

Dottorato di Ricerca in Architettura

XXXV ciclo

Tecnologie sostenibili, recupero e rappresentazione dell'Architettura
e dell'Ambiente

Tecnologie per il Progetto di Fattibilità Sostenibile nelle applicazioni digitali BIM

Candidata: Elisabetta Bronzino

Relatrice: Prof. Paola De Joanna

Correlatore: Prof. Berardo Naticchia

1	LA QUALITÀ DELL'ARCHITETTURA E I PROTOCOLLI DI <i>GREEN BUILDING</i> : INDAGINE DELLE FONTI.....	5
1.1	Introduzione	5
1.2	Il Progetto Tecnologico nell'edilizia residenziale	5
1.3	La <i>Progettazione Ambientale Sostenibile</i>	7
1.4	Gli strumenti della PAS e le opportunità offerte dal BIM	8
1.5	Sistemi di valutazione per perseguire la Sostenibilità ambientale.....	13
1.6	Stime e valutazioni della Sostenibilità ambientale in campo BIM.....	16
1.7	Considerazioni finali: punti deboli, prospettive e proposta di ricerca	21
2	IL PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE	23
2.1	La valutazione della Qualità Ambientale nel Progetto di Fattibilità	23
2.2	Il Subsistema Ambientale e quello Tecnologico	24
2.3	Il sistema di valutazione a multicriteri	29
2.4	La Consistenza degli Elementi Spaziali	30
2.4.1	Coerenza tra le Unità Ambientali	30
2.4.2	Completezza delle Unità Ambientali	31
2.4.3	Livello di accessibilità dell'Unità Immobiliare	32
2.4.4	Livello di riservatezza degli Elementi Spaziali	35
2.4.5	Dimensioni degli Elementi Spaziali	36
2.5	Il Comfort degli spazi interni	39
2.5.1	La forma della costruzione.....	40
2.5.2	L'orientamento degli Elementi Spaziali interni.....	40
2.5.3	L'esposizione della costruzione	42
2.5.4	Il rapporto aeroilluminante delle aperture	43
2.5.5	Spessore degli elementi opachi.....	43
3	L'APPLICAZIONE DEL PROTOCOLLO AL SISTEMA BIM	47
3.1	Il <i>Sistema Edilizio</i> ed il <i>Building Information Modeling</i>	47
3.2	I dati prelevabili dal <i>Building Information Modeling</i>	50
3.3	Gli <i>input</i> nel foglio di calcolo per gli Elementi Spaziali	51
3.4	Gli <i>input</i> a scala di Edificio	53
3.5	La valutazione finale e la lettura degli indici.....	57
4	CASO STUDIO	61
4.1	Il <i>tool</i> di valutazione e l'Architettura: la scelta del caso di studio	61
4.2	Il processo di progettazione/implementazione dei dati	63
4.3	La valutazione del progetto	66
4.4	Conclusioni	69
	BIBLIOGRAFIA.....	70
	LEGGI E NORME	73
	SIMBOLI E ABBREVIAZIONI.....	74

Ai miei figli

Abstract

La ricerca presentata in queste pagine è partita dalla necessità di predisporre un sistema di valutazione della Qualità Ambientale di un'abitazione, applicabile già nella fase del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PdFTE), quando occorre definire forma e dimensione della Costruzione, disposizione ed esposizione degli ambienti, posizione e grandezza delle aperture, e tanti altri elementi che influenzano in modo sostanziale il comportamento dell'Edificio.

La criticità che lo studio ha fatto emergere consiste principalmente nella grande difficoltà di impiegare i tanti, efficaci criteri di valutazione ambientale già esistenti, in quanto molto spesso questi richiedono di conoscere dettagli di soluzioni progettuali che ancora non vengono definiti in tale fase "preliminare". Inoltre, i tempi per l'elaborazione del PdFTE potrebbero non consentire lo sviluppo di tali metodi, che possono richiedere studi, osservazioni, analisi ed approfondimenti anche estremamente complessi.

La volontà di predisporre un protocollo di valutazione che fosse sufficientemente celere, mantenendo al contempo l'affidabilità dei risultati, ha orientato l'indagine verso il protocollo BIM, che per numerosi aspetti risulta facilmente sovrapponibile al Sistema Edilizio, sul quale è stato sviluppato il lavoro proposto in queste pagine. Avendo quindi esplorato nel primo capitolo alcune delle principali fonti letterarie sull'argomento (una trattazione esaustiva, in uno scenario in continua e rapidissima evoluzione, necessiterebbe di uno studio specifico che esorbita dagli obiettivi del presente lavoro), nel capitolo 3 viene affrontata la possibilità di implementare gli algoritmi in un software "BIM based" allo scopo di abbreviare i tempi di valutazione, e nel contempo – automatizzando il processo di prelievo ed elaborazione dei dati nel progetto elaborato – di ridurre il rischio di errore umano durante la fase di implementazione.

In questa fase è stata verificata la fattibilità di tale automatizzazione ma, per la complessità tecnica legata alla programmazione di un applicativo dedicato, lo sviluppo di un "tool digitale" è stato rimandato ad un successivo momento della ricerca al quale lavorare nel prossimo futuro.

Nel secondo capitolo lo studio ha sviluppato il "kernel" del protocollo, intendendo con esso l'insieme degli algoritmi che permettono di giungere alla stima finale della Qualità Ambientale (QA). A tale scopo, sono state impiegate le numerose indicazioni, tanto legislative quanto normative e tecniche, già esistenti, integrandole con considerazioni originali soltanto quando necessario. La procedura è stata quindi applicata ad un caso studio, già precedentemente valutato da altri Autori, allo scopo di testare gli algoritmi, verificare la correttezza della stima, e provare la semplicità dell'intero iter valutativo.

1 La Qualità dell'Architettura e i protocolli di *Green Building*: indagine delle fonti

1.1 Introduzione

La qualità dell'architettura è una tematica di importanza strategica nel campo delle costruzioni ed è diventata una questione sempre più rilevante anche nel panorama normativo europeo. In particolare, sostenibilità e strumenti di *green buildings assessment* sono aspetti imprescindibili che garantiscono il soddisfacimento dei requisiti di qualità architettonica di un progetto (sia che si tratti di edifici che di città). La fase preliminare del progetto rappresenta il momento migliore per integrare le strategie sostenibili, permettendo di limitare i costi rispetto ad un eventuale processo di adeguamento a posteriori che al contrario risulterebbe molto più oneroso¹. Un grande numero di Paesi ha già sviluppato specifiche procedure di certificazione energetica, con lo scopo di valutare le performance degli edifici. Strumenti e protocolli sul "green building assessment" sono stati sviluppati con l'obiettivo di migliorare la qualità del processo di progettazione, riducendo i consumi energetici e gli impatti ambientali sia nella fase di costruzione che in quella di gestione di un edificio.

In questo contesto, il Building Information Modeling (BIM), assume un ruolo chiave. Facilita infatti il processo di valutazione del progetto tenendo conto di criteri ambientali ed economici (Eastman, 2016).

A tal proposito, lo studio analizza gli attuali strumenti e protocolli "green buildings" e la loro integrazione nei processi di progettazione BIM.

La sostenibilità è oggi riconosciuta come uno dei requisiti fondamentali per lo sviluppo della società contemporanea e delle città (Amendola, 2016). L'American Institute of Architect AIA5 definisce la sostenibilità come "La capacità della società di continuare a sopravvivere nel futuro senza essere costretta al declino a causa dell'esaurimento delle risorse naturali da cui dipende". Solitamente, per appurare che un progetto rispetti i requisiti di sostenibilità, vengono utilizzati software per la verifica del consumo energetico, che considerano diversi fattori quali l'isolamento termico, la risposta climatica dell'edificio, il funzionamento dei sistemi di ventilazione meccanica e naturale (Cho, 2010). Nel caso in cui gli esiti della verifica dimostrino che le performance energetiche dell'edificio sono inadeguate, i progettisti hanno la possibilità di modificare le caratteristiche progettuali che incidono negativamente sui risultati. La possibilità di verifica ed eventuale modifica è però limitata alla fase di progettazione. Non si tiene quindi in conto che, a causa delle attività di manutenzione o dello stato di esercizio dell'edificio, le caratteristiche previste in fase di progetto potrebbero subire delle alterazioni, compromettendo le performance energetiche dell'edificio ed il suo grado di sostenibilità.

1.2 Il Progetto Tecnologico nell'edilizia residenziale

L'approccio esigenziale-prestazionale è un metodo di progettazione e gestione delle costruzioni che mira a fornire risultati progettuali predefiniti con l'obiettivo di creare edifici sostenibili ed efficienti. Il Sistema Edilizio (SE) è la struttura e l'organizzazione compositiva degli elementi che portano a una costruzione. Questo sistema è diviso in due sottosistemi: quello tecnologico e quello ambientale. Il sistema tecnologico è costituito da tutte le Unità Tecnologiche (UT), elementi tecnici, componenti, elementi semplici e semilavorati presenti nell'edificio. Il sistema ambientale comprende gli elementi spaziali e le unità ambientali che compongono l'ambiente in cui è inserito il progetto.

Ogni sottosistema identifica elementi che devono soddisfare una certa esigenza. Le esigenze sono definite e classificate in base alla UNI 8289 e sono:

1. Qualità dei materiali: le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti prestabiliti.
2. Funzionalità: i prodotti devono funzionare adeguatamente secondo le specifiche previste.

¹ Nella progettazione delle infrastrutture, ad esempio, il D.L.vo 163/2003 prevedeva un'apposita procedura contenuta all'art.163 appunto titolato *Progetto preliminare. Procedura di valutazione di impatto ambientale e localizzazione*.

3. Affidabilità: un prodotto deve essere progettato per resistere nel tempo senza problemi.
4. Servizio di Assistenza Post-vendita: il prodotto deve fornire un servizio di assistenza ai clienti.
5. Dimensioni e configurazione: le dimensioni e la configurazione del prodotto devono soddisfare le necessità del mercato.
6. Sicurezza: deve essere garantita un'adeguata sicurezza nel funzionamento e nell'utilizzo del prodotto.
7. Ergonomia: le soluzioni devono essere ergonomiche e adatte all'utilizzo da parte dell'utenza.
8. Sostenibilità ambientale: è fondamentale prevedere una progettazione eco-sostenibile.
9. Manutenzione: comprende tutte le procedure concepite per prevenire o ripristinare lo stato di funzionalità e sicurezza.

La qualità edilizia è un termine che si riferisce alla capacità di un edificio di soddisfare esigenze date o implicite, è un concetto complesso che include un ampio spettro di proprietà e caratteristiche che contribuiscono a creare edifici sicuri, sostenibili e funzionali. Queste caratteristiche consistono in tutti gli attributi che legano una costruzione all'ambiente in cui sorge. Comprende anche aspetti di livello energetico, la sicurezza, la resistenza e la gestione dell'elemento costruito. Per garantire la qualità edilizia, esistono diversi sistemi in grado di misurare performance di un edificio. Uno di questi sistemi è il LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), un sistema di certificazione che attribuisce livelli di qualità per edifici sostenibili. Si tratta di un sistema in cui viene considerata una vasta gamma di fattori, come qualità dell'aria, qualità dell'acqua, l'efficienza energetica, l'impatto ambientale, la flessibilità di utilizzo, l'uso di materiali non inquinanti, l'illuminazione naturale e la preservazione del suolo. Un altro sistema comunemente usato è il BREEAM (Build Research Establishment Environment Assessment Method), un sistema progettato per valutare l'impatto ambientale ed ecologico delle costruzioni. È una metodologia di valutazione ambientale volta all'individuazione di elementi che possono essere migliorati in progetti di edilizia sostenibile. Esso consente di valutare gli effetti a breve, medio e lungo termine di un determinato progetto sull'ambiente, incluso l'impatto sull'acqua, sull'energia, sull'inquinamento atmosferico, sui materiali, sulla biodiversità. La Breeam offre ai costruttori ed esperti in materia una valutazione completa in tre fasi. La prima fase analizza la corrente situazione degli edifici, raccoglie i dati e valuta le scelte di progettazione correnti. La seconda fase imposta gli obiettivi di efficienza energetica e sviluppa un piano di azione coerente in linea con gli obiettivi stabiliti. Nella terza ed ultima fase si implementano le misure stabilite e si monitora e valuta l'efficacia della strategia. Un altro sistema di valutazione è Itaca, si basa su un sistema di punteggio assegnato a ciascun progetto in base al suo grado di sostenibilità. Questo sistema è stato sviluppato dall'Unione Europea per promuovere progetti innovativi, efficienti e sostenibili in maniera produttiva e restituire alle comunità benefici diretti. Ciascun progetto può essere valutato su una scala da 1 a 5 che viene calcolata sulla base di diversi parametri, tra cui l'uso efficiente dello spazio, l'impatto ambientale, l'integrazione del progetto con l'ambiente circostante, l'efficienza energetica e la gestione di acqua e rifiuti. Inoltre, Itaca tiene conto anche della qualità della vita, della salute e del benessere insieme con la sicurezza, l'accessibilità e la sostenibilità finanziaria. La valutazione GBC è una pratica di analisi progettuale che mira ad esaminare come le progettazioni e gli edifici possano convivere in armonia con l'ambiente. Lo scopo della valutazione è quello di evidenziare le correlazioni con l'ambiente, per poi poter misurare la sostenibilità dell'edificio. La valutazione può essere applicata sia a nuove costruzioni sia all'esistente. In generale, la valutazione GBC si basa sui principi di tre aree ambientali chiave: energia, acqua ed ecologia. Considera anche come un progetto può influire e beneficiare sulla salute umana, l'efficienza delle risorse e l'integrità ecologica durante il ciclo di vita. Nel campo normativo va posta particolare attenzione alle norme ISO 9000 e ISO 14000. Sono strumenti creati per aiutare le aziende a migliorare le proprie prestazioni in termini di qualità e di gestione ambientale. ISO 9000 è orientata alla qualità, mentre ISO 14000 è rivolta alla gestione ambientale. L'ISO 9000 fornisce una serie di linee guida che un'organizzazione deve seguire per implementare la qualità dei loro prodotti o servizi con una certa garanzia di successo. Questo può comprendere la creazione di documenti che descrivono il processo del prodotto, la realizzazione di ispezioni e il monitoraggio continuo delle prestazioni.

L'ISO 14000, d'altra parte, è progettata per aiutare le organizzazioni a creare un'esperienza sostenibile. Comprende attività come lo sviluppo di una politica di rispetto dell'ambiente, la valutazione delle proprie performance e il monitoraggio costante delle stesse.

L'Unione Europea ha definito una serie di standard comuni in materia ambientale redatti nella UNI 10838 del 2015.

Questi standard riguardano la qualità dell'aria, il trattamento e la gestione dell'acqua, i rifiuti, la gestione delle terre, i cambiamenti climatici, la qualità dell'aria esterna, l'esposizione al rumore e la gestione dei composti organici e inorganici.

1.3 La Progettazione Ambientale Sostenibile

Nel corso degli anni '70 si è registrato un crescente interesse nei confronti della Progettazione Ambientale (PA). La diffusione della consapevolezza dei problemi ambientali globali ha spinto lo sviluppo di strategie più green per l'architettura, l'urbanistica e le infrastrutture. Il metro verde diventa molto popolare come strumento di progettazione ambientale. Si tratta di fare uso di fonti rinnovabili di energia e di materiali edilizi ecologici per a vantaggio dell'ambiente. Si sviluppa anche una maggiore consapevolezza del principio fondamentale della sostenibilità, secondo il quale dobbiamo utilizzare le risorse naturali in modo tale da assicurarne la disponibilità anche nel futuro². Nel corso degli anni '70 molti paesi iniziano ad adottare legislazioni rigorose per proteggere l'ambiente, soprattutto in Europa. Le politiche ambientali entrano così a far parte dell'agenda politica degli stati membri dell'Unione Europea. Nel 1972 essi adoperano la direttiva dei presidi ambientali per regolare le emissioni industriali. Nel 1976 si decide di inserire la tutela medioambientale e l'uso sostenibile delle risorse naturali all'interno del trattato sull'Unione Europea. Nello stesso anno anche l'ONU adotta una serie di raccomandazioni che prevedono la finanziamento di progetti di sviluppo sostenibile. Questo porta a maggiori investimenti nel campo della ricerca e dello sviluppo ed alla realizzazione di progetti di ricerca comparativa sulle varie aree geografiche. Uno degli obiettivi principali è quello di produrre conoscenze scientifiche e tecnologiche che possano essere utili al miglioramento degli standard ambientali in tutta l'area. Negli anni '80 la progettazione ambientale era influenzata da una serie di nuove tecnologie, come GPS e GIS, che hanno aiutato gli architetti e gli urbanisti a progettare le città in modo più efficiente³. È stato introdotto un nuovo approccio alla progettazione ambientale, con il quale si cominciava a valutare l'impatto ambientale delle città in modo più accurato. La progettazione ambientale ha assunto sempre maggiore importanza, grazie all'introduzione di nuovi metodi per la pianificazione urbana che considera la qualità dell'aria, l'impatto sull'ecosistema, il flusso di traffico, la tutela dell'ambiente e l'impatto delle infrastrutture, portando la creazione di migliori regolamenti edilizi⁴.

La progettazione ambientale ai suoi esordi, è stata incentrata sull'idea che i profondi cambiamenti che stavano avvenendo nell'ambiente, come la perdita di biodiversità, l'inquinamento dell'acqua, l'utilizzo di pesticidi nocivi per l'uomo e l'impatto dell'industria sull'ambiente, dovevano essere affrontati anche attraverso l'approccio di una progettazione ambientale. Per perseguire la progettazione ambientale, è necessario prendere in considerazione i fattori naturali, sociali ed economici che possono influenzare le scelte progettuali ed a promuovere un modo più sostenibile di utilizzare le risorse ambientali, introducendo modelli di gestione integrata per ridurre al minimo l'impatto di un'industria sul proprio ambiente.

James Marston Fitch⁵ offre una guida completa alla progettazione ambientale, discutendo su come progettare spazi architettonici e paesaggistici che siano sostenibili, confortevoli e funzionali. La progettazione ambientale, così come intesa da Fitch, fornisce anche raccomandazioni su come gestire l'interazione tra persone, tecnologia, natura e ambiente costruendo così il progetto.

Fitch definisce la progettazione ambientale come *"un campo interdisciplinare che si focalizza sulla progettazione di edifici, spazi urbano-industriali, infrastrutture o paesaggi con un occhio attento all'ambiente"*. La progettazione ambientale deve tenere conto delle importanti relazioni esistenti tra l'ambiente naturale e antropico. Ciò implica l'analisi di vari fattori come, il suolo, l'acqua e l'aria, ma anche l'analisi di fattori sociali come l'accessibilità, le attività ricreative e lo sviluppo urbano.

La visione di Fitch è quella di costruire soluzioni innovative che siano accessibili non solo ai professionisti dell'ambiente, ma anche alla popolazione generale. La progettazione ambientale è un complesso processo che prevede l'interazione di un numero di fattori diversi per fornire un ambiente fisico che sia sicuro, salutare, piacevole e funzionale. Il controllo ambientale, d'altra parte, riguarda l'insieme di tecnologie, leggi, regolamenti e disciplina che mirano a proteggere e mantenere la qualità dell'ambiente, in particolare dell'aria, dell'acqua e del suolo. I programmi di controllo ambientale urbani sono noti come controllo urbano dell'inquinamento. Alcuni campi correlati alla protezione dell'ambiente sono l'ecologia, la conservazione ambientale, la salute e la sicurezza. I programmi di controllo ambientale mirano a ridurre l'impatto negativo degli agenti contaminanti sull'ambiente, per contribuire a mantenere l'ecosistema sostenibile. Questi programmi tentano anche di regolare l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili, come pannelli solari e l'eolico, insieme a

² Calogero Vinci, *La Costruzione Sana. Criteri di Sostenibilità tra Tradizione e Innovazione*, Edizioni Fotograf, 2013

³ Stefano Bigiotti, *L'architettura degli scarti. Teorie e pratiche per la progettazione sostenibile dei centri di riciclo e riuso*, Architetti Roma Edizioni, 2021

⁴ Dario Vineis, Riccardo Casaburi, Fabrizio Prato, *Manuale pratico per la progettazione sostenibile*, Legislazione Tecnica, 2016

⁵ Marston Fitch, *La progettazione ambientale, i caratteri ambientali dell'architettura*, Franco Muzzio & c. editore, 1991

pratiche di conservazione, come i parchi nazionali, con l'obiettivo di alleviare la pressione sull'ambiente⁶. Nell'ambito della conservazione ambientale il comfort rappresenta il grado di soddisfazione percepita da una persona nei confronti del suo ambiente. Si tratta di un insieme di fattori fisici, come temperatura, umidità, contaminazione acustica, contaminazione luminosa, contaminazione chimica, esposizione a sostanze nocive, ecc., che una persona può trovare in una determinata area. Prendere in considerazione tutti questi fattori è estremamente importante per garantire un ottimale comfort ambientale dei fruitori. Controllare i parametri ambientali significa verificare che siano rispettati determinati limiti, ovvero le condizioni che devono essere soddisfatte al fine di garantire la sicurezza ambientale.

Successivamente, la PA (dopo le crisi energetiche del 1973 e, soprattutto, del 1979) ha inteso il termine *ambiente* come portatore di due significati: sia quello *fisico*, precedentemente descritto, che quello *ecologico*, come sistema in equilibrio dinamico di componenti biotiche e abiotiche (Ambiente, 2011). L'obiettivo quindi si è esteso rispetto alla precedente concezione: garantire sia il *comfort degli utilizzatori* che la *protezione dell'ecosistema* nel quale inserire la costruzione. In Italia, a partire dai primi anni '90, si diffonde così la **Bioarchitettura** (BA), «...una visione caratterizzata dalla più ampia interdisciplinarietà e da un utilizzo razionale e ottimale delle risorse» che «...tende alla conciliazione ed integrazione delle attività e dei comportamenti umani con le preesistenze ambientali ed i fenomeni naturali»⁷ e, in essa, le branche della *bioedilizia*⁸ e della *bioclimatica* (Olgyay, 1963).

Secondo l'*approccio tecnologico* alla progettazione *edile*, questa seconda interpretazione di 'ambiente' richiede di perseguire sia la **Classe di Esigenza** (CdE) 'Benessere' («insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute ed allo svolgimento delle attività degli utenti») e 'Salvaguardia dell'Ambiente' («Insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovrasistemi di cui il sistema edilizio fa parte»). Tale approccio consente di applicare l'analisi esigenziale-prestazionale attraverso la scomposizione tecnologica in elementi tecnici, e quella ambientale in elementi spaziali ed unità ambientale, consentendo l'elaborazione di protocolli di valutazione e, quindi, di verifica della qualità ambientale di un progetto.

Inoltre, nell'ottica del **Processo Edilizio** (PE, «Sequenza organizzata di fasi che portano dal rilevamento delle esigenze della committenza-utenza di un bene edilizio al loro soddisfacimento attraverso la progettazione, la produzione, la costruzione e la gestione del bene stesso», UNI 10838), l'approccio tecnologico richiede di specificare in quali *fasi* eseguire la valutazione, applicando una visione strutturale, e cioè organizzata, alla progettazione. I criteri di valutazione devono essere certamente in linea con le indicazioni dello Sviluppo Sostenibile e delle mete 2030, per cui qui si preferisce indicare questo particolare modo di progettare come Progettazione Ambientale Sostenibile (PAS).

1.4 Gli strumenti della PAS e le opportunità offerte dal BIM

I modelli di sviluppo sostenibile sono uno strumento di progettazione ambientale utilizzato per pianificare l'impatto ambientale e l'uso delle risorse e per garantire quindi la protezione dell'ambiente. Lo scopo di questi strumenti è di fornire una visione d'insieme su come gli ambienti naturali interagiscono con le attività umane, e in che modo le attività umane possono essere pianificate in modo più responsabile. Sono incluse, la ricerca e l'analisi di vari modelli di sviluppo sostenibile, come la minimizzazione del consumo di energia e la riduzione dell'inquinamento, per aiutare le organizzazioni ad adottare uno sviluppo sostenibile in tutte le fasi dello sviluppo.

Gli strumenti di valutazione e monitoraggio ambientale possono essere utilizzati per monitorare, analizzare e descrivere i fattori ambientali, come aria, acqua, suolo o vegetazione, a fini di progettazione ambientale. Questi strumenti possono anche aiutare a monitorare le attività umane che hanno un impatto sull'ambiente, come l'inquinamento da emissioni industriali o agricole, lo sfruttamento e l'abuso delle risorse naturali o l'impatto dei cambiamenti climatici. Alcuni strumenti di valutazione e monitoraggio ambientale comunemente usati includono sensori e strumentazione ambientale, modelli matematici e modelli utilizzati per analizzare dati storici. Gli strumenti di monitoraggio ambientale possono anche includere ispezioni visive ed esami in laboratorio, come test di acque di scarico e test del suolo. Come parte di una valutazione completa, possono anche essere inclusi ispezioni ed esami acustici, radiologici e chimici.

Tecniche di pianificazione del paesaggio, come ad esempio la designazione di un territorio come sito Natura 2000, possono essere utilizzate per creare ed implementare interventi di progettazione ambientale. Si tratta di uno strumento di

⁶ Bozzi, C. et al. (2018). *Qualità dell'aria, inquinamento atmosferico e programmi di controllo ambientale: una revisione sistematica*. Giornale Italiano di Medicina Ambientale, 32(3), 213-233

⁷ Come definito all'art.2 dello statuto dell'Istituto Nazionale di Bioarchitettura. Cfr. <https://www.bioarchitettura.it/istituto/>

⁸ «Insieme di processi e metodi di costruzione caratterizzati dall'uso di materiali a basso impatto ambientale e non dannosi per l'uomo» (Bioedilizia, 2006)

pianificazione ambientale a livello locale ed europeo, usato per la conservazione del patrimonio naturale ed offre una serie di risultati positivi quali la conservazione della biodiversità. La prevenzione dell'erosione del paesaggio e del patrimonio naturale, e la sostenibilità ambientale del territorio. Le tecniche possono comprendere il monitoraggio delle proprietà del suolo, progettazione delle aree, ripristino delle aree naturali, piani di gestione e utilizzazione dei siti. Nel caso designato come sito Natura 2000, sono previste opere di pianificazione che mirano a conservare la biodiversità e gli ecosistemi naturali, migliorare la qualità del paesaggio e promuovere un uso sostenibile del territorio. I sistemi di gestione ambientale rappresentano lo strumento ideale per conseguire gli obiettivi ambientali che il progetto dovrà raggiungere. Essi consentono l'adozione di procedure che permettano di monitorare e gestire le risorse ambientali in modo efficace e sostenibile. Un buon sistema di gestione ambientale dovrebbe contenere una politica ambientale, piano di azioni per il conseguimento degli obiettivi ambientali e valutazioni iniziali e periodiche degli impatti ambientali previsti, pianificazione e monitoraggio dell'effettivo raggiungimento degli obiettivi. Inoltre, i sistemi di gestione ambientale dovrebbero includere misure adeguate per prevenire l'inquinamento, minimizzare gli sprechi, ridurre l'utilizzo delle risorse ambientali e aumentare l'efficacia nelle operazioni e nei processi.

Nel progetto tecnologico e nella progettazione ambientale storicamente sono stati usati una serie di strumenti come schede, diagrammi di flusso e diagrammi solari. Questi strumenti sono stati sostituiti dall'inizio degli anni '90, con l'avvento del personal computer, da software appositi in grado di gestire informazioni più complesse. Suddivisi in tre categorie principali, i software usati in progettazione tecnologica e ambientale sono:

1. Fogli di calcolo: un foglio elettronico è un'applicazione software destinata in particolare a documenti contenenti dati numerici. Essi sono stati sviluppati come sostituti della scheda cartacea, permettendo l'immagazzinamento, la manipolazione e la rappresentazione di dati in modo scalabile, veloce ed efficace.
2. Sistemi CAD: essi hanno rimpiazzato i diagrammi di flusso nel progetto tecnico. Si tratta di software di progettazione assistita da computer che hanno la capacità di creare disegni tecnici di alta qualità, offrendo una vasta gamma di strumenti di progettazione. Solitamente questi software hanno come scopo principale quello di creare progetti di ingegneria, architettura, produzione meccanica, progetti elettrici, progetti di impianti, sistemi industriali, ecc.
3. Software di pianificazione ambientale: Questi programmi di computer sono progettati per aiutare gli ambientalisti, gli urbanisti, le amministrazioni comunali e altri professionisti, nel prendere decisioni informate sulle questioni legate ai progressi urbani, alla conservazione della natura, alla gestione dei rifiuti, ecc.
4. Software BIM (Building Information Modeling): Questa è una tecnologia di progettazione emergente che offre la possibilità di gestire tutti gli aspetti nel processo di costruzione: design, materiali, finanza e costruzione. Aiuta gli utenti a creare modelli digitali tridimensionali dettagliati che rappresentano l'intera "vita" dell'edificio dall'inizio possibile, dalle avanzate attività di progettazione alla costruzione finale. Consente di ottenere una visione a 360 gradi e rappresenta in modo efficace le caratteristiche fisiche, funzionali ed estetiche, illuminazione, sostenibilità e molte altre parti del processo. Questa tecnologia aiuta anche a ridurre la possibilità di errori, risparmiando tempo e denaro.

Negli anni 2000 sono stati approntati sistemi di interscambio basati su standard di compilazione di file importabili/esportabili dai differenti software, come IFC (Industry Foundation Classes) o XML (eXtensible Markup Language). IFC (Industry Foundation Classes) è uno standard e un linguaggio di dati aperto che permette ai progettisti edili di creare e condividere oggetti e informazioni nella produzione di edifici. È stato sviluppato dallo IAI (International Alliance for Interoperability), un consorzio di industrie ed indirizzato alla definizione di procedure standardizzate per consentire uno scambio di dati consistente tra i vari partner di progettazione, costruzione ed amministrazione edilizia.

Lo standard IFC è appositamente progettato per fornire interoperabilità a livello progettuale, al fine di facilitare la convergenza di contenuti BIM (Building Information Modeling) nei progetti di costruzione. Esso fornisce un modello comune per rappresentare elementi architettonici comuni come pareti, porte e finestre, oltre che loro attributi come dimensioni, materiali, proprietà energetiche ed estetiche. Tale modello, supporta anche la modifica, mantenendo una visione completa della vita di un edificio, compresi tutti gli interventi per modificare il suo aspetto e il suo utilizzo⁹.

Il modello consente inoltre di fare una verifica prestazionale per confrontare l'uso (e le modifiche) degli elementi architettonici in un progetto, quindi misurarne le prestazioni energetiche ed estetiche, ad esempio confrontando i risultati

⁹ Vincenzini, *Automatica applicata a sistemi informativi*, Ed. Milano, 1996

dei calcoli dei modelli presi a confronto. In questo modo, è possibile valutare le alternative, scegliere le più adatte e realizzare la migliore soluzione per le esigenze di qualsiasi edificio. Preferire l'implementazione dei dati da parte di un software rispetto alla gestione manuale dei dati garantisce l'incremento e l'accuratezza, poiché è effettuata in modo preciso ed efficiente da un sistema automatizzato. Ha il vantaggio di essere maggiormente veloce poiché gli aggiornamenti possono essere eseguiti in modo automatico, ciò consente tempi di elaborazione e risoluzione dei problemi significativamente più brevi. Il processo automatizzato può essere eseguito con un numero minore di operatori, rispetto a quello manuale, con conseguente riduzione dei costi di manodopera, inoltre l'automazione aiuta ad incrementare la scalabilità offrendo una maggiore flessibilità nella gestione dei dati, abbattendo enormemente i problemi legati alla ripetizione del lavoro manuale, e la mancanza di coerenza dipesa da questi. Ciò aumenta la produttività e la capacità di adattarsi ai cambiamenti, riducendo i tempi di produzione¹⁰.

Grazie a piattaforme BIM è possibile creare un database unico, aggiornato e controllato da tutti i partecipanti al progetto, compresi committenti, architetti, ingegneri, installatori e fornitori. Inoltre, con l'uso del BIM, è possibile applicare diverse animazioni, simulazioni interattive e interpretazioni 3D immersivi con tutti i materiali di progettazione, i modelli idraulici insieme a tutti gli altri sistemi.

Grazie al BIM è possibile realizzare rapidamente diversi scenari di confronto, in modo da valutare al meglio le scelte tecnologiche durante la progettazione, ma anche successivamente durante la costruzione. Inoltre, questo sistema facilita la gestione delle attività necessarie a garantire l'aderenza ai regolamenti ed a ottimizzare la gestione dei tempi di consegna.

Il modello di edificio, che è una rappresentazione a tre dimensioni del progetto edile, viene spesso utilizzato all'interno del BIM ed esso contiene informazioni come strutture, dettaglio dei materiali, arredi, impianti elettrici e sistemi speciali come antincendio, HVAC (riscaldamento, ventilazione e condizionamento d'aria), di progettazione e di esecuzione.

Tutte queste informazioni architettoniche e impiantistiche sono combinate nel modello di edificio per riuscire a visualizzare strutture complesse e riuscire ad interpretarle in modo facile.

Finora, l'attenzione è stata rivolta principalmente alla capacità del BIM di rendere più trasparenti e codificabili i rapporti tra l'amministrazione, le imprese appaltatrici ed i professionisti coinvolti nel processo di realizzazione di un intervento. È altrettanto importante essere consapevoli che una completa informatizzazione della progettazione consente di acquisire e preservare una enorme quantità di informazioni che altrimenti andrebbero perse. Tali informazioni, opportunamente rilevate e organizzate digitalmente, consentono di integrare le procedure di valutazione già nell'iter progettuale. Ne derivano vantaggi notevoli, come ad esempio un controllo più rapido e puntuale degli aspetti sia prestazionali che economici delle opere realizzate fin dalle fasi iniziali (Mondini, 2016; Acampa et al., 2020).

Da un punto di vista generale, progettare in BIM non significa solo utilizzare nuovi software, ma creare anche una maggiore condivisione dei dati tra gli attori coinvolti nella progettazione.

La valutazione di un progetto dunque diventa un processo più semplice, quando ogni elemento del progetto è correlato da informazioni sia quantitative che qualitative divenendo così un oggetto BIM.

In linea generale, le informazioni contenute possono essere trattate in maniera diretta o indiretta. Nel primo caso i dati vengono elaborati direttamente dal software con cui si realizza il progetto, come per quanto riguarda la verifica delle interferenze (ad esempio tra elementi strutturali e l'impiantistica) o la generazione di computi metrici. Il secondo caso prevede invece l'esportazione dei dati, sotto forma di abaco, al fine di utilizzare le informazioni per condurre specifiche analisi o indagini non supportate dal software in uso.

In questo ambito, si segnala il progetto di ricerca InnovANCE finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, che mira a creare la prima banca dati nazionale contenente tutte le informazioni tecniche, scientifiche, economiche utili all'industria delle costruzioni. Il progetto mira a fornire una soluzione innovativa volta all'apprendimento attivo da parte dei professionisti, offrendo inoltre una piattaforma di riferimento per l'aumento del knowledge management tra le aziende. InnovANCE offre accesso a una varietà di materiali di apprendimento sia online che offline, tra cui lezioni audio/video, cerimonie delle conoscenze, webinar, guide pratiche, tutorial e documenti di riferimento. Le soluzioni InnovANCE sono progettate per formare i membri del personale, supportare le proprietà del ciclo di vita dei progetti e tenere traccia dei progressi della formazione. Utilizzando il sistema, le aziende possono organizzare la formazione, misurare i risultati e aumentare notevolmente l'efficienza. InnovANCE può aiutare le aziende a migliorare la qualità della formazione e a ridurre i costi. Il sistema favorirà l'integrazione di tutti i soggetti coinvolti nel processo costruttivo per eliminare le incomprensioni che generano inefficienze nell'utilizzo di metodologie in campo BIM.

¹⁰ Spinelli, De Bernardi, *Analisi e progetto di sistemi informativi*, Pearson, 2013

I database digitali per l'architettura sono una biblioteca multimediale contenente le informazioni tecniche riguardo la produzione edilizia, una esposizione di modelli, di parti o di elementi tecnici relativi a prodotti dell'architettura. Quelli attualmente reperibili sono costituiti dall'organizzazione semantica e logica di materie prime e materiali, sia fisica sia digitale, e serve a rendere i dati più facili da trovare, da capire e da usare. Un buon database, con le sufficienti informazioni, aiuta le persone a comprendere ciò che le circonda e a trovare ciò che cercano, sia online che offline.

Le banche dati che oggi sono maggiormente diffuse sul web, e che raccolgono prodotti e materiali destinati all'edilizia, sono sostanzialmente di due tipologie. La prima è destinata agli studenti, e quindi i diversi elementi in essi raccolti sono scelti sulla base della loro significatività ai fini dell'apprendimento, e sono classificati ed ordinati in relazione alle tecniche costruttive, alla loro classificazione tecnologia e, più in generale, in funzione delle regole del corretto costruire. Ogni prodotto è a tale scopo rappresentato graficamente con fotografie e disegni tecnici, ed accompagnato da un elenco di proprietà tecniche, dal nome commerciale che lo identifica e dall'indicazione dell'azienda produttrice. La seconda invece si presenta come una materioteca commerciale, un luogo di scambio di informazioni tra progettisti e produttori di materiali e componenti per l'architettura. Lo scopo di tali database non consiste nella mera catalogazione di materiali in funzione delle caratteristiche tecniche, ma grazie alla collaborazione attiva degli stessi utenti, o all'aggiornamento continuo di webmaster con funzione di bibliotecari, si persegue il fine commerciale di creare relazioni tra professionisti e di creare opportunità di lavoro e di vendita di prodotti. Oltre a fornire le specifiche dei prodotti, i bibliotecari organizzano riunioni con i fornitori per presentare ai progettisti nuove soluzioni, e tali incontri sono l'occasione per proporre e raccomandare materiali che altrimenti non sarebbero stati presi in considerazione nella redazione di un progetto.

Per quanto utili siano, occorre però osservare che i database digitali non vanno a sostituire in alcun modo le materiotecche tangibili, che hanno un ruolo fondamentale sia per gli studenti che per i progettisti, è infatti ragionevole affermare che le raccolte di campioni di materiali e prodotti non scompariranno mai completamente perché i designer dovranno sempre toccare e sentire i materiali, e nessun sito web lo farà per loro.

Proporre processi innovativi nell'ambito delle banche dati digitali riguardanti materiali e prodotti edili non è certo semplice, e necessita di una seria riflessione sulla struttura dell'informazione e sul suo particolare linguaggio. Inoltre, occorre essere consapevoli che i database sono più efficaci se sono progettati intorno alle reali necessità dei progettisti, tenendo conto dei bisogni degli utenti, ed analizzando contenuti e contesto. Progettare un database digitale significa soddisfare le esigenze degli utilizzatori, creando contenuti utili e rilevanti che possano adattarsi allo scenario di fruizione. Grazie alla ricerca sugli utenti e all'analisi del contesto, è possibile definire le funzioni principali del sito. I contenuti diventano quindi parte integrante del servizio all'utente. I database attualmente presenti sul web eludono i dati relativi al carbon and water foot printing della materia prima di origine e delle lavorazioni successive che ne hanno reso possibile la realizzazione. Un' implementazione di questi dati potrebbe essere realizzata seguendo l'eccellente esempio di procedura di certificazione dell'EPD (Environmental Product Declaration). Tali etichette richiedono il rispetto di un determinato formato nella comunicazione dei dati in modo da facilitare il confronto tra prodotti diversi. Molti produttori hanno già realizzato l'EPD per i loro materiali e prodotti. È quindi ipotizzabile l'implementazione dei database esistenti con le informazioni ed i risultati dello studio LCA. La necessità di migliorare l'efficienza energetica e la sostenibilità degli edifici ha dato inizio, in questi ultimi anni, a numerose ricerche e progetti pilota a livello internazionale, attirando talvolta anche l'attenzione di investitori privati e pubbliche amministrazioni. Tutto ciò ha permesso di individuare non solo pratiche costruttive virtuose e metodi di analisi e valutazione relativi all'efficienza energetica dei sistemi di climatizzazione e ACS, che storicamente si sono per primi affermati e diffusi nel nostro Paese, ma anche best practices e sistemi multicriteria per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici, che utilizzino criteri condivisi e oggettivi. Si stanno sempre più diffondendo sistemi di rating che restituiscono una misura della capacità di un edificio di rispondere a requisiti di sostenibilità ambientale: in questo scenario, infatti, la scelta dei prodotti da impiegare nella costruzione, in particolare in funzione delle loro caratteristiche ecosostenibili, assume un ruolo fondamentale, e fondamentali sono quindi gli strumenti che permettono di valutare e validare le prestazioni dichiarate dal produttore. Tra essi ricordiamo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e ITACA, i più diffusi in Italia, ma numerosi sono i criteri di valutazione della qualità ambientale di prodotti e manufatti che si affiancano alle procedure nazionali, alle certificazioni ed alle etichette ambientali. Il proliferare sul mercato di etichette e dichiarazioni ambientali prodotte secondo criteri non armonizzati e di difficile lettura ed interpretazione anche da parte di utenti esperti, incrementa purtroppo la confusione

e la diffidenza del consumatore e del progettista¹¹. Le caratteristiche di sostenibilità assumono infatti un criterio fondamentale di scelta solo se se ne percepisce la veridicità e la peculiarità. I mercati, che si muovono con maggiore velocità rispetto all'evoluzione normativa, richiedono ogni giorno con maggior forza informazioni, dati, strumenti per la valutazione della sostenibilità ambientale dei prodotti da costruzione, che abbiano un linguaggio univoco per facilitarne la lettura e permettere il lavoro in team work, in Italia come in tutta la comunità europea.

In Europa, diverse iniziative già promosse dalle nazioni leader sui temi della sostenibilità (Germania, Francia, Inghilterra, Olanda) hanno riconosciuto nella Etichetta ambientale di tipo III o EPD (Environmental Product Declaration), individuata dalla ISO 14020 e definita dalla ISO 14025, lo strumento univoco e più efficace per la comunicazione e la diffusione di informazioni ambientali certificate riguardo alla sostenibilità dei prodotti. Il sistema internazionale EPD®, normato da ISO 14025 (dichiarazioni ambientali) ed EN 15804, è stato elaborato anche con l'obiettivo di armonizzare la valutazione ambientale per innumerevoli tipi di prodotti, non solo da costruzione, affermandosi attualmente come l'unica metodologia scientificamente valida di misura dell'impatto ambientale.

L'EPD fornisce infatti dati quantitativi sull'impronta ambientale di un prodotto, calcolati secondo le procedure di Life Cycle Assessment ed espressi tramite indicatori di impatto. Tali etichette richiedono il rispetto di un determinato formato nella comunicazione dei dati in modo da facilitare il confronto tra prodotti diversi e la loro peculiarità è la verifica da parte di un organismo certificatore indipendente. Il formato di output standard di un EPD è un documento contenente le informazioni così come richiesto dalle Istruzioni generali del programma e dalle pertinenti Regole di categoria del prodotto. I dati raccolti sono ottenuti grazie ad analisi LCA cradle-to-gate, che analizzano informazioni quantitative e qualitative verificate sul prodotto e sull'azienda, in relazione all'impatto ambientale. Un EPD è quindi più degli indicatori LCI / LCA, ma questi comunque sono a loro volta un sottoinsieme fondamentale dell'EPD¹².

I requisiti per la comparabilità dei EPD sono impostati nella sezione 6.7.2 della norma ISO 14025 e riguardano la metodologia LCA, gli indicatori, le informazioni ambientali supplementari e le fasi del ciclo di vita. Per i prodotti da costruzione, la sezione 5.3 della norma EN 15804 stabilisce requisiti aggiuntivi per la comparabilità, come ad esempio che l'EPD deve coprire l'intero ciclo di vita ed essere valutato nel contesto dell'edificio per fornire uno strumento di confronto. I moduli di valutazione di un EPD prevedono di suddividere la prima fase di produzione in tre passaggi: estrazione e lavorazione delle materie prime, trasporto al sito di produzione, e produzione vera e propria. La seconda fase è quella di costruzione e prevede il trasporto al cantiere e la messa in opera. La terza fase è quella di utilizzo ed è suddivisa in: uso, manutenzione, riparazione, sostituzione, ristrutturazione, consumo di energia durante l'utilizzo e consumo di acqua durante l'utilizzo. La quarta è la fase di fine vita e si divide in: smantellamento e demolizione, trasporto di rifiuti di demolizione, trattamento dei rifiuti, smaltimento dei rifiuti. Infine, si aggiunge la fase conclusiva, che si occupa dei benefici e carichi oltre i confini del sistema e si occupa del potenziale riutilizzo, recupero e/o riciclo espresso in termini di impatti e benefici netti. A quest'ultima si potrebbero aggiungere altre informazioni quantitative e qualitative verificate sul prodotto, sull'azienda e sull'impatto ambientale ed il sito di provenienza delle materie prime. Questo passaggio finale potrebbe includere i dati relativi alle bioregioni, creando così una mappatura maggiormente dettagliata delle materie presenti nel paese¹³.

Nella prima fase di valutazione dell'EPD, ci si occupa dell'estrazione e lavorazione delle materie prime. I materiali infatti possono essere utilizzati nella loro condizione iniziale (es. legname) oppure essere sottoposti a processi di lavorazione per diventare prodotti semilavorati (es. parquet) o prodotti finiti (es. infisso). Questo vuol dire che per qualsiasi elemento analizzato si avrà necessità di risalire alle materie prime di origine. In questa fase embrionale del prodotto si potrebbe aggiungere la valutazione relativa alla provenienza della materia prima e della possibilità di attribuire ad esso un indice ed un valore in base alla sua bioregionalità. In questa logica bisognerebbe suddividere l'elemento tecnico, composto da più elementi semplici, individuando le materie prime naturali che lo compongono geolocalizzando la loro provenienza. Seguendo questa ottica si possono individuare tre tipologie di prodotto:

- il prodotto finito, inteso come elemento complesso costituito da più parti, come per esempio un infisso o un quadro elettrico, da posare direttamente in opera;
- il prodotto intermedio, inteso come il materiale edilizio formato da pochi elementi, come può essere un premiscelato o un mattone, da combinarsi per costruire un elemento tecnico;

¹¹ Musco, G., De Lauretis, G., Pellegrino, B., & Gravino, A. (2018). *L'applicazione del LEED-Italia in edilizia: un'analisi dei Rating System italiani*. *Prevenzione Giuridica*, 8(1).

¹² Haverkamp, R., & Van den Heuvel, M. (2006). *Norme internazionali ISO sulla sostenibilità dei prodotti: una guida alle certificazioni EPD*. *Modo Verde*.

¹³ Kartsonaki, C., Raki, M., Kyridis, A., & Pintzou, D. (2011). *Valutazione ambientale e formazione EPD*. *Conoscenze della Terra*, 24(6), 499-508

- il materiale, inteso come la materia prima prelevata tal quale in natura, come legno e sabbia.

Per costruire un indice di bioregionalità ed attribuirgli un valore sarà quindi necessario scomporre i prodotti finiti così come quelli intermedi per arrivare ad ottenere le materie prime che li compongono. Le materie prime così ottenute saranno valutate in base al luogo di prelievo e la media ottenuta tra i valori fornirà l'indice di bioregionalità.

1.5 Sistemi di valutazione per perseguire la Sostenibilità ambientale

Attualmente sono disponibili diversi metodi per certificare il grado di Sostenibilità di un edificio; essi affrontano il problema da diverse prospettive e cercano di sintetizzare in modo quantitativo e oggettivo il comportamento dell'edificio e i suoi impatti.

Dal 1975, anno in cui è nato il primo metodo di valutazione della Sostenibilità, ne sono stati sviluppati più di 600 a livello mondiale (Macías *et al.*, 2010) per valutare, qualificare e certificare la Sostenibilità di diverse tipologie di edifici in diverse fasi. Negli anni '70 la maggior parte dei metodi focalizzavano l'attenzione sulla valutazione della fase di esercizio dell'edificio. Negli anni '80 sono stati introdotti quelli per calcolare l'impatto dell'intero ciclo di vita, spostando l'attenzione sull'energia e sulle risorse necessarie per costruire, mantenere e demolire gli edifici (Dong e Ng, 2015). All'inizio degli anni '90 sono apparsi i primi metodi basati su valutazioni multicriteriali, per certificare e valutare la Sostenibilità degli edifici. Essi suggeriscono una serie di azioni atte a limitare l'impatto ambientale degli edifici durante il loro intero ciclo di vita (Vega Clemente, 2015).

In generale, in letteratura emergono diverse tipologie di classificazione di questi metodi, secondo le loro caratteristiche, la loro struttura e gli obiettivi comuni (Awadh, 2017).

In questo studio saranno classificati in:

1. metodi di valutazione di tipo multicriteriali
2. metodi di valutazione basati sul *Life Cycle Assessment* (LCA).

Entrambe le macro-tipologie di metodi sono applicabili alle nuove costruzioni, alle costruzioni esistenti ed alle singole componenti di un edificio.

I metodi basati su valutazioni multicriteriali generalmente stimano il grado di Sostenibilità di un edificio (o dei sistemi e sottosistemi che lo compongono) oltre a classificarlo e certificarlo, sulla base di una serie di criteri raggruppati per categorie. Le categorie, elencate di seguito, sintetizzano i capisaldi della progettazione sostenibile:

- C1) sviluppo sostenibile del sito;
- C2) Acqua;
- C3) Materiali e consumo delle risorse;
- C4) Energia;
- C5) Qualità dell'ambiente interno;
- C6) Innovazione
- C7) Sociale ed economico;
- C8) Qualità dei servizi;
- C9) Economia;
- C10) Cambiamenti climatici.

Il processo di valutazione consiste quindi nell'attribuzione di punti in funzione al livello di soddisfacimento dei criteri in ciascuna categoria.

Tra i metodi che si avvalgono di valutazioni di tipo multicriteriale, i più diffusi sono: BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) (Haapio & Viitaniemi, 2008).

Il BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), sviluppato da BRE Trust nel 1992, è uno dei metodi più utilizzati e precursore dei sistemi di certificazione ambientale. In un primo momento permetteva di valutare solo gli aspetti energetici, ma in seguito si è ampliato e ora tiene conto di questioni ecologiche, ambientali e sanitarie (IHOBE, 2010).

Il LEED, creato dall'*United States Green Building Council* (USGBC) nel 2000, è un sistema di valutazione e certificazione riconosciuto a livello mondiale, usato come riferimento nella progettazione, costruzione e gestione di edifici verdi anche al di fuori degli Stati Uniti. Come il BREEAM, si basa sull'assegnazione di punti in relazione al soddisfacimento di ciascuna delle categorie citate nel paragrafo precedente. Negli ultimi anni, il protocollo LEED viene sempre più usato anche in Italia. Secondo i dati diffusi da GBC Italia, gli edifici certificati e registrati LEED sono circa 440 per una superficie

totale di circa 5,3 milioni di metri quadrati. Un esempio famoso in Italia riguarda Palazzo Ricordi, sottoposto ad una imponente ristrutturazione che ha interessato la struttura, l'involucro, la distribuzione interna e l'intero sistema di riscaldamento, raffreddamento e ventilazione (HVAC). Gli interventi hanno permesso di migliorare la qualità complessiva dell'edificio, grazie all'implementazione delle prestazioni energetiche. La certificazione di Palazzo Ricordi (LEED Core&Shell - Gold level) è datata alla fine del 2014. L'edificio ristrutturato, in classe A, consente di risparmiare oltre il 35% dei consumi energetici, riducendo del 40% le emissioni di CO₂.

CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) (Haapio & Viitaniemi, 2008) sviluppato in Giappone nel 2002 e inizialmente chiamato DfE (*Design for Environment*), è il primo metodo di valutazione multicriteriale utile alla realizzazione di edifici sostenibili. Effettua valutazioni sulla base delle specifiche di progettazione e delle prestazioni previste. CASBEE, utilizzato principalmente da architetti e ingegneri durante il processo di progettazione, può essere anche utilizzato sia come strumento di supporto alla progettazione sia come check-list.

I metodi basati sulla valutazione del ciclo di vita (LCA) sono standardizzati a livello internazionale (ISO 14040) e sono utili per valutare gli impatti ambientali globali causati da un prodotto o servizio. Invece di analizzare solo una parte specifica del ciclo di vita, le valutazioni LCA analizzano l'intero sistema produttivo, dall'estrazione e produzione delle materie prime al loro utilizzo e smaltimento (Cole, 2006). Tali metodi non sono solo orientati alla valutazione, alla certificazione o al rispetto di requisiti minimi sostenibili, ma forniscono al progettista uno strumento di supporto alla progettazione sostenibile dell'edificio (Evaluaci, n.d.; Díaz López et al., 2019).

Altra peculiarità riguarda il loro campo di applicazione, poiché permettono anche di mettere in gerarchia edifici aventi diverse funzioni, rispetto al parametro della Sostenibilità (CASBEE, n.d.).

Tra i metodi basati su valutazioni LCA troviamo:

- BEES 4.0 (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), sviluppato dall'U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST) nel 2007, misura le prestazioni ambientali dei prodotti di costruzione utilizzando l'approccio di valutazione del ciclo di vita ambientale specificato nella norma ISO 14040 (Asdrubali et al., 2013). Fornisce un pacchetto integrato di valutazione economica e ambientale per una varietà di materiali da costruzione.
- BEAT 2002 (*Building Environmental Assessment Tool*) è un metodo di inventario e valutazione basato su LCA sviluppato presso il Danish Building and Urban Research. Si rivolge specificamente all'industria edile per la valutazione ambientale degli edifici (Martínez-Rocamora et al., 2016).
- EcoQuantum, sviluppato in Olanda nel 1999, si propone di definire le prestazioni ambientali degli edifici durante il loro ciclo di vita e di valutare il grado di efficienza ecologica delle diverse possibili alternative progettuali (Hernandez et al., 2019; Lippiatt, 2007). Lo studio del ciclo di vita utile dell'edificio è alla base di questo sistema che valuta le performance ambientali e converte i dati ottenuti in quattro serie di indicatori:
 - 1) consumo di materie prime;
 - 2) emissioni;
 - 3) consumo energetico;
 - 4) rifiuti.

Al fine di ottemperare al processo di valutazione, ad ogni indicatore viene assegnato un punteggio, diretta conseguenza delle strategie progettuali (Al-Jebouri et al., 2017).

Gli strumenti utilizzabili per elaborare un protocollo in grado di valutare in termini ambientali, economici e sociali (spesso in conflitto tra loro) l'impatto che hanno materiali e prodotti edili, sono già stati sviluppati, e tengono conto dell'intero ciclo di vita: LCA (*life cycle assessment*), LCC (*life cycle costing*), EPD (*environmental product declaration*), SLCA (*social or society life cycle assessment*), definiti nella ISO 14040. L'obiettivo è quello di individuare gli indicatori di sostenibilità, intendendo con questa il raggiungimento di un equilibrio ottimale che soddisfi in tutti i momenti i requisiti economici, ambientali e sociali. Sarà anche interessante valutare la sostenibilità di materiali e prodotti *a chilometro zero* e *bioregionali* rispetto a quelli provenienti da luoghi molto distanti dal cantiere. La metodologia LCA è purtroppo caratterizzata da una vasta quantità di dati computazionali, e questa complessità rappresenta un ostacolo per il suo utilizzo soprattutto nei processi edilizi. L'approccio del *Building Information Modeling*, come supporto per l'archiviazione e la gestione ottimizzata di tutte le informazioni, può giungere in aiuto per gestire tale mole di informazioni, e può essere opportunamente integrato con analisi LCA, LCC, EPD ed SLCA, da integrare e verificare per portare avanti il concetto di

sostenibilità non sono ambientale, ma anche economica e sociale. La procedura che si vuole elaborare quindi, implementata in ambiente BIM, avrà lo scopo di eseguire una valutazione economica, ambientale e sociale dell'edificio modellato digitalmente, utilizzando i dati contenuti nei database dei materiali e dei prodotti, arricchiti degli indicatori di sostenibilità elaborati utilizzando le metodologie previste nella ISO 14040.

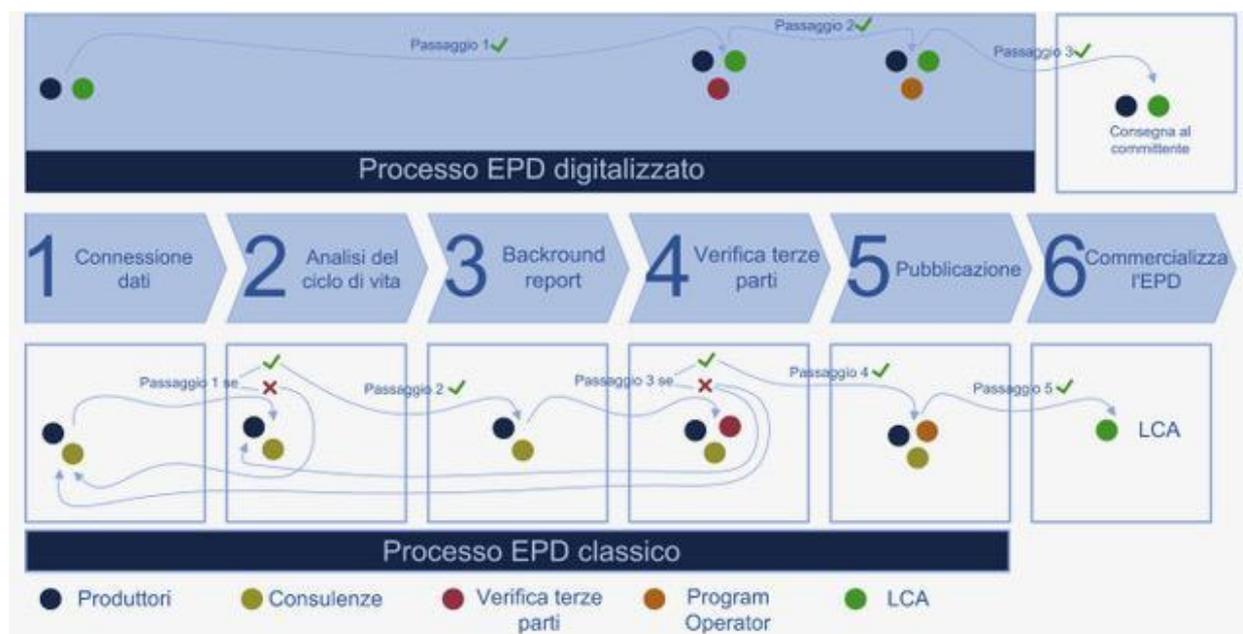


Figura 1

Per ottenere un LCA occorrono 5 fasi, con la possibilità di rivalutare e cambiare parte del processo in fase di verifica:

Fase 1 – Raccogliere dati: include materie prime, consumo di risorse e dati sui rifiuti per il tuo prodotto. La scelta dell'operatore del programma e della PCR determinerà i dati specifici che sarà necessario raccogliere, in base alle fasi del ciclo di vita del prodotto e alle categorie di impatto che l'LCA dovrà valutare.

Fase 2 – Condurre una valutazione del ciclo di vita: l'LCA dovrà conformarsi alla PCR.

Fase 3 – Preparare il rapporto di base per l'EPD: il rapporto di base (noto come rapporto LCA negli Stati Uniti) è un accompagnamento vitale per l'EPD pubblica. Fornisce ulteriori dettagli sulla metodologia, i presupposti e l'approccio LCA utilizzati per supportare la verifica di terze parti, nonché gli standard a cui si è aderito.

Fase 4 – Verifica di terze parti: ogni EPD deve essere verificato da un verificatore di terze parti indipendente prima di poter essere pubblicato. Ciò garantisce accuratezza, affidabilità e assicura che l'EPD sia conforme ai requisiti della PCR pertinente.

Fase 5 – Pubblicazione: una volta che l'EPD è stato verificato da una terza parte indipendente, è pronto per essere reso di pubblico dominio tramite pubblicazione. Per fare ciò, è necessario inviare il documento EPD per la pubblicazione all'operatore del programma, che elaborerà, registrerà e pubblicherà l'EPD.

L'implementazione di diversi protocolli di monitoraggio e di verifica della qualità delle procedure BIM è un aspetto fondamentale nel processo di progettazione. Il Reporting di Performance, l'Analisi dei Processi, la Verifica e Valutazione del Documento, la Valutazione dei Modelli, la Valutazione della Qualità e la Verifica degli Aggiornamenti sono tutti protocolli di monitoraggio che rivestono un ruolo importante perché aiutano ad assicurare che il risultato finale corrisponda alle specifiche del progetto. Ad esempio, il Reporting di Performance consente di misurare l'efficienza dei processi e dei progetti in termini di qualità, costi e tempistiche; l'Analisi dei Processi offre una visione d'insieme per migliorare la gestione dei dati BIM e dei workflow, la Verifica e Valutazione del Documento permette di verificare la qualità del documento BIM e la sua conformità alle specifiche progettuali; la Valutazione invece, permette di verificare la conformità della qualità dei contenuti forniti rispetto ai requisiti essenziali stabiliti in fase di progetto e può consistere in una serie di test per verificare che le specifiche siano supportate dai contenuti 3D. La verifica del documento BIM può essere effettuata manualmente o tramite strumenti software che consentono l'analisi dettagliata di tutti i vari elementi presenti nel modello. Ad esempio, gli strumenti di verifica in grado di esaminare la conformità al modello aiutano a individuare le anomalie e garantiscono che i requisiti contenuti nella documentazione del progetto siano soddisfatti. Durante la valu-

tazione, è possibile esaminare la documentazione relativa ai materiali e ai processi utilizzati nel modello di progettazione, nonché le informazioni sulle tolleranze e i dati sui codici di riferimento per verificare che siano supportati dal modello 3D. Lo scopo della valutazione è quello di determinare se il risultato finale ha rispettato i requisiti.

1.6 Stime e valutazioni della Sostenibilità ambientale in campo BIM

Le applicazioni BIM offrono numerosi vantaggi per architetti, designer, ingegneri e altri che lavorano nei settori della costruzione, della pianificazione e della gestione del progetto edilizio. Grazie agli strumenti BIM, è possibile gestire, analizzare il progetto architettonico e comunicare al meglio le informazioni relative all'edilizia.

Con le applicazioni BIM, è possibile creare e visualizzare tutta la documentazione edilizia, consentono una migliore collaborazione grazie alla sua facilità di condivisione e rendono facilmente modificabile i disegni, inclusi progetti master, planimetrie, sezioni, in modo affidabile. Si può creare una rappresentazione unificata dell'ambiente costruito utilizzando una sola base di dati per implementare la modellazione multi-piattaforma BIM. Le molteplici applicazioni consentono di configurare e aggiornare correttamente le norme di sicurezza e le disposizioni di legge in modo che operatori, proprietari e appaltatori possano gestire in modo coerente le proprie attività in più formati di progetto, note di variazione, certificazioni e rapporti tecnici. Ulteriori vantaggi sono offerti dagli strumenti di pianificazione e controllo dei costi per monitorare l'avanzamento dei lavori in tempo reale e verificare se i budget previsti siano rispettati. Attraverso l'impiego BIM, si può predisporre un'efficace base decisionale rivolta ad una progettazione ambientale. Le interazioni tra architettura ed ambiente possono essere valutate e affinate con l'obiettivo di raggiungere maggiore efficienza e armonia estetica. Al fine di tali scopi, sono stati sviluppati autorevoli sistemi applicativi volti ad una valutazione ambientale¹⁴.

Tra i maggiori software house che sviluppano sistemi BIM e applicativi per la valutazione ambientale si annoverano: Autodesk™, Bentley Systems™, Nemetschek Group™, Graphisoft eDynamo™, Revit™ Technologies, Bluebeam™, Assemblr™ e Cycloid™. Altre software house emergenti nello sviluppo di sistemi BIM e i suoi applicativi sono Aconex™, BIM 360™, PDMS™, Icon Systems™ e rvsoft BIM™.

Autodesk™ offre una gamma di prodotti BIM che comprendono AutoCAD™, Revit™ e Civil 3D™. Ci si aspetta che Autodesk™ continuerà ad espandere la gamma in maggior dettaglio, ma sarà sempre focalizzato sulla creazione di modelli 3D. Autodesk™ è diventato noto nel settore BIM per il suo software di fabbricazione da modello, come Revit™. I professionisti del settore apprezzano anche la possibilità di eseguire flussi di lavoro in tempo reale su qualsiasi dispositivo. La società affiliata di KieranTimberlake™, KT Innovations™, ha collaborato con Autodesk™ e thinkstep per creare Tally™, un plug-in di Revit™.

- **Tally™** consente agli utenti di Revit™ di arricchire il proprio BIM delle informazioni complete sui materiali da costruzione e sui prodotti architettonici che le loro strutture conterranno. Tally™ quantifica l'impatto ambientale di un edificio o di un materiale su terra, aria e sistemi idrici. In sostanza, Tally™ aggiunge un altro livello di dettaglio al BIM riconoscendo i materiali che non sono modellati in modo esplicito (come l'acciaio negli assemblaggi in calcestruzzo) e prendendo in considerazione la vasta gamma di classi di materiali di un modello. In tal modo, Tally™ offre ai suoi utenti il potere di condurre LCA dell'intero edificio durante la progettazione e di utilizzare i dati LCA per eseguire analisi comparative di varie opzioni di progettazione che mostrano i loro diversi impatti ambientali. Man mano che il professionista progetta i propri edifici in Revit™, grazie a Tally™ riesce ad assegnare materiali da costruzione e quantità per creare una distinta dei materiali per l'intero edificio o le parti costituenti. Questa distinta sotto forma di database si aggiorna automaticamente quando il progetto cambia, consentendo ad architetti e ingegneri di vedere in tempo reale l'impatto che le loro scelte progettuali hanno sulla sostenibilità complessiva dei loro edifici. Di conseguenza, Tally™ consente ai progettisti di passare da tipologie e calcoli di impatto ambientale, secondo regole empiriche, a valutazioni in tempo reale nei momenti cruciali. È uno strumento di valutazione ambientale che riesce ad ottenere un inventario con un alto livello di accuratezza, facilitando inoltre la comunicazione tra diversi gruppi all'interno di un team di progetto presentando i dati generati in modo chiaro e leggibile. Ordinando, raggruppando e visualizzando le informazioni in modo semplice e succinto, Tally™ consente agli utenti di produrre grafici di dati facilmente comprensibili e trasparenti. Tally™ può essere utilizzato secondo tre tipologie di approccio: per l'intero edificio, con un confronto tra opzioni di progetto, per definire file modello. Nel primo, il programma offre la possibilità di contrassegnare

¹⁴ Greco G., Nardone F., Varriale G. (2020) *Building Information Modeling: Esperienze e Tecniche Progettuali*. Meltemi Editore.

determinate categorie di elementi di progetto (es muro, finestra, pavimento) si può scegliere un solo muro di quelli utilizzati nel progetto per valutarne l'impatto e si possono selezionare le singole componenti (es. per un muro: camera d'aria, mattone, intonaco ecc.) Si possono poi selezionare anche le varie fasi di vita dell'edificio (cantiere, manutenzione, dismissione) e tenerne conto se il progettista desidera che facciano parte del calcolo oppure no.

- **Bentley Systems™** è un leader nell'industria BIM, offre una serie di prodotti BIM, tra cui MicroStation™, ProjectWise™ e OpenPlant Modeler™. Bentley™ è anche noto per i suoi strumenti di simulazione, come il modulo generale della struttura (GSS) e l'analisi della struttura. Questi strumenti consentono ai progettisti di valutare la sicurezza, l'efficacia, il benessere e la longevità delle strutture, fornendo loro gli strumenti necessari per prendere decisioni. Bentley Systems offre inoltre soluzioni di point cloud avanzate, come GenerativeComponents™, per aiutare gli utenti a progettare con maggiore accuratezza, ottimizzare le prestazioni delle infrastrutture e accelerare il processo di costruzione. Funzionalità come la regolazione della velocità dei punti sorgente e la modellazione degli oggetti a molti livelli aiutano a ridurre il tempo di progettazione. Inoltre, Bentley offre soluzioni di sicurezza complete per garantire la protezione dei dati e del progetto.
- **Nemetschek Group™** è una società di servizi di progettazione alberghiera, architettonica, di engineering e di comunicazione di apparecchiature. La società offre software di progettazione BIM, come Allplan™, per la modellazione della struttura e dei contenuti dei progetti, Vectorworks™ per il design 3D, per le applicazioni Building Information Modeling (BIM) e Building Lifecycle Management (BLM), e Navisworks™ per i sistemi di comunicazione architettonici. Offre anche assistenza nella gestione dei progetti, come l'analisi della documentazione dei progetti, la preparazione di progetti di edifici, l'elaborazione di disegni architettonici e l'assistenza nella negoziazione con fornitori di servizi di progettazione.
- **Graphisoft eDynamo™** è una soluzione BIM da parte di Graphisoft™ per l'industria della costruzione, che vanta una vasta gamma di software BIM avanzati per la gestione della documentazione, del progetto così come della progettazione. Il prodotto offre una suite completa di strumenti di progettazione architettonica, strutturale, MEP e 3D. Inoltre, grazie alla modellazione generativa e schematica, eDynamo™ consente ai progettisti di interagire proficuamente e ne facilita l'esportazione per l'utilizzo in altri programmi di progettazione come AutoCAD e Revit™. Dispone anche di diverse funzionalità integrate che consentono di gestire accuratamente le richieste di modifica, gli aggiornamenti del progetto così come fornirne la documentazione richiesta. In aggiunta, eDynamo™ è una delle più popolari soluzioni BIM che offre supporto per archiviare i dati in cloud, sincronizzarli su diversi dispositivi come tablet semplificando così l'accesso dalla sede di lavoro in modo semplice ed efficiente. Una delle più grandi opportunità di eDynamo™ è la possibilità di creare una collaborazione completa e comprensiva all'interno dei team. Infatti il prodotto consente ai team di lavorare insieme aiutandoli a sviluppare modelli intercambiabili, condividere contenuti, avviare conversazioni e consentire controlli di qualità.
- **Revit Technologies™** è una società leader nella progettazione, nella produzione e nella gestione di software per progettazione architettonica. Fondata nel 1997, Revit™ ha sviluppato la sua piattaforma per la progettazione collaborativa su scala architettonica, strutturale e meccanica. Questo software consente ai professionisti della progettazione di modellare in 3D e collaborare efficacemente su progetti architettonici complessi. La piattaforma include una vasta gamma di strumenti grafici, come la modellazione bidimensionale, la visualizzazione e l'analisi tridimensionale, la gestione dei materiali, la creazione automatica dei disegni e la modifica associativa. Revit™ offre inoltre una serie di servizi di consulenza per aiutare i professionisti a ottenere il massimo dai loro progetti. Revit Insight™ invece, è una piattaforma di cloud computing di Autodesk™ che offre una suite di strumenti di intelligence di Fresh Insights™ per l'analisi delle prestazioni della progettazione dell'edificio. Revit Insight™ può essere utilizzato per creare un modello fisico con misurazioni reali e dati ambientali come temperatura, umidità, radiazione solare e vento. I progettisti possono quindi utilizzare le informazioni di Revit Insight™ per prendere decisioni progettuali più informate nei loro progetti. In questo modo i progettisti possono scegliere le soluzioni di design più efficienti in termini energetici e usare i dati trasmessi da Revit Insight™ per tenere conto delle condizioni climatiche, come la disponibilità di luce solare, nei loro calcoli di prestazione.
- **Bluebeam™** è una suite di software per l'architettura, l'edilizia ed i documenti di cantiere. Grazie al suo set di strumenti, professionisti e aziende possono svolgere varie attività di documentazione: archiviazione, editing, confronto, misurazione e riconciliazione. Bluebeam™ è sviluppato in modo da essere una soluzione affidabile nelle aree più complesse dell'ingegneria, rilevando automaticamente i dati sul campo o dai file di progettazione. Bluebeam™ consente di affrontare una vasta gamma di scenari di documentazione con un'applicazione

unificata. Permette di convertire una vasta gamma di file, dai file PDF alle immagini digitali, e offre un numero illimitato di funzionalità per modificare, visualizzare e confrontare i documenti di archiviazione. I professionisti della documentazione possono utilizzare Bluebeam™ per sfruttare le quotazioni relative alle modifiche, tutto all'interno di un'interfaccia nitida.

- **Assemblr™** è una piattaforma Web basata su BIM che fornisce strumenti semplici per la gestione dei processi collaborativi ed efficienti in ambito edilizio. Utilizza l'intelligenza artificiale per facilitare la ricerca, il riordino, il raggruppamento di progetti complessi. Inoltre, consente alle aziende di monitorare l'avanzamento dei lavori, di condividere informazioni online, di connettere informazioni provenienti da più applicazioni e di ottimizzare la gestione dei dati, riducendo così il tempo e i costi. Con Assemblr™, gli utenti possono inoltre raccogliere, gestire, visionare e navigare tra diversi strumenti BIM e altri processi di gestione del progetto. Inoltre, consente di gestire riposizionamenti in tempo reale, una migliore collaborazione tra team, maggiore trasparenza e controllo inoltre, consente di collegare i vari membri del team per verificare il progresso direttamente dai dispositivi.
- **Cycloid™** è un'applicazione cloud-based che fornisce ai progettisti, una piattaforma per visualizzare e gestire i dati del Building Information Modeling (BIM). Raccoglie i dati da varie fonti, inclusi modelli 3D e 2D, disegni, schemi e calcoli, fornendo così un'immagine complessiva del progetto. Dalla piattaforma gli utenti possono creare modelli di progettazione, progetti critici, gestire oggetti condivisi, modellare gruppi e molto altro. La piattaforma supporta l'accesso da qualsiasi dispositivo e cloud, offrendo agli utenti la possibilità di archiviare i dati in remoto. Il software può anche essere personalizzato per soddisfare le esigenze delle aziende e i parametri di conformità del progetto. BIM Cycloid™ infine, presenta strumenti di analisi che possono essere utilizzati per ottenere prestazioni più veloci per la progettazione.

Per quanto riguarda gli applicativi troviamo:

- **Aconex™** che è un'applicazione cloud-based BIM che offre ai proprietari di progetti, progettisti, direttori dei lavori e costruttori una suite di strumenti per gestire le informazioni, documenti e comunicazioni su progetti edilizi e infrastrutturali. L'applicazione consente agli utenti di condividere dati in tempo reale su progetti BIM, visualizzarli nella stessa vista, eseguire controlli interdisciplinari e collaborare in tempo reale su una serie di progetti. L'applicazione consente anche ai partecipanti del progetto di archiviare i documenti in una posizione centralizzata, in modo da renderli accessibili a più persone. Inoltre, i documenti e gli oggetti BIM possono essere scaricati e distribuiti tra i diversi dispositivi della stessa organizzazione.
- **BIM 360™** è una soluzione cloud-based multipiattaforma di Autodesk™ che offre una gestione centralizzata del ciclo di vita del progetto. Copre tutto, dall'assegnazione dei compiti e del coordinamento del progetto fino alla documentazione e alla gestione dei dati. BIM 360™ consente ai team coinvolti nel ciclo di vita del progetto di trarre vantaggio dai propri dati centralizzati e archiviati in modo sicuro, dando loro accesso istantaneo ai dati critici del progetto. Ciò consente ai team di conseguire una collaborazione effettiva, con una comunicazione e collaborazione coerenti in tutte le fasi del processo.
- **PDMS™** (Modeling-Plant Design Management System) è una piattaforma tecnologica progettata per semplificare e velocizzare la gestione della progettazione, costruzione e manutenzione delle infrastrutture. Consente agli utenti di pianificare, disegnare e visualizzare i progetti in pianta e in 3D, gestire le informazioni strutturate in un modello informativo, e applicare la tecnologia del calcolo ai processi di costruzione. La potenza di un modello informativo ben progettato può aiutare a prevedere i problemi, visualizzare le diverse varianti di progettazione e prendere decisioni più intelligenti. BIM PDMS™ è un'altra piattaforma innovativa che offre un ecosistema completo per progettare, simulare, costruire e monitorare gli edifici o le infrastrutture.
- **Icon Systems™** è un software che offre una gamma di funzionalità che supportano la modellazione e la simulazione 3D, la progettazione di sistemi strutturali, la documentazione di progetti e la gestione dei dati.
- **RVSoft BIM™** è un software per la modellazione dei dati e che offre soluzioni intelligenti per la gestione dei progetti. Il software offre strumenti per la modellazione 3D, la simulazione di commesse, la gestione delle risorse e la pianificazione di progetti complessi. RVSoft BIM™ è disponibile in una vasta gamma di formati come Autodesk Revit™, Graphisoft ArchiCAD™, Navisworks™, Dassault Systemes™.
- **Autodesk Ecotect Analysis** è un software di analisi architettonica sviluppato da Autodesk™ per i professionisti del settore edile. Ecotect™ consente agli utenti di eseguire un'ampia varietà di analisi di edifici ed ambienti, inclusa la analisi della luce del sole, lo shading (calcolo della quantità e direzione della luce in un ambiente 3D),

l'illuminazione passiva, la progettazione termica, l'analisi degli impatti ambientali, gli effetti delle aree verdi, la qualità dell'aria e i diagrammi di microclima. Ecotect™ può aiutare gli utenti a progettare, modificare e alla fine creare edifici o ambienti in modo più efficiente ed ecocompatibile.

I sistemi LCA sono ampiamente utilizzati nella modellazione BIM. Ad esempio, il software Autodesk Revit™ offre un sistema LCA nativo che offre un'analisi del ciclo di vita del progetto. Questo sistema si basa su un database contenente dati su materiali e prodotti inclusi nel progetto. Una volta compilato e validato, il sistema LCA offre risultati sull'impatto ambientale complessivo del progetto, compresi i costi di riciclo, i consumi di energia, le emissioni di gas serra e molto altro ancora. Inoltre, nuovi prodotti possono essere introdotti nel progetto in modo da determinare se il progetto soddisfa i requisiti ambientali stabiliti. I principali sistemi LCA nel BIM sono: Ecotect Analysis™, Green Building Studio™, EcoScorecard™, Building Energy Modeler™, Carbon Footprint Calculator™, Building Information Modeler™ e ActiveBuild™.

- **Ecotect Analysis™** è un software sviluppato da Autodesk™ che affronta l'analisi tecnica ed energetica degli edifici. L'applicazione consente di ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici grazie alla gamma completa di strumenti di simulazione fisica che abbraccia il calcolo di raggi solari, la dinamica fluidodinamica (CFD) nell'aria interna, le emissioni di CO₂, il calcolo termico ed energetico, l'illuminotecnica e l'acustica per edifici singoli e complessi. Questo software combina modelli ereditati da più di 20 anni di soluzioni Autodesk™ con processi moderni di progettazione integrata e di ottimizzazione dei dati per offrire la massima precisione nei risultati. Offre la possibilità di analizzare edifici singoli o interi quartieri con dati tridimensionali, scegliere soluzioni di efficienza energetica ottimizzate per le aree in cui verranno applicate.
- **Green Building Studio™ (GBS)** è un progetto basato sul software-as-a-service (SaaS) che offre strumenti per la progettazione di edifici a basso consumo energetico. Consente agli utenti di progettare edifici verdi sostenibili a livello locale, in modo veloce e conveniente. Il design e la progettazione Green Building Studio sono generati utilizzando un software avanzato che fornisce informazioni abbinate a algoritmi intelligenti. GBS combina software per lo sviluppo energetico, simulazioni ambientali e solare. GBS offre anche una libreria di modelli 3D collegati a strumenti di analisi e simulazione in base alle specifiche normative.
- **EcoScorecard™** è una piattaforma di valutazione ambientale che aiuta le aziende a identificare e gestire gli impatti ambientali dei loro prodotti e processi. Offre report individuali, per dare una visione d'insieme di come organizzare e gestire le proprie misure ambientali. Una volta che il sistema è impostato, i risultati possono essere raffrontati nel tempo per verificare la efficacia nel ridurre gli impatti. Inoltre EcoScorecard™ offre consulenze di sviluppo di strategie ambientali ed eco-marketing, accompagnando i clienti in tutte le fasi del processo di sviluppo di prodotti.
- **Building Energy Modeler™ (BEM)** è uno strumento che consente agli utenti di simulare le prestazioni energetiche dei loro edifici. BEM è stato progettato in modo univoco con l'obiettivo di aiutare i progettisti a ridurre i consumi di energia e l'impatto ambientale degli edifici. Lo strumento consente di creare modelli di edifici precisi che riflettano l'architettura reale, adattando l'ambiente circostante e simulando le prestazioni energetiche con l'obiettivo finale di rendere l'edificio più efficiente possibile. Lo strumento offre molti vantaggi, tra cui una maggiore precisione quando si progettano edifici e sistemi, un risparmio di risorse, maggiori informazioni in tempo reale sulle condizioni ambientali e sulla climatizzazione, nonché feedback sull'efficienza energetica degli edifici in costruzione.
- **ActiveBuild™** è una piattaforma di costruzione di applicazioni che consente ai team di creare, distribuire e monitorare le loro applicazioni. Offre un ambiente di sviluppo basato su cloud che consente ai team di collaborare su progetti complessi. La piattaforma fornisce strumenti di sviluppo MVC, strumenti API, hosting Web e scalabilità per l'implementazione in carichi di lavoro di produzione. Inoltre, si tratta di una piattaforma di Continuous Integration che offre agli utenti un set completo di strumenti di integrazione di terze parti e di sviluppo automatizzato.

Tutti questi strumenti possono essere utilizzati nella fase di progetto esecutivo per supportare le decisioni sull'efficienza energetica.

Si estende invece anche sulla valutazione del progetto in tutte le sue fasi, **Autodesk Sustainable Building Design Solutions™**; la suite offre una gamma completa di software e servizi progettati per aiutare gli architetti, ingegneri e progettisti.

sti edili a sviluppare modelli di progettazione sostenibili. Il software fornisce strumenti di analisi ambientale, come: l'efficienza energetica, le emissioni di gas serra, la resilienza dell'acqua, le misure di protezione ambientale, la gestione dei rifiuti e la gestione dell'illuminazione. La soluzione include anche strumenti per l'analisi preliminare e la simulazione del design, la modellazione degli edifici, gli strumenti per valutare l'impatto sulla salute e sull'ambiente, nonché consigli sull'uso sostenibile di materiali e tecnologie. Include anche strumenti per l'analisi dell'acqua, come l'analisi dei flussi, l'analisi dei sedimenti e l'analisi del terreno per verificare come gli edifici possano influenzare l'ambiente. Lo strumento offre anche soluzioni per la creazione di progetti prevalentemente verdi con una pianificazione preliminare sostenibile. Questi strumenti offrono una soluzione in un unico pacchetto che segue le variazioni durante il processo di progettazione in modo più efficiente. La suite include strumenti come il CAD e analisi di flusso dinamico, convalida dei layout e gestione dei materiali. Inoltre, i Tool di valutazione della sostenibilità, come la Building Performance Analysis (BPA), offrono una comprensione completa di ciò che è necessario per migliorare la qualità della vita sostenibile dentro e fuori la struttura. Il team Autodesk Sustainable Design™ offre anche accesso a strumenti come Autodesk Revit™ e Autodesk Inventor™, per promuovere il progetto sostenibile e ottimizzare le tecnologie progettuali. La progettazione in Autodesk Sustainable™ consente inoltre ai professionisti di connettersi con i clienti, condividere strategie per lo sviluppo sostenibile e collaborare con le parti interessate a livello globale. Offrono inoltre un InsightsHub dedicato, che fornisce aggiornamenti sulle best practices del design sostenibile in tutto il mondo. Un programma con promettenti potenzialità è stato rilasciato a partire dal 2002 e da allora ha subito numerosi aggiornamenti. Si tratta di Athena Impact Estimator™ è applicabile per nuove costruzioni e ristrutturazioni, è in grado di modellare oltre 1.200 combinazioni di assemblaggi, consente un confronto rapido e semplice di più opzioni di progettazione¹⁵. Athena è in grado di fornire un profilo che abbraccia l'intero ciclo di vita dell'intero edificio 'dalla culla alla tomba'. I risultati di questo tipo di studio comprendono anche i flussi da e verso l'ambiente esterno, come l'energia e le materie prime di aria acqua e suolo. Gli utenti descrivono rapidamente gli assemblaggi dell'edificio attraverso finestre di dialogo, ed il software calcola una distinta di base grazie alla quale valuta gli impatti ad essa associati. Il programma consente una maggiore flessibilità, e gli utenti che necessitano di una stima più approfondita possono aggiungere ulteriori informazioni relative, ad esempio, ai materiali utilizzati. Il software riporta i dati sull'impronta ecologica per le misure di impatto ambientale coerenti con la più recente metodologia US EPA TRACI¹⁶ che misura il potenziale di: riscaldamento globale, acidificazione, effetti respiratori sulla salute umana, riduzione dell'ozono, smog e eutrofizzazione, e riporta inoltre il consumo di combustibili fossili. Il software è personalizzato a livello regionale, per cui le reti elettriche, le modalità e le distanze di trasporto appropriate e le tecnologie di produzione del prodotto vengono applicate a seconda della posizione geografica dell'edificio. Nell'LCA dell'edificio, l'utente può anche aggiungere una stima per il consumo di carburante annuale; il software calcolerà l'energia totale, inclusa quella di pre-combustione (utilizzata per estrarla, raffinarla e fornirla) e le relative emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo durante il ciclo di vita dell'edificio. Il software può successivamente confrontare il ciclo di vita operativo, l'energia incorporata e altri effetti ambientali delle varie opzioni di progettazione, consentendo all'utente di comprendere meglio i compromessi intrinseci tra, ad esempio, l'aggiunta di più isolamento e la riduzione del consumo di energia operativa.

Athena™ tiene conto degli impatti ambientali in funzione delle fasi del ciclo di vita: produzione dei materiali (inclusa l'estrazione delle risorse e il contenuto riciclato), il trasporto, la costruzione in loco, gli effetti di manutenzione e sostituzione, la demolizione e lo smaltimento. Un potente prodotto dello studio Thornton Tomasetti, è uno strumento di valutazione dell'impronta di carbonio. Rilasciato nel 2019 per aiutare gli ingegneri strutturali ad aumentare la sostenibilità dei loro progetti, **Beacon™** è un plug-in open source per il software Revit di Autodesk¹⁷. Il tool può essere facilmente scaricato e installato allo scopo di poter calcolare il 'carbonio incorporato' in un modello digitale di edificio elaborato con Revit™, e orientare le scelte progettuali allo scopo di abbatterne il contenuto presente nei materiali scelti per realizzare la costruzione. È un tool sviluppato da un grande studio privato, e che nasce dalla difficoltà riscontrata in ambito professionale di individuare dove si trova effettivamente la maggior parte di carbonio incorporato, partendo dal principio che la principale causa della produzione di CO2 risiede nell'errata scelta dei materiali.

Mostrare il carbon footprint di ogni elemento presente, permette agli stakeholders di capire esattamente dove si trova il materiale da sostituire, contribuendo ad ottimizzare il design finale ed ottenere la maggiore riduzione possibile degli impatti.

¹⁵ Mondini, G. *Valutazioni integrate per la gestione delle nuove sfide sociali*, Valori e Valutazioni Vol.17,2016

¹⁶ <http://www.athenasmi.org/our-software-data/impact-estimator/>

¹⁷ <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>

L'implementazione di soluzioni basate sui dati come Building Information Modeling, il *gemello digitale*, track-and-trace, il database dei materiali, la stampa 3D e robotica, sono destinati a sostenere un'era di analisi dei dati basata sul valore. Questo passaggio apre nuove opportunità per approfondire una presa di decisione ottimizzata tramite l'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale (IA) e dell'Apprendimento Automatico (ML). La necessità di semplificare la raccolta dei dati in modo più efficiente e fornire decisioni basate sui dati è in continua crescita. Una connessione più stretta tra la progettazione, il funzionamento della struttura e la manutenzione, deve estendersi durante tutta la loro vita utile. Una crescente sensibilità nei confronti del carbonio incorporato, sta portando ad un interesse maggiore per l'analisi del ciclo di vita (LCA) e di conseguenza per l'utilizzo di strumenti digitali in grado di facilitare lo scambio agevolato dei dati.

1.7 Considerazioni finali: punti deboli, prospettive e proposta di ricerca

Il D.Lgs. 50/2016 stabilisce le misure che disciplinano i servizi di progettazione in Italia, suddividendo i lavori di progettazione in tre fasi principali: progetto di fattibilità, progetto definitivo e progetto esecutivo. È una articolazione stabilita per legge, ed è valida su scala nazionale, ed ha lo scopo di stabilire una gradualità nell'attività progettuale, stabilendo quali siano gli obiettivi più significativi da perseguire per ognuna di queste fasi.

Tra queste, nel Progetto di Fattibilità occorre eseguire una valutazione iniziale per determinare se le linee guida ed i requisiti di un'iniziativa sono attuabili o meno: si tratta di una sorta di analisi approfondita che si pone l'obiettivo di valutare l'impatto effettivo di un progetto, verificarne la realizzabilità, e supportare le scelte di chi finanzia l'opera. Essa rappresenta una vera e propria *Due diligence* che esamina gli obiettivi dell'opera, l'attuabilità degli stessi, la complessità del progetto e le eventuali modifiche da apportare, e - non ultimi - il rispetto dei limiti stabiliti dalle normative vigenti. Una volta individuate le risorse da impiegare e le tempistiche di svolgimento del progetto, si passa poi alla redazione del Progetto Definitivo.

In campo internazionale questo tipo di suddivisione manca, in quanto si parla di "Progetto Architettonico" senza distinzioni di gradualità: una parte di esso equivale al Progetto di Fattibilità, e riguarda in genere la valutazione di opportunità di investimenti, che comprende l'analisi di mercato, strategie aziendali e fattori economici. In tale approccio, in luogo della progressiva definizione delle soluzioni progettuali che sottende la suddivisione in fasi che prevede la legislazione italiana, si vuole piuttosto perseguire il concetto di *right first time*, ossia porsi l'obiettivo di un processo che evita gli errori, arrivando "al primo colpo" al prodotto finale. Questo criterio prevede lo sviluppo e la verifica continua di idee, prove, feedback e riflessioni, che permettano l'affinamento e la rettifica del lavoro garantendo l'accuratezza e la precisione dei risultati. Questo tipo di filosofia tende a minimizzare il lavoro ed il tempo di produzione del progetto, ma garantendo anche l'alta qualità delle soluzioni. Il processo non solo riduce i costi di produzione ma contribuisce anche all'incremento della produttività e, quindi, all'ottimizzazione dei risultati. I metodi adottati si basano sullo studio della relazione tra le varie fasi di produzione, sull'ottimizzazione delle modalità di organizzazione e sull'utilizzo di tecnologie di verifica automatica. Ciò consente al *team* di sviluppo di identificare rapidamente eventuali problemi ed assicurare un prodotto finale di qualità a un costo conveniente. Gli applicativi BIM precedentemente elencati trattano principalmente l'impatto ambientale complessivo del progetto, fornendo un'analisi più precisa sulla fase di progettazione finale. Alcuni strumenti si concentrano sull'impatto del ciclo di vita dei materiali, altri sull'interazione con l'ambiente circostante. Decidere di intervenire con verifiche sull'impatto ambientale del progetto solo nella fase conclusiva può non essere sufficiente; è infatti preferibile prendere in considerazione le misure di tutela ambientale fin dal Progetto di fattibilità e durante tutto il periodo di sviluppo. È importante considerare l'impatto ambientale di tutte le fasi del progetto, dalla preparazione delle condizioni iniziali alla realizzazione e al mantenimento. Sarebbe quindi preferibile adottare un approccio che anticipi la soluzione dei problemi già nelle fasi iniziali della progettazione, che implichi una maggiore attenzione alle scelte fatte nel Progetto di Fattibilità, in modo da poter gestire più facilmente le criticità che eventualmente dovessero emergere. Ciò consentirebbe di apportare notevoli miglioramenti più efficaci, estendendo i margini di correzione.

La ricerca dottorale si impegna soprattutto in questo ambito, per rispondere alla necessità di validare le scelte effettuate nella fase iniziale del Progetto di fattibilità. L'obiettivo è quello di ottenere uno strumento in grado di interagire con programmi come il BIM con lo scopo di trovare soluzioni a basso impatto ambientale, in grado comunque di massimizzare il comfort degli utenti finali.

Nei capitoli successivi saranno sviluppate le strategie di analisi dei dati e dei risultati che siano il più possibile oggettive, affidabili ed efficaci. In particolare, la ricerca studia l'approccio *BIM-enabled* alla Progettazione Ambientale, che è diventato uno strumento essenziale per perseguire la Qualità Ambientale nei progetti. La ricerca svilupperà una valutazione

multicriteria, che offre la possibilità di confrontare le diverse opzioni di progettazione cambiando rapidamente i parametri di progetto.

Michael O'Brien, il Digital Construction Manager Irlandese di BAM dice: «*L'intero principio della 'prima volta giusta' è la pietra angolare di ciò che stiamo cercando di ottenere ed è la chiave del nostro successo.*» Il nostro obiettivo si avvicina molto al concetto della “*prima volta giusta*” di fare le migliori scelte nella fase di Progetto di Fattibilità, in modo da evitare che eventuali errori diventino irreversibili nelle fasi successive di Progetto Definitivo e Esecutivo.

2 Il protocollo di valutazione

2.1 La valutazione della Qualità Ambientale nel Progetto di Fattibilità

Un momento fondamentale nel Processo Edilizio è la valutazione della Qualità, intesa come «Insieme delle proprietà e delle caratteristiche dell'organismo edilizio o di sue parti che conferiscono ad essi la capacità di soddisfare, attraverso prestazioni, esigenze espresse o implicite» (UNI 10838). Nel caso trattato in questo studio, avendo posto come obiettivo il soddisfacimento delle Classi di Esigenza (CdE) 'Benessere' e 'Salvaguardia dell'Ambiente', la valutazione riguarderà non già la Qualità Edilizia in generale, ma la sola **Qualità Ambientale** (QA) che, come esplicitamente richiama la sua definizione normativa¹⁸, coinvolge direttamente anche la **Qualità funzionale-spaziale** (QFS) degli Elementi Spaziali.

In quanto *sistema*, le diverse parti di un edificio concorrono insieme alla definizione delle sue caratteristiche, ed è per tale motivo che, nella valutazione della QA dovrà necessariamente essere coinvolta anche la valutazione prestazionale degli Elementi Tecnici sia dal punto di vista tecnico che tecnologico: devono cioè essere messe in luce e valutate le caratteristiche tecniche degli ET, e tecnologiche dei sistemi di ET, che contribuiscono sia alla determinazione del *physical environment* dell'ambiente costruito, che all'impatto sull'*habitat* naturale del fabbricato.

In secondo ordine, deve essere sviluppato un metodo in grado di stimare in modo *omogeneo* parametri e caratteristiche assolutamente diversi tra loro, e quindi capace di fornire un risultato chiaro e intellegibile della QA: la soluzione a questo problema è una metodologia MCA che permette una valutazione *sfumata* (fuzzy) della qualità, attraverso un sistema a sei livelli trattato nel dettaglio nel successivo §2.3.

Diviene così strategico individuare in modo *sistemico* l'insieme dei criteri e delle preferenze da adottarsi nella ricerca, e questi non possono prescindere dalle CdE definite dall'approccio esigenziale-prestazionale.

Nella norma in vigore, le Classi di Esigenza non sono state suddivise nelle singole Esigenze ma, rielaborando i contributi di vari Autori, in questo studio si è stabilito di distinguere due *sottoclassi di esigenza* del 'Benessere', ed in particolare:

- Il *Comfort*, inteso come «atteggiamento mentale di soddisfazione per l'ambiente» (ASHRAE Standard 55)¹⁹;
- L'*Igienicità*, cioè la «salvaguardia dello stato di salute e del miglioramento delle condizioni fisiche e psichiche, mediante [...] il suggerimento delle misure di protezione sanitaria dei singoli individui» (Igiene, 2011).

È evidente che la suddivisione proposta lascia dei margini di ambiguità, in quanto condizioni severe di discomfort, o la mancanza di confortevolezza ripetuta per molto tempo possono produrre alterazioni anche considerevoli dello stato di salute degli utenti; ma, se si escludono tali estremi, è ragionevole accettare che il Comfort sia frutto di una interrelazione psicofisica tra l'utente e l'ambiente che lo circonda, mentre l'Igienicità dipenda dalla presenza di agenti patogeni che – dalla polvere, alle sostanze volatili, fino a virus, batteri e muffe – possono portare a malattie anche letali.

Se quindi il Comfort può essere perseguito attraverso l'uso di strategie progettuali, anche con l'impiego di sistemi attivi e passivi di controllo ambientale, l'Igienicità attiene soprattutto alle strategie manutentive della costruzione e quindi esorbita dagli obiettivi di questa ricerca²⁰.

Adottando poi un'ottica *antropocentrica* (Hausladen & Sager, 2006) (Francese, 2007), è possibile articolare la sottoclasse 'Comfort' nelle esigenze:

- La **Confortevolezza degli Spazi** (CS), che soddisfa il *senso* psicologico di sicurezza, riservatezza ed autonomia che deve avere un'abitazione;
- Il **Comfort Termoisgrometrico** (CT), che attiene alla funzione regolatoria dell'ipotalamo e dei *sistemi* nervoso e endocrino;
- Il **Comfort Uditivo** (CU), che interessa il *senso* dell'udito, e che spesso viene indicato come *comfort acustico*;

¹⁸ «Insieme delle caratteristiche funzionali-spaziali degli elementi spaziali di un organismo edilizio». Cfr. UNI 10838.

¹⁹ La norma americana definisce il comfort *termico* come «atteggiamento mentale di soddisfazione per l'ambiente *termico*». Qui si è inteso generalizzare la definizione all'intero concetto di Comfort.

²⁰ Anche in questo caso, è di tutta evidenza l'impossibilità di distinguere 'strategie progettuali' da quelle 'manutentive', perché anche la manutenzione è una fase alla quale guarda il professionista nell'orientare le proprie scelte durante la redazione del progetto. Resta comunque plausibile ipotizzare che tali considerazioni investano soprattutto le fasi Definitiva ed Esecutiva.

- Il **Comfort Visivo** (CV), che coinvolge il *senso* della vista, e che in rari casi viene anche detto *comfort illuminotecnico* o *benessere luminoso*;
- Il **Comfort Respiratorio** (CR), che riguarda sia il *senso* gusto-olfatto che il *sistema* respiratorio, e che spesso viene indicato con gli acronimi *IAQ* (Indoor Air Quality) o *IOAQ* (Indoor/Outdoor Air Quality).

Oltre ad essere ampiamente adottata in ambito professionale, tale suddivisione riprende quasi completamente quella proposta nella normativa tecnica in un documento, anche se attualmente non più in vigore, a cui si fa qui esplicitamente riferimento (UNI 11277). Sempre richiamando il contenuto di tale norma, ma sintetizzandone l'articolazione decisamente più complessa²¹, si propone di suddividere la CdE 'Salvaguardia dell'Ambiente' nelle seguenti Esigenze:

- Tutela degli Ecosistemi;
- Riduzione dell'uso di materia;
- Riduzione nell'uso di energia;
- Riduzione della produzione di rifiuti.

Le Esigenze, assunte come criteri di valutazione, dovrebbero poi essere declinate secondo parametri in grado di *misurarne* (se espressi tramite variabili²²) o *stimarne* (in caso occorra ricorrere ad attributi²³) gli impatti; ciò però comporterebbe la necessità di conoscere in dettaglio la composizione di tutti gli elementi costituenti l'edificio e relative modalità di costruzione / manutenzione / dismissione: informazioni, queste, che si rendono disponibili soltanto durante la stesura in fase di progettazione definitiva, esecutiva e costruttiva. Durante il Progetto di Fattibilità, dove invece vengono definite soprattutto le caratteristiche dimensionali degli ambienti e degli elementi tecnici che li conformano, le proprietà tecniche e materiali delle parti costituenti la costruzione vengono solo sommariamente indicati.

Diviene quindi assolutamente necessario e strategico individuare:

1. Il livello di definizione al quale il progettista arriva durante la redazione del Progetto di Fattibilità;
2. La relazione sistemica esistente tra le parti progettate;
3. Le restrizioni legislative e normative nel campo del controllo ambientale, verificabili al livello 'preliminare'.
4. Le *buone pratiche* e le soluzioni tecniche disponibili in letteratura orientate ai principi della PA. e alla Bioarchitettura: in tal modo potranno essere soddisfatte contemporaneamente entrambe le CdE 'Benessere' e 'Salvaguardia dell'Ambiente'.

In altri termini, dopo aver stabilito quale 'modello' di edificio – nel senso sistemico del termine – meglio si adatta alle caratteristiche del Progetto di Fattibilità, si provvederà ad individuare i parametri, ed i relativi indici sintetici di valutazione, che permettono di stimare il livello di 'Comfort' raggiunto dall'edificio (o di parte di esso) oggetto di studio, al quale si può giungere adottando soluzioni tecniche e tecnologiche afferenti alle buone pratiche della Progettazione Ambientale Sostenibile.

2.2 Il Subsistema Ambientale e quello Tecnologico

Nella redazione di un Progetto di Fattibilità di un'abitazione, o di un edificio ad uso abitativo, il professionista è chiamato principalmente a definire i singoli ambienti e ad attribuire ad ognuno di essi una particolare funzione. Per fare ciò, dovrà posizionare gli elementi divisorii (pareti, solai, infissi) e quelli connettivi verticali (scale, rampe): dovrà cioè utilizzare i particolari **Subsistemi Ambientale** (SA) e **Tecnologico** (ST), che insieme concorreranno alla connotazione architettonica della costruzione.

²¹ La norma UNI 11277 distingue due diverse Classi di Esigenza: 'Salvaguardia dell'Ambiente' (già prevista nella UNI 8289) e 'Uso razionale delle risorse'. La prima è articolata in:

- Salvaguardia dell'ambiente;
- Salvaguardia della salubrità dell'aria e del clima;
- Salvaguardia del ciclo dell'acqua;
- Salvaguardia dell'integrità del suolo e del sottosuolo;
- Salvaguardia dei sistemi naturalistici e paesaggistici.

La seconda invece è suddivisa in:

- Utilizzo razionale delle risorse;
- Utilizzo razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti;
- Utilizzo razionale delle risorse idriche;
- Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche (requisiti geometrici e fisici)
- Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche (requisito energetico).

²² «Carattere di un requisito, misurabile rispetto ad una scala continua e suscettibile di assumere valori diversi». Cfr. UNI 10838.

²³ «Carattere non misurabile, o che si preferisce non misurare, di un requisito sul quale è dato unicamente un giudizio espresso in termini qualitativi di appartenenza ad una categoria o a più categorie alternative». *Ivi*.

Diventa quindi estremamente importante, in un protocollo formalizzabile, richiamare le definizioni dei singoli elementi posti alla base della progettazione. In particolare²⁴:

- una **Unità Ambientale** (UA) è il «raggruppamento di attività dell'utente, derivanti da una determinata destinazione d'uso dell'organismo edilizio, compatibili spazialmente e temporalmente fra loro»; le 'funzioni' di un'abitazione, come ad esempio la *cucina*, il *soggiorno*, il *bagno*, ecc. sono le UA;
- un **Elemento Spaziale** (ES) è la «porzione di spazio fruibile destinata allo svolgimento delle attività di una unità ambientale»; ciò che comunemente viene denominata *stanza*, *ambiente*, *vano*, è un ES.

Le Unità Ambientali sono quindi il raggruppamento di **Azioni Elementari** (AE), che in campo abitativo sono state definite in letteratura (Zaffagnini, 1994) e possono essere oggetto di ampliamento, man mano che le abitudini si trasformano nel tempo (Buoninconti, 2016). La Tabella 1 riporta le AE comunemente utilizzate, ampliate in funzione degli scopi di questa ricerca.

Tabella 1 – Elenco delle Azioni Elementari per una costruzione ad uso abitativo (Zaffagnini, 1994). Con un asterisco sono evidenziate le AE introdotte da altri (Buoninconti, 2016); con doppio asterisco, quelle introdotte dall'Autore

Azioni Elementari		
Entrare e uscire dall'unità immobiliare	Ascoltare musica	Soddisfare i bisogni fisiologici
Prendere e riporre oggetti	Intrattenere ospiti	Riporre temporaneamente biancheria sporca
Comunicare con il telefono	Rilassarsi all'aperto	Lavare biancheria
Conservare cibi	Coltivare piante e fiori	Stendere biancheria
Lavare cibi	Dormire	Stirare biancheria
Preparare cibi	Stare insieme in intimità	Lavorare di cucito
Cuocere cibi	Vestirsi e svestirsi	Studiare
Lavare piatti e stoviglie	Dormire in culla	Giocare (bambini)
Riporre temporaneamente rifiuti solidi	Accudire i neonati	Pulire e mantenere l'alloggio
Consumare pasti	Lavarsi e asciugarsi completamente	Lavorare a computer*
Assistere alla trasmissione di programmi televisivi (o via Internet*)	Lavarsi e asciugarsi parzialmente	Leggere*
	Acconciarsi	Raggiungere un altro ES**

È evidente che il raggruppamento delle AE in UA è un'operazione che dovrebbe essere svolta dal progettista in relazione al progetto che sta elaborando, ma qui si ritiene comunque opportuno fornire un elenco di Unità Ambientali *standard* ed associare ad esse le relative Azioni elementari, che sono raccolte nella Tabella 2.

Tabella 2 – Unità ambientali e Azioni elementari ad esse associate

Azione Elementare	Unità Ambientale	Azione Elementare	Unità Ambientale
Entrare e uscire dall'unità immobiliare	Ingresso	Consumare pasti	Sala da pranzo
Raggiungere un altro ES		Prendere e riporre oggetti	
Prendere e riporre oggetti		Ascoltare musica	
Conservare cibi		Intrattenere ospiti	
Lavare cibi		Leggere	Soggiorno
Preparare cibi	Cucina	Assistere alla trasmissione di programmi televisivi (o via Internet)	
Cuocere cibi		Dormire	
Lavare piatti e stoviglie		Stare insieme in intimità	
Riporre temporaneamente rifiuti solidi		Vestirsi e svestirsi	Camera da letto
Lavarsi e asciugarsi		Dormire in culla	
Acconciarsi	Servizi igienici (Bagno)	Accudire i neonati	
Soddisfare i bisogni fisiologici		Studiare / Giocare (bambini)	
Riporre temporaneamente biancheria sporca		Leggere	Camera studio
Lavare biancheria	Lavanderia	Lavorare a computer	
Stirare biancheria		Stendere biancheria	Balcone / Spazio aperto
		Rilassarsi all'aperto	
Raggiungere un altro ES	Connettivo (disimpegno/scale)	Prendere e riporre oggetti	Ripostiglio / Cantina / Sottotetto / Cabina armadio

²⁴ Cfr. UNI 10838.

La suddivisione proposta, che comunque può considerarsi arbitraria in quanto non regolamentata da alcuna legge o norma tecnica, trova comunque riscontro nella pratica tecnica e nel linguaggio d'uso comune; nondimeno, nella definizione delle consistenze delle **Unità Immobiliari (UI)** ad uso abitativo²⁵, nell'annoverare le funzioni da destinare per ogni vano vengono esplicitamente citate tutte le UA elencate nella Tabella 2²⁶. Sempre utilizzando le articolazioni contenute nelle norme applicate al Catasto Fabbricati, si propone un elenco di Unità Ambientali, suddividendole in *principali*, *accessorie* e *pertinenziali* (o di *pertinenza esclusiva*), escludendo quindi dalla lista tutte le *pertinenze comuni* presenti nei Condomini, in quanto l'uso è condiviso tra più Unità Immobiliari²⁷ (Tabella 3).

Tabella 3 – Elenco delle Unità Ambientali, suddiviso in principali, accessorie e pertinenze esclusive

Unità Ambientali principali	Unità Ambientali accessorie	Unità Ambientali pertinenziali
UA01 – Stanza da pranzo	UA06 - Ingresso	UA13 – Ripostiglio esterno
UA02 – Soggiorno	UA07 – Corridoio/Disimpegno	UA14 – Cantina
UA03 – Camera da letto	UA08 – Scala interna	UA15 – Sottotetto
UA04 – Camera studio	UA09 – Servizi igienici	UA16 – Terrazzo esterno
UA05 – Cucina	UA10 – Lavanderia	UA17 – Cortile esterno
	UA11 – Ripostiglio/Dispensa/ Cabina armadio	UA18 – Giardino
	UA12 – Balcone/Terrazzo a livello	UA19 – Box

Tabella 4 – Matrice di compatibilità tra le Unità Ambientali coesistenti in un medesimo Elemento Spaziale

UA	Pranzo	Soggiorno	Letto	Studio	Cucina	Ingresso	Disimpegno	Scala int.	Servizi igienici	Lavanderia	Ripostiglio	Balcone	Ripostiglio est.	Cantina	Sottotetto	Terrazzo est.	Cortile	Giardino	Box
UA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01	5	5	1	0	4	3	3	0	0	0	0	4	0	0	0	4	4	4	0
02		5	1	4	4	3	4	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	3	0
03			5	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04				5	2	2	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
05					5	2	2	0	0	3	2	1	1	0	0	1	1	0	0
06						5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07							5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08								5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09									5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10										5	5	3	5	4	5	3	4	2	5
11											5	0	0	5	5	0	0	0	5
12												5	4	0	0	0	0	0	0
13													5	5	5	3	3	2	5
14														5	0	0	0	0	4
15															5	0	0	0	4
16																5	0	0	0
17																	5	0	0
18																		5	0
19																			5

Gli Elementi Spaziali rappresentano nel Subsistema Ambientale gli ambienti che fisicamente contengono le funzioni: gli ES sono quindi i *contenitori* delle UA e, in quanto tali, devono possedere adeguati requisiti di carattere morfologico/spaziale e fisico per essere considerati idonei allo scopo; inoltre, come già rinvenibile in letteratura tecnica (Zaffagnini,

²⁵ Categoria A – Immobili ad uso ordinario (DPR 1142/1949).

²⁶ All'art.45 del DPR 1124/1949 sono infatti nominati: camera, stanza, salone, galleria; all'art.45 sono annoverati: latrine, bagni, dispense, ripostiglio, veranda, ingresso, corridoio, soffitte, cantine, bucatari, spanditoi, stalle, granai, porcili, pollai, cucine.

²⁷²⁷ Cfr. Direzione Generale del Catasto, circ.n.40/1939.

1994), non tutte le AE sono tra loro *compatibili*, cioè non possono, o possono ma con difficoltà, condividere il medesimo spazio. Visto che, per le ragioni più disparate, un progettista può decidere di collocare più UA nel medesimo ES, si è ritenuto qui opportuno redigere una *matrice di compatibilità* tra le Unità Ambientali precedentemente individuate (Tabella 3), e riportate nella seguente Tabella 4; è evidente che la matrice è simmetrica, e la numerazione delle righe e delle colonne si riferisce a quella delle UA. La compatibilità tra le Unità Ambientali, e quindi tra le AE in esse contenute, è stata valutata utilizzando una scala a sei livelli, da zero (incompatibilità assoluta) a cinque (piena compatibilità). Gli ES possono anche essere distinti in *interni* (ESi) o *esterni* (ESo). Vista la definizione normativa di *ambiente interno*²⁸ (AI), che qui coinciderebbe con quella di Elemento Spaziale interno, può affermarsi che gli ESi sono dotati di superficie di base e volume definiti, mentre gli ESo hanno certamente superficie di base definita e a volte anche volume definito; è evidente che l'insieme di tutti gli Elementi Spaziali di un unico alloggio costituisce una Unità Immobiliare²⁹.

Tabella 5 – Articolazione del Subsistema Tecnologico secondo tipi di opere e di progetto

Classe di unità tecnologica	Unità tecnologica	Tipo di progetto	Tipo di opere
Struttura portante	Strut. di fondazione	Prog. Strutturale	
	Strut. di elevazione		
	Strut. di contenimento		
Chiusura	Chius. verticale	Prog. Architettonico	Opere edili (o civili)
	Chius. orizzontale inferiore		
	Chius. orizz. su spazi esterni		
	Chiusura superiore		
Partizione interna	Part. int. verticale	Prog. Architettonico	
	Part. int. orizzontale		
	Part. int. inclinata		
Partizione esterna	Part. est. verticale	Prog. Architettonico	
	Part. est. orizzontale		
	Part. est. inclinata		
Impianti di fornitura servizi	Imp. di climatizzazione	Prog. Meccanico	Opere impiantistiche
	Imp. idro sanitario		
	Imp. di smaltimento liquidi		
	Imp. di smaltimento aeriformi		
	Imp. di smaltimento solidi		
	Imp. di distribuzione gas		
	Imp. fisso di trasporto		
Imp. elettrico			
Impianti di sicurezza	Imp. di messa a terra	Prog. Elettrico	
	Imp. parafulmine		
	Imp. antifurto e antintrusione		
Attrezzature interne	Imp. antincendio	Prog. elettrico e meccanico	
	Arredo domestico		
Attrezzature esterne	Blocco servizi	Prog. arredi	Arredi
	Arredi esterni		
	Allestimenti esterni		

In quanto (almeno) planimetricamente definiti, gli ES devono essere limitati da elementi edificati: in quanto tali, essi sono certamente annoverate nel Subsistema Tecnologico, che appunto - nell'approccio sistemico all'organismo edilizio - nasce proprio con lo scopo di strutturare le parti costruite. È di tutta evidenza che le **Classi di Unità Tecnologiche** (CUT)

²⁸ «Spazio di volume determinato, interamente separato dall'ambiente esterno o da altri ambienti attigui mediante pareti, solai, ecc» (UNI 10375).

²⁹ Si noti che i cosiddetti *locali tecnici*, cioè ambienti adibiti ad ospitare impianti o parte di essi (come, ad esempio, locali contatori, locali macchine, locali caldaia, ecc.), non sono qui annoverati in quanto la loro *funzione*, anche se strettamente connessa, non rientra tra le AE (e quindi tra le UA) che descrivono dell'uso abitativo. Tali locali devono comunque essere presi in considerazione, sia nella modellazione progettuale dell'edificio, sia nella valutazione della consistenza dell'immobile.

così come elencate nella normativa tecnica³⁰ sono immediatamente suddivisibili distinguendo tra *opere edili, impiantistiche* ed *arredi*, come accade in diversi mercuriali editi dagli enti preposti³¹; inoltre, anche se non esplicitamente definito ma facilmente riscontrabile in legislazione³², e tenendo conto della *Nomenclatura e classificazione delle Unità Professionali* redatta da ISTAT³³, si propone di articolare le opere edili ed impiantistiche in funzione del tipo di progetto, ed in particolare: strutturale e architettonico per le opere edili (o, più generalmente, civili), ed elettrico e meccanico per quelle impiantistiche³⁴.

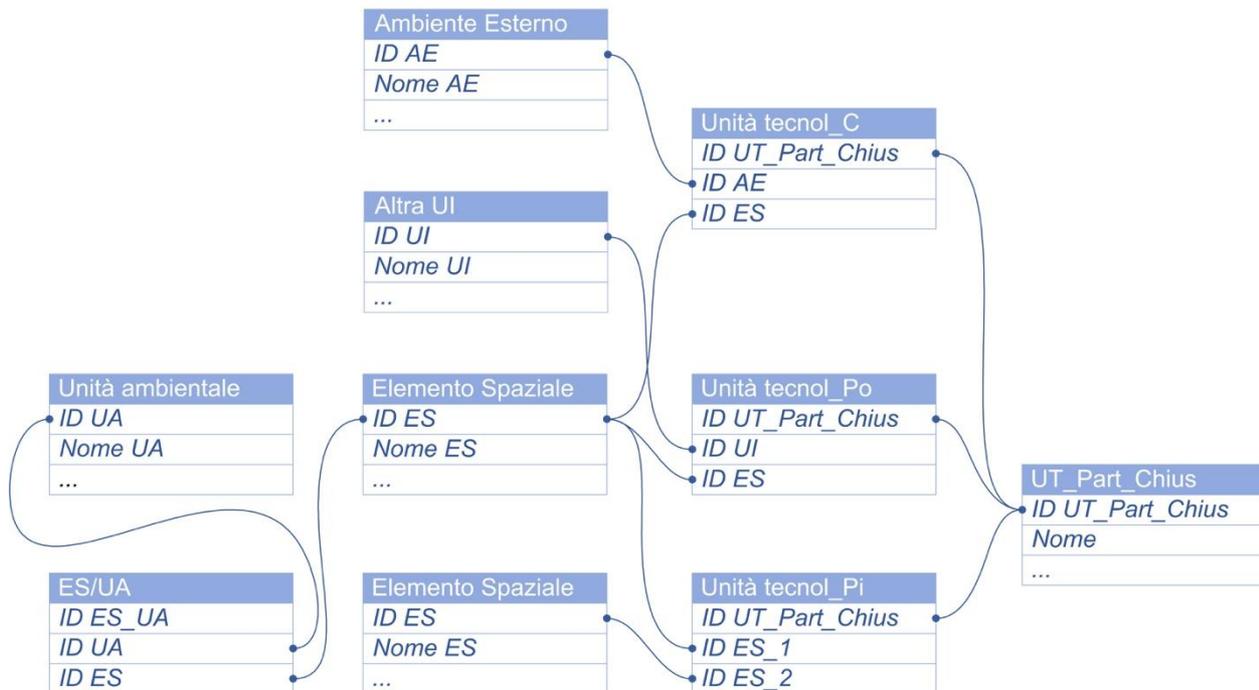


Figura 2 – Visualizzazione struttura della relazione tra i dati del Subsistema Ambientale e Tecnologico nel Progetto di Fattibilità

Secondo tale articolazione, gli **Elementi Tecnici** (ET) che *conformano* gli ES sono quindi quelli che afferiscono alle Classi di Unità Tecnologiche ‘architettoniche’, e cioè *Chiusure, Partizioni interne e Partizioni esterne* (Tabella 5). Nel Progetto di Fattibilità, il Progettista utilizza proprio tali ET ‘architettonici’ applicando un principio squisitamente geometrico che,

³⁰ Cfr. UNI 8291-1.

³¹ A tale scopo, cfr.:

- i *Prezzi informativi opere edili nella Regione Abruzzo 2020*;
- il *Prezzario Basilicata 2020*;
- il *Prezzario 2017 opere civili e il Prezzario 2017 impianti della Calabria*;
- l’articolazione della *Tariffa edizione 2016 della Campania*;
- l’*Elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche e di difesa del suolo della Emilia Romagna*;
- la premessa del *Prezzario regionale dei Lavori Pubblici 2019 del Friuli Venezia Giulia*;
- la *Tariffa dei prezzi 2020 Regione Lazio*;
- i prezzari della Regione Lombardia, dove le opere edili vengono annoverate nel più generale Volume 1.1 relativo alle *opere civili*;
- il *Prezzario opere edili e impiantistiche – Anno 2019 della Liguria*;
- il *Prezzario della Regione Piemonte 2020*;
- il *Listino prezzi regionale anno 2019 della Puglia*;
- *Il prezzario della Toscana 2021*;
- il *Prezzario regionale dei Lavori pubblici 2021 del Veneto*;
- l’articolazione del *Prezzario unico del Cratere del Centro Italia* elaborato dal Genio Civile.

Un elenco dei mercuriali è disponibile all’indirizzo <https://www.edilizia.com/prezzari-opere-edili/#elenco-dei-prezzari> (consultato il 11.8.2021).

³² A solo titolo di esempio, si citano il Decreto Ministeriale del 2.2.1990 “*Criteri di valutazione relativi alla concessione delle agevolazioni alle società consortili che realizzano mercati agroalimentari all’ingrosso*”, dove al punto 3 si descrive che il progetto esecutivo deve contenere «... il progetto architettonico, strutturale e impiantistico» (cfr. GU n.103 Serie generale del 5.5.1990, p.23), o il D.Lgs. 50/2016 “*Codice dei contratti pubblici*”, che all’art.154 richiede «... la presentazione di un progetto definitivo a livello architettonico e a livello di progetto di fattibilità per la parte strutturale ed impiantistica».

³³ Secondo tale suddivisione, il progetto e l’esecuzione delle opere impiantistiche viene affidata a due figure professionali differenti: la prima riguarda gli Ingegneri meccanici, che «... conducono ricerche ovvero applicano le conoscenze esistenti nel campo della meccanica per disegnare, progettare e controllare funzionalmente, per produrre e mantenere strumenti, motori, macchine ed altre attrezzature meccaniche», mentre la seconda riguarda gli Ingegneri elettrotecnici, i quali «... applicano le conoscenze esistenti per disegnare, progettare, controllare anche in modo automatico, produrre e mantenere sistemi, motori, apparati e attrezzature rivolte alla generazione, distribuzione ed uso di energia elettrica». Cfr. <http://professioni.istat.it/sistemainformativoprofessionioni/cp2011/> consultato il 13.8.2021.

³⁴ Tale suddivisione trova riscontro anche in alcuni articoli pubblicati su riviste di settore (Buoninconti, 2021).

a livello di **Unità Tecnologiche** (UT) è organizzato – indifferentemente dalla CUT di appartenenza – in elementi *verticali*, *orizzontali* e *inclinati*. Seguendo questa logica, il professionista implementa il modello di edificio ‘disegnando’ gli Elementi Spaziali attraverso la definizione ed il posizionamento di UT verticali (pareti e infissi), orizzontali (solai, balconi, soppalchi, passerelle) e inclinati (scale e rampe); il Sistema Edilizio che ne deriva risulta organizzato come segue:

1. Gli ES ospitano una o più UA, tra loro compatibili;
2. Ogni ES è contornato da ET, che nel Progetto di Fattibilità sono definiti a livello di UT in funzione del loro orientamento spaziale: verticali, orizzontali, inclinati;
3. Gli ET separano un Elemento Spaziale interno da:
 - un altro ESi della medesima Unità Immobiliare: in tal caso afferiscono alle Partizioni Interne;
 - un ESi afferente ad un'altra UI o da una pertinenza comune coperta (ad esempio un corpo scala coperto o un androne): anche in tal caso sono afferenti alle PI;
 - un ESo della medesima Unità Immobiliare: in questo caso sono appartenenti alle Chiusure
 - un **Ambiente Esterno** (AO), come uno spazio pubblico, una ESo appartenente ad un'altra UI, o anche il terreno su cui poggia la costruzione: anche in tal caso si tratta di Chiusure;
4. Gli ET separano un Elemento Spaziale esterno da:
 - un qualunque ambiente interno, tramite le Chiusure;
 - un qualunque altro AO, compreso il terreno, con le Partizioni Esterne.

Il livello progettuale di Fattibilità, sviluppando seppure solo in via *preliminare* il Progetto Architettonico della costruzione, consente di stabilire un complesso sistema di relazioni tra il Subsistema Ambientale e quello Tecnologico, che trova una sua possibile rappresentazione grafica nella Figura 2; qui è possibile apprezzare la complessità che già in questa fase raggiunge il modello di edificio, e come l'approccio tecnologico alla progettazione permetta di rendere più semplice la comprensione dei rapporti di causa/effetto che ogni scelta effettuata dal professionista comporta sul comportamento futuro della costruzione.

2.3 Il sistema di valutazione a multicriteri

Stabiliti i criteri per la valutazione ambientale al §2.1 e il modello di edificio al precedente §2.2, risulta ora necessario stabilire come eseguire la stima della QA in termini analitici. Per fare ciò occorre innanzitutto definire una *scala omogenea di valutazione* alla quale tutti i criteri del sistema MCA devono sottostare. In questo studio sono stati definiti *sei livelli*, ai quali corrispondono i seguenti significati:

- **Livello 0:** *inaccettabile*, perché non consentito dalla normativa in vigore o assolutamente sconsigliato in letteratura tecnica;
- **Livello 1:** *mediocre*, in quanto molto al di sotto degli standard di legge o sconsigliato in letteratura tecnica;
- **Livello 2:** *insufficiente*, in quanto al di sotto degli standard di legge o non consigliato in letteratura tecnica;
- **Livello 3:** *sufficiente*, in quanto in linea con gli standard di legge o con le soluzioni correnti conosciute in letteratura tecnica;
- **Livello 4:** *buono*, perché superiore agli standard di legge o considerato come buona pratica dalla letteratura tecnica;
- **Livello 5:** *ottimo*, perché notevolmente superiore agli standard di legge o considerato come *gold standard* dalla letteratura tecnica.

Fissata la scala, la valutazione della Qualità Ambientale sarà articolata utilizzando due criteri. Il primo eseguirà una stima della *Consistenza degli elementi spaziali*: tale indicatore vuole stimare come e quanto gli Elementi Spaziali soddisfino i criteri della buona progettazione in termini funzionali-spaziali. Si farà quindi ricorso alla letteratura tecnica e a leggi e regolamenti, quando esistenti. L'indicatore sarà espresso con il simbolo i_{CS} , e sarà articolato in cinque indici, come meglio specificato al successivo §2.4.

Il secondo invece valuterà la *Confortevolezza delle unità ambientali*: qui si vuole valutare come le soluzioni progettuali e le strategie tecnico-tecnologiche contribuiscano alla creazione di condizioni che naturalmente concorrano a perseguire il comfort degli utilizzatori. Anche in tal caso saranno considerate buone pratiche, leggi e norme tecniche per orientare i criteri di stima. L'indicatore sarà espresso con il simbolo i_{Ci} , e sarà articolato in cinque indici, come indicato al §2.5.

Il valore totale della QA sarà calcolato come:

$$QA = k_{QA} \times \frac{i_{cs} + i_{ci}}{2},$$

dove il coefficiente di controllo k_{QA} si annulla nel caso in cui uno dei due indicatori sia zero. In termini formali:

$$k_{QU} = \begin{cases} 0, & \min(i_{cs}, i_{ci}) = 0 \\ 1, & \min(i_{cs}, i_{ci}) \neq 0 \end{cases}$$

In pratica, se uno degli indicatori si annulla, nel progetto è presente una violazione di una norma di legge e pertanto QA = 0; in caso contrario, la Qualità Ambientale verrà calcolata come media aritmetica tra i due indicatori.

2.4 La Consistenza degli Elementi Spaziali

Questo indicatore vuole valutare il grado di soddisfacimento degli utenti in funzione della ‘consistenza immobiliare’, intendendo con questa espressione la ‘quantità’ e la ‘disposizione’ degli spazi disponibili di un’abitazione, e la loro capacità di ospitare le Unità Ambientali. Tale locuzione non a caso ricorda la ‘consistenza catastale’, cioè l’entità di un immobile espressa in termini quanti-qualitativi e rappresentativa non solo della sua estensione ma anche di altri elementi qualitativi che concorrono a determinare la sua maggiore o minore capacità di soddisfare le esigenze degli utilizzatori. Al contrario degli altri indici di comfort, per i quali esiste sia una legislazione che una letteratura molto nutrita, la CS viene qui stimata attraverso considerazioni sviluppate per gli obiettivi peculiari di questa ricerca; in particolare, si ritiene che la Confortevolezza degli Spazi dipenda dai seguenti indici:

1. Coerenza tra le Unità Ambientali ($i_{cs,c}$), che ha lo scopo di verificare che le UA collocate nel medesimo ES siano tra loro compatibili;
2. Completezza delle Unità Ambientali ($i_{cs,e}$), che valuta se e quali UA sono previste nell’UI;
3. Livello di accessibilità dell’Unità Immobiliare ($i_{cs,a}$), che verifica quali ES sono raggiungibili in modo autonomo dai diversamente abili;
4. Livello di riservatezza degli Elementi Spaziali ($i_{cs,r}$), che stima se le UA godono della necessaria privacy per essere svolte dagli utenti;
5. La dimensione degli Elementi Spaziali ($i_{cs,d}$), che controlla se le UA dispongono dello spazio sufficiente per essere correttamente svolte.

La valutazione utilizzerà una scala a sei livelli così come articolata al §2.3; il valore dell’indicatore di Confortevolezza degli Spazi (i_{cs}) sarà calcolato come:

$$i_{cs} = k_{cs} \times \frac{i_{cs,c} + i_{cs,e} + i_{cs,a} + i_{cs,r} + i_{cs,d}}{5},$$

dove il *coefficiente di controllo* k_{cs} è introdotto allo scopo di rendere nullo il valore di i_{cs} qualora uno degli indici che lo compongono fosse pari a zero (inaccettabile); in termini formali:

$$k_{cs} = \begin{cases} 0, & \min(i_{cs,c}, i_{cs,e}, i_{cs,a}, i_{cs,r}, i_{cs,d}) = 0 \\ 1, & \min(i_{cs,c}, i_{cs,e}, i_{cs,a}, i_{cs,r}, i_{cs,d}) \neq 0 \end{cases}$$

2.4.1 Coerenza tra le Unità Ambientali

La coerenza tra le diverse funzioni non è regolata da alcuna norma, anche se può essere evinta dalla letteratura, a livello di Azioni Elementari (Zaffagnini, 1994); tale criterio ha permesso di redigere la Tabella 1, elaborazione originale realizzata per le Unità Ambientali così come definite nella Tabella 2. L’indice di valutazione della compatibilità tra le UA sarà indicato come i_{ac} , a cui verrà attribuito un valore compreso tra 0 e 5, secondo la seguente chiave di lettura:

- **Livello 0, inaccettabile:** le UA sono assolutamente incompatibili tra loro;
- **Livello 1, mediocre:** le UA sono scarsamente compatibili, e dovrebbero essere collocate in differenti ES;
- **Livello 2, insufficiente:** le UA sono solo parzialmente compatibili; sarebbe opportuno collocarle in differenti ES;
- **Livello 3, sufficiente:** le UA sono sufficientemente compatibili, e possono coesistere nel medesimo ES;
- **Livello 4, buono:** le UA coesistono senza problemi nel medesimo ES;
- **Livello 5, ottimo:** le UA sono tra loro complementari, ed è opportuno collocarle nel medesimo ES.

Tale valore sarà determinato come media pesata delle stime effettuate per ogni elemento spaziale, moltiplicato per il relativo peso w . In altri termini, detto n il numero di ES presenti nell'Unità Immobiliare, l'indice assumerà il valore di:

$$i_{cs,c} = k_{cs,c} \times \frac{i_{cs,c,1}w_{cs,c,1} + i_{cs,c,2}w_{cs,c,2} + \dots + i_{cs,c,n}w_{cs,c,n}}{w_{cs,c,1} + w_{cs,c,2} + \dots + w_{cs,c,n}}$$

Anche qui il coefficiente di controllo $k_{cs,c}$ rendere nullo di $i_{cs,c}$ qualora una delle valutazioni sulla compatibilità tra le UA dovesse essere pari a zero (inaccettabile); infatti:

$$k_{cs,c} = \begin{cases} 0, & \min(i_{cs,c,1}, i_{cs,c,2}, \dots, i_{cs,c,n}) = 0 \\ 1, & \min(i_{cs,c,1}, i_{cs,c,2}, \dots, i_{cs,c,n}) \neq 0 \end{cases}$$

Il valore del singolo $i_{cs,c,j}$, j -esimo ES della UI in esame, può essere calcolato in funzione delle UA in esso contenute; dette $UA\alpha$, $UA\beta$, $UA\gamma$, ... le Unità Ambientali in esso contenute, con $\alpha < \beta < \gamma < \dots$, in base ai valori riportati nella Tabella 4 si costruisce la sottomatrice simmetrica di compatibilità:

UA	α	β	γ	...
α	5	$i_{cs,c,j,\alpha\beta}$	$i_{cs,c,j,\alpha\gamma}$	$i_{cs,c,j,\alpha\dots}$
β	$i_{cs,c,j,\alpha\beta}$	5	$i_{cs,c,j,\beta\gamma}$	$i_{cs,c,j,\beta\dots}$
γ	$i_{cs,c,j,\alpha\gamma}$	$i_{cs,c,j,\beta\gamma}$	5	$i_{cs,c,j,\gamma\dots}$
...	$i_{cs,c,j,\alpha\dots}$	$i_{cs,c,j,\beta\dots}$	$i_{cs,c,j,\gamma\dots}$	5

il cui valore minimo corrisponde all'indice $i_{cs,c,j}$ cercato. Il valore del peso $w_{cs,c,j}$ dipende anch'esso dal tipo di UA, ed in particolare (vedi Tabella 3):

- Per le UA principali (da 01 a 05), $w = 1$;
- Per le UA accessorie (da 06 a 12), $w = 1/2$;
- Per le UA pertinenziali (da 13 a 19), $w = 1/3$.

Nel caso di ES con più UA, il valore di $w_{cs,c,j}$ corrisponde al massimo peso dei valori delle singole Unità Ambientali.

2.4.2 Completezza delle Unità Ambientali

Questo indice vuole valutare la Qualità Ambientale dell'Unità Immobiliare in funzione della presenza/assenza di UA all'interno della UI, e sarà indicato come $i_{cs,e}$, che potrà assumere i seguenti valori:

- **Livello 0, inaccettabile:** l'abitazione manca di UA fondamentali per il suo uso;
- **Livello 1, mediocre:** la quantità di UA assenti o collocate in pertinenze comuni è molto elevato, rendendo molto difficile l'uso dell'abitazione;
- **Livello 2, insufficiente:** il numero di UA assenti o collocate in pertinenze comuni è tale da rendere disagiata l'uso dell'abitazione;
- **Livello 3, sufficiente:** l'abitazione ha un numero sufficiente di UA, collocate sia all'interno dell'UI che in pertinenze comuni;
- **Livello 4, buono:** il numero di UA interne all'abitazione è più che sufficiente a garantirne il corretto uso;
- **Livello 5, ottimo:** tutte le UA sono interne all'abitazione.

Considerate le sedici UA riportate nella, il valore di i_{ae} sarà determinato come:

$$i_{cs,e} = k_{cs,e} \times \frac{i_{cs,e,1}w_{cs,e,1} + i_{cs,e,2}w_{cs,e,2} + \dots + i_{cs,e,n}w_{cs,e,n}}{w_{cs,e,1} + w_{cs,e,2} + \dots + w_{cs,e,n}}$$

avendo posto, come al paragrafo precedente, il coefficiente di controllo $k_{cs,e}$ pari a:

$$k_{cs,e} = \begin{cases} 0, & \min(i_{cs,e,1}, i_{cs,e,2}, \dots, i_{cs,e,n}) = 0 \\ 1, & \min(i_{cs,e,1}, i_{cs,e,2}, \dots, i_{cs,e,n}) \neq 0 \end{cases}$$

In un'abitazione, infatti, non è detto che siano presenti tutte le Unità Ambientali elencate nella Tabella 3, in quanto alcune di esse potrebbero essere collocate in pertinenze comuni (ad esempio, un cortile esterno condominiale), o essere completamente assenti, rendendo necessario lo svolgimento delle relative attività presso un apposito locale commerciale (come avviene con le lavanderie *a gettoni*). Dal novero della completezza, sono inoltre escluse le UA *connettive*, la cui presenza/assenza dipende esclusivamente dalle soluzioni progettuali adottate. La Tabella 6 riporta il valore di $i_{cs,e,j}$, relativo alla *j*-esima Unità Ambientale valutata, da attribuire nel caso sia presente nella UI, o collocata in pertinenza comune (e quindi in un Elemento Spaziale condiviso con utenti esterni alla UI), o completamente assente, ed anche il peso $w_{cs,e,j}$ da attribuire in fase di valutazione. Si noti che alcune UA sono considerate fondamentali alla definizione dell'uso residenziale (UA02 – Soggiorno, e UA03 – Camera da letto), in quanto le attività di “soggiornare” e “dormire” sono assolutamente caratterizzanti l'abitare; in misura più accessoria, i servizi igienici sono ancora tollerabili se collocati in spazi comuni condivisi con altri, sebbene tale condizione sia stata valutata di poco al di sopra della inaccettabilità.

Tabella 6 – Indici e pesi per la valutazione della Completezza delle Unità Ambientali

Unità Ambientale	Presente	In pertinenza comune	Assente	Peso
UA01 – Stanza da pranzo	5	3	1	1
UA02 – Soggiorno	5	0	0	1
UA03 – Camera da letto	5	0	0	1
UA04 – Camera studio	5	3	1	1
UA05 – Cucina	5	2	1	1
UA09 – Servizi igienici	5	1	0	1
UA10 – Lavanderia	5	3	1	1/2
UA11 – Ripostiglio / Dispensa / Cabina armadio	5	3	1	1/3
UA12 – Balcone / Terrazzo a livello	5	3	1	1/2
UA pertinenziali (13 – 19)	5	3	1	1/3

2.4.3 Livello di accessibilità dell'Unità Immobiliare

L'accessibilità è definita dalla normativa vigente³⁵ come «... la possibilità, anche per persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, di raggiungere l'edificio e le sue singole unità immobiliari e ambientali, di entrarvi agevolmente e di fruirne spazi e attrezzature in condizioni di adeguata sicurezza e autonomia». Tale condizione – puntualmente regolamentata dalla medesima fonte del diritto – è frutto di un complesso insieme prestazioni rinvenibili a più livelli, ed in particolare a scala di edificio, a scala di unità immobiliare, e a scala di elemento tecnico; l'accessibilità resta però ascrivibile alla Qualità Funzionale-Spaziale e quindi in generale alla QA, anche se la sua valutazione implica soprattutto considerazioni tecniche, e parzialmente tecnologiche.

L'indice che valuta l'accessibilità della UI sarà indicato come $i_{cs,a}$, e potrà assumere i seguenti valori³⁶:

- **Livello 1, mediocre:** l'abitazione non è visitabile da un diversamente abile dotato di deambulatore;
- **Livello 2, insufficiente:** l'abitazione è visitabile da un diversamente abile dotato di deambulatore;
- **Livello 3, sufficiente:** l'abitazione è accessibile da un diversamente abile dotato di deambulatore;
- **Livello 4, buono:** l'abitazione è visitabile da un diversamente abile su sedia a rotelle;
- **Livello 5, ottimo:** l'abitazione è accessibile da un diversamente abile su sedia a rotelle.

Com'è possibile evincere dal precedente elenco, l'indice non può mai annullarsi in quanto la condizione di accessibilità non è un requisito cogente per legge. Inoltre, è di tutta evidenza che l'accessibilità ad una Unità Immobiliare è legata anche a requisiti esterni ad essa, ed in particolare dipende dal percorso che un diversamente abile deve compiere dalla pubblica via fino all'ingresso all'abitazione. Da qui in poi, dipenderà dalle soluzioni formali e spaziali adottate dal Progettista; per tale motivo, il valore dell'indice sarà calcolato come:

$$i_{cs,a} = \min(i_{cs,a,o}, i_{cs,a,i}),$$

³⁵ Cfr. DM LLPP 236/1989.

³⁶ «Per visitabilità si intende la possibilità, anche da parte di persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, di accedere agli spazi di relazione e ad almeno un servizio igienico di ogni unità immobiliare. Sono spazi di relazione gli spazi di soggiorno o pranzo dell'alloggio e quelli dei luoghi di lavoro, servizio ed incontro, nei quali il cittadino entra in rapporto con la funzione ivi svolta» (*lvi*). Si noti che la norma non prevede i concetti di visitabilità e accessibilità applicati a diversamente abili dotati di deambulatore: tale distinzione costituisce quindi un contributo originale proposto da questa ricerca.

avendo indicato con $i_{cs,a,o}$ il valore che valuta l'accessibilità del percorso che va dalla strada all'ingresso, e con $i_{cs,a,i}$ il valore che dall'ingresso porta ai differenti ES dell'abitazione.

Il primo sotto-indice può essere valutato scomponendo il percorso seguito dall'utilizzatore ed in particolare individuando:

- La larghezza dei passaggi attraverso cancelli, portoni ed infissi in genere;
- La tipologia di pavimentazione esistente;
- L'eventuale dislivello da superare per giungere a destinazione (ingresso dell'UI), e la modalità più agevole che si rende disponibile a superarlo, ordinati seguendo tale elenco:
 1. Sistemi meccanici di elevazione sempre funzionanti (ascensori)
 2. Sistemi meccanici di elevazione funzionanti a richiesta (piattaforme e montascale)
 3. Rampe
 4. Scale.

Ogni infisso attraversato verrà valutato utilizzando i criteri dimensionali contenuti nella Tabella 7, a loro volta ricavati dalle indicazioni contenute nella norma³⁷; la valutazione per ogni infisso sarà pari *al valore minimo* riscontrato in tabella; l'indice $i_{cs,a,oi}$ sarà pari *al valore minimo* riscontrato tra tutti gli infissi presenti sul percorso.

Tabella 7 – Valutazione degli infissi da attraversare sul percorso

Dato dimensionale	Valore attribuito al sotto-indicatore		
	5	3	1
Larghezza del passaggio	≥ 75 cm	≥ 65 cm	< 65 cm
Spazio antistante l'anta	≥ 100 cm	≥ 60 cm	< 60 cm
Altezza di un eventuale ostacolo a terra	≤ 2,5 cm	-	> 2,5 cm

Per le pavimentazioni, dovrà verificarsi che ognuna di esse non abbia dislivelli di rilievo³⁸, e si attribuirà:

- un valore pari a 5 per pavimenti con dislivelli di altezza ≤ 2,5 cm;
- un valore pari a 1 per pavimenti con dislivelli di altezza > 2,5 cm.

L'indice $i_{aa,op}$ sarà pari *al valore minimo* riscontrato tra tutte le pavimentazioni presenti sul percorso.

Il superamento di dislivelli può avvenire o con l'ausilio di sistemi di trasporto meccanico, o con l'uso di elementi tecnici inclinati (rampe e scale). Nella valutazione del relativo indice $i_{aa,od}$ occorrerà verificare:

- se il dislivello può essere superato *esclusivamente non prescindendo dall'impiego di scale*, allora si attribuirà il valore 1;
- se il dislivello può essere superato *esclusivamente non prescindendo dall'impiego di rampe*, allora si attribuirà:
 1. Il valore 5, se le rampe rispettano tutte le condizioni previste dalla norma³⁹;
 2. Il valore 3, in caso contrario;
- se il dislivello può essere completamente superato utilizzando sistemi di trasporto meccanico, si attribuirà:
 1. Il valore 5, se ascensori o montascale rispettano tutte le condizioni previste dalla norma⁴⁰;
 2. Il valore 3, in caso contrario.

La valutazione del sotto-indice che stima l'accessibilità all'Unità Immobiliare del percorso esterno sarà così pari a:

$$i_{cs,a,o} = \min(i_{cs,a,oi}, i_{cs,a,op}, i_{cs,a,od}).$$

Nel caso in cui $i_{cs,a,o} = 1$, non sarà necessario proseguire la valutazione in quanto anche sarà anche $i_{cs,a} = 1$; in tutti gli altri casi invece occorrerà estendere la valutazione anche agli ES e agli ET dell'Unità Immobiliare. A tale scopo si procederà nel seguente modo:

³⁷ Cfr. art.8 c.1, p.1 del DM LLPP 236/1989.

³⁸ *Ivi*, art.8 c.1, p.2.

³⁹ In particolare, quanto contenuto all'art.8 c.1 p.11 del DM LLPP 236/1989. Vengono considerate conformi alla norma le rampe che:

- superino un dislivello minore o pari a 3,20 metri;
- abbiano larghezza non inferiore a 0,90 metri;
- abbiano uno smonto di 1,50 x 1,50 ogni 10 metri;
- abbiano pendenza minore o pari all'8%;
- abbiano pendenza minore o pari al 12% nel caso siano lunghe al massimo 3,00 metri.

⁴⁰ In particolare, quanto contenuto all'art.8 c.1 pp.12 e 13. Nel caso di ascensore, la cabina dovrà avere:

- profondità minima di 1,30 metri e larghezza minima di 0,90 metri;
- porta con luce netta minima pari a 0,80 metri;
- spazio antistante di dimensioni minime 1,40 x 1,40 metri.

1. Si individuano tutti gli Elementi Spaziali con pavimentazione tutta al medesimo livello, e gli si attribuisce un punteggio pari a 5;
2. Si individuano tutti gli ES all'interno dei quali sia presente un dislivello:
 - se questo è superato con una rampa che rispetta tutte le condizioni previste nella norma, gli si attribuisce un punteggio pari a 5;
 - se è superato con una rampa che non possiede i requisiti della norma, gli si attribuisce un punteggio pari a 3;
 - se è stato superato con dei gradini, si attribuisce un punteggio pari a 1.
3. Si individuano tutte le porte interne presenti, e anche ad esse si attribuisce un punteggio, utilizzando il medesimo criterio riportato nella Tabella 7.

A questo punto può essere utile predisporre uno schema a blocchi che rappresenti gli ES che compongono l'UI, e tutte le porte interne attraversate, collegate con segmenti orientati aventi verso che va dall'ingresso agli ambienti più interni. Colorando con una campitura chiara, intermedia e scura tutti gli elementi a cui rispettivamente sono stati attribuiti i valori 5, 3 e 1, si ottiene un diagramma simile a quanto mostrato nella Figura 3.

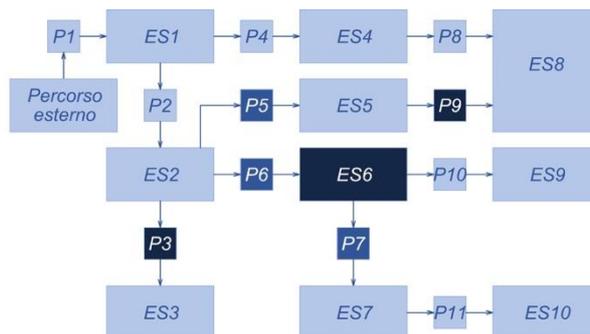


Figura 3 – Schema a blocchi di una Unità Immobiliare, nella quale sono raffigurati gli Elementi Spaziali e le porte interne, con campitura rappresentativa della valutazione relativa all'accessibilità da parte di utenti con ridotte capacità motorie

Procedendo dal percorso esterno, il valutatore provvederà, se è il caso, a ridurre il livello di accessibilità di ogni ES in funzione:

- Del livello di accessibilità dell'infitto che permette di accedere ad esso;
- Del livello di accessibilità dell'Elemento Spaziale che immediatamente lo precede.

La Figura 4 mostra un esempio di tale ragionamento. In particolare, si osservino gli ES3 e ES5, entrambi inizialmente valutati a livello 5, ma che in via definitiva assumono la medesima valutazione delle loro rispettive porte di accesso (P3 e P5); o l'ES9, a cui viene attribuito il valore finale di 1 in quanto preceduto da un Elemento Spaziale (ES6) di pari livello; infine, come l'ES8 resti al livello 5, nonostante sia servito dalla porta P9 di livello 1, in quanto l'accesso è assicurato dalla successione $P1 \rightarrow ES1 \rightarrow P4 \rightarrow ES4 \rightarrow P8 \rightarrow ES8$. In termini generali, detto ES_n l'ennesimo Elemento Spaziale da valutare, dovranno essere ricostruiti tutti i possibili percorsi $P1 \rightarrow ES1 \rightarrow \dots \rightarrow P_{n-1} \rightarrow ES_{n-1} \rightarrow P_n \rightarrow ES_n$ che conducono a ES_n , e attribuirne il livello minore riscontrato nella catena.

In ultimo, il valutatore verificherà gli ES ospitanti la UA09 (Servizi igienici) e:

- qualora essi abbiano le caratteristiche dimensionali previste per legge⁴¹, ed in generale che abbiano dimensioni non minori di 2,10 x 2,50 metri, *non ne modificherà la valutazione precedentemente ottenuta*;
- nel caso non rispettino le dimensioni di legge, ma siano tali da assicurare un passaggio con larghezza non inferiore a 65 cm, si provvederà a:
 1. attribuire una valutazione pari a *tre* se l'ES aveva una valutazione pari a *cinque*;
 2. lasciare inalterata la valutazione in tutti gli altri casi;
- se il passaggio è inferiore a 65 cm, verrà attribuito il valore 1.

Trovati i livelli di accessibilità di ogni Elemento Spaziale, il valore di $i_{cs,a,i}$ sarà pari a:

- **cinque**, se tutti gli ES sono valutati tali;
- **quattro**, se risultano valutati con *cinque* gli ES che contengono le Unità Ambientali Stanza da pranzo (UA01), Soggiorno (UA02), Cucina (UA05) e almeno un ES contenente i Servizi igienici (UA09);
- **tre**, se *nessun* ES è valutato uno;
- **due**, se risultano valutati almeno con *tre* gli ES che contengono le Unità Ambientali Stanza da pranzo (UA01), Soggiorno (UA02), Cucina (UA05) e almeno un ES contenente i Servizi igienici (UA09);

⁴¹ Cfr. art.8 c.1 p.6 del DM LLPP 236/1989.

- **uno**, in tutti gli altri casi.

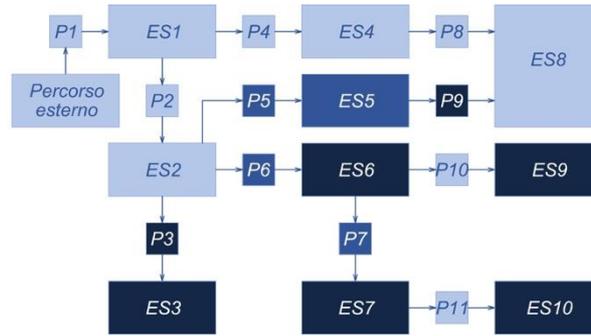


Figura 4 – Valutazione del livello di accessibilità di una Unità Immobiliare

2.4.4 Livello di riservatezza degli Elementi Spaziali

La *riservatezza*, più spesso definita *privacy*, è uno dei caratteri fondamentali dell’abitare, in quanto concorre a soddisfare il senso di *sicurezza* degli individui, e quindi costituisce indirettamente un *bisogno primario* dell’uomo (Maslow, 1943). Al di là della sua possibile definizione⁴², è evidente che l’abitazione costituisce il luogo principale per la sua concreta attuazione: dalla conservazione di averi, documenti, ricordi, al posto deputato a svolgere azioni intime, la ‘casa’ deve garantire la possibilità da parte dei suoi occupanti il *controllo* di tutto ciò che entra ed esce da essa, sia in senso materiale che figurato.

A tale scopo, si è ritenuto necessario stabilire sei livelli di privacy, che corrispondono alla seguente lista:

- **Livello 0:** spazio pubblico (nessuna riservatezza); sono tali strade, piazze, luoghi privati di accesso pubblico;
- **Livello 1:** spazio privato visibile al pubblico (scarso livello di riservatezza); sono tutti gli ambienti esterni visibili da luoghi pubblici, come balconi, logge, terrazzi, giardini, non accessibili ma visibili dall’esterno;
- **Livello 2:** spazio comune ad un gruppo di persone (basso livello di riservatezza); è tale un luogo interno a cui hanno accesso solo alcune tipologie di utenti, come androni, scale condominiali, cortili, parcheggi quando non ricadenti al livello 1;
- **Livello 3:** spazio privato visitabile (livello di riservatezza medio); sono tutti gli ambienti interni di un’abitazione a cui si dà normalmente accesso ai visitatori o ai fornitori, come i soggiorni, la cucina, gli spazi per lo studio;
- **Livello 4:** spazio privato personale (alto livello di riservatezza): tutti i locali di un’abitazione a cui hanno accesso solo gli appartenenti al nucleo familiare, come camere da letto o ambienti di servizio;
- **Livello 5:** spazio privato intimo (massimo livello di riservatezza): tutti i vani interni nei quali si svolgono azioni in solitudine, come nei servizi igienici.

La Tabella 8 riporta il Livello di Riservatezza attribuibile ad ogni Elemento Spaziale in funzione delle sue caratteristiche spaziali, tecniche e in funzione dell’organizzazione distributiva dell’abitazione.

La Tabella 9 invece mostra quale Livello di Riservatezza richiedono le differenti Unità Ambientali; tali valori sono stati stabiliti in relazione alle Azioni Elementari, associate ad esse come mostrate nella Tabella 2. Alle UA07 – Corridoio/Di-simpegno e UA08 – Scala interna non sono attribuiti livelli.

Grazie a queste tabelle, il valutatore – con l’aiuto di uno schema a blocchi analogo a quello mostrato nella Figura 3 – procedendo dall’esterno verso l’interno dell’abitazione, per ogni j-esimo spazio (esterno o interno):

1. attribuisce il Livello di Riservatezza dell’Elemento Spaziale $r_{es,j}$ utilizzando i criteri riportati nella Tabella 8;
2. determina il Livello di Riservatezza delle i Unità Ambientali in esso contenute, e individua il valore $r_{ua,j} = \min(r_{ua,1j}, r_{ua,2j}, \dots, r_{ua,ij})$;
3. confronta $r_{es,j}$ e $r_{ua,j}$, e attribuisce come valutazione finale al j-esimo spazio:
 - $i_{cs,r,j} = 5$, se $r_{es,j} \geq r_{ua,j}$
 - $i_{cs,r,j} = 5 - r_{ua,j} + r_{es,j}$ se $r_{es,j} < r_{ua,j}$

Il Livello di Riservatezza dell’Unità Immobiliare sarà quindi pari a:

$$i_{cs,r} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k i_{cs,r,j}$$

⁴² «La vita personale, privata, dell’individuo o della famiglia, in quanto costituisce un diritto e va perciò rispettata e tutelata». (Privacy, 2016)

dove k rappresenta il numero di tutti gli Elementi Spaziali contenuti in essa.

Tabella 8 – Caratteristiche degli Elementi Spaziali in funzione del Livello di Riservatezza

Livello	Caratteristiche
0	Spazio aperto o chiuso accessibile a chiunque, o perché di proprietà pubblica o in quanto privato di uso pubblico
1	Spazio aperto privato appartenente all'abitazione, visibile da altri luoghi - pubblici o privati - da esso distanti almeno di m.100
2	Spazio chiuso o aperto ma completamente delimitato da elementi di separazione (muri, inferriate, cancelli), tale da consentire l'ingresso ad un gruppo selezionato di persone avente diritto o permesso di accedervi Spazio aperto privato appartenente all'abitazione, visibile da altri luoghi - pubblici o privati - da esso distanti minimo m.100 Spazio chiuso privato che non possiede tutte le caratteristiche di cui alle specifiche del livello 3
3	Spazio chiuso privato appartenente all'abitazione, a cui si accede da una o più porte in comunicazione diretta con altri locali di Livello 1, 2 o 3, i cui muri di separazione con altre Unità Immobiliari abbiano caratteristiche ... Spazio chiuso privato che non possiede tutte le caratteristiche di cui alle specifiche del livello 4
4	Spazio chiuso privato appartenente all'abitazione: 1. a cui si accede da una o più porte in comunicazione diretta con locali destinati al solo uso connettivo (UA06, UA07, UA08), 2. i cui infissi esterni abbiano caratteristiche specifiche: - se dotati di porte-finestre, che queste diano accesso a spazi esterni non accessibili da locali di livello 3; - se dotati di finestre prospicienti la strada, che abbiano davanzale posto almeno a m.2,00 dal piano stradale e siano distanti da altre costruzioni almeno m.10,00 3. i cui muri di separazione con altre Unità Immobiliari abbiano spessore di almeno 20 cm
5	Spazio chiuso privato appartenente all'abitazione: 4. a cui si accede da una sola porta, in comunicazione diretta con locali o destinati al solo uso connettivo UA06, UA07, UA08), o di livello 4; 1. i cui infissi esterni abbiano caratteristiche specifiche: - se dotati di porte-finestre, che queste diano accesso a spazi esterni non accessibili da locali di livello 3; - se dotati di finestre prospicienti la strada, che abbiano davanzale posto almeno a m.2,00 dal piano stradale e siano distanti da altre costruzioni almeno m.10,00 i cui muri di separazione con altri locali, anche appartenenti alla medesima UI, abbiano spessore di almeno 20 cm

Tabella 9 – Livello di Riservatezza delle Unità Ambientali

Livello	Unità Ambientali	Livello	Unità Ambientali
0	Spazio pubblico o assimilabile	4	UA03 – Camera da letto
1	UA12 – Balcone/Terrazzo a livello UA16 – Terrazzo esterno UA17 – Cortile esterno UA18 – Giardino		UA10 – Lavanderia UA11 – Ripostiglio/Dispensa/Cabina armadio UA13 – Ripostiglio esterno UA14 – Cantina
2	Pertinenze comuni o assimilabili		UA15 – Sottotetto
3	UA01 – Stanza da pranzo UA02 – Soggiorno UA04 – Camera studio UA05 – Cucina UA06 – Ingresso	5	UA19 – Box UA09 – Servizi igienici

2.4.5 Dimensioni degli Elementi Spaziali

La dimensione degli ambienti destinati ad abitazione è regolamentata in Italia da due decreti ministeriali⁴³, che stabiliscono criteri minimi in ragione di considerazioni igieniche e sanitarie. Va detto che tali valori sono comunque derogabili, ma esclusivamente se sussistono motivazioni tecniche sufficientemente supportate da specifiche relazioni sulla possibilità di perseguire analoghi standard di salute attraverso l'utilizzo di soluzioni adeguate.

⁴³ Tali sono le Istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 e il Decreto del Ministero della Sanità n.190 del 5 luglio 1975.

Il corpo normativo contiene diverse indicazioni, sia in relazione all'estensione superficiale di alcuni ambienti, sia alla loro altezza, alla cubatura, ma anche alla dimensione totale dell'abitazione e delle attrezzature presenti. L'indice $i_{cs,d}$, che tiene conto di tutti questi valori, sarà quindi calcolato come la media aritmetica dei relativi sotto-indicatori, e cioè in termini formali:

$$i_{cs,d} = \frac{i_{cs,dh} + i_{cs,da} + i_{cs,ds}}{3}$$

Il primo termine $i_{cs,dh}$ si riferisce all'altezza minima dei locali, funzione del loro uso; la valutazione può essere facilmente attribuita ad ogni Elemento Spaziale interno utilizzando la Tabella 10, che riporta per ogni UA i criteri di assegnazione del punteggio⁴⁴. Per ambienti coperti da elementi non orizzontali (come nel caso, ad esempio, di volte o coperture inclinate), l'altezza sarà determinata come rapporto tra il volume del locale e la sua superficie calpestabile. Nel caso, infine, di più UA collocate nel medesimo ES, si considererà il punteggio più sfavorevole. La valutazione non va eseguita per Elementi Spaziali esterni. Il valore di $i_{cs,dh}$ sarà quindi calcolato come media aritmetica di tutte le valutazioni ottenute per ogni ESI; in termini formali, detta $i_{cs,dh,j}$ la valutazione del j -esimo ESI, e detto n il numero di tali Elementi Spaziali, si otterrà:

$$i_{cs,dh} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n i_{cs,dh,j}$$

Tabella 10 – Altezze minime delle Unità Ambientali

Unità Ambientali	0	1	2	3	4	5
UA01 – Stanza da pranzo						
UA02 – Soggiorno						
UA03 – Camera da letto	< 2,00	≥ 2,00	≥ 2,40	≥ 2,70 (≥ 2,55 ⁴⁵)	≥ 2,85	≥ 3,00
UA04 – Camera studio						
UA05 – Cucina						
Tutte le altre UA	< 2,00	≥ 2,00	≥ 2,10	≥ 2,40	≥ 2,70	≥ 2,85

Il secondo termine $i_{cs,da}$ si riferisce alla superficie abitabile totale dell'Unità Immobiliare; tale estensione, come recita la norma⁴⁶, si misura «... al netto di murature, pilastri, tramezzi, sguinci, vani di porte e finestre, di eventuali scale interne, di logge, di balconi». La Tabella 11 consente di stabilire il punteggio da attribuire al sotto indicatore in relazione al numero di abitanti previsti nell'UI oggetto della valutazione⁴⁷.

Il terzo termine $i_{cs,ds}$ invece si riferisce all'estensione di ciascun ESI nel quale siano collocate le tre Unità Ambientali: camera da letto, soggiorno e servizi igienici; questo valore sarà calcolato come media aritmetica:

$$i_{cs,ds} = \frac{1}{m + n + o} \left(\sum_{j=1}^m i_{cs,ds,b,j} + \sum_{y=1}^n i_{cs,ds,l,y} + \sum_{z=1}^o i_{cs,ds,t,z} \right)$$

dove $i_{cs,ds,b,j}$ rappresenta il valore attribuito alla j -esima camera da letto, $i_{cs,ds,l,y}$ quello attribuito al y -esimo soggiorno, e $i_{cs,ds,t,z}$ quello attribuito alla z -esimo servizio igienico.

⁴⁴ In funzione di quanto riportato all'art.1 del DM 190/1975, al punteggio 3 (sufficienza) si fa corrispondere l'altezza di 2,70 metri per gli ambienti principali (cucine, soggiorni, camere da letto, ecc.), mentre il massimo punteggio – pari a 5 (ottimo) – è stato attribuito al valore di 3,00 metri, indicato nell'art.63 delle Istruzioni Ministeriali 26.06.1896. Il valore intermedio 4 (buono) è stato ottenuto come media matematica dei due precedenti. Il punteggio pari a 2 (insufficiente) è stato fissato utilizzando l'altro limite fissato dal già citato art.1, e cioè pari a 2,40 metri, per gli ambienti accessori (bagni, corridoi, disimpegno, ecc.); fissata come limite assoluto un'altezza netta di 2,00 metri (art. 64 del citato Decreto del 1896), si ricavano i valori per i punteggi pari a 0 e 1. I punteggi 3, 4 e 5 da attribuire alle UA accessorie sono stati ottenuti per semplice "traslazione" dei limiti precedentemente fissati (facendo coincidere l'altezza minima di 2,40 metri al punteggio 3); fermo restando il limite di 2,00 metri, l'altezza da attribuire al punteggio 2 è stata così determinata per interpolazione lineare.

⁴⁵ Limite di legge per abitazioni costruite ad un'altitudine pari o superiore a 1000 metri s.l.m. (art.1 del DM 190/1975).

⁴⁶ Cfr. art.3 del DM LLPP 801/1977.

⁴⁷ In relazione a quanto contenuto nell'art.2 del DM 190/1975, vengono attribuiti i valori di superficie utile ad abitante a cui corrisponde il punteggio 3 (sufficienza). I valori da attribuire ai punteggi 4 (buono) e 5 (ottimo), sono stati ottenuti con un incremento del 50% e del 100% rispettivamente; infine, si è qui scelto di porre il valore di sufficienza (riportato nel DM) pari al 140% del valore minimo al di sotto del quale considerare la superficie abitabile di estensione inaccettabile (cioè pari a 0): eseguendo il calcolo all'inverso, ed interpolando linearmente, sono stati stabiliti i valori da attribuire ai punteggi 1 (mediocre) e 2 (insufficiente).

Tabella 11 – Superficie abitabile totale dell'Unità Immobiliare

Numero di abitanti	0	1	2	3	4	5
Uno	< 10 m ²	≥ 10 m ²	≥ 12 m ²	≥ 14 m ²	≥ 21 m ²	≥ 28 m ²
Due	< 20 m ²	≥ 20 m ²	≥ 24 m ²	≥ 28 m ²	≥ 42 m ²	≥ 56 m ²
Tre	< 30 m ²	≥ 30 m ²	≥ 36 m ²	≥ 42 m ²	≥ 63 m ²	≥ 84 m ²
Quattro	< 40 m ²	≥ 40 m ²	≥ 48 m ²	≥ 56 m ²	≥ 84 m ²	≥ 112 m ²
Per ogni abitante in più	< +7 m ²	≥ +7 m ²	≥ +8,5 m ²	≥ +10 m ²	≥ +15 m ²	≥ +20 m ²

Per le camere da letto, la norma⁴⁸ prevede una superficie pari a 9 m² per un solo utilizzatore, e 14 m² per due utenti. Da una semplice verifica svolta in ragione della dimensione degli arredi necessari, è facilmente riscontrabile che ad ogni posto letto corrisponde un ingombro minimo di circa 5 m² e che, con la giusta disposizione (Figura 5), è possibile moltiplicare questo valore per il numero di occupanti per ottenere l'estensione minima capace di contenere tale Unità Ambientale. Al limite di legge, come già accaduto per i precedenti indici, si fa corrispondere il valore 3; il giudizio ottimo (valore 5) coincide con la superficie equivalente ad un posto letto in più, e il valore intermedio (pari a 4) si ottiene per semplice interpolazione lineare.

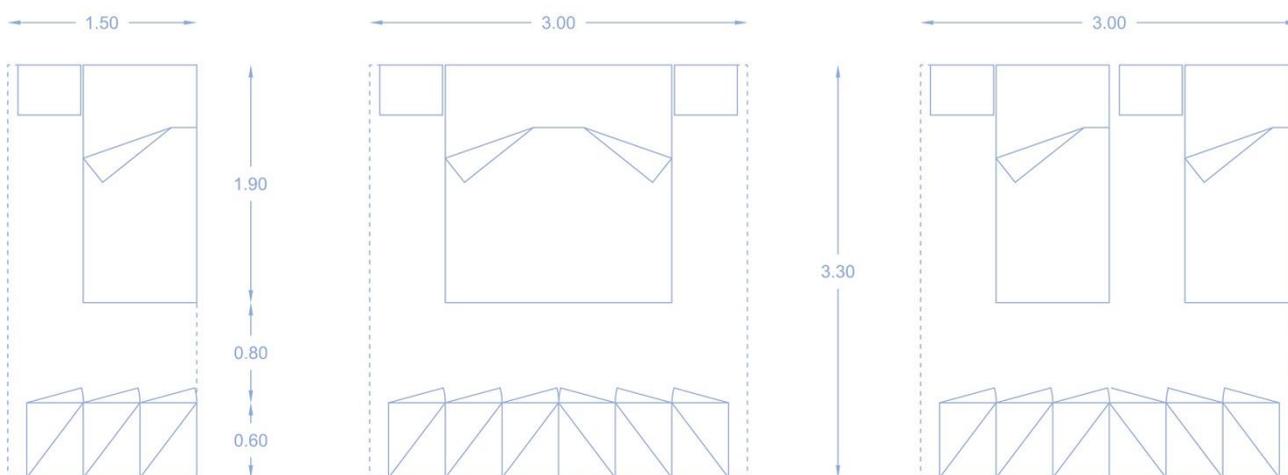


Figura 5 – Dimensioni minime per l'UA-03 – Camera da letto

Per quanto attiene il soggiorno, per legge⁴⁹ questo deve avere un'estensione di 14 m², al di là del numero di abitanti previsto per l'UI. Come facilmente riscontrabile (Statistiche storiche dell'Italia, 1976), nell'anno di emissione del Decreto il nucleo familiare italiano medio era formato da 3,3 componenti; anche in questo caso, considerata la dimensione degli elementi di arredo che attrezzano l'UA02 – Soggiorno, è immediatamente riscontrabile che un ES di tale superficie consente di ospitare tre persone (Figura 6), con un'area di circa 4,2 m² ad occupante. Tale valore viene assunto a base della valutazione per stabilire la soglia per stabilire la sufficienza (livello 3) in funzione del numero di abitanti. Stabilito poi che il valore ottimale (livello 5) si raggiunge per un'estensione maggiore di 4,2 m² rispetto alla sufficienza, tutti gli altri livelli possono essere facilmente determinati per interpolazione lineare.

Per quanto concerne i servizi, la norma non fornisce un valore dimensionale, ma richiede che almeno uno di essi sia fornito dei seguenti pezzi igienici: gabinetto, bidet, bagno o doccia, lavabo⁵⁰. Considerate le dimensioni standard che si possono desumere da una semplice indagine merceologica⁵¹, è possibile verificare come sia possibile inserire tali elementi in uno spazio avente una estensione di circa 3,00 m²; tale valore quindi viene posto come soglia centrale (Figura 7) per la valutazione (livello 3). Considerando inoltre che la dotazione minima di un servizio igienico deve prevedere almeno la presenza di un wc e di un lavandino, e che tale configurazione necessita perlomeno di 1,50 m², si determina in tal modo il limite minimo di superficie al di sotto del quale risulta impossibile collocare nella ESi un'UA09.

⁴⁸ Cfr. art.2 del DM 190/1975

⁴⁹ *Ibidem*.

⁵⁰ Cfr. art.2 del DM 190/1975.

⁵¹ Da tale indagine si evincono le seguenti dimensioni: per vaso wc e bidet, 40 x 55 cm; per lavabo 40 x 60 cm; per piatto doccia, 70 x 90 cm. Lo spazio libero laterale ai vasi è di 20 cm, mentre lo spazio antistante i pezzi igienici è di 60 cm.

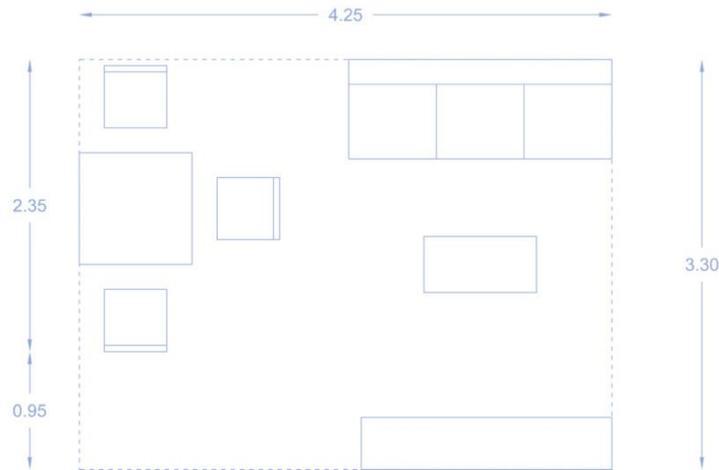


Figura 6 – Dimensioni minime per l'UA02 – Soggiorno

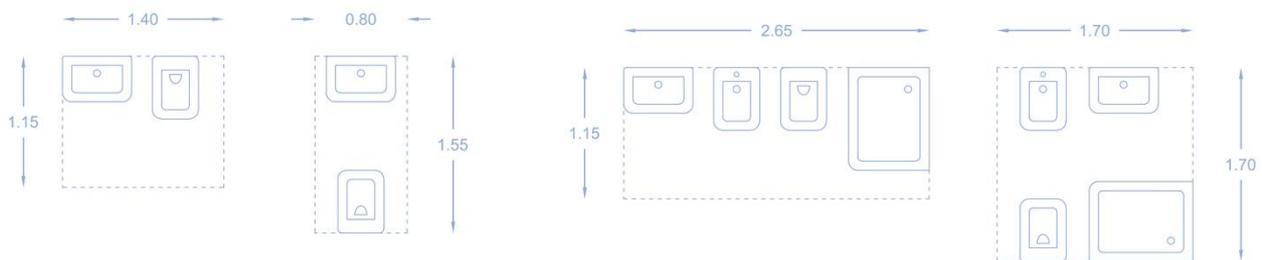


Figura 7 – Sistemazioni minime per l'UA09 – Servizi igienici

Nel caso, alquanto improbabile, di Unità Ambientali (camera da letto – soggiorno – bagno) che coesistono nel medesimo ES, queste andranno valutate singolarmente; la loro *coerenza* è infatti stimata altrove, come indicato nel §2.4.1. La Tabella 12 riporta i valori da attribuire agli indici che valutano l'estensione delle UA02, 03 e 09.

Tabella 12 – Superficie degli Elementi Spaziali funzione delle UA che ospitano

Unità ambientali	0	1	2	3	4	5
UA03 – Camere da letto						
Un posto letto	< 5 m ²	≥ 5 m ²	≥ 7,5 m ²	≥ 9 m ²	≥ 11,5 m ²	≥ 14 m ²
Due posti letto	< 10 m ²	≥ 10 m ²	≥ 12 m ²	≥ 14 m ²	≥ 16,5 m ²	≥ 19 m ²
Tre posti letto	< 15 m ²	≥ 15 m ²	≥ 14 m ²	≥ 19 m ²	≥ 21,5 m ²	≥ 24 m ²
Per ogni posto in più	< +5 m ²	≥ +5 m ²				
UA02 – Soggiorno						
Fino a tre abitanti	< 11,2 m ²	≥ 11,2 m ²	≥ 12,6 m ²	≥ 14,0 m ²	≥ 16,1 m ²	≥ 18,2 m ²
Quattro abitanti	< 14,0 m ²	≥ 14,0 m ²	≥ 16,1 m ²	≥ 18,2 m ²	≥ 20,3 m ²	≥ 22,4 m ²
Per ogni abitante in più	< +4,2 m ²	≥ +4,2 m ²				
UA09 – Servizi igienici						
	< 1,50 m ²	≥ 1,50 m ²	≥ 2,25 m ²	≥ 3,00 m ²	≥ 3,75 m ²	≥ 4,50 m ²

2.5 Il Comfort degli spazi interni

Questo indicatore vuole valutare tutti gli elementi – spaziali e tecnici ricavabili nella fase progettuale di fattibilità – che concorrono a determinare le condizioni di comfort uditivo, visivo, termoigrometrico e respiratorio in una Unità immobiliare. In particolar modo sarà presa in considerazione la disposizione spaziale degli ambienti interni in relazione al moto apparente del sole, perché questa influenza direttamente l'illuminamento e riscaldamento naturali. Inoltre, sarà valutato lo spessore delle chiusure in relazione alla possibilità di adottare soluzioni tecniche ecosostenibili già note in letteratura tecnica.

Il Comfort degli spazi interni viene articolata nei seguenti indici:

1. Forma della Costruzione (*i_{ci,f}*), che ha lo scopo di verificare la quantità di superficie disperdente in relazione all'estensione dell'Unità Immobiliare;

2. Orientamento degli Elementi Spaziali interni ($i_{ci,o}$), che verifica se le UA sono collocate in ES correttamente esposti;
3. Esposizione della Costruzione ($i_{ci,e}$), che valuta la possibilità di innescare meccanismi di ventilazione incrociata all'interno dell'abitazione;
4. Rapporto aeroilluminante delle aperture ($i_{ci,a}$), che controlla se gli infissi esterni trasparenti siano correttamente dimensionati in funzione dell'estensione degli ESi;
5. Lo spessore degli elementi opachi ($i_{ci,s}$),

La valutazione utilizzerà una scala a sei livelli così come indicati nel precedente §2.3. Il valore dell'indicatore Orientamento degli Spazi (i_{ci}) sarà valutato come:

$$i_{ci} = k_{ci} \times \frac{i_{ci,f} + i_{ci,o} + i_{ci,e} + i_{ci,a} + i_{ci,s}}{5},$$

dove il *coefficiente di controllo* k_{ci} è introdotto allo scopo di rendere nullo il valore di i_{ci} qualora uno degli indici che lo compongono fosse pari a zero (inaccettabile); in termini formali:

$$k_{ci} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,f}, i_{ci,o}, i_{ci,e}, i_{ci,a}, i_{ci,s}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,f}, i_{ci,o}, i_{ci,e}, i_{ci,a}, i_{ci,s}) \neq 0 \end{cases}$$

2.5.1 La forma della costruzione

Una componente che gioca un ruolo fondamentale sulla variazione della temperatura interna è la superficie di contatto tra zone termiche non omogenee. Trattando qui solo il caso relativo a Unità Immobiliari ad uso abitativo, risulta fondamentale stabilire il rapporto tra il volume da climatizzare e la superficie disperdente. Tale rapporto è quindi un parametro estremamente rappresentativo del modo con cui una costruzione scambia termicamente con l'ambiente esterno: in generale, forme regolari e compatte sono da preferirsi, per limitare le dispersioni.

Nella valutazione di tale rapporto, si utilizzeranno i riferimenti di legge⁵²; esprimendo la superficie S in metri quadri e il volume V in metri cubi, verrà fatto corrispondere il livello massimo al valore minimo (0,2 m⁻¹), ed il livello 1 al valore massimo (0,9 m⁻¹). Si noti che nella valutazione, l'indice $i_{ci,f}$ non può assumere valore 0 in quanto non esiste alcun obbligo di legge in relazione a tale parametro. La Tabella 13 mostra, per interpolazione lineare, i valori soglia per determinare il livello da attribuire all'indice $i_{ci,f}$.

Tabella 13 – Valori limite del rapporto S/V

Unità ambientali	1	2	3	4	5
S/V (m ⁻¹)	≥ 0,900	< 0,900	< 0,667	< 0,433	≤ 0,200

2.5.2 L'orientamento degli Elementi Spaziali interni

Com'è noto in letteratura (Arbizzani, 2015), l'orientamento delle aperture trasparenti (finestre e porte-finestre) è di grande importanza per garantire il giusto apporto di luce e calore proveniente dall'irraggiamento diretto del sole. Partendo dal semplice principio per il quale un ES deve essere esposto alla luce diretta del sole nel suo momento di utilizzo (Bruno, 2001), ed impiegando un semplice goniometro solare per una condizione equinoziale che rappresenta la media tra tutte quelle osservabili nel corso dell'anno (Figura 8⁵³), è possibile stabilire in quale momento del giorno una superficie esterna è rivolta verso il sole – condizione che ne massimizza l'irradiazione diretta.

Suddividendo la volta celeste nelle otto direzioni corrispondenti a quelle individuabili tramite la nota "rosa dei venti", e sovrapponendo le informazioni evinte dal diagramma solare, è possibile stabilire che il sole illumina:

- Le superfici esposte ad est dalle ore 6:00 fino alle ore 8:00;
- Le superfici esposte a sud-est dalle 8:00 alle 11:00;
- Le superfici esposte a sud dalle 11:00 alle 13:00;

⁵² Cfr. D.Lgs. 311/2006 e il correttivo 192.

⁵³ Il diagramma rappresentato in figura è stato generato a partire dal tool disponibile all'indirizzo http://www.tecnologica.altervista.org/php5/index.php?title=Diagramma_solare per l'equinozio primaverile (21 marzo) ed una posizione geografica 'media' di 42° 0' N e 12°30' E calcolata rispetto al territorio italiano.

- Le superfici esposte a sud-ovest dalle 13:00 alle 16:00;
- Le superfici esposte ad ovest dalle 16:00 alle 18:00.

Analizzando invece le Unità Ambientali, in funzione delle Azioni Elementari ad esse attribuite (Tabella 2), è possibile verificare che quelle a più intenso utilizzo sono le prime cinque, e cioè le UA principali e la cucina; tutte le altre hanno invece un uso saltuario.

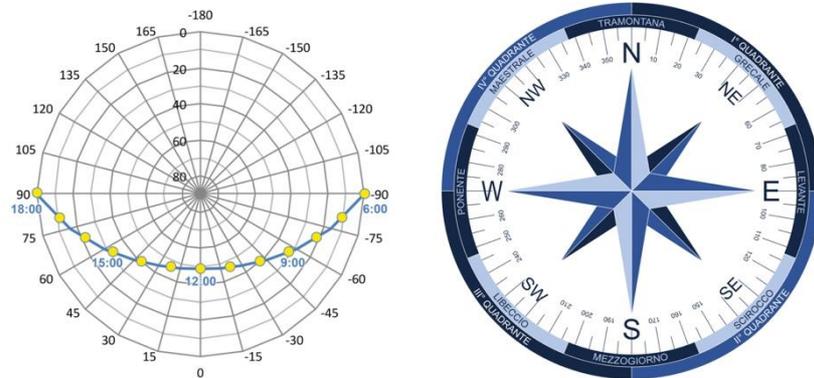


Figura 8 – Goniometro solare e, a destra, la rosa dei venti

Posizionando l’orientamento di queste unità ambientali sulla rosa dei venti, è possibile verificare che il migliore orientamento delle unità ambientali sia il seguente:

- UA01 – Pranzo, orientato a mezzogiorno (S);
- UA02 – Soggiorno, orientato a mezzogiorno (S);
- UA03 – Camera da letto, orientata a levante (E);
- UA04 – Studio, orientata a libeccio (SW);
- UA05 – Cucina, orientata a scirocco (SE).

È altrettanto chiaro che se l’elemento spaziale è fornito di un infisso orizzontale, come ad esempio un lucernario, questo avrà sempre la migliore esposizione possibile in quanto – a meno di ostacoli che proiettino ombre su di esso, riceverà sempre la luce diretta del sole.

Tabella 14 – Fascia oraria di utilizzo delle UA (al colore più intenso corrisponde un maggiore impiego)

Ora	UA Principali				UA Accessorie							UA Pertinenziali							
	Pranzo 01	Soggiorno 02	Letto 03	Studio 04	Cucina 05	Ingresso 06	Disimpegno 07	Scala int. 08	Servizi igienici 09	Lavanderia 10	Ripostiglio 11	Balcone 12	Ripostiglio est. 13	Cantina 14	Sottotetto 15	Terrazzo est. 16	Cortile 17	Giardino 18	Box 19
6 ⁰⁰ -8 ⁰⁰																			
8 ⁰⁰ -11 ⁰⁰																			
11 ⁰⁰ -13 ⁰⁰																			
13 ⁰⁰ -16 ⁰⁰																			
16 ⁰⁰ -18 ⁰⁰																			
18 ⁰⁰ -20 ⁰⁰																			
20 ⁰⁰ -0 ⁰⁰																			
0 ⁰⁰ -6 ⁰⁰																			

Stabilita così l’esposizione migliore per le prime cinque unità ambientali, la valutazione dell’indice *i_{cio}* in relazione alla differenza riscontrata tra l’orientamento degli infissi esterni e quella ottimale precedentemente stabilita. Resta inteso che, in caso di infisso orizzontale, la valutazione sarà sempre la massima (livello 5); in caso di assenza di aperture in questi ambienti, il livello attribuito sarà minimo (livello 0) in quanto questa eventualità è espressamente vietata dalla legge⁵⁴.

⁵⁴ Cfr. D.M. 190/1975.

Tabella 15 – Valutazione dell’orientamento degli infissi in funzione dell’UA contenuta nell’Elemento Spaziale

Unità ambientali	0	1	2	3	4	5
UA01 – Pranzo		N	NW, NE	W, E	SW, SE	S
UA02 – Soggiorno	Nessuna apertura	W	NW, SW	N, S	NE, SE	E
UA03 – Letto		NE	N, E	NW, SE	S, W	SW
UA04 – Studio		NW	N, W	SW, NE	S, E	SE
UA05 – Cucina						

Conoscendo quindi i j infissi esterni presenti nel k -esimo ESi_k , e le h Unità Ambientali in esso contenute, il valore del suo sotto indice $i_{ci,o,j}$ si calcola nel seguente modo:

1. si determina per ogni UA la migliore esposizione fornita dai j infissi presenti, utilizzando la Tabella 15;
2. si calcola il valore del sotto indice come media aritmetica tra tutti quelli calcolati al precedente punto 1.

Il valore da attribuirsi all’intera Unità immobiliare si calcola infine come:

$$i_{ci,o} = \frac{k_{ci,o}}{n} \sum_{j=1}^n i_{ci,o,j}$$

dove il coefficiente correttivo $k_{ci,o}$, come di consueto, è pari a:

$$k_{ci,o} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,o,1}, i_{ci,o,2}, \dots, i_{ci,o,j}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,o,1}, i_{ci,o,2}, \dots, i_{ci,o,j}) \neq 0 \end{cases}$$

2.5.3 L’esposizione della costruzione

La ventilazione degli ambienti chiusi è da sempre considerata una delle principali regole che indirizzano le buone pratiche di progettazione e costruzione, anche quando queste non siano espressamente orientate ai principi della bioarchitettura (Olgyay, 1963). È però noto in letteratura (Grosso, 1998) che la *ventilazione incrociata*, intendendo con questa i meccanismi depressori che fanno insorgere un flusso d’aria che spontaneamente si propaga all’interno di una costruzione attraverso gli infissi, è originata dai differenti *coefficienti di pressione* che si registrano sulle facciate di un edificio, quando quest’ultimo è investito dal vento.

Le differenze di pressione sulle facciate sono influenzate sia dalla velocità e dalla direzione dei venti, ma anche – e soprattutto – dalla presenza di aperture tra loro diversamente orientate (Houghton & Carruthers, 1976). Per tale motivo:

1. più la differenza di esposizione tra due aperture è elevata (per un massimo di 180°), maggiore sarà la probabilità che tra di esse si riscontrino le necessarie condizioni di pressione/depressione che danno origine alla micro ventilazione naturale (Grosso, 1998);
2. maggiore è la varietà di infissi diversamente orientati, più è probabile che una coppia di essi si trovi in condizioni di pressione/depressione in funzione del vento presente in quel momento.

L’indice $i_{ci,e}$ quindi sarà determinato come media aritmetica calcolata tra i sotto indici $i_{ci,e,d}$ e $i_{ci,e,v}$ che valutano rispettivamente le condizioni espresse ai punti 1 e 2 precedentemente esposti.

Per valutare il sotto indice $i_{ci,e,d}$, avendo già dovuto determinare al precedente §2.5.2 per ogni infisso esterno (ad esclusione delle porte di ingresso, che restano normalmente chiuse per garantire la sicurezza degli occupanti) la sua esposizione, utilizzando le otto direzioni della rosa dei venti è possibile attribuire *ad ogni coppia di infissi presenti al medesimo piano*⁵⁵ la valutazione che si evince dalla seguente Tabella 16. Il sotto indice $i_{ci,e,d}$ risulterà pari al più elevato valore riscontrato tra ogni coppia⁵⁶.

Per valutare invece la varietà degli infissi, per ognuno di essi si dovrà determinare verso quale quadrante è orientato, facendo riferimento ai quadranti della rosa dei venti (Figura 8). Il valore al sotto indice $i_{ci,e,v}$ sarà attribuito nel seguente modo:

- Valore **5**, se l’UI ha infissi esterni esposti verso tutti i quattro quadranti;
- Valore **4**, se l’UI ha infissi esterni esposti verso tre dei quattro quadranti;

⁵⁵ Nel caso di una Unità Immobiliare a più livelli, la valutazione dovrà essere condotta separatamente ad ogni piano.

⁵⁶ Nel caso di più piani, il sotto indice sarà determinato come media aritmetica di tutti i sotto-sotto indici determinati per ogni livello.

- Valore **3**, se l’UI ha infissi esterni esposti verso due quadranti opposti;
- Valore **2**, se l’UI ha infissi esterni esposti verso due quadranti contigui;
- Valore **1**, se l’UI ha infissi esterni esposti verso un unico quadrante.

Il valore finale dell’indice $i_{ci,e}$ sarà allora: $i_{ci,e} = \frac{1}{2}(i_{ci,e,d} + i_{ci,e,v})$.

Tabella 16 – Valutazione della differenza di esposizione tra due infissi esterni

Orientamento del primo infisso	Orientamento del secondo infisso							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
N	1	2	3	4	5	4	3	2
NW	2	1	2	3	4	5	4	3
E	3	2	1	2	3	4	5	4
SE	4	3	2	1	2	3	4	5
S	5	4	3	2	1	2	3	4
SW	4	5	4	3	2	1	2	3
W	3	4	5	4	3	2	1	2
NW	2	3	4	5	4	3	2	1

2.5.4 Il rapporto aeroilluminante delle aperture

Per assicurare una corretta illuminazione ed una sufficiente aerazione, di fondamentale importanza per l’igienicità degli ambienti, la normativa prescrive – per le cinque UA di cui al precedente §2.5.3 – una superficie finestrata non inferiore a 1/8 dell’area pavimentata del locale⁵⁷. Se a tale valore si fa corrispondere una valutazione pari al livello 3, e viene preso come limite minimo (livello 0) il valore di 1/10 – che costituiva il precedente valore di legge⁵⁸ - è possibile ottenere l’intera scala di valutazione per interpolazione ed estrapolazione lineare⁵⁹.

Il sotto indice $i_{ci,a,j}$ per ogni j -esimo ESi (ospitante le UA che vanno da 01 a 05) può essere quindi valutato calcolando il rapporto tra superficie trasparente (finestre e porte finestre) e l’area pavimentata, e paragonando il risultato ottenuto ai valori soglia inseriti nella seguente tabella.

Tabella 17 – Valori soglia per il rapporto aeroilluminante

0	1	2	3	4	5
< 1/10	≥ 1/10	≥ 1/9	≥ 1/8	≥ 1/7	≥ 1/6
(0,100)	(0,100)	(0,111)	(0,125)	(0,157)	(0,167)

Come già fatto altrove, la valutazione finale dell’indice $i_{ci,a}$ viene calcolata come media matematica:

$$i_{ci,a} = \frac{k_{ci,a}}{n} \sum_{j=1}^n i_{ci,a,j}$$

dove il coefficiente correttivo $k_{ci,a}$, come sempre, è pari a:

$$k_{ci,a} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,a,1}, i_{ci,a,2}, \dots, i_{ci,a,n}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,a,1}, i_{ci,a,2}, \dots, i_{ci,a,n}) \neq 0 \end{cases}$$

2.5.5 Spessore degli elementi opachi

Nelle prime fasi di progettazione, come già precedentemente accennato, gli elementi tecnici che afferiscono al Progetto Architettonico (chiusure e partizioni, interne ed esterne) vengono definiti in termini quasi esclusivamente geometrico-spaziali; se ne individuano cioè la *forma*, la *posizione* e la *dimensione*, e non le caratteristiche tecniche e tecnologiche.

⁵⁷ Cfr. art.5 del D.M. 190/1975.

⁵⁸ Cfr. art.60 delle Istruzioni Ministeriali del 20 giugno 1896.

⁵⁹ In realtà i valori proposti in tabella sono stati ottenuti determinando per interpolazione lineare i soli denominatori allo scopo di ottenere delle soglie più semplici da esprimere in termini di frazione.

Ma tutte le superfici a contatto con zone termicamente differenti rispetto alle condizioni ambientali interne – quindi in special modo le chiusure – sono determinanti per contrastare la dispersione del calore; al §2.5.1 è stata proposta una procedura per valutare l'estensione di tale superficie di contatto in relazione al volume degli spazi chiusi dell'Unità Immobiliare; qui si proverà a dare una valutazione sulla possibilità, nei successivi step di sviluppo (progetto definitivo ed esecutivo), di assicurare la giusta resistenza termica utilizzando soluzioni costruttive che in letteratura siano conosciute per la loro ecosostenibilità.

Facendo quindi riferimento alle leggi vigenti⁶⁰, è possibile stabilire i valori di trasmittanza termica che devono rispettare le pareti esterne, le coperture ed i solai inferiori (su terreno o su spazi aperti); in funzione della zona climatica di appartenenza⁶¹ (Figura 9), dell'elemento tecnico oggetto della stima e dell'anno di riferimento, è stata redatta una tabella comparativa (Tabella 18) che racchiude l'evoluzione di tali soglie a partire dall'anno 2015.



Figura 9 – Le zone climatiche del territorio italiano

È possibile osservare come la normativa abbia spinto i tecnici ad adottare nel corso degli anni soluzioni tecniche che prevedono chiusure con trasmittanze sempre più ridotte, attribuendo a tale proprietà uno dei principali ruoli nella riduzione dei consumi per la climatizzazione degli edifici.

Tabella 18 – Valori delle trasmittanze ($W m^{-2} k^{-1}$) delle chiusure opache stabiliti dalle diverse normative, per anno di applicazione

	Pareti perimetrali			Coperture			Solai inferiori		
	2015	2019	2022	2015	2019	2022	2015	2019	2022
Zona A / B	≤ 0,45	≤ 0,43	≤ 0,38	≤ 0,38	≤ 0,35	≤ 0,27	≤ 0,46	≤ 0,44	≤ 0,40
Zona C	≤ 0,38	≤ 0,34	≤ 0,30	≤ 0,36	≤ 0,33	≤ 0,27	≤ 0,40	≤ 0,38	≤ 0,30
Zona D	≤ 0,34	≤ 0,29	≤ 0,26	≤ 0,30	≤ 0,26	≤ 0,22	≤ 0,32	≤ 0,29	≤ 0,28
Zona E	≤ 0,30	≤ 0,26	≤ 0,23	≤ 0,25	≤ 0,22	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,26	≤ 0,25
Zona F	≤ 0,28	≤ 0,24	≤ 0,22	≤ 0,23	≤ 0,20	≤ 0,19	≤ 0,28	≤ 0,24	≤ 0,23

Trovati i valori *target* da raggiungere per le chiusure, occorre ora stabilire quali spessori di pareti perimetrali, coperture e solai inferiori consentono di contenere strati capaci di sviluppare la necessaria resistenza termica dell'elemento tecnico utilizzando materiali e prodotti a basso impatto ambientale.

Partendo dal presupposto che nei successivi livelli (definitivo ed esecutivo) i progettisti utilizzeranno soluzioni tecniche eco-efficienti, sono stati qui determinati gli "spessori minimi" che permettano di rispettare i limiti riportati nella Tabella 18. A tale scopo, avvalendosi delle informazioni contenute nella normativa tecnica riguardo ai tipi di chiusure più diffuse sul territorio italiano⁶², scelta la stratificazione termicamente più efficace si è provveduto a calcolarne lo spessore finale introducendo, ove necessario, uno strato coibente realizzato con prodotti a basso impatto. Visto che i valori di trasmittanza che impone la legge sono differenti per pareti, coperture e solai inferiori, il valore finale dell'indice $i_{c,i,s}$ dipenderà da tre sotto indici, e cioè:

⁶⁰ Cfr. D.Interm. 26 giugno 2015 Tab.1, 2 e 3, e D.M. 6 agosto 2020 Allegato E.

⁶¹ Cfr. D.P.R. 412/1993.

⁶² Cfr. Appendici A e B della UNI/TS 11300-1:2008.

- da $i_{ci,s,p}$, che valuta lo spessore delle pareti;
- da $i_{ci,s,c}$, che stima lo spessore delle coperture;
- da $i_{ci,s,s}$, che considera lo spessore dei solai inferiori.

Per quanto attiene le pareti, queste sono solitamente composte da uno strato *rustico* che ne costituisce la parte resistente, da una *finitura* quasi sempre costituita dagli intonaci interni ed esterni, e da uno strato *isolante*, che può essere costituito anche da una intercapedine d'aria. Noti gli spessori ed i materiali, la trasmittanza è facilmente determinabile come l'inverso della somma di tutte le resistenze termiche degli strati; nel nostro caso, fissate le resistenze R_r del rustico, R_f della finitura e R_a dell'aria, la resistenza R_i dell'isolante sarà determinata come:

$$U_{lim} = \frac{1}{R_r + R_f + R_i + R_a} \Rightarrow R_i = \frac{1}{U_{lim}} - (R_r + R_f + R_a).$$

Sapendo che $R_i = s_i/\lambda_i$, conosciuta la conduttività λ_i del materiale isolante scelto, il suo spessore risulterà $s_i = R_i\lambda_i$. Dalla letteratura tecnica si ricava facilmente che $R_a = 0,13 + 0,04 = 0,17$ m²K/W; per l'intonaco, considerando uno strato interno ed esterno per un totale di 3 cm di spessore, ed impiegando una miscela di calce con conduttività di 0,60 W/m K, la resistenza è immediatamente stimabile pari a $R_f = 0,03/0,60 = 0,05$ m²K/W. Il valore $R_f + R_a$ può quindi considerarsi pari a 0,22 m²K/W.

Per quanto concerne il rustico, occorre invece distinguere due casi distinti: quando questo ha funzione strutturale o invece costituisce una semplice tamponatura.

È immediato verificare che in caso di pareti portanti, i materiali comunemente impiegati hanno conduttività decisamente elevate⁶³: 52 W/m K per l'acciaio; 1,8 W/m K per il calcestruzzo; 1,7 W/m k per il tufo; 1,6 W/m K per i calcari; 0,90 W/m K per i mattoni pieni in laterizio; 0,75 W/m K per la terra cruda⁶⁴. Solo i legni, anche se si considerano le essenze più dense e tenaci utilizzate per la loro resistenza meccanica, possono vantare valori decisamente ridotti: 0,22 W/m K per la quercia; 0,15 W/m K per il pino e il castagno; 0,12 W/m K per l'abete. Utilizzando ai fini dei calcoli proprio quest'ultimo valore minimo (tra l'altro corrispondente anche a quanto riportato nelle schede tecniche di un noto prodotto commercializzato per la realizzazione di strutture portanti continue in legno⁶⁵) ed uno spessore strutturalmente resistente di 16 cm, la parete grezza svilupperebbe una resistenza termica pari a $R_r = 0,16/0,12 = 1,33$ m²K/W.

Ora, considerando una conduttività media dell'isolante di 0,04 W/m K, valore raggiungibile impiegando prodotti di origine naturale quali il sughero (0,045 W/m K), cotone o lino (0,040 W/m K), juta (0,044 W/m K), canapa (0,037 W/m K) o lana di pecora (0,036 W/m K), è possibile ricavare lo spessore necessario per rispettare i limiti riportati nella Tabella 18; saputo così lo spessore di tutti gli strati è possibile determinare lo spessore finale della parete.

Nel caso di pareti di tamponamento, qualora si impiegasse il *termblocco* in laterizio da 25 centimetri, ripetendo il calcolo si otterrebbero spessori maggiori vista la conduttività termica più elevata dei laterizi forati (0,30 W/m K) rispetto a quella del legno⁶⁶.

In entrambi i casi, questi spessori possono essere utilizzati per la valutazione del sotto indice $i_{ci,s,p}$; per ogni j -esima parete perimetrale, si confronta il suo spessore con i valori limite riportati nella Tabella 19, e se ne attribuisce la relativa stima; in tal caso sarà:

$$i_{ci,s,p} = \frac{k_{ci,s,p}}{n} \sum_{j=1}^n i_{ci,s,p,j},$$

avendo posto:

$$k_{ci,s,c} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,s,p,1}, i_{ci,s,p,2}, \dots, i_{ci,s,p,n}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,s,p,1}, i_{ci,s,p,2}, \dots, i_{ci,s,p,n}) \neq 0 \end{cases}$$

Tabella 19 – Spessori (in centimetri) per le pareti perimetrali

	Parete (portante) in legno					Parete di tamponamento in laterizio						
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Zona A / B	< 22	-	-	≥ 22	≥ 22,5	≥ 23	< 33	≥ 33	≥ 33,5	≥ 34	≥ 34,5	≥ 35
Zona C	< 23	≥ 23	≥ 23,5	≥ 24	≥ 25	≥ 26	< 35	≥ 35	≥ 35,5	≥ 36	≥ 37	≥ 38

⁶³ Cfr. UNI 10351:1994

⁶⁴ Per tale valore, cfr.: Achenza, M. & Sanna, U. eds. (2008). *Il manuale telematico della terra cruda*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.

⁶⁵ Cfr.: https://www.xlamdolomiti.it/local/storage/uploadz/Schede_Tecniche_XLAM_Dolomiti.pdf

⁶⁶ Cfr. Appendice B UNI/TS 11300.

Zona D	< 24	≥ 24	≥ 25	≥ 26	≥ 27	≥ 28	< 36	≥ 36	≥ 37	≥ 38	≥ 39	≥ 40
Zona E	< 26	≥ 26	≥ 27	≥ 28	≥ 29	≥ 30	< 38	≥ 38	≥ 39	≥ 40	≥ 41	≥ 42
Zona F	< 27	≥ 27	≥ 28	≥ 29	≥ 29,5	≥ 30	< 39	≥ 39	≥ 41,5	-	-	≥ 42

Analoga procedura si applicherà per le coperture ed i solai a terra, ricordando però che in tal caso questi elementi tecnici sono sempre portanti: per tale motivo la parte *al rustico* ha una funzione strutturale. Per quanto concerne le coperture, siano esse piane o inclinate, dallo studio della normativa tecnica⁶⁷ può evincersi che un solaio in legno o in laterocemento dello spessore finale di 25 cm ha una resistenza termica $R_r + R_f + R_a = 0,57 \text{ m}^2\text{K/W}$; con riferimento ai valori soglia inseriti nella Tabella 18, è possibile determinare la resistenza termica R_i dello strato isolante, e quindi lo spessore che occorre aggiungere alla copertura per ottenere una determinata trasmittanza. La Tabella 20 raccoglie gli spessori delle coperture in funzione della zona climatica grazie ai quali è possibile individuare la valutazione da attribuire ad ogni h -esima chiusura superiore, e quindi calcolare il sotto indice $i_{ci,s,c}$ utilizzando la relazione:

$$i_{ci,s,c} = \frac{k_{ci,s,c}}{m} \sum_{h=1}^m i_{ci,s,p,h}$$

dove naturalmente:

$$k_{ci,s,c} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,s,c,1}, i_{ci,s,c,2}, \dots, i_{ci,s,c,m}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,s,c,1}, i_{ci,s,c,2}, \dots, i_{ci,s,c,m}) \neq 0 \end{cases}$$

Infine, nel caso di solai inferiori su spazi aperti o contro terra⁶⁸, la resistenza termica per un analogo spessore di 25 cm risulterebbe pari a $R_r + R_f + R_a = 0,60$; utilizzando il medesimo calcolo, si ottengono i valori relativi agli spessori 'soglia' raccolti nella Tabella 20 grazie ai quali si effettua la valutazione dell' q -esimo solaio inferiore grazie al quale si calcola il valore del sotto indice $i_{ci,s,s}$ attraverso la consueta formula:

$$i_{ci,s,s} = \frac{k_{ci,s,s}}{l} \sum_{q=1}^l i_{ci,s,p,q}$$

dove, come di consueto:

$$k_{ci,s,s} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,s,s,1}, i_{ci,s,s,2}, \dots, i_{ci,s,s,m}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,s,s,1}, i_{ci,s,s,2}, \dots, i_{ci,s,s,m}) \neq 0 \end{cases}$$

Tabella 20 – Spessori (in centimetri) per coperture e solai inferiori

	Coperture						Solai inferiori					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Zona A / B	< 34	≥ 34	≥ 34,5	≥ 35	≥ 36,5	≥ 38	< 34	≥ 34	≥ 34,5	≥ 35	≥ 36,5	≥ 38
Zona C	< 34	≥ 34	≥ 34,5	≥ 35	≥ 36,5	≥ 38	< 34	≥ 34	≥ 34,5	≥ 35	≥ 36,5	≥ 38
Zona D	< 37	≥ 37	≥ 38	≥ 39	≥ 40	≥ 41	< 36	≥ 36	≥ 37	≥ 38	≥ 39,5	≥ 41
Zona E	< 39	≥ 39	≥ 40	≥ 41	≥ 42	≥ 43	< 38	≥ 38	≥ 39,5	≥ 41	≥ 42	≥ 43
Zona F	< 41	≥ 41	≥ 42	≥ 43	≥ 43,5	≥ 44	< 39	≥ 39	≥ 41	≥ 43	≥ 43,5	≥ 44

Trovati così i sotto indici, l'indice $i_{ci,s}$ sarà pari a:

$$i_{ci,s} = \frac{k_{ci,s}}{s_p + s_c + s_s} (i_{ci,s,p}s_p + i_{ci,s,c}s_c + i_{ci,s,s}s_s), \quad \text{con: } k_{ci,s} = \begin{cases} 0, & \min(i_{ci,s,s,1}, i_{ci,s,s,2}, \dots, i_{ci,s,s,m}) = 0 \\ 1, & \min(i_{ci,s,s,1}, i_{ci,s,s,2}, \dots, i_{ci,s,s,m}) \neq 0 \end{cases}$$

I valori s_p , s_c e s_s sono le superfici disperdenti di pareti, coperture e solai inferiori, rispettivamente⁶⁹.

⁶⁷ Cfr. Prospetto A.4, Appendice A UNI/TS 11300; cfr. anche Prospetto III p.59 UNI 10355:1994.

⁶⁸ In quest'ultimo caso occorrerà impiegare necessariamente il calcestruzzo in quanto il legno non può essere utilizzato a causa della sua tendenza a marcire/fessurarsi in un ambiente soggetto ad oscillazioni di umidità elevate.

⁶⁹ Si noti che la loro somma restituisce il valore S utilizzato nel §2.5.1.

3 L'applicazione del protocollo al sistema BIM

3.1 Il Sistema Edilizio ed il *Building Information Modeling*

Il Sistema Edilizio, ed i suoi subsistemi Ambientale e Tecnologico, hanno fornito nel capitolo precedente la struttura teorica necessaria al protocollo di valutazione, in quanto permettono di articolare, tra spazi, funzioni e oggetti costruiti, i necessari algoritmi di valutazione della Qualità Ambientale.

Come già ampiamente ricordato nelle precedenti pagine, durante la fase di Progetto di Fattibilità – quando vengono definite le principali caratteristiche funzionali-spaziali della costruzione – è importante disporre già di un protocollo di valutazione della QA allo scopo di orientare il Progettista verso soluzioni a basso impatto ambientale, in grado comunque di massimizzare il comfort degli utenti finali.

Per poter essere un utile strumento, questo sistema di valutazione deve però essere soprattutto *user friendly*: deve cioè richiedere *un lavoro minimo di implementazione*, in quanto:

1. durante il Progetto di fattibilità non sono disponibili risorse, economiche e temporali, da destinare ad attività non strettamente necessarie alla progettazione;
2. nel corso dell'iter progettuale, il Progetto di fattibilità deve sviluppare più soluzioni allo scopo di confrontarle, ed in tal caso la valutazione della qualità deve avvenire contestualmente – o quasi – all'evoluzione del lavoro.

La mancata diffusione nella pratica professionale di validi *tool* già messi a punto nel passato in ambito accademico può essere spiegata proprio nella loro mancanza di *usabilità*⁷⁰, in quanto la realizzazione dell'*interfaccia*, uno dei passaggi più importanti e più complessi da realizzare nell'elaborazione di uno strumento sia informatico che non, richiede competenze molto specifiche e non facili da acquisire.

Oggi la ricerca dell'*user friendly interface* è estremamente avanzata (Ausiello *et al.*, 2000) in quanto spesso costituisce il vero valore aggiunto di un software o di un device; il limite più spinto è proprio quello di *abolirne la percezione*: l'utente, in altre parole, utilizza l'applicazione o lo strumento attraverso gesti e modalità di uso che considera naturali ed intuitive, senza ricorrere ad istruzioni o a spiegazioni complesse. Questa modalità avanzata di interazione uomo-macchina, al di là di qualunque valutazione di tipo socio-filosofica (Galimberti, 2007) e sulle sue eventuali ricadute negative (Parodi, 2018), è una prerogativa delle *software house* di calibro mondiale, in quanto si fonda sulla capacità del software di approcciarsi all'utente attraverso sistemi complessi di profilatura che utilizzano sistemi basati sull'intelligenza artificiale⁷¹.

Tale prospettiva naturalmente esorbita i limiti di questa ricerca, ma occorre comunque cercare di cogliere la possibilità per sviluppare un sistema capace di implementare i dati, di elaborarli e di restituirli sottoforma di valutazione, che operi *in background* mentre il progettista è intento a utilizzare quei programmi di progettazione che comunque avrebbe impiegato per l'assolvimento dell'incarico ricevuto.

La strategia ed il successo commerciale dei software che si basano su una logica BIM, oltre al grande vantaggio che oggettivamente tale approccio comporta, deve tanto all'uso di un'interfaccia *WIMP* (*Window, Icon Menu and Pointing device*): ricalcando le *GUIs interfaces* (*Graphical User Interfaces*) – che hanno caratterizzato fin da subito le applicazioni CAD – hanno permesso ai progettisti di passare quasi immediatamente e senza particolare impegno dall'uno all'altro tipo di programma.

⁷⁰ Misura del “[...] grado di facilità e soddisfazione con cui gli utenti si relazionano con l'interfaccia di un sito o app, che risulteranno quindi tanto più usabili, quanto più le analisi alla base della progettazione si avvicinano alle aspettative del soggetto che interagisce con il sistema”. Definizione disponibile sul sito AGID – Agenzia per l'Italia Digitale all'indirizzo <https://www.agid.gov.it/it/design-servizi/usabilita>.

⁷¹ “In questo senso, la più efficace interfaccia è l'assenza stessa di interfaccia. Le tecnologie si stanno pertanto orientando verso interfacce adattive in grado di costruire, attraverso l'interazione, un profilo dell'utente e verso modalità di interazione che operino un radicale mutamento rispetto al paradigma WIMP. Le cosiddette interfacce post-WIMP si basano sull'uso della gestualità e sul riconoscimento del parlato per la comprensione dei comandi e delle interazioni. Ma per raggiungere l'ideale situazione in cui l'interfaccia è abolita perché i due soggetti (utente ed elaboratore) si intendono anche senza scambiarsi messaggi o comandi, è necessario studiare nuovi paradigmi, come per es. quello 'del maggiordomo', in cui l'elaboratore conosce discretamente la personalità dell'utente, le sue esigenze, le sue idiosincrasie, al punto di anticiparne silenziosamente le intenzioni.” (Ausiello *et al.*, 2000).

Ma, anche se condividono importanti segmenti di programmazione – come appunto le GUI, o le strutture a database per effettuare lo storage dei dati –, CAD e BIM hanno comunque due *filosofie di approccio* fondamentalmente differenti; proprio però la *comune struttura dei dati*, e la modalità di raccolta all'interno dei file, offre la possibilità di applicare il metodo di valutazione descritto nel precedente capitolo a qualunque tipo di software, sia CAD che BIM.

È quindi importante comprenderne le invarianti comuni, perché ciò darà la possibilità di sviluppare il *tool* di valutazioni in modo che esso possa essere applicato ad ogni tipo di programma, e – perché sia *user friendly* – che funzioni contemporaneamente ad esso, senza che il progettista interrompa il proprio lavoro sul principale software che sta utilizzando durante la progettazione.

Negli applicativi di tipo CAD, la *modellazione* del progetto avviene per elementi grafici di natura geometrica, caratterizzati da un insieme di *punti* tra loro correlati: rappresentando quindi un punto attraverso le sue tre coordinate cartesiane, ogni elemento geometrico può essere concepito come una *n*-upla di terne, se *n* è il numero di punti che occorre a definirlo. Ora, si noti che un Elemento Spaziale può essere geometricamente (parzialmente) rappresentato attraverso un *poligono piano*, che corrisponda alla proiezione orizzontale della sua superficie pavimentata; in tal modo, l'ES condividerà con detto poligono alcuni valori relativi alla sua *estensione*, quali il perimetro e l'area, che possono essere facilmente *estratti* da tale ente geometrico, per poi venire utilizzati dal sistema di valutazione e dai suoi algoritmi. Inoltre, se i suoi vertici vengono definiti utilizzando una logica appropriata (Figura 10), questi possono fornire la *lunghezza* delle pareti che racchiudono l'ambiente. Tutti questi valori possono inoltre venire dinamicamente aggiornati nel protocollo di valutazione ogni volta che il progettista li modifica nell'ambiente CAD. Ma è evidente che il limite di tale tipo di software è costituito proprio dal fatto che gli *oggetti* di cui si compone sono (quasi) esclusivamente di tipo geometrico – o comunque grafico: a meno di non disporre di apposite funzioni che permettano di associare *attributi* di diversa natura alle primitive geometriche, il processo di estrapolazione si ferma qui, ed occorrerà proseguire l'implementazione dei dati in una procedura esterna all'applicazione impiegata.

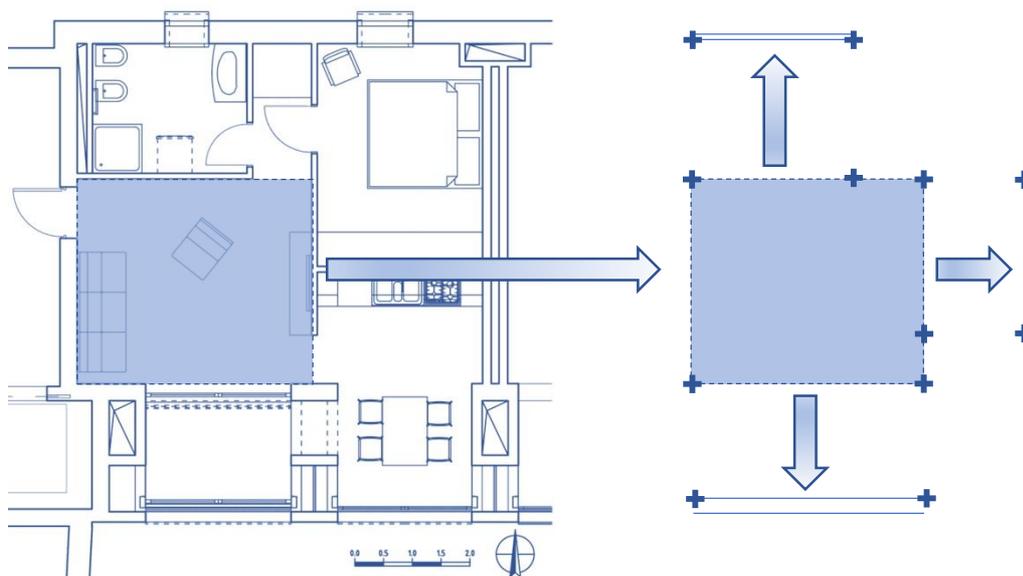


Figura 10 – Estrazione dei dati geometrici da una figura piana in ambiente CAD

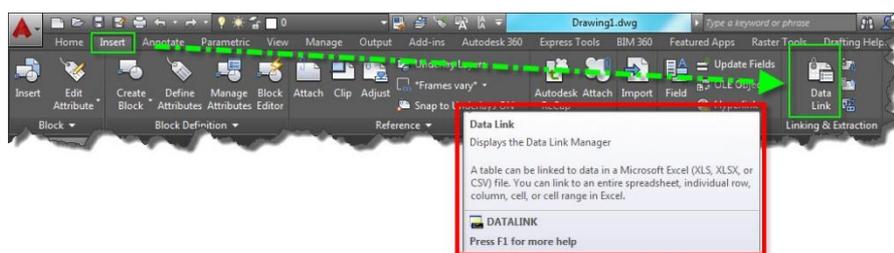


Figura 11 – Riproduzione del menù di AutoCAD™ che permette l'inserimento di dati esterni memorizzati su fogli di calcolo⁷²

⁷² Immagine disponibile all'indirizzo <https://autocadtips.files.wordpress.com/2014/07/data-link-1.jpg>.

Nel passato questa limitazione veniva parzialmente colmata dalla possibilità di creare un'associazione tra un foglio di calcolo, e quindi da i *record* in esso contenuti, e gli elementi presenti nel modello CAD; AutoCAD™ di Autodesk™, giusto per citare uno dei programmi di disegno assistito più diffusi al mondo, ancora oggi presenta un comando *Data link* in grado di creare questo collegamento con database creati utilizzando Microsoft Excel™, il software maggiormente utilizzato per la creazione di *data sheet* (Figura 11).

Configurando quindi una tabella nella quale ogni record corrisponde ad un Elemento Spaziale, ed inserendo i necessari campi per l'inserimento di tutte le variabili necessarie alla valutazione, sarà possibile estrarre i dati disponibili sul disegno CAD direttamente dal suo database, e completare quelli mancanti digitandoli direttamente in Excel (o altro programma, se compatibile); questa procedura – certamente più elaborata e macchinosa – consente comunque la predisposizione di uno 'strumento digitale' di valutazione costituito da un foglio di calcolo; la procedura di importazione CAD →XLS varierà in funzione dell'applicativo di partenza.

In ambiente BIM la modellazione avviene sempre – dal punto di vista squisitamente informatico – per entità geometriche: queste però, al contrario del CAD, sono concepite e categorizzate in relazione alla loro funzione rispetto all'edificio, ed è quindi possibile stabilire una corrispondenza biunivoca tra *entità BIM* e *Elementi* del Subsistema Tecnologico. Ogni software, com'è normale, offre i suoi strumenti e la sua *barra dei comandi*, ma paragonando i due programmi BIM più noti e diffusi, ArchiCAD™ di Graphisoft™ e Revit™ di Autodesk™, è possibile redigere una sorta di 'tabella di conversione' (Tabella 21) dalla quale si può facilmente verificare i numerosi *punti di contatto* tra scomposizione tecnologica e logica BIM.

Tabella 21 – Relazione tra (classi di) Elementi Tecnici ed oggetti BIM

Subsistema Tecnologico		Software BIM	
Unità Tecnologiche	Classe di Elementi Tecnici	ArchiCAD™ Toolbox	Revit™ Architecture Tab
Chiusure verticali	Pareti perimetrali verticali	Wall	Wall
Partizioni interne verticali	Pareti interne verticali		
Chiusure verticali	Infissi esterni verticali	Door	Door
Partizioni interne verticali	Infissi interni verticali		
Chiusure verticali	Infissi esterni verticali	Window	Window
Partizioni interne verticali	Partizioni interne verticali		
Struttura di elevazione	Strutture di elev. verticali	Column	Column
Struttura di elevazione	Strutture di elev. orizzontali	Beam	-
Partizioni interne inclinate	Scale Rampe interne	Stair	Ramp
Partizioni esterne inclinate	Scale rampe esterne		Stair
Chiusure superiori	Coperture	Roof	Roof
Chiusure orizzontali inferiori	Solai a terra	Slab	Ceiling
Chiusure superiori	Coperture		Floor
Partizioni interne orizzontali	Solai Soppalchi interni		
Partizioni esterne orizzontali	Balconi Logge Passerelle		

Oltre a permettere l'inserimento degli *elementi costruiti*, gli applicativi BIM consentono anche di definire gli *spazi* che, nel Sistema Tecnologico, corrispondono agli Elementi Spaziali del Subsistema Ambientale. Anche qui ArchiCAD™ e Revit™ offrono due strumenti tra loro equipollenti: le *Zone* ed i *Locali*, rispettivamente. Così come già precedentemente illustrato per le applicazioni CAD, questi comandi creano superfici piane dotate di superficie e perimetro; ma in tal caso, queste sono dinamicamente aggiornate ogni qual volta che gli ET che delimitano l'ES vengono modificati dal progettista in quanto *elementi tecnici e spaziali sono tra loro interconnessi*. Tale collegamento permette quindi di disporre in fase progettuale di un potentissimo sistema di editing, soprattutto quando nel Progetto di Fattibilità devono essere confrontate differenti soluzioni.

Anche nel caso di ambiente BIM è possibile importare/esportare i dati verso un foglio di calcolo, ed in particolare:

- in ArchiCAD™ è possibile utilizzare il comando *Interoperabilità* disponibile nel menu *Archivio*;
- in Revit™ occorre impiegare la piattaforma nativa di programmazione visiva Dynamo™ grazie alla quale viene creato un *nodo* in grado di localizzare, aprire e leggere/scrivere sullo *spreadsheet* prescelto.

Occorre comunque notare che Dynamo™ è una piattaforma sufficientemente potente per poter implementare tutti gli algoritmi di valutazione del metodo proposto nel Capitolo 2 ma in questa ricerca verrà utilizzato un foglio di calcolo Ex-

cel™ per permettere di sviluppare uno strumento capace di poter funzionare tanto in ambiente CAD che in BIM, indifferentemente dal software impiegato per lo sviluppo del Progetto di Fattibilità. Cambieranno, naturalmente, le procedure necessarie per effettuare la scrittura e la lettura da e verso l'applicativo per il 'disegno', ma il *core* del processo di valutazione sarà il medesimo. Tale scelta è quindi conseguente al proposito di realizzare un *kernel* indipendente, e quindi utilizzabile in qualunque ambiente.

3.2 I dati prelevabili dal *Building Information Modeling*

L'interoperabilità tra BIM (o CAD, nel caso più semplice) e fogli di calcolo permette di sviluppare lo strumento di valutazione utilizzando quest'ultima tipologia di software, ed in special modo la versione più diffusa: Excel™ di Microsoft™. Per inciso, per rendere il processo di implementazione più semplice anche per l'utilizzatore meno esperto, il *tool* è stato costruito a partire dalle *Formule*, evitando cioè di ricorrere al più potente *Visual Basic for Application* (VBA) in quanto la presenza di *subroutine* blocca l'apertura automatica del file, e l'utente, attraverso una finestra di *pop-up*, deve approvare l'abilitazione delle *macro* in esso contenute. Nella logica *user friendly*, tale 'collo di bottiglia' può appunto essere evitato impiegando esclusivamente 'formule', anche se questa limitazione ha reso il lavoro di programmazione molto più laborioso.

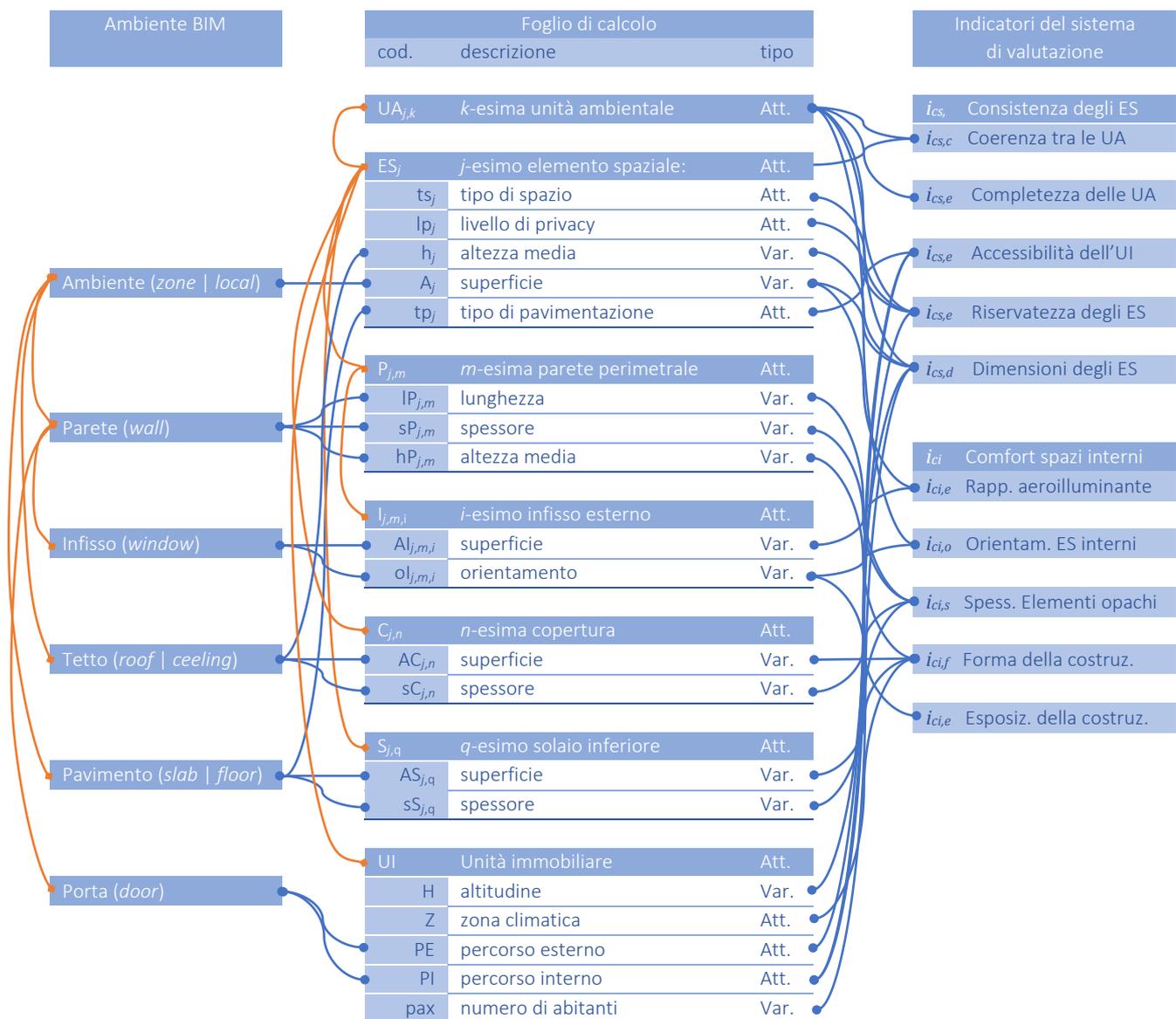


Figura 12 – Rappresentazione grafica delle connessioni e del possibile del flusso dei dati dall'ambiente BIM al kernel di calcolo

Stabilito quindi il software di sviluppo, il lavoro ora si concentra nella determinazione di tutti i dati di input, verificando quanti e quali possono essere direttamente estratti dal programma utilizzato per la progettazione. La Figura 12 riporta una rappresentazione grafica tipica del *Visual Programming*, dove i connettori azzurri sul lato sinistro rappresentano il flusso dei dati che dagli oggetti BIM procede verso il foglio di calcolo; questi, una volta memorizzati in tale formato, vengono poi impiegati nei diversi algoritmi per determinare i dieci indici grazie ai quali è possibile effettuare la valutazione. I collegamenti in colore arancione rappresentano i legami logici tra i vari oggetti BIM, posti sul lato sinistro, e tra i differenti elementi del Sistema Edilizio: qui è possibile osservare, come già precedentemente illustrato nella Figura 2, come gli Elementi Spaziali fungono da ‘elemento cerniera’ di raccordo tra Elementi Tecnici ed Unità Ambientali, e quindi rappresentano il punto di unione tra Subsistema Tecnologico e Ambientale.

La Figura 12 permette di mostrare anche la semplicità con la quale il metodo di valutazione proposto consente di prelevare dati da un software BIM, e la complessità con cui questi devono essere gestiti nel foglio di calcolo: tutto ciò va a vantaggio dell'*usabilità* del tool, in quanto l'implementatore deve solo controllare la correttezza di pochi dati in ingresso, mentre la lunga (e meccanica) lavorazione di questi viene affidata completamente allo strumento digitale. Un'altra considerazione che la figura permette di far emergere è relativa agli algoritmi di calcolo: sostanzialmente gli indici che valutano la Consistenza degli Elementi Spaziali scaturiscono quasi esclusivamente dalle variabili e dagli attributi derivati dagli ES e dalle UA presenti nell'Unità Immobiliare, mentre gli altri cinque indici che articolano la valutazione del Comfort degli spazi interni sono quasi tutti dipendenti dalle variabili relative agli Elementi Tecnici. Infine, alcuni attributi relativi all'Unità Immobiliare e agli Elementi Spaziali non sono prelevabili direttamente dall'ambiente BIM, ma devono essere inseriti direttamente nel foglio di calcolo: ciò naturalmente non esclude la possibilità di sviluppare – anche utilizzando linguaggi di programmazione dedicati – procedure in grado di rilevare tali dati direttamente dal software di progettazione.

3.3 Gli input nel foglio di calcolo per gli Elementi Spaziali

Dopo aver definito la struttura dei dati, della quale la Figura 12 ne fornisce una rappresentazione, occorre predisporre il foglio di calcolo in modo da poter consentire agevolmente la memorizzazione delle diverse variabili durante il processo di importazione dall'ambiente BIM. Certamente, il modo più semplice resta quello di disporre i *record* in riga, facendo corrispondere ogni riga ad un Elemento Spaziale, e in colonna i differenti *campi* – corrispondenti ai parametri i cui codici sono riportati nella medesima Figura 12.

Ora, occorre osservare che in uno spreadsheet il numero di record non può essere illimitato: non già perché i software non consentono di superare un numero finito di ‘celle’, che certamente è estremamente più elevato di qualunque caso reale che si volesse valutare⁷³, ma per la necessità di definire per ognuna di esse le necessarie funzioni che riflettono gli algoritmi sviluppati nel precedente capitolo. In altri termini, bisogna stabilire il numero di righe per ognuna delle quali implementare le necessarie formule, e tale numero costituirà la ‘dimensione’ del tool, superata la quale non sarà possibile eseguire la valutazione.

Come è emerso nel precedente paragrafo, il ‘nucleo centrale’ del sistema elaborato è costituito dagli Elementi Spaziali: per tale motivo, si è stabilito così che i record corrispondono agli ES dell'Unità Immobiliare. Rilevando che, secondo i dati ufficiali ISTAT, il numero medio di stanze è di 4,24 locali ad abitazione⁷⁴, e considerando che in tale stima certamente non sono state annoverate le pertinenze esclusive (come balconi e logge) e comuni (quali cortili e terrazzi), si è ritenuto opportuno fissare a 15 il numero degli ES inseribili, considerando che tale limite permette di valutare la maggioranza dei casi riscontrabili in Italia.

Ogni Elemento Spaziale, numerato progressivamente, avrà un suo codice univoco **ES_j**, dove *j* è un numero progressivo che va da 1 a 15; per facilitarne l'individuazione, ogni ES ha un campo ‘descrizione’: questo può essere implementato anche dall'ambiente BIM in quanto sia lo strumento ‘Zone’ di ArchiCAD™ che ‘Local’ di Revit™ possiedono un campo *label* che permette sostanzialmente di ‘nominare’ le differenti stanze.

Il successivo campo, denominato ‘Tipo di spazio’, permette di scegliere tra le opzioni *Interno* | *Pertinenza esclusiva* | *Pertinenza comune*; questo particolare parametro deve essere implementato direttamente dal valutatore in quanto non viene ricavato dal progetto in ambiente BIM. Anche se in alcuni casi sarebbe possibile costruire un algoritmo in

⁷³ Microsoft™ Excel™, ad esempio, consente un massimo di 1.048.576 righe per 16.384 colonne. Cfr.: <https://support.microsoft.com/it-it/office/specifiche-e-limiti-di-excel-1672b34d-7043-467e-8e27-269d656771c3>

⁷⁴ Cfr.: http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_ALLOGGI secondo il quale il numero di abitazioni è pari a 24.135.177, mentre quello dei locali è di 102.497.749.

grado di stabilire il 'Tipo di spazio' in modo *automatico*, come ad esempio per balconi e logge, in altri (e soprattutto per le pertinenze comuni) occorrerebbe specificare sul progetto la comune proprietà dello spazio con altri utenti. Diventa quindi più semplice lasciare che l'implementatore specifichi direttamente il valore di ts_j .

Direttamente derivabili dall'oggetto BIM 'Ambiente' sono i valori di superficie A_j e volume V_j , grazie ai quali è semplice calcolare l'altezza media h_j , oggetto di successive valutazioni nel *kernel* di calcolo.

Tabella 22 – Input geometrici degli Elementi Spaziali

ES _j	descrizione	ts _j	h _j	A _j	V _j
ES01					
ES02					
...					
ES15					

Si noti che, nell'associare ad ogni Elemento Spaziale sia le Unità Ambientali che gli Elementi Tecnici, si incorre nuovamente nella necessità di stabilire il numero massimo di UA ed ET da attribuire ad ogni ES, in quanto per ogni connessione poi occorre scrivere le formule nei diversi record. Stabilito quindi un limite di quattro Unità Ambientali e quattro Elementi Tecnici per ogni tipologia, il *tool* permetterà di inserire un massimo di 60 UA e 180 ET in totale.

La seguente Tabella 23 mostra che, nel caso in cui uno dei parametri $UA_{j,i}$ corrisponda alla 'UA03 – Camera da letto', allora sarà necessario indicare il numero di posti letto nella variabile pax_j . Questa permetterà di determinare il numero totale pax di abitanti, in funzione del quale viene valutata la dimensione totale dell'Unità Immobiliare (Tabella 11) e degli ES che ospitano il soggiorno e le camere da letto (Tabella 12).

Tabella 23 – Input per le Unità Ambientali

ES _j	UA _{j,1}	UA _{j,2}	UA _{j,3}	UA _{j,4}	pax _j
ES01					
ES02					
...					
ES15					

Per gli Elementi Tecnici utilizzati nel sistema di valutazione (pareti verticali esterne, infissi verticali esterni, coperture, solai inferiori a terra o su spazi aperti), il foglio di calcolo prevede un campo nel quale inserire la superficie totale (in metri quadri), e un secondo in cui immettere per gli elementi opachi lo spessore (in centimetri) e per quelli trasparenti l'esposizione (attributo che ne indica la direzione rispetto alla rosa dei venti). Considerando quindi che per ogni ES è possibile immettere quattro diversi ET per ogni tipo, il totale delle celle richieste in ogni record sarà trentadue.

Per quanto attiene le chiusure verticali, si osservi che queste vengono implementate in ambiente BIM creando prima la parete (*wall*) e successivamente inserendo la finestra (*window*); per tale motivo, nei software di progettazione gli infissi sono direttamente connessi alle pareti. Queste, a loro volta, costituiscono il limite planimetrico degli ambienti, in una catena relazionale $ES_j \rightarrow P_{j,m} \rightarrow I_{j,m,i}$ nel sistema di valutazione, e quindi nel foglio di calcolo, interessa esclusivamente il legame $ES_j \rightarrow I_{j,m,i}$ al di là della parete $P_{j,m}$ sulla quale insiste il singolo infisso. Per tale motivo, come riportato nella Tabella 24, non occorre indicare $P_{j,m} \rightarrow I_{j,m,i}$. Inoltre, se la procedura di importazione avviene utilizzando un software BIM, sarà possibile implementare direttamente la superficie delle pareti, senza la necessità di memorizzare lunghezza ed altezza, per poi calcolarne l'area.

Tabella 24 – Input per le Chiusure Verticali

ES _j	AP _{j,1}	AP _{j,2}	AP _{j,3}	AP _{j,4}	sP _{j,1}	sP _{j,2}	sP _{j,3}	sP _{j,4}	Al _{j,1}	Al _{j,2}	Al _{j,3}	Al _{j,4}	ol _{j,1}	ol _{j,2}	ol _{j,3}	ol _{j,4}
ES01																
ES02																
...																
ES15																

Nel caso invece delle chiusure orizzontali, sia superiori che inferiori, sia gli oggetti BIM che quelli CAD utilizzati per rappresentarli sono entrambi dotati di superficie; nel caso di utilizzo di un software CAD, nel foglio di calcolo occorrerà inserire manualmente lo spessore – come anche per le pareti (Tabella 25).

Per rendere più agevole la verifica, il controllo e l'inserimento da parte del valutatore, il foglio di calcolo ordina tutti i dati relativi agli Elementi Tecnici e Spaziali, nonché delle Unità Ambientali in essi contenuti, in quindici *schede* – una per ogni ES implementabile nel tool di valutazione. Un semplice sistema di formule permette di collegare i campi della tabella (mostrata in Figura 13) alle schede, delle quali la Figura 14 ne raffigura le prime tre relative agli ES01, ES02 e ES03. In particolare, la colonna 'Note' relativa alla sezione degli Elementi Tecnici consente di visualizzare un messaggio di errore qualora i dati inseriti fossero parziali, aiutando il controllo della correttezza dei dati in input.

Nel *form* relativo al singolo ES si può inserire l'attributo relativo al *livello di privacy* riscontrato seguendo le indicazioni contenute nella Tabella 8; si noti che la *riservatezza* di un Elemento Spaziale, secondo il protocollo definito al §2.4.4, dipende da fattori *esogeni* all'Unità Immobiliare, in quanto coinvolge la presenza di elementi dell'ambiente costruito esterno che entrano in relazione con l'UI, e che non sono oggetto di progettazione – e quindi della relativa modellazione in ambiente BIM.

Il sistema di valutazione elaborato richiede di inserire anche altri dati desumibili *a scala di edificio* (Buoniconti, 2016), cioè ad una *scala di osservazione* dei fenomeni analizzati che coinvolge, oltre l'Unità Immobiliare, altre parti della costruzione al quale appartiene, e/o ad altre vicine. Ciò deriva dal fatto che la Progettazione Ambientale, e ancor prima la Qualità Ambientale che si vuole valutare, dipende anche dal luogo in cui viene realizzato l'intervento, e dai suoi caratteri sia *naturali* (geografici e climatici) che antropici.

L'appartenenza ad una zona climatica del territorio italiano, dalla quale deriva la valutazione dello spessore delle chiusure opache, dipende dalla posizione geografica del progetto, implementabile grazie ai comandi dedicati di Revit™ (*Posizione*) e ArchiCAD™ (*Posizione progetto*), che memorizzano le coordinate e la direzione del Nord; tale posizione dovrebbe poi essere inviata ad un algoritmo che dovrebbe collocarla in una delle aree geografiche omogenee del territorio italiano illustrate nella Figura 9. È invece senz'altro più semplice chiedere al progettista di inserire direttamente la zona di appartenenza, e per tale necessità è disponibile nel foglio di calcolo un semplice elenco a discesa grazie al quale è possibile scegliere la giusta opzione (Figura 15).

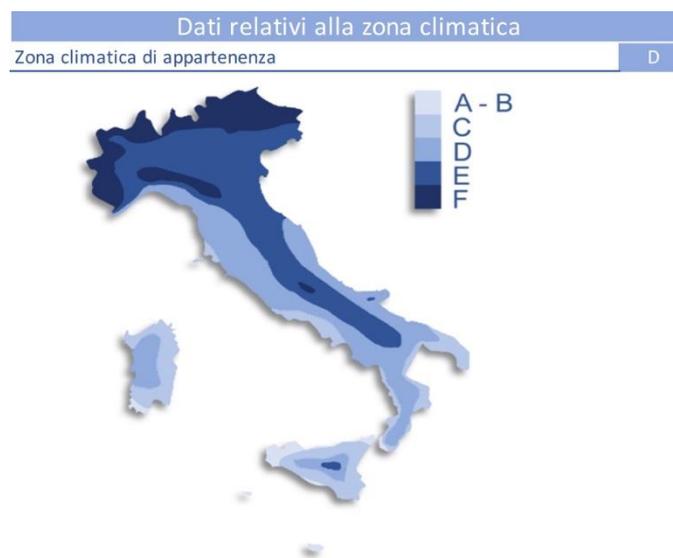


Figura 15 – Implementazione della Zona climatica nel foglio di calcolo

Anche la definizione del Livello di accessibilità (§2.4.3) richiederebbe di modellare l'intero percorso che dalla strada carribile porta all'ingresso dell'Unità Immobiliare, per poi valutare se il tragitto è percorribile da un utente diversamente abile in sedia a rotelle o, in alternativa, dotato di deambulatore.

Il protocollo informatico, quindi, dovrebbe – sulla scorta di quanto modellato in ambiente BIM – estrarre tutti i dati geometrici dal modello, necessari ed eseguire il diagramma di flusso illustrato nella Figura 16; tutto ciò può essere più semplicemente surrogato da una scheda all'interno del foglio di calcolo che attraverso una procedura guidata, in funzione delle ramificazioni dovute alle scelte presenti nel suddetto diagramma, permetta al valutatore di inserire dati necessari. Il *form* consente anche di vedere come l'algoritmo di valutazione si aggiorni dinamicamente durante la fase l'implementazione (Figura 17).

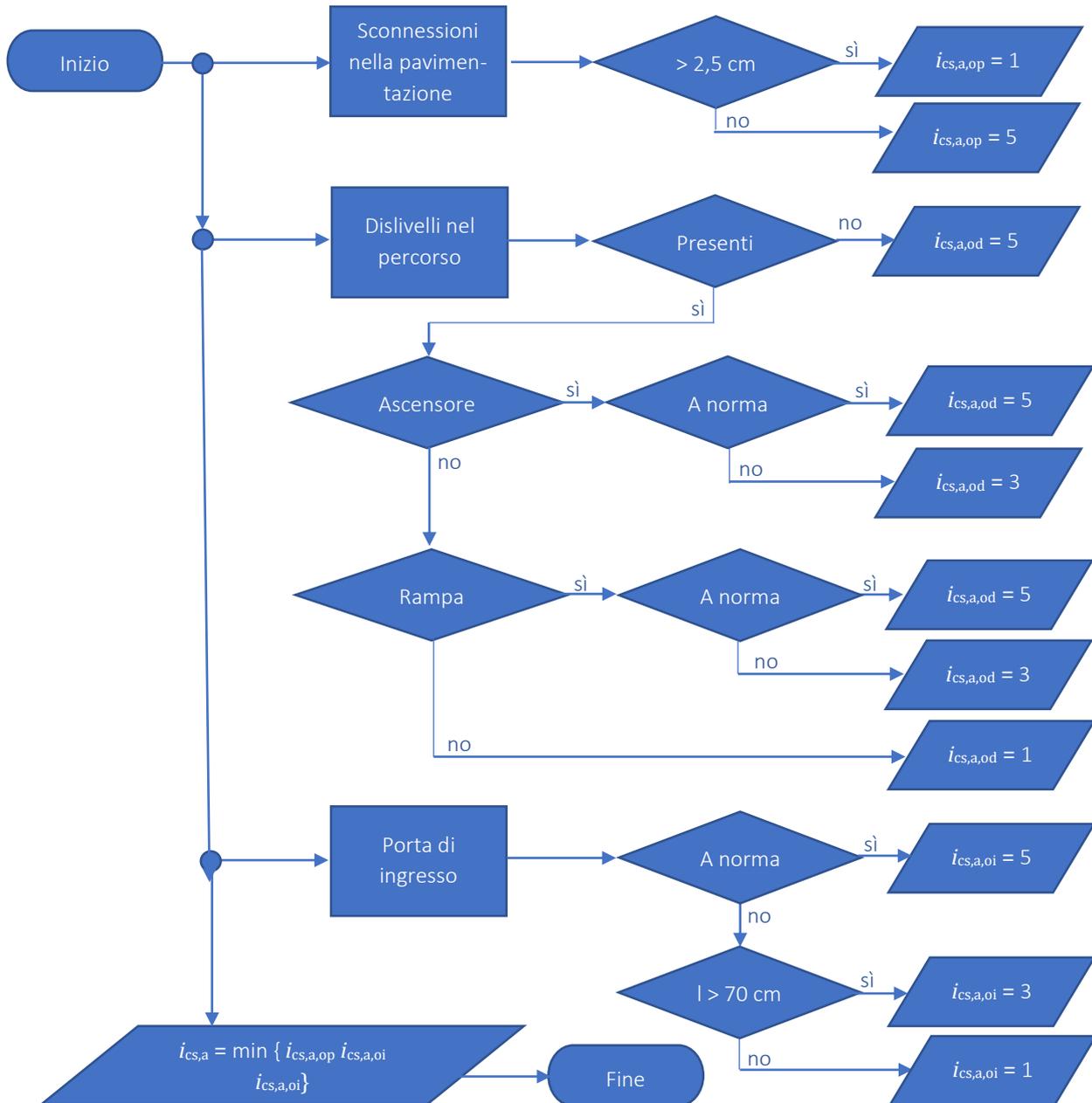


Figura 16 – Diagramma di flusso per la valutazione della percorribilità dei tragitti esterni

Dati relativi agli spazi esterni all'Unità Immobiliare		
Percorso che porta dalla strada carrabile all'ingresso della UI		
1. Tutte le pavimentazioni hanno sconnessioni o gradini inferiori o pari a 2,5 cm	Sì	5
2. Sono presenti dislivelli dalla strada carrabile all'ingresso dell'UI	Sì	
2.a Il superamento dei dislivelli avviene utilizzando ascensori	Sì	
2.a.1 Lo spazio antistante è almeno 1,4 x 1,4 m	No	
2.a.2 Lo spazio interno è almeno 1,3 x 0,9 m	No	
2.a.3 L'ingresso è largo almeno 80 cm	Sì	
2.b Il superamento di tali dislivelli prevede l'impiego di rampe inclinate	No	3
Vai al rigo 2.c		
2.c Il superamento di tali dislivelli prevede l'impiego di montascale	No	
3. La porta di ingresso all'Unità Immobiliare permette di accedere all'ES:	ES01	5
3.1 La larghezza della porta è pari a cm:	120	
3.2 Lo spazio antistante l'anta è pari a cm:	200	
3.3 Lo spazio retrostante l'anta è pari a cm:	150	
		3

Figura 17 – Scheda per l'inserimento dei percorsi esterni all'Unità Immobiliare

Stabilito il livello di accessibilità relativo al percorso esterno, la valutazione procede anche nell'Unità Immobiliare definendo tutti i percorsi attraversabili dagli utenti per raggiungere i vari Elementi Spaziali interni; tali percorsi saranno poi utilizzati sia dall' algoritmo relativo al Livello di accessibilità (§2.4.3) che da quello per stabilire il Livello di riservatezza (§2.4.4). Si noti che i percorsi sviluppabili tra i differenti ESI possono essere numerosi, soprattutto quando un ambiente può essere raggiunto da due diverse strade: nell'esempio riportato nella Figura 3, all'ambiente siglato ES8 si può accedere sia dall'ES5 – utilizzando la porta P9 – che dall'ES4 – impiegando la porta P8. Creandosi quindi un percorso circolare ES1 → ES2 → ES5 → ES8 → ES4 → ES1 è possibile utilizzare più vie per raggiungere il medesimo ESI, come mostrato nella Figura 18.

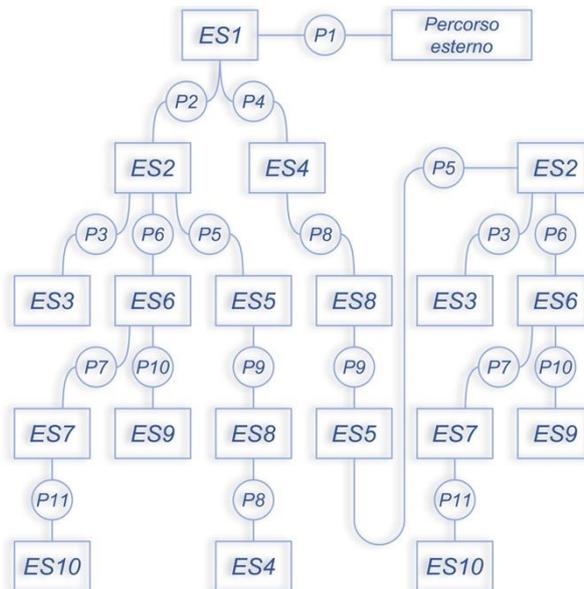


Figura 18 – Albero dei percorsi sviluppati a partire dalla disposizione planimetrica illustrata nella Figura 3

Grazie ad una scheda dedicata, il foglio di calcolo permette di inserire i dati relativi alle porte interne, consentendo di realizzare un vero e proprio *Abaco degli infissi interni* (Figura 19). Occorre notare che il numero di porte impiegate e la relativa larghezza possono essere facilmente importate dall'ambiente BIM, mentre l'attributo relativo allo *spazio libero antistante e retrostante la porta* – requisito di legge⁷⁵ riportato nella Tabella 7 – dovrà essere inserito dal progettista in quanto un eventuale algoritmo in grado di rendere automatica tale valutazione richiederebbe senza dubbio un più laborioso lavoro nella modellazione dell'Unità Immobiliare (e quindi meno *user friendly*).

Abaco porte interne					
cod.:	descrizione	larghezza:	spazio anteriore libero per:	spazio posteriore libero per	Valutazione
PI01	porta di ingresso	120 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI02	porta interna	80 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI03	porta piccola	60 cm	più di 60 cm	più di 60 cm	1
PI04	porta interna	80 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI05	porta interna	80 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI06	porta media	70 cm	almeno un metro	almeno un metro	3
PI07	porta media	70 cm	almeno un metro	almeno un metro	3
PI08	porta interna	80 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI09	porta piccola	60 cm	più di 60 cm	più di 60 cm	1
PI10	porta interna	80 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI11	porta interna	80 cm	almeno un metro	almeno un metro	5
PI12		cm			
PI13		cm			
PI14		cm			
PI15		cm			

Figura 19 – Abaco delle porte interne nel foglio di calcolo

⁷⁵ Cfr. nota 37 a pag.25.

L'implementazione di tutti i percorsi possibili all'interno dell'Unità Ambientale, come riportati nel diagramma ad albero in Figura 18, è resa possibile da un ulteriore *form* (Figura 20) che riporta la catena Elemento Spaziale – Porta Interna – Elemento Spaziale necessaria per effettuare la valutazione del Livello di accessibilità e del Livello di riservatezza dei singoli ambienti. Occorre sottolineare che questa procedura è senz'altro più macchinosa, e quindi decisamente meno *usable* rispetto alle altre proposte in questa ricerca. La possibilità di "automatizzarla", però, richiederebbe la scrittura di un algoritmo in Visual Basic for Application nel quale sia presente un ciclo non limitato superiormente del tipo `Do ... While | Until`⁷⁶. Il *loop*, che comunque avrebbe un numero di ricorsioni non eccedente quello degli ES interni, necessita di una *routine* VBA, il cui uso è stato escluso in questa fase della ricerca (§3.2) ma che potrebbe interessare un successivo sviluppo del *tool* (§4.4). Quest'ultimo passaggio conclude la fase di implementazione, e il foglio di calcolo restituisce la valutazione della QA.

Percorsi disponibili																					
	ES	porta	ES	porta	ES	porta	ES														
perc. 1	PI01	ES01	PI02	ES02	PI03	ES03															
perc. 2	PI01	ES01	PI02	ES02	PI06	ES06	PI07	ES07	PI11	ES10											
perc. 3	PI01	ES01	PI02	ES02	PI06	ES06	PI10	ES09													
perc. 4	PI01	ES01	PI02	ES02	PI05	ES05	PI09	ES08	PI08	ES04											
perc. 5	PI01	ES01	PI04	ES04	PI08	ES08	PI09	ES05	PI05	ES02	PI03	ES03									
perc. 6	PI01	ES01	PI04	ES04	PI08	ES08	PI09	ES05	PI05	ES02	PI06	ES06	PI07	ES07	PI11	ES10					
perc. 7	PI01	ES01	PI04	ES04	PI08	ES08	PI09	ES09	PI05	ES02	PI06	ES06	PI10	ES09							
perc. 8																					
perc. 9																					
perc. 10																					
perc. 11																					
perc. 12																					
perc. 13																					
perc. 14																					
perc. 15																					

Figura 20 – Scheda per l'implementazione dei percorsi nel foglio di calcolo

3.5 La valutazione finale e la lettura degli indici

Nella fase di inserimento dei dati, il progettista compila le schede disponibili nello *spreadsheet* – o controlla la correttezza dei dati provenienti dalla procedura di esportazione dal software di esportazione – in un foglio dedicato. La valutazione vera e propria avviene in un ulteriore foglio, denominato (in modo forse eccessivo!) *kernel* allo scopo di rendere evidente che il 'nocciolo' del calcolo si sviluppa al suo interno⁷⁷. In tutti i software commerciali, infatti, le procedure elaborate avvengono in *background* senza che l'utilizzatore ne abbia contezza: e anche in questo caso è stata scelta un'analoga filosofia per lo sviluppo di questo applicativo.

Occorre però ricordare che i destinatari del *tool* sono progettisti che lo utilizzerebbero allo scopo di orientare le proprie scelte secondo i principi della Progettazione Ambientale Sostenibile, per cui si è ritenuto opportuno lasciare la possibilità di consultare il foglio del *kernel*, e di ordinarlo in modo che sia comunque visibile l'insieme dei diversi passaggi delineati nel Capitolo 2; la Figura 21 ne riporta un esempio.

Completezza delle Unità Ambientali		<i>I</i> _{QA} 3,60																																			
Elemento spaziale	Tipo di spazio	Un.amb.	Un.amb.	Un.amb.	Un.amb.	UA01	UA02	UA03	UA04	UA05	UA06	UA07	UA08	UA09	UA10	UA11	UA12	UA13	UA14	UA15	UA16	UA17	UA18	UA19													
ES01	Ingresso-pranzo	UA06	UA02	UA05	UA01	1	1	0	0	1				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES02	prima camera da lett	UA03				0	0	1	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES03	seconda camera da lett	UA03				0	0	1	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES04	bagno	UA09	UA10			0	0	0	0	0				1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES05	ripostiglio	UA11				0	0	0	0	0				0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES06	balcone	UA12				0	0	0	0	0				0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES07						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES08						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES09						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES10						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES11						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES12						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES13						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES14						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
ES15						0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
voto:						5	5	5	1	5															5	5	5	5	1	1	1	1	1	1	1		
peso:						1	1	1	1	1															1	0,5	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	
score:						5	5	5	1	5															5	2,5	1,6667	1,6667	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333

Figura 21 – Scheda di valutazione nel kernel per l'indice di Completezza delle UA

⁷⁶ Cfr.: <https://learn.microsoft.com/it-it/dotnet/visual-basic/language-reference/statements/do-loop-statement>

⁷⁷ Il termine *kernel* in informatica si riferisce al segmento del Sistema Operativo di un computer che permette la comunicazione tra software e hardware (cfr.: <https://www.treccani.it/enciclopedia/sistema-operativo/>). Qui, per estensione, si intende la parte del *tool* dedicata al calcolo, distinguendolo dall'interfaccia con la quale invece avviene l'inserimento dei dati e la lettura dei risultati ottenuti.

Valutazione della Qualità Ambientale		3,90	
Consistenza degli Elementi Spaziali		i_{ce}	3,80
Comfort degli spazi interni		i_{ci}	4,00
Coerenza tra le Unità Ambientali		$i_{cs,e}$	4,22
Forma della costruzione		$i_{ci,f}$	5,00
ES01	Ingresso-pranzo	2	
ES02	prima camera da letto	5	
ES03	seconda camera da letto	5	
ES04	bagno	2	
ES05	ripostiglio	2,5	
ES06	balcone	2,5	
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
ES01	Ingresso-pranzo		A 14,60 V 66,43
ES02	prima camera da letto		11,13 53,42
ES03	seconda camera da letto		10,78 51,74
ES04	bagno		0,00 14,6
ES05	ripostiglio		0,00 1,22
ES06	balcone		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
			A_{tot} 36,51
			V_{tot} 187,42
			A/V 0,19
Completezza delle Unità Ambientali		$i_{cs,e}$	3,60
Orientamento degli Elementi Spaziali interni		$i_{ci,o}$	4,00
UA01	Stanza da pranzo	5,0	
UA02	Soggiorno	5,0	
UA03	Camera da letto	5,0	
UA04	Camera studio	1,0	
UA05	Cucina	5,0	
UA09	Ingresso	5,0	
UA10	Corridoio/disimpegno	2,5	
UA11	Scala interna	1,7	
UA12	Servizi igienici	1,7	
UA13	Lavanderia	0,3	
UA14	Ripostiglio interno	0,3	
UA15	Balcone/terrazzo	0,3	
UA16	Ripostiglio esterno	0,3	
UA17	Cantina	0,3	
UA18	Sottotetto	0,3	
UA19	Terrazzo esterno	0,333	
ES01	Ingresso-pranzo		u.a. 1 5 u.a. 2 4 u.a. 3 5 u.a. 4 5
ES02	prima camera da letto		3
ES03	seconda camera da letto		3
ES04	bagno		
ES05	ripostiglio		
ES06	balcone		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Livello di accessibilità dell'Unità Immobiliare		$i_{cs,e}$	3,00
Esposizione della costruzione		$i_{ci,e}$	4,00
i_{csa}		3	
i_{csat}		3	
ES01	Ingresso-pranzo	3	
ES02	prima camera da letto	3	
ES03	seconda camera da letto	3	
ES04	bagno	3	
ES05	ripostiglio	5	
ES06	balcone		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
i_{dex}	L'UI risulta esposta verso due quadranti opposti		3
i_{dexv}			5
		Esposizione sul quadrante:	
ES01	Ingresso-pranzo	III	III
ES02	prima camera da letto	I	
ES03	seconda camera da letto	I	
ES04	bagno		
ES05	ripostiglio		
ES06	balcone		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Livello di riservatezza degli Elementi Spaziali		$i_{cs,e}$	4,40
Rapporto aeroilluminante		$i_{ci,e}$	2,00
ES01	Ingresso-pranzo	5	5
ES02	prima camera da letto	4	5
ES03	seconda camera da letto	4	5
ES04	bagno	3	4
ES05	ripostiglio	4	
ES06	balcone	5	
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
ES01	Ingresso-pranzo		4
ES02	prima camera da letto		1
ES03	seconda camera da letto		1
ES04	bagno		
ES05	ripostiglio		
ES06	balcone		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Dimensioni degli Elementi Spaziali		$i_{cs,d}$	3,78
Spessore degli elementi opachi		$i_{ci,s}$	5,00
$i_{cs,dt}$		4,3	
$i_{cs,dt}$		3,0	
$i_{cs,dt}$		4,0	
ES01	pareti	5	
ES02	pareti	5	
ES03	pareti	5	
ES04	coperture		
ES05	coperture		
ES06	coperture		
ES07	coperture		
ES08	coperture		
ES09	coperture		
ES10	coperture		
ES11	coperture		
ES12	coperture		
ES13	coperture		
ES14	coperture		
ES15	coperture		
			solai a terra

Figura 22 – Report finale di valutazione

In tutti i casi, nel foglio di *input* è disponibile un report nel quale sono disponibili tutti gli indici ed i sotto indici che permettono di ottenere la valutazione finale della Qualità Ambientale, organizzati in colonne allo scopo di poter distinguere i valori che concorrono alla definizione della Consistenza degli Elementi Spaziali (sulla sinistra della Figura 22) rispetto a quelli che invece contribuiscono a determinare il Confort degli spazi interni.

L'analisi del Report costituisce forse l'occasione di riflessione per valutare le scelte progettuali adottate. Ricordando, ad esempio, che il Livello 0 corrisponde alla violazione di una o più norme presenti nel corpo legislativo italiano, il Report permette di individuare abbastanza rapidamente quale ES o quale sotto indicatore contravviene i regolamenti esistenti, per potervi immediatamente porre rimedio. Allo stesso modo, valori notevolmente bassi possono essere messi in evidenza e diventare elementi di discussione nel successivo sviluppo del Progetto di Fattibilità, concorrendo alla evoluzione successiva delle soluzioni da proporre.

Verificato il funzionamento squisitamente "tecnico" del foglio di calcolo, resta ora da verificarne l'applicabilità ad un vero e proprio "caso studio", che viene sviluppato nel successivo Capitolo 4.

4 Caso studio

4.1 Il *tool* di valutazione e l'Architettura: la scelta del caso di studio

Nel capitolo precedente la ricerca si è concentrata nella realizzazione del *tool* digitale, realizzato con un foglio di calcolo per le ragioni già esposte alla fine del §3.1. In quella fase è stato quindi necessario innanzitutto implementare nello *spreadsheet* “kernel” gli algoritmi elaborati nel Capitolo 2 con le Formule disponibili in Excel™; successivamente è stato predisposto il foglio “input – output” che ospita sia le schede per l’inserimento dei dati che quelle per la lettura dei risultati finali. Anche se non ancora esplicitamente detto, come in tutti gli sviluppi di software anche in questo caso è stato necessario procedere ad una fase di *alpha testing* (Fletcher *et al.*, 2011) avente il duplice scopo di verificare la correttezza delle procedure, e la “usabilità” dell’interfaccia.

Per completare questa prima verifica sono state implementate diverse Unità Immobiliari, fino ad ottenere il risultato mostrato nel precedente capitolo; ma, prima di ipotizzare un successivo *beta test*⁷⁸, occorre concludere la fase di verifica *alpha* testando il tool non solo dal punto di vista “informatico”, ma anche e soprattutto dall’ottica dell’Architettura: si intende con ciò il bisogno di provare il funzionamento del foglio di calcolo con il progetto architettonico di una Unità Immobiliare del quale sia riconosciuto il valore della Qualità Ambientale in un’ottica Ecosostenibile (Francese, 2007). Solo a valle di tale verifica, il tool potrà essere pronto ad una sperimentazione di tipo *beta*.

A tale punto della ricerca, occorre quindi *simulare* il processo di progettazione/valutazione; scegliendo in modo opportuno il caso studio tra esempi di edilizia ‘virtuosa’, sarà possibile:

- Valutare l’efficacia dell’algoritmo di calcolo sviluppato nel Capitolo 2, che dovrà restituire valori coerenti con il giudizio positivo riscontrabile in ambito tecnico;
- Verificare l’utilità del *tool* di calcolo, in funzione del processo progettuale nel quale si inserisce e del quale dovrà fornire il necessario contributo per la scelta delle soluzioni progettuali.

Per tali motivi, è stato selezionato come caso studio il progetto per la realizzazione di 29 alloggi a Nola, realizzato dall’Arch. A. Colonna per l’Istituto Autonomo Case Popolari (Colonna, 2010), che si è avvalso dell’*expertise* della prof. D. Francese e del suo gruppo di ricerca. Tale intervento si inseriva in un programma voluto dalla Regione Campania volto a realizzare nelle cinque provincie campane altrettanti *progetti pilota* che si potessero porre ad esempio virtuoso per la progettazione/costruzione di abitazioni ecosostenibili, anche grazie alla consulenza di figure di spicco del Dipartimento di Architettura dell’Università Federico II. In particolare, l’insediamento di Nola prevedeva la realizzazione di tre edifici di cui due a corte aperta ed uno a blocco: il corretto orientamento secondo l’asse nord-sud, e la forma delle costruzioni a corte ha permesso di disporre di un’ampia superficie delle chiusure (facciate) esposte verso i punti cardinali ‘di pregio’ (Sud ed Est), permettendo di orientare correttamente un maggior numero di ambienti (Figura 23).

I fabbricati, di tre piani ciascuno, ospitano in totale sei tipi differenti di alloggi; è interessante notare che nei due edifici gemelli conformati a C, nei bracci verticali le Unità Immobiliari non sono state adottate soluzioni simmetriche in quanto le condizioni di esposizione solare sono sostanzialmente diverse. Si osserva infatti (Figura 24) l’uso di prospetti leggermente disallineati rispetto all’orientamento canonico lungo i quattro punti cardinali, la progettazione del braccio Est più corto rispetto a quello Ovest, e la collocazione sul fronte Sud di serre per l’accumulo del calore in inverno, il cui sistema di infissi completamente apribile a scomparsa nelle nicchie laterali appositamente predisposte permette di trasformarle in semplici balconi, consentendo di evitare il sovra riscaldamento durante i mesi estivi.

Tali strategie progettuali non sono rilevabili direttamente dal protocollo di valutazione sviluppato in questa ricerca, in quanto sono applicate a *scala di edificio*, e non a quella di Unità Ambientale – che costituisce il *target* funzionale-spaziale del metodo proposto, ma certamente le ricadute saranno implicitamente individuate anche dal *tool*.

⁷⁸ La differenza tra *alpha* e *beta test* consiste nel fatto che la prima viene solitamente condotta nel medesimo ambiente in cui il *software* è stato sviluppato, ed ha lo scopo di correggere eventuali *bug* presenti (cfr.: https://it.wikipedia.org/wiki/Versione_alfa), mentre la seconda viene estesa ad un gruppo di utenti (spesso selezionati dalla *softwarehouse* allo scopo di essere un campione rappresentativo di utilizzatori) per ricevere *feedback* positivi e negativi per apportare eventuali modifiche e garantire un più probabile successo commerciale.

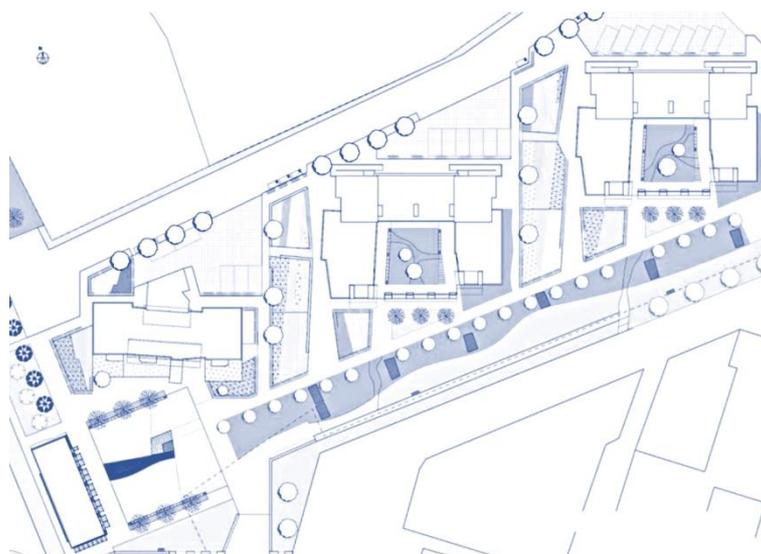


Figura 23 – Planimetria dell'insediamento di Edilizia Residenziale Sociale a Nola



Figura 24 – Pianta tipo dell'edificio a corte aperta

A riprova di quanto fino ad ora presunto, una precedente ricerca sull'edificio, e su una sua Unità Ambientale in esso contenuta, è stato già condotto nel passato (Buoninconti, 2016). In quel lavoro, la verifica condotta aveva come obiettivo la valutazione del Comfort interno degli utilizzatori, ma richiedeva informazioni di dettaglio in relazione anche ai materiali ed alle tecniche impiegati, oltre a condurre un'analisi specifica sul luogo di realizzazione, sulle infrastrutture ed attività presenti, sulle caratteristiche geo-morfologiche del territorio naturale e antropizzato. Il sistema di valutazione infatti era stato sviluppato per la fase di Progettazione Esecutiva, quando il livello di definizione dell'opera è sulla soglia della cantierizzazione. Lo studio aveva scelto come oggetto di verifica l'abitazione evidenziata dalla campitura azzurra nella Figura 24, collocata all'ultimo piano, in quanto considerata nella condizione più sfavorevole perché:

- Dispone di due esposizioni, in luogo delle tre che possono vantare le abitazioni collocate nei bracci Est ed Ovest;
- L'esposizione Nord è la peggiore perché le Unità Ambientali principali richiedono altri orientamenti (come può evincersi anche dalla Tabella 15);
- Trovandosi all'ultimo livello, i solai superiori sono tutte superfici disperdenti verso l'esterno.

Nonostante questi svantaggi, la verifica condotta aveva evidenziato l'ottimo risultato raggiunto grazie all'attenta progettazione degli ambienti, dei materiali utilizzati, delle strategie tecniche e tecnologiche che permettono una reale ecoefficienza degli edifici⁷⁹. Avendo quindi la possibilità di disporre dei risultati ottenuti da un precedente lavoro, e ponendo analizzare il medesimo progetto in una fase differente (e precedente), si è ritenuto opportuno condurre la verifica sulla stessa Unità Immobiliare, concludendo in questo modo la fase di test e stabilire le conclusioni della ricerca.

4.2 Il processo di progettazione/implementazione dei dati

Nonostante fosse già disponibile in formato digitale l'intero progetto realizzato dall'Arch. Colonna e dal suo *team* di lavoro, questa fase della ricerca ha ricostruito l'iter che va dalla prima digitalizzazione dello *sketch* contenente l'idea progettuale fino alla definizione del Progetto di Fattibilità, disegnato in ambiente CAD o modellato in ambiente BIM.

La prima importante considerazione alla quale si è pervenuti consiste nell'aver riscontrato che *la valutazione dinamica del progetto*, con gli indici che si aggiornano ogni qual volta viene aggiunto un nuovo segno (grafico) o elemento (modellato), *oltre che inutile è in certi casi anche svantaggiosa*: se i dati in ingresso necessari alla determinazione degli indici di valutazione non sono completi, si ottengono risultati erronei; il progettista potrebbe quindi essere indirizzato verso soluzioni scorrette, vanificando lo scopo principale per il quale questo *tool* è stato realizzato.

D'altro canto, è innegabile l'utilità di poter verificare nel corso della modellazione – quando i necessari valori in input sono completi – la valutazione che si ottiene per alcuni indici proprio allo scopo di poter applicare quanto prima eventuali correzioni al progetto. Resta comunque evidente che non è possibile sviluppare un algoritmo che si *accorga da sé* se e quando il processo di implementazione di una *famiglia* di dati può dirsi concluso o meno.

Per tale motivo, si è ritenuto opportuno esplicitare la corretta sequenza di implementazione da seguire e quali indici vengono correttamente restituiti dal foglio di calcolo, permettendo così di condurre una stima *in itinere*: la Tabella 26, redatta sulla scorta delle connessioni tra dati ed indicatori di cui la Figura 12 ne fornisce una rappresentazione grafica, riproduce proprio tale successione.

Tabella 26 – Sequenza di input e di output che si ottengono durante la fase di progettazione/valutazione

Famiglie di dati inserite nel modello	Indici correttamente calcolati dall'algoritmo
I. Vengono definiti e numerati tutti gli Elementi Spaziali	1. Coerenza tra le Unità Ambientali
II. Per ogni ES si stabiliscono le Unità Ambientali in essi contenute	2. Completezza delle Unità Ambientali
III. Si inseriscono le dimensioni degli ES: superficie e altezza	3. Dimensioni degli Elementi Spaziali
IV. Per ogni ES si inserisce l'estensione delle superfici disperdenti (chiusure opache verticali e orizzontali)	4. Forma della costruzione
V. Si indica il "Tipo di spazio" (interno, pertinenza esclusiva, pertinenza comune) per ogni Elemento Spaziale	
VI. Si specifica la Zona climatica di appartenenza	5. Spessore degli elementi opachi
VII. Si specifica lo spessore di tutte le chiusure opache verticali e orizzontali	
VIII. Per ogni Elemento Spaziale si indica la superficie trasparente (infissi esterni)	6. Rapporto aeroilluminante
IX. Per ogni infisso interno, si indica l'orientamento	7. Orientamento degli Elementi Spaziali interni 8. Esposizione della costruzione
X. Si specificano gli attributi relativi al percorso esterno che porta dalla strada all'ingresso dell'Unità Immobiliare	9. Livello di riservatezza degli Elementi Spaziali 10. Livello di Accessibilità dell'Unità Immobiliare
XI. Si indicano eventuali differenze di quota nelle pavimentazioni di tutti gli Elementi Spaziali interni	
XII. Si stabilisce il Livello di privacy di ogni Elemento Spaziale	
XIII. Si inseriscono variabili e attributi relativi alle porte interne	
XIV. Si costruiscono i percorsi interni all'Unità Immobiliare	

Coerentemente con quanto precedentemente indicato, il progettista – una volta costruito il modello BIM, o una parte significativa di esso – dovrà procedere alla definizione degli *Ambienti* avendo cura di etichettarli in ordine crescente con il prefisso ES; nel caso in esame, l'unità immobiliare si compone di sei Elementi Spaziali, di cui cinque interni ed uno (contrassegnato ES05) come pertinenza esclusiva. Tale ambiente è infatti la serra di accumulo, che funge da loggia nei

⁷⁹ Cfr. Buoninconti, L. (2016). *Architettura e Benessere. Un approccio integrale al comfort*. Berlino: Edizioni Accademiche Italiane, p.137-142.

periodi estivi grazie alla possibilità di aprire tutta la superficie finestrata, impedendo l'accumulo di calore nei periodi caldi ed offrendo nel contempo la corretta schermatura nelle ore centrali quando il sole è molto alto sull'orizzonte grazie alla profondità di circa due metri (Figura 25).

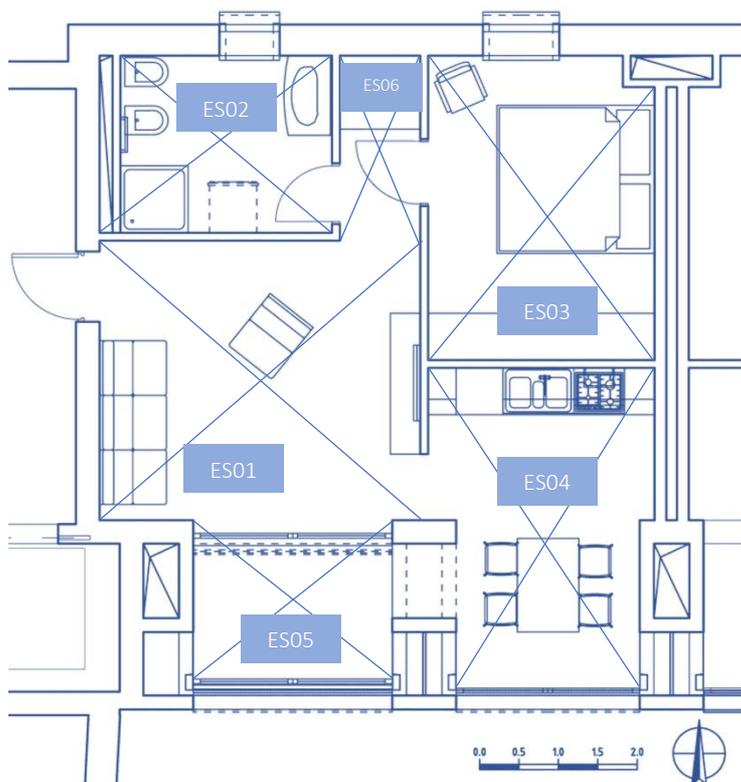


Figura 25 – Pianta architettonica dell'Unità Immobiliare oggetto della valutazione

Per quanto attiene gli ambienti interni, si può immediatamente riscontrare che l'alloggio è dimensionato per due abitanti, con una superficie utile poco superiore ai 45 m². Si tratta quindi di un appartamento di dimensioni medio-piccole, se comparato alle *Classi di superficie* utilizzate da ISTAT⁸⁰, che con un numero ridotto di vani deve necessariamente adottare soluzioni funzionali e distributive che prevedono la compresenza di più Unità Ambientali nel medesimo Elemento Spaziale, e il ridotto uso di ambienti distributivi/di passaggio allo scopo di massimizzare l'area calpestabile. Questa soluzione, resa necessaria dal comprensibile contenimento dei costi di costruzione (problema che affligge tutto il settore dell'edilizia, ed in particolar modo quella pubblica), si può indirettamente riflettere in modo negativo sulla Qualità Ambientale, e cioè:

- sulla comodità degli spazi, in quanto ambienti più spaziosi permettono facilità di movimento e maggiore libertà di arredo;
- sul livello di privacy degli ES, perché diventa più complesso separare le zone più private della casa (camere da letto, servizi igienici) rispetto a quelle accessibili agli estranei (ingressi, soggiorni).

In relazione a questo secondo punto, è particolarmente apprezzabile l'uso del piccolo disimpegno (ES06), che si pone da raccordo e filtro tra la 'zona giorno' (ingresso/soggiorno e cucina) e quella notte (bagno, camera da letto): il vantaggio di questa soluzione distributiva emerge durante l'attribuzione del livello di privacy (passaggio XII. della Tabella 26) in quanto una delle condizioni per raggiungere il 'Livello 4' è proprio quella di accedere attraverso uno spazio ad uso connettivo (Tabella 8). In questa fase, il progettista può anche più facilmente notare che le pareti di separazione tra le due zone giorno e notte dovrebbero avere migliori caratteristiche di fonoisolamento, ancora raggiungibili nello spessore previsto in progetto (10 cm) con materiali particolarmente assorbenti, ma che richiederebbero l'impiego di prodotti a ridotto livello di naturalità. In tal caso, il progettista avrebbe potuto optare per l'adozione di una sezione maggiore di

⁸⁰ Dai dati disponibili dal censimento 2011 (http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_ALLOGGI) si evince che le classi di superficie totale per le abitazioni sono nove: minori o uguali a 29 m²; 30 – 39 m²; 40 – 49 m²; 50 – 59 m²; 60 – 79 m²; 80 – 99 m²; 100 – 119 m²; 120 – 149 m² e maggiori di 150 m². La classe alla quale appartiene l'UI presa in analisi (40 – 49 m²) con 1.121.167 abitazioni censite rappresenta il 4,65% dell'intero numero riscontrabile in Italia (24.135.177).

venti centimetri, senza compromettere la funzionalità dell'ingresso-soggiorno e della cucina le cui superfici utili si ridurrebbero in modo non significativo.

Anche l'inserimento diretto dei dati all'interno del foglio di calcolo, misurando i dati dimensionali nell'ambiente CAD o BIM e trascrivendoli manualmente sullo *spreadsheet*, si è dimostrato abbastanza semplice anche grazie al ridotto numero di ambienti di cui l'abitazione si compone. Più laborioso è l'aggiornamento dei diversi valori quando si operano delle modifiche, perché occorre individuare sulle schede le celle interessate ai cambiamenti da effettuare; sotto questo aspetto l'interoperabilità dell'ambiente BIM non ha rivali perché non richiede l'intervento dell'utente, minimizzando gli errori.

ES01	Descrizione:		Tipo di spazio:	
	Ingresso-soggiorno		Interno	
	Livello di privacy:		Livello 2	
	Altezza:	Superficie:	Volume:	
	2,8 m	14,6 m ²	40,88 m ³	
pavimentaz.: tutta allo stesso livello				
Unità ambientali presenti		Altri dati richiesti:		
Ingresso	UA06			
Soggiorno	UA02			

Pareti perimetrali:		Spessore	Note
P01	m ²	cm	
P02	m ²	cm	
P03	m ²	cm	
P04	m ²	cm	
Coperture:		Spessore	Note
C01	14,6 m ²	40 cm	
C02	m ²	cm	
C03	m ²	cm	
C04	m ²	cm	
Solai inferiori:		Spessore	Note
S01	m ²	cm	
S02	m ²	cm	
S03	m ²	cm	
S04	m ²	cm	
Finestre e porte-fin.:		Orientamento:	Note
I01	3,29 m ²	S	
I02	m ²		
I03	m ²		
I04	m ²		

ES02	Descrizione:		Tipo di spazio:	
	bagno		Interno	
	Livello di privacy:		Livello 3	
	Altezza:	Superficie:	Volume:	
	2,8 m	6,1 m ²	17,08 m ³	
pavimentaz.: tutta allo stesso livello				
Unità ambientali presenti		Altri dati richiesti:		
Servizi igienici	UA09			

Pareti perimetrali:		Spessore	Note
P01	7,532 m ²	35 cm	
P02	m ²	cm	
P03	m ²	cm	
P04	m ²	cm	
Coperture:		Spessore	Note
C01	6,1 m ²	40 cm	
C02	m ²	cm	
C03	m ²	cm	
C04	m ²	cm	
Solai inferiori:		Spessore	Note
S01	m ²	cm	
S02	m ²	cm	
S03	m ²	cm	
S04	m ²	cm	
Finestre e porte-fin.:		Orientamento:	Note
I01	1,25 m ²	N	
I02	m ²		
I03	m ²		
I04	m ²		

ES03	Descrizione:		Tipo di spazio:	
	camera da letto		Interno	
	Livello di privacy:		Livello 3	
	Altezza:	Superficie:	Volume:	
	2,8 m	11,1 m ²	31,08 m ³	
pavimentaz.: tutta allo stesso livello				
Unità ambientali presenti		Altri dati richiesti:		
Camera da letto	UA03	Posti letto:	2	

Pareti perimetrali:		Spessore	Note
P01	8,604 m ²	35 cm	
P02	m ²	cm	
P03	m ²	cm	
P04	m ²	cm	
Coperture:		Spessore	Note
C01	11,1 m ²	40 cm	
C02	m ²	cm	
C03	m ²	cm	
C04	m ²	cm	
Solai inferiori:		Spessore	Note
S01	m ²	cm	
S02	m ²	cm	
S03	m ²	cm	
S04	m ²	cm	
Finestre e porte-fin.:		Orientamento:	Note
I01	1,57 m ²	N	
I02	m ²		
I03	m ²		
I04	m ²		

ES04	Descrizione:		Tipo di spazio:	
	cucina		Interno	
	Livello di privacy:		Livello 3	
	Altezza:	Superficie:	Volume:	
	2,8 m	11,9 m ²	33,32 m ³	
pavimentaz.: tutta allo stesso livello				
Unità ambientali presenti		Altri dati richiesti:		
Stanza da pranzo	UA01			
Cucina	UA05			

Pareti perimetrali:		Spessore	Note
P01	8,68 m ²	35 cm	
P02	m ²	cm	
P03	m ²	cm	
P04	m ²	cm	
Coperture:		Spessore	Note
C01	11,9 m ²	40 cm	
C02	m ²	cm	
C03	m ²	cm	
C04	m ²	cm	
Solai inferiori:		Spessore	Note
S01	m ²	cm	
S02	m ²	cm	
S03	m ²	cm	
S04	m ²	cm	
Finestre e porte-fin.:		Orientamento:	Note
I01	3,29 m ²	S	
I02	m ²		
I03	m ²		
I04	m ²		

ES05	Descrizione:		Tipo di spazio:	
	serra		Pertinenza esclusiva	
	Livello di privacy:		Livello 1	
	Altezza:	Superficie:	Volume:	
	2,8 m	6,9 m ²	19,32 m ³	
pavimentaz.: tutta allo stesso livello				
Unità ambientali presenti		Altri dati richiesti:		
Balcone/terrazzo	UA12			

Pareti perimetrali:		Spessore	Note
P01	m ²	cm	
P02	m ²	cm	
P03	m ²	cm	
P04	m ²	cm	
Coperture:		Spessore	Note
C01	6,9 m ²	40 cm	
C02	m ²	cm	
C03	m ²	cm	
C04	m ²	cm	
Solai inferiori:		Spessore	Note
S01	m ²	cm	
S02	m ²	cm	
S03	m ²	cm	
S04	m ²	cm	
Finestre e porte-fin.:		Orientamento:	Note
I01	m ²		
I02	m ²		
I03	m ²		
I04	m ²		

ES06	Descrizione:		Tipo di spazio:	
	disimpegno		Interno	
	Livello di privacy:		Livello 2	
	Altezza:	Superficie:	Volume:	
	2,8 m	2,42 m ²	6,776 m ³	
pavimentaz.: tutta allo stesso livello				
Unità ambientali presenti		Altri dati richiesti:		
Corridoio/disimpegno	UA07			

Pareti perimetrali:		Spessore	Note
P01	2,856 m ²	35 cm	
P02	m ²	cm	
P03	m ²	cm	
P04	m ²	cm	
Coperture:		Spessore	Note
C01	2,42 m ²	40 cm	
C02	m ²	cm	
C03	m ²	cm	
C04	m ²	cm	
Solai inferiori:		Spessore	Note
S01	m ²	cm	
S02	m ²	cm	
S03	m ²	cm	
S04	m ²	cm	
Finestre e porte-fin.:		Orientamento:	Note
I01	m ²		
I02	m ²		
I03	m ²		
I04	m ²		

Figura 26 – Schede di input del foglio di calcolo, compilate con i dati relativi al caso studio in esame

La Figura 26 riproduce le schede di input nel foglio di calcolo, redatte con i valori riscontrati nel caso studio. Qui è possibile osservare come le superfici disperdenti siano estese, ma si può altresì notare che ciò dipende dall'aver scelto un'abitazione collocata al terzo e ultimo piano dell'edificio, quindi a diretto contatto con le coperture.

Qualunque sia stata la strada scelta per l'inserimento dei dati, diretta o tramite una procedura di export-import BIM → Excel™, la sezione relativa ai percorsi esterni dovrà essere redatta direttamente all'interno del foglio di calcolo (§ 3.4) allo scopo di evitare una lunga, e parzialmente inutile, estensione della modellazione.

Dati relativi agli spazi esterni all'Unità Immobiliare		
Percorso che porta dalla strada carrabile all'ingresso della UI		
1. Tutte le pavimentazioni hanno sconnessioni o gradini inferiori o pari a 2,5 cm	SI	5
2. Sono presenti dislivelli dalla strada carrabile all'ingresso dell'UI	SI	
2.a Il superamento dei dislivelli avviene utilizzando ascensori		
2.a.1 Lo spazio antistante è almeno 1,4 x 1,4 m	SI	
2.a.2 Lo spazio interno è almeno 1,3 x 0,9 m	SI	
2.a.3 L'ingresso è largo almeno 80 cm	SI	
2.b Il superamento di tali dislivelli prevede l'impiego di rampe inclinate		5
2.c Il superamento di tali dislivelli prevede l'impiego di montascale		
3. La porta di ingresso all'Unità Immobiliare permette di accedere all'ES:	ES01	5
3.1 La larghezza della porta è pari a cm:	90	
3.2 Lo spazio antistante l'anta è pari a cm:	200	
3.3 Lo spazio retrostante l'anta è pari a cm:	200	
		5

Dati relativi alla zona climatica	
Zona climatica di appartenenza	C



Figura 27 – Scheda per l'inserimento degli attributi relativi agli spazi esterni, compilata con i dati relativi al caso studio

Anche in questa circostanza la compilazione permette di apprezzare quanto il progetto, ed in generale tutti gli interventi di edilizia pubblica, abbia adottato tutte le indicazioni normative relative all'accessibilità per gli utenti diversamente abili: ciò non solo conferma la qualità del lavoro svolto dal team di professionisti impegnato nel caso studio, ma anche come gli interventi ERP possano e debbano costituire un esempio di *best practices* in ambito abitativo.

4.3 La valutazione del progetto

Nel precedente paragrafo è stata analizzata la fase di inserimento dei dati, che può – entro certi limiti – utilmente svolgersi in modo contestuale alla progettazione; è altresì vero che il processo di valutazione può dirsi completo solo al termine dell'implementazione e l'indice della Qualità Ambientale è stato calcolato.

Dopo aver inserito tutti i valori nelle celle, il foglio di calcolo restituisce il valore finale della Qualità Ambientale, che risulta essere particolarmente alto: 4,07 su 5 che corrisponde a *buono, perché superiore agli standard di legge o considerato come buona pratica dalla letteratura tecnica* (§ 2.3). Il sistema di valutazione quindi restituisce un giudizio allineato con la riconosciuta qualità del progetto, così come voluto dalla Regione Campania che ne ha finanziato lo studio.

È inoltre interessante esaminare quali indici e sottoindici hanno totalizzato i punteggi più elevati, e quali invece risultano più critici al fine di avere eventuali indicazioni per migliorare – se possibile – il progetto analizzato.

Per prima cosa è possibile controllare i risultati ottenuti dai due indici, e cioè la *Consistenza degli Elementi Spaziali* (che ha raggiunto 4,03 su 5) e il *Comfort degli spazi interni* (che invece risulta pari a 4,12 su 5). La sostanziale parità tra gli indici, con il secondo leggermente maggiore rispetto al primo, è ancora una volta segno di una progettazione equilibrata e attenta a tutti gli aspetti che concorrono alla qualità dell'Unità Immobiliare – nonostante le sue ridotte dimensioni. Ma un'analisi di dettaglio, come già detto, può mettere maggiormente in luce i punti di forza e di debolezza, allo scopo di conservare i primi e rafforzare i secondi.

Partendo quindi da i valori *più alti ottenuti*, si può vedere come il punteggio pari a 5 su 5 – rappresentativo del *gold standard* – sia stato totalizzato dal *Livello di accessibilità dell'Unità Immobiliare* e dallo *Spessore degli elementi opachi*. L'attenzione che in generale l'edilizia pubblica rivolge a soluzioni progettuali attente alle difficoltà che possono incontrare utenti diversamente abili, e all'efficienza energetica che in particolare l'Arch. Colonna e il suo *team* ha dedicato a questa particolare esperienza, sono entrambe messe in evidenza dagli algoritmi del *tool* sviluppato in questa ricerca.

Valutazione della Qualità Ambientale		4,07	
Consistenza degli Elementi Spaziali		i_{ce}	4,03
Comfort degli spazi interni		i_{ci}	4,12
Coerenza tra le Unità Ambientali		$i_{cs,c}$	4,33
Forma della costruzione		$i_{ci,f}$	3,00
ES01	Ingresso-soggiorno	3	
ES02	bagno	5	
ES03	camera da letto	5	
ES04	cucina	4	
ES05	serra	5	
ES06	disimpegno	5	
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
ES01	Ingresso-soggiorno		A 14,60 V 40,88
ES02	bagno		13,63 17,08
ES03	camera da letto		19,70 31,08
ES04	cucina		20,58 33,32
ES05	serra		
ES06	disimpegno		5,276 6,776
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Completezza delle Unità Ambientali		$i_{cs,e}$	3,04
Orientamento degli Elementi Spaziali interni		$i_{ci,o}$	4,25
UA01	Stanza da pranzo	3,0	
UA02	Soggiorno	5,0	
UA03	Camera da letto	5,0	
UA04	Camera studio	1,0	
UA05	Cucina	5,0	
UA09	Ingresso	5,0	
UA10	Corridoio/disimpegno	0,5	
UA11	Scala interna	0,3	
UA12	Servizi igienici	1,7	
UA13	Lavanderia	0,3	
UA14	Ripostiglio interno	0,3	
UA15	Balcone/terrazzo	0,3	
UA16	Ripostiglio esterno	0,3	
UA17	Cantina	0,3	
UA18	Sottotetto	0,3	
UA19	Terrazzo esterno	0,333	
ES01	Ingresso-soggiorno		u.a. 1 5 u.a. 2 u.a. 3 u.a. 4
ES02	bagno		
ES03	camera da letto		3
ES04	cucina		5 4
ES05	serra		
ES06	disimpegno		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Livello di accessibilità dell'Unità Immobiliare		$i_{cs,e}$	5,00
Esposizione della costruzione		$i_{ci,e}$	4,00
$i_{cs,a}$		5	
$i_{cs,i}$		5	
ES01	Ingresso-soggiorno	5	
ES02	bagno	5	
ES03	camera da letto	5	
ES04	cucina	5	
ES05	serra		
ES06	disimpegno	5	
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
$i_{ci,v}$	L'UI risulta esposta verso due quadranti opposti		3
$i_{ci,e}$			5
ES01	Ingresso-soggiorno		Esposizione sul quadrante: III
ES02	bagno		I
ES03	camera da letto		I
ES04	cucina		III
ES05	serra		
ES06	disimpegno		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Livello di riservatezza degli Elementi Spaziali		$i_{cs,e}$	4,29
Rapporto aeroilluminante		$i_{ci,e}$	4,33
ES01	Ingresso-soggiorno		u.a. 1 4 u.a. 2 4 u.a. 3 u.a. 4
ES02	bagno		3
ES03	camera da letto		4
ES04	cucina		5 5
ES05	serra		5
ES06	disimpegno		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
ES01	Ingresso-soggiorno		5
ES02	bagno		
ES03	camera da letto		3
ES04	cucina		5
ES05	serra		
ES06	disimpegno		
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			
Dimensioni degli Elementi Spaziali		$i_{cs,d}$	3,50
Spessore degli elementi opachi		$i_{ci,s}$	5,00
$i_{cs,db}$		3,5	
$i_{cs,d}$		4,0	
$i_{cs,d}$		3,0	
ES01	pareti	5	coperture
ES02	5	5	
ES03	5	5	
ES04	5	5	
ES05	5	5	
ES06	5	5	
ES07			
ES08			
ES09			
ES10			
ES11			
ES12			
ES13			
ES14			
ES15			

Figura 28 – Report di valutazione per il caso studio in esame

Punteggio identico, pari a 4,33 su 5, è stato poi totalizzato dai sotto indicatori *Coerenza tra le Unità Ambientali e Rapporto aeroilluminante*. Osservando con attenzione il Report riportato nella Figura 28, si può facilmente evincere che il mancato raggiungimento del massimo valore per il primo indice è dovuto alla necessità di creare far coesistere le Unità Ambientali *Ingresso* e *Soggiorno* nel medesimo Elemento Spaziale, e in seconda battuta le UA *Cucina* e *Stanza da pranzo* nell'ES04. L'algoritmo di valutazione infatti premia la scelta di tenere separate le Unità Ambientali (Tabella 4), ma la ridotta superficie dell'UI oggettivamente non permette soluzioni alternative. Al contrario, per il Rapporto aeroilluminante l'impiego di una finestra nella camera da letto, comunque delle dimensioni richieste dalla legge, si potrebbe raggiungere anche un valore più alto con un infisso di maggiori dimensioni. Probabilmente, trovandosi tale ambiente sul fronte Nord, la scelta operata dai progettisti è stata orientata verso la minima superficie finestrata disperdente per contenere le dispersioni termiche.

A seguire, il *Livello di riservatezza* totalizza un valore di 4,29 nel quale pesano i punteggi attribuiti agli Elementi Spaziali ES02 (bagno) ed ES03 (camera da letto), a cui è stato assegnato il Livello 3. Come già osservato nel precedente paragrafo, un maggior spessore delle pareti divisorie che separano detti ES dalla zona giorno permetterebbe di conferire a questi ambienti il Livello 4, con un miglioramento dell'indice e conseguentemente della valutazione finale della QA. Valori più bassi, ma sempre uguali o superiori al giudizio equivalente a *buono* sono due indici tra loro connessi: l'*Orientamento degli Elementi Spaziali interni* (4,25 su 5) e l'*Esposizione della costruzione* (4,00 su 5). Il motivo di queste valutazioni è facilmente intuibile ed è dovuto alla disposizione Nord-Sud dei prospetti. I valori ben superiori alla sufficienza sono stati ottenuti grazie ad una sapiente collocazione delle Unità Ambientali, posizionando la 'zona giorno' a Sud, e la 'zona notte' verso Nord, contenendo così le criticità: difficilmente sarebbe possibile migliorare questa scelta progettuale.

In ultimo, con valori di sufficienza o leggermente maggiori si riscontrano gli indici relativi alla *Dimensione degli Elementi Spaziali* (3,50 su 5), la *Completezza delle Unità Ambientali* (3,05 su 5) e la *Forma della costruzione* (3,00 su 5). Nei primi due casi, la superficie totale dell'Unità Immobiliare rappresenta il motivo per il quale è stato necessario contenere l'estensione degli Elementi Spaziali, e limitare le UA a quelle indispensabili: ma, ed è bene ribadirlo, l'algoritmo di valutazione restituisce un giudizio *sufficiente in linea con gli standard di legge o con le soluzioni correnti conosciute in letteratura tecnica* (§ 2.3). Per quanto concerne la Forma della costruzione, occorre ricordare che l'UI scelta si trova all'ultimo livello dell'edificio, disperdendo notevolmente attraverso la copertura. Analoga valutazione, se condotta ad un livello inferiore, restituirebbe un sotto indice pari a 4,00 su 5, che da solo permetterebbe di raggiungere un livello della Qualità Ambientale pari a 4,17.

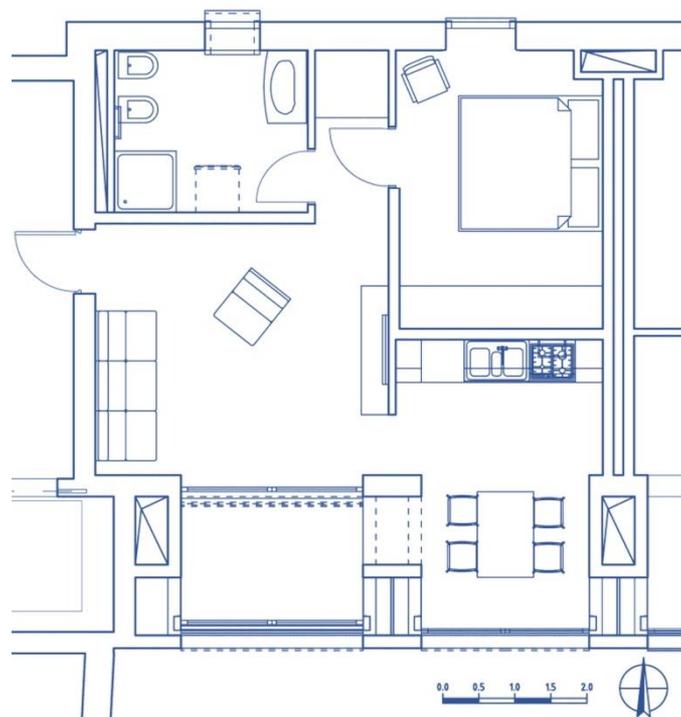


Figura 29 – Variazione del progetto ottenuta grazie al tool di valutazione

Questa semplice considerazione ha suggerito, per l'ultima fase della sperimentazione del *tool*, di apportare al progetto le modifiche suggerite dalla lettura del Report riportato nella Figura 28, che consisterebbero semplicemente in:

- Aumentare la superficie vetrata dell'Elemento Spaziale ES03 sostituendo alla finestra un balcone; in questo caso il Rapporto aeroilluminante raggiunge il *gold standard* (5,00 su 5);
- Aumentare lo spessore delle pareti interne che separano la zona giorno dalla zona notte, allo scopo di attribuire un Livello di privacy pari a 4 agli Elementi Spaziali ES02 ed ES03; in tal caso il *Livello di riservatezza* sale a 4,57 su 5.

Queste minime modifiche sono riportate graficamente nella Figura 29, dove è possibile apprezzare che i cambiamenti operati non comportano alcuna modifica sostanziale dell'articolazione dell'abitazione. Così facendo però, la valutazione finale della QA arriverebbe a 4,17 su 5: tale valore, anche se di poco, è superiore a quanto precedentemente calcolato, e tutto ciò avvalorava l'idea che il *tool* proposto in questa ricerca – anche se applicato ad un esempio assolutamente virtuoso come quello relativo all'insediamento ERS di Nola – può contribuire a migliorare la progettazione, orientandola ai principi della ecosostenibilità.

4.4 Conclusioni

Il *Building Information Modeling*, inteso sia come *software* ma ancor di più come *modo di intendere la progettazione*, attualmente è la modalità più efficiente per svolgere il lavoro del Professionista durante tutta l'evoluzione del Processo Edilizio; e lo sarà ancor di più nel futuro. Gli innumerevoli modi d'uso e gli applicativi che possono essere sviluppati in tale ambito sono la testimonianza del successo e della diffusione di questa famiglia di programmi: nel Capitolo 1 ne è stata offerta solo una piccola visione, in quanto orientata principalmente alla Progettazione Ambientale Sostenibile, che costituisce solo uno dei tanti punti di vista possibili nel complesso panorama dell'Architettura (Sacchi, 2021).

L'idea di ampliare le potenzialità dell'*interoperabilità* tra diversi programmi, sfruttando la potenza della modellazione digitale dell'edificio, certo non è né nuova né recente: anzi ha favorito da almeno dieci anni non solo il semplice scambio di dati, ma anche e soprattutto ha facilitato il *flusso di idee* tra persone, contribuendo in modo significativo alla diffusione del lavoro in *workgroup* all'interno dei quali è possibile massimizzare i contributi dei singoli professionisti e delle loro particolari competenze (Carrara *et al.* 2015).

In questo particolare fermento di idee e di strumenti, questa ricerca ha voluto esplorare la possibilità di sviluppare un metodo di valutazione, ed anche di un *tool* digitale, che possa fornire un piccolo – ma, si spera, significativo – contributo all'attività progettuale orientata all'ecosostenibilità: un 'utensile' da inserire nella 'cassetta degli attrezzi' che il professionista utilizza quotidianamente e, per tale motivo, ispirata ai principi di *usabilità* (Nicoletti *et al.*, 2021). Ma per essere *user friendly*, un software destinato alla progettazione non può non dialogare con gli ambienti CAD e BIM; proprio le profonde analogie tra strumenti di modellazione del Building Information Modeling (ambienti, pareti, solai, coperture) e le parti che compongono il Sistema Edilizio (Elementi Spaziali, Unità Ambientali, Elementi Tecnici) hanno consentito di semplificare lo scambio tra gli applicativi.

È comunque evidente che il lavoro fin qui svolto, se da un lato ha dato alcune incoraggianti indicazioni sia per la semplicità d'uso che per i risultati ottenuti, dall'altro ha molti interessanti margini di sviluppo e di miglioramento.

Sul fronte squisitamente informatico, sarebbe necessario per prima cosa condurre un *beta test*, selezionando professionisti che possano provare il foglio di calcolo elaborato, e soprattutto forniscano un *feedback* segnalando errori, miglioramenti possibili, e difficoltà di uso (Rossignoli, 2007). Solo al termine del processo di testing ed aver messo a punto il sistema di valutazione sullo *spreadsheet*, si potrebbe ipotizzare lo sviluppo di un'applicazione *stand alone* con un *kernel* in grado da un lato di superare i limiti numerici visti in § 3.3, e dall'altro di semplificare il processo di importazione da ambiente BIM, attraverso un gruppo di *routine* dedicate. Sempre in ottica informatica, il medesimo pacchetto potrebbe anche essere direttamente compilato all'interno del *software* BIM impiegando, ove disponibile, il linguaggio di programmazione proprietario (come, ad esempio, Dynamo™ per Revit™). In tal caso, il professionista progetterebbe/valuterebbe la Qualità Ambientale in un unico gesto. Altro versante di sviluppo futuro potrebbe consistere nell'implementazione di algoritmi in grado di inserire nel *tool* in modo automatizzato quei dati che allo stato attuale devono essere inseriti in modo manuale dal valutatore, come la zona climatica, individuabile tramite georeferenziazione (§ 3.4), o la costruzione dell'*albero dei percorsi* (Figura 18).

Bibliografia

- Achenza, M. & Sanna, U., a cura di (2008). *Il manuale telematico della terra cruda*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.
- Ambiente. (2011). In "Enciclopedia Online Treccani". Consultato all'indirizzo <https://www.treccani.it/enciclopedia/ambiente/>
- Agnoletto, L. (1997). *Involucro edilizio e comportamento energetico*. Vicenza: Studioemme editore
- Arbizzani, E. (2015). *Tecnica e tecnologia dei sistemi edilizi. Progetto e costruzione*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore
- Ausiello, G., Batini, C. & Frosini, V. (2000). "Informatica". In *Enciclopedia Italiana Treccani – VI Appendice*. Consultato all'indirizzo https://www.treccani.it/enciclopedia/informatica_%28Enciclopedia-Italiana%29/
- Banca dati. (2012). Consultato all'indirizzo <http://www.treccani.it/enciclopedia/banca-dati/>
- Baratta, A. & Venturi, L. (2008). "Prestazioni termiche di pareti perimetrali in regime dinamico" in *Costruire in laterizio*, 2
- Bevilacqua, P. (1996). *Tra natura e storia. Ambiente, economie, risorse in Italia*. Roma: Donzelli
- Big data: archiviazione ed elaborazione dei dati digitali. Consultato all'indirizzo <https://www.teknoiring.com/news/internet-of-things/big-data-archiviazione-trattamento-dati-digitali/>
- Bioedilizia. (2012). In "Lessico del XXI Secolo". Consultato all'indirizzo https://www.treccani.it/enciclopedia/bioedilizia_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/
- Boeri, A. (2007). *Protezione passiva del calore solare*. Rimini: Geoinforma
- Bruno, S. (2001). *Progettazione bioclimatica e bioedilizia. Manuale di architettura per edifici e impianti ecocompatibili*. Il Sole 24 Ore
- Buoninconti, L. (2016). *Benessere e Architettura. Un approccio integrale al comfort*. Berlino: Edizioni Accademiche Italiane
- Buoninconti, L. (2020). "Database nel processo edilizio per la comunicazione informatica, anche mediante BIM". In *MD Journal*, 10, p.294
- Campioli, A., Ferrari, S. & Lavagna, M. (2006). "Gli involucri edilizi e il rendimento energetico degli edifici". In *Costruire in laterizio*, 6
- Carrara, G., Fioravanti, A., Loffreda, G. & Trento, A. (2015). *Conoscere Collaborare Progettare. Teoria tecniche e applicazioni per la collaborazione in Architettura*. Roma: Gangemi Editore
- Ciribini, G. (1984). *Tecnologia del progetto*. Torino: Celid
- Colonna, A. (2010). "Programma innovativo a Nola per la realizzazione di 29 alloggi pubblici, sostenibili sotto l'aspetto ambientale ed efficienti sotto quello energetico". In: D. Francese & L. Buoninconti (a cura di): *L'architettura sostenibile e le politiche dell'alloggio sociale*. Milano: FrancoAngeli
- Corrado, V. & Fabrizio, E. (2005). *Applicazioni di termofisica dell'edificio e climatizzazione*. Torino: Clut
- Davies, D., Johnson, L., Doepker B. & Hedlund, M. (2018). "Quantifying Environmental Impacts of Structural Material Choices Using Life Cycle Assessment: A Case Study". In: F. Pomponi, C. De Wolf & A. Moncaster (a cura di): *Embodied Carbon in Buildings*. Cham: Springer
- De Marco, (2004) *Manuale di sistemi informativi*, McGraw Hill
- Eastman, C., Teichloz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2016). *Bim Handbook*, second edition. Edizione italiana a cura di G.M. Di Guida e V. Villa. *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per Committenti, Architetti, Ingegneri, Gestori immobiliari e Imprese*. Milano: Hoepli
- Fitch, J.M. (1980). *La progettazione ambientale*. Padova: Muzzio
- Fletcher, R.B. & Hattie, J. (2011). *Intelligence and intelligence testing*. New York: Routledge
- Francese, D. (2007). *Architettura e vivibilità. Modelli di verifica, principi di biocompatibilità, esempi di opera per il rispetto ambientale*. Milano: FrancoAngeli
- Francese, D. (2016). *Technologies for sustainable urban design and bioregionalist, regeneration, routledge*. London: Francis and Taylor
- Galimberti, U. (2006). *La lunga storia dell'uomo-macchina*. Milano: Feltrinelli. Consultato all'indirizzo <https://www.feltrinellieditore.it/news/2007/07/20/umberto-galimberti-la-lunga-storia-delluomo-macchina-8791/>
- Gargari, C. (2006). "Laterizio: energia e qualità dell'abitare". In *Costruire in laterizio*, 4
- Giachetta, A., Novi F. & Raiteri R. (2019). *La costruzione dell'idea, il pensiero della materia*. Milano: FrancoAngeli.

- Gianfrate, V. & Longo D. (2017). *Urban micro-design. Tecnologie, adattabilità e qualità degli spazi pubblici, collana di Ricerche di tecnologia dell'Architettura*. Milano: FrancoAngeli
- Givoni, B. (1991). "Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems". In *Energy and Buildings*
- Greco G., Nardone F., Varriale G. (2020) *Building Information Modeling: Esperienze e Tecniche Progettuali*. Meltemi Editore.
- Grosso, M. (1997). *Il raffrescamento passivo degli edifici*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore
- Grosso M. (1998). "La simulazione del movimento dell'aria negli edifici". In D. Faconti & S. Piardi (a cura di), *La qualità ambientale degli edifici*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore
- Grosso, M. (2008). *Il raffrescamento passivo degli edifici in zona a clima temperato*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore
- Grosso, M. (2008). "La risorsa vento per la qualità dell'aria e il benessere". In *Ambiente costruito*
- Going climate-neutral: expert-group recommendations to help energy-intensive industries contribute to the EU's 2050 target* (2019). Consultato all'indirizzo http://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6353
- Hausladen, G. & Sager, C. (2006). *Climate Design: Solution for Buildings that can do more with less Technology*. Birkhauser: Heidelberg
- Haverkamp, R., & Van den Heuvel, M. (2006). *Norme internazionali ISO sulla sostenibilità dei prodotti: una guida alle certificazioni EPD*. Modo Verde.
- Houghton, E.L. & Carruthers, N.B. (1976). *Wind Forces on Buildings and Structures. An Introduction*. Ann Arbor: University of Michigan Press
- Igiene*. (2011). In "Enciclopedia Online Treccani". Consultata all'indirizzo <https://www.treccani.it/enciclopedia/igiene/>
- Il quadro per le politiche dell'energia e del clima all'orizzonte 2030* (2015) Consultato all'indirizzo <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>
- Kartsonaki, C., Raki, M., Kyridis, A., & Pintzou, D. (2011). *Valutazione ambientale e formazione EPD*. *Conoscenze della Terra*, 24(6), 499-508.
- Manuale del vetro* (2000). Saint Gobain Glass
- Maslow, A.H. (1943). "A Theory of Human Motivation". In *Psychological Review*, 50, pp.370-396
- Masullo, A. (2013). *Qualità verso Quantità, Dalla decrescita a una nuova economia*. Roma: Lit ed.
- Medola, M. (2007). "Prestazioni termiche dell'involucro edilizio". In *Costruire in laterizio*, 4
- Meriam, (2000). *Processi di automazione e sistemi di controllo*, McGraw Hill
- Mingozzi, A. (2003). "Elementi di metodo per la progettazione ecosostenibile a scala insediativa ed edilizia e Clima ed ambiente costruito". In AA.VV.: *Guida alla casa ecologica*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore
- Musco, F. & Zanchini, E. (2013). *Le città cambiano il clima*. Venezia: Corila.
- Musco, G., De Lauretis, G., Pellegrino, B., & Gravino, A. (2018). *L'applicazione del LEED-Italia in edilizia: un'analisi dei Rating System italiani*. *Pre-venzione Giuridica*, 8(1).
- Nicoletti, R. & Vandi, C. (2021). *Introduzione all'ergonomia cognitiva. Usabilità ed esperienza utente*. Roma: Carrocci Editore
- Olgay, V. (1963). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. New York: Princeton Press
- Olgay, V. (1981). *Progettare con il clima*. Padova: Franco Muzio Editore
- Orientamenti politici per la prossima commissione europea 2019-2024 "Un Unione ambiziosa: il mio programma per l'Europa"*. Consultato all'indirizzo http://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/political-guidelines-next-commission_en.pdf
- Orsenigo, L. & Gargari, C. (2012). "EPD Dichiarazione ambientale di prodotto per i materiali da costruzione". In *Ingenio, sistema integrato di informazione per l'ingegnere*. Consultato all'indirizzo <https://www.ingenio-web.it/1922-epd---dichiarazione-ambientale-di-prodotto-per-i-materiali-da-costruzione>
- Parodi, M. (2018). *Non ho parole. Analfabetismo funzionale e analfabetismo pedagogico*. Roma: Armando Editore
- Passaro, A. (2017). *La rigenerazione reversibile. Strategie e tecnologie di intervento*. Napoli: LucianoEditore
- Passer, A., Schulter, D. & Maydl P. (2007). "Life Cycle Assessment of buildings comparing structural steelwork with other construction techniques". Poster session presented at 3rd International Conference on Life Cycle Management, University of Zurich at Irchel
- Piardi, S. (2008). "La simulazione del movimento dell'aria". In *La qualità ambientale degli edifici*. San Arcangelo di Romagna: Maggioli editore
- Privacy*. (2016). In "Vocabolario Online Treccani". Consultato all'indirizzo <https://www.treccani.it/vocabolario/privacy/>
- Raimondo, L. (2008). "Determinazione del fabbisogno di raffrescamento". In M. Grosso, M. (a cura di): *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*. San Arcangelo di Romagna: Maggioli editore

- Rossignoli, N. (2007). *Introduzione all'informatica. Hardware, software, internet*. Bologna: Lampi di stampa Editore
- Sacchi, L. (2021). *Il mestiere dell'Architetto*. Siracusa: Lettera Ventidue Edizioni
- Spinelli, De Bernardi, (2013) *Analisi e progetto di sistemi informativi*, Pearson
- Un pianeta pulito per tutti – Visione strategica europea a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra* (2018). Consultato all'indirizzo <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>
- Vincenzini, (1996) *Automatica applicata a sistemi informativi*, Ed. Milano
- Vitali, S. (2020). *Archivi, umano, digitale. Dialoghi sul futuro degli archivi*. Lezione presentata in: Archivissima il festival degli archivi
- The International EPD System* (2011). Consultato all'indirizzo <https://www.environdec.com>
- Zaffagnini, M. (1994). "Per una progettazione esigenziale". In M. Zaffagnini (a cura di), *Architettura a misura d'uomo*. Pitagora: Bologna
- Zavattaro, (2008) *Sistemi informativi aziendali*, McGraw Hill

Leggi e norme

ASHRAE Standard 55/2004. *Thermal environmental conditions for human occupancy*

DG Catasto, circ.40/1939. *Accertamento generale dei fabbricati urbani e formazione del Nuovo Catasto Edilizio Urbano*

D.Interm. 26 giugno 2015. *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*

DM LLPP 236/1989. *Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche*

DM Min. Sanità 190/1975. *Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione.*

DM 26 gennaio 2010

DM 6 agosto 2020. *Requisiti tecnici per l'accesso alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici*

D.Lgs. 50/2016. *Codice dei contratti pubblici*

DPR 1142/1949. *Regolamento per la formazione del Nuovo Catasto Edilizio Urbano*

D.Lgs. 163/2003. *Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE*

D.Lgs.311/2006. *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, recante attuazione della Direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*

Istruzioni Ministeriali 20 giugno 1896. *Compilazione dei regolamenti locali sull'igiene del suolo e dell'abitato*

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

UNI 8290-1:1981. *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*

UNI 8290-2:1983. *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti*

UNI 10351:1994. *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.*

UNI 10355:1994. *Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodi di calcolo.*

UNI 10375:2011. *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti*

UNI 10838:1999. *Edilizia. Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia*

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*

UNI/TS 11300-1:2008. *Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*

UNI EN ISO 13786:2018. *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*

UNI EN 410:2011. *Vetro per edilizia - Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate*

UNI 8178:2012. *Edilizia - Coperture - Analisi degli elementi e strati funzionali*

UNI 9460:2008. *Coperture discontinue - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio o calcestruzzo*

prEN ISO 13790. *Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling*

Simboli e abbreviazioni

AE	Azione Elementare	IAQ	Indoor Air Quality
AI	Ambiente Interno (indoor)	IOAQ	Indoor-Outdoor Air Quality
AO	Ambiente Esterno (outdoor)	MCA	MultiCriteria Analysis
CdE	Classe di Esigenza	MCDA	MultiCriteria Decision Analysis
CR	Comfort Respiratorio	PA	Progettazione Ambientale
CS	Confortevolezza degli Spazi	PAS	Progettazione Ambientale Sostenibile
CUT	Classe di Unità Tecnologica	PE	Processo Edilizio
CT	Comfort Termoigrometrico	PdFTE	Progetto di Fattibilità Tecnico Economica
CU	Comfort Uditivo	QA	Qualità Ambientale
CV	Comfort Visivo	QFS	Qualità funzionale-spaziale
ES	Elemento Spaziale	SA	Subsistema Ambientale
ESi	Elemento Spaziale interno	SE	Sistema edilizio
ESo	Elemento Spaziale esterno	ST	Subsistema Tecnologico
ET	Elemento Tecnico	UA	Unità Ambientale
ETA	Elemento Tecnico Architettonico	UI	Unità Immobiliare
GG.	Gradi Giorno	UT	Unità Tecnologica