disposizione il contenitore o l'etichetta del prodotto. In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua. In caso di contatto con la pelle, lavarsi immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone. Non gettare i residui nelle fognature. Contiene un prodotto biocida: contiene miscela di: 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-one; 2-metil-2H-isotiazol-3-one (3:1). Contiene 2-metil-2H-isotiazol-3-one, 1,2-benzisotiazol-3(2H)-one. Può provocare una reazione allergica.

Smaltimento

Dopo l'utilizzo non disperdere i contenitori nell'ambiente. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità alla regolamentazione locale/nazionale. Conferire i contenitori con residui di prodotto liquido ai punti di raccolta rifiuti per pitture e smalti. Smaltire residui di prodotto indurito nei punti di raccolta di sfridi/materiali edili.

Valore limite Europeo per il contenuto in VOC

Di questo prodotto (cat. 1/c): 40 g/l. Questo prodotto contiene al massimo 20 g/l VOC.

Ulteriori informazioni

Voci di capitolato

Capatect AmphiSilan-Fassadenputz K12

Applicazione a taloscia o con idoneo sistema di spruzzatura di un rivestimento minerale silossanico avente granulometria massima pari a 1,2mm (S3 Grosso secondo EN 1062), diffusione del vapore sd < 0,12 m (Classe V2 Media secondo EN 1062), permeabilità all'acqua w<0,1 kg/(m²*h0,5) (Classe W3 Media secondo EN 1062). diluibile con acqua al max 2% ed avente una resa di 0,5 mq/kg e densità di 1,7-1,9 kg/l.

Aggiornamento: gennaio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applificatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

Muresko Putz K12 / K15

Rivestimento per facciate di tipo acril-silossanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 e 1,5 mm



Descrizione del Prodotto

Campo di Applicazione	Finitura di facciate e di sistemi di isolamento termico a cappotto, con protezione del film secco dalla proliferazione di muffe e alghe. Idonea sia su intonaci nuovi, siano essi civili o di malta bastarda, sia su vecchie pitture per rinnovare la protezione.								
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aspetto compatto ed omogeneo ■ Alta resa, facilmente lavorabile ■ Alta traspirabilità e idrorepellenza ■ Film protetto contro l'attacco di funghi e alghe ■ Resistente agli agenti atmosferici e all'abrasione 								
Imballaggi	<p>Confezioni da:</p> <p>Bianco/Base 1: 5 e 20 kg</p> <p>Base 3: 4,9 e 19,6 kg</p>								
Colori	<p>Il prodotto è disponibile in Bianco/Base 1 e Base 3, tinteggiabili secondo il sistema tintometrico ColorExpress e con le tinte piene AVA (AmphiColor Vollton- und Abtönfarbe), fino a un massimo del 2%.</p> <p>Stabilità dei colori secondo foglio informativo BFS No. 26: Classe: B Gruppo: 1-2-3</p>								
Opacità	Opaco								
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Nelle confezioni originali sigillate la stabilità è garantita per un anno.								
Dati tecnici	<p>Secondo EN 1062</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">■ Densità:</td> <td>Ca. 1,75 kg/l</td> </tr> <tr> <td>■ Granulometria massima:</td> <td>1,2 mm; S₃ - Grossa 1,5 mm; S₃ - Grossa</td> </tr> <tr> <td>■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd:</td> <td>Classe V₁ - Alta</td> </tr> <tr> <td>■ Permeabilità all'acqua (valore w):</td> <td>Classe W₂ - Media</td> </tr> </table>	■ Densità:	Ca. 1,75 kg/l	■ Granulometria massima:	1,2 mm; S ₃ - Grossa 1,5 mm; S ₃ - Grossa	■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd:	Classe V ₁ - Alta	■ Permeabilità all'acqua (valore w):	Classe W ₂ - Media
■ Densità:	Ca. 1,75 kg/l								
■ Granulometria massima:	1,2 mm; S ₃ - Grossa 1,5 mm; S ₃ - Grossa								
■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd:	Classe V ₁ - Alta								
■ Permeabilità all'acqua (valore w):	Classe W ₂ - Media								



Scheda Tecnica Muresko Putz K12 / K15

Applicazione

Supporti idonei	Tutti i supporti minerali nuovi o prepitturati utilizzati in edilizia all'esterno e sui sistemi d'isolamento termico Capatect.
Preparazione del substrato	<p>Il fondo deve essere liscio, pulito, asciutto, solido e portante e senza sostanze che possano inibire una corretta adesione. E' consigliata una preparazione con una mano di fondo di CapaGrund Universal o Caparol Putzgrund in una tinta simile a quella del rivestimento finale (sistema Grundiersystem di LargoTint).</p> <p>Lavare le superfici contaminate da gas industriali o fuliggine mediante spruzzatura d'acqua a pressione con l'aggiunta di adeguati detergenti e con osservazione delle disposizioni legislative in materia.</p> <p>In caso di applicazione su supporti precedentemente riparati è necessario l'uso di un fluatante. Per l'impiego nell'ambito dei sistemi isolanti Capatect, lo strato di armatura deve aver fatto presa ed essere asciutto (umidità relativa < 5%).</p>
Metodo di applicazione	<p>Il prodotto è applicabile mediante talosce, e idonei apparecchi di spruzzatura. Applicare con taloscia in acciaio e strutturare subito con taloscia in plastica al granulo guida. La scelta dell'attrezzo influisce sul profilo di ruvidità della superficie, di conseguenza lavorare sempre con la medesima tecnica, applicando il materiale in maniera uniforme. Per ottenere una superficie omogenea, le superfici attigue andrebbero sempre eseguite in un unico ciclo di lavoro, senza interruzioni. Per evitare aloni sarà necessario un numero sufficiente di lavoratori su ogni ponteggio di impalcatura, per una lavorazione continua e scorrevole, bagnato su agnato. A causa dell'utilizzo di materie prime naturali, sono possibili minime variazioni di colore: è consigliabile quindi applicare su superfici attigue solo materiali provenienti dello stesso lotto di produzione, mescolandoli tra loro.</p>
Diluizione	<p>Applicazione a spruzzo Effettuare sempre un test di efficacia con l'attrezzatura a disposizione. Consultare il nostro servizio di Assistenza Tecnica.</p> <p>Il prodotto generalmente è pronto all'uso. Eventuale diluizione massima consentita con il 2% di acqua.</p>
Ciclo di applicazione	<p>Utilizzare Putzgrund come mano di fondo o intermedia, in una tinta simile a quella del rivestimento finale (sistema Grundiersystem di LargoTint). Le applicazioni di fondo e intermedie devono essere asciutte prima della successiva lavorazione.</p> <p>Rasanti minerali nuovi Applicare una mano di fondo con Putzgrund.</p> <p>Rasanti minerali vecchi Applicare una mano di Putzgrund; su strati di armatura intaccati dagli agenti atmosferici a causa del tempo d'esposizione prolungato (p.es. svernamento) trattare preventivamente con Capatop e lasciare agire per 24/48 ore. Lasciar asciugare bene le superfici. Una mano di fondo addizionale con CapaGrund Universal riduce il rischio di efflorescenze.</p> <p>Intonaci nuovi Garantire un sufficiente tempo di maturazione; circa 3-4 settimane ad una temperatura di +20°C e 65% di umidità relativa dell'aria. In condizioni atmosferiche sfavorevoli, p.es. influenzate da vento e pioggia, occorre rispettare tempi d'indurimenti più lunghi. Una mano di fondo addizionale con CapaGrund Universal riduce il rischio di efflorescenze.</p> <p>Intonaci vecchi I punti di intonaco ritoccato devono aver fatto buona presa ed essere asciutti. E' necessario l'utilizzo di un fluatante. Su intonaci intaccati dagli agenti atmosferici a causa del tempo d'esposizione prolungato, trattare preventivamente con Capatop e lasciare agire per 24/48 ore. Su intonaci molto porosi, assorbenti e leggermente sabbiosi applicare una mano di fondo con Acryl-Hydrosol, e una mano intermedia con Putzgrund. Su intonaci fortemente sabbiosi e farinosi applicare una mano di fondo con Dupa-grund o Amphisilan Putzfestiger, e una mano intermedia con Putzgrund.</p> <p>Calcestruzzo Pulire meccanicamente le superfici in calcestruzzo con depositi di sporco o sfarinanti, oppure mediante spruzzatura d'acqua a pressione, osservando le rispettive disposizioni legislative pertinenti. Su intonaci molto porosi, leggermente sabbiosi o assorbenti applicare una mano di fondo con Acryl-Hydrosol opportunamente diluito con acqua. Su superfici farinose applicare una mano di fondo con Dupa-grund o Amphisilan Putzfestiger, e una mano intermedia con Putzgrund.</p> <p>Rivestimenti con vecchie pitture non portanti Eliminare completamente rivestimenti con vernici, pitture o intonaci sintetici non portanti, rivestimenti minerali non portanti.</p> <p>Rivestimenti con vecchie pitture portanti Per essendo direttamente applicabile su rivestimenti opachi normalmente assorbenti, si consiglia il pretrattamento con Putzgrund. Pulire le vecchie pitture mediante idrolavaggio a pressione, osservando le rispettive disposizioni legislative pertinenti. Con diverso sistema di pulizia (lavaggio, spazzolatura, spruzzatura semplici), applicare una mano preliminare di fondo con Dupa-grund o Amphisilan Putzfestiger, ed una mano intermedia con Putzgrund.</p>

Scheda Tecnica Muresko Putz K12 / K15

Consumo/Resa	<p>K12: 2,1 kg/m² 0,48 m²/kg K15: 2,8 kg/m² 0,36 m²/kg</p> <p>a seconda della ruvidezza e della struttura del supporto, sia dall'effetto finale desiderato per il rivestimento.</p> <p>Il valore riportato deve considerarsi indicativo poiché l'esatto consumo va determinato mediante applicazione di prova.</p>
Condizioni di applicazione	<p>Temperatura minima per l'applicazione: +5°C, aria, supporto, prodotto. Umidità relativa massima consentita: 80%. Non applicare sotto l'azione diretta del sole, su superfici calde, in presenza di forte vento, pioggia, nebbia, pericolo di gelate notturne e in generale con temperatura inferiore a + 5° C (aria, supporto, prodotto).</p>
Essiccazione/Tempo di essiccazione	<p>A +20° C e U.R. 65% è asciutto in superficie dopo 24 ore. Completamente asciutto, sollecitabile e ricopribile dopo 2-3 giorni.</p> <p>Il rivestimento essicca fisicamente per evaporazione dell'umidità. In particolare durante il periodo freddo dell'anno e/o in presenza di elevata umidità dell'aria e su superfici molto isolate, occorre quindi tener conto di un'essiccazione più lenta.</p>
Pulizia degli utensili	<p>Subito dopo l'uso con acqua.</p>
Nota	<p>Onde evitare l'esposizione alla pioggia durante la fase d'essiccazione, installare eventualmente dei teloni. In caso di forte vento o irradiazione solare, consigliamo di proteggere la facciata, coprendola con un telo da cantiere.</p>

Avvertenze

Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)	<p>Nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata. Tenere fuori dalla portata dei bambini. In caso di consultazione di un medico, tenere a disposizione il contenitore o l'etichetta del prodotto. In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua. In caso di contatto con la pelle, lavarsi immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone. Non gettare i residui nelle fognature. Contiene un prodotto biocida: contiene miscela di: 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-one; 2-metil-2H-isotiazol-3-one (3:1). Contiene 2-metil-2H-isotiazol-3-one, 1,2-benzisotiazol-3(2H)-one. Può provocare una reazione allergica.</p>
Smaltimento	<p>Dopo l'utilizzo non disperdere i contenitori nell'ambiente. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità alla regolamentazione locale/nazionale. Conferire i contenitori con residui di prodotto liquido ai punti di raccolta rifiuti per pitture e smalti. Smaltire residui di prodotto indurito nei punti di raccolta di sfridi/materiali edili.</p>
Valore limite Europeo per il contenuto in VOC	<p>Di questo prodotto (cat. 1/c): 40 g/l. Questo prodotto contiene al massimo 10 g/l VOC.</p>
Ulteriori informazioni	<p>Voci di capitolato</p> <p>Muresko Putz K12 Rivestimento per facciate di tipo acrilossilosanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,2 mm, idoneo anche per sistemi di isolamento termico a cappotto, con protezione del film secco dalla proliferazione di muffe e alghe, densità 1,75 kg/l, diffusione del vapore classe V1 - (Alta) secondo EN 1062, permeabilità all'acqua (valore w) classe W2 - (Media) secondo EN 1062, stabilità del colore secondo foglio informativo BFS No. 26 classe B - Gruppo: 1-2-3.</p> <p>Muresko Putz K15 Rivestimento per facciate di tipo acrilossilosanico, fibrato, ad alta resistenza, con granulometria 1,5 mm, idoneo anche per sistemi di isolamento termico a cappotto, con protezione del film secco dalla proliferazione di muffe e alghe, densità 1,75 kg/l, diffusione del vapore classe V1 - (Alta) secondo EN 1062, permeabilità all'acqua (valore w) classe W2 - (Media) secondo EN 1062, stabilità del colore secondo foglio informativo BFS No. 26 classe B - Gruppo: 1-2-3.</p>

Aggiornamento: gennaio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20080 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it

Capatect Accento-Spachtel

Finitura decorativa per effetti lisci su cappotto



Descrizione del Prodotto

Campo di Applicazione	Utilizzabile come finitura per la realizzazione di superfici creative e pregiate nei sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect ETICS. Non adatto per superfici orizzontali e inclinate.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Molteplici possibilità di realizzazione ■ Facile e veloce applicazione a spatola ■ Struttura superficiale estremamente fine ■ Resistente agli agenti atmosferici e all'acqua ■ Messa in tinta individuale con colori 3D-System
Imballaggi	Confezione da 20 kg.
Colori	Bianco naturale. Il prodotto può essere messo in tinta con in alcune tonalità della collezione Fassade A1, previa richiesta di fattibilità al laboratorio colore. Nota: in caso di sollecitazioni meccaniche, nelle colorazioni intense, potrebbero essere visibili segni di graffi (effetto scrittura). Questo effetto, dovuto alla presenza di pigmenti e/o riempitivi, non rappresenta un difetto tecnico o estetico.
Opacità	Leggermente serico o semilucido a seconda della versione.
Magazzinaggio	Il prodotto è confezionato in idonei imballi. Ogni confezione è specificatamente etichettata e riporta il codice di produzione che identifica l'impianto e il periodo di produzione. Il prodotto deve essere tenuto al fresco, ma al riparo dal gelo, nelle confezioni originali ben chiuse. Nelle confezioni originali sigillate la stabilità è garantita per un anno.
Dati tecnici	<ul style="list-style-type: none"> ■ Densità: Ca. 1,25 g/cm³ ■ Diffusione del vapore - spessore di aria equivalente sd: 0,19 m, classe V₂ (media) - secondo DIN EN 1062 ■ Permeabilità all'acqua (valore w): < 0,06 kg/(m²*h^{0,5}), W₃ (basso) - secondo DIN EN 1062

Applicazione



Preparazione del substrato

Il supporto deve essere planare, pulito, asciutto, compatto, portante e privo di sostanze distaccanti. Pulire le superfici infestate da muffe, muschio e alghe con getto d'acqua a pressione. Lavare con Capatox e lasciare asciugare le superfici. Pulire le superfici macchiate da scarichi industriali o fuliggine con getto d'acqua a pressione, con aggiunta di idonei detersivi.
Per ridurre il rischio di formazione di macchie in caso di rivestimenti di finitura colorati, accertarsi che il supporto sia uniformemente asciutto.

Realizzazione di un sistema termoisolante a cappotto con spessore strato di ca. 3 mm. Lo strato di armatura deve soddisfare i requisiti di "elevata planarità della superficie". Prevedere eventualmente adeguate misure p. es. un secondo strato di armatura o rasatura livellante. La rete di armatura (Capatect-Gewebe 650/110) deve essere annegata nel terzo superiore.

Applicare Capatect-AmphiSilan-Fassadenputz K15 e strutturarla. Dopo l'essiccazione, rasare la superficie con un rabot a griglia. Nel caso in cui la superficie venga strutturata con una cazzuola in acciaio inox si può eventualmente tralasciare la rasatura.

Metodo di applicazione

Realizzazione di una superficie piana

Attendere la completa asciugatura dell'intonaco rasato con AmphiSilan-Fassadenputz K15 e applicare Capatect Accento-Spachtel (della relativa tinta colore) su tutta la superficie, riempiendo i pori, per poi lisciare la superficie. Eventuali bave di spatolatura possono essere eliminate con un frattazzo in spugna.

Fondo

Dopo l'essiccazione in profondità degli strati precedenti (di norma 2 giorni) si applica Capatect Accento-Spachtel con idonea cazzuola per lisciare in acciaio inox o con cazzuola veneziana con tecnica di spatolatura a chiazze o a superficie intera. Lo spessore dello strato non deve essere superiore ad 1 mm. L'estetica della superficie finale dipende dalla dimensione e dal numero di getti della spatola e/o dal tipo di strutturazione, nonché dalla mano dell'applicatore.

Dopo l'essiccazione (di norma 1 giorno, ma a seconda delle condizioni atmosferiche il tempo necessario può allungarsi), occorre eliminare tutte le bave di spatolatura, levigando o carteggiando con carta abrasiva (grana 120).

Importante: eliminare accuratamente la polvere. La carteggiatura risulta man mano più difficile col passare dei giorni, dopo completa essiccazione.

Rivestimento intermedio

Il secondo strato di Accento-Spachtel viene realizzato con la cazzuola speciale Accento (in plastica con bordi arrotondati). A tale fine si applica abbondantemente il materiale, tirandolo molto e lisciandolo a spessore sottile (evitare tracce di sovrapposizione).

Importante: le superfici levigate devono sempre essere ricoperte con Accento-Spachtel, sull'intera superficie.

Rivestimento finale/decorativo

L'ultimo strato di prodotto e/o il rivestimento finale viene realizzato con Accento-Effektspachtel o alternativamente con ThermoSan NQG Longterm Quality. Il rivestimento può essere realizzato secondo effetto estetico desiderato, trasparente o pigmentato (oro, argento, rame o tinta piena). In caso di applicazione di Capatect Accento Effektspachtel applicare abbondantemente il prodotto, tirandolo molto e lisciandolo a spessore sottile con la cazzuola speciale Accento. Per evitare tracce di sovrapposizione occorre lavorare rapidamente bagnato su bagnato e con adeguata forza lavoro.

In caso di applicazione di ThermoSan NQG Longterm Quality procedere utilizzando un adeguato rullo od un adeguato pennello, nel numero di mani necessarie per garantire una corretta copertura e protezione.

Nota:

Fondo, rivestimento intermedio e finale con il sistema Accento devono essere eseguiti in modo tale da non superare 1 mm di spessore in totale. Considerata la varietà di realizzazioni che Accento offre, si consiglia di effettuare una prova su una superficie campione.

Per ottenere un'estetica uniforme, è bene affidare allo stesso applicatore la realizzazione di superfici adiacenti, per evitare differenze strutturali dovute alla diversa tecnica e mano di applicazione.

Per evitare tracce di sovrapposizione occorre lavorare rapidamente bagnato su bagnato e con adeguata forza lavoro.

L'utilizzo di inerti naturali può comportare lievi variazioni di colore. Su superfici adiacenti utilizzare solo prodotti dello stesso lotto oppure, se di lotti diversi, miscelarli tra di loro prima dell'applicazione.

Consumo/Resa

Consumi orientativi	
Spatolatura chiusura pori:	ca. 0,7- 1,0 kg/m ²
Fondo:	ca. 1,2 - 1,5 kg/m ² (spessore max 1 mm)
Rivestimento intermedio:	ca. 0,2- 0,3 kg/m ²
Rivestimento finale:	ca. 0,1 kg/m ²

I valori riportati devono considerarsi indicativi poiché l'esatto consumo va determinato mediante applicazione di prova.

Scheda Tecnica

Condizioni di applicazione	Durante l'applicazione e l'essiccazione la temperatura dell'aria e del supporto non deve risultare inferiore a +5 °C o superiore a +30 °C. Non applicare in pieno sole, in presenza di pioggia o forte vento o proteggere in maniera adeguata le superfici.
Essiccazione/Tempo di essiccazione	Fondo: levigabile dopo 6 ore circa, sovrapplicabile di norma dopo 24 ore circa. Rivestimento intermedio: sovrapplicabile dopo 3 ore circa. I tempi di essiccazione dipendono dalla temperatura e dall'umidità relativa e si allungano in presenza di temperature più basse e di umidità. Per proteggere il materiale dalle intemperie durante la fase di applicazione e di essiccazione, coprire l'impalcatura con teli. Il rivestimento finale/decorativo può essere applicato solo dopo l'essiccazione in profondità dello strato di Capatect Accento-Spachtel.
Pulizia degli utensili	Subito dopo l'uso con acqua.

Avvertenze

Indicazioni di pericolo/Consigli di prudenza (Stato alla data di pubblicazione)	Tenere fuori dalla portata dei bambini. In caso di consultazione di un medico, tenere a disposizione il contenitore o l'etichetta del prodotto. In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua. In caso di contatto con la pelle, lavarsi immediatamente e abbondantemente con acqua e sapone. Non gettare i residui nelle fognature. Contiene un prodotto biocida: contiene miscela di: 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-one; 2-metil-2H-isotiazol-3-one (3:1). Può provocare una reazione allergica. Scheda dati di sicurezza disponibile su richiesta.
Smaltimento	Dopo l'utilizzo non disperdere i contenitori nell'ambiente. Smaltire il prodotto/recipiente in conformità alla regolamentazione locale/nazionale. Conferire i contenitori con residui di prodotto liquido ai punti di raccolta rifiuti per pitture e smalti. Smaltire residui di prodotto indurito nei punti di raccolta di sfridi/materiali edili.
Ulteriori informazioni	Voci di capitolato Capatect Accento-Spachtel Applicazione con spatola di un rivestimento organico fine modellabile, ideale per la realizzazione di campiture ad effetto liscio spatolato o con rilievi decorativi, densità 1,25 kg/l, conforme alla normativa EN 1062-1 (permeabilità all'acqua $A \leq 0,06 \text{ Kg/m}^2\text{h}0,5$ – classe W3, diffusione del vapore $Sd \leq 0,19 \text{ m}$ – classe V2, satinato in funzione della ricopertura), resistente agli agenti atmosferici ed all'acqua

Aggiornamento: luglio 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20060 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it