

Capitolo 2

Analisi funzionale delle coperture verdi

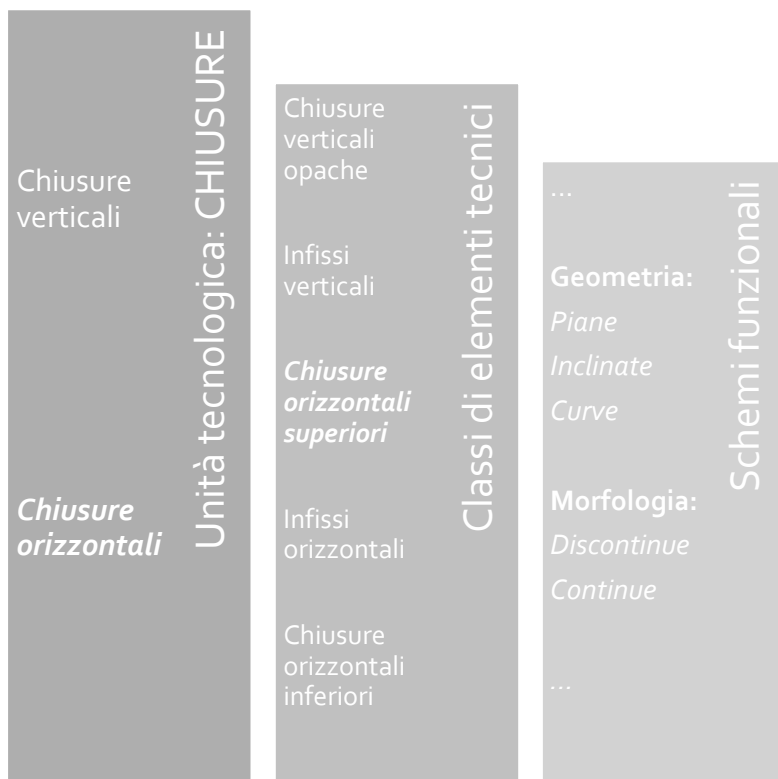
Edino Valcovich, Carlo Antonio Stival

Le coperture verdi costituiscono una particolare ed innovativa famiglia di soluzioni tecnologiche pertinenti alle chiusure orizzontali superiori: la funzione di tale classe di elementi tecnici è volta a separare gli ambienti indoor dell'edificio dallo spazio esterno sovrastante, garantendo in tali locali le condizioni per lo svolgimento delle attività umane ivi previste mediante la regolazione di flussi di materia ed energia. La collocazione nell'involucro edilizio e la consistenza fisica di tali chiusure conferiscono loro una grande importanza morfologica, influente sia sull'architettura dell'involucro, sia sulle peculiarità degli ambienti indoor.

Il consolidato approccio proprio dell'Architettura Tecnica individua tre possibili schemi funzionali per le coperture in base alla geometria: chiusure superiori piane, inclinate e curve. Con riferimento alla morfologia, le coperture sono differenziate poi in

base alla continuità dello strato di tenuta all'acqua, nelle sottoclassi coperture continue e coperture discontinue¹; queste ultime sono generalmente inclinate, in modo tale che la pendenza a loro conferita consenta il deflusso dell'acqua meteorica senza provocare infiltrazioni nelle discontinuità.

L'inserimento delle coperture verdi all'interno della classe di elementi tecnici richiamata richiede comunque opportuni approfondimenti, resi necessari dalle svariate esigenze correlabili alla loro installazione, afferibili a parametri di classificazione non limitati alla geometria ed alla morfologia delle stesse.



Prospetto 2.1 – Classificazione delle coperture in base a geometria e morfologia.

In questo capitolo saranno perciò affrontate le modalità di classificazione delle coperture verdi in base a diversi parametri, le esigenze ad esse correlate e i pertinenti requisiti connotanti.

2.1. Criteri di classificazione delle coperture verdi

I criteri di classificazione delle coperture verdi si riferiscono alla classe di elementi tecnici chiusure orizzontali superiori: in quanto tali, le coperture verdi assolvono alla

funzione di separazione tra ambienti indoor dallo spazio esterno caratterizzato da specifiche condizioni climatiche ed agenti atmosferici, permettendo le condizioni necessarie allo svolgimento delle attività previste per l'utenza.

Si possono dunque definire opportuni schemi funzionali derivanti da modelli di funzionamento della copertura: tali schemi descrivono quindi il funzionamento di un elemento tecnico in base a fenomeni dominanti, dovuti a specifici agenti e trasposti a livello tecnico in requisiti connotanti.

Le coperture sono classificabili in base a criteri afferenti alle peculiarità dell'elemento tecnico, alla fase di gestione ed alla caratterizzazione dei suoi strati funzionali, e precisamente ai criteri seguenti:

1. geometria;
2. tipologia;
3. accessibilità / fruibilità;
4. manutenzione e gestione;
5. prestazionale.

2.1.1. Geometria

La norma UNI 8627 [2] definisce due possibili schemi funzionali dei sistemi di copertura, distinguendo in coperture piane o inclinate.

La prima possibile classificazione delle coperture verdi è dunque pertinente alla loro geometria e individua tre possibili schemi funzionali:

- coperture orizzontali, caratterizzate da una pendenza inferiore all'1% per assicurare l'efficace deflusso delle acque meteoriche;
- coperture sub-orizzontali, con pendenza compresa tra l'1% ed il 5%;
- coperture inclinate, aventi pendenza superiore al 5%.

Le installazioni verdi in copertura sono realizzabili per tutte le configurazioni geometriche della copertura, in quanto è possibile prevedere coperture verdi su superfici piane o inclinate con pendenza inferiore a 30-35°. Il costo di realizzazione e di manutenzione è crescente all'aumentare della pendenza: su coperture inclinate sono inoltre necessari strati funzionali discontinui accessori, volti a conferire stabilità alla copertura, a controllarne i fenomeni erosivi e di dilavamento, a permettere lo svolgimento delle azioni manutentive in sicurezza.

Tale modalità di classificazione caratterizza dunque i sistemi di ancoraggio di strati funzionali ed elementi tecnici; inoltre, nelle coperture inclinate la cui pendenza è superiore al 5%, è generalmente accettabile la tipologia a verde estensivo, in seguito caratterizzata, per motivi di ordine economico, di progettazione tecnologica e di fattibilità tecnica. Le coperture piane richiedono, d'altro canto, la predisposizione di uno strato drenante di sicura efficacia, che bilanci le richieste di sostentamento della vegetazione con i requisiti di controllo ed allontanamento delle acque meteoriche.

Si propone di seguito il prospetto 2.1 che individua gli accorgimenti progettuali necessari all'installazione di una copertura verde in funzione di classi di pendenza dell'elemento tecnico di copertura.

Pendenza 0÷2% (0÷1°) - coperture piane

- massime prestazioni richieste allo strato drenante e di impermeabilizzazione
- installazione vantaggiosa in zone di scarse precipitazioni
- possibile installazione di coperture verdi intensive con irrigazione ad accumulo

Pendenza 2÷5% (1÷3°)

- condizione ottimale per l'implementazione del verde pensile

Pendenza 5÷36% (3÷20°)

- verifica del fenomeno dell'accumulo idrico
- predisposizione di elementi rompitratta antiscivolamento nello strato colturale per pendenze superiori a 15° (26%)

Pendenza 36÷58% (20÷30°)

- integrazione del sistema antiscivolamento con strati colturali più compatti caratterizzati da pezzatura irregolare

Pendenza 58÷100% (30÷45°)

- possibile non convenienza economica
- verifica statica della copertura e del sistema di ancoraggio

Prospetto 2.2 – Individuazione delle criticità di installazione di coperture verdi in base al criterio di geometria.

2.1.2. **Tipologia di installazione**

Il codice di buona pratica UNI 11235 [3] opera una fondamentale distinzione nella tipologia di installazione delle coperture verdi in estensive ed intensive.

Nelle coperture di tipo estensivo, le specie vegetali impiegate sono capaci di svilupparsi e adattarsi alle condizioni ambientali in cui vengono a trovarsi, con livelli di manutenzione minimi. Le specie vegetali impiegate per l'inverdimento estensivo sono quindi caratterizzate da un'elevata capacità di insediamento, efficienza di riproduzione, resistenza agli stress idrici (*drought-tolerant species*) e termici a cui sono sottoposte nell'arco di un intero anno. Non sono applicabili, a causa del ridotto spessore dello strato colturale (5÷15 cm) e della possibile geometria inclinata della copertura, specie vegetali arboree; conseguentemente, il peso totale imputabile all'installazione vegetale risulta modesto.

Le specie vegetali impiegate in coperture di tipo intensivo sono caratterizzate da strati colturali di tipo organico, di maggiore profondità, necessitano di conseguenza di

un livello di manutenzione maggiore e di una giacitura piana orizzontale a pendenza pressoché nulla. Per l'inverdimento intensivo è più ampia la rosa delle specie vegetali impiegabili, valutando sia specie erbacee, anche perenni, sia specie arbustive ed arboree. In funzione della tipologia di inverdimento previsto variano sia lo spessore dello strato colturale necessario sia, di conseguenza, il sovraccarico gravante sulla struttura: gli inverdimenti di tipo intensivo sono quindi limitate

2.1.3. Accessibilità / fruibilità

È possibile inoltre individuare una corrispondenza tra la modalità di classificazione delle coperture per geometria, in funzione della pendenza, e quella relativa alla fruibilità / accessibilità della copertura stessa:

- coperture inclinate e piane, non accessibili, di tipo estensivo;
- coperture piane, accessibili, di tipo intensivo.

La classificazione delle coperture con strato superficiale vegetale in base al grado di accessibilità e fruibilità consiste in sei classi⁴:

- A. copertura accessibile per i soli interventi di manutenzione;
- B. copertura accessibile per interventi di manutenzione afferenti sia gli strati funzionali che gli impianti installati;
- C. copertura accessibile a pedoni, per un carico massimo ammissibile di 4 kN/m²;
- D. copertura accessibile a pedoni e veicoli leggeri, con peso inferiore a 2 t per ciascun asse;
- E. copertura accessibile a flussi pedonali e veicolari;
- F. copertura pensile intensiva, in grado di sopportare le relative sollecitazioni meccaniche e chimiche.

La fruibilità della copertura deve essere dichiarata dalla committenza e prevista in sede di progettazione al fine di definire compitamente i carichi gravanti sulla copertura stessa ed agenti globalmente sulle strutture portanti.

2.1.4. Manutenzione

Una ulteriore modalità di classificazione è funzione del grado di manutenzione richiesto dalla copertura ed alla frequenza delle operazioni di manutenzione necessarie a mantenerne costanti le prestazioni.

Coperture verdi di tipo estensivo richiedono il minor grado di manutenzione, solitamente non più di uno o due interventi nel corso dell'anno, in quanto l'approvvigionamento di acqua e sostanze nutritive avviene secondo processi che si verificano naturalmente e l'assortimento di vegetazione ne prevede uno sviluppo contenuto, con riduzione del carico statico. La soluzione di tipo estensivo si applica quindi in coperture piane di grandi dimensioni ed a coperture inclinate; l'accessibilità è consentita solo per interventi manutentivi, con interventi di irrigazione previsti nella fase di avvio ed in caso di emergenze climatiche. Una copertura verde estensiva ha dunque il principale obiettivo di fornire le prestazioni ecologiche ed economiche più vantaggiose, a scapito della fruibilità dello spazio.

Le coperture verdi di tipo intensivo, caratterizzate da una più complessa realizzazione tecnica e da una maggiore ampiezza di scelta delle essenze, presentano quindi maggiori oneri in fase di manutenzione: oltre ai controlli degli elementi del sistema e dello strato di vegetazione tipici dell'inverdimento estensivo, sono da annoverarsi le attività di controllo delle specie vegetali piantumate, caratterizzate da una maggiore varietà rispetto al verde estensivo. In base alle necessità di manutenzione, sono individuate due sottocategorie:

- verde intensivo leggero, caratterizzato da un tappeto erboso calpestabile;
- verde intensivo pesante, ad elevata manutenzione, che comprende la messa a dimora di alberi.

La copertura verde intensiva si configura come uno spazio aperto fruibile e destinabile ad attività diverse, provvisto di specie vegetali arbustive ed arboree e dotato di elementi d'arredo: è quindi più spiccata la funzione dell'inverdimento intensivo in termini di fruibilità ed aspetto.

CLASSI	DESCRIZIONE	IRRIGAZIONE	MANUTENZIONE MDO ⁽¹⁾ [H/M ² /YR]	RAPPORTO DI COSTI M/C [%] ⁽²⁾
1	Verde estensivo	in caso di siccità	< 0,02	< 1
2	Verde intensivo leggero	prevista	0,021 ÷ 0,06	1 ÷ 5
3	Verde intensivo pesante	prevista	> 0,06	> 5

⁽¹⁾ MANODOPERA

⁽²⁾ C: IL COSTO DELLA COSTRUZIONE DELLA COPERTURA VERDE AL NETTO DEL TRASFERIMENTO IN QUOTA DEI MATERIALI; M: COSTO ANNUO DELLA MANUTENZIONE ORDINARIA.

Tabella 2.1 – Classificazione delle coperture verdi in base alle necessità di operazioni manutentive (fonte UNI 11235:2007, par. 6.1.2.).

Un livello di bassa manutenzione prevede il solo controllo di strati funzionali ed elementi costituenti il sistema; sono quindi monitorati lo stato fisiologico e fitosanitario della vegetazione, ad esempio l'eventuale presenza di parassiti o di agenti infestanti che possano inficiare la funzionalità del sistema. L'irrigazione può essere effettuata eventualmente in alcune occasioni, allorquando condizioni di stress idrico lo richiedano.

In caso di medio o alto livello di manutenzione, applicabile prevalentemente a sistemi intensivi, oltre ai controlli descritti in precedenza, sono da effettuarsi le attività agronomiche necessarie ad una corretta gestione delle aree verdi. È altresì necessario prevedere un congruo impianto d'irrigazione per il sostentamento della vegetazione.

Gli interventi di manutenzione si dividono cronologicamente in due categorie:

- manutenzione di avviamento, dedicata al controllo di opere e forniture necessarie al raggiungimento del pieno stato di operatività, comprese le

misure per la protezione dello strato colturale e della vegetazione dai fenomeni di erosione idrica ed eolica (ad esempio, predisposizione di strutture rompitratta nelle coperture inclinate). Sono qui comprese le lavorazioni agronomiche inerenti il controllo dello spessore dello strato colturale, di costipamento ed eventuale integrazione, di risemina o reimpianto delle specie vegetali adottate, di efficienza e funzionalità dell'eventuale sistema di irrigazione;

- manutenzione ordinaria, effettuata in seguito all'avviamento, volta a mantenere nel tempo la funzionalità della copertura, ad esempio rimozione di specie infestanti, operazioni di rasatura e sfalcio, azioni di potatura di contenimento ed a scopi estetici, trattamenti fitosanitari.

Considerando le modalità di classificazione delle coperture verdi per geometria, tipologia di installazione ed oneri manutentivi, e quindi riproponendo la distinzione tra inverdimento estensivo, intensivo leggero ed intensivo pesante, è possibile riassumere le principali caratteristiche di tali soluzioni conformi nella Tabella 2.2.

CLASSIFICAZIONE	ESTENSIVO	INTENSIVO	
		LEGGERO	PESANTE
GEOMETRIA	piana, inclinata	piana (pendenza inferiore al 5%)	
ACCESSIBILITÀ	non praticabile	praticabile e coltivabile	
MANUTENZIONE	minima	media	elevata
VEGETAZIONE	tappeto erboso	tappeto erboso	tappeto erboso, arbusti, alberi

Tabella 2.2 – Sommario delle principali caratteristiche delle coperture verdi in base alle diverse modalità di classificazione introdotte.

2.1.5. Classificazione in base alle prestazioni

Tale modalità di classificazione è pertinente alla funzione caratteristica svolta da specifici strati funzionali costituenti una soluzione di chiusura orizzontale superiore. Le soluzioni conformi previste per tali classi di elementi tecnici in termini di controllo della dispersione del calore e di controllo del flusso di vapore sono così individuate:

- coperture non isolate e non ventilate, prive di strati funzionali precisamente individuati che agiscano sulla trasmissione del calore e sul comportamento igrometrico;
- coperture isolate e non ventilate, che permettono il solo controllo delle dispersioni di calore;
- coperture non isolate e ventilate, in cui uno specifico strato funzionale consente il controllo del comportamento igrometrico;

- coperture isolate e ventilate, che possiedono strati funzionali capaci di operare il controllo di entrambi i fattori.

Le coperture verdi sono prevalentemente caratterizzate da soluzioni conformi di tipo isolato. La presenza di uno specifico strato di isolamento termico, che risulti complementare alla prestazione offerta dallo strato colturale, deve essere valutata in fase di determinazione dei livelli di prestazione richiesti, in particolare verificando se la copertura deve offrire determinate prestazioni di resistenza termica. Lo strato di isolamento termico è necessariamente previsto nelle coperture verdi estensive, mentre nelle soluzioni di tipo intensivo gli spessori dello strato colturale e dello strato drenante ne rendono spesso non necessario l'impiego.

Il controllo del comportamento igrometrico è invece affidato ad uno strato funzionale di barriera al vapore, capace di evitare l'accumulo di vapore all'interno della soluzione e la conseguente formazione di condensa interstiziale; anche in questo caso la prestazione complessiva del pacchetto deve essere attentamente valutata in considerazione della quantità d'acqua presente nello strato colturale, condizione significativamente differente rispetto a quelle riscontrabili nelle coperture di tipo tradizionale.

Le coperture continue, introdotte nella classificazione morfologica, sono elementi tecnici in cui il requisito di tenuta all'acqua è garantito da uno specifico strato funzionale che garantisce l'impermeabilizzazione in forza della propria continuità, indipendentemente dalla geometria della copertura stessa; è allora possibile individuare diverse soluzioni conformi in merito alla collocazione di questo strato funzionale:

- soluzione conforme "a tetto caldo", in cui lo strato funzionale di tenuta all'acqua è posto immediatamente sopra allo strato di isolamento termico, dunque verso l'estradosso della copertura. In questo caso è necessaria la presenza di uno strato di barriera al vapore che eviti fenomeni di condensazione interstiziale capaci di inibire le prestazioni termoisolanti della copertura;
- soluzione conforme "a tetto rovescio" in cui lo strato funzionale di tenuta all'acqua è posto immediatamente sotto allo strato di isolamento termico, verso l'intradosso della copertura. Poiché lo strato termoisolante funge da protezione allo strato di tenuta, il primo deve essere capace di resistere alle sollecitazioni meccaniche indotte (ivi comprese le dilatazioni termiche). Lo strato funzione di tenuta svolge anche la funzione di barriera al vapore.
- soluzione conforme "a tetto sandwich", indicata in contesti in cui è necessario conferire elevate prestazioni di resistenza termica al sistema copertura; in essa sono presenti due distinti strati di isolamento termico ai quali è interposto lo strato di tenuta all'acqua.

La prestazione energetica di una copertura verde risulta particolarmente incisiva nella stagione estiva, in quanto la massa caratterizzante lo strato colturale fornisce elevate prestazioni di inerzia termica. Relativamente a tali prestazioni, è possibile distinguere tre livelli prestazionali inerenti anche il potere fonoisolante di facciata, anch'esso direttamente correlato alla massa superficiale dell'elemento tecnico:

- I livello, se il peso degli strati soprastanti l'elemento di tenuta è inferiore a 150 kg/m²;
- II livello, se il peso degli strati soprastanti l'elemento di tenuta è compreso tra 150 kg/m² e 300 kg/m²;
- III livello, se il peso degli strati soprastanti l'elemento di tenuta è superiore a 300 kg/m².

2.2. Individuazione di esigenze e requisiti connotanti delle coperture verdi

2.2.1. Definizione di un quadro di esigenze per le coperture verdi

Inquadrando la tecnologia delle coperture verdi in un quadro di esigenze e requisiti connotanti associati, emerge una notevole varietà degli effetti portati da queste soluzioni, i quali possono essere riferiti, secondo diversi gradi e con una certa sicurezza, al tradizionale approccio esigenziale - prestazionale.

In termini di classi di esigenza, le coperture verdi contribuiscono al soddisfacimento di diverse esigenze, riferibili alle classi di:

- aspetto;
- fruibilità;
- benessere;
- salvaguardia ambientale;
- utilizzo razionale delle risorse.

Tale molteplicità di effetti è evidenziata innanzitutto dalla stessa norma tecnica di riferimento UNI 11235, che sottolinea come l'adozione di una copertura verde si configuri come momento operativo nel perseguire uno o più dei seguenti obiettivi:

- fruibilità della copertura per lo svolgimento di determinate attività, derivante dalla volontà di realizzare uno spazio idoneo allo svolgimento di attività all'aperto. La definizione di tali attività è relazionata alla valutazione dell'usura del manto vegetale ed ai carichi agenti sulla copertura;
- fruibilità visiva, correlata alla valenza architettonica ed estetica della copertura verde;
- modifica delle prestazioni ambientali interne dell'edificio, con particolare riferimento al comportamento energetico e, in una certa misura, al comportamento acustico;
- modifica delle prestazioni ambientali esterne dell'edificio, con particolare riferimento all'effetto "isola di calore", al controllo del deflusso delle acque meteoriche, all'abbattimento della concentrazione delle polveri sottili in atmosfera;
- compensazione architettonica, avente come oggetto la restituzione parziale o totale delle caratteristiche peculiari del sistema ambientale precedente

l'intervento⁵. Le ricadute di questo obiettivo si riferiscono allora al ripristino delle condizioni microclimatiche ed atmosferiche del contesto.

La definizione degli obiettivi è desunta anche dall'insieme degli agenti che interferiscono con il sistema complesso costituito da una copertura verde: biologici e chimici, idrici, meccanici, termici e radiativi.

In termini di aspetto, una copertura verde può restituire la valenza naturalistica (o una sua quota) presente in origine in un determinato contesto ambientale, contenendo l'impatto visivo della nuova edificazione e realizzando, quindi, uno spazio di qualità architettoniche e paesaggistiche.

Tra gli impatti più incisivi delle opere antropiche vi è l'impermeabilizzazione e la sigillatura dei suoli dovuta alla realizzazione di superfici con finitura in conglomerato cementizio o simili. Questa modifica alle condizioni originarie comporta in genere il surriscaldamento delle superfici in oggetto ed il conseguente incremento di temperatura della massa d'aria soprastante; inoltre, il più rapido deflusso delle acque meteoriche gravitanti su queste superfici riduce la quota originariamente infiltrata nel suolo e comporta un dissesto nella regimazione delle acque ora sottratte al ciclo idrologico dell'acqua. Una copertura verde, pur parte integrante di un'opera antropica, permette un ripristino perlomeno parziale delle funzioni del suolo naturale all'interno del ciclo idrologico, e offre prestazioni degne di nota anche nel controllo dei deflussi in seguito ad eventi meteorici particolarmente intensi.

La diffusione della tecnologia del verde pensile dipende anche da due ulteriori motivazioni quali l'effetto visivo e psicologico positivo dato da una superficie verde in un contesto altrimenti antropizzato e l'efficacia di queste soluzioni in termini di durabilità dei materiali – con particolare riferimento allo strato impermeabilizzante di copertura – e di efficienza energetica conferita all'involucro edilizio.

Per quanto concerne l'esigenza di benessere acustico, l'elemento tecnico di copertura deve ridurre il livello di pressione sonora dovuto alle sorgenti sonore aeree e di tipo impattivo agenti sulla copertura stessa. Il potere fonoisolante apparente che definisce la prestazione di isolamento acustico è variabile in funzione del tipo di esposizione e dell'attività svolta nei locali interni; in generale, le prestazioni offerte da un elemento tecnico inverdito sono elevate in quanto la massa coinvolta offre una notevole riduzione del livello di pressione sonora rispetto all'ambiente esterno.

Va comunque evidenziato che, rispetto ad una copertura "tradizionale", il verde pensile comporta oneri maggiori in termini di manutenzione e di mantenimento delle specie vegetali impiantate (nelle soluzioni di tipo estensivo si considerano i soli interventi manutentivi in condizioni eccezionali); inoltre, esso comporta un maggiore peso sulla struttura portante dell'organismo edilizio ed un incremento dei carichi in fondazione, condizione senz'altro più gravosa in applicazioni a verde pensile intensivo, le quali vedono ridotto il proprio campo di applicazione in interventi di riqualificazione di coperture esistenti.

È dunque possibile fissare specifiche esigenze e requisiti correlabili alle coperture verdi, in base alle classi definite dalla norme tecniche UNI 8289 [6] e UNI 8290 [7], come integrate dalla norma UNI 11277 [8], riportate nel prospetto 2.3.

SICUREZZA	<ul style="list-style-type: none"> • resistenza meccanica ai carichi statici e dinamici • resistenza all'erosione • resistenza agli agenti fisici, chimici e biologici
FRUIBILITÀ	<ul style="list-style-type: none"> • creazione di superfici destinate allo svolgimento di attività diverse • fruibilità per accessi pedonali e veicolari
ASPETTO	<ul style="list-style-type: none"> • incremento della qualità visiva • riduzione dell'impatto paesaggistico
BENESSERE, IGIENE E SALUTE DELL'UTENTE	<ul style="list-style-type: none"> • tenuta agli agenti atmosferici • isolamento acustico • riduzione dell'effetto isola di calore • abbattimento delle polveri atmosferiche
UTILIZZO RAZIONALE DELLE RISORSE	<ul style="list-style-type: none"> • isolamento termico • controllo dell'inerzia termica • protezione degli strati di isolamento termico e di impermeabilizzazione • recupero di materiali e suolo
SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> • gestione dell'acqua meteorica • contributo alla realizzazione di reti ecologiche

Prospetto 2.3 – Individuazione di diversi aspetti riconducibili a specifiche classi di esigenza proprie della tecnologia delle coperture verdi.

Rispetto alle soluzioni “tradizionali”, le coperture verdi devono corrispondere positivamente a requisiti specifici e peculiari:

- capacità agronomica, ossia l’attitudine di un sistema o di un suo componente a favorire e mantenere nel tempo le opportune condizioni agronomiche per un corretto sviluppo della vegetazione,
- capacità drenante al fine di favorire il passaggio di acqua per il sostentamento della vegetazione;
- capacità di aerazione dello strato drenante, al fine di garantirvi idonee condizioni di ossigenazione;

- capacità di accumulo idrico, al fine di renderla disponibile per la vegetazione;
- capacità di aerazione dello strato colturale, al fine di instaurare idonee condizioni di ossigenazione.

Le coperture a verdi, delicato elemento tecnico di separazione e modulazione di flussi tra il clima esterno e l'ambiente interno, devono quindi soddisfare molteplici esigenze; la traduzione di tali esigenze in requisiti presuppone che essi possano essere riferiti con precisione ad uno strato funzionale, oppure ascrivibili alla totalità della soluzione in esame.

Ad ogni requisito connotante è associata una specifica di prestazione⁹, che permette di valutare il livello prestazionale raggiunto e, qualora richiesto dalla normativa vigente, di confrontarne il valore con la pertinente specificazione di prestazione¹⁰.

2.2.2. Il contesto ambientale

Le condizioni climatiche ed ambientali esterne risultano di fondamentale importanza per la scelta delle essenze vegetali da associare alla copertura verde, per l'individuazione delle proprietà dello strato colturale, infine per la valutazione delle prestazioni complessive dell'elemento tecnico: non è quindi possibile applicare indifferentemente una copertura verde in contesti climatici diversi.

Il progetto di una copertura verde non può prescindere dalla conoscenza dei parametri ambientali – alcuni dei quali necessari alla valutazione delle prestazioni ambientali delle coperture tradizionali – che permettono di valutare le perdite d'acqua alla vegetazione per evapotraspirazione, quali:

- temperatura dell'aria esterna su periodi mensili, declinata in media annua, media del mese più rigido, durata dei periodi caldi, escursione media annua;
- umidità relativa massima;
- radiazione solare incidente sulla copertura;
- direzione ed intensità dei venti prevalenti, a cadenza stagionale;
- intensità delle precipitazioni, comprese quelle a carattere nevoso, che contrastano il fenomeni evapotraspirativi;
- emergenze antropiche che portino ad un inquinamento atmosferico o da polveri sottili.

Questi dati (reperibili ad esempio tramite le statistiche meteorologiche elaborate dall'ISTAT, dai report proposti a livello regionale dalle ARPA (Agenzie Regionali Protezione Ambiente), dall'ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), dal D.M. 14 gennaio 2008 e relativa circolare esplicativa per quanto concerne i carichi statici e dinamici, etc.) permettono di definire i fabbisogni idrici del sistema inverdito, in seguito all'asportazione d'acqua per evaporazione (dallo strato colturale) e traspirazione (dall'apparato vegetale)¹¹.

È importante evidenziare come il contesto climatico influisca diversamente su una copertura verde rispetto alla condizione della vegetazione posta in diretta continuità con il suolo naturale.

La scelta di essenze vegetali idonee al contesto climatico è limitata anche dagli oneri di manutenzione della vegetazione: maggiore è l'idoneità della vegetazione al contesto climatico, minori saranno le azioni manutentive (anche straordinarie) da prevedere per garantire sopravvivenza e sviluppo delle piante.

2.2.3. *Requisiti connotanti*

2.2.3.1. Requisiti relativi alla sicurezza

Con riferimento alla sicurezza strutturale, i principali riferimenti legislativi sono le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, allegate al D.M. 14/01/2008 [12], e relativa Circolare Esplicativa n. 617/2009 [13].

I carichi permanenti – strutturali e non strutturali – indotti da una copertura verde rappresentano il principale parametro da determinare in fase di progettazione: nel caso di intervento di nuova costruzione, ma soprattutto in interventi di ristrutturazione della copertura esistente che non interessino direttamente le strutture portanti dell'organismo. La nuova copertura può infatti comportare un aggravio dei carichi trasmessi in fondazione che deve essere accuratamente valutato: la struttura portante dell'edificio esistente, infatti, può non essere capace di sostenere i nuovi carichi.

La progettazione deve quindi considerare attentamente il sovraccarico aggiuntivo portato, in prevalenza, dallo strato colturale: a favore di sicurezza, lo strato deve trovarsi in condizioni di saturazione, ove ciò possa accadere. I carichi di progetto derivano dalle masse volumiche a saturazione dei singoli strati funzionali, e variano da 4 kN/m² a 10 kN/m² per strati ammendati, fino a 12 kN/m² per strati colturali in condizioni di saturazione.

I carichi variabili che agiscono sull'elemento tecnico di copertura sono calcolati per legge in base alla destinazione d'uso della copertura: particolari situazioni si riscontrano in caso di copertura praticabile ad uso privato ($q_a=2$ kN/m²) o ad uso pubblico ($q_a=4$ kN/m²).

Sugli elementi strutturali vanno altresì considerati, secondo un'opportuna combinazione di carico, i pesi associati alle operazioni di manutenzione, secondo la frequenza con cui questa avviene.

Il requisito di resistenza meccanica non afferisce esclusivamente allo strato portante: i diversi strati funzionali devono possedere prestazioni tali da consentire l'espletamento delle proprie funzioni. In particolare, lo strato di isolamento termico deve essere scevro da possibilità di deformazione, al fine di non vedere ridotta sensibilmente la propria resistenza termica.

Il requisito di resistenza agli urti è particolarmente rilevante nella fase realizzativa della copertura, in quanto possono risultare danneggiati strati funzionali sensibili quali lo strato di tenuta all'acqua.

Se è possibile che nella stagione invernale la temperatura dell'aria esterna, per alcuni periodi, scenda al di sotto di 0 °C, gli strati funzionali posti al di sopra dello strato di isolamento termico devono possedere idonea resistenza al gelo: il requisito è richiesto

agli strati drenante e di accumulo idrico, se presente: i suddetti strati, sottoposti a cicli di gelo e disgelo, non devono frammentarsi, riducendo la propria massa e la propria resistenza meccanica e perdendo così la propria funzione. Analoga richiesta è pertinente agli aggregati dello strato colturale.

2.2.3.2. Requisiti inerenti la fruibilità

In particolari situazioni, una copertura verde può essere fruibile ed essere quindi eventualmente destinata allo svolgimento di attività all'aperto. La caratterizzazione di queste attività risulta necessaria al fine di individuare i carichi variabili agenti sulla copertura stessa, il grado previsto di usura della vegetazione, i conseguenti livelli ed intensità degli interventi manutentivi, e deve quindi essere prevista già in fase metaprogettuale.

<i>TIPOLOGIA DI ACCESSO RICHiesta</i>	<i>DESCRIZIONE</i>
MANUTENZIONE STRAORDINARIA	Accesso mediante botole o comunicazioni esterne Sistemi di sicurezza e protezione individuale (linea-vita)
MANUTENZIONE ORDINARIA	Accesso mediante botole o comunicazioni esterne Sistemi di sicurezza e protezione individuale (linea-vita)
ACCESSO PUBBLICO	Predisposizione di parapetti di protezione per almeno 120 cm dal piano dello strato colturale Comunicazioni interne all'edificio

Tabella 2.3 – Tipologie di accesso alle coperture verdi (fonte www.greenroofguidelines.co.uk).

2.2.3.3. Requisiti di aspetto

Per quanto concerne la classe esigenziale dell'aspetto, una copertura verde può essere progettata per avere funzione di compensazione architettonica: un mezzo per restituire, almeno in parte, la valenza naturalistica originaria del sistema ambientale presente nel sito in esame, al fine ottimale di mimetizzare particolari siti quali, ad esempio, gli insediamenti industriali. La destinazione a verde pensile di una copertura permette di ridurre l'impatto visivo delle strutture antropiche, migliorando l'aspetto complessivo del paesaggio e consentendo la creazione di particolari ambienti di vita per piante e piccoli animali. In tal senso, le superfici edificate destinate a verde contribuiscono alla realizzazione di corridoi ecologici, insieme di aree sufficientemente ravvicinate ed interconnesse da permettere l'insediamento e gli spostamenti di diverse specie all'interno del tessuto urbano; il contributo al corridoio ecologico è senz'altro maggiore nelle coperture verdi di tipo estensivo.

2.2.3.4. Requisiti relativi al benessere, l'igiene e la salute dell'utenza

Requisito primario relativo a questa classe di esigenza è la tenuta all'acqua, assolto da uno strato avente questa specifica funzione, che deve possedere idonee caratteristiche di durabilità a causa della laboriosità di una sua successiva sostituzione. L'elemento di tenuta frequentemente svolge anche la funzione di controllo della permeabilità dell'aria.

Per quanto concerne il controllo della condensazione superficiale ed interstiziale, nella verifica condotta ai sensi della normativa tecnica UNI 13788 [14], la resistenza termica dello strato colturale può, a favore di sicurezza, essere trascurata¹⁵.

In merito al benessere acustico, il livello sonoro reputato accettabile negli ambienti posti immediatamente al di sotto della copertura è legato al potere fonoisolante complessivo della copertura stessa¹⁶. Le specificazioni di prestazione per tale requisito sono quelle previste dal D.P.C.M. 5/12/1997 [17] per il requisito acustico passivo di potere fonoisolante di facciata, stabilito in funzione della destinazione d'uso dell'unità immobiliare direttamente afferente alla copertura.

Poiché il potere fonoisolante apparente di una chiusura è determinato, per ampi campi di frequenze, dalla legge di massa, lo strato colturale offre un apprezzabile contributo all'incremento del potere fonoisolante di copertura.

2.2.3.5. Requisiti relativi all'utilizzo razionale delle risorse energetiche

Il controllo del consumo delle risorse energetiche, tema che si intreccia con la necessità di garantire condizioni di benessere negli ambienti confinati e nelle aree esterne fruibili, è un'esigenza che si pone l'obiettivo di intervenire sull'involucro edilizio attraverso misure che, senza ricorrere direttamente ad un impianto tecnico di condizionamento (strategia passiva), permettano di mediare le condizioni climatiche esterne.

La copertura verde costituisce l'elemento tecnico deputato al controllo del flusso termico nella stagione invernale ed estiva, requisito che incide notevolmente sulle prestazioni energetiche complessive dell'edificio a causa della quota di superficie disperdente dell'involucro edilizio afferente alla chiusura superiore.

Le soluzioni di copertura verde, se previste nell'ambito di una ristrutturazione parziale o totale, devono presentare, al pari di una copertura tradizionale, una trasmittanza termica non superiore a quella prevista dalla normativa vigente (attualmente il D. Lgs. 311/2006, All. C). Queste specificazioni di prestazione sono le minime ammissibili, perciò la regolamentazione a livello locale può anche richiedere un livello prestazionale più elevato¹⁸.

È opportuno evidenziare sin da ora che la resistenza termica complessiva della copertura è fortemente influenzata dal grado di saturazione dello strato colturale, ed in questa valutazione risiedono le maggiori criticità.

Per quanto concerne il controllo dell'inerzia termica, il D.P.R. 59/2009 [19] definisce coperture verdi le "coperture continue dotate di un sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali caratteristiche della

copertura di un edificio. Tali coperture sono realizzate tramite un sistema strutturale che prevede in particolare uno strato colturale opportuno sul quale radicano associazioni di specie vegetali²⁰. Negli interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione totale di edifici esistenti, il progettista deve verificare il livello di inerzia termica offerto dalle soluzioni d'involucro, ivi compresa la copertura.

Tale verifica, da condurre in tutte le zone climatiche ad eccezione della zona F nelle località in cui l'irradianza media sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva sia non inferiore a 290 W/m^2 , richiede che il modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} sia inferiore a $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Il Decreto specifica che tale obiettivo (specificazione di prestazione) può essere raggiunto con l'impiego di tecniche e materiali innovativi, tra cui le coperture verdi, al fine di contenere le oscillazioni della temperatura negli ambienti indoor derivanti dall'irraggiamento solare. Opportune documentazioni e certificazioni devono dimostrare l'equivalenza della prestazione della tecnologia e dei materiali adottati con i livelli prestazionali richiesti.

2.2.3.6. Requisiti inerenti la salvaguardia ambientale

Le coperture verdi rappresentano un potenziale strumento per equilibrare l'impatto delle costruzioni antropiche per ottenere spazi urbani caratterizzati da una maggiore vivibilità. Esse possono contribuire al mantenimento o alla ricostruzione dei corridoi ecologici qualora non sia possibile realizzare nuovi spazi verdi. In questo modo è possibile tutelare le specie endemiche compensando almeno parzialmente la trasformazione degli ecosistemi.

La gestione delle acque meteoriche e la riduzione dell'impatto della costruzione sul ciclo idrologico si traduce nella richiesta di massimizzazione della superficie drenante²¹ – a contrasto dell'impermeabilizzazione dei suoli – mediante l'impiego di materiali che favoriscano la penetrazione diffusa dell'acqua meteorica, a velocità tali da contenere i picchi di portata ai corpi ricettori finali.

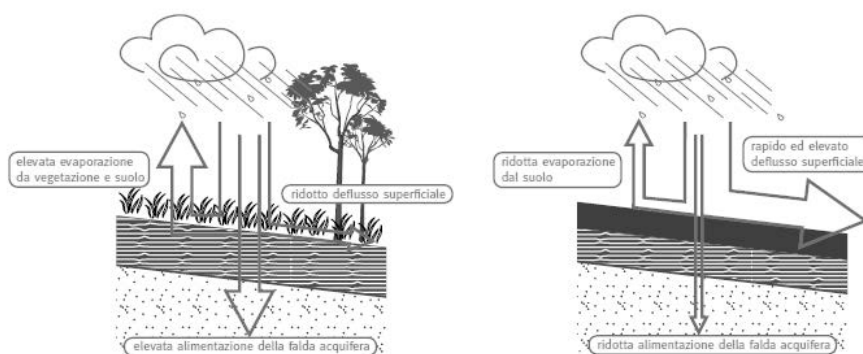


Figura 2.4 – Modifica del regime di deflusso delle acque piovane dovuto all'impermeabilizzazione delle superfici in assenza di strategie di controllo (fonte Provincia Autonoma di Bolzano, 2008).

Questo requisito fa dunque riferimento al contenimento dell'entità dei deflussi delle acque meteoriche e può essere ben ricompreso nella classe di esigenza della salvaguardia ambientale; il recupero ed il riutilizzo di queste acque per usi compatibili, in luogo dell'acqua potabile, può invece come utilizzo razionale della risorsa idrica.

Il trattamento superficiale delle aree esterne, ivi comprese le coperture dei volumi edificati, può rendere le stesse permeabili riducendo l'impatto sul ciclo idrologico. Lo strato colturale di una copertura verde può trattenerne quote considerevoli dell'acqua meteorica gravitante sulla superficie di copertura; inoltre, l'effetto depurativo del verde pensile permette di veicolare l'acqua defluita nelle canalizzazioni, e di qui ai ricettori²².

2.2.3.7. Requisiti specifici delle coperture verdi

Il controllo della capacità agronomica si riferisce all'attitudine di un sistema a mantenere nel tempo le condizioni per un corretto sviluppo della vegetazione in funzione del contesto. Questo requisito si riflette sulla disponibilità dei dati inerenti il contesto climatico e le necessità in termini energetici e idrici delle specie vegetali prescelte.

Il controllo della capacità drenante è requisito richiesto alla copertura verde specialmente nelle porzioni perimetrali, in cui il carico idrico è maggiore. La successione degli strati funzionali, da quello vegetale a quello con specifica funzione drenante, deve prevedere caratteristiche di permeabilità crescenti, al fine di permettere a quest'ultimo strato l'espletamento della propria funzione. In sistemi d'inverdimento privi di accumulo idrico la portata idraulica da eventi meteorici deve essere controllata, così da evitare il formarsi di battenti idrici.

Nelle condizioni nominali di esercizio, inoltre, nell'elemento drenante deve essere disponibile un volume d'aria per evitare l'immarcescimento degli apparati radicali.

2.3. Schema decisionale per la progettazione delle coperture verdi

Il processo di progettazione di una copertura verde richiede la collaborazione e la coordinazione professionale di diverse figure: la committenza, l'architetto paesaggista, il progettista architettonico, il responsabile del progetto strutturale, il progettista energetico, il produttore del sistema di inverdimento e i futuri responsabili della manutenzione.

È possibile individuare una *checklist* di questioni da considerarsi al fine di pianificare l'intervento già in fase metaprogettuale e realizzare un'installazione esteticamente pregevole e funzionale all'oggetto edilizio di cui sarà parte.

- 1) *La copertura sarà (anche solo in parte) fruibile?* Si intende quindi definire il grado di fruibilità della copertura, che influisce sulla scelta delle essenze vegetali e sulla destinazione di parte degli spazi a percorsi pedonali.
- 2) *La copertura sarà visibile da parti dell'edificio in cui è installata o dagli edifici circostanti?*, questione relativa alla valorizzazione architettonica ed estetica dell'inverdimento, anche al fine di accrescerne il valore di mercato.

- 3) *Qual è la superficie da destinare all'inverdimento?* Si fa riferimento alle richieste della committenza, in accordo con i regolamenti vigenti (inerenti le prestazioni energetiche, le eventuali misure di compensazione ambientale, gli obiettivi di regimazione delle acque meteoriche, etc.) e con eventuali ulteriori requisiti per l'accesso ad agevolazioni o a certificazioni ambientali.
 - 4) *È definibile un carico di progetto per la copertura verde?* Si considerano i carichi indotti dalla copertura verde sulla struttura dell'edificio, con massima attenzione da porre in casi di riqualificazione dell'elemento tecnico di copertura di un edificio esistente, o di fruibilità della copertura per specifiche attività. Le specie vegetali da piantumare incidono sul carico di progetto, in quanto richiedono spessori diversi di strato colturale per il loro alloggiamento.
 - 5) *La copertura ha giacitura piana o inclinata?* Sono infatti richiesti accorgimenti progettuali specifici per l'ancoraggio del suolo in coperture inclinate con pendenza superiore a 15°.
 - 6) *Sono richieste specifiche prestazioni relativamente alla qualità dell'aria che caratterizza l'ambiente circostante?* Tale questione si riferisce ai possibili stress che la vegetazione potrebbe accusare in presenza di inquinamento atmosferico o di diretta esposizione a uscite di sistemi di estrazione dell'aria esausta o di trattamento dell'aria indoor.
 - 7) *Sono stati considerati gli effetti del vento sulla copertura?* La copertura verde dovrà infatti resistere ai flussi d'aria impedendo l'erosione dello strato colturale.
- È evidente che una copertura verde può essere realizzata con diversi obiettivi finali²³. È quindi innanzitutto necessario definire l'obiettivo, la funzione prevalente della copertura, anche in funzione delle condizioni ambientali e climatiche del sito.

È possibile dunque delineare una *check-list* per la progettazione di una soluzione di copertura verde.

- 1) Definizione della finalità della copertura, con riferimento – non esaustivo – ai requisiti di fruibilità, aspetto e percezione visiva, controllo delle acque meteoriche, contenimento dei consumi energetici, e individuazione degli obiettivi prioritari.
- 2) Definizione degli schemi funzionali più adatti al contesto, considerando la giacitura della copertura e effettuando una prima valutazione cautelativa dei carichi indotti sulla struttura portante dell'edificio.
- 3) Individuazione delle condizioni climatiche e meteorologiche del sito, inclusa la valutazione dei carichi variabili di neve e vento che si presume interesseranno l'elemento tecnico di copertura.
- 4) Scelta della classificazione funzionale della copertura (con / senza funzione di accumulo idrico; configurazione a tetto caldo / tetto rovescio / tetto sandwich) e definizione della successione degli strati funzionali.
- 5) Individuazione della specie vegetale da impiegare in base alle condizioni climatiche del sito, alle esigenze d'aspetto, all'onerosità ed alla frequenza delle azioni di manutenzione; tale scelta porta all'individuazione del suolo di coltura, ed influirà di conseguenza sui carichi agenti in copertura (peso della vegetazione

al suo massimo sviluppo atteso, carico permanente indotto dallo strato colturale nelle condizioni di saturazione) e sulla necessità di prevedere uno specifico impianto di irrigazione per la regolazione del contenuto d'acqua disponibile alla vegetazione.

- 6) Definizione delle prestazioni, dimensionamento degli strati funzionali e individuazione delle conseguenti caratterizzanti (resistenza a compressione, trazione, schiacciamento e punzonamento e stabilità dimensionale, resistenza agli agenti biochimici, tenuta all'acqua ed all'aria, volume d'acqua disponibile e controllo della capacità drenante, etc.). In questa fase devono essere altresì definiti gli accorgimenti specifici per la soluzione adottata (zavorramenti, ancoraggi, rompitratta, etc.).
- 7) Definizione della soluzione tecnologica, dei materiali e degli elementi tecnici da impiegare.
- 8) Valutazione delle prestazioni complessive dell'elemento tecnico e sua classificazione prestazionale.
- 9) Programmazione delle manutenzioni.

Nel caso di intervento di riqualificazione funzionale di una copertura esistente, devono essere valutate in modo particolarmente attento le prestazioni richieste allo strato portante, stimandone la capacità portante residua ai carichi agenti alla luce della vigente normativa in materia di sicurezza delle costruzioni.

2.4. Bibliografia

- Abram P., *Verde pensile in Italia e in Europa*, il Verde Editoriale, Milano, 2006. ISBN: 88-86569-24-6.
- Fiori M. (a cura di), *Coperture a verde. Ricerca, progetto ed esecuzione per l'edificio sostenibile*. Hoepli Editore, Milano, 2011. ISBN: 978-88-203-4159-6.
- Grosso M., Peretti G., Piardi S., Scudo G., *Progettazione ecocompatibile dell'architettura*. Sistemi Editoriali, Napoli, 2005. ISBN: 978-88-513-0286-3.
- Provincia Autonoma di Bolzano, *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, a cura di P. Kompatscher, 2008. Documento disponibile all'indirizzo www.provincia.bz.it/tutelaacque
- Strom S., Nathan K., Woland J., *Site engineering for landscape architects*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, USA, 5th edition, 2009. ISBN: 978-0-470-13814-4.
- UNI 11277:2008 "Sostenibilità in edilizia. Esigenze e requisiti di ecocompatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione".

NOTE AL CAPITOLO 2

¹ La normativa tecnica UNI 8178 individua coperture continue e discontinue. Nella prima famiglia, il requisito di tenuta all'acqua è assicurato indipendentemente dalla pendenza conferita alla superficie, prevedendo opportuni elementi tecnici; nella seconda, il requisito è soddisfatto in funzione della pendenza della copertura in relazione alla tipologia di elemento tecnico impiegato.

² UNI 8627:1984 – *Edilizia. Sistemi di copertura. Definizione e classificazione degli schemi funzionali, soluzioni conformi e soluzioni tecnologiche*, par. 7.1.2.

³ UNI 11235:2007 – *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*.

⁴ UNI 11235, par. 6.

⁵ *Ibidem*.

⁶ UNI 8289:1981 – *Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione*.

⁷ UNI 8290:1983 parte 2 – *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti*.

⁸ UNI 11277:2008 – *Sostenibilità in edilizia. Esigenze e requisiti di ecocompatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione*.

⁹ Valore di variabili e/o di attributi, univocamente individuati, che definisce o delimita la risposta progettuale a una o più specificazioni di prestazione.

¹⁰ Espressione del requisito secondo valori di variabili e/o attributi univocamente determinati che definiscono l'obiettivo di qualità da perseguire attraverso il progetto.

¹¹ Fiori M., 2011, pag. 3.

¹² Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 “*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*”.

¹³ Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2 febbraio 2009 “*Istruzioni per l'applicazione delle <<Nuove Norme Tecniche per le costruzioni>> di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*”.

¹⁴ UNI EN ISO 13788:2013 – *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale. Metodi di calcolo*.

¹⁵ Fiori M., 2011, pag. 9.

¹⁶ Si considerano quindi anche i contributi, frequentemente peggiorativi, delle aperture praticate in copertura e dei raccordi strutturali con le pareti perimetrali.

¹⁷ Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 5 dicembre 1997 “*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*”.

¹⁸ Si evidenziano anche i limiti più restrittivi per l'accesso alle detrazioni fiscali di cui al D.M. 26 gennaio 2010.

¹⁹ Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, “*Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*”.

²⁰ *Ivi*, art. 2.

²¹ UNI 11277, par. 5.10.

²² Provincia Autonoma di Bolzano, 2008, pag. 9.

²³ Strom S. et al, 2009, pag. 181.