

# ARCHITETTURA TECNICA E PRATICA / 1

Efficientamento e riqualificazione energetica

## COMITATO SCIENTIFICO

### *Presidente*

---

Prof. Arch. Fabrizio Tucci  
(Università Sapienza di Roma)

### *Membri*

---

Prof. Arch. Serena Baiani  
(Università di Roma "La Sapienza")

Prof. Arch. Alessandra Battisti  
(Università di Roma "La Sapienza")

Prof. Arch. Alberto De Capua  
(Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria)

Prof. Arch. Domenico D'Olimpio  
(Università di Roma "La Sapienza")

Prof. Ing. Francesco Mancini  
(Università di Roma "La Sapienza")

## **L'AUTORE**

Domenico D'Olimpio, architetto, professore associato di Tecnologia dell'Architettura, svolge attività di ricerca scientifica presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura-PDTA dell'Università di Roma "La Sapienza" dal 1998, nonché attività didattica, presso la Facoltà di Architettura della stessa Università, dal 2001. E' professore del corso *Costruire Sostenibile per Greener Cities*, nel corso di Laurea Magistrale in Architettura-Rigenerazione Urbana, del corso *Metodi e Strumenti di Controllo della Qualità Tecnologica Ambientale* e del Corso di *Tecnologia dell'Architettura II* nel corso di Laurea in Architettura Magistrale C.U. della Facoltà di Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza". E' membro del Collegio dei docenti del Dottorato di Ricerca in *Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura* e del Consiglio scientifico-didattico del Master di II livello in *"Environmental Technological Design-Green Building/Architectural and Urban Requalification/Green Blue Infrastructure"*.

E' nell'Albo degli esperti nazionali in Innovazione Tecnologica del Ministero dello Sviluppo Economico; membro degli Stati Generali della Green Economy - Gruppo di lavoro degli esperti del Green City Network; autore di numerose pubblicazioni scientifiche sulle tematiche della Tecnologia dell'Architettura, con particolare riferimento all'innovazione tecnologica e all'efficienza energetico-ambientale negli edifici, caratterizza la propria attività di ricerca attraverso una specifica attenzione verso gli aspetti della sostenibilità ambientale e dell'eco-efficienza degli assetti costruiti.

DOMENICO D'OLIMPIO

# IL RETROFITTING TECNOLOGICO, ENERGETICO E BIOCLIMATICO NELL'EDILIZIA

Tecnologie e soluzioni tecniche per il miglioramento  
della prestazione energetico-ambientale degli edifici

© Copyright Legislazione Tecnica 2023

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

---

Finito di stampare nel mese di aprile 2023 da  
LOGO SRL  
Via Marco Polo, 8 - 35010 - Borgoricco (PD)

---

Legislazione Tecnica S.r.L.  
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

*Servizio Clienti*  
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068  
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

*Portale informativo:* [www.legislazionetecnica.it](http://www.legislazionetecnica.it)  
*Shop:* [ltshop.legislazionetecnica.it](http://ltshop.legislazionetecnica.it)

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti delle strutture e dei componenti. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

# INDICE

<b>PRESENTAZIONE</b> .....	11
<i>Dino de Paolis</i>	
<b>PREFAZIONE</b> .....	13
<i>Fabrizio Tucci</i>	
<b>PREMESSA</b> .....	17
<i>Fabrizio Orlandi</i>	
<b>INTRODUZIONE</b> .....	19
 PARTE O	
<b>SPECIFICAZIONI, AZIONI PROGETTUALI, TIPOLOGIE E TECNOLOGIE</b> .....	21
CAPITOLO 0.1 - IL RETROFITTING TECNOLOGICO ED ENERGETICO. UNA SPECIFICAZIONE TERMINOLOGICA. ....	21
CAPITOLO 0.2 - LE AZIONI PROGETTUALI PER IL RETROFITTING DEGLI EDIFICI .....	22
CAPITOLO 0.3 - TECNOLOGIE PER IL RETROFITTING .....	24
0.3.1. Le "tecnologie devianti" .....	24
0.3.2. Le "tecnologie riconfiguranti" .....	25
CAPITOLO 0.4 - TIPOLOGIE DI RETROFITTING TECNOLOGICO PER L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO-AMBIENTALE DEGLI EDIFICI .....	25
0.4.1. Ambiti operativi del retrofitting tecnologico, energetico e bioclimatico degli edifici .....	25
0.4.2. Il retrofitting "low tech/low cost" .....	26
0.4.3. Il "deep retrofit" .....	26
 PARTE I	
<b>L'ATTUALE QUADRO NORMATIVO COME RIFERIMENTO PER LO SVILUPPO PROGETTUALE</b> .....	31
CAPITOLO I.0 - PREMESSA: IL SIGNIFICATO ED IL CONCETTO DI "RETROFIT" PER UN CORRETTO INQUADRAMENTO NORMATIVO .....	31

CAPITOLO I.1 - IL QUADRO LEGISLATIVO DI RIFERIMENTO .....	33
I.1.1. Correlazioni con l'attuale quadro legislativo nazionale di riferimento. Il D.M. 26/06/2015 .....	33
I.1.1.1. Ristrutturazioni importanti di primo livello - D.M. 26/06/2015 .....	33
I.1.1.2. Ristrutturazioni importanti di secondo livello - D.M. 26/06/2015 .....	36
I.1.2. L'evoluzione del quadro normativo successivamente al D.M. 26/06/2015 .....	38
I.1.2.1. Il D.L. n. 34 del 19/05/2020 - " <i>Decreto Rilancio</i> " .....	39
I.1.2.2. Il D.M. del 06/08/2020 - " <i>Requisiti tecnici per l'accesso alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici - cd. Ecobonus</i> " .....	39
I.1.2.3. Il D. Leg.vo n. 48 del 10/06/2020 - recepimento Direttiva UE 2018/844 del 30/05/2018 (EPBD III) .....	40
I.1.2.4. Il D. Leg.vo n. 73 del 14/07/2020 .....	41
I.1.2.5. Obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili di energia - D. Leg.vo n. 199 del 08/11/2021 ..	42
CAPITOLO I.2 - NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	44
I.2.1. Norme quadro di riferimento nazionale .....	44
I.2.1.1. Specifici contenuti delle norme UNI/TS 11300 .....	44
I.2.2. Norme tecniche di supporto .....	46
I.2.2.1. Specifici contenuti delle norme UNI di supporto considerate .....	46
I.2.3. Norme tecniche per l'acquisizione dei dati: banche dati .....	48
I.2.3.1. Specifici contenuti delle norme UNI di riferimento per l'acquisizione dei parametri termici, igrometrici e termofisici in generale, di materiali, prodotti e componenti edilizi (banche dati) .....	49
PARTE II	
DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO. DALLA FASE DI ANALISI VALUTATIVA ALLA DEFINIZIONE METAPROGETTUALE DEGLI OBIETTIVI E DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO .....	51
CAPITOLO II.0 - L'APPROCCIO METODOLOGICO .....	51
II.0.1. Proposta metodologica per l'impostazione e lo sviluppo del progetto di retrofit energetico e bioclimatico .....	51
II.0.2. L'analisi delle condizioni di contesto per l'impostazione e lo sviluppo progettuale .....	52
CAPITOLO II.1 - ANALISI DEL CONTESTO AMBIENTALE DI RIFERIMENTO .....	55
II.1.1. Analisi del sistema microclimatico .....	55
II.1.1.A. Analisi della componente ambientale " <i>soleggiamento</i> " .....	56
II.1.1.A.1. Determinazione dei parametri di geometria solare .....	56
II.1.1.A.2. Valutazione della radiazione solare globale incidente .....	58
II.1.1.A.3. Calcolo dei valori di intensità radiativa .....	60
II.1.1.A.4. Radiazione solare in ambito urbano .....	70
II.1.1.A.5. Analisi degli effetti di interazione soleggiamento/contesto costruito .....	71
II.1.1.B. Analisi della componente ambientale " <i>ventilazione</i> " .....	73
II.1.1.B.1. Determinazione della velocità del vento .....	73
II.1.1.B.2. Individuazione del regime dei venti locali in funzione della norma UNI 10349-1:2016 .....	77
II.1.1.B.3. Analisi degli effetti di interazione ventilazione/contesto costruito .....	82
II.1.1.B.3.A. Fenomenologie aerodinamiche in ambito urbano .....	83
II.1.1.B.3.B. Esposizione ai venti e condizioni di ventilazione degli edifici .....	85

II.1.1.C. Analisi della componente ambientale "umidità" .....	86
II.1.1.C.1. Fattori generativi e fattori di analisi .....	87
II.1.1.C.2. Condizioni di umidità e comfort ambientale .....	88
II.1.2. Analisi dell'assetto fisico dei luoghi (sistema biofisico, sistema antropico) .....	89
CAPITOLO II.2 - ANALISI DEL CONTESTO EDILIZIO .....	90
II.2.1. Analisi del comportamento energetico-ambientale dell'edificio .....	90
II.2.2. Analisi delle prestazioni relative ai requisiti espressi per le differenti classi esigenziali .....	90
II.2.3. Analisi delle caratteristiche tecniche e tecnologiche del "sistema edificio-impianto" .....	91
CAPITOLO II.3 - LA SINTESI VALUTATIVA DELLE ANALISI E LA FASE METAPROGETTUALE DI DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI E DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO .....	93
PARTE III	
TECNOLOGIE, STRATEGIE DI INTERVENTO E SOLUZIONI TECNICHE .....	105
CAPITOLO III.0 - L'IMPOSTAZIONE METODOLOGICA .....	105
III.0.1. Criteri di selezione delle soluzioni tecniche analizzate ed illustrate e modalità di analisi .....	105
CAPITOLO III.1 - SOLUZIONI TECNICHE .....	106
III.1.1. Quadro organizzativo delle soluzioni tecniche e tecnologiche analizzate .....	106
Soluzione tecnica SC-1/A.1.1 - Realizzazione di masse termiche integrate alle strutture esistenti .....	109
Soluzione tecnica SC-1/A.1.2; SP-5/B.1.3 - Accumulo termico con materiali a cambiamento di fase ....	111
Soluzione tecnica SC-1/A.2.1 - Rivestimento delle facciate con elementi riflettenti .....	115
Soluzione tecnica SC-1/A.2.2 - Rivestimento delle superfici con pitture riflettenti .....	119
Soluzione tecnica SC-1/A.3.1 - Facciate ventilate .....	123
Soluzione tecnica SC-1/A.4.1; SC-1/B.2.1; VC-3/A.3.1 - Schermi vegetali .....	129
Soluzione tecnica SC-1/A.4.2; SC-1/B.2.2; VC-3/A.3.2 - Schermi vegetali integrati, green facade e living wall .....	135
Soluzione tecnica SC-1/A.5.1; UC-7/A.2.2 - Termo-rivestimenti con pitture e malte nanotecnologiche ..	141
Soluzione tecnica SC-1/B.1.1 - Vetri a controllo solare: a basso fattore solare e selettivi .....	143
Soluzione tecnica SC-1/B.1.2 - Modifica del fattore solare dei vetri esistenti: pellicole a controllo solare	147
Soluzione tecnica SC-1/B.2.1 - Sistemi fissi di schermatura esterna .....	151
Soluzione tecnica SC-1/B.2.2 - Sistemi mobili di schermatura esterna .....	155
Soluzione tecnica SC-1/B.3.1 - Vetri cromogenici .....	161
Soluzione tecnica SC-1/B.2.3; SP-5/A.2.2 - Schermature con moduli FV integrati .....	165
Soluzione tecnica SC-1/C.1.1 - Coperture ventilate .....	167
Soluzione tecnica SC-1/C.2.1; INV-8/B.1.1; INV-8/B.2.1 - Isolamento termico multistagionale della copertura - Materiali e tecnologie .....	171
Soluzione tecnica SC-1/C.3.1 - Soluzioni tecniche di "cool roof" .....	175
Soluzione tecnica SC-1/C.4.1 - Coperture vegetali .....	179
Soluzione tecnica SC-2/A.1.1 - Sistemi solari passivi a "pozzo solare" .....	185
Soluzione tecnica SC-2/A.2.1; INV-8/A.3.1 - Sistemi e tecnologie di isolamento ultrasottile .....	189
Soluzione tecnica SC-2/A.2.2; INV-8/A.2.1 - Tecnologie di insufflaggio .....	195
Soluzione tecnica SC-2/A.2.3; INV-8/A.1.1 - Sistemi ETICS - External Thermal Insulation Composite System .....	199
Soluzione tecnica SC-2/B.1.1 - Aumento delle superfici di involucro trasparenti .....	203
Soluzione tecnica SC-2/B.2.1; SP-5/C.1.1 - Sistemi e tecnologie a light pipe .....	205

Soluzione tecnica VC-3/A.2.1 -Soluzioni tecniche per la protezione antivento e la tenuta all'aria delle superfici dell'involucro edilizio .....	209
Soluzione tecnica VC-3/A.2.2 - Soluzioni tecniche per la riduzione della permeabilità all'aria dei serramenti esterni .....	213
Soluzione tecnica VC-4/A.1.1; VC-4/A.2.1; VC-4/B.1.1 - Sistemi di ventilazione naturale con torri/camini del vento .....	217
Soluzione tecnica VC-4/A.2.1; VC-4/B.2.1; UC-7/B.2.1; IMP-9/B.5.1 - Ventilazione meccanica controllata	223
Soluzione tecnica VC-4/A.2.2; VC-4/B.2.2; UC-7/B.2.2 - Sistemi di VMC integrati agli infissi esterni ....	229
Soluzione tecnica SP-5/A.1.1 - Sistemi solari passivi a muro solare.....	231
Soluzione tecnica SP-5/A.1.2 - Sistemi solari passivi a camino solare (riscaldamento solare aerotermico)	237
Soluzione tecnica SP-5/A.2.1; IMP-9/A.1.1 - Tecnologie fotovoltaiche integrate alle strutture verticali di involucro .....	245
Soluzione tecnica SP-5/A.2.2; IMP-9/A.1.2 - Tegole fotovoltaiche per la realizzazione di impianti FV integrati alle coperture a tetto .....	249
Soluzione tecnica SP-5/B.1.1 - Sistemi solari passivi a guadagno diretto .....	253
Soluzione tecnica SP-5/B.1.2 - Sistemi solari passivi a "spazio solare" (serre integrate o addossate). ....	259
Soluzione tecnica SP-5/C.2.1; IMP-9/A.2.1 - Impianto a collettori solari per la produzione di energia termica da fonte rinnovabile .....	263
Soluzione tecnica VP-6/A.3.1; VC-4/B.3.1 - Configurazione delle finestrate e degli spazi interni per l'attuazione della ventilazione trasversale (ventilazione passante). ....	269
Soluzione tecnica VP-6/A.3.2 - Dimensionamento e riconfigurazione delle finestrate .....	273
Soluzione tecnica VP-6/B.1.1; IMP-9/A.3.1 - Sistemi e tecnologie per il microeolico .....	277
Soluzione tecnica UC-7/A.2.1; UC-7/B.1.1 - Pitture minerali fotocatalitiche .....	283
Soluzione tecnica IMP-9/B.3.1 - Sistemi di illuminazione a Light Emitting Diodes (LED) .....	287
Soluzione tecnica IMP-9/A.1; A.2; A.3; A.4; A.5 - Sistemi e tecnologie per la produzione energetica da fonte rinnovabile. ....	291

#### PARTE IV

<b>ASPETTI TECNICO-REALIZZATIVI E DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA .....</b>	<b>295</b>
------------------------------------------------------------------------	------------

<b>CAPITOLO IV.0 - TECNOLOGIE E SOLUZIONI TECNICHE SELEZIONATE .....</b>	<b>295</b>
IV.0.1. Criteri di selezione delle soluzioni tecniche approfondite .....	295
IV.0.2. Modalità dell'approfondimento tecnico .....	295

<b>CAPITOLO IV.1 - SOLUZIONI TECNICHE PER IL GREEN RETROFIT .....</b>	<b>297</b>
Soluzione tecnica SC-1/A.1.1 - Realizzazione di masse termiche integrate alle strutture esistenti .....	298
Soluzione tecnica SC-1/A.3.1 - Facciate ventilate .....	301
Soluzione tecnica SC-1/B.2.1; SC-1/B.2.2 - Sistemi fissi e mobili di schermatura esterna .....	308
Soluzione tecnica SC-1/C.1.1 - Coperture ventilate .....	317
Soluzione tecnica SC-1/C.4.1 - Coperture vegetali.....	323
Soluzione tecnica SC-2/A.2.1; INV-8/A.3.1 - Sistemi e tecnologie di isolamento ultrasottile: Isolanti sottili termoriflettenti .....	330
Soluzione tecnica SC-2/A.2.2; INV-8/A.2.1 - Tecnologie di insufflaggio .....	338
Soluzione tecnica SC-2/A.2.3; INV-8/A.1.1 - Sistemi ETICS-External Thermal Insulation Composite System .....	345
Soluzione tecnica SC-2/B.2.1; SP-5/C.1.1 - Sistemi e tecnologie a light pipe .....	357
Soluzione tecnica VC-4/A.1.1; VC-4/A.2.1; VC-4/B.1.1 - Sistemi di ventilazione naturale con torri/camini del vento .....	363
Soluzione tecnica SP-5/A.1.1 - Sistemi solari passivi a muro solare.....	369



Soluzione tecnica SP-5/A.2.1; IMP-9/A.1.1 - Tecnologie fotovoltaiche integrate alle strutture verticali di involucro	374
Soluzione tecnica SP-5/B.1.1 - Sistemi solari passivi a guadagno diretto	378
Soluzione tecnica SP-5/B.1.2 - Sistemi solari passivi a "spazio solare" (serre integrate o addossate)	383
Soluzione tecnica SP-5/C.2.1; IMP-9/A.2.1- Impianto a collettori solari per la produzione di energia termica da fonte rinnovabile	388
Soluzione tecnica VP-6/A.3.1; VC-4/B.3.1 - Configurazione delle finestre e degli spazi interni per l'attuazione della ventilazione trasversale (ventilazione passante)	397
Soluzione tecnica VP-6/A.3.2 - Dimensionamento e riconfigurazione delle finestre	397
Soluzione tecnica VP-6/B.1.1; IMP-9/A.3.1- Sistemi e tecnologie per il microeolico	402
<b>PARTE V</b>	
<b>ESEMPIO DI BEST PRACTICE - RETROFITTING TECNOLOGICO ED ENERGETICO:</b>	
<b>EDIFICIO PRIVATO PER UFFICI A ROMA - EDIFICIO PUBBLICO PER UFFICI A VERCELLI</b>	409
<b>CAPITOLO V.0.1 - EDIFICIO PRIVATO PER UFFICI A ROMA. CARATTERI GENERALI E TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO</b>	411
V.0.1.1 Inquadramento storico, urbano ed obiettivi generali dell'intervento	412
<b>CAPITOLO V.0.2 - ANALISI DELLE CONDIZIONI E DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DELL'EDIFICIO ESISTENTE</b>	413
V.0.2.1. Superficie esterna di involucro: caratteristiche costruttive e problematiche	413
V.0.2.2. Spazi interni: caratteristiche tecnologiche e ambientali	415
<b>CAPITOLO V.0.3 - OBIETTIVI E STRATEGIE DI INTERVENTO</b>	416
V.0.3.1. Obiettivi di intervento	416
V.0.3.2. Strategie di intervento	417
<b>CAPITOLO V.0.4 - SOLUZIONI TECNICHE</b>	418
V.0.4.1. Quadro generale delle soluzioni tecnico-progettuali utilizzate	418
V.0.4.2. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Isolamento termico delle pareti opache dell'involucro edilizio e delle strutture di copertura"	419
V.0.4.3. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Sostituzione degli infissi esterni con nuovi infissi e vetrate a bassa trasmittanza termica"	420
V.0.4.4. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Utilizzazione di sistemi di schermatura e protezione solare"	421
V.0.4.5. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Sistemi di ombreggiamento esterno con elementi vegetali"	422
V.0.4.6. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Dispositivi per l'utilizzazione e la diffusione dell'illuminazione naturale"	423
V.0.4.7. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Integrazione energetica con impianti solari termici per la produzione di energia termica da fonte rinnovabile"	425
V.0.4.8. Soluzioni tecniche per la strategia di intervento "Integrazione energetica da fonte rinnovabile con impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica"	426
<b>CAPITOLO V.0.5 - CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE</b>	427
V.0.5.1. Architettura degli spazi interni. Riorganizzazione degli spazi e degli ambienti	427
V.0.5.2. Connotazioni ed aspetto architettonico esterno dell'edificio. Il ridisegno dei prospetti	427
<b>CAPITOLO V.0.6 - CARATTERISTICHE IMPIANTISTICHE</b>	429
V.0.6.1. Impianto di illuminazione	429
V.0.6.2. Impianti per la climatizzazione degli ambienti	429

CAPITOLO V.1.1 - EDIFICIO PUBBLICO PER UFFICI A VERCELLI. CARATTERI GENERALI E TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO	431
V.1.1.1 Inquadramento storico-urbano e caratteristiche architettoniche dell'edificio oggetto dell'intervento	432
V.1.1.2 Caratteristiche architettoniche ed energetiche dell'edificio esistente	433
CAPITOLO V.1.2 - OBIETTIVI DI PROGETTO E STRATEGIE DI INTERVENTO	434
V.1.2.1 Superficie esterna verticale di involucro: caratteristiche tecnico-costruttive e soluzioni tecniche - Riferimento SC-1/A.3.1	436
V.1.2.1.1. Il rivestimento esterno di facciata	436
V.1.2.1.2. Isolamento termico a cappotto	438
V.1.2.2 Ridefinizione delle caratteristiche di illuminazione interna ed esterna - Riferimento IMP-9/B.3.1	438
V.1.2.2.1 Intervento di relamping indoor	439
V.1.2.2.2 Illuminazione architettonica	440
CAPITOLO V.1.3 - MIGLIORAMENTO DEL <i>FOOTPRINT</i> DEL COMPLESSO EDILIZIO	441
PARTE VI	
<b>MATERIALI DI SUPPORTO</b>	443
CAPITOLO VI.0 - PARAMETRI E DIAGRAMMI SOLARI PER L'ITALIA	443
CAPITOLO VI.1 - DETTAGLI CAD DISPONIBILI IN DOWNLOAD	466
CAPITOLO VI.2 - MATERIALI, SISTEMI E TECNOLOGIE	468
CAPITOLO VI.3 - BIBLIOGRAFIA, FONTI NORMATIVE, NORME TECNICHE	470

# PRESENTAZIONE

Il tema del *retrofit* energetico, tecnologico e bioclimatico è da anni al centro dell'attenzione del mondo accademico, delle professioni tecniche e delle aziende produttrici di materiali, soluzioni e tecnologie per l'edilizia, di pari passo con la crescente importanza che allo stesso è data a livello legislativo, a partire dall'Unione Europea fino alla normativa nazionale e regionale ed alla produzione di norme tecniche da parte degli enti preposti.

Nell'ambito delle strategie per il miglioramento delle condizioni ambientali generali e per il contrasto al fenomeno del *global warming*, la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente è stata individuata tra le principali linee di intervento a tutti i livelli.

I provvedimenti e gli interventi principali emanati negli ultimi 15 anni, discendenti direttamente dalle direttive UE, prevedono in estrema sintesi:

- la definizione di requisiti energetici per il sistema edificio-impianti, da rispettare in occasione di nuove costruzioni, ristrutturazioni o riqualificazioni energetiche di una certa entità;
- l'obbligo, in determinati casi, di diagnosi energetiche su edifici ed impianti;
- l'introduzione della certificazione energetica degli edifici, obbligatoria in caso di interventi edilizi e trasferimenti della proprietà o del possesso nel mercato immobiliare;
- l'introduzione di limiti delle temperature interne per riscaldamento e raffrescamento;
- la previsione di ispezioni periodiche degli impianti termici ed obblighi di manutenzione e certificazione periodica.

Più recente, in Italia, l'adozione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (c.d. "*PNRR*") - l'ambiziosa agenda di riforme e investimenti post-pandemia finanziata con circa 200 miliardi di Euro nell'ambito del Fondo "*Next Generation EU*" - che ha previsto uno stanziamento di oltre 22 miliardi solo nell'ambito della misura "*M2C3 - Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici*", per la riqualificazione energetica e tecnologica di edifici pubblici e privati.

Nell'ambito di questo obiettivo, altresì, sono stati introdotti forti incentivi fiscali, primo tra tutti il c.d. "*Superbonus*", che ha certamente rappresentato un forte impulso per il settore delle costruzioni private, ma che tuttavia - almeno in confronto alla enorme quantità di risorse stanziate, rivelatasi ben maggiore delle iniziali previsioni - ha fallito l'obiettivo di consentire una riqualificazione su vastissima scala del vetusto patrimonio edilizio italiano, dato che gli interventi hanno riguardato una percentuale irrisoria, di poco superiore al 3% degli edifici presenti sul nostro territorio.

In questo scenario, a fronte di una crescente attenzione al progredire, nell'ambito delle università e dell'industria di riferimento, della ricerca tecnologica tesa alla produzione di materiali e soluzioni sempre più performanti ed innovative, nonché della nascita di nuove figure professionali specializzate, permane tuttavia un rilevante *gap* rispetto a ciò che concretamente è disponibile sul mercato e a ciò che effettivamente viene realizzato e installato.

Infatti, se da un lato la ricerca mette continuamente a disposizione dell'industria di riferimento soluzioni e tecnologie sempre più avanzate, caratterizzate da elevate prestazioni ed accessibili dal punto di vista economico, utilizzabili pertanto anche nell'ambito di interventi di limitate dimensioni ed in grado di generare nel medio-lungo periodo un pronto rientro dall'investimento e duraturi risparmi nei consumi energetici, non è stata ancora raggiunta una sufficiente diffusione della conoscenza e una sufficiente disponibilità sul mercato di imprese e professionisti in grado di supportare la diffusione di tali soluzioni e tecnologie.

Troppo spesso - anche in convegni e seminari formativi - vengono illustrate realizzazioni di altissimo livello, vincitrici di premi e riconoscimenti a livello nazionale ed internazionale, ma caratterizzate da soluzioni difficili da replicare a livello diffuso, o non sufficientemente spiegate, o eccessivamente onerose per l'utilizzo su larga scala, o finalizzate prevalentemente a promuovere questo o quel prodotto commerciale, senza particolari contenuti tecnici.

A ciò si aggiunga la scarsa consapevolezza raggiunta nel c.d. “*consumatore finale*”, che, ad esempio, continua a vivere la necessità di dotare il proprio appartamento o edificio della certificazione energetica, o di rispettare specifici e sempre più stringenti requisiti energetici, come un onere mal sopportato, invece che come un'opportunità per valorizzare il proprio asset immobiliare.

Scarsa è ancora, poi, la consapevolezza dei benefici economici che anche il singolo, piccolo proprietario immobiliare, può ricavare dall'esecuzione di interventi correttamente progettati e valutati in termini di ritorno sull'investimento.

La Collana editoriale di Legislazione Tecnica “*Architettura tecnica e pratica*” nasce con l'ambizioso obiettivo di colmare questo *gap*, definendo un nuovo standard nella letteratura tecnico-scientifica sulla materia - in termini di completezza, qualità e chiarezza dei contenuti, utilità operativa.

Questo volume, giunto alla sua seconda edizione, si propone di evidenziare l'avanguardia dell'innovazione per il retrofit energetico, tecnologico e bioclimatico nell'edilizia, fornendo al contempo concreti strumenti operativi per rendere accessibili tali soluzioni e tecnologie anche nelle piccole realizzazioni, che costituiscono una porzione maggioritaria del mercato ed impegnano quotidianamente un gran numero di professionisti e operatori.

L'Opera definisce la corretta metodologia di approccio progettuale alla tematica, indispensabile per determinare obiettivi e opportune strategie di intervento, a partire dagli input scaturenti dalla fase di analisi ambientale e dalle condizioni di contesto, e conseguentemente individua le tecnologie, le strategie di intervento e le soluzioni tecniche appropriate, selezionate tra quelle ritenute efficaci e caratterizzate da elevati livelli di efficienza prestazionale ed innovazione tecnologica.

Le soluzioni tecniche vengono analizzate illustrando il livello e la qualità della risposta tecnica potenziale, le caratteristiche costitutive e di funzionamento, le alternative tecno-tipologiche, prestazionali e di funzionamento in opera, le eventuali interferenze con obiettivi e funzioni, di livello ambientale, architettonico, energetico, ecc., e le caratteristiche realizzative, con illustrazione delle fasi, delle operazioni e delle modalità di realizzazione tecnica della soluzione, le interrelazioni con la fase progettuale, gli eventuali vincoli che tali caratteristiche comportano, ecc.

Il tutto, con l'obiettivo di definire le condizioni per una effettiva attuabilità e praticabilità della soluzione tecnica in rapporto alla situazione edilizia ed ambientale sulla quale si interviene.

Inoltre, per ciascuna soluzione tecnica individuata e descritta, sono definiti gli aspetti tecnico-realizzativi e di progettazione esecutiva, le criticità, gli accorgimenti tecnici, le metodiche di calcolo e dimensionamento, i materiali di riferimento, le varie opzioni e configurazioni tecniche attuabili in rapporto a differenti standard prestazionali, ecc. In diversi casi, uno o più dettagli tecnici esemplificativi concludono la trattazione, illustrando realizzazioni tipiche e applicazioni da considerarsi *best practice* in riferimento alla soluzione tecnica trattata.

Questa seconda edizione risulta sostanzialmente ampliata e implementata con svariate nuove soluzioni ed esempi di realizzazioni, definendo e mettendo alla portata di tutta la filiera edilizia l'attuale *stato dell'arte* per la progettazione e realizzazione di interventi di efficientamento energetico, tecnologico e ambientale del patrimonio edilizio esistente.

Dino de Paolis

Direttore editoriale Legislazione Tecnica

## PREFAZIONE

# IL RETROFITTING TECNOLOGICO, ENERGETICO E BIOCLIMATICO NELL'EDILIZIA. PRASSI E METODOLOGIE OPERATIVE NELL'AMBITO DEL GREEN BUILDING APPROACH

L'importanza del *retrofitting* tecnologico degli edifici, qui inteso nella sua accezione energetica e bioclimatica e finalizzato quindi all'aumento dell'eco-efficienza degli assetti costruiti, deve essere inquadrata in uno scenario più ampio rispetto a quello della mera ristrutturazione e riqualificazione energetica dell'edificio in funzione del solo vantaggio fruitivo dei suoi occupanti, ovvero nell'ambito di una ben più ampia strategia di intervento indirizzata al miglioramento della qualità ecologica delle città quale principale e fondamentale dimensione per il raggiungimento degli obiettivi strutturali di uno sviluppo sostenibile, di un'aumentata capacità di resilienza e adattamento, di una piena circolarità delle risorse, di una reale mitigazione climatica e neutralità carbonica. In tale direzione si sta muovendo anche la normativa europea che, nella *EPBD III*, dispone che ogni Stato membro deve stabilire *“una strategia a lungo termine per sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e non residenziali, sia pubblici che privati, al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, facilitando la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero”* (art. 2 bis della Direttiva UE 2018/844 del 30 maggio 2018; EPBD III). Tale normativa europea è stata recepita in Italia con il D. Leg.vo n. 48 del 10/06/2020: la *strategia di ristrutturazione a lungo termine*, recepita nel Piano nazionale integrato per l'energia e il clima, comprende *“... L'individuazione di approcci alla ristrutturazione efficace in termini di costi in base al tipo di edificio e alla zona climatica, tenendo conto, ove possibile, dei momenti più opportuni, nel ciclo di vita degli edifici, per la realizzazione di interventi di riqualificazione energetica, anche valutando l'introduzione di obblighi di ristrutturazione, e promuovendo l'utilizzo di tecniche che implicino maggior uso di elementi prefabbricati e la riduzione del tempo dei lavori in cantiere;...”* (stralcio dell'art. 5 del D. Leg.vo n. 48/2020).

A livello più specificamente operativo, il *retrofitting* tecnologico, energetico e bioclimatico del patrimonio edilizio esistente va inquadrato nell'ambito delle azioni previste dal *Green Building Approach* e dall'ancor più ampio *Green City Approach*, finalizzate appunto alla definizione di *green buildings* e *green cities* quali fondamentali fattori per uno sviluppo sostenibile di livello locale e, conseguentemente, in grado di influenzare in maniera significativa la sostenibilità dello sviluppo a livello globale. Il *Green Building Approach* e il *Green City Approach* costituiscono un approccio integrato e multisettoriale allo sviluppo sostenibile e durevole dell'ambiente costruito e delle città, basato sugli aspetti, ormai irrinunciabili e fondamentali, della elevata qualità ambientale, dell'efficienza energetica, della circolarità delle risorse, della mitigazione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici. In rapporto allo specifico ambito delle azioni da porre in essere nelle trasformazioni e nello sviluppo degli assetti costruiti, divengono centrali le tematiche della rigenerazione e riqualificazione ambientale delle aree urbane, dell'efficientamento energetico e bioclimatico, dell'utilizzazione delle energie rinnovabili, del riuso delle materie prime.

Il patrimonio edilizio esistente che caratterizza le nostre città versa in larga misura in condizioni di conservazione inadeguate e, per certi versi, allarmanti, soprattutto in rapporto agli scenari emissivi (relativi alle emissioni inquinanti e climalteranti connesse al metabolismo degli edifici), ai consumi energetici, alle condizioni di *comfort indoor*. A fronte di tutto ciò si osserva, oramai da oltre un decennio, un crollo degli investimenti nel settore delle costruzioni e si auspica che l'emergente scenario normativo sia in grado di favorire, attraverso la promozione di adeguate politiche urbane locali, piani strategici di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, pubblico e privato, nell'obiettivo più generale di recuperare e rideterminare qualità architettonica, energetica, ambientale, funzionale, di sicurezza ai differenti livelli (sismica, fruitiva, ecc.). Attualmente circa il 70% del patrimonio edilizio del nostro Paese si appresta, in relazione all'età che lo caratterizza (40 anni e oltre), ad entrare nel periodo conclusivo del proprio ciclo

di vita, in rapporto alle tecniche costruttive che li caratterizzano e ai materiali costitutivi in particolare, esponendosi pertanto a elevati rischi di inefficienza ambientale (sismica, idrogeologica, ecc.) ed energetica. Pertanto, nell'ambito delle più generali strategie di rigenerazione urbana, acquisiscono ruoli fondamentali e determinanti le operazioni di riqualificazione e recupero, in chiave bioecologica e di efficienza energetica, del patrimonio edilizio esistente. Ai fini di promuovere tali operazioni e garantire una loro concreta efficacia e durabilità, risulta imprescindibile la ricerca di soluzioni e tecnologie innovative per l'adeguamento del costruito esistente alle nuove esigenze di riduzione delle emissioni climateranti, di diminuzione dei consumi e di razionalizzazione dei flussi energetici tra edificio e ambiente più in generale. Occorre investire sulla ricerca tecnologica, che deve essere in grado di interfacciarsi con la complessità "culturale" degli interventi sul patrimonio edilizio, in termini anche di azioni programmatiche e strategiche, di confronto con le dinamiche politiche, sociali ed economiche dei contesti in oggetto, di interferenze con gli impatti architettonici e costruttivi dei manufatti edilizi. L'innovazione tecnologica dei processi (ICT, BIM, per la gestione delle informazioni tecniche e l'indirizzo di processi decisionali sempre più complessi) e dei prodotti (relativi all'intera filiera dell'offerta del settore delle costruzioni), nell'ottica di proporre adeguate strategie di intervento e soluzioni tecniche per una riqualificazione diffusa, rappresenta un ambito da incentivare in maniera importante. *"Occorre pertanto attribuire valore ai processi di innovazione tecnologica, veicolati secondo una serie di drivers (come la messa in sicurezza, l'efficienza energetica, la conversione green, etc.), favorendo, ad esempio tramite requisiti cogenti e/o premiali, l'offerta di prodotti e servizi ad alto valore aggiunto in termini di prestazioni eco-compatibili, ottimizzazione dell'uso delle risorse e riduzione degli sprechi. Si tratta di un "nuovo" mercato che chiaramente mobilerà una domanda di specializzazione e qualificazione in ambito aziendale di produzione, cantieristico, nonché una domanda di formazione, di ricerca e di interventi normativi di incentivo agli investimenti"*<sup>1</sup>.

Nel descritto scenario il presente testo, prodotto di una ricerca pluriennale dell'autore D. D'Olimpio, avviata da diversi anni all'interno del Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza", già pubblicato nel 2017 con la monografia *"Il retrofitting energetico e bioclimatico nella riqualificazione edilizia"*, e con questo testo ampliata e completata anche in funzione di tecnologie emergenti e rinnovate istanze normative, sistematizza strategie di intervento e soluzioni tecniche per gli interventi di *green retrofit* finalizzando questi a specifiche situazioni di criticità e/o potenzialità ambientali, da definirsi attraverso appropriate metodologie e approcci di analisi ambientale dei contesti costruiti e specificamente illustrate nelle loro modalità tecnico-operative. L'adeguamento del costruito esistente alle nuove istanze normative, l'eco-efficienza che gli si richiede alla luce delle attuali problematiche ambientali (emissioni climateranti, isole termiche urbane, ecc.), non possono che essere definiti, progettati e realizzati in funzione delle reali condizioni di criticità e di potenzialità che derivano dall'interazione tra edifici e contesto ambientale, con particolare riferimento, nel testo, al contesto microclimatico degli ambienti urbani. In ragione di tali interazioni, le specifiche condizioni di criticità/potenzialità ambientale che possono delinearsi sono state individuate attraverso specifici *flow-chart* e messe in relazione con le strategie di intervento maggiormente funzionali, nonché con le specifiche soluzioni tecniche in grado di fornire adeguate e concrete risposte in termini realizzativi e per la cui individuazione è stata data priorità a quelle che includono tecnologie e materiali innovativi, per i quali si prevede un importante sviluppo in relazione ai rilevanti miglioramenti prestazionali che, attualmente, sono già in grado di determinare. La Parte III del testo rappresenta la sintesi di un ampio lavoro di interfaccia con le diverse realtà produttive che caratterizzano il settore dell'edilizia, dal quale sono state selezionate tecnologie e materiali ritenuti di più rilevante interesse in rapporto all'interazione che vanno a definire tra i parametri *"efficacia prestazionale"* - *"basso impatto ambientale"* - *"basso impatto economico"* - *"concretezza delle possibilità realizzative"*.

Il lavoro di ricerca presentato nel testo risulta congruente e funzionale rispetto a diverse delle *"Linee guida per le Green City"* definite nell'ambito del *Green City Approach* in funzione degli obiettivi generali illustrati nello specifico documento del *Green City Network*<sup>2</sup> *"Linee guida per le Green City"*: il retrofitting tecnologico, energetico e bioclimatico degli edifici ha importanti ricadute nell'ambito del 1° Obiettivo Generale - *Assicurare un'elevata qualità ambientale*, con particolare riferimento alle linee guida LG1 - *Puntare sulla qualità urbanistica e architettonica delle città*; LG2 - *Garantire un'adeguata dotazione di infrastrutture verdi urbane e periurbane*; LG3 - *Assicurare una buona qualità dell'aria*; del

<sup>1</sup> Tratto da: F. Tucci, *Costruire e Abitare Green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale | Green Building and Dwelling. Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design*, Altralinea Edizioni, Firenze 2018, pag. 89.

<sup>2</sup> Il *Green City Network*, che vede insieme le circa 200 maggiori città italiane e un gruppo internazionale di 100 esperti coordinato da Fabrizio Tucci, è un'iniziativa promossa dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile per realizzare attività e interventi per attivare e sostenere un maggiore impegno delle città italiane, grandi medie e piccole, per migliorare la qualità ecologica, l'impegno di mitigazione e adattamento climatico, il risparmio di suolo e l'uso efficiente e circolare delle risorse in una prospettiva di sviluppo sostenibile locale.



2° Obiettivo Generale - *Utilizzare le risorse in modo efficiente e circolare*, con riferimento alle linee guida LG5 - *Puntare sulla rigenerazione urbana e rafforzare la tutela del suolo*; LG6 - *Estendere la riqualificazione, il recupero e la manutenzione del patrimonio edilizio esistente*; del 3° Obiettivo Generale - *Adottare misure per contrastare il cambiamento climatico*, con riferimento alle linee guida LG9 - *Abbattere le emissioni di gas serra*; LG10 - *Ridurre i consumi di energia*; LG11 - *Sviluppare la produzione e l'uso di energia da fonti rinnovabili*; LG12 - *Adottare misure per l'adattamento al cambiamento climatico*; del 4° Obiettivo Generale - *Promuovere l'eco-innovazione, la green economy e il miglioramento della governance*, con particolare riferimento alle linee guida LG13 - *Promuovere l'eco-innovazione* e LG14 - *Sviluppare la green economy*.

Il lavoro di ricerca illustrato è passibile di futuri aggiornamenti e integrazioni, in rapporto sia alla metodologia di lavoro definita e presentata che all'abaco delle soluzioni tecniche analizzate, in funzione di innovative istanze di carattere normativo ed energetico-ambientale, nonché in relazione a innovazioni tecnologiche, di prodotto, di progetto e di processo, che dovessero delinearsi nell'ambito dello scenario evolutivo correlato al settore dell'edilizia.

*Fabrizio Tucci*

Professore Ordinario di Tecnologia dell'Architettura  
Direttore del Dipartimento di Pianificazione,  
Design, Tecnologia dell'Architettura  
Università degli studi di Roma "La Sapienza"





## PREMESSA

# IL RETROFITTING TECNOLOGICO ED ENERGETICO DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

Nell'ambito delle oramai improcrastinabili esigenze di riequilibrio della situazione ambientale generale, con riferimento particolare alle condizioni di livello climatico, già alterate in misura significativa e tali da determinare una corrispondente alterazione delle condizioni di conservazione e sviluppo degli ecosistemi, l'efficienza energetico-ambientale degli edifici assume un ruolo fondamentale e prioritario. Di fatto, già nel 2002, nelle premesse alla Direttiva 2002/91 CE del Parlamento Europeo sul rendimento energetico nell'edilizia<sup>1</sup>, si evidenziava: *"L'energia impiegata nel settore residenziale e terziario, composto per la maggior parte di edifici, rappresenta oltre il 40% del consumo finale di energia della Comunità. Essendo questo un settore in espansione, i suoi consumi di energia e quindi le sue emissioni di biossido di carbonio sono destinati ad aumentare"*. In altri termini, la problematica climatico-ambientale risulta per circa il 40% correlata alle modalità di produzione, gestione e consumo dell'energia negli edifici, troppo spesso progettati e realizzati, in passato, con criteri di progettazione e tecnico-realizzativi poco sensibili alle istanze di ecoefficienza ambientale. Nel nostro Paese i consumi energetici riconducibili all'edilizia rappresentano circa il 36% di quelli totali, evidenziando un dato leggermente inferiore rispetto alla media europea, non per l'adozione di migliori prassi progettuali e tecnico-costruttive, ma semplicemente per la maggiore mitezza delle condizioni climatiche che, durante l'inverno in particolare, determinano consumi energetici minori rispetto a molti altri Stati europei. In questo quadro, occorre sottolineare che la problematica più rilevante e sostanziale è certamente costituita dal patrimonio edilizio esistente e non dagli edifici di nuova e/o futura costruzione, dei quali ancora non si ha l'impatto effettivo sul sistema climatico-ambientale e che comunque, almeno nel panorama europeo e nei contesti costituiti dai Paesi industrializzati, risultano assoggettati ai recenti vincoli tecnico-progettuali, alle nuove prescrizioni tecniche, a verifiche e controlli tali da garantirne l'efficienza in termini energetico-ambientali. In particolare, nel nostro Paese, circa il 70% degli edifici è stato realizzato antecedentemente al 1976, anno in cui vi è stata l'emanazione della prima normativa sull'efficienza energetica degli edifici<sup>2</sup>, costituendo pertanto un patrimonio edilizio, di fatto, energeticamente inadeguato e fortemente impattante sui consumi di energia; molto spesso caratterizzato da una incapacità ad assicurare delle adeguate condizioni di fruibilità e di comfort ambientale senza prescindere da elevati input energetici funzionali al funzionamento di sistemi impiantistici tradizionali. Tra l'altro, circa il 25% di tale patrimonio edilizio non ha mai subito alcun intervento di riqualificazione energetica. Tale scenario definisce una situazione in cui l'intervento sugli edifici esistenti, dal semplice intervento di riqualificazione energetica così come concepito dal D.M. del 26/06/2015<sup>3</sup> a quello di retrofitting tecnologico ed energetico, costituisce una operazione dalla quale non si può prescindere nell'obiettivo di realizzare contesti costruiti ecoefficienti e a basso impatto ambientale.

Altra considerazione, supportata da valori quantitativi, che è possibile fare per comprendere come gli obiettivi di riconversione del patrimonio edilizio esistente, in chiave di efficienza energetico-ambientale, rappresentino la vera sfida del futuro, è quella che scaturisce dalla lettura del numero degli edifici, nel settore residenziale, costruiti in Italia negli anni tra il 1946 e il 1981: circa 15.000.000 su un totale di 27.268.880<sup>4</sup> immobili a destinazione d'uso abitativa, equivalente a circa il 55% del patrimonio edilizio residenziale. Il dato indica che ci troviamo di fronte ad un *"parco immobili"*, nel settore residenziale, caratterizzato da una vetustà per la quale si rendono indispensabili interventi di manutenzione, ripristino, adeguamento, riqualificazione, ecc., soprattutto in un momento in cui gli edifici di nuova costruzione risultano e risulteranno ecoefficienti per definizione, in funzione di nuove normative e direttive che a partire dal 2021 hanno reso obbligatoria la realizzazione di edifici a *"energia quasi zero"*<sup>5</sup>.

Nonostante questi dati identifichino chiaramente l'importanza di intervenire sul patrimonio edilizio esistente in maniera quantitativamente importante e qualitativamente adeguata, nel nostro Paese è ancora assente una strategia organica di intervento, se si eccettuano misure agevolative di livello fiscale pensate per incentivare operazioni di riqualificazione energetica, la maggior parte delle quali di livello basico e lasciate alla volontà ed all'iniziativa dei singoli proprietari. Dal punto di vista strategico pertanto, è auspicabile un cambiamento di rotta finalizzato a riconoscere l'importanza e la centralità del

<sup>1</sup> Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002.

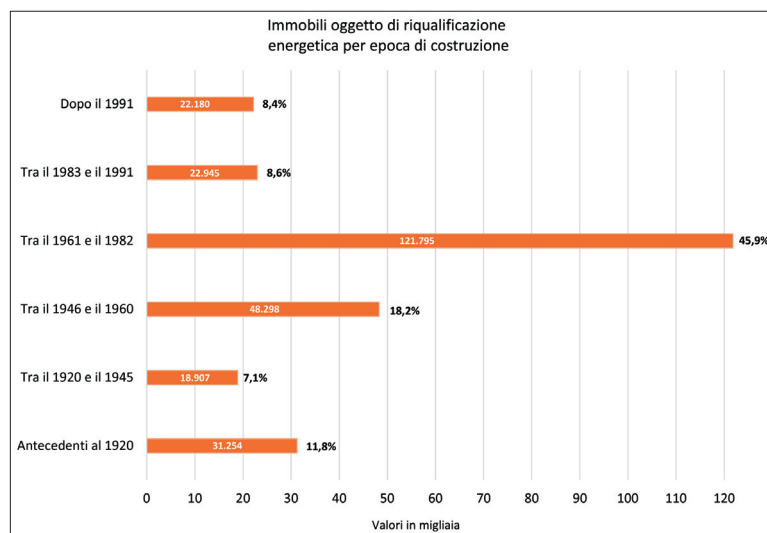
<sup>2</sup> Legge 30/04/1976, n. 373, relativa al consumo energetico per usi termici negli edifici.

<sup>3</sup> D.M. (Sviluppo) 26/06/2015 *"Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"*; comprende le *Riqualificazioni energetiche nell'ambito degli interventi che coinvolgono "una superficie inferiore o uguale al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e/o consistono nella nuova installazione, nella ristrutturazione di un impianto termico asservito all'edificio o di altri interventi parziali..."*.

<sup>4</sup> Dato tratto da *"Osservatorio Congiunturale sull'Industria delle Costruzioni"*, ANCE, luglio 2014.

<sup>5</sup> Direttiva europea EPBD 2 *"Energy Performance of Buildings Directive"* (2010/31/UE), che va ad abrogare ed a sostituire la precedente Direttiva 2002/91/CE, è stata recepita con il D.L. n. 63 del 04/06/2013 che va a modificare il D. Leg.vo 19/08/2005, n. 192 con il quale era stata recepita la precedente EPBD 2002/91/CE

Istogramma rappresentativo della quantità di immobili oggetto di riqualificazione energetica in Italia, suddivisi per epoca di costruzione. (Elaborazione ANCE su dati ENEA)



retrofitting tecnologico ed energetico, prevedendo che divenga una prassi indifferibile per gli edifici maggiormente problematici dal punto di vista energetico/ambientale. Questi sono facilmente individuabili grazie al buon livello di sviluppo raggiunto attualmente dalle metodologie di valutazione e certificazione energetica, in grado di definire diagnosi attendibili, che oltre a poter essere applicate con relativa facilità su qualsiasi immobile, potrebbero favorire l'introduzione di eventuali specifiche misure di incentivazione fiscale, in forma di "bonus volumetrici", ecc., attraverso una programmazione, nei limiti del possibile, per fasce di età del "parco immobili" e/o per fasce di prestazione energetica.

Dal punto di vista operativo, la disciplina della "progettazione tecnologica" dell'architettura costituisce l'ambito all'interno del quale possono essere delineate linee e strategie di intervento in grado di orientare e sviluppare la progettazione e la realizzazione degli interventi di retrofit tecnologico ed energetico, consentendo il conseguimento di risultati ottimali dal punto di vista dell'efficientamento e della realizzazione di sistemi edificio-impianto a basso impatto ambientale. La costante innovazione tecnologica nel settore delle tecnologie e dei materiali

da costruzione, lo sviluppo di nuovi settori di ricerca e sperimentazione che stanno già trovando concreti risvolti operativi e applicativi, come quello delle nanotecnologie e degli *smart materials*, consentono una ri-gradazione prestazionale dei componenti edilizi, dei sistemi impiantistici e degli edifici più in generale, allineata con le attuali richieste, rivolte all'ambito della riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, da rinnovati quadri esigenziali (che pongono in primo piano la necessità di un adeguato rapporto edificio-ambiente) e da rinnovate istanze normative tendenti verso obiettivi di realizzazione di edifici a consumo energetico "quasi zero" (Direttiva europea EPBD 2).

La sfida rappresentata dalla riconversione del patrimonio edilizio esistente in un contesto costruito eco-efficiente, in grado di instaurare con il sistema ambientale naturale un rapporto sinergico e di positiva interazione, anziché conflittuale e problematico, può pertanto poggiare su concrete e valide basi scientifiche, nonché su un'adeguata offerta tecnologica che prefigura rinnovate prassi costruttive e tecnico-realizzative. La progettazione tecnologica, fondata sull'obiettivo di dare risposte tecniche in perfetta coerenza con il progetto di architettura, muovendo dall'utilizzazione di strumentazioni metodologiche di analisi e diagnostica ambientale per definire, dapprima, le strategie di intervento maggiormente appropriate e, successivamente, le specifiche tecnologiche di riconfigurazione, rifunzionalizzazione e miglioramento energetico-prestazionale dell'edificio, diventa fondamentale per una corretta lettura dei vincoli, delle criticità, delle potenzialità del contesto di intervento e per la definizione di efficaci risposte e soluzioni tecnico-realizzative. Risposte e soluzioni che definiscono uno scenario tecnologico costantemente mutevole e in evoluzione, per il quale l'aggiornamento delle conoscenze, da parte del progettista, diventa fondamentale. Questo testo, frutto di un lavoro di ricerca, è finalizzato ad individuare, da un lato, una metodologia di approccio progettuale alla problematica del retrofit energetico in grado di definire specifici obiettivi e strategie di intervento a partire dagli input scaturenti dalla fase di analisi ambientale e delle condizioni di contesto; dall'altro, specifiche tecnologie e soluzioni tecniche appropriate, selezionate tra quelle ritenute maggiormente efficaci. Il tentativo apprezzabile da parte dell'autore è quello di contribuire alla definizione di precise strategie di intervento e di specifiche azioni progettuali per il retrofitting tecnologico ed energetico, caratterizzate da elevati livelli di efficienza prestazionale ed innovazione tecnologica, a partire dalla fase di individuazione delle soluzioni tecniche a quella più specifica della loro definizione esecutiva e tecnico-realizzativa, ed in questo senso costituisce senz'altro un contributo di sicuro interesse e di aggiornamento, per gli operatori tecnici di settore e per i progettisti, a livello metodologico, informativo e strumentale.

Fabrizio Orlandi  
Professore ordinario  
di Tecnologia dell'Architettura



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



## CAPITOLO II.3 LA SINTESI VALUTATIVA DELLE ANALISI E LA FASE METAPROGETTUALE DI DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI E DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO

A conclusione della fase di analisi del contesto ambientale e del contesto edilizio si può procedere ad una corretta individuazione delle criticità e delle potenzialità di livello ambientale, edilizio, prestazionale, che costituiranno degli specifici input della fase progettuale.

Mentre le criticità e le potenzialità riferite al contesto edilizio dipendono dalle molteplici configurazioni e caratteristiche architettoniche, tecnico-costruttive e tecnologiche che può avere l'edificio di progetto, determinando l'impossibilità di prevenire una così ampia casistica e quindi di prefigurare un abaco di risposte, sia pure a livello metaprogettuale (es. individuazione delle strategie di intervento possibili), le criticità e le potenzialità riferite al contesto climatico-ambientale possono essere in una certa misura prefigurate. A tal fine, la metodologia qui proposta, sintetizza i possibili esiti valutativi dell'analisi ambientale di livello microclimatico, per ognuna delle componenti climatico-ambientali considerate (soleggiamento, ventilazione, umidità dell'aria). Per ciascuna delle condizioni ambientali considerate, uno specifico flow-chart mette in evidenza gli specifici obiettivi di intervento, gli ambiti edilizi di riferimento e le strategie di intervento utili da considerare per la risoluzione della criticità ambientale o per l'utilizzazione della potenzialità ambientale, secondo lo schema illustrato in Tabella 16.

Tabella 16. Tabella riassuntiva delle relazioni tra componenti climatico-ambientali di analisi e le condizioni ambientali possibili. Per ciascuna delle condizioni prefigurate uno specifico diagramma individua le strategie di intervento praticabili e maggiormente adeguate.

Componente ambientale  Condizione ambientale	SOLEGGIAMENTO (S)		VENTILAZIONE (V)		UMIDITA' (U)
	Periodo estivo	Periodo invernale	Periodo estivo	Periodo invernale	
<b>CRITICITA' (C)</b>	FLOW- CHART 1 (SC-1)	FLOW- CHART 2 (SC-2)	FLOW- CHART 3 (VC-3)	FLOW- CHART 4 (VC-4)	FLOW-CHART 7 (UC-7)
<b>POTENZIALITA' (P)</b>	—	FLOW- CHART 5 (SP-5)	FLOW-CHART 6 (VP-6)		—

Le strategie di intervento individuate negli specifici flow-chart sono correlate alle schedature delle soluzioni tecniche praticabili, illustrata nella parte III del testo. A ciascuna strategia di intervento potranno quindi corrispondere una o più schede tecniche che definiscono e descrivono la soluzione tecnica attuabile, le sue caratteristiche costitutive e di funzionamento, le specifiche caratteristiche realizzative. In particolare, le condizioni di criticità o di potenzialità ambientale predefinite nei flow-chart, e che potranno scaturire dalle fasi di analisi ambientale, riepilogate per ciascuna componente climatico-ambientale, sono:

### Componente ambientale soleggiamento:

- *Eccessivo soleggiamento estivo* (flow-chart 1 in Figura 21)  
Condizioni di eccessiva insolazione estiva con conseguenti surplus termici e situazioni di discomfort ambientale relative agli ambienti indoor. Elevati consumi energetici per la climatizzazione estiva.
- *Scarso soleggiamento invernale* (flow-chart 2 in Figura 22)  
Condizioni di scarsa insolazione invernale dell'involucro edilizio con conseguenti mancati apporti termici e luminosi di ordine solare negli ambienti interni. Maggiori consumi energetici per la climatizzazione invernale e per l'illuminazione interna.

- *Buon livello di soleggiamento invernale* (flow-chart 5 in Figura 25)  
Buone condizioni di insolazione estiva dell'involucro edilizio, con possibilità di utilizzare convenientemente sistemi e tecnologie solari per la climatizzazione invernale degli ambienti e per la produzione energetica da fonte rinnovabile.

**Componente ambientale ventilazione:**

- *Alta ventilazione invernale dell'involucro edilizio* (flow-chart 3 in Figura 23)  
Condizioni di elevata ventilazione invernale dell'involucro edilizio, con conseguenti problematiche di aumentate dispersioni termiche convettive dell'involucro edilizio e di infiltrazioni di aria fredda negli spazi abitati.
- *Scarsa ventilazione estiva dell'edificio* (flow-chart 4 in Figura 24)  
Condizioni di scarsa ventilazione estiva dell'edificio sono correlate con problematiche di discomfort termico estivo negli spazi abitati e di inadeguato ricambio d'aria negli ambienti.
- *Buoni livelli di ventilazione delle superfici di involucro* (flow-chart 6 in Figura 26)  
Buoni livelli di ventilazione dell'involucro edilizio consentono la realizzazione di strategie per il ricambio d'aria negli ambienti e, in estate, per la mitigazione del surriscaldamento; favorendo anche l'adozione di tecnologie per la produzione energetica da fonte rinnovabile basate sull'utilizzazione dei flussi di ventilazione naturale.

**Componente ambientale umidità:**

- *Eccessivi livelli di umidità* (flow-chart 7 in Figura 27)  
Eccessivi livelli di umidità dell'aria (UR%) sono correlati a situazioni di discomfort igrotermico. Elevati livelli di umidità possono interagire con le strutture di involucro dando luogo a fenomeni di condensa, formazione di muffe e, più in generale, di degrado delle strutture edilizie e delle finiture superficiali.

A prescindere dalle condizioni di criticità e/o potenzialità ambientali rilevate, alle quali ci si prefigge di dare specifiche risposte in termini di tecnologie e soluzioni tecniche di riferimento, operazione imprescindibile risulta comunque quella della messa a norma dell'edificio nei confronti di quanto espresso dalle diverse normative (vedere Parte I) che prescrivono per le strutture di involucro specifiche caratteristiche prestazionali in termini di valori di trasmittanza termica da rispettare, nonché per gli impianti specifiche caratteristiche di efficienza e di produzione energetica, con ampie aliquote di energia prodotta da fonte rinnovabile. In questa sede, ai fini di sviluppare una trattazione incentrata su tecnologie e soluzioni tecniche caratterizzate da ricadute specifiche sull'architettura degli edifici, sui componenti edilizi e sulle soluzioni di involucro, ci si è limitati a considerare esclusivamente alcune soluzioni impiantistiche caratterizzate da risvolti evidenti e importanti sull'architettura degli edifici, quali impianti fotovoltaici, solari termici, di illuminazione, tralasciando le tecnologie di intervento tipicamente impiantistiche, in quanto specificamente appartenenti al settore scientifico della fisica tecnica e impianti (strategie e tecnologie riportate in grigio nel flow-chart 9, Figura 29). La Tabella 17 individua le soluzioni tecniche per la risposta alla richiesta normativa nei confronti dei componenti dell'involucro edilizio (flow-chart 8, Figura 28) e in rapporto alle esigenze impiantistiche considerate, riferite in particolare alla produzione energetica da fonte rinnovabile e all'illuminazione degli ambienti (flow-chart 9, Figura 29).

Tabella 17. Tabella riassuntiva delle caratteristiche tecnico-costruttive e impiantistiche degli edifici considerate ai fini di una risposta tecnica alle attuali istanze normative. Per ciascuna delle caratteristiche tecnico-costruttive e impiantistiche considerate, uno specifico diagramma (flow-chart in Figure 28 e 29) individua le strategie di intervento praticabili e maggiormente adeguate.

Caratteristiche tecnico-costruttive e impiantistiche dell'edificio		
Caratteristiche tecnico-costruttive e tecnologiche dell'involucro edilizio (INV)	Delle strutture opache verticali	FLOW-CHART 8 (INV-8)
	Delle strutture opache orizzontali o inclinate	
	Delle chiusure trasparenti	
Caratteristiche impiantistiche (IMP)	Impianti per la climatizzazione invernale	FLOW-CHART 9 (IMP-9)
	Impianti per la climatizzazione estiva	
	Impianti per la produzione di a.c.s.	
	Impianti per l'illuminazione	

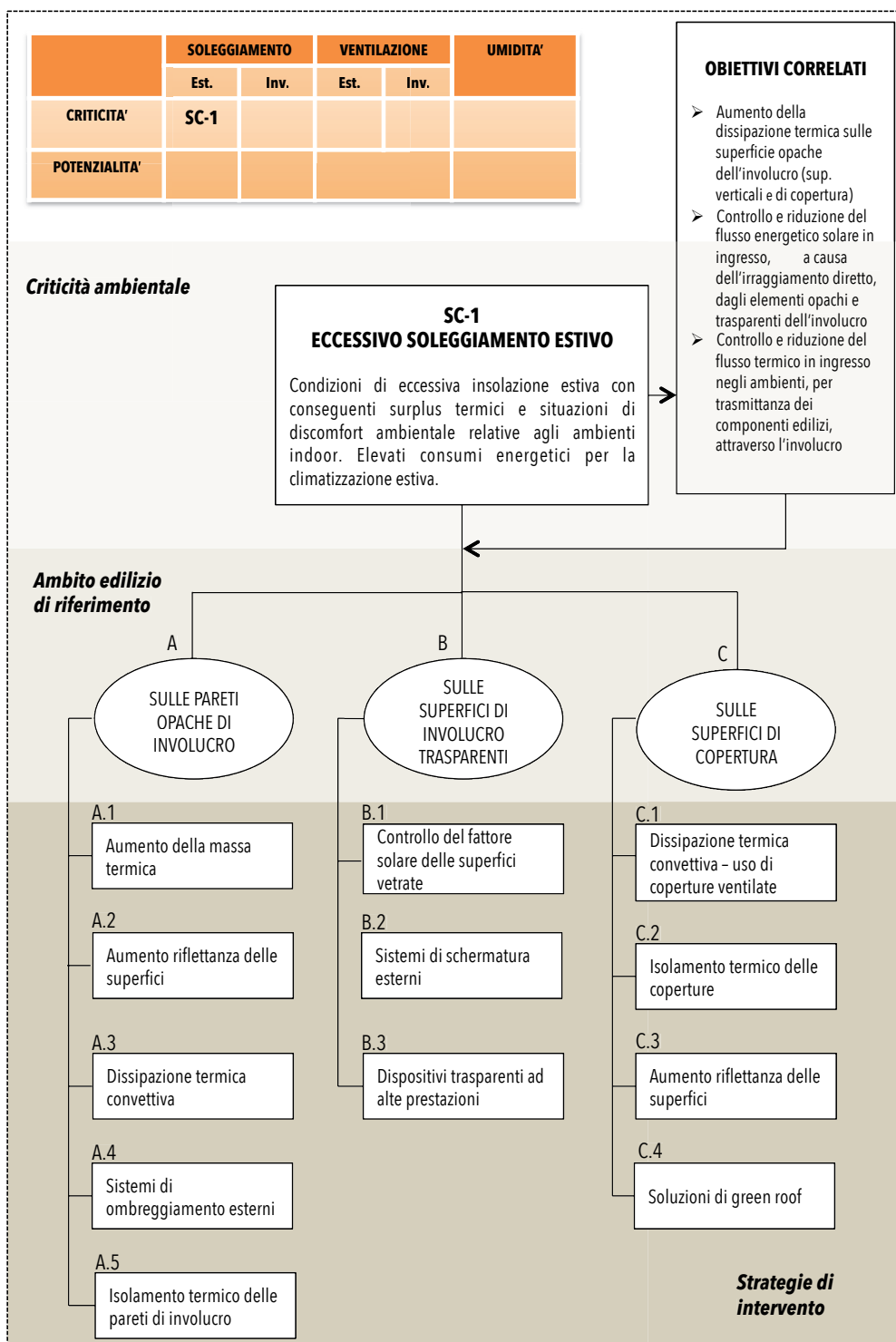


Figura 21. Flow-chart 1.

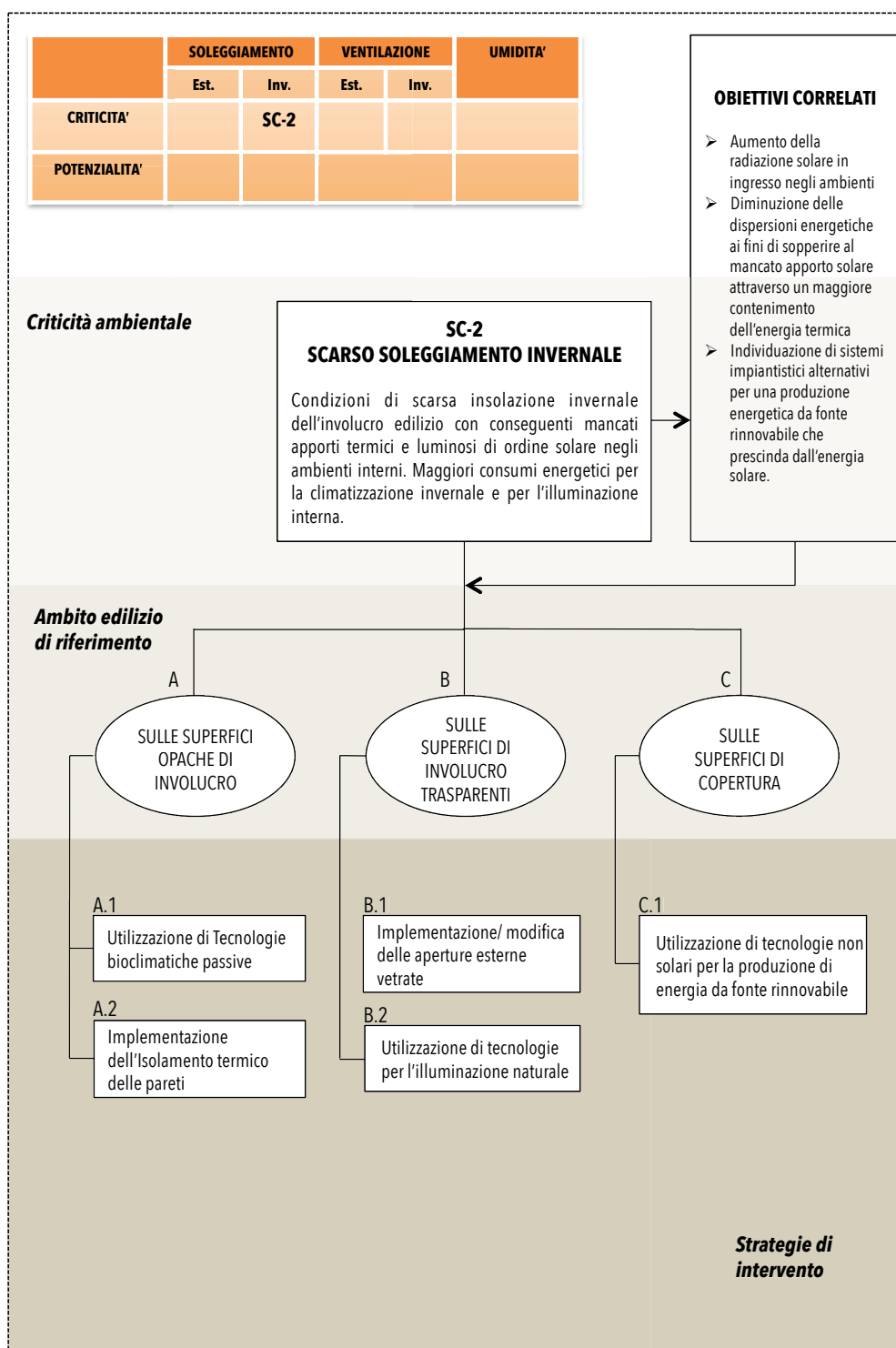


Figura 22. Flow-chart 2.





**Pagine non disponibili  
in anteprima**





- **Condizione ambientale:**  
SC-1 - Eccessivo soleggiamento estivo
- **Ambito edilizio:**  
C - Superfici di copertura
- **Strategia di intervento:**  
C.1 - Dissipazione termica convettiva

## SOLUZIONE TECNICA SC-1/C.1.1 COPERTURE VENTILATE

### 1. DEFINIZIONE E DESCRIZIONE

Le soluzioni tecniche di copertura ventilata consentono di assicurare ottimali condizioni di comfort ambientale sia nel periodo invernale che in quello estivo.

Durante il periodo estivo il manto di copertura che si trova in condizioni di intenso soleggiamento può raggiungere elevate temperature superficiali e trasmettere, attraverso la falda, il carico termico all'ambiente sottostante. Attraverso una adeguata ventilazione della falda di copertura, attuata prevedendo uno strato di ventilazione al di sotto del supporto o tavolato di sotto-copertura, o anche prevedendo la semplice ventilazione dello strato sotto-manto sollevando il manto di copertura sul supporto della falda, ad esempio tramite una sottostruttura lignea a listelli montata sullo stesso strato di supporto o tavolato, si può consentire lo smaltimento del calore verso l'esterno ed evitare la sua trasmissione verso lo spazio abitato. Con camere d'aria di altezza corretta (norma UNI 9460:2008) si può ottenere un abbattimento del calore trasmesso all'interno di circa il 30%, con conseguente miglioramento del comfort ambientale ed evidenti risparmi energetici in rapporto alle esigenze di climatizzazione estiva. Tra l'altro le elevate temperature superficiali raggiunte nel periodo estivo dal manto di copertura esposto al soleggiamento, alternate alle ridotte temperature che si verificano nelle ore notturne in assenza di irraggiamento solare diretto, possono indurre situazioni di stress termico con relative tensioni nei materiali costitutivi e nei componenti del manto di copertura

e della struttura stessa della falda, situazioni potenzialmente dannose per i materiali ed i componenti in questione.

Durante il periodo invernale l'aerazione del manto di copertura consente il rapido sbrinamento di eventuali depositi di neve e ghiaccio; evita che l'umidità dovuta alle precipitazioni, eventualmente permeata dal manto, possa ristagnare e dare luogo a fenomeni di assorbimento e penetrazione verso le superfici edilizie che interfacciano con l'ambiente interno; elimina eventuali problematiche di condensa interstiziale del vapore acqueo prodotto negli ambienti, che dall'interno attraversa gli strati della copertura.

### 2. CARATTERISTICHE COSTITUTIVE E DI FUNZIONAMENTO

La ventilazione della copertura risulta di importanza tanto maggiore quanto più l'edificio si sviluppa planimetricamente e non in altezza: per edifici a torre la copertura ventilata presenta vantaggi energetici in relazione ai soli locali che va immediatamente a coprire, mentre per edifici bassi e con maggiore sviluppo planimetrico (case isolate, ambienti di lavoro sviluppati su un solo livello, ecc.) svolge un ruolo rilevante in rapporto al bilancio energetico complessivo dell'edificio. È possibile distinguere, fondamentalmente, tre differenti soluzioni tecniche per la realizzazione delle coperture ventilate:

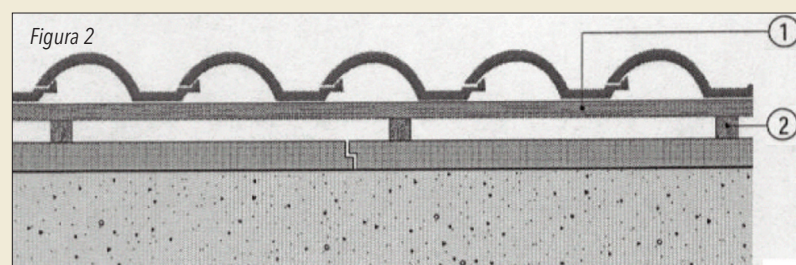
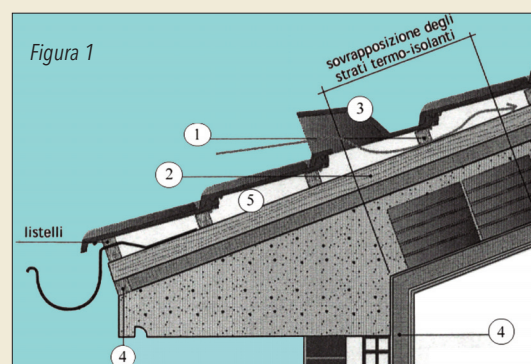


Figure 1 e 2. Copertura isolata-ventilata con ventilazione del sottomanto di protezione, realizzata con sottostruttura lignea in listelli incrociati, paralleli e ortogonali alla linea di gronda, su falda in laterocemento. Sezione trasversale e longitudinale.

- 1) Listello di supporto (listello ligneo con orditura parallela alla linea di gronda);
- 2) listello di ventilazione (listello ligneo per la creazione dello strato di ventilazione, con orditura perpendicolare alla linea di gronda);
- 3) tegola di aerazione (tegola speciale in laterizio per l'ingresso dei flussi d'aria);
- 4) strato termoisolante (pannelli isolanti ad alta densità);
- 5) strato di ventilazione (sezione di aerazione di almeno 550 cm<sup>2</sup> per ml di larghezza della falda per coperture in tegole con pendenze del 30-35% e lunghezze fino a m 7,00; secondo norma UNI 9460:2008).

- copertura isolata-ventilata con ventilazione del sottomanto di protezione;
- copertura isolata-ventilata a doppia intercapedine di ventilazione;
- copertura su sottotetto non abitabile isolata-ventilata con ventilazione dell'ambiente sottotetto.

#### Copertura isolata-ventilata con ventilazione del sottomanto di protezione (Figure 1 e 2)

Costituisce la soluzione di ventilazione della copertura più diffusa. Consente di ventilare il sottomanto, permettendo, alla stessa stregua di una parete ventilata, la dispersione convettiva del calore trasmesso per irraggiamento allo strato più esterno dell'involucro edilizio, costituito in questo caso dal manto di protezione realizzato con le tegole. Consente altresì lo smaltimento dell'umidità e dell'eventuale acqua di infiltrazione, garantendo l'efficienza e l'affidabilità del tetto nelle sue specifiche prestazioni tecniche e di frontiera ambientale.

La sezione di aerazione minima è pari  $550 \text{ cm}^2$  per ogni metro di larghezza della falda, al di sotto della listellatura (rapporto valido per coperture in tegole con pendenze della falda di circa il 30-35% e lunghezze della stessa fino a m 7,00, secondo la norma UNI 9460:2008), mentre quella massima è pari ad  $800 \text{ cm}^2$  per ml di falda. L'area della sezione di ventilazione si dimezza per coperture realizzate in coppi.

#### Copertura isolata-ventilata a doppia intercapedine di ventilazione (Figure 3)

Sono presenti due strati di ventilazione: uno del sottomanto di protezione, definibile come strato di microventilazione, di sezione libera pari ad almeno  $200 \text{ cm}^2$  per ml di larghezza della falda, che

è preposto specificamente allo smaltimento dell'umidità e della eventuale acqua di infiltrazione, pur svolgendo nel contempo anche una certa funzione di dissipazione del calore dovuto al soleggiamento; un secondo strato posto al di sotto del primo e da questo separato da un tavolato in legno di sottocopertura, specificamente preposto alla funzione di raffreddamento della falda, potenziando l'azione dissipativa del calore ed evitando che questo possa raggiungere la struttura della falda e da qui trasmettersi in ambiente.

La sezione di ventilazione consigliata è compresa tra  $550\text{-}800 \text{ cm}^2$  per ml di falda, al di sotto della listellatura.

#### Copertura su sottotetto non abitabile isolata-ventilata con ventilazione dell'ambiente sottotetto (Figure 4)

È possibile realizzare la ventilazione della copertura anche ventilando l'ambiente sottotetto qualora questo non sia abitabile. Tale ventilazione del sottotetto può essere attivata mediante specifici camini d'aerazione oppure tramite sistemi di aperture contrapposte realizzate nelle murature di tamponamento al di sotto della quota di imposta della falda. Vista la non abitabilità dell'ambiente sottotetto, l'isolamento può essere realizzato all'estradosso del solaio, anziché della specifica falda di copertura. Tale tipo di ventilazione ha la specifica funzione di dissipare verso l'esterno l'energia termica accumulata dalla falda a seguito del soleggiamento ed evitare in tal modo l'aumentare del carico termico all'interno degli spazi abitati sottostanti.

Possono essere previste aperture, per l'ingresso dei flussi d'aria, realizzate con bocchette controllabili ai fini di impedire la ventilazione nel periodo

Figura 3. Copertura isolata-ventilata a doppia intercapedine di ventilazione realizzata con sottostruttura lignea su falda in laterocemento.

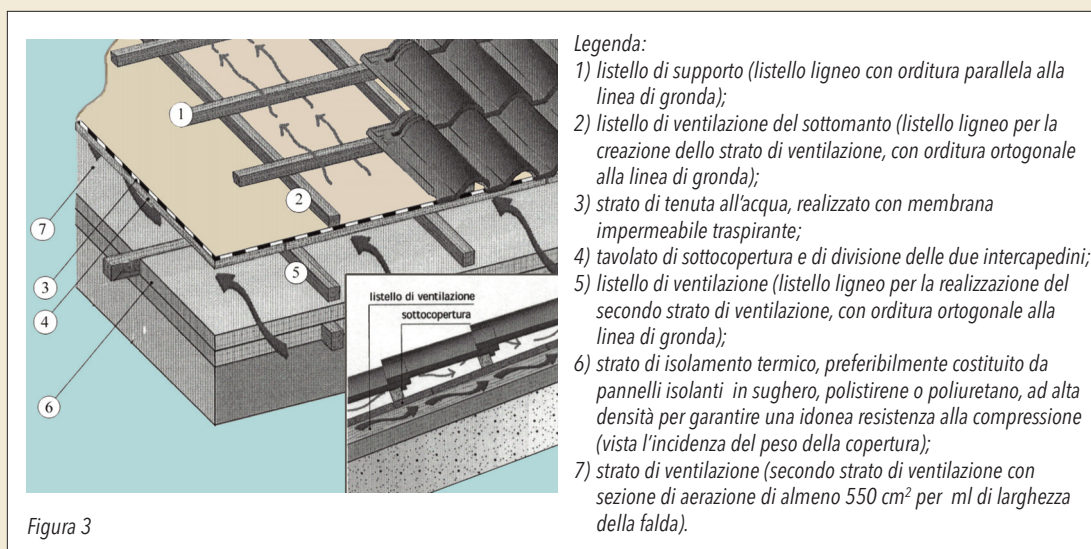
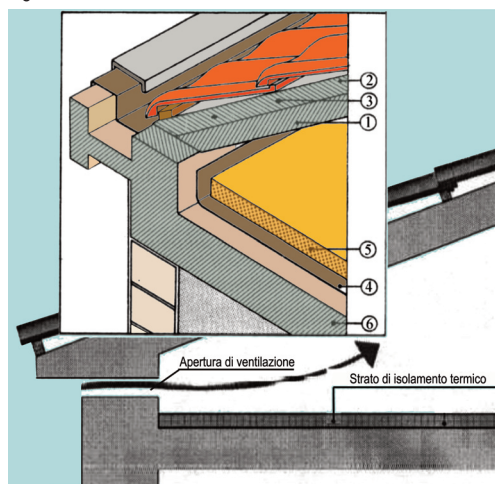


Figura 3



Figura 4



**Legenda:**

- 1) falda inclinata realizzata con tavelle in laterizio;
- 2) strato (massetto) in cls armato;
- 3) armatura metallica costituita da rete elettrosaldata, realizzata secondo norme UNI 8926 e 8927;
- 4) barriera al vapore in strato/i di polietilene o in fogli bituminosi o a base di polimeri;
- 5) strato di isolamento termico; ad alta densità e protetto da pavimentazione in caso di ambiente sottotetto calpestabile;
- 6) solaio in laterocemento.

Le aperture di ventilazione devono essere realizzate con bocchette opportunamente protette da retine metalliche ai fini di evitare l'ingresso dell'acqua di precipitazione e di animali (volatili, insetti).

Figura 4. Soluzione di copertura su sottotetto non abitabile, isolata-ventilata con ventilazione dell'ambiente sottotetto.

invernale e poter quindi costituire una sorta di “*cuscino termico*”, funzionale all'aumento della prestazione energetica invernale dell'edificio.

### 3. CARATTERISTICHE REALIZZATIVE

Per la realizzazione della sezione di ventilazione corretta, così come indicato dalla norma UNI 9460:2008, occorre scegliere la giusta dimensione del listello di ventilazione: l'altezza del listello va a determinare l'area della sezione di ventilazione (Figura 6) per ciascun ml di larghezza della falda. Ad esempio, utilizzando un listello di altezza pari a 7 cm, si determinerà, per ciascun ml di larghezza della falda una sezione pari a  $7 \times 100 = 700 \text{ cm}^2$ . La dimensione della camera d'aria nel sottomanto sarà comunque superiore all'altezza della sezione di ventilazione, in quanto comprensiva dell'altezza definita e compresa nei listelli di supporto (posti

ortogonalmente ai listelli di ventilazione).

In copertura, deve essere assicurata una adeguata sezione di ingresso dell'aria in corrispondenza della linea di gronda e di uscita in corrispondenza del colmo.

Tale sezione è ottenibile sia con fessure continue o discontinue, protette dall'ingresso di insetti e

Figura 5

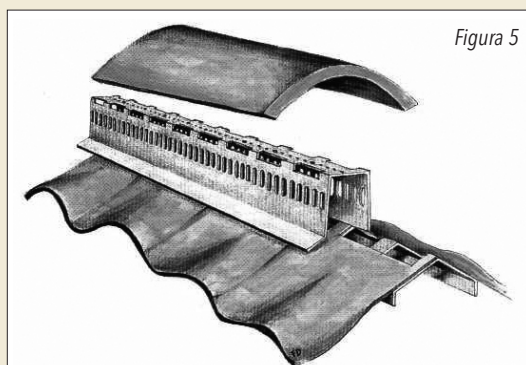


Figura 5. Soluzione tecnica per assicurare l'uscita dei flussi d'aria dal colmo del tetto.

Figura 6

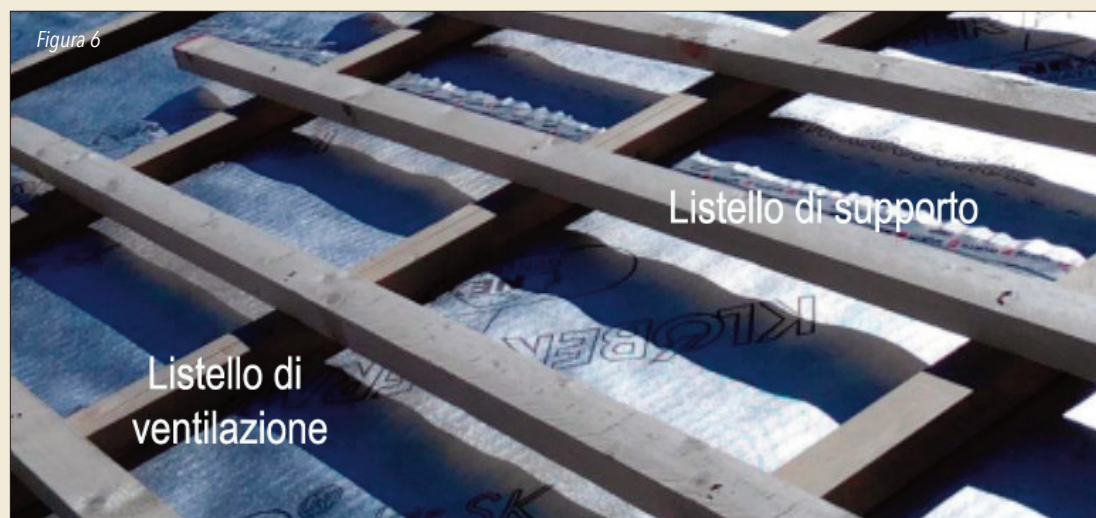


Figura 6. Listelli di ventilazione e di supporto posati in opera, al di sopra del manto di impermeabilizzazione, per la realizzazione della copertura ventilata.



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



► **Condizione ambientale:**

SP-5 - Buon livello di soleggiamento invernale  
IMP-9 - Adeguamento/miglioramento dei sistemi impiantistici

► **Ambito edilizio:**

C - Superfici di copertura (SP-5)  
A - Produzione energetica da fonte rinnovabile (IMP-9)

► **Strategia di intervento:**

C.2 - Impianti solari per la produzione energetica da fonte rinnovabile (SP-5)  
A.2 - Impianti solari termici (IMP-9)

## SOLUZIONE TECNICA SP-5/C.2.1; IMP-9/A.2.1

# IMPIANTO A COLLETTORI SOLARI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA DA FONTE RINNOVABILE

## 1. DEFINIZIONE E DESCRIZIONE

Nelle situazioni in cui sulla copertura dell'edificio si realizzano buone condizioni di soleggiamento, con particolare riferimento al periodo invernale, durante il quale vi è una maggiore richiesta di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria e, eventualmente, destinata anche al riscaldamento degli ambienti, diviene particolarmente vantaggiosa l'utilizzazione di sistemi a collettori solari termici per la produzione energetica da fonte rinnovabile.

Attualmente la normativa nazionale prevede che almeno il 60% del fabbisogno energetico per la produzione di acs sia prodotto da fonti rinnovabili di energia (vedere par. I.1.2.5 *Obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili di energia - D. Leg.vo 199 del 08/11/2021*). A tal fine possono essere utilizzate soluzioni tecniche differenti (pompe di calore ad alto rendimento, impianti di cogenerazione e caldaie a biomassa, impianti solari termici) ma, nelle condizioni ambientali sopra indicate, il ricorso agli impianti solari termici consente un elevato livello di produzione energetica e di rendimento degli impianti, con una conseguente elevata convenienza di ordine economico.

I componenti fondamentali che costituiscono la parte più importante dell'impianto, ovvero i componenti in grado di trasformare l'energia elettromagnetica della radiazione solare incidente in ener-

gia termica specificamente destinata alla produzione di acqua calda sanitaria o al riscaldamento degli ambienti, sono i “collettori solari”. Attualmente i collettori solari sono classificabili nelle seguenti tipologie:

- collettori solari piani vetrati;
- collettori solari piani non vetrati;
- collettori a tubi sotto vuoto;
- collettori ad accumulo integrato.

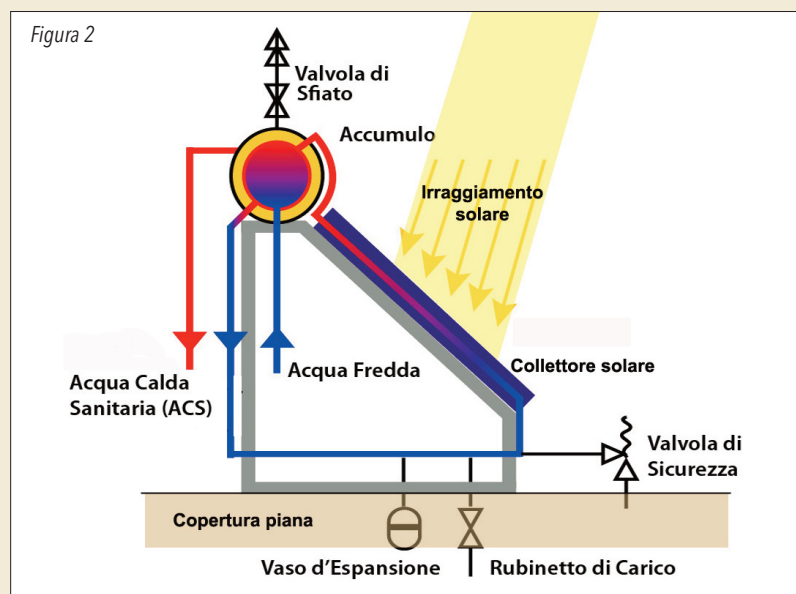
La tipologia dei collettori piani non vetrati è però ad uso esclusivamente estivo, in quanto per il loro funzionamento sono richieste buone condizioni di insolazione e temperature esterne superiori ai 20 °C; pertanto non risulta funzionale all'impiego rispetto alla condizione ambientale in oggetto (SP-5 *Buon livello di soleggiamento invernale*).

## 2. CARATTERISTICHE COSTITUTIVE E DI FUNZIONAMENTO

Gli impianti solari termici sono costituiti da differenti componenti:

Figura 1. Copertura con tecnologie solari integrate, caratterizzata dalla compresenza di un impianto solare a circolazione naturale e di un impianto fotovoltaico.

Figura 2. Schema di funzionamento di un collettore solare a circolazione naturale, del tipo utilizzato nell'edificio in Figura 1. L'accumulo è realizzato in un serbatoio posizionato sopra la superficie captante, collegato alla rete idrica e alle tubazioni dell'impianto di distribuzione dell'acs. Il riscaldamento dell'acqua nel serbatoio avviene lentamente per moto convettivo.



- collettori solari termici;
- serbatoi e boiler;
- scambiatori di calore;
- pompe di circolazione;
- circuito idraulico (tubazioni, valvole, ecc);
- centralina di regolazione.

Pur essendo, il processo di trasformazione dell'energia solare in energia termica, caratterizzato da analoghe dinamiche di produzione energetica nelle differenti tipologie di collettori solari precedentemente elencati, ciascuna tipologia ha delle proprie specificità tecnico-funzionali, in funzione delle quali possono differire anche le caratteristiche degli altri componenti sopra elencati.

#### Collettori solari piani vetrati

I collettori solari piani vetrati costituiscono la tecnologia più versatile e più diffusa. Ciò in quanto, pur non garantendo le elevate caratteristiche prestazionali, in termini di produzione energetica, dei collettori a tubi sottovuoto, determinano un ottimo rapporto costi-prestazioni. I collettori solari piani sono caratterizzati da buone efficienze e da una buona temperatura di riscaldamento dell'acqua (acs o destinata all'impianto termico), nell'ambito di temperature comprese tra i 40 ed i 70 °C circa. Un collettore solare piano è costituito dai seguenti componenti tecnici:

- piastra assorbente;
- copertura trasparente di captazione solare;
- strato di isolamento termico;
- scatola di contenimento;

- fluido termovettore.

La piastra assorbente è in genere realizzata in rame o in acciaio ed è trattata con vernici scure o opache, ai fini di massimizzare l'assorbimento e minimizzare la riflessione. Ha la specifica funzione di assorbire il calore prodotto all'interno del collettore e trasferirlo alle tubazioni collegate (collegamento realizzabile anche attraverso saldatura tra piastra e tubi). La copertura trasparente di captazione solare svolge il ruolo di superficie di captazione e deve essere di tipo selettivo, ovvero in grado di determinare il cosiddetto "effetto serra" all'interno del collettore, lasciando entrare la radiazione solare nel campo del visibile e costituendo invece uno schermo opaco alla radiazione infrarossa, ovvero termica, che si genera all'interno del collettore.

Può essere realizzata con vetro singolo o con vetro doppio, se si ha l'esigenza di aumentare la capacità di isolamento termico (ad esempio in contesti climatici molto rigidi). In alternativa al vetro può essere utilizzato il polycarbonato alveolare, materiale leggero, economico e di adeguata resistenza per il tipo di impiego, ma meno trasparente e con la tendenza ad opacizzarsi nel corso degli anni, andando quindi a ridurre le prestazioni del collettore fino a determinarne una minore durabilità.

Lo strato di isolamento termico ha la funzione di minimizzare e ridurre il più possibile le perdite termico-energetiche verso le superfici esterne del collettore (superfici laterali e superficie inferiore, a contatto con la struttura edilizia oppure con l'esterno). È generalmente realizzato in poliuretano

Figura 3. Collettori solari piani vetrati  
Trienergia PI20 (da brochure tecnica dell'azienda Coenergia s.r.l., website: [www.coenergia.com](http://www.coenergia.com)).

Figura 3



Figura 4

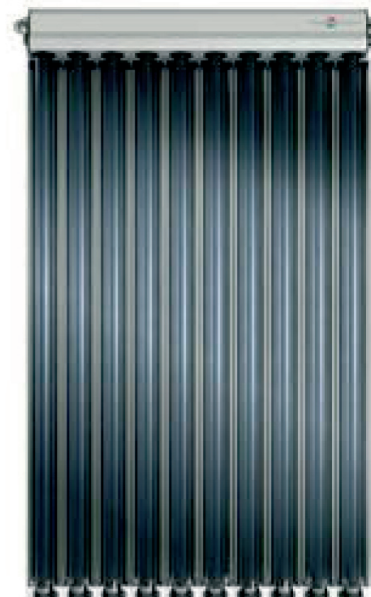


Figura 4. Collettore solare a tubi sottovuoto Trienergia SV10T (da brochure tecnica dell'azienda Coenergia s.r.l.; website: [www.coenergia.com](http://www.coenergia.com)).





**Pagine non disponibili  
in anteprima**



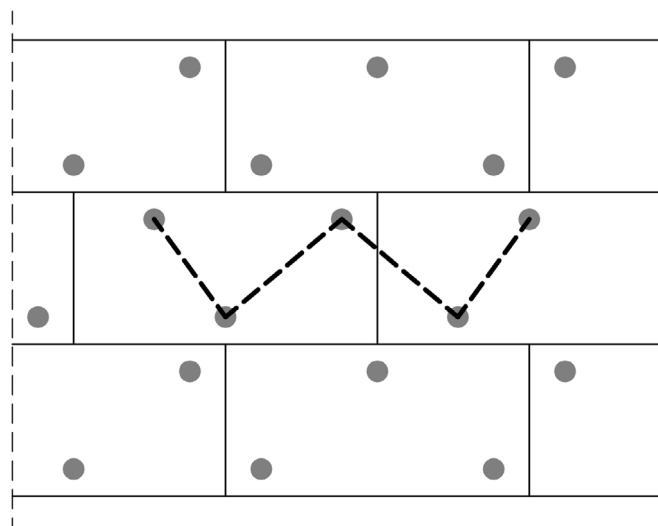


Figura 5. Esempificazione dello schema di tassellatura a W.

## 2.3 Progettazione e realizzazione dei raccordi

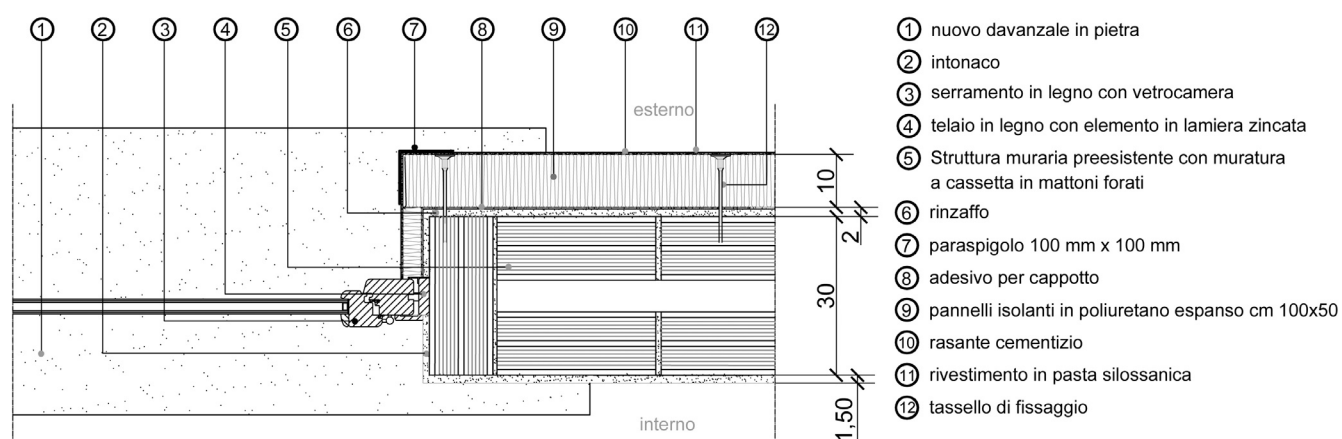
La progettazione e la realizzazione dei vari raccordi, tra il sistema di isolamento a cappotto e gli elementi architettonico-strutturali dell'edificio, assumono un ruolo rilevante nel livello della prestazione energetica che il sistema isolante garantisce e nella durabilità dello stesso. È pertanto di fondamentale importanza una adeguata progettazione di dettaglio nonché una accurata fase tecnico-realizzativa. In particolare, i raccordi che necessitano di una adeguata progettazione e realizzazione sono individuabili in:

- raccordi a porte e finestre (Figura 6);
- raccordi a davanzali;
- raccordi alla copertura (Figura 7);
- raccordi e zoccolature con zone a contatto con il terreno (Figura 1).

Nella progettazione e realizzazione di tali specifiche problematiche tecniche, potrà essere necessaria l'utilizzazione di appositi elementi di raccordo, specificamente prodotti in funzione del sistema di isolamento a cappotto ETICS in questione.

Nei raccordi con gli infissi esistenti, occorre far girare l'isolamento a cappotto sull'interno del vano finestra (imbotte) utilizzando degli appositi pannelli/elementi di raccordo (Figura 6).

Figura 6. Dettaglio tecnico in sezione orizzontale di una soluzione di raccordo del sistema di isolamento a cappotto ETICS a un infisso esterno.





Occorre inoltre sostituire i davanzali con nuovi elementi di ampiezza adeguata a contenere l'ingombro dello spessore del sistema di isolamento a cappotto. Laddove ciò non sia possibile, sarà utile realizzare l'allungamento dei davanzali preesistenti mediante l'utilizzazione di appositi elementi di raccordo. Nei raccordi con i sistemi di copertura piana, la condizione ottimale da perseguire è quella della realizzazione della continuità dell'isolamento di facciata con l'isolamento della copertura (Figura 7), seppure realizzate, le due soluzioni di coibentazione, con materiali differenti in funzione di diverse richieste prestazionali (ad es. resistenza alla compressione richiesta ai pannelli di isolamento del solaio di copertura in relazione alle esigenze di praticabilità della copertura piana).

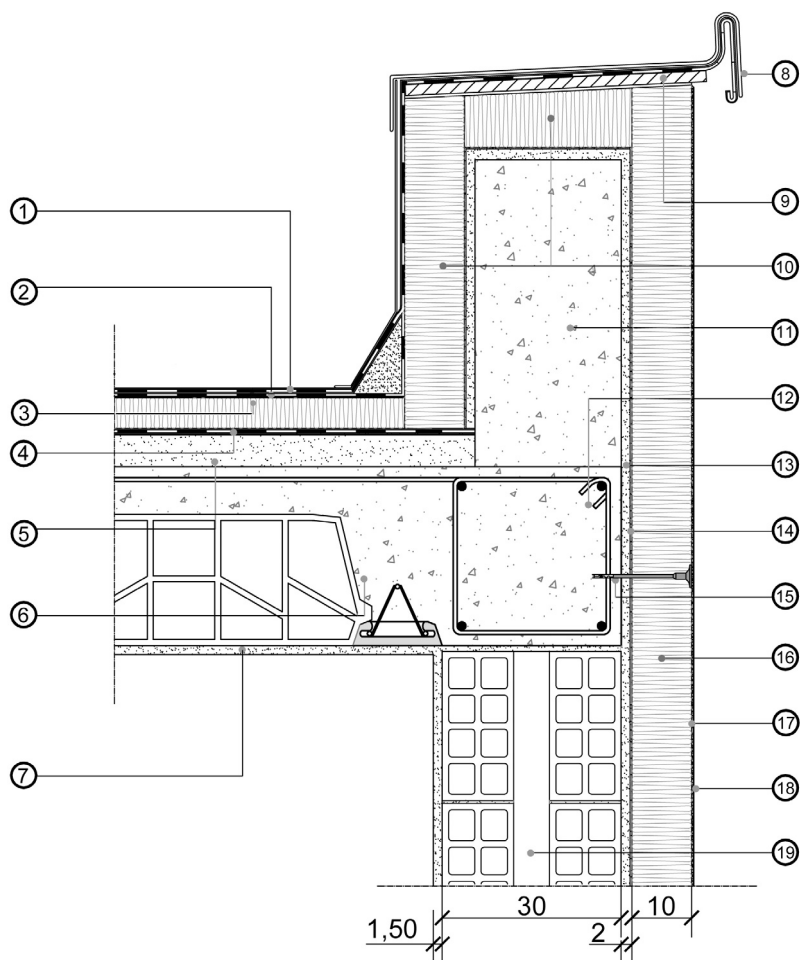


Figura 7. Dettaglio tecnico in sezione verticale di una soluzione di raccordo alla copertura piana di un sistema di isolamento a cappotto ETICS su una struttura edilizia preesistente.

- |                                                                        |                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ① guaina bituminosa per impermeabilizzazione                           | ⑩ pannelli isolanti in poliuretano espanso                                 |
| ② guaina elastomerica di impermeabilizzazione                          | ⑪ cordolo di bordo in c.a.                                                 |
| ③ pannello di isolamento termico ad alta densità (adatto al calpestio) | ⑫ trave di bordo in c.a.                                                   |
| ④ barriera al vapore                                                   | ⑬ rinzafo                                                                  |
| ⑤ massetto di pendenza in cls alleggerito                              | ⑭ strato adesivo per pannelli di isolamento                                |
| ⑥ solaio in laterocemento                                              | ⑮ tassello di fissaggio                                                    |
| ⑦ intonaco interno                                                     | ⑯ pannelli isolanti in poliuretano espanso                                 |
| ⑧ lamiera di rivestimento                                              | ⑰ rasante cementizio                                                       |
| ⑨ pannello in XPS                                                      | ⑱ rivestimento in pasta silossanica                                        |
|                                                                        | ⑲ struttura muraria preesistente con muratura a cassetta in mattoni forati |

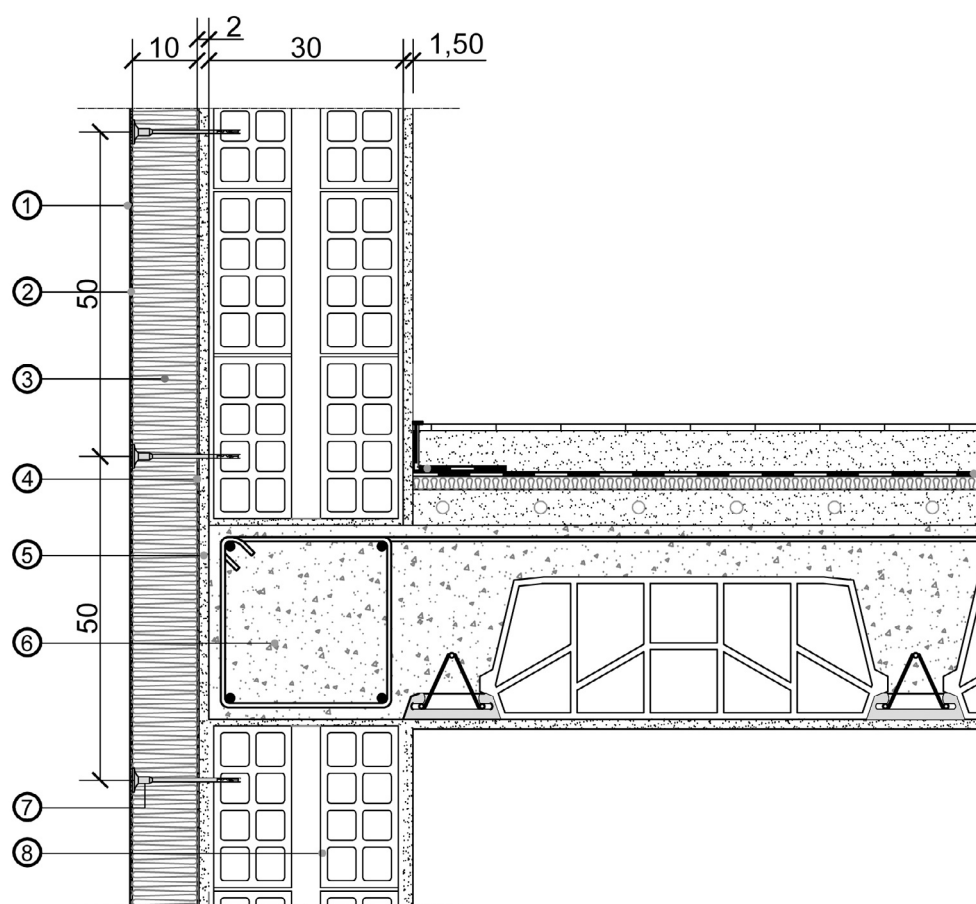


Figura 8. Dettaglio tecnico in sezione verticale di soluzione di isolamento a cappotto ETICS.

- ① rivestimento in pasta silossanica
- ② rasante cementizio
- ③ pannelli isolanti in poliuretano espanso cm 100x50
- ④ strato adesivo
- ⑤ rinzafo
- ⑥ trave di bordo in c.a
- ⑦ tassello di fissaggio
- ⑧ struttura muraria preesistente con muratura a cassetta in mattoni forati