



Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città

Protocollo ITACA per Campus Universitari: Definizione Operativa degli Indicatori per l'Efficienza Energetica e la Sostenibilità Globale

Relatore:

Prof. Enrico Fabrizio

Candidata

Carlotta Carboni

Co-Relatori

Arch. Andrea Moro

Prof. Sara Torabi M.

A.A. 2025-2026

Un sentito ringraziamento va al mio relatore Prof. Enrico Fabrizio, che, con la sua profonda conoscenza del settore, mi ha guidato con attenzione nella redazione dell’elaborato finale del mio percorso di studi.

Si ringraziano i co-relatori Andrea Moro e Sara Torabi Moghadam, la cui supervisione e coinvolgimento nel progetto mi hanno offerto la possibilità di svolgere il mio elaborato in relazione a un progetto di ricerca di rilievo.

Sommario

Lista delle figure	7
Introduzione.....	1
01 CONTESTO DI RICERCA E STATO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Inquadramento Globale: Agenda 2030 e SDGs	4
1.2 Sviluppo sostenibile nella ricerca.....	10
1.3 Obiettivi della tesi	15
1.4 Struttura della tesi.....	16
02 ANALISI DELLA LETTERATURA.....	17
2.1 Strumenti di Valutazione della Sostenibilità	18
2.2 Strumenti di valutazione della sostenibilità per Campus	20
2.3.2 Modelli Reali ed Esperienze di Gestione Sostenibile.....	23
2.3.3 Il contesto Italiano.....	26
2.3 Framework concettuale per la scala Campus	27
03 METODOLOGIA TESI	31
3.1 Contesto Istituzionale del Protocollo ITACA	32
3.1.1 La Base Concettuale: l'SBE Method.....	32
3.2 SBTool e SNTTool per il Campus	35
3.2.2 Il Processo Operativo.....	36
3.2.3 Governance Multilivello.....	47
3.3 Punteggio e Oggettività.....	48
04 RISULTATI.....	51
4.1 Schede di prestazione per il Protocollo ITACA Campus.....	52
4.2 Considerazioni finali	121
Conclusioni.....	125
Bibliografia e sitografia	127

Lista delle figure

Figure 1 impatto emissioni area urbana [Modificato IPCC (2014), UNEP (2012)]	5
Figure 2 Correlazione tra l'incremento del PIL e l'associazione a pressione ambientale e cambiamento climatico globale dal 1970 al 2018- [Modified from Wiedmann et al. (2020). Dati di Olivier e Peters (2020) per le emissioni di gas serra (GHG); UNEP e IRP (2018) per l'impronta dei materiali; e banca mondiale (2020a) per il PIL]	5
Figure 3 Tappe fondamentali Agenda 2030 e Green Deal [Fonte: sustainabledevelopment.un.org e sdgs.un.org]	7
Figure 4 Interazione SDGs- Sustainable Development Goals [Do we need a.....	9
Figure 5 Consumi finali di energia in Italia per settore (Italy Climate Report).....	11
Figure 6 Vista satellitare dei complessi edilizi del Politecnico di Torino	14
Figure 7 Fasi ciclo di vita dell'edificio (NRC Guidelines)	20
Figure 8 Sito, contesto e ambiente, UC Davis, California [Fonte: https://www.archdaily.com/215764/uc-davis-west-village-studio-e-architects]	23
Figure 9 Sketch schematici, uso misto dell'edificio e torre [Fonte https://www.archdaily.com/215764/uc-davis-west-village-studio-e-architects]	24
Figure 10 Sezione West village UC Davis, California [Fonte https://www.archdaily.com/215764/uc-davis-west-village-studio-e-architects]	25
Figure 11Step della valutazione- processo iterativo [Fonte A Community-Based Approach to Sustainable Urban Regeneration]	36
Figure 12 Institute of Architecture and Design.....	37
Figure 13 Sinergia tra Stakeholders [Fonte https://www.uniba.it/it/ricerca/dipartimenti/dse/didattica/orientamento-1/orientamento-consapevole-2021-2022/attivita-e-materiali-economia/materiale-economia-2023-2024/orientamento-consapevole_antonio-netti_17-03-23.pdf]	40
Figure 14 Attività di workshop ITACA CAMPUS PROJECT	43
Figure 15 Governance multilivello [modificato. Fonte Brandon & Lombardi 2011]	47
Table 1 Elenco delle tipologie di strutture da prendere in considerazione per la verifica	62
Table 2 Elenco delle tipologie di strutture da prendere in considerazione per la verifica del criterio -	62
Table 3 Servizi energetici per usi non residenziali	65
Table 4 punteggioper smontaggio e riuso o riciclo dei componenti	77
Table 5 Consumo idrico pro-capite per le principali attività UFFICI - EDIFICI COMMERCIALI - EDIFICI INDUSTRIALI.....	80
Table 6 Consumo idrico pro-capite per le principali attività Scuola secondaria	80
Table 7 Portata d'aria minima per categoria.....	89
Table 8 portata d'aria di rinnovo di progetto	89
Table 9 Design vventilation rates for diluting emissions from people (bio effluents)	90

Table 10 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings	90
Table 11 Design ventilation rates for non-adapted persons for diluting emissions (bio effluents) from people for different categories.....	91
Table 12 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings: very low-polluting building	92
Table 13 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings: low-polluting building	93
Table 14 Valori dei parametri per il calcolo dei fattori di vista Fp-n	96
Figure 16 Persona seduta e superfici verticali	97
Figure 17 Persona seduta e superfici orizzontali.	97
Figure 18 Persona in piedi e superfici verticali.....	97
Figure 19 Persona in piedi e superfici orizzontali.....	97
Table 15 Relazione tra categoria di comfort termico e indice Z dell'ambiente i-esimo.....	97
Table 16 Relazione tra categoria di comfort termico e indice Z dell'ambiente i-esimo.....	101
Table 17 Livelli di prestazione di isolamento acustico per descrittori acustici e destinazioni d'uso differenti.....	108
Table 18 Indice di riflessione solare SRI di materiali di copertura. Fonte: Paul Berdahl Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division – http://energy.lbl.gov/coolroof/	113
Table 19 Indice di riflessione solare SRI di materiali vari, a cura di ITACA. Fonte: Fonte V.C. Sharma, Solar Properties of Some Buildings Elements in Energy 1989 vol. 14 p.80 5-10. http://coolroofs.org/products/results	115

Lista delle tabelle

Table 1 Elenco delle tipologie di strutture da prendere in considerazione per la verifica	62
Table 2 Elenco delle tipologie di strutture da prendere in considerazione per la verifica del criterio -	62
Table 3 Servizi energetici per usi non residenziali	65
Table 4 punteggi per smontaggio e riuso o riciclo dei componenti	77
Table 5 Consumo idrico pro-capite per le principali attività UFFICI - EDIFICI COMMERCIALI - EDIFICI INDUSTRIALI.....	80
Table 6 Consumo idrico pro-capite per le principali attività Scuola secondaria	80
Table 7 Portata d'aria minima per categoria.....	89
Table 8 portata d'aria di rinnovo di progetto	89
Table 9 Design ventilation rates for diluting emissions from people (bio effluents)	90
Table 10 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings	90
Table 11 Design ventilation rates for non-adapted persons for diluting emissions (bio effluents) from people for different categories	91
Table 12 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings: very low-polluting building	92
Table 13 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings: low-polluting building	93
Table 14 Valori dei parametri per il calcolo dei fattori di vista Fp-n	96
Table 15 Relazione tra categoria di comfort termico e indice Z dell'ambiente i-esimo.....	97
Table 16 Relazione tra categoria di comfort termico e indice Z dell'ambiente i-esimo.....	101
Table 17 Livelli di prestazione di isolamento acustico per descrittori acustici e destinazioni d'uso differenti.....	108
Table 18 Indice di riflessione solare SRI di materiali di copertura. Fonte: Paul Berdahl Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division – http://energy.lbl.gov/coolroof/	113
Table 19 Tabella H1.2.b – Indice di riflessione solare SRI di materiali vari, a cura di ITACA. Fonte: Fonte V.C. Sharma, Solar Properties of Some Buildings Elements in Energy 1989 vol. 14 p.80 5-10. http://coolroofs.org/products/results	115

Introduzione

La sostenibilità non è più un obiettivo etico o un orizzonte lontano, ma una condizione di sopravvivenza e una necessità economica che definisce la nostra epoca. Viviamo nel periodo in cui la comunità globale deve tradurre gli impegni in azioni concrete, facendo degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) la roadmap minima per la resilienza. Il successo di questa transizione è legato alla decarbonizzazione di due settori interconnessi: quello energetico e quello dell'Ambiente Costruito.

Il settore edilizio, pur rappresentando una criticità storica per il consumo energetico e le emissioni, è oggi riconosciuto come il motore per la soluzione alla crisi climatica. La sfida non è limitata alla sola efficienza dei singoli edifici, ma si estende alla valutazione totale dell'impatto—dai materiali al ciclo di vita—e richiede strumenti capaci di usare un metodo di valutazione globale.

In questo scenario di richiesta di cambiamento, le Università assumono una responsabilità straordinaria. I loro Campus sono veri e propri laboratori viventi in cui l'innovazione scientifica si incrocia con l'esigenza di spazi sostenibili. Valutare un Campus richiede un approccio sistematico che integri governance, mobilità e impatto sociale; la sua complessità lo rende lo scenario ideale per lo sviluppo di metodologie avanzate.

Tuttavia, la ricerca scientifica evidenzia un persistente divario metodologico: i sistemi di misurazione esistenti non riescono a valutare l'intera scala urbana del complesso universitario e faticano a superare le barriere istituzionali e i metodi di lavoro tradizionali che bloccano l'innovazione.

Questo scenario impone la necessità di una nuova bussola metodologica.

La presente Tesi si inserisce in questo contesto critico con l'obiettivo di colmare tale gap. Sfruttando la flessibilità e l'adattabilità del Metodo SBE (Sustainable Built Environment), la ricerca è dedicata alla definizione del Protocollo ITACA per Campus, uno strumento di valutazione sistematica, su misura per la realtà universitaria italiana.

01

CONTESTO DI RICERCA E STATO DEL PROBLEMA

1.1 Inquadramento Globale: Agenda 2030 e SDGs

Attualmente, il discorso globale si concentra sulla necessità di orientare lo sviluppo verso una maggiore sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Questa priorità, stabilita dalle Nazioni Unite nel 2015 con l'Agenda 2030, è il risultato di una maturazione scientifica iniziata già negli anni '60.

Il dibattito moderno sulla sostenibilità deve molto a figure come Rachel Carson (nel suo scritto *"Silent Spring"*, 1962), che per prima ha sollevato la questione etica dell'impatto irreversibile delle attività umane sugli ecosistemi, spostando l'attenzione dalla semplice crescita economica alla tutela della biosfera. A questa visione si è subito accostato un approccio più pratico e tecnologico, rappresentato da Stewart Brand e dal suo *Whole Earth Catalog* (1968), che promuoveva l'accesso a strumenti e tecnologie per permettere alle comunità di sviluppare uno stile di vita sostenibile e autosufficiente. Tuttavia, il vero punto di svolta per il settore delle risorse è arrivato nel 1972 con il rapporto *"The Limits to Growth"* (I Limiti dello Sviluppo), commissionato al MIT dal Club di Roma (Meadows et al.). Questo studio ha dimostrato scientificamente che un sistema basato su una crescita materiale infinita in un pianeta con risorse finite è destinato al collasso, introducendo l'urgenza di gestire i limiti fisici del pianeta.

È in questo quadro che si inserisce l'Agenda 2030, che stabilisce i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs), suddividendo le sfide attorno alle cinque aree (le 5P): Persone, Pianeta, Prosperità, Pace e Partnership, sottolineando la natura integrata degli obiettivi.

Il contesto che rende questi obiettivi urgenti è l'urbanizzazione accelerata. Dal 2008 le città, pur occupando solo il 3% della superficie terrestre, ospitano oltre il 50% della popolazione mondiale e sono responsabili della maggior parte delle emissioni: più del 70% delle emissioni totali di gas serra (GHG) è causato dalle attività in area urbana, e il 90% del consumo totale di energia deriva dagli edifici.

Il dibattito è reso ancora più urgente dai Report dell'IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici), che hanno chiarito la transizione da una "crisi climatica" a una "crisi di sistema" globale, imponendo la necessità di una risposta immediata a livello di sistema.



Figure 1 impatto emissioni area urbana [Modificato IPCC (2014), UNEP (2012)]

Inoltre, studi recenti sui trend globali (spesso definiti come la "Grande Accelerazione") evidenziano una correlazione diretta e preoccupante tra la crescita del PIL globale (GDP) e l'aumento del Material Footprint (impronta materiale). Questo indicatore, che misura la quantità totale di materie prime estratte per soddisfare la domanda di consumo finale, dimostra che stiamo incidendo negativamente sul territorio a una velocità superiore alla capacità rigenerativa dei cicli biologici. Questo dato è cruciale per il settore delle costruzioni, che è uno dei maggiori consumatori di materie prime vergini.

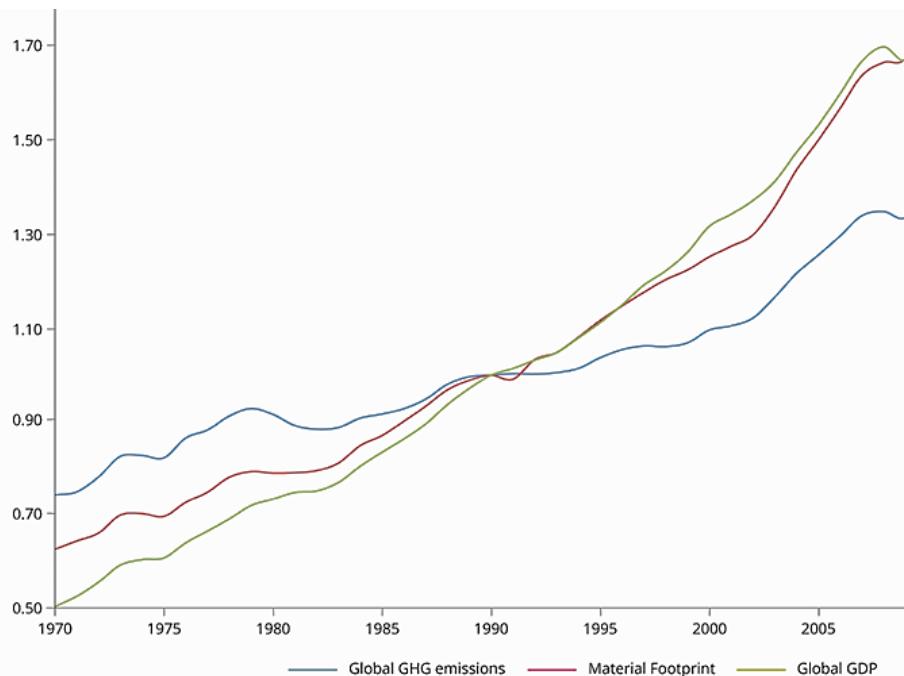


Figure 2 Correlazione tra l'incremento del PIL e l'associazione a pressione ambientale e cambiamento climatico globale dal 1970 al 2018- [Modified from Wiedmann et al. (2020). Dati di Olivier e Peters (2020) per le emissioni di gas serra (GHG); UNEP e IRP (2018) per l'impronta dei materiali; e banca mondiale (2020a) per il PIL]

L'andamento storico in Figura 2 mostra una forte correlazione diretta tra l'incremento del PIL globale (che indica la crescita economica), le emissioni globali di gas serra (GHG) e l'impronta materiale globale. In termini semplici, la linea contrassegnata in verde del PIL globale procede parallelamente alla linea delle emissioni di gas serra e all'impronta materiale. Il grafico ci comunica che, ad oggi, l'economia globale non è riuscita a separarsi dagli impatti ambientali. Non c'è un disaccoppiamento assoluto tra crescita e pressione ambientale. Questo rafforza la necessità di agire con urgenza, perché l'aumento del consumo continua ad annullare i progressi tecnologici.

Per il presente lavoro di ricerca, il settore dell'Ambiente Costruito (Built Environment), e in generale, quello delle costruzioni e delle infrastrutture, ricopre ruolo centrale. Difatti, i dati provenienti dalla Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia indicano che gli edifici assorbono circa il 40% del consumo energetico finale e generano circa il 36% delle emissioni di CO₂ a livello dell'Unione Europea.

Affinché sia possibile realizzare la transizione ecologica, l'azione deve concentrarsi sul patrimonio edilizio esistente. Molti edifici non sono di nuova costruzione e non sono efficienti, e la strategia più sostenibile prevede il riutilizzo e la riqualificazione energetica degli asset esistenti, piuttosto che l'abbattimento e la ricostruzione, proprio per limitare il Material Footprint e promuovere l'economia circolare. Coerentemente con le priorità del Green Deal Europeo e della COP27, l'obiettivo è raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, con l'obiettivo intermedio di ridurre le emissioni nette di gas serra del 55% entro il 2030.

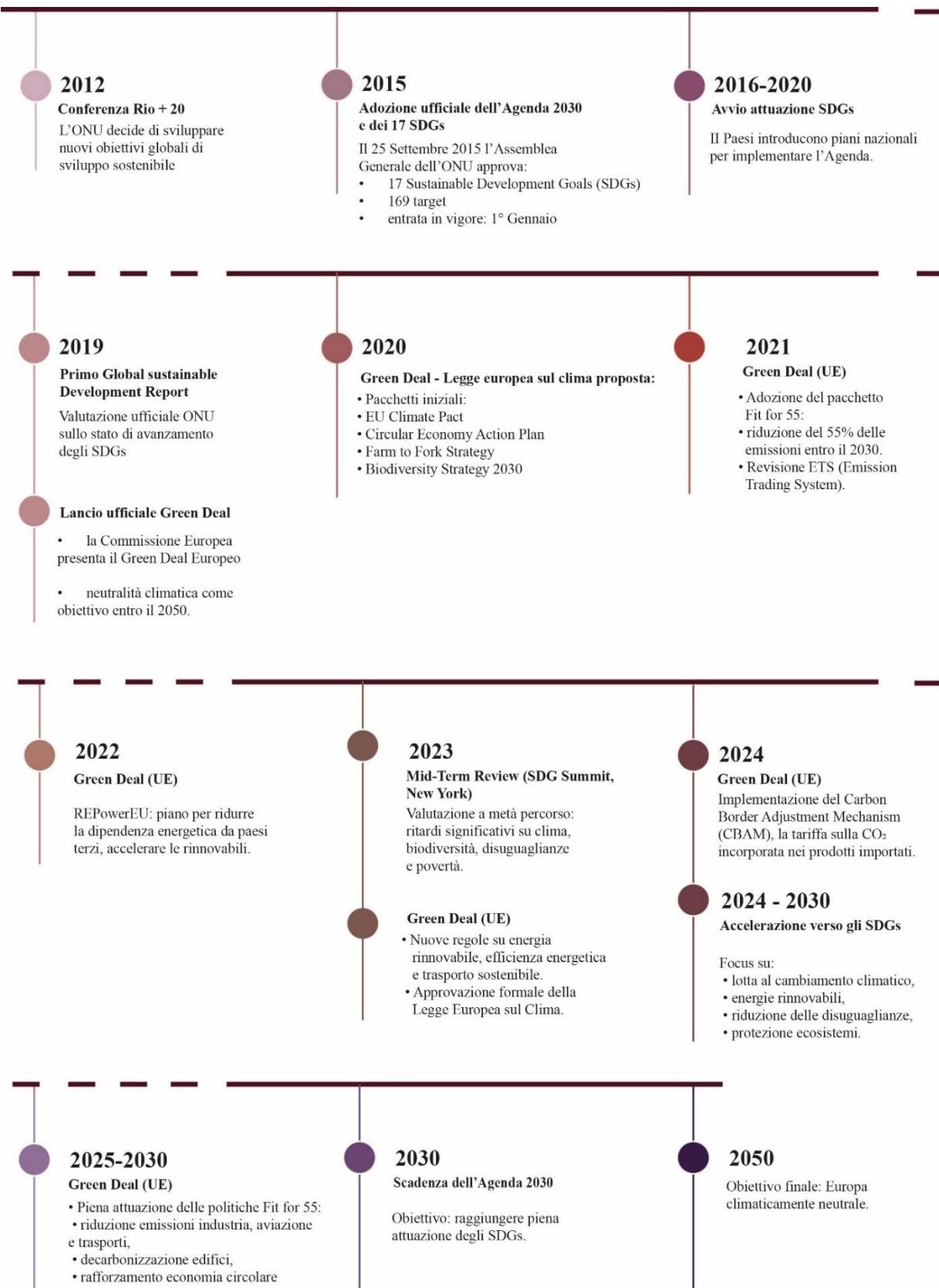


Figure 3 Tappe fondamentali Agenda 2030 e Green Deal [Fonte: sustainabledevelopment.un.org e sdgs.un.org]

Poiché il presente elaborato verde sull'efficienza energetica, sugli impatti ambientali e sulla definizione di una metodologia di valutazione estesa, è necessario considerare un insieme specifico di obiettivi che copra la sfera urbana, formativa, climatico-energetica, ma anche quella dell'innovazione e del consumo responsabile.

In particolare, gli obiettivi di Sviluppo Sostenibile più rilevanti che guidano l'intervento sui campus universitari sono i seguenti.

- SDG 7 (Energia pulita e accessibile): un obiettivo legato alla transizione energetica del settore edilizio focalizzato principalmente sulla garanzia di accesso alle fonti energetiche pulite e sull'aumento dell'efficienza energetica.
- SDG 11 (Città e comunità sostenibili): un obiettivo cruciale che ha come scopo quello di rendere gli insediamenti inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili (United Nations, 2015). In questo senso, infatti, le città rappresentano il contesto ideale per indirizzare gli sforzi strategici contro il cambiamento climatico (Melica et al., 2018).
- SDG 13 (Azione per il clima): un obiettivo direttamente legato all'efficientamento energetico degli edifici, alla riduzione delle emissioni e all'adattamento ai cambiamenti climatici.
- SDG 4 (Istruzione di qualità): un obiettivo che lega il compito educativo delle istituzioni accademiche alla promozione della sostenibilità, anche attraverso l'esempio fornito dagli spazi fisici e dalla gestione del campus stesso.
- SDG 9 (Industria, innovazione e infrastrutture): un obiettivo essenziale poiché il progetto contribuisce direttamente allo sviluppo di infrastrutture resilienti e mira alla promozione dell'innovazione metodologica necessaria per valutare la sostenibilità nel Built Environment (nonché la creazione di un nuovo strumento di valutazione)
- SDG 12 (Consumo e produzione responsabili): obiettivo che riguarda l'uso efficiente delle risorse, la gestione dei rifiuti e la riduzione dell'impatto ambientale, elementi centrali nella gestione del campus universitario.

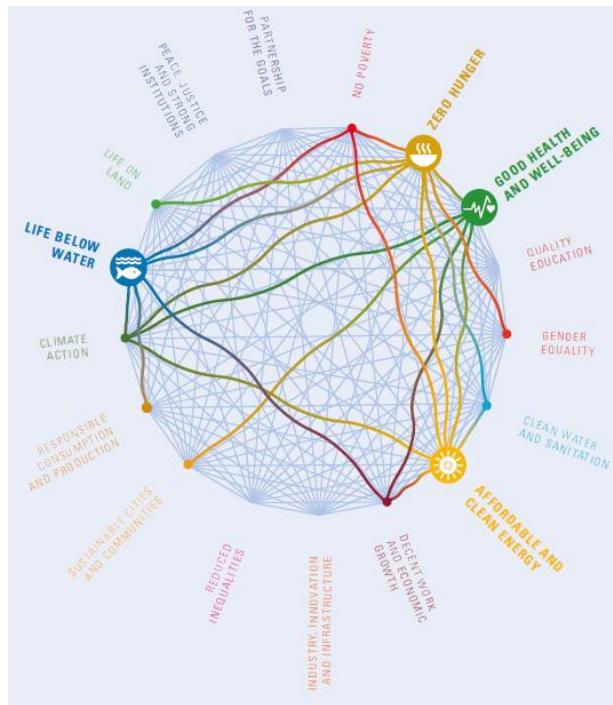


Figure 4 Interazione SDGs- Sustainable Development Goals [Do we need a

Sebbene gli SDGs siano definiti come "integri e indivisibili", l'approccio comune per la loro implementazione tende spesso a trattarli individualmente o in "silos tematici". L'adozione di un approccio integrativo, invece, è fondamentale per massimizzare le sinergie (azioni che contribuiscono a più obiettivi) e minimizzare i trade-off negativi, azioni che risolvono un problema creandone un altro. Ad esempio, l'efficienza energetica (SDG 7) deve essere valutata in relazione al rumore degli impianti (SDG 11) e al costo dell'investimento (SDG 9). La ricerca si è concentrata sui Synergy Drivers, ovvero azioni specifiche (politiche o misure) capaci di contribuire al raggiungimento di due o più target contemporaneamente. Questo richiede una ricerca trasformativa e orientata alla soluzione, essenziale per migliorare la qualità della vita delle future generazioni.

La focalizzazione su questi obiettivi non è casuale, ma risponde a una domanda fondamentale: perché parliamo di sviluppo sostenibile urbano? Le città, e per estensione i campus universitari, rivestono un duplice ruolo: da una parte rappresentano gli *hub* centrali di consumo di risorse e produzione di rifiuti; dall'altra, si configurano come luoghi privilegiati di sperimentazione, dove è più agevole implementare soluzioni innovative e sistemiche. Tuttavia, l'attuazione di questi obiettivi richiede un rigoroso sistema di monitoraggio.

Come si misurano gli SDGs? Attualmente, la valutazione avviene attraverso due filoni principali: il *Global Indicator Framework* (indicatori globali) e la territorializzazione degli indicatori (scala locale). È fondamentale scendere di scala perché, secondo recenti studi, oltre il 65% dell'Agenda globale non può essere pienamente raggiunto senza un coinvolgimento diretto delle città. Il framework globale, sviluppato dall'IAEG-SDGs (*Inter-Agency and Expert Group on SDG Indicators*), ha creato una lista ufficiale di indicatori classificati in tre livelli di affidabilità metodologica, utile per informare le decisioni politiche macroscopiche. Nonostante l'importanza del livello globale, emerge con forza la necessità di adattare gli indicatori al contesto locale. Circa un terzo degli indicatori, infatti, può essere misurato efficacemente solo a livello locale. Anche se gli SDGs nascono come obiettivi globali, la loro riuscita dipende dal coinvolgimento capillare di tutti gli stakeholder territoriali.

Per raggiungere questi traguardi, sono necessari strumenti di misurazione e valutazione rigorosi, capaci di trasformare una strategia globale in azioni concrete e verificabili anche alla scala locale. Tale processo di misurazione si collega al filone di ricerca delle impronte ambientali (come l'impronta di carbonio e l'impronta idrica), che quantificano la pressione delle attività umane sull'ambiente lungo l'intero ciclo di vita.

1.2 Sviluppo sostenibile nella ricerca

La concettualizzazione della sostenibilità si è evoluta, passando dai primi dibattiti degli anni '70 (come la Conferenza di Stoccolma del 1972) all'Agenda 21 (1992), che per la prima volta riconobbe l'esigenza di migliorare la qualità degli insediamenti umani.

Nonostante l'importanza riconosciuta a livello globale, l'applicazione dell'Agenda 2030 sul territorio nazionale risulta non priva di difficoltà. L'attuazione dei principi di sostenibilità si scontra infatti con una difficoltà pratica che riguarda l'assenza di un coordinamento nazionale e standard di riferimento condivisi su come procedere. In questo scenario di incertezza, il ruolo delle Università è fondamentale, anche attraverso l'analisi degli Scenari IPCC per l'Europa, per prevedere i rischi (come l'aumento delle ondate di calore) e sviluppare strategie di Adattamento al Cambiamento Climatico (ACC).

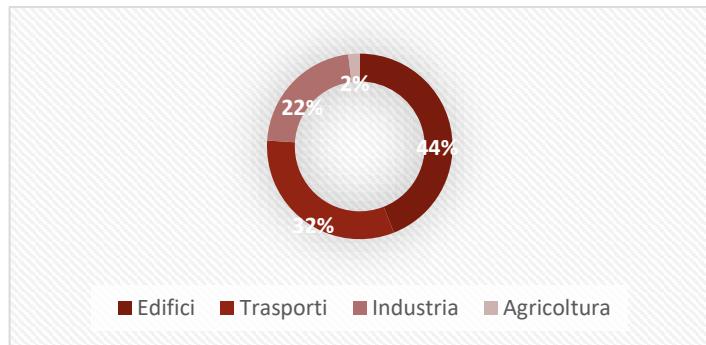


Figure 5 Consumi finali di energia in Italia per settore (Italy Climate Report)

Il settore edilizio e in generale la fornitura di spazi residenziali e commerciali, rappresenta una delle necessità umane fondamentali, al pari del cibo e dell'abbigliamento. Secondo il rapporto del “*Global Greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060*”, questo settore ha un impatto ambientale sproporzionato: è responsabile di oltre un terzo del consumo energetico globale e delle relative emissioni di gas serra (GHG). Non si tratta solo dell'energia consumata *durante l'uso* degli edifici, ma anche delle emissioni generate dalla produzione dei materiali stessi (*emissioni incorporate*), che nel 2018 hanno costituito l'11% delle emissioni globali di GHG connesse all'energia e ai processi. Questo impatto è dovuto all'enorme consumo di risorse, tra cui circa il 40% dell'acciaio e oltre la metà di cemento e mattoni.

Di fronte a una domanda globale di nuove costruzioni in rapido aumento—spinta dalla crescita della popolazione e della ricchezza, in particolare in Asia e Africa—the scenario di riferimento (Baseline) prevede un aumento delle emissioni legate ai materiali, da 3.5 a 4.6 Gt CO₂eq all'anno tra il 2020 e il 2060. Per contrastare questa tendenza, l'applicazione congiunta di strategie di efficienza materiale nello Scenario di Alta Efficienza (HE) potrebbe quasi dimezzare le emissioni rispetto allo scenario di riferimento (Baseline).

Lo Scenario HE include sette strategie chiave (M1–M7) e realizza una riduzione cumulativa delle emissioni di 78 Gt CO₂eq (il 49% in meno) nel periodo 2020–2060. La strategia più efficace in assoluto è l'uso più intensivo degli edifici (M1), che mira a ridurre lo spazio per persona (ad esempio, il 20% in meno di area rispetto al *baseline* del 2050) e che, secondo il rapporto, fornisce il maggiore potenziale di riduzione (56.8 Gt CO₂eq cumulativi), poiché evita contemporaneamente una percentuale di tutti i materiali richiesti. All'altro estremo, l'aumento dell'efficienza della produzione (M7) si concentra sul miglioramento dei processi manifatturieri.

Nonostante questo significativo potenziale di mitigazione, l'articolo conclude che lo Scenario HE, con emissioni cumulative di circa 76 Gt CO₂ tra il 2020 e il 2060, non è sufficiente per un percorso compatibile con l'obiettivo di 1.5 °C. Se il settore dovesse mantenere la sua quota proporzionale del budget globale di carbonio (stabilità al 7.5%, in base alla media delle emissioni di CO₂ tra il 2015 e il 2019), il budget massimo consentito per il 1.5 °C sarebbe compreso tra 25 e 57 Gt CO₂. Poiché le emissioni dello Scenario HE superano questo limite, il rapporto evidenzia che per raggiungere l'obiettivo di 1.5 °C il settore dei materiali da costruzione dovrebbe richiedere il doppio della sua quota proporzionale, pari al 15.0% del budget globale.

Questo fatto sottolinea la difficoltà di decarbonizzare i settori chiave che producono materiali come l'acciaio e il cemento. Per colmare il divario, il rapporto suggerisce che sono necessarie strategie aggiuntive: o si implementano versioni ancora più estreme e di dubbia realizzabilità delle strategie di efficienza, o si considerano tecnologie non incluse, come la Cattura e Stoccaggio del Carbonio (CCUS) o le tecnologie a emissioni negative. In alternativa, si può supporre che i settori considerati "più facili" da decarbonizzare debbano realizzare una riduzione delle emissioni più rapida e profonda, alleggerendo così il carico sul settore dei materiali. Secondo il rapporto, in assenza di cambiamenti fondamentali nei processi manifatturieri o di tecnologie a emissioni negative nella seconda metà del secolo, le sole strategie di efficienza materiale non permettono di rispettare l'obiettivo di 1.5 °C.

Di fronte all'urgenza delle sfide globali, le Università si sono subito distinte come un punto di riferimento fondamentale nel dibattito sulla sostenibilità. In questo contesto, il ruolo della ricerca è stato ufficialmente riconosciuto fin dalle prime Dichiarazioni internazionali, a partire da quella di Tbilisi (UNESCO/UNEP, 1977). Documenti successivi quali le Dichiarazioni di Talloires (1990) e Halifax (1991) hanno costituito una tappa fondamentale impegnando gli atenei a includere la sostenibilità non solo nei corsi e nella ricerca, ma anche nella gestione dei loro campus.

In quest'ottica, i Campus universitari si affermano come strumenti utili per contribuire all'applicazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs). Le città, e per estensione i Campus, sono riconosciute come "laboratori di idee" e la scala più favorevole per l'implementazione dei principi di sviluppo sostenibile. Le istituzioni accademiche non solo forniscono la base scientifica per sviluppare e studiare le tecnologie più estreme e necessarie, ma sono fondamentali anche per misurare i complessi "compromessi" tra efficienza materiale ed efficienza energetica. Soprattutto, le università sono cruciali nel fornire gli strumenti e la

conoscenza per attuare la strategia M1, la più efficace, che "è fortemente dipendente da transizioni di stile di vita e comportamento". La diffusione di queste conoscenze scientifiche e sociali è fondamentale per colmare il divario climatico.

A causa della loro natura complessa (residenze, servizi e attività didattiche) i campus funzionano di fatto come piccoli centri urbani, generando impatti operativi sostanziali nel campo dell'energia, trasporti, rifiuti e acqua, rendendoli aree ideali per l'intervento. Per le istituzioni accademiche, l'impegno verso la sostenibilità rappresenta si una responsabilità formativa (finalizzata ad allineare l'insegnamento alle pratiche concrete), ma soprattutto un'importante opportunità strategica. I campus in quanto sistemi complessi si prestano perfettamente a ricoprire il ruolo di laboratori reali ove è possibile sperimentare soluzioni innovative di gestione.

L'Adattamento al Cambiamento Climatico (ACC) in quanto azione complementare alla Mitigazione, rappresenta un ambito di diretta responsabilità per l'ambiente costruito. Il Green Deal Europeo, il cui obiettivo è la neutralità climatica entro il 2050, è il motore di questo cambiamento. Le politiche europee, come l'iniziativa Nuova Bauhaus Europeo, sostengono l'innovazione urbana promuovendo progetti che uniscano sostenibilità, estetica e inclusione. Questo è supportato anche dalle scadenze vincolanti della Direttiva EPBD (come il raggiungimento della classe E entro il 2030 per gli edifici residenziali e l'obbligo di tecnologie solari). A livello nazionale, il Decreto Legislativo 199/2021 rafforza queste disposizioni determinando l'obbligo di progettazione attraverso l'uso di impianti alimentati da fonti rinnovabili (FER). Per i nuovi edifici e le ristrutturazioni rilevanti, la quota obbligatoria di FER è almeno il 60% (65% per gli edifici pubblici).

L'adozione di un modello di gestione strategica per questi progetti complessi passa attraverso l'approccio Project Cycle Management (PCM), che è un percorso strutturato per trasformare la diagnosi del problema (analisi degli stakeholder e dei bisogni) in soluzioni progettuali mirate. Sfruttando il campus come un sistema complesso per la ricerca applicata, le Università creano un valore aggiunto: un modello di gestione della sostenibilità che è misurabile e visibile per il territorio circostante.

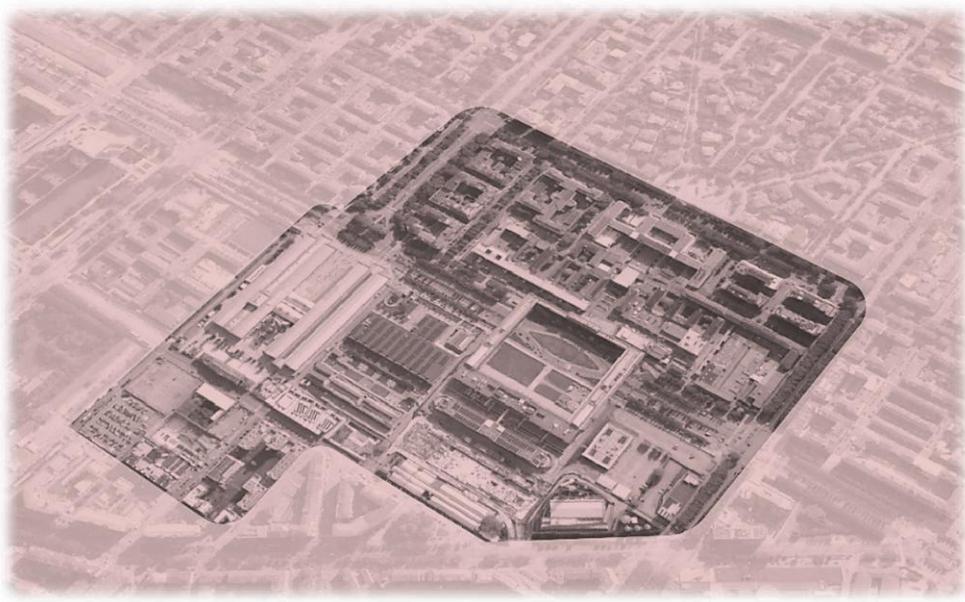


Figure 6 Vista satellitare dei complessi edilizi del Politecnico di Torino

Per far sì che questo impegno si traduca in risultati tangibili e misurabili, è essenziale avere a disposizione metodi di valutazione rigorosi. Tali metodi sono fondamentali per misurare gli impatti generati e per poterli ridurre. Oltre a ciò, garantiscono che i principi della sostenibilità vengano integrati sia nella didattica che nelle attività di ricerca. In questo senso il Politecnico di Torino è un esempio di questa volontà. L'Ateneo, infatti, lavora costantemente per trasformare gli obiettivi globali in strumenti operativi che possano essere applicati a livello nazionale e regionale, in particolare attraverso collaborazioni specifiche come quella su cui si basa questa tesi.

1.3 Obiettivi della tesi

Il mio percorso di tesi prende parte a un contesto attivo di azione e ricerca. Questo lavoro deriva da un'esperienza di tirocinio formativo svolta presso iiSBE Italia. Quest'ultima è l'organismo nazionale che rappresenta l'International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE) e svolge la funzione di riferimento scientifico per il Protocollo ITACA. Oggi, iiSBE Italia è impegnata in una collaborazione strategica che coinvolge il Politecnico di Torino, l'ente ITACA e la Regione Piemonte.

L'analisi e la validazione del protocollo sono state sviluppate all'interno delle strutture dell'Ateneo, in particolare presso l'Energy Center (EC). Questo centro è il punto di riferimento del Politecnico per la ricerca energetica e funge da snodo centrale per tutte le collaborazioni con gli enti esterni che abbiamo menzionato.

Questo elaborato si focalizza sull'analisi di due nodi cruciali emersi nel panorama scientifico: primo, l'esigenza di passare dalla valutazione del singolo edificio universitario (*scala building*) all'analisi dell'intero Campus universitario (*scala urbana*), per esaminarne la sostenibilità alla scala urbana; in secondo luogo, la necessità di definire linee guida relative alla sostenibilità, coerenti con la normativa in vigore e le condizioni climatiche locali e nazionali.

Lo studio si prefissa tre obiettivi principali che prevedono primariamente l'analisi critica delle metodologie e strumenti di valutazione esistenti per poi identificarne i limiti nel contesto Campus; inoltre, mira a fornire un contributo pratico alla definizione e successiva validazione di un nuovo strumento del Protocollo ITACA specificatamente per i Campus; e infine, si propone di definire la metodologia di valutazione estesa per gli aspetti ambientali ed energetici, nonché le schede di prestazione finalizzate a supportare la fase di gestione sostenibile del Campus, naturalmente in linea con l'Agenda 2030.

Il protocollo raggiunge questi traguardi conferendo come risultato finale uno strumento pratico, convalidato a livello regionale (il Protocollo ITACA per Campus) che si rivelerà cruciale per la gestione sostenibile dei complessi universitari e per il loro allineamento con gli obiettivi dell'Agenda 2030.

1.4 Struttura della tesi

Il percorso di ricerca è illustrato attraverso quattro capitoli principali che coprono la giustificazione, la teoria, la metodologia e i risultati del progetto. La tesi si sviluppa come segue:

Capitolo 1: Definisce il quadro di riferimento del progetto, analizzando il ruolo dell'Agenda 2030 e degli SDGs come guida per la sostenibilità. Viene messa in luce l'importanza strategica dell'Ambiente Costruito (*Built Environment*) e la necessità di focalizzare la ricerca sui Campus universitari. Il capitolo si conclude con la presentazione della collaborazione istituzionale tra il Politecnico di Torino e iisbe Italia e l'obiettivo della tesi.

Capitolo 2: È dedicato alla Revisione della Letteratura. Questo capitolo esamina e compara i principali strumenti di valutazione della sostenibilità a livello internazionale e ne analizza l'applicabilità – o i limiti – per la scala Campus, definendo il contesto tecnico che giustifica la creazione di un nuovo protocollo.

Capitolo 3: Si focalizza sugli Strumenti, Metodologia e Processo di Ricerca. Qui viene introdotta la base teorica del progetto, ovvero l'approccio SBE Method (*Sustainable Building and Environment*) e il suo ruolo come fondamento metodologico per il Protocollo ITACA. Successivamente, si descrive in dettaglio il processo di sviluppo e l'estensione del Protocollo ITACA per i Campus.

Capitolo 4: Presenta i Risultati ottenuti. Vengono illustrati e discussi i contributi specifici del lavoro di tesi, in particolare la definizione delle schede di prestazione relative agli aspetti ambientali ed energetici, concludendo con una discussione sulle implicazioni e sulle prospettive future del Protocollo ITACA per Campus.

02

ANALISI DELLA LETTERATURA

2.1 Strumenti di Valutazione della Sostenibilità

La presente tesi si occupa di definire una versione estesa del Protocollo ITACA per Campus, avente come base lo strumento di valutazione SBE Method. Difatti, quest'ultimo costituisce il framework metodologico primario da cui derivano gli strumenti operativi SBTool, SNTool e di conseguenza il protocollo ITACA, strumento standard utilizzato nel nostro Paese. Tuttavia, il panorama internazionale offre un'ampia varietà di sistemi che consentono di effettuare una valida valutazione della sostenibilità (i cosiddetti SATs) e ranking. Come sottolineano Waas e colleghi, questi strumenti sono essenziali perché ci aiutano a passare dalla semplice teoria della sostenibilità a una vera e propria strategia decisionale concreta. L'analisi di questi strumenti consente di comprendere il gap metodologico e di conseguenza l'esigenza di un protocollo più specifico. Tuttavia, quando proviamo ad applicare questi metri di giudizio a realtà complesse come un campus universitario, ci scontriamo con alcuni limiti storici.

Nel panorama dei framework di valutazione dell'Ambiente Costruito si affermano diversi sistemi di certificazione focalizzati sulla scala edilizia, tra i quali BREEAM, il sistema di certificazione LEED, WELL e lo standard di sistema di gestione ISO 14001.

Se guardiamo all'evoluzione di questi sistemi, notiamo che la maggior parte dell'attenzione si è concentrata per decenni sull'edificio singolo. Strumenti famosi a livello globale, come il sistema di certificazione **Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)** risulta essere il più diffuso dalla progettazione alla costruzione e gestione. Sviluppato dall'USGBC, LEED si afferma come riferimento nella definizione della performance degli edifici in base all'attribuzione di crediti per ogni requisito del settore (risparmio energetico, idrico, riduzione emissioni CO₂). Similmente opera anche **BREEAM** (Regno Unito), il primo sistema di valutazione a crediti. La loro logica è intrinsecamente legata alla scala del singolo fabbricato.

Sistemi come BREEAM e LEED hanno raggiunto un livello di maturità notevole nel dirci quanto un palazzo sia efficiente. Tuttavia, un campus non è solo una somma di edifici isolati; è un pezzo di città, una comunità viva. Come osservano Sharifi e Murayama in una loro revisione critica, sebbene esistano molti strumenti per il singolo edificio, c'è stata storicamente una scarsa attenzione per quella scala intermedia che è il quartiere.

Comunque, l'approccio basato sui crediti è stato ampiamente messo in discussione, poiché nuovi standard internazionali, come la RIBA Sustainable Outcomes Guide, chiedono un focus diretto sui risultati misurabili anziché sul semplice rispetto di una lista prescrittiva.

Quando si tenta di allargare lo sguardo alla scala urbana o di quartiere, emergono delle lacune. Sempre Sharifi e Murayama evidenziano come molti degli strumenti attuali tendano a fallire nel momento in cui bisogna bilanciare le diverse dimensioni della sostenibilità: spesso sono molto forti sugli aspetti tecnici e ambientali, ma trascurano gli aspetti sociali, economici e istituzionali. Inoltre, tendono a essere rigidi: funzionano bene ovunque, ma non benissimo in un luogo specifico, perché mancano di meccanismi per adattarsi al contesto locale.

In questo scenario è altresì importante distinguere gli strumenti di rating che valutano le performance del singolo edificio e la sua efficienza energetica dal Protocollo **WELL**, che attraverso la progettazione e l'ottimizzazione degli spazi mira alla salute e benessere dell'occupante (human-centric approach), confermando ancora una volta come l'ambiente costruito svolga un ruolo fondamentale nel benessere della persona.

Nel contesto della gestione, lo standard **ISO 14001** contribuisce in maniera esemplare alla gestione della complessità operativa. La norma raggiunge tale scopo mediante gestione e monitoraggio continuo dei propri impatti ambientali definendo una serie di requisiti per un Sistema di Gestione Ambientale (SGA), distinguendosi grazie alla fase di processo invece che a quella di misurazione diretta della performance energetica.

Ancora, è essenziale includere lo strumento di reporting **LEVEL(s)**, il quadro comune dell'Unione Europea per la valutazione della sostenibilità degli edifici. Il suo contributo risiede nell'aver fornito una standardizzazione del linguaggio tecnico, introducendo indicatori basati sul **Ciclo di Vita (LCA)** degli edifici.

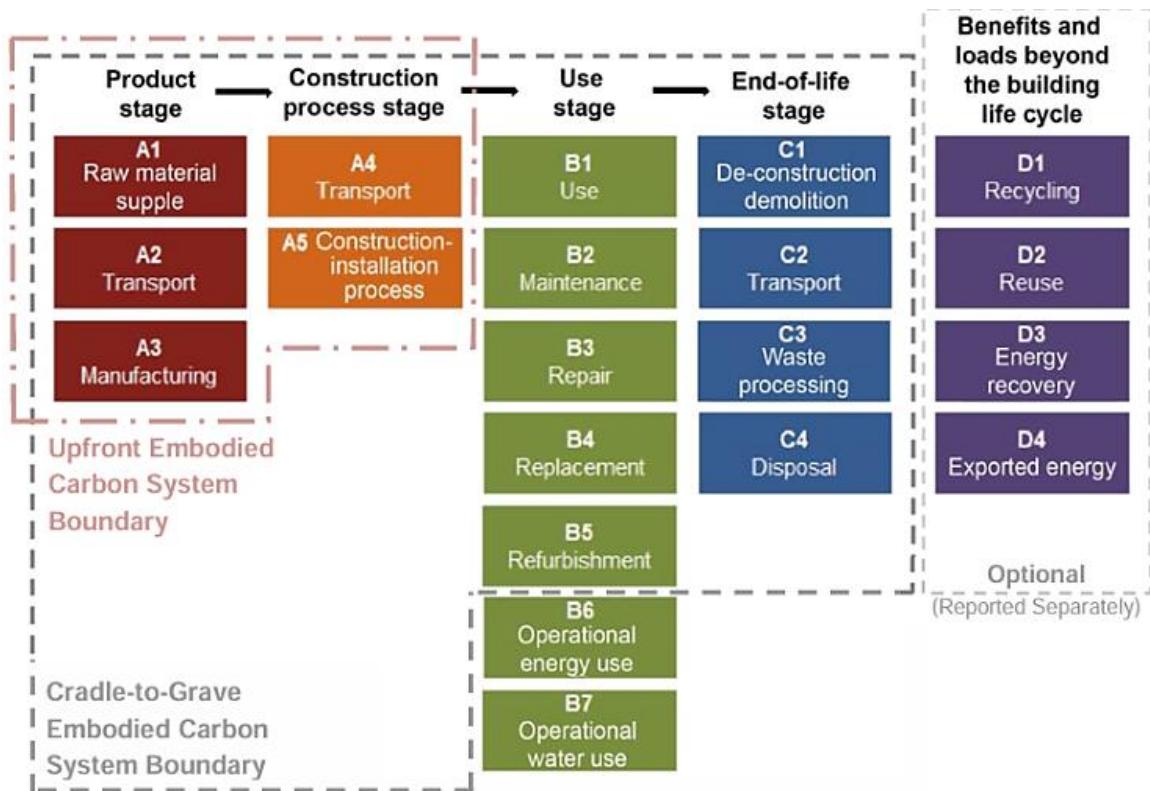


Figure 7 Fasi ciclo di vita dell'edificio (NRC Guidelines)

In aggiunta alla valutazione ambientale (LCA), un protocollo di certificazione considera anche l'aspetto economico a lungo termine. Questo si chiama Life Cycle Costing (LCC).

L'LCC è un metodo che serve a quantificare tutti i costi di un edificio dalla sua costruzione fino alla sua demolizione. Come illustrato negli schemi di Ness e colleghi, il LCC è una componente fondamentale perché sposta l'attenzione sui costi lungo l'intero ciclo di vita del progetto. Non guarda solo al prezzo iniziale, ma tiene conto di tutte le spese future come manutenzione, sostituzione degli impianti, e i costi energetici. L'integrazione tra costi e impatti è una pratica necessaria per le decisioni di investimento. La norma internazionale ISO 15686-5, ad esempio, specifica che questo approccio deve essere applicato per valutare la vera convenienza economica di una soluzione nel corso degli anni.

2.2 Strumenti di valutazione della sostenibilità per Campus

I Campus universitari, per la loro complessità strategica e la loro vasta utenza, necessitano di specifici sistemi di misurazione. Per questo motivo, sono stati sviluppati dei framework di valutazione dedicati che includono aspetti amministrativi, didattici e di governance istituzionale.

Lo sviluppo di questi strumenti è cresciuto significativamente dal 1990 per supportare l'attuazione degli impegni internazionali (Caeiro et al., 2020). L'obiettivo di questi sistemi riguarda la misurazione delle performance, la trasparenza istituzionale e un allineamento strategico (Berzosa et al., 2017).

Tra i principali framework esistenti in questo ambito figurano:

STARS (Sustainability Tracking, Assessment Rating System), strumento sviluppato dall'AASHE (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education). STARS è un sistema basato sull'attribuzione di punti di credito. Valuta le prestazioni di sostenibilità attraverso quattro aree principali: attività accademiche, operazioni del campus, community engagement e pianificazione istituzionale. La logica del sistema è l'autovalutazione (self-assessment), che ha lo scopo di guidare e sviluppare le politiche interne dell'istituzione. È un sistema che valuta il livello di integrazione della sostenibilità nelle attività del Campus e serve come guida strategica per definire i futuri obiettivi istituzionali.

UI GreenMetric World University Ranking è un sistema che utilizza metriche misurabili per assegnare un punteggio e produrre un ranking globale delle Università. Questo strumento valuta le performance in sei categorie chiave: infrastrutture e impatto visivo, efficienza energetica e cambiamenti climatici, sistemi di trasporto, uso dell'acqua, gestione dei rifiuti e pratiche di educazione. Il successo di questo ranking è legato al suo obiettivo primario di confronto globale e visibilità internazionale, come evidenziato nel Deliverable 1.3 del progetto strategico sviluppato dalla collaborazione tra il Politecnico di Torino e iiSBE (Torabi Moghadam et al., 2024), focalizzandosi sull'impatto fisico del Campus per il benchmarking.

Questi due sistemi si occupano di valutare la sostenibilità a livello istituzionale e svolgono un ruolo importante per la misurazione pubblica e la trasparenza degli atenei. Tuttavia, questi sistemi non includono valutazioni specifiche sul dettaglio del singolo edificio (come l'efficienza degli impianti o la qualità dei materiali) né l'area urbana circostante al Campus. Questo aspetto, come si vedrà nel prossimo paragrafo, limita l'efficacia dei dati per poter pianificare interventi tecnici mirati, come ad esempio la riqualificazione energetica di uno specifico edificio.

È proprio qui che emerge il "gap", il vuoto metodologico che giustifica lo sviluppo di una versione estesa del Protocollo ITACA per i Campus. Molti degli strumenti internazionali, come notano Kaur e Garg nella loro analisi, tendono a ignorare le specificità culturali e locali, concentrandosi troppo su aspetti globali come le infrastrutture e la gestione delle risorse. Un

campus universitario italiano ha peculiarità storiche, sociali e climatiche che uno standard globale fatica a catturare pienamente.

Sebbene strumenti come **STARS** e **UI Green Metric** rappresentino delle eccellenze nei rispettivi campi, come abbiamo appena visto, sorge spontanea una domanda: questi sistemi raccontano tutti la stessa verità sulla sostenibilità di un ateneo? La risposta, purtroppo, è no.

Per capire questo limite, è illuminante osservare cosa accade quando si prova ad applicare strumenti diversi alla stessa università. Uno studio empirico condotto da Berzosa e dal suo team ha fatto proprio questo esperimento, mettendo a confronto diverse metodologie su un unico caso studio reale. I risultati di questa ricerca fungono da campanello d'allarme per chiunque si occupi di pianificazione: gli studiosi hanno scoperto che ottenere un punteggio alto in un sistema non garantisce affatto un risultato eccellente in un altro.

Mentre uno strumento come STARS può premiare l'approccio quantitativo e la gestione dei dati, altri protocolli potrebbero penalizzare lo stesso campus se non soddisfano criteri qualitativi o procedurali specifici. Berzosa evidenzia come perseguire il massimo punteggio in un singolo rating possa far perdere di vista altre questioni ambientali o sociali che quello strumento specifico ignora o considera marginali.

In sintesi, la "diagnosi" di sostenibilità cambia radicalmente in base al "termometro" che decidiamo di usare. Questo disallineamento conferma che non esiste una ricetta globale perfetta e rafforza la necessità di uno strumento come l'estensione del Protocollo ITACA: un sistema che non si limiti a importare metriche standard, ma che sia calibrato per leggere la complessità specifica e il contesto unico dei nostri campus.

Serve quindi uno strumento che non si limiti a importare metriche standardizzate, ma che sia capace di leggere il territorio. L'obiettivo è superare quella che Kaur e Garg definiscono una comprensione incompleta della sostenibilità urbana, dove le complesse relazioni tra le varie categorie vengono spesso semplificate eccessivamente. La proposta di un Protocollo ITACA Campus nasce proprio da questa esigenza: unire il rigore della valutazione tecnica alla sensibilità per il contesto locale, colmando quella distanza che ancora esiste tra la valutazione del singolo edificio e la complessa, vibrante realtà di un distretto universitario.

2.3.2 Modelli Reali ed Esperienze di Gestione Sostenibile

Quando parliamo di sostenibilità all'interno di un'università, non possiamo limitarci a guardare un singolo edificio o a contare quanti pannelli solari sono stati installati. Dobbiamo immaginare il campus universitario come se fosse un sistema complesso, molto simile a una piccola città o a un quartiere.

La storia ci insegna che il modo in cui le università affrontano la sostenibilità è cambiato nel tempo. Possiamo individuare tre grandi fasi o "epoche". Nella prima fase, tra gli anni '70 e '90, l'obiettivo era semplicemente "rinverdire" il campus, magari occupandosi un po' di riciclo o piantando alberi. Successivamente, c'è stata una fase di crescita in cui si sono create figure professionali dedicate. Oggi siamo nella terza fase, in cui l'obiettivo è trasformare l'università in un vero e proprio motore di cambiamento per tutta la società, integrando la sostenibilità non solo nelle operazioni pratiche ma anche nell'educazione e nella ricerca.

Per gestire questa complessità, stanno emergendo nuovi metodi di valutazione più flessibili rispetto a quelli tradizionali descritti sopra. Ad esempio, il metodo SBTool (per gli edifici) e SNTTool (per i quartieri e i campus) sono stati pensati per adattarsi al contesto locale. Invece di applicare le stesse rigide regole ovunque, questi strumenti permettono di scegliere i criteri più importanti in base a dove si trova l'università (ad esempio, in un luogo arido l'acqua sarà più importante che altrove). Un altro approccio interessante è quello del sistema giapponese **CASBEE**, che valuta l'efficienza non solo come risparmio, ma come un rapporto tra la qualità della vita che offriamo agli utenti e il carico ambientale che generiamo.

Per capire come queste teorie si trasformano in pratica, l'esempio di **UC Davis** è uno dei più interessanti al mondo. Qui la sostenibilità non è solo uno slogan, ma il risultato di una storia lunga e di una collaborazione molto particolare tra l'università e la città che la ospita.



Figure 8 Sito, contesto e ambiente, UC Davis, California [Fonte: <https://www.archdaily.com/215764/uc-davis-west-village-studio-e-architects>]

Bronson descrive la relazione tra questa università e la città di Davis come un "sistema biforcato": sono due entità separate (hanno persino sistemi idrici e codici postali diversi), ma che collaborano strettamente. Questa collaborazione ha prodotto risultati straordinari, soprattutto nei trasporti.

Davis è famosa per essere la capitale americana della bicicletta. Questo non è accaduto per caso, ma grazie alla spinta dei cittadini e degli studenti negli anni '60, che hanno chiesto e ottenuto la creazione di piste ciclabili quando ancora non esistevano nemmeno le leggi per costruirle. Oggi c'è una rete integrata che permette a studenti e residenti di muoversi senza auto. Un altro esempio incredibile è Unitrans, il sistema di autobus. Negli anni '60, l'associazione degli studenti comprò dei vecchi autobus a due piani da Londra. Oggi, quel sistema è diventato il servizio di trasporto pubblico ufficiale per tutta la città, ed è gestito e guidato proprio dagli studenti universitari. È un caso perfetto di come l'università fornisca un servizio essenziale a tutta la comunità, riducendo l'uso delle auto private.

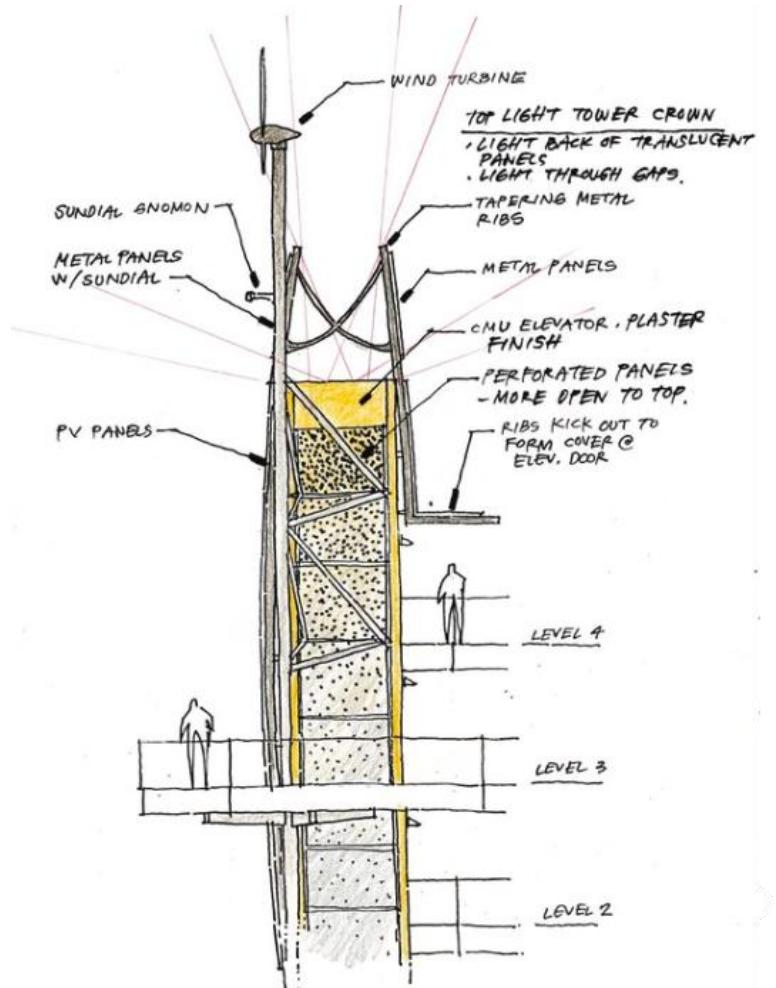


Figure 9 Sketch schematici, uso misto dell'edificio e torre [Fonte
<https://www.archdaily.com/215764/uc-davis-west-village-studio-e-architects>]

La sfida più grande per UC Davis è stata però la crescita: servivano più alloggi per studenti e professori. Invece di costruire dormitori standard, hanno creato il **West Village**. Questo quartiere è stato progettato con un obiettivo ambizioso: essere una comunità a "Impatto Zero" (Zero Net Energy). L'idea è semplice ma difficile da realizzare: il quartiere deve produrre, nel corso dell'anno, tanta energia quanta ne consuma. Per farlo, hanno prima lavorato per ridurre drasticamente i consumi (fino al 50-60% in meno rispetto alle case normali) usando un'architettura intelligente che sfrutta il sole e il vento. Poi, hanno coperto tetti e parcheggi con pannelli fotovoltaici per produrre l'energia necessaria. Anche se non sempre si raggiunge il pareggio perfetto ogni anno, West Village dimostra come un campus possa essere un pioniere tecnologico, sperimentando soluzioni (come l'uso di biogas dagli scarti della mensa) che sarebbero difficili da fare altrove.

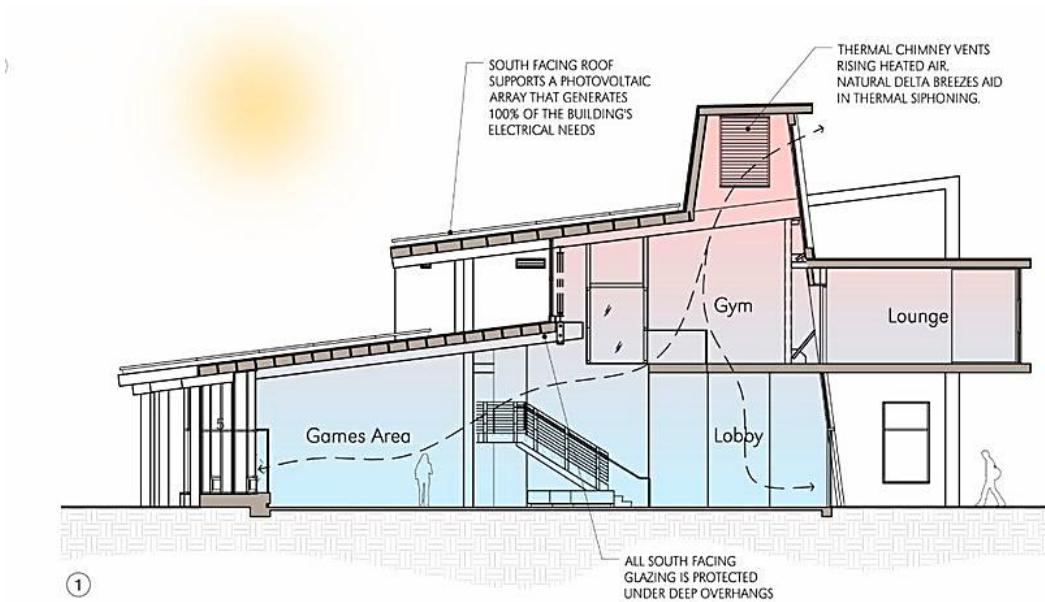


Figure 10 Sezione West village UC Davis, California [Fonte <https://www.archdaily.com/215764/uc-davis-west-village-studio-e-architects>]

2.3.3 Il contesto Italiano

L'esigenza di superare la standardizzazione internazionale per un approccio più contestualizzato è dimostrata dalle recenti iniziative urbanistiche delle grandi città italiane. Nel territorio nazionale vi sono esempi di come le università stiano cercando la propria strada verso la sostenibilità, adattandosi a contesti molto diversi da quelli americani.

Pensiamo all'**Università Ca' Foscari a Venezia**. Qui la sfida è unica: fare sostenibilità in una città storica e fragile, Patrimonio dell'Umanità. Non potendo costruire nuovi quartieri come a Davis, Ca' Foscari si è concentrata sulla gestione degli edifici storici. È riuscita, ad esempio, a ottenere la certificazione LEED (nella versione per la gestione e manutenzione degli edifici esistenti) per la sua sede storica sul Canal Grande, diventando il palazzo più antico al mondo con questa certificazione. Questo dimostra che si può essere sostenibili anche senza costruire da zero, ma gestendo bene ciò che si ha. Inoltre, Ca' Foscari ha puntato molto sul coinvolgimento degli studenti attraverso l'arte e il sociale, integrando la sostenibilità nel suo Statuto e nei suoi bilanci.

Un altro esempio è il campus di **Fisciano dell'Università di Salerno**. Qui si è lavorato molto sulla gestione dei rifiuti e dell'energia. È stato installato un impianto di cogenerazione (che produce elettricità e calore insieme) e un grande impianto fotovoltaico, che coprono una parte significativa del fabbisogno del campus. Tuttavia, le analisi mostrano che ci sono ancora sfide, come migliorare la raccolta differenziata o ridurre la dipendenza dalle auto private per raggiungere il campus, problemi comuni a molte università italiane.

Un altro esempio che dimostra come le città italiane stiano attivamente cercando di integrare la sostenibilità nella pianificazione a livello di distretto:

La **Città di Torino** rappresenta un caso studio eccellente per l'applicazione di strategie sostenibili a scala urbana. L'amministrazione ha promosso una profonda revisione del proprio Piano Regolatore Generale (PRG) per integrarvi obiettivi di resilienza e sostenibilità a bassa emissione di carbonio. In questo contesto, il progetto europeo **MOLOC** (Low Carbon Urban Morphology), finanziato dal programma Interreg Europe e coordinato localmente da Urban Lab, ha fornito una base metodologica cruciale. L'obiettivo di MOLOC è stato indagare come i processi di trasformazione della città, e in particolare la progettazione morfologica, possano favorire l'efficienza energetica e la qualità della vita, superando le barriere normative e culturali che limitano la transizione energetica.

L'esito operativo di questo percorso è stato il recepimento degli studi di MOLOC all'interno della strumentazione urbanistica (in particolare nella Proposta Tecnica del Progetto Preliminare della

Revisione del PRG). È importante notare come Torino sia stata anche il terreno di sperimentazione pratica per il Protocollo ITACA a Scala Urbana: le prime versioni dello strumento, sviluppate da iiSBE Italia e dal Politecnico di Torino, sono state testate proprio sulle aree di trasformazione previste dalla Variante n. 200 del PRG.

Questo passaggio evidenzia come la strategia di Torino sia orientata a superare la logica del singolo edificio (tipica di certificazioni come LEED o BREEAM) per abbracciare la scala di distretto. L'approccio adottato non si limita a valutare il manufatto, ma analizza la morfologia urbana, il sistema degli spazi pubblici e le reti di connessione come elementi attivi per il contenimento delle emissioni e il miglioramento della sostenibilità ambientale.

2.3 Framework concettuale per la scala Campus

Dopo aver esaminato i vari strumenti di valutazione, è chiaro che esiste un problema di fondo nella metodologia. I sistemi attuali, sia per i singoli edifici che per le intere istituzioni, non sono adeguati a misurare ciò che serve.

I protocolli come BREEAM e LEED sono nati e sono stati sviluppati per la scala edilizia (building scale). Di conseguenza, il loro obiettivo e il loro set di indicatori non coprono l'intera complessità di un Campus con le sue diverse costruzioni e le aree in comune. Il loro focus sul singolo edificio non riesce a vedere l'efficienza derivante da quella che può essere una visione d'insieme, né considera i vantaggi che derivano dai servizi condivisi (centrali che servono più blocchi), né i benefici che un Campus ottiene dall'interazione con l'area urbana circostante. Inoltre, essendo nati in contesti normativi specifici, richiedono adattamenti complessi e costosi per essere applicati in Italia.

Similmente, il Protocollo WELL guarda quasi solo al benessere degli occupanti, tralasciando altri indicatori ambientali importanti. La norma ISO 14001, invece, valuta i processi di gestione e non la misurazione diretta delle performance reali.

A tutte queste debolezze si aggiunge un altro grande limite: la maggior parte dei sistemi di valutazione tradizionali non include l'analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment - LCA). Questa limitazione impedisce di valutare in maniera olistica l'impatto. Poiché l'industria delle costruzioni è responsabile di buona parte delle emissioni globali e gas serra, concentrarsi solo sull'uso dell'edificio non è sufficiente. Inoltre, la RIBA 2030 Climate Challenge dimostra che la

vera sfida per la decarbonizzazione risiede nel contenimento del Carbonio inglobato (Embodied Carbon), emesso durante la costruzione, un aspetto che i sistemi di valutazione standard tendono a trascurare in favore della sola fase operativa (consumi di energia e acqua) e non coprono le fasi cruciali di fine vita e di economia circolare.

Secondo la norma UNI EN 15978:2011, per avere una valutazione completa e vera dell'impatto del Campus, dalla produzione dei materiali fino allo smaltimento (cradle to grave), l'LCA è essenziale. Come stabilito dalla norma EN 15804 è preferibile valutare l'edificio nella sua totalità, per cui non è possibile selezionare una soluzione tecnica (quale un materiale) in funzione dei soli dati provenienti dalla sua scheda tecnica ambientale. La norma stabilisce infatti l'obbligo di eseguire un confronto tra i vari materiali nell'intero sistema edilizio, non in maniera isolata. Tale strategia consente di individuare una soluzione caso per caso in base alle specifiche condizioni locali del progetto (tema alla base del Protocollo ITACA Campus).

Oltre ai problemi di scala, l'uso di qualsiasi strumento si scontra con ostacoli interni alle Università. A tal proposito, lo studio di Nogueiro et al. (2022) ha evidenziato una rigidità che caratterizza la struttura, difficoltà di comunicazione e una scarsa cooperazione tra i dipartimenti, ponendo sfide concrete all'implementazione della sostenibilità. Queste difficoltà però non sono insormontabili, definiscono invece i requisiti fondamentali per un nuovo strumento: questo deve essere flessibile e capace di facilitare la collaborazione tra i diversi settori dell'Ateneo. Questa necessità di integrazione è cruciale e spinge verso l'adozione di metodologie innovative.

Inoltre, i *ranking* esistenti come STARS e UI GreenMetric, anche se pensati per l'istituzione intera, risultano superficiali per guidare interventi tecnici concreti e producono valutazioni sbilanciate, inadatte soprattutto per le Università con poche risorse (Boiocchi et al., 2023). Un altro problema cruciale è legato alle risorse umane e finanziarie; secondo Lad e Akerlof (2022), il personale dedicato alla sostenibilità è limitato, e ciò significa che mancano le persone per la raccolta continua dei dati (come i consumi effettivi). Di conseguenza, anche il miglior strumento di valutazione rischia di produrre risultati poco precisi, rendendo vani gli sforzi per prendere decisioni precise e basate su prove concrete.

Quanto esaminato porta a un quadro di inadeguatezza metodologica e all'assenza di una strategia nazionale valida per gli obiettivi dell'Agenda 2030, come sostenuto da ASViS (2018). Tutto ciò giustifica l'esigenza di un protocollo di valutazione pensato appositamente per i complessi universitari.

Dopo aver analizzato i limiti degli strumenti di valutazione della sostenibilità (SATs) più diffusi, emerge la necessità di un approccio che non sia rigido, ma adattabile al contesto specifico e capace di gestire la complessità tipica di un campus universitario, che agisce sia come un insieme di edifici che come un tessuto urbano. Per rispondere a questa esigenza, la ricerca adotta il **Metodo SBE (Sustainable Built Environment)**, una metodologia di analisi multicriterio sviluppata a livello internazionale per valutare la sostenibilità dell'ambiente costruito. L'approccio SBE Method, sviluppato dall'iniziativa internazionale iiSBE è fondamentale perché, a differenza dei sistemi di ranking o di certificazione visti prima, si concentra sulla Performance (cioè, sui risultati effettivi) e non sulla prescrizione di soluzioni rigide. Il Metodo SBE rappresenta la metodologia scientifica di base ("il motore"), organizzata in una struttura gerarchica (Temi, Categorie, Criteri, Indicatori) che permette di tradurre obiettivi globali in misurazioni locali. E costituisce la base concettuale di framework applicativi internazionali quali SBTool (Sustainable Building Tool) e SNTTool (Sustainable Neighbourhood Tool). La distinzione tra i due è molto importante: SBTool valuta il singolo edificio, mentre SNTTool estende l'analisi alla scala di quartiere o vicinato (neighbourhood level), coprendo fattori urbani come la mobilità e la governance.

Il punto di forza di questo approccio è la sua estrema flessibilità e capacità di localizzazione. Questa caratteristica è cruciale in Italia, dove il Protocollo ITACA (direttamente derivato da SBE) è stato pensato appositamente per integrarsi con le normative regionali e con la complessità dei nostri edifici storici e moderni. Quest'ultimo protocollo invece, rappresenta la contestualizzazione ufficiale italiana di questi strumenti ("la normativa locale"). Sviluppato dalle Regioni e da ITACA (Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti), esso adatta i pesi e i benchmark del metodo SBE al contesto normativo, climatico e costruttivo italiano.

L'adozione di questo framework rappresenta l'approccio più valido per sistemizzare la valutazione a livello di Campus, in quanto consente di gestire la complessità universitaria unendo il dettaglio tecnico alla scala edilizia (SBTool Campus) con l'analisi del contesto urbano (SNTTool Campus). Questo approccio garantisce una forte adattabilità al contesto normativo e climatico, seguendo la logica tipica del metodo SBE. Per questo motivo, tali framework sono scelti come modelli di base per lo sviluppo operativo del Protocollo ITACA per Campus, assicurando così l'allineamento con gli standard di certificazione istituzionali italiani e la cui struttura e applicazione specifica verranno illustrate in modo ampio nel Capitolo 3.

03

METODOLOGIA TESI

3.1 Contesto Istituzionale del Protocollo ITACA

Se nei capitoli precedenti è stata analizzata la necessità di strumenti di valutazione della sostenibilità specifici per il settore universitario e sono stati esaminati i limiti dei sistemi di ranking tradizionali, il presente capitolo mira a descrivere la metodologia che è stata adottata per sviluppare il Protocollo ITACA dedicato ai Campus universitari. L'obiettivo è fornire i dettagli del framework concettuale e del processo operativo di selezione e definizione dei criteri che costituiscono il nuovo strumento di valutazione.

Il progetto nasce nell'ambito della collaborazione strategica tra il Politecnico di Torino e iiSBE Italia, volta a tradurre la necessità di sostenibilità in uno strumento analitico e misurabile per gli atenei.

3.1.1 La Base Concettuale: l'SBE Method

L'intero processo di sviluppo metodologico si fonda su un approccio scientifico e flessibile che deriva dal framework internazionale SBE Method (Sustainable Built Environment Method), successivamente adattato per sviluppare i criteri di valutazione specifici.

La metodologia di valutazione multicriteriale SBE Method è nata dal processo di ricerca internazionale, il Green Building Challenge (GBC), avviato nel 1998 e coordinato da iiSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment). L'affidabilità dell'SBE Method è stata confermata dalla sua ampia sperimentazione globale. L'applicazione metodologica è stata verificata su centinaia di progetti pilota distribuiti in una vasta gamma di contesti climatici e normativi (con casi studio dall'Europa, Asia e Americhe) garantendone la validità per diverse tipologie edilizie, inclusi uffici, complessi pubblici e strutture scolastiche.

La filosofia del Metodo SBE si basa su un principio adottato dalla comunità di sviluppo sostenibile che combina una metodologia scientifica di valutazione con la flessibilità nell'adattamento a scala locale. In pratica, questo significa che lo SBTool fornisce una struttura analitica standardizzata riconosciuta ovunque, mentre il Protocollo ITACA ha il compito di calibrare i requisiti di prestazione (*i benchmark*) in base alle specifiche esigenze, leggi e condizioni climatiche di ogni luogo (ad esempio, adattando i benchmark alle normative nazionali). A differenza dei sistemi di ranking o di certificazione rigidi visti nel Capitolo 2, l'SBE Method non impone soluzioni specifiche, ma si concentra sui risultati di Performance (cioè sui risultati effettivi) anziché sulla prescrizione di specifiche soluzioni.

La metodologia si organizza secondo una **struttura gerarchica** a quattro livelli interconnessi, questa permette che la valutazione sia completa e dettagliata:

- **Issues (Temi):** Rappresentano i macro-ambiti della sostenibilità (ad esempio: Energia, Aspetti Sociali, Acqua, Uso del Suolo), che costituiscono i temi generali della valutazione.
- **Categories (Categorie):** Approfondiscono i particolari aspetti dei Temi. Ad esempio, all'interno del Tema "Energia", si possono trovare le Categorie come "Efficienza dell'Involucro" o "Fonti Energetiche Rinnovabili".
- **Criteria (Criteri):** Sono le voci di valutazione basilari che devono essere misurate. Il Criterio è l'unità elementare su cui si fonda la valutazione (ad esempio: "Consumo totale di energia primaria per il funzionamento dell'edificio").
- **Indicators (Indicatori):** rappresentano la misura della performance rispetto ai Criteri attraverso quantità fisiche o scenari qualitativi, spesso espresse in unità di misura standard (kWh/m²anno o percentuali). L'indicatore sarà poi oggetto a normalizzazione.

3.1.2 Integrazione della Prospettiva del Ciclo di Vita (LCA)

Un elemento distintivo del Metodo SBE è la sua integrazione con la prospettiva olistica del **Ciclo di Vita** (LCA - Life Cycle Assessment).

La metodologia LCA, come accennato precedentemente, permette di estendere l'analisi oltre la sola fase operativa (il consumo di energia quando l'edificio è in uso) per coprire l'impatto ambientale generato dall'intera esistenza di un edificio, dalla "culla alla tomba". Come ha notato Cole, R. (un pioniere nello sviluppo di questi metodi) già nei primi anni 2000, un sistema di valutazione completo non può limitarsi solo al consumo in bolletta.

La valutazione del Ciclo di Vita considera quattro fasi principali:

1. **Fase di Produzione:** valuta l'impatto legato all'estrazione, lavorazione e trasporto di materie prime, fino al sito di costruzione (che corrisponde al modulo A1-A3 secondo le EPD).
2. **Fase di Costruzione:** Impatto del cantiere e della messa in opera.

3. **Fase di Uso e Manutenzione:** copre i consumi energetici e idrici quotidiani (il consumo in bolletta) oltre che l'impatto di sostituzioni ordinarie dei componenti edilizi nella fase di utilizzo dell'edificato.
4. **Fase di Fine Vita:** fase che considera l'impatto derivante da un'eventuale demolizione, smaltimento, o potenziale riciclo e riuso dei materiali (promozione dell'economia circolare).

L'adozione di questa visione integrale è fondamentale per i Campus universitari, dove il patrimonio edilizio è solitamente caratterizzato da strutture di carattere storico o comunque soggetto a frequenti riqualificazioni. Detto ciò, la decisione riguardo la selezione a basso impatto e gestione delle risorse (rifiuti solidi in cantiere etc), nonostante siano inizialmente articolate, ricoprono un ruolo essenziale nel determinare la performance ambientale complessiva del Campus.

3.1.3 Il Contesto Istituzionale

Il Protocollo ITACA in qualità di sistema istituzionale di valutazione e certificazione più diffuso in Italia è una declinazione diretta del framework SBTool, ereditandone la metodologia scientifica. Nasce nei primi anni 2000 dall'esigenza delle Regioni di dotarsi di strumenti validi per supportare politiche territoriali di promozione della sostenibilità ambientale.

Il Protocollo è stato inizialmente approvato nel 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. È fondamentale comprendere che il Protocollo ITACA non è un documento statico, ma un sistema dinamico in continua evoluzione (ciò garantisce l'adattabilità). Storicamente, il Protocollo è stato adottato da singole Regioni, tra queste anche la Regione Piemonte, che ha implementato la propria versione con specifiche normative locali.

Tuttavia, per garantire un riferimento tecnico univoco a livello nazionale, il Protocollo ha intrapreso un percorso di evoluzione attraverso l'Ente Italiano di Normazione (UNI). Il risultato di questa evoluzione è la Prassi di Riferimento UNI/PdR 13, che ha sostituito le versioni precedenti relative agli Edifici Residenziali. La versione più recente e tecnicamente riconosciuta a cui si fa riferimento è la UNI/PdR 13:2019 (aggiornamento 2023). Questa evoluzione garantisce che il Protocollo sia tecnicamente allineato alle normative nazionali ed europee (come la Direttiva EPBD) e sia uno strumento di riconosciuta validità tecnica.

L'approvazione della direttiva "Case Green" introduce il concetto di "edificio a emissioni zero" (Zero Emission Building), che sarà applicabile a tutti gli edifici nuovi e ristrutturati con scadenze

specifiche (pubblici dal 2026, tutti gli altri dal 2028). La EPBD stabilisce anche obiettivi minimi di prestazione energetica per l'esistente (raggiungere le classi E e D entro il 2033) e l'obbligo di dotarsi di tecnologie solari.

Poiché il Protocollo ITACA Campus definisce le metodologie di calcolo per i criteri energetici e climatici, la sua struttura si basa sulla necessità di allineare i benchmark a queste stringenti normative europee e nazionali.

3.2 SBTool e SNTool per il Campus

Lo sviluppo del Protocollo ITACA Campus ha richiesto di superare i limiti di scala tipici degli strumenti tradizionali, adattando il Metodo SBE alla complessità dimensionale dell'ambiente universitario.

Nonostante l'esistenza di diverse versioni ITACA, mancava una specificamente pensata per l'ambiente accademico. Per rispondere alla complessità del Campus, lo sviluppo del nuovo protocollo si è basato sull'adattamento di due strumenti iiSBE distinti, utilizzando quindi una doppia scala di valutazione:

- **SBTool Campus:** Utilizzato per la valutazione della scala edilizia (building assessment). Si focalizza sui singoli edifici universitari (aula, laboratori, biblioteche) e performance intrinseca delle strutture (involtro, impianti, materiali) garantendo il dettaglio tecnico necessario per la riqualificazione e l'efficienza energetica del patrimonio costruito.
- **SNTool Campus:** Utilizzato per la valutazione della scala urbana (neighbourhood level). Si focalizza sulla gestione del campus come un distretto o quartiere, valutando aspetti che vanno oltre i muri perimetrali del singolo edificato, come i sistemi di trasporto, la biodiversità e la governance del complesso.

L'utilizzo combinato di questi due framework (SBTool e SNTool) è una soluzione efficace per ottenere una combinazione tra una prospettiva globale e una più localizzata, arrivando quindi a una valutazione integrata.

Questa struttura consente di misurare in maniera dettagliata la prestazione sia a livello di unità edilizia che sull'intera scala del distretto universitario.

3.2.2 Il Processo Operativo

La metodologia adottata per lo sviluppo del protocollo Itaca Campus si fonda sull'integrazione tra la gestione del ciclo del progetto (Project Cycle Management - PCM) e le tecniche di supporto alle decisioni multicriteri (MCDA). Questo approccio è necessario poiché i campus universitari, che, come detto precedentemente sono assimilabili a porzioni di tessuto urbano, presentano le caratteristiche dei cosiddetti "problemi deboli" (*wicked problems*), ovvero contesti tipicamente instabili caratterizzati da una moltitudine di attori, relativi valori conflittuali e un alto grado di incertezza, dove non esiste una soluzione unicamente "vera" o "falsa", ma solo soluzioni "migliori" o "peggiori" rispetto a determinati criteri (Prigogine, 1997; Simon, 1969).

Il processo operativo non segue una direzione lineare ma una logica iterativa definita dal **Project Cycle Management (PCM)**. Questo standard internazionale struttura lo sviluppo del protocollo in fasi logiche distinte che vanno dall'identificazione degli attori alla definizione scientifica degli indicatori, fino alla strutturazione del modello di calcolo e richiedono una valutazione continua:

1. **Diagnosi (Diagnosis/Baseline Assessment):** È l'analisi delle condizioni attuali (stato di fatto) e l'identificazione dei bisogni e dei problemi critici del contesto.
2. **Visione e Programmazione (Visioning & Programming):** Rappresenta la fase di valutazione *ex-ante*, in cui si definiscono gli scenari futuri desiderati e si selezionano le strategie prima dell'implementazione.
3. **Implementazione (Implementation):** La fase operativa, supportata da una valutazione in itinere (e quindi formativa) per correggere eventuali deviazioni.
4. **Monitoraggio e Valutazione Finale (Monitoring & Evaluation):** Ultimo step riguardo la valutazione *ex-post* (sommativa) per verificare il raggiungimento degli obiettivi e l'impatto a lungo termine, generando un feedback che alimenta nuovi cicli di progettazione.

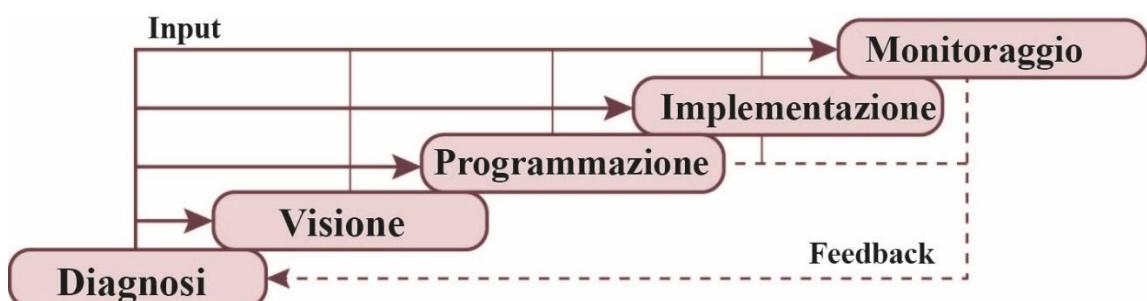


Figure 11 Step della valutazione- processo iterativo [Fonte A Community-Based Approach to Sustainable Urban Regeneration]

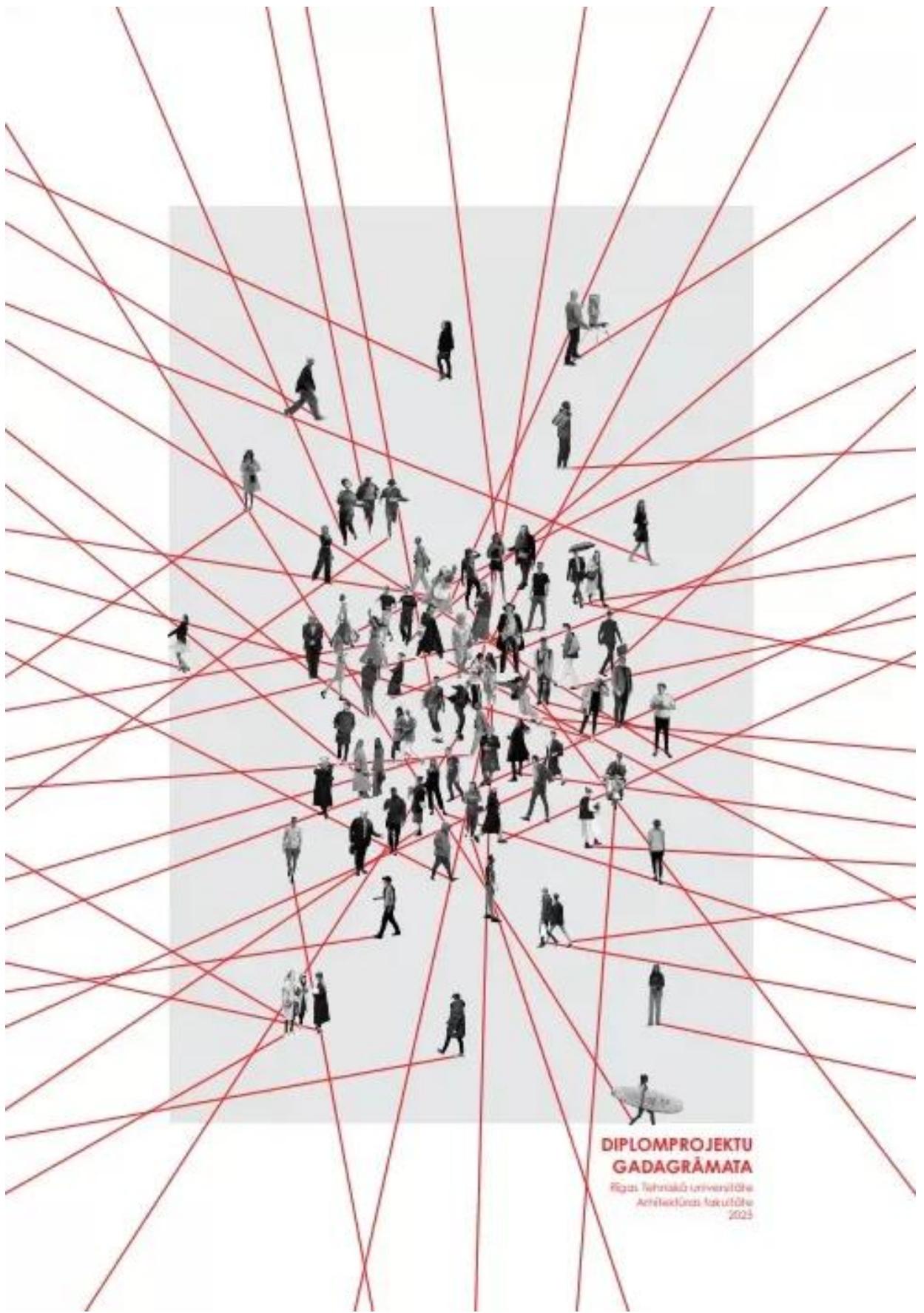


Figure 12 Institute of Architecture and Design

L'Ecosistema degli Attori: Stakeholder Analysis

Il primo passo fondamentale per garantire che il protocollo risponda alle esigenze effettive del contesto è proprio quella dell'analisi degli attori coinvolti (o meglio chiamata *Stakeholder Analysis*). Dal momento che si tratta di un progetto sostenibile, esso costituisce anche un esercizio partecipativo, ciò implica che sia fondamentale mappare chi ha un interesse ("stake") nel sistema. Gli attori coinvolti non sono entità generiche, ma portatori di risorse specifiche e interessi che possono influenzare il successo o il fallimento del protocollo.

La metodologia classifica gli attori in cinque tipologie principali, ognuna con una specifica legittimazione all'intervento:

1. Attori Politici (Political Actors): Basano la loro legittimazione sulla rappresentanza dei cittadini e sul consenso. In un sistema democratico, le decisioni richiedono un consenso popolare; pertanto, i rappresentanti eletti (es. sindaci, amministratori locali o organi politici universitari) devono avere accesso all'arena decisionale. La loro risorsa principale è il consenso politico (la capacità di mobilitare supporto). Nel protocollo in questione, rientrano in questa categoria la governance politica della Regione Piemonte, che promuove l'adozione del Protocollo ITACA come standard regionale per la sostenibilità edilizia, e gli organi di governo del Politecnico di Torino (es. Rettore e Consiglio di Amministrazione). Questi attori decidono se e quando adottare il protocollo come strumento di policy per la gestione del patrimonio universitario, fornendo l'indirizzo strategico necessario all'avvio della sperimentazione.

2. Attori Burocratici (Bureaucratic Actors): La loro legittimazione deriva dalle norme legali che attribuiscono loro specifiche responsabilità formali. In sistemi complessi, le regole predeterminano chi è titolato a prendere decisioni e quali procedure seguire (es. uffici tecnici comunali, funzionari pubblici). La loro risorsa chiave è quella legale (vantaggi o svantaggi attribuiti tramite regolamenti e norme). Questa categoria è dagli uffici tecnici della Pubblica Amministrazione e dell'Ateneo (es. Direzione Edilizia e Logistica del Politecnico). Questi soggetti non decidono la strategia politica, ma hanno il potere di facilitare o bloccare l'applicazione operativa del protocollo verificandone la conformità con le norme vigenti, i regolamenti edilizi e le procedure di appalto pubblico.

3. Interessi Speciali (Special Interests): Intervengono perché la scelta tra le alternative influenza direttamente i loro interessi specifici (economici o personali). Includono imprese, sviluppatori immobiliari, sindacati o gruppi che sopportano i costi o traggono benefici diretti

dalla trasformazione. La loro risorsa prevalente è spesso quella economica (capacità di mobilitare denaro o ricchezza per modificare il comportamento altrui). Qui i principali attori sono gli studenti e il personale tecnico-amministrativo che vivono quotidianamente il campus. Sebbene non abbiano la facoltà formale di opporsi, sono i destinatari delle prestazioni ambientali degli edifici (es. comfort termico, qualità dell'aria). Il loro "benessere" è fondamentale per il successo del protocollo, poiché il loro comportamento influisce sui consumi energetici e sull'uso degli spazi.

4. Interessi Generali (General Interests): Sono attori senza legittimazione politica o legale diretta, che intervengono per rappresentare interessi diffusi che non possono "difendersi da soli" o non sono strutturalmente capaci di agire in prima persona (es. generazioni future, tutela ambientale). Questa categoria include ONG, comitati di cittadini e associazioni di consumatori.

5. Esperti (Experts): Basano la loro pretesa di intervento sul possesso della conoscenza necessaria per strutturare il problema collettivo o trovare le soluzioni tecniche più appropriate. Includono accademici, scienziati e centri di ricerca. La loro risorsa fondamentale è quella cognitiva (disponibilità di informazioni, dati, teorie e modelli concettuali utili al processo decisionale). In questo caso questo gruppo è il motore scientifico del progetto. Esso include iiSBE Italia, la comunità accademica del Politecnico di Torino (professori, ricercatori, dottorandi e assegnisti), i gruppi di lavoro DENRG, PROGES, DIST, ognuno porta competenze differenti e necessarie. Il loro ruolo è tradurre gli obiettivi di sostenibilità in criteri misurabili (KPI).

Nello specifico, DENRG (Dipartimento di Energia): si occupa di tutto ciò che riguarda l'efficienza energetica del campus, l'uso delle risorse e l'impatto ambientale. Le competenze di tale gruppo di esperti sono utili a tradurre l'obiettivo di sostenibilità in numeri, calcoli e requisiti di natura tecnica.

DIST (Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio): Ha supportato la visione urbanistica e territoriale e si impegna attualmente a comprendere come le scelte di pianificazione (come l'uso del suolo e i trasporti) influenzano la sostenibilità.

PROGES (Gruppo di Progettazione): contribuisce con le competenze sulla qualità degli edifici e degli spazi. Si è concentrato su aspetti come la qualità dell'aria interna e il comfort (il benessere delle persone che vivono e studiano nel campus).

L'interazione tra questi attori viene mappata attraverso degli strumenti come la Power/Interest Grid, che posiziona gli stakeholder in base al loro potere di influenza e al loro livello di interesse,

permettendo di distinguere tra *Players* (alto potere/alto interesse), *Subjects* (basso potere/alto interesse), *Context Setters* (alto potere/basso interesse) e *Crowd* (basso potere/basso interesse).

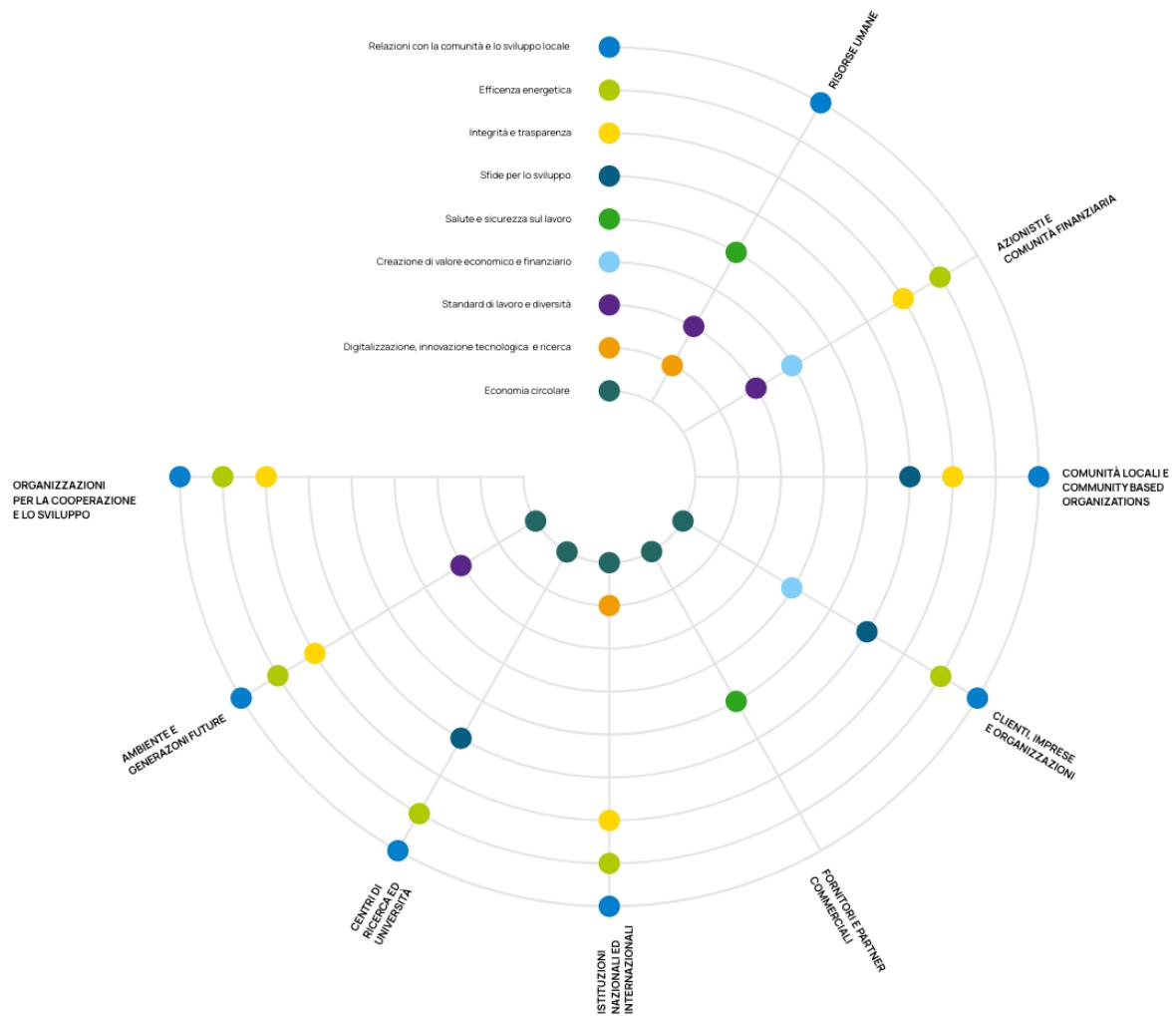


Figure 13 Sinergia tra Stakeholders [Fonte https://www.uniba.it/it/ricerca/dipartimenti/dse/didattica/orientamento-1/orientamento-consapevole-2021-2022/attività-e-materiali-economia/materiale-economia-2023-2024/orientamento-consapevole_antonio-netti_17-03-23.pdf]

Una volta mappati gli attori, la metodologia prevede l'utilizzo di strumenti logici per organizzare i contenuti del protocollo:

- **Analisi dei Problemi (Problem Tree):** Si utilizza l'albero dei problemi per identificare le relazioni causa-effetto delle criticità del campus. Si parte da un "problema centrale" (Core Problem) per identificarne le cause radice (radici dell'albero) e gli effetti (chioma).
- **Analisi degli Obiettivi (Objective Tree):** I problemi negativi vengono convertiti in stati futuri positivi e desiderabili. Le relazioni causa-effetto si trasformano in relazioni mezzi-fini, definendo così gli obiettivi strategici del protocollo.
- **Analisi SWOT:** Utilizzata per integrare la diagnosi interna (Punti di forza e Debolezze del campus) con l'analisi del contesto esterno (Opportunità e Minacce), fornendo una base per la pianificazione strategica.

La fase di selezione delle strategie e degli indicatori nel protocollo Itaca Campus non può basarsi solo su criteri economici (come l'analisi Costi-Benefici), poiché questa non cattura i valori extra-economici e i beni intangibili. Si adotta quindi l'Analisi Multicriteri (MCDA), un framework che permette di comparare diverse alternative sulla base di criteri multipli, spesso conflittuali, che riflettono le preferenze di diversi stakeholder.

Il processo di valutazione segue questi step operativi:

1. Identificazione degli Indicatori (Criteri): Gli indicatori devono essere SMART (Specifici, Misurabili, Raggiungibili, Realistici, Definiti nel tempo). La loro selezione può avvenire con approccio Top-down (deduttivo, dagli obiettivi globali) o Bottom-up (induttivo, dalle caratteristiche locali).
2. Ponderazione (Weighting): Poiché non tutti i criteri hanno la stessa importanza, vengono assegnati dei "pesi" numerici che riflettono la struttura di preferenza dei decisorи. Metodi come il confronto a coppie (pairwise comparison) sono utilizzati per determinare queste priorità in modo matematico e trasparente.
3. Aggregazione e Matrice delle Prestazioni: Si costruisce una matrice (performance matrix) che incrocia le alternative progettuali con i criteri, calcolando un punteggio sintetico finale attraverso tecniche come la somma pesata. Similmente ad altri SATs internazionali (come LEED o BREEAM), il sistema utilizza un approccio a punteggio (point-based o score-based), dove ogni

indicatore contribuisce al giudizio finale in base a un sistema di pesi che riflette le priorità regionali e locali.

4. Gestione delle Interazioni (Synergies & Trade-offs): In linea con l'Agenda 2030, il protocollo considera che gli obiettivi non sono isolati. Si analizzano le sinergie (dove il progresso in un'area favorisce un'altra) e i trade-offs (conflitti). L'obiettivo è identificare i "driver di sinergia", ovvero azioni capaci di massimizzare i benefici su più fronti simultaneamente.

L'uso di metodi avanzati come l'AHP (Analytic Hierarchy Process) o l'ANP (Analytic Network Process) è un altro possibile metodo che permette inoltre di gestire la struttura gerarchica o a rete delle decisioni, verificando la coerenza dei giudizi espressi dagli esperti e dagli stakeholder.

Il problema decisionale viene scomposto in una struttura ad albero (Obiettivo Globale → Macro-aree → Criteri → Indicatori). La classificazione adottata allinea le categorie del nuovo protocollo con quelle dell'SNTool (Sustainable Neighborhood Tool), facilitando la comparabilità e l'integrazione con le politiche di pianificazione urbana.

Processo Iterativo di Selezione degli Indicatori

Il contributo pratico allo sviluppo del protocollo si è concentrato sull'elaborazione della metodologia estesa e sulla preparazione degli elementi necessari per le Schede di Prestazione, seguendo un'articolazione del progetto in cinque attività principali, che rispecchiano le fasi logiche del ciclo del progetto:

- Attività 1: Scoping e Stato dell'Arte
- **Attività 2: Protocollo ITACA per Edifici Universitari (Scala Edilizia)**
- **Attività 3: Protocollo ITACA per Campus Universitari (Scala Urbana)**
- Attività 4: Testing e Validazione del Protocollo
- Attività 5: Formazione e Sensibilizzazione

Per rendere operativa questa struttura e garantire che il processo decisionale fosse partecipativo e rigoroso, le attività di ricerca sono state condotte attraverso una serie di sei workshop tematici. Questi incontri hanno rappresentato i momenti chiave di interazione tra il gruppo di ricerca del Politecnico, i partner di iiSBE Italia e gli attori istituzionali, permettendo di trasformare l'approccio teorico in uno strumento pratico.

Workshops

- Workshop 1: Avvio e Obiettivi Condivisi: Introduzione del progetto, degli stakeholder [soggetti interessati] coinvolti e discussione degli obiettivi comuni.
- Workshop 2: Analisi degli Strumenti Esistenti: Approfondimento su SBTool, SNTTool e la piattaforma Felicity, inclusa la discussione dei punti di forza e dei limiti nel contesto universitario. Analisi di 44 articoli scientifici, 10 strumenti di valutazione e 600 indicatori. Analisi di Pareto e questionari.
- Workshop 3-4: Strutturazione del Protocollo ITACA Campus: Lavoro collaborativo sui criteri di valutazione, sugli indicatori e sulle dimensioni della sostenibilità da includere nel nuovo protocollo.
- Workshop 5: Applicazione Sperimentale e Casi Studio: Collaudo del protocollo sugli edifici e sugli spazi del Campus del Politecnico di Torino, inclusi la raccolta dati e il feedback.
- Workshop 6: Validazione e Affinamento Finale: Revisione dei risultati e definizione della versione estesa del protocollo da sottoporre a validazione.

Figure 14 Attività di workshop ITACA CAMPUS PROJECT

L'architettura dei workshop ha seguito la logica circolare e iterativa del progetto, partendo dalla definizione degli obiettivi fino alla validazione finale:

Fase 1 ► Attività 1 - SCOPING: Definizione e Analisi del Contesto _ Il processo si è aperto con il Workshop 1, dedicato all'introduzione del progetto e alla discussione degli obiettivi comuni ("common goals") tra gli attori coinvolti. In questa fase, assimilabile allo step di *Identificazione* del PCM, è stato fondamentale allineare le aspettative della componente tecnica con quelle degli stakeholder istituzionali. Successivamente, il Workshop 2 (Analysis of Existing Tools) ha approfondito lo stato dell'arte. In questo step cruciale è stata condotta un'analisi comparativa su strumenti esistenti (come SBTool, SNTTool e la piattaforma Felicity).

Fase 2 ► Attività 2 & 3- SCALA EDILIZIA E URBANA_ Strutturazione del protocollo. Il cuore metodologico dello sviluppo si è svolto durante i Workshop 3 e 4 (Structuring the ITACA Campus Protocol). In questi incontri collaborativi, il problema decisionale è stato strutturato gerarchicamente secondo la logica dell'Analisi Multicriteri (MCDA). Il lavoro si è concentrato sulla definizione delle aree di valutazione (Macro-aree), dei Criteri e, soprattutto, sulla selezione ripulita degli indicatori di sostenibilità da includere nel nuovo protocollo, distinguendo tra la scala del singolo edificio e quella urbana del campus. L'obiettivo è tradurre la complessità della sostenibilità universitaria in un set di parametri misurabili e contestualizzati.

Fase 3 ► (Attività 4 & 5 - TESTING E FORMAZIONE) Sperimentazione e Validazione. Una volta definita la struttura bozza, il Workshop 5 (Experimental Application and Case Studies) permetterà di testare la metodologia "sul campo". Il protocollo verrà applicato sperimentalmente agli edifici e agli spazi del campus del Politecnico di Torino, utilizzato come caso studio pilota (*Living Laboratory*). Questa fase di *testing* è essenziale per raccogliere dati reali e feedback operativi, verificando l'applicabilità degli indicatori selezionati. Il processo arriverà alla conclusione con il Workshop 6 (Validation and Final Refinement), dedicato alla revisione critica dei risultati emersi dal testing. In questa fase finale, il set di indicatori è stato raffinato per produrre la versione estesa del protocollo pronta per la validazione ufficiale.

La definizione del set di indicatori non è stata arbitraria, ma ha seguito un rigore scientifico basato sulla metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Nella fase iniziale di *scoping*, è stata condotta una revisione sistematica della letteratura che ha analizzato 44 articoli scientifici specifici sul contesto europeo e globale e 10 strumenti di valutazione internazionali (tra cui LEED, BREEAM, STARS e Green Metric). Questa analisi ha portato all'identificazione preliminare di una "lista lunga" di oltre 600 indicatori potenziali, successivamente filtrati per eliminare ridondanze e garantire l'applicabilità al contesto italiano.

La messa a punto operativa degli Indicatori è stata guidata dai gruppi di ricerca del Politecnico di Torino, suddivisi per competenze specifiche. Per ciascun *Issue* (tematica) sono stati assegnati vari gruppi di lavoro; in particolare, per i campi relativi a *Climate Change, Adaptation, Energy, Environmental Quality e Resources Management* sono stati assegnati i gruppi di ricerca dei dipartimenti **DAD** (Dipartimento di Architettura e Design), **DENERG** (Dipartimento Energia) e **PROGES** (Progetto e Gestione dello Sviluppo).

Questa fase ha richiesto un processo decisionale rigoroso e iterativo. La fase iniziale ha coinvolto l'analisi del vasto database di criteri esistenti (provenienti da SBTool, Protocolli ITACA precedenti e dalla revisione della letteratura sopra citata). Mediante i workshop collaborativi (in particolare i Workshop 3 e 4), gli esperti hanno utilizzato strumenti di supporto alla decisione e di visualizzazione per indicare sul database quali indicatori fossero essenziali e direttamente applicabili al contesto dell'università (le aule, i laboratori, gli spazi pubblici).

Il contributo specifico di questa tesi è consistito nel supporto all'implementazione del *general framework*, seguendo la procedura metodologica di base e contribuendo a strutturare il quadro generale di valutazione per l'adattamento del Protocollo ITACA alla scala del Campus. Ho

partecipato ai workshop di discussione con gli esperti che prevedevano la selezione e la scrematura degli indicatori di prestazione ritenuti più rilevanti per l'ambiente universitario. Successivamente, ho curato la prima stesura delle bozze delle Schede di Prestazione per le scale Building e Campus. Questa attività ha permesso di formalizzare i concetti di sostenibilità teorici in regole chiare, misurabili e verificabili (gli indicatori), in linea con le direttive fornite dagli specialisti di settore.

Segue poi una fase importante di validazione degli Indicatori e Benchmarking Iniziale. Gli indicatori marcati come KPI sono stati verificati. In linea con la teoria decisionale, secondo cui i risultati dei criteri forniscono la base necessaria per il confronto delle scelte, per ciascuno di essi sono stati assegnati e confermati i benchmark iniziali di riferimento (scala -1 a +5). Questi sono stati definiti usando dati reali ed esempi internazionali, creando così la scala di confronto indispensabile per facilitare la selezione di una scelta soddisfacente tra le alternative.

Definizione e Conferma Finale delle Priorità:

Solo dopo aver stabilito gli indicatori chiave e i relativi benchmark generali, si è proceduto alla differenziazione dei livelli di importanza. Questo passaggio riflette il paradigma decisionale in cui i valori dei decisorи vengono articolati in obiettivi specifici, costituendo il primo passo formale del processo. Di conseguenza, ogni indicatore è stato contrassegnato con Priorità 1 (Key Performance Indicators, KPI) e Priorità 2. I criteri che rappresentano l'impatto maggiore e la rilevanza strategica sono stati scelti per il nucleo del Protocollo; tale selezione è stata confermata in accordo finale tra iiSBE Italia e il team ITACA, in modo da assicurarne la coerenza strategica e riflettere la struttura di preferenze del gruppo decisionale.

Stesura delle Schede di Prestazione e la Sfida dell'Allineamento Normativo

L'elaborazione delle Schede di Prestazione, che rappresenta il deliverable fondamentale delle Attività 2 e 3, rappresenta la fase più intensiva e prolungata del progetto, non solo per la quantità di dati da organizzare, ma soprattutto per la complessità legata alla verifica normativa.

- Complessità normativa e coerenza tecnica: La preparazione di ogni scheda richiede un lavoro lungo e particolarmente scrupoloso, dovuto all'obbligo di assicurare che i metodi di valutazione fossero perfettamente in linea con tutte le leggi e gli standard tecnici nazionali ed europei più recenti. Per ogni indicatore appunto, era necessario identificare prima la giusta regola di calcolo specificata dalle normative più aggiornate, un lavoro continuo che spesso ha portato a dover abbandonare passate norme ormai superate. Ad esempio, per valutare l'acustica e gli impianti, abbiamo dovuto adottare gli standard più recenti come la UNI 11367:2023 e la UNI EN 12354-5:2023. Allo stesso modo, per l'energia, la procedura di calcolo è stata allineata alle norme CEN che servono da base per la Direttiva Europea sulla Prestazione Energetica nell'Edilizia (EPBD).
- Requisiti della Scheda: Ogni Scheda di Prestazione è stata creata per essere agevole da comprendere e da replicare da chiunque. Per questo motivo, ogni scheda doveva contenere, in modo chiaro e trasparente: il Criterio da valutare, l'Indicatore (con la sua unità di misura), i Benchmark (cioè i valori numerici precisi richiesti per ottenere ogni livello di punteggio) e, soprattutto, una Metodologia di Calcolo dettagliata che specificasse ogni formula e lo standard di riferimento preciso (come UNI, ISO o DPCM).

L'Attività 2 (Scala Edilizia) e l'Attività 3 (Scala Urbana) sono state sviluppate parallelamente attraverso questa complessa elaborazione, terminando nella definizione dettagliata delle Aree, delle Categorie, dei Criteri e degli Indicatori, e nella contribuzione al Manuale Protocollo secondo il formato UNI PdR 13.

3.2.3 Governance Multilivello



Figure 15 Governance multilivello [modificato. Fonte Brandon & Lombardi 2011]

La sostenibilità non è un obiettivo che può essere raggiunto agendo su un solo fronte; richiede un approccio coordinato che coinvolga diversi livelli decisionali (o *livelli di governance*), come illustrato nel diagramma.

Non esiste un livello intrinsecamente "più importante" degli altri, poiché ciascuno svolge una funzione specifica e indispensabile. Tuttavia, l'efficacia delle politiche globali dipende dalla loro capacità di tradursi in azioni concrete a livello locale, e viceversa.

Come giustamente sottolineato, il livello Città (e in senso più ampio, il livello Quartiere che è immediatamente adiacente) assume un'importanza strategica e intermedia. Questo livello funziona da punto di cerniera tra le grandi politiche (top-down) e l'implementazione pratica (bottom-up).

Il potere e la responsabilità del livello urbano si manifestano in diversi ambiti:

- **Potere Regolatorio e di Divieto:** Le autorità cittadine detengono il potere di porre divieti e di stabilire regole che influenzano direttamente i comportamenti quotidiani dei cittadini. Esempi includono:
 - Divieto di circolazione per i veicoli più inquinanti (limitazioni all'uso dell'auto).
 - Codici edili che impongono standard di efficienza energetica superiori a quelli nazionali.
- **Gestione del Suolo e delle Risorse:** Le città sono i principali soggetti responsabili della pianificazione e dell'uso del suolo (una risorsa limitata e da difendere). Attraverso i Piani

Regolatori Generali (come visto nell'esempio di Torino), le amministrazioni urbane decidono:

- Dove e quanto si può costruire.
- Quali aree destinare al verde, alla mobilità sostenibile o a nuovi sviluppi a basso impatto.
- **Implementazione di Tecnologie e Sistemi:** Il livello Città è quello che può più efficacemente implementare e gestire le tecnologie per la sostenibilità, trasformando gli obiettivi astratti in infrastrutture reali:
 - Sviluppo di reti di trasporto pubblico efficienti.
 - Installazione di impianti di riciclo e sistemi avanzati per la gestione dei rifiuti.
 - Promozione di tecnologie per l'energia rinnovabile a livello di distretto o quartiere.

In sintesi, mentre le leggi globali stabiliscono la cornice e i dispositivi individuali forniscono l'azione, **la Città ha il potere di indirizzare la forma fisica e operativa del territorio**, rendendola cruciale per il successo delle strategie di sostenibilità.

3.3 Punteggio e Oggettività

Il Protocollo ITACA valuta la performance di sostenibilità in modo oggettivo, attraverso l'impiego di una metodologia standardizzata che si basa su tre fasi fondamentali: la **normalizzazione**, la **pesatura** dei parametri e l'**aggregazione**.

Ogni Scheda di Prestazione è il risultato del lavoro di analisi e definizione, e contiene la metodologia di calcolo e il sistema di benchmarking per un Criterio specifico. Le componenti fondamentali definite nel protocollo sono:

- **Criterio e Indicatore:** Il parametro esatto da valutare, specificato con la sua unità di misura (ad esempio: Consumo di Energia Primaria Totale, unità di misura: kWh/m²anno).
- **Benchmark e Scala di Punteggio:** Definisce i valori di performance per ogni livello di punteggio (da -1 a +5), stabiliti seguendo una gerarchia di fonti: leggi nazionali/regionali, standard tecnici e dati statistici.
- **Metodologia di Calcolo** (come avviene la valutazione): Questa parte fondamentale stabilisce la procedura di calcolo o misurazione, assicurando la trasparenza e la

replicabilità del processo. La metodologia deve basarsi sulle normative e standard tecnici nazionali e internazionali più recenti. Per i criteri energetici, ad esempio, la procedura si basa sulle norme CEN (come la serie EN 15603 e EN ISO 13790) che supportano la Direttiva sulla Prestazione Energetica nell'Edilizia (EPBD), garantendo un allineamento rigoroso con gli standard europei.

Normalizzazione e Pesatura: L'Oggettività del Punteggio

Il sistema di punteggio del Protocollo ITACA è il cuore della sua oggettività, in quanto traduce un dato tecnico in un valore di sostenibilità comprensibile e comparabile.

- La Normalizzazione (Conversione del Dato Grezzo): Il processo di Normalizzazione è cruciale: converte il valore grezzo dell'Indicatore di Prestazione (es. il consumo effettivo in kWh/m²anno) in un Punteggio del Criterio compreso tra -1 e +5. Questo processo di "traduzione" è essenziale per poter elaborare e confrontare in modo equo Criteri molto diversi (come il risparmio idrico e il microclima).
 - Livello Zero: Il valore 0 rappresenta la prestazione minima accettabile, generalmente stabilita dalle leggi o dai regolamenti vigenti.
 - Livello di Eccellenza: Il valore +5 rappresenta la prestazione di eccellenza, l'obiettivo più ambizioso e virtuoso che il Campus può raggiungere.
- La Pesatura (Aggregazione del Punteggio): Dopo la normalizzazione, interviene il sistema di Pesatura. Il Peso (peso specifico) rappresenta il grado di importanza di un Criterio nel sistema, ed è determinato stimando il suo impatto ambientale e la sua rilevanza strategica nel contesto regionale. La pesatura non è uniforme, ma varia per dare priorità, ad esempio, all'efficienza energetica in Italia rispetto ad altri criteri meno critici.

Il sistema di Pesatura opera per aggregazione lungo la struttura gerarchica del Metodo SBE: i Punteggi dei Criteri concorrono a formare i Punteggi delle Categorie, che a loro volta determinano i Punteggi delle Aree di Valutazione, fino al calcolo finale del Punteggio Globale.

Il Punteggio Globale rappresenta la performance di sostenibilità dell'intero Campus. A livello regionale, questo punteggio non è solo un giudizio tecnico, ma rappresenta la soglia fissata per far sì che siano concessi incentivi volumetrici o fiscali, confermando l'importanza dello strumento per le politiche pubbliche.

Il progetto ha permesso di tradurre la teoria della sostenibilità in uno strumento pratico e misurabile, con la definizione completa di questa metodologia. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che il lavoro del team di esperti è ancora in corso per una successiva fase riguardo la differenziazione dei benchmark in funzione delle specifiche destinazioni d'uso (es. aule vs. laboratori vs. residenze), una tappa necessaria per la completa implementazione del Protocollo Campus.

Le Schede di Prestazione, con i benchmark, verranno illustrate in dettaglio nel Capitolo 4.

04

RISULTATI

4.1 Schede di prestazione per il Protocollo ITACA Campus

Il presente capitolo documenta i prodotti metodologici del lavoro di ricerca, presentando il set di Schede di Prestazione sviluppate per il Protocollo ITACA per Campus Universitari. Tali schede costituiscono l'applicazione operativa della metodologia definita nel Capitolo 3, con un focus sui criteri contrassegnati come priorità e relativi all'efficienza energetica e all'impatto climatico.

Le schede del Protocollo ITACA derivano direttamente dal sistema internazionale SBTool (Sustainable Building Tool), ma con una differenza fondamentale: sono state adattate rigidamente alla realtà italiana, calibrata appunto, sulla sua normativa.

Il mio ruolo è stato quello di seguire il processo decisionale degli specialisti e di curare la prima stesura delle bozze delle Schede di Prestazione per le scale Building e Campus. Questa attività ha permesso di formalizzare i concetti di sostenibilità teorici, emersi dalle discussioni degli esperti, in regole chiare, misurabili e verificabili (gli indicatori), in stretta osservanza delle direttive fornite dagli specialisti di settore.

La struttura interna della Scheda di Prestazione che costituisce la spina dorsale del Protocollo e permette la valutazione oggettiva di ogni criterio descrive in dettaglio:

- **Criterio e Indicatore:** ovvero il parametro esatto da valutare.
- **Benchmark (Scala di Punteggio):** che definisce i valori di performance per ogni livello di punteggio (da -1 a +5).
 - I benchmark sono stati stabiliti seguendo una gerarchia di fonti: leggi nazionali/regionali, standard tecnici e dati statistici.
- **Metodologia di Valutazione:** Specifica la procedura di calcolo o misurazione, assicurando la replicabilità e la trasparenza del processo.

Un esempio chiave del lavoro è stato l'indicatore sul Consumo di Energia Primaria Totale. Qui, l'Indicatore è il consumo assoluto, ma la sua Normalizzazione è cruciale: come previsto dal Protocollo ITACA, il consumo assoluto viene convertito in una percentuale di riduzione (o aumento) rispetto a un edificio di riferimento. Questo è fondamentale per confrontare prestazioni diverse in modo equo e non assoluto.

Le schede di prestazione presentate in questo capitolo non sono semplici liste di controllo, ma rappresentano il cuore operativo della metodologia ITACA applicata al contesto universitario.

Analizzando la loro struttura e il loro funzionamento, emergono differenze sostanziali rispetto ai modelli internazionali di origine, come l'SBTool, oltre a specifiche implicazioni pratiche e criticità che meritano di essere discusse.

Un primo punto fondamentale riguarda la **contestualizzazione normativa**, che costituisce la principale differenza tra il Protocollo ITACA e il framework generico SBTool. Mentre l'SBTool nasce come una "scatola vuota" flessibile, adattabile a qualsiasi nazione, le schede qui elaborate sono rigidamente ancorate alla realtà italiana. Nello specifico, il punteggio di riferimento (lo "0", che indica la sufficienza) non è un valore statistico medio, ma coincide quasi sempre con il rispetto dei limiti di legge vigenti, come i requisiti minimi energetici o le normative acustiche. Questo trasforma lo strumento: non serve solo a valutare quanto un edificio sia "verde" in senso astratto, ma misura quanto esso riesca a superare gli standard minimi imposti dalla normativa nazionale e regionale.

Per chiarezza e per dimostrare l'innovazione, la documentazione è organizzata seguendo la struttura Multi-Scala del Protocollo ITACA Campus. Il capitolo presenta i criteri che misurano la performance intrinseca del singolo edificio. Queste schede costituiscono la base tecnica completa e forniscono il dettaglio necessario per la riqualificazione energetica degli edifici universitari.

Il contributo primario è la revisione e la verifica di tutti i KPI per accertarne l'applicabilità alla scala urbana. La Scala Campus valuta il distretto universitario come un sistema urbano e si basa sugli stessi criteri della Scala Edilizia, ma ne introduce l'adattamento ai servizi condivisi e alla gestione dell'area estesa.

- Per garantire la massima chiarezza e per dimostrare l'estensione del lavoro (che include tutti i KPI selezionati per il Campus), la documentazione procede come segue. Per i criteri che misurano la performance intrinseca dell'edificio (es. l'isolamento termico), la Scheda Campus è la medesima della scala Edilizia nel suo Benchmark e nella Metodologia di Calcolo. Il contributo di questa tesi risiede, pertanto, nella verifica dell'applicabilità e della coerenza dell'intero set di KPI alla scala urbana e l'introduzione di un Indicatore di prestazione ambientale aggiuntivo specifico per la Scala Campus.

Questo indicatore innovativo è rappresentato dalla Scheda di Valutazione dedicata alla concentrazione di particolato fine (PM2.5), la quale è presentata in chiusura della sezione, completando la documentazione dei KPI per il Campus.

A SVILUPPO E RIGENERAZIONE DEL SITO						
A1 Selezione del sito						
CODICE	Criterio	Indicatore	Unità di misura			
A1.1	Valore ecologico del suolo	Livello di utilizzo pregresso dell'area di intervento	Indice			
A1.2	Accessibilità al trasporto pubblico	Indice di accessibilità al trasporto pubblico	Indice			
A1.4	Prossimità ai servizi	Distanza media dell'edificio da strutture con destinazioni d'uso ad esso complementari	m			
B ENERGIA E CONSUMO DI RISORSE						
B1 Energia						
CODICE	Criterio	Indicatore	Unità di misura			
B1.1	Energia Primaria totale	Rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica globale totale dell'edificio da valutare EPgl,tot e il corrispondente valore limite dell'edificio di riferimento EPgl,tot,lim	%			
B3 Materiali						
CODICE	Criterio	Indicatore	Unità di misura			
B3.1	Materiali da fonti rinnovabili	Percentuale in peso dei materiali da fonte rinnovabile utilizzati nell'intervento	%			
B3.4	Materiali riciclati	Percentuale in peso dei materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotto utilizzati nell'intervento superiore alla percentuale limite di legge	%			
B3.6	Disassemblabilità dell'edificio	Livello di assemblabilità	Punteggio			
B4 Acqua						
CODICE	Criterio	Indicatore	Unità di misura			
B4.3	Consumo d'acqua per usi indoor	Volume di acqua potabile risparmiata per usi indoor rispetto al fabbisogno base calcolato	%			
C CARICHI AMBIENTALI						
C1 Emissioni a effetto serra						
CODICE	Criterio	Indicatore	Unità di misura			
C1.2	Emissione di gas a effetto serra in fase operativa	Rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio in esame e la quantità di emissioni di CO2 equivalente corrispondente all'edificio di riferimento (requisiti minimi di cui al DM 26 giugno 2015 e ss.mm.ii.)	%			
C3 Rifiuti Solidi						
CODICE	Criterio	Indicatore	Unità di misura			
C3.2	Rifiuti solidi prodotti in fase operativa	Rapporto tra il numero di categorie di rifiuti solidi raccolti entro 100 m dall'ingresso dell'edificio e il numero di categorie di riferimento	%			

D	QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR		
D1	Qualità dell'aria e della ventilazione		
	CODICE	Criterio	Indicatore
	C1.2	Ventilazione	Strategie progettuali per garantire i ricambi d'aria necessari nei locali
	C1.3	Concentrazione di particolato fine PM 2.5	Numero di giorni annui in cui la concentrazione eccede del limite giornaliero
D2	Qualità dell'aria e della ventilazione		
	CODICE	Criterio	Indicatore
	D2.1	Comfort termico estivo in ambienti climatizzati	PPD (Percentuale prevista di insoddisfatti nella stagione estiva - UNI EN ISO 7730)
	D2.5	Temperatura operativa nel periodo estivo	Percentuale del tempo al di fuori dell'intervallo di temperature massime e minime stabilite per le stagioni di riscaldamento e di raffrescamento. L'intervallo di temperatura di riferimento è compreso tra 18°C e 27°C.
D3	Comfort visivo		
	CODICE	Criterio	Indicatore
	D3.1	Sufficienza della luce naturale	Indice di categoria relativo al livello di sufficienza della luce naturale (Zm)
D4	Comfort acustico		
	CODICE	Criterio	Indicatore
	D4.6	Qualità acustica interna	Percentuale di elementi tecnici che raggiungono la prestazione superiore di isolamento acustico.
H	VULNERABILITÀ CLIMATICA		
H1	Emissioni a effetto serra		
	CODICE	Criterio	Indicatore
	H1.1	Prestazione termica delle superfici esterne	SRI medio
	H1.2	Mitigazione effetto isola di calore	Rapporto tra l'area delle superfici in grado di diminuire l'effetto isola di calore rispetto all'area complessiva del lotto di intervento (superficie esterne di pertinenza e superfici di copertura).
H2	Precipitazioni intense		
	CODICE	Criterio	Indicatore
	H2.1	Permeabilità del suolo	Rapporto percentuale tra le superfici esterne permeabili rispetto al totale delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio

SVILUPPO E RIGENERAZIONE DEL SITO	NUOVA COSTRUZIONE	A1.1
	-	

Selezione del sito

Valore ecologico del suolo

Il criterio è applicabile unicamente a interventi di nuova costruzione. Per l'analisi di progetti di ristrutturazione il criterio è da disattivare ovvero da escludere dalla valutazione complessiva.

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
A. Sviluppo e rigenerazione del sito	A1 Selezione del sito	
ESIGENZA		
Favorire l'uso di aree contaminate, dismesse o precedentemente antropizzate	nella categoria	nel sistema completo
INDICATORE DI PRESTAZIONE		
Livello di utilizzo pregresso dell'area di intervento	-	-
SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	< 0	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	3	3
OTTIMO	5	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1. Calcolare l'area complessiva del lotto di intervento

Individuare l'area del lotto di intervento e calcolarne l'estensione superficiale complessiva, A [m^2].

2. Suddividere il lotto in aree riconducibili agli scenari indicati in “Metodo e strumenti di verifica”

In base alle condizioni pre-intervento, verificare le caratteristiche del lotto e suddividere quest'ultimo in aree che siano

omogeneamente attribuibili alle seguenti categorie:

- Bi Area con caratteristiche del territorio allo stato naturale;
- Bii Area verde e/o sulla quale erano ospitate attività di tipo agricolo;
- Biii Area occupata da strutture edilizie o infrastrutture;
- Biv Area sulla quale sono state svolte (o sono in programma) operazioni di bonifica del sito (secondo quanto previsto dal D.Lgs. n. 152/06).

NOTA 1 Ai fini della verifica del criterio per terreno allo stato naturale (cat. Bi) si intende il terreno che si è formato sotto

l'influenza di pedogenetici naturali (acqua, vento, temperatura, piante, animali, etc.). Esso ospita eventualmente una vegetazione spontanea quasi sempre composta da più specie in associazione ed in equilibrio con l'ambiente.

NOTA 2 Ai fini della verifica del criterio per area verde appartenente alla categoria Bii si intende un'area sistemata a verde

che non rientra nella categoria Bi, ad esempio superfici destinate a colture agricole o sistematiche a prato o a giardino.

NOTA 3 Le aree attribuibili alla categoria Biii sono le aree del lotto che precedentemente all'intervento risultavano occupate

da strutture edilizie e/o infrastrutture, quali immobili, strade, parcheggi, etc.

NOTA 4 Le aree attribuibili alla categoria Biv sono le aree del lotto che precedentemente all'intervento hanno ospitato

attività inquinanti poi dismesse e che sono assoggettate ad interventi di bonifica secondo quanto previsto dal D.Lgs. n.

152/06 al fine di renderle compatibili con l'edificabilità.

3. Calcolare l'estensione di ciascuna delle aree individuate al punto precedente

Con riferimento alla suddivisione dell'area del lotto secondo le superfici individuate nel punto precedente, calcolare l'estensione superficiale complessivamente attribuibile a ogni categoria.

4. Calcolare il livello di utilizzo pregresso del sito

Calcolare l'indicatore di prestazione, ovvero il livello di utilizzo pregresso del sito, tramite la formula:

$$Indicatore = \frac{B_i}{A} * (-1) + \frac{B_{ii}}{A} * (0) + \frac{B_{iii}}{A} * (3) + \frac{B_{iv}}{A} * (5) \quad (1)$$

dove:

B_i = superficie complessiva delle aree del lotto con caratteristiche del terreno allo stato naturale, [m^2]

B_{ii} = superficie complessiva delle aree del lotto a verde e/o sulle quali erano ospitate attività di tipo agricolo, [m^2]

B_{iii} = superficie complessiva delle aree del lotto sulle quali vi erano strutture edilizie o infrastrutture, [m^2]

B_{iv} = superficie complessiva delle aree del lotto sulle quali sono state svolte (o sono in programma) operazioni di bonifica, [m^2]

A = superficie del lotto di intervento, [m^2]

5. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

SVILUPPO E RIGENERAZIONE DEL SITO	NUOVA COSTRUZIONE	A1.2
	-	

Selezione del sito

Accessibilità al trasporto pubblico

Il criterio è applicabile unicamente a interventi di nuova costruzione. Per l'analisi di progetti di ristrutturazione il criterio è da disattivare ovvero da escludere dalla valutazione complessiva.

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
A. Sviluppo e rigenerazione del sito	A1 Selezione del sito	
ESIGENZA		
Favorire la scelta di siti da cui sono facilmente accessibili le reti di trasporto pubblico per ridurre l'uso dei veicoli privati	<u>nella categoria</u>	<u>nel sistema completo</u>
INDICATORE DI PRESTAZIONE		
Indice di accessibilità al trasporto pubblico	-	
SCALA DI PRESTAZIONE		
		PUNTI
NEGATIVO	< 0,5	-1
SUFFICIENTE	0,5	0
BUONO	2,6	3
OTTIMO	4	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1. Determinare la distanza a piedi dai nodi della rete di trasporto pubblico serviti da treni, bus, tram e metro
Dalle planimetrie di progetto individuare l'ingresso principale dell'edificio, inteso come l'accesso pedonale principale all'area di pertinenza.

2. Individuare la rete dei trasporti pubblici della zona di intervento e in particolare i nodi della rete serviti da bus e tram situati entro una distanza radiale di 500 metri dall'ingresso pedonale principale dell'edificio, quelli del servizio ferroviario situati entro una distanza radiale di 1000 metri

NOTA 1 Per nodo si intende il punto dal quale è possibile accedere al servizio di trasporto pubblico; può essere costituito da una sola fermata isolata ma anche da più fermate, ad esempio dall'insieme delle due fermate poste generalmente ai due lati di una strada, oppure da una stazione ferroviaria con le annesse fermate per gli autobus.

NOTA 2 Nel caso non si individuino nodi della rete di trasporto secondo la procedura indicata, la verifica è da considerarsi terminata ed occorre assegnare al criterio una valutazione negativa. Consultando quindi la scala di prestazione, scegliere lo scenario che meglio descrive il contesto dell'intervento in esame (capitale/capoluogo di regione, capoluogo di provincia, centro urbano con popolazione > 5000 abitanti, centro urbano con popolazione ≤ 5000 abitanti) e attribuire all'indicatore di prestazione il valore che corrisponde al punteggio “-1”.

NOTA 3 Per la verifica del criterio si considerino anche i nodi di accesso alle linee della metropolitana entro una distanza limite di 800 metri dall'ingresso pedonale principale dell'edificio.

Per ogni nodo individuato misurarne la distanza (in metri) dall'ingresso principale dell'edificio considerando il più breve tragitto percorribile a piedi, ovvero non misurando la distanza in linea retta ma tenendo conto del reale cammino che dovrà essere effettuato dai pedoni. In caso di più accessi pedonali considerare la media tra le distanze di ciascuno.

3. Determinare la frequenza del servizio ad ogni nodo che soddisfa i requisiti descritti al passo 1 ovvero determinare il numero totale dei servizi in partenza riferito alle seguenti fasce orarie:

- a) 07:00-09:00 e 17:00-19:00 per gli uffici;
- b₁) 07:00-09:00, 12:00-14:00 e 16:00-18:00 per asili nido, scuole dell'infanzia e scuole primarie;
- b₂) 07:00-09:00 e 13:00-15:00 e 17:00-24:00 per scuole secondarie di primo e secondo grado;
- c) 06:00-22:00 per gli edifici industriali e commerciali;
- d) 06:00-24:00 per gli edifici ricettivi.

Elencare i nodi della rete di trasporto selezionati al punto 1 e le relative linee di servizio. Nel prosieguo del procedimento ogni linea di servizio alla quale è possibile accedere da più nodi deve essere considerata solamente nel nodo risultato più vicino all'edificio (in un nodo potrebbero essere considerate più linee di servizio; una linea di servizio, invece, può essere considerata in un unico nodo).

Procurarsi gli orari dei mezzi di trasporto e per ogni linea di servizio selezionata determinare il numero n di passaggi effettuati nel relativo nodo nelle fasce orarie rispettive di ciascuna destinazione d'uso, dei giorni feriali (lunedì-venerdì) per gli uffici (lunedì-sabato) per le scuole e gli edifici industriali, tutti i giorni per gli edifici commerciali e gli alberghi.

NOTA 4 Per nodo si intende il punto dal quale è possibile accedere al servizio di trasporto pubblico; può essere costituito da una sola fermata isolata ma anche da più fermate, ad esempio dall'insieme delle due fermate poste generalmente ai due lati di una strada, oppure da una stazione ferroviaria con le annesse fermate per gli autobus.

NOTA 5 Qualora non si individuino nodi della rete di trasporto secondo la procedura indicata occorre assegnare al criterio una valutazione negativa. Consultando quindi la scala di prestazione attribuire all'indicatore di prestazione il valore che corrisponde al punteggio “-1”.

NOTA 6 Per quanto riguarda il servizio ferroviario, sono da prendere in considerazione solamente le linee che presentano, entro una distanza radiale di 20 chilometri dall'edificio, almeno una fermata successiva a quella nel nodo selezionato secondo le condizioni del punto 1.

NOTA 7 Per quanto riguarda le linee extraurbane degli autobus, sono da prendere in considerazione solamente le linee che presentano, entro una distanza effettiva di 20 chilometri, almeno una fermata successiva a quella nel nodo selezionato ed esterna all'area urbana secondo le condizioni del punto 1.

4. Per ogni linea calcolare l'indice di accessibilità al trasporto pubblico

Per ogni linea di trasporto e relativo nodo selezionati in base alla procedura indicata nei punti 1 e 2, calcolare il tempo di percorrenza a piedi del tragitto edificio-nodo utilizzando una velocità di camminata teorica pari a 80 metri al minuto, tramite la formula:

$$W_t = \frac{d_n}{v} = \frac{d_n}{80} \quad (1)$$

dove:

W_t = tempo di percorrenza a piedi del tragitto nodo-edificio, [min]

d_n = lunghezza del tragitto nodo-edificio, intesa secondo quanto indicato nel punto 1, [m]

v = velocità teorica di camminata, pari a 80 metri al minuto, [m/min]

Determinare il tempo di attesa del servizio tramite la formula: dove:

$$S_{wt} = 0,5 \cdot \left(\frac{60 \cdot 4}{n} \right) + R_f \quad (2)$$

Dove:

S_{wt} = tempo di attesa del servizio, [min]

n = numero di passaggi dei mezzi delle singole linee nelle fasce orarie di riferimento, [-]

R_f = fattore di affidabilità, pari a 2 per bus e tram, e pari a 0,75 per i treni

NOTA 8 Per le linee della metropolitana utilizzare un fattore di affidabilità pari a 0,75.

Determinare il tempo totale di accesso al trasporto pubblico, sommando il tempo di percorrenza a piedi e il tempo di attesa del servizio precedentemente calcolati:

$$A_t = W_t + S_{wt} \quad (3)$$

Dove:

A_t = tempo totale di accesso al servizio, [min]

S_{wt} = tempo di attesa del servizio, [min]

W_t = tempo di percorrenza a piedi del tragitto nodo-edificio, in minuti, [min]

Determinare la frequenza equivalente di accessi al servizio dall'edificio, tramite la formula:

$$FI = \frac{30}{A_t} \quad (4)$$

dove:

FI = frequenza equivalente di accessi al servizio dall'edificio, [-]

A_t = tempo totale di accesso al servizio, [min]

Analizzando singolarmente ogni tipologia di trasporto pubblico (bus, tram, treni, metro) calcolarne l'indice di accessibilità, tramite la formula:

$$IA_i = FI_{i,max} + 0,5 \left(\sum (FI_i) - FI_{i,max} \right) \quad (5)$$

dove:

IA_i = indice di accessibilità della tipologia di trasporto i -esima, [-]

$FI_{i,max}$ = il maggiore tra i valori FI relativi alla tipologia di trasporto i -esima, [-]

ΣFI_i = somma dei valori FI relativi alla stessa tipologia di trasporto i -esima, [-]

Calcolare l'indice di accessibilità IA al trasporto pubblico come somma degli indici di accessibilità delle diverse tipologie di trasporto pubblico calcolati al punto precedente.

4. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Dalla tabella della scala di prestazione individuare la categoria urbana che meglio descrive il contesto di inserimento dell'edificio in esame, scegliendo tra: capitale/capoluogo di regione, capoluogo di provincia, centro urbano con popolazione > 5000 abitanti, centro urbano con popolazione ≤ 5000 abitanti.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

SVILUPPO E RIGENERAZIONE DEL SITO	NUOVA COSTRUZIONE	A1.4
-	-	-

Selezione del sito

Prossimità ai servizi

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA
A. Sviluppo e rigenerazione del sito	A1 Selezione del sito
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO
Favorire la scelta di spazi collocati in prossimità di aree caratterizzate da un adeguato mix funzionale	<u>nella categoria</u> <u>nel sistema completo</u>
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA
Distanza media dell'edificio da strutture con destinazioni d'uso ad esso complementari	m
SCALA DI PRESTAZIONE	

	m	PUNTI
NEGATIVO	< 500	-1
SUFFICIENTE	500	0
BUONO	320	3
OTTIMO	200	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1. Individuare le strutture di commercio, di servizio, sportive e culturali della zona

Individuare la localizzazione delle strutture di commercio, di servizio, sportive e culturali presenti nelle vicinanze del lotto

di intervento. Per la selezione delle strutture idonee alla verifica è necessario fare riferimento alle sole tipologie di strutture

indicate nella tabella 1 e 2 suddivise nelle tre categorie: “commercio”, “servizio” e “sport/cultura”.

Uffici ed edifici scolastici

Table 1 Elenco delle tipologie di strutture da prendere in considerazione per la verifica

Commercio	Servizio	Sport/cultura
Negozio di beni alimentari	Ufficio postale	Teatro
Supermercato	Banca/sportello ATM	Cinema
Ristoranti e locali pubblici affini (pizzeria, self – service, ecc.)	Strutture di servizio sanitario pubbliche o convenzionate	Museo/Spazio espositivo
Bar	Nido d'infanzia	Biblioteca
Edicola	Scuola dell'Infanzia	Struttura sportiva
Tabaccheria	Scuola primaria	
Negozio di prodotti di uso quotidiano per la casa/igiene personale	Scuola secondaria	
	Farmacia	
	Parco Pubblico	
	Luoghi di aggregazione (associazione ricreativa, culturale, religiosa)	

NOTA 1 Nelle attività da considerare va escluso l’edificio universitario che si sta valutando.

Edifici ricettivi

Table 2 Elenco delle tipologie di strutture da prendere in considerazione per la verifica del criterio -

Commercio	Servizio	Sport/cultura
Negozio di beni alimentari	Ufficio postale	Teatro
Supermercato	Banca/sportello ATM	Cinema
Ristoranti e locali pubblici affini (pizzeria, self – service, ecc.)	Strutture di servizio sanitario pubbliche o convenzionate	Museo/Spazio espositivo
Bar	Farmacia	Biblioteca
Edicola	Parco Pubblico	Struttura sportiva
Tabaccheria	Luoghi di aggregazione (associazione ricreativa, culturale, religiosa)	
Negozio di prodotti di uso quotidiano per la casa/igiene personale		

2. Calcolare la distanza media in metri, da percorrere a piedi, che separa il punto di accesso principale all’edificio

e i punti di accesso di cinque strutture afferenti alle categorie sopracitate

Tra le strutture individuate al punto 1 selezionarne cinque appartenenti a cinque tipologie differenti, tra le quali almeno una struttura rientrante nella categoria “servizio”.

Calcolare la distanza tra il principale punto di accesso dell’edificio e il punto di accesso alle strutture selezionate.

NOTA 1 La distanza deve essere misurata dall’ingresso principale dell’edificio (ovvero dal principale accesso pedonale

all’area di pertinenza) all’ingresso delle strutture selezionate, considerando il più breve tragitto percorribile a piedi.

Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione, ovvero la distanza media tra l'edificio e le strutture selezionate tramite la formula:

$$d_{media} = \frac{\sum_{i=1}^5 d_i}{5} \quad (1)$$

dove:

d_{media} = distanza media tra l'edificio e le cinque strutture selezionate, [m]

d_i = distanza tra l'edificio e la struttura i-esima, [m]

3. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione

ENERGIA E CONSUMO DI RISORSE	NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	B1.1
-------------------------------------	---------------------------------------	------

Energia
Consumo di energia primaria totale

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Energia e consumo di risorse	B1 Energia	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Migliorare la prestazione energetica dell'edificio con la riduzione dell'energia primaria totale durante la fase operativa dell'edificio.	<u>nella categoria</u> <u>nel sistema completo</u>	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica globale totale dell'edificio da valutare EPgl, tot e il corrispondente valore limite dell'edificio di riferimento EPgl,tot,lim	%	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	>110	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	64	3
OTTIMO	40	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

Il criterio è applicabile all'intero edificio, in caso di più unità immobiliari dovranno essere calcolate le prestazioni medie parametrata rispetto alle superfici climatizzate.

- Calcolare l'indice di prestazione energetica globale totale per l'intero edificio di cui al D.Lgs. n. 192/2005 e ss.mm.ii. e secondo la procedura descritta nella serie UNI TS 11300 e successive modifiche, (B)

$EPgl,tot$ è l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio reale [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$] considerando sia l'energia primaria non rinnovabile, che quella rinnovabile. È necessario determinare entrambi i predetti indici di prestazione con l'utilizzo dei pertinenti fattori di conversione in energia primaria totale, come previsto al Capitolo 1, paragrafo 1.1, lettera g) e h), dell'Allegato 1 del DM 26/06/2015 (DM Requisiti minimi).

$EPgl,tot$ è la somma degli indici di prestazione per i singoli servizi energetici presenti nell'edificio (ad eccezione di climatizzazione che viene considerato sempre presente):

$$EPgl,tot = EPH,tot + EPW,tot + EPV,tot + EPC,tot + EPL,tot + EPT,tot \quad (1)$$

dove:

EPH,tot = indice di prestazione annua di energia primaria totale per il riscaldamento invernale [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$]

EPW,tot = indice di prestazione annua di energia primaria totale per la produzione di acqua calda sanitaria [kWh/m²·a]

EPV,tot = indice di prestazione annua di energia primaria totale per la ventilazione [kWh/m²·a]

EPC,tot = indice di prestazione annua di energia primaria totale per la climatizzazione estiva [kWh/m²·a]

EPL,tot = indice di prestazione annua di energia primaria totale per l'illuminazione artificiale [kWh/m²·a]

EPT,tot = indice di prestazione annua di energia primaria totale per il servizio del trasporto di persone e cose [kWh/m²·a] I servizi energetici per edifici non residenziali sono descritti nella successiva tabella 3.

DESTINAZIONE D'USO NON RESIDENZIALE	CLIM INVERNALE	ACS	VENTILAZIONE	CLIM. ESTIVA	ILLUMINAZIONE	TRASPORTO
E.1(3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	sempre attivo	attivo se presente				
E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni	sempre attivo	attivo se presente				
E.5 Edifici commerciali e assimilabili: negozi, magazzini di vendita	sempre attivo	attivo se presente				
E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	sempre attivo	attivo se presente				
E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	sempre attivo	attivo se presente				

Table 3 Servizi energetici per usi non residenziali

2. Calcolare il valore limite dell'indice di prestazione energetica globale totale $EPgl,tot,limite$

$EPgl,tot,limite$ è l'indice di prestazione energetica globale limite dell'edificio di riferimento considerando sia l'energia primaria non rinnovabile sia quella rinnovabile, come definito alla lettera l-novies), del comma 1, dell'articolo 2, del decreto legislativo n. 192/2005 e per il quale i parametri energetici, le caratteristiche termiche e di generazione sono dati nelle pertinenti tabelle del Capitolo 1, dell'Appendice A del Decreto Ministeriale 26/6/2015 (*DM requisiti minimi*), [kWh/m²·a] (A).

3. Calcolare il rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica globale totale dell'edificio da valutare ($EPgl,tot$) e il valore limite ($EPgl,tot,limite$) secondo la seguente formula:

$$\text{Indicatore} = B/A * 100 = EPgl,tot / EPgl,tot,limite * 100 \quad (2)$$

dove:

$EPgl,tot$ è l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio reale [kWh/m²·a]

$EPgl,tot,limite$ è l'indice di prestazione energetica globale limite dell'edificio di riferimento [kWh/m²·a]

4. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

N.B. Qualora siano presenti più unità immobiliari effettuare il calcolo per singole unità immobiliari:

calcolare le prestazioni medie di $EPgl,tot$ e di $EPgl,tot,limite$ parametrare rispetto alla superficie utile climatizzata (media ponderata) mediante le seguenti formule:

$$EPgl,tot,media = \sum_j (EPgl, tot,i,j * Sj) / \sum_j Sj \quad (3)$$

$$EPgl,tot,limite,media = \sum_j (EPgl, tot,limite,j * Sj) / \sum_j Sj \quad (4)$$

ENERGIA E CONSUMO DI RISORSE	NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	B3.1
Materiali		
Materiali da fonti rinnovabili		
AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Energia e consumo di risorse	B3 Materiali	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Favorire l'impiego di materiali da fonte rinnovabile per diminuire il consumo di nuove risorse.	nella categoria _____ nel sistema completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Percentuale in peso dei materiali da fonte rinnovabile utilizzati nell'intervento	%	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	20	3
OTTIMO	33	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1. Dall'analisi della documentazione di progetto produrre l'inventario dei materiali utilizzati per l'edificio. Indicare per ogni tipologia di materiale il peso (Kg). Devono essere inclusi nell'inventario solo i materiali contenuti nelle seguenti unità tecnologiche (rif. UNI 8290):

- Chiusura verticale
 - Pareti perimetrali verticali
 - Infissi esterni verticali
- Chiusura orizzontale inferiore
 - Solai a terra
 - Infissi orizzontali
- Chiusura orizzontale su spazi esterni
 - Solai su spazi esterni
- Chiusura superiore
 - Coperture
 - Infissi esterni orizzontali
- Partizione interna verticale
 - Pareti interne verticali
 - Infissi interni verticali
 - Elementi di protezione
- Partizione interna orizzontale
 - Solai
 - Soppalchi
 - Infissi interni orizzontali

- Partizione interna inclinata
 - Scale interne
 - Rampe interne
- Partizione esterna verticale
 - Elementi di protezione
 - Elementi di separazione
- Partizione esterna orizzontale
 - Balconi e logge
 - Passerelle
- Partizione esterna inclinata
 - Scale esterne
 - Rampe esterne
- Partizioni interrate

NOTA 1 Il metodo di verifica descritto deve essere applicato all'intero edificio in caso di progetto di nuova costruzione e unicamente agli elementi interessati dall'intervento in caso di progetto di ristrutturazione.

In caso di ristrutturazione i materiali che rientrano nel calcolo dell'indicatore di prestazione sono quelli espressamente previsti in progetto (ad esempio se l'intervento su un edificio esistente prevede il posizionamento di pannelli isolanti sul lato esterno delle murature perimetrali, nel calcolo dell'indicatore di prestazione sono da considerare unicamente tali pannelli e non la muratura esistente).

2.Calcolare il peso complessivo P_{tot} [Kg] dei materiali utilizzati per l'edificio contenuti nell'inventario di cui al punto 1 tramite la formula (A):

$$P_{tot} = \sum P_i \quad (1)$$

dove:

P_i = peso del materiale i-esimo [Kg]

3.Calcolare il peso dei singoli materiali da fonte rinnovabile utilizzati per l'edificio

Per ognuno dei materiali utilizzati per l'edificio e contenuti nell'inventario (vedi punto 1), individuare la percentuale R [%], determinata rispetto al peso, di materiale da fonte rinnovabile che lo compone.

Calcolare il peso P_{rj} [kg] di materiale da fonte rinnovabile contenuto in ogni materiale secondo la formula:

$$P_{rj} = P_j * R_j \quad (2)$$

Dove:

P_j = peso del materiale i-esimo, [m^3]

R_j = percentuale di materiale da fonte rinnovabile del materiale j-esimo [%]

NOTA 2 Le dichiarazioni relative alla percentuale di materiale da fonte rinnovabile in materiali misti, ovvero materiale di origine animale o vegetale, devono essere rese o come dichiarazioni ambientali di tipo I (ecolabel ai sensi della norma UNI EN ISO 14024) o come dichiarazione ambientale di tipo III (EPD ai sensi della UNI EN 14025 e UNI EN 15804) o ancora possono essere rese ai sensi della UNI EN ISO 14021 (label di tipo II: autodichiarazione ambientale del produttore) validata da un organismo di valutazione della conformità, in corso di validità alla data di entrata in vigore del DM 23/06/2022 e fino alla scadenza della convalida stessa.

NOTA 3 Per "materiale da fonte rinnovabile" si intende materiale composto da biomasse provenienti da una fonte vivente e che può essere continuamente reintegrata (UNI EN ISO 14021:2016).

NOTA 4 In fase di progetto è ammessa la dichiarazione del progettista con l'inserimento della quota di materiale da fonti rinnovabili all'interno del capitolato e del computo metrico.

4.Calcolare il peso complessivo P_{rtot} [kg] dei materiali da fonte rinnovabile utilizzati per l'edificio (B) tramite la formula:

$$P_{rtot} = \sum P_{rj} \quad (3)$$

dove:

Prj = peso di materiale riciclato/recuperato contenuto nel materiale/componente j-esimo, [kg].

5.Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il peso Pr_{tot} [kg] dei materiali da fonte rinnovabile impiegati in progetto (B), e il peso totale P_{tot} [kg] dei materiali impiegati nell'intervento in esame, (A):

$$\text{Indicatore} = \frac{B}{A} \times 100 = \frac{Pr_{tot}}{P_{tot}} \times 100 \quad (4)$$

6.Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e ricavare il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

ENERGIA E CONSUMO RISORSE	NUOVA COSTRUZIONE	B3.4
	RISTRUTTURAZIONE	
Materiali		
Materiali riciclati		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Energia e consumo risorse	B3 Materiali	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Favorire l'impiego di materiali riciclati e di recupero per diminuire il consumo di nuove risorse a favore dell'economia circolare.	<u>nella categoria</u> _____ nel sistema completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Percentuale in peso dei materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotto utilizzati nell'intervento superiore alla percentuale limite di legge	%	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	< 0	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	3	3
OTTIMO	5	5

Prerequisito per edifici pubblici:

Il contenuto di materia recuperata o riciclata o di sottoprodotto nei materiali utilizzati per gli edifici pubblici deve rispettare i requisiti riportati nella normativa vigente: si faccia riferimento a quanto indicato nel DM 23/06/2022 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi, e ss.mm.ii.. Qualora le prescrizioni riportate nella normativa in vigore non fossero soddisfatte, viene attribuito al criterio un punteggio pari a -1.

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

Attestato il prerequisito per edifici pubblici, a discrezione del progettista, sia per edifici pubblici che privati, ai fini del calcolo dell'indicatore di prestazione, si può far riferimento anche a materiali non contenuti nel paragrafo 2.5 “*Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione*” del DM 23 giugno 2022 e secondo le percentuali minime specificate di seguito.

1. Dall'analisi della documentazione di progetto produrre l'inventario dei materiali utilizzati per l'edificio. Indicare per ogni tipologia di materiale il peso (Kg). Devono essere inclusi nell'inventario solo i materiali rientranti nelle unità tecnologiche di seguito riportate (rif. UNI 8290):

- Struttura di fondazione
 - Strutture di fondazione dirette
 - Strutture di fondazione indirette
- Struttura di elevazione
 - Strutture di elevazione verticali
 - Strutture di elevazione orizzontali e inclinate
 - Strutture di elevazione spaziali
- Struttura di contenimento
 - Strutture di contenimento verticali
 - Strutture di contenimento orizzontali
- Chiusura verticale
 - Pareti perimetrali verticali
 - Infissi esterni verticali
- Chiusura orizzontale inferiore
 - Solai a terra
 - Infissi orizzontali
- Chiusura orizzontale su spazi esterni
 - Solai su spazi esterni
- Chiusura superiore
 - Coperture
 - Infissi esterni orizzontali
- Partizione interna verticale
 - Pareti interne verticali
 - Infissi interni verticali
 - Elementi di protezione
- Partizione interna orizzontale
 - Solai
 - Soppalchi
 - Infissi interni orizzontali
- Partizione interna inclinata
 - Scale interne
 - Rampe interne
- Partizione esterna verticale
 - Elementi di protezione
 - Elementi di separazione
- Partizione esterna orizzontale
 - Balconi e logge
 - Passerelle
- Partizione esterna inclinata
 - Scale esterne
 - Rampe esterne
- Partizioni interrate

NOTA 1 Il metodo di verifica descritto deve essere applicato all'intero edificio in caso di progetto di nuova costruzione e alla porzione di elementi/materiali interessata dall'intervento in caso di progetto di ristrutturazione.

In caso di ristrutturazione i materiali che rientrano nel calcolo dell'indicatore di prestazione sono quelli espressamente previsti in progetto (ad esempio se l'intervento su un edificio esistente prevede il posizionamento di pannelli isolanti sul lato esterno delle murature perimetrali, nel calcolo dell'indicatore di prestazione sono da considerare unicamente tali pannelli e non la muratura esistente).

2. Calcolare il peso complessivo P_{tot} [Kg] dei materiali utilizzati per l'edificio contenuti nell'inventario di cui al punto 1 tramite la formula (A):

$$P_{tot} = \sum P_i \quad (1)$$

dove:

P_i = peso del materiale i-esimo, [Kg]

3. Determinare il peso del contenuto di materiali riciclati o recuperati e/o sottoprodotti utilizzati per l'edificio corrispondente al valore limite di legge

Tenendo in conto i materiali utilizzati per l'edificio (vedi punto 1) e il valore del contenuto minimo di materia recuperata o riciclata prevista dalla normativa in vigore (*DM 23/06/2022 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi, e ss.mm.ii.*), e eventuali altri materiali non contenuti nel paragrafo 2.5 su citato, si determini il peso del contenuto di materiali riciclati o recuperati o sottoprodotti utilizzati per l'edificio corrispondente al valore limite di legge, Pr_{lim} [kg].

i. Determinare Pr_{lim} [kg] come sommatoria dei pesi di tutti i materiali impiegati (o categoria di materiale o componenti edilizi), ciascuno moltiplicato per la quota percentuale minima indicata dalla normativa in vigore, calcolata rispetto al peso di contenuto di materia riciclata/recuperata/di sottoprodotti, (*DM 23/06/2022 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi, e ss.mm.ii.*). Per i materiali non ricadenti sotto la disciplina del DM 23 giugno 2023 e che non hanno indicata una quota percentuale minima di materia recuperata o riciclata o di sottoprodotti e che possono essere considerati a discrezione del progettista, si utilizzi valore pari a zero:

$$Pr_{lim} = \sum(Q_{min,i} * P_j) \quad (2)$$

dove:

$Q_{min,i}$ = contenuto minimo di materiale riciclato o recuperato o di sottoprodotti nel materiale (o categoria di materiale o componenti edilizi) i-esimo, [%]

P_j = peso del materiale (o categoria di materiale o componenti edilizi) i-esimo, [kg]

NOTA 2 Per gli interventi per i quali, in base alla normativa in vigore, non sussiste l'obbligo di impiego di materiali con un contenuto minimo di materia recuperata o riciclata o di sottoprodotti si pone $Pr_{lim} = 0$ kg.

4. Calcolare il peso dei singoli materiali riciclati e/o di recupero utilizzati per l'edificio

Per ognuno dei materiali utilizzati per l'edificio e contenuti nell'inventario (vedi punto 1), individuare la percentuale R [%], determinata rispetto al peso, di materiale riciclato/recuperato/sottoprodotto che lo compone. Calcolare il peso Pri [kg] di materiale riciclato/recuperato/sottoprodotto contenuto in ogni materiale secondo la formula:

$$Pr_j = \sum(P_i * R_i) \quad (4)$$

dove:

P_i = peso del materiale i-esimo, [m^3]

R_i = percentuale di materiale riciclato/recuperato del materiale i-esimo, [%]

NOTA 3 Il contenuto di materia riciclata/recuperata/di sottoprodotti deve essere dimostrato tramite una delle seguenti opzioni, producendo il relativo certificato nel quale sia chiaramente riportato il numero dello stesso, il valore percentuale richiesto, il nome del prodotto certificato, le date di rilascio e di scadenza:

- una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma UNI EN ISO 14025, con indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti, specificandone la metodologia di calcolo;
- una certificazione di prodotto, basata sulla tracciabilità dei materiali e sul bilancio di massa, rilasciata da un organismo di valutazione della conformità, con l'indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti
- una asserzione ambientale autodichiarata, conforme alla norma UNI EN ISO 14021, validata da un organismo di valutazione della conformità, in corso di validità alla data di entrata in vigore del DM 23/06/2022 e fino alla scadenza della convalida stessa.

NOTA 4 Per materiale riciclato si intende uno che è stato rilavorato da materiale recuperato mediante un processo di lavorazione e trasformato in un prodotto finale o in un componente da incorporare in un prodotto (fare comunque riferimento alle definizioni UNI EN ISO 14021:2021, 7.8.1.1 a) e b). La percentuale di materiale riciclato R deve esprimere la somma del contenuto di riciclato pre-consumo e post-consumo. Il contenuto di riciclato pre-consumo è (definizione da UNI EN ISO 14021): materiale sottratto dal flusso dei rifiuti durante un processo di fabbricazione; è escluso il riutilizzo di materiali rilavorati, rimacinati o dei residui generati in un processo e in grado di essere recuperati nello stesso processo che li ha generati. Il contenuto di riciclato post-consumo è (definizione da UNI EN ISO 14021): materiale generato da insediamenti domestici, o da installazioni commerciali, industriali e istituzionali nel loro ruolo di utilizzatori finali del prodotto, che non può più essere utilizzato per lo scopo previsto. Ciò include il ritorno di materiale dalla catena di distribuzione. Per materiale recuperato si intende un materiale che in alternativa sarebbe stato smaltito come rifiuto o utilizzato per il recupero di energia, e che invece è stato raccolto e recuperato come materiale di alimentazione, al posto di una materia prima nuova, per un processo di riciclaggio o di produzione (UNI EN ISO 14021:2021, 7.8.1.1 c). Per sottoprodotto si intende qualsiasi sostanza od oggetto, diverso dal rifiuto, che soddisfa tutte le seguenti condizioni: è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto; è certo che deve essere utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte dell'organizzazione produttrice o di terzi; può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale (UNI/PdR 88).

NOTA 5 In fase di progetto è ammessa la dichiarazione del progettista con l'inserimento della quota di materiale riciclato/recuperato/sottoprodotto all'interno del capitolo, del computo metrico, della relazione CAM.

NOTA 6 Per gli edifici pubblici il contenuto di materia recuperata o riciclata o di sottoprodotti nei materiali utilizzati per l'edificio deve rispettare i requisiti riportati nella normativa vigente: si faccia riferimento a quanto indicato nel DM 23/06/2022

- Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edili, per l'affidamento dei lavori per interventi edili e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edili, e ss.mm.ii.. Qualora le prescrizioni riportate nella normativa in vigore non fossero soddisfatte, viene attribuito un punteggio pari a -1 al criterio.

5. Calcolare il peso complessivo Pr_{tot} [kg] dei materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotti utilizzati per l'edificio tramite la formula:

$$Pr_{tot} = \sum Pr_i \quad (5)$$

dove:

Pr_i = peso di materiale riciclato/recuperato contenuto nel materiale/componente i-esimo, [kg]

6. Calcolare il peso dei materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotti impiegati nell'edificio in aggiunta al quantitativo minimo previsto per legge, $Prextra$ [kg], come differenza tra il peso dei materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotti utilizzati per l'edificio, e il peso del contenuto minimo di materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotti corrispondente al valore limite di legge, (B):

$$Pr_{extra} = Pr_{tot} - Pr_{lim} \quad (6)$$

7. Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il peso $Prextra$ [kg] dei materiali riciclati e/o di recupero e/o sottoprodotti impiegati in progetto in aggiunta al quantitativo minimo previsto dalla legge (B), e il peso totale $Ptot$ [kg] dei materiali impiegati nell'intervento in esame, (A):

$$\text{Indicatore} = \frac{B}{A} \times 100 = \frac{Pr_{extra}}{P_{tot}} \times 100 \quad (7)$$

2. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e ricavare il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

3. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e ricavare il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

ENERGIA E CONSUMO DI RISORSE	NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIO NE	B3.6
Materiali		
Disassemblabilità dell'edificio		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Energia e consumo di risorse		B3 Materiali
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Favorire una progettazione che consenta il disassemblaggio selettivo dei componenti in modo che possano essere riutilizzati o riciclati		<u>nella categoria</u> <u>nel sistema completo</u>
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Livello di disassemblabilità		%
SCALA DI PRESTAZIONE	PUNTEGGIO	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	30	3
OTTIMO	50	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

Prerequisito per edifici pubblici:

Almeno il 70% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati utilizzati nel progetto, esclusi gli impianti, sia sottoponibile, a fine vita, a disassemblaggio o demolizione selettiva (decostruzione). Deve essere redatto un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva. Il mancato soddisfacimento del prerequisito comporta l'assegnazione del punteggio di -1. Per il calcolo del peso si usa la metodologia di scomposizione dell'edificio prevista nella UNI 8290.

1. Dall'analisi della documentazione di progetto produrre l'inventario dei materiali utilizzati per l'edificio.

Devono essere inclusi nell'inventario solo i materiali contenuti nelle seguenti unità tecnologiche (rif. UNI 8290):

- Struttura di fondazione
 - Strutture di fondazione dirette
 - Strutture di fondazione indirette
- Struttura di elevazione
 - Strutture di elevazione verticali
 - Strutture di elevazione orizzontali e inclinate
 - Strutture di elevazione spaziali Struttura di contenimento
- Strutture di contenimento
 - Strutture di contenimento verticali

- Strutture di contenimento orizzontali
- Chiusura verticale
 - Pareti perimetrali verticali
 - Infissi esterni verticali
- Chiusura orizzontale inferiore
 - Solai a terra
 - Infissi orizzontali
- Chiusura orizzontale su spazi esterni
 - Solai su spazi esterni
- Chiusura superiore
 - Coperture
 - Infissi esterni orizzontali
- Partizione interna verticale
 - Pareti interne verticali
 - Infissi interni verticali
 - Elementi di protezione
- Partizione interna orizzontale
 - Solai
 - Soppalchi
 - Infissi interni orizzontali
- Partizione interna inclinata
 - Scale interne
 - Rampe interne
- Partizione esterna verticale
 - Elementi di protezione
 - Elementi di separazione
- Partizione esterna orizzontale
 - Balconi e logge
 - Passerelle
- Partizione esterna inclinata
 - Scale esterne
 - Rampe esterne
- Partizioni interrate

NOTA 1 Il metodo di verifica descritto deve essere applicato all'intero edificio in caso di progetto di nuova costruzione e unicamente agli elementi/materiali apportati dall'intervento in caso di progetto di ristrutturazione. In caso di ristrutturazione i materiali che rientrano nel calcolo dell'indicatore di prestazione sono quelli espressamente previsti in progetto (ad esempio se l'intervento su un edificio esistente prevede il posizionamento di pannelli isolanti sul lato esterno delle murature perimetrali, nel calcolo dell'indicatore di prestazione sono da considerare unicamente tali pannelli e non la muratura esistente).

2. Descrivere le soluzioni e le strategie adottate al fine di facilitare lo smontaggio, il riuso o il riciclo dei componenti costituenti l'edificio

Elencare tutte le soluzioni e strategie progettuali previste per facilitare le operazioni di smontaggio degli elementi costitutivi l'edificio (ovvero dei sistemi costruttivi a secco che ne consentano la demolizione selettiva) e che ne permettano l'eventuale riuso e/o riciclo. Attribuire ogni soluzione individuata a una delle seguenti aree di applicazione:

- Pareti perimetrali verticali;
- Pareti interne verticali;
- Pavimenti e soffitti;
- Tetti - Strutture portanti

NOTA 2 Non vanno considerati come elementi facilmente smontabili né i serramenti né i componenti degli impianti tecnologici.

3. Calcolare il punteggio complessivo per ogni area di applicazione realizzata mediante strategie che facilitano lo smontaggio, il riuso o il riciclo dei componenti

In riferimento ad ogni area di applicazione calcolare il punteggio rappresentativo per l'adozione di soluzioni/strategie che facilitano lo smontaggio e il riuso o riciclo dei componenti basato sulla seguente tabella:

Pareti perimetrali verticali	Pareti non portanti o prefabbricati (pareti esterne, parapetti, tamponamenti; unità di facciata prefabbricate, costituite da pareti esterne, finestre, porte, rivestimenti)	3,0
	Rivestimenti di pareti esterne (rivestimenti esterni di pareti esterne e colonne, compresi i rivestimenti in gesso, gli strati di impermeabilizzazione, isolanti e protettivi)	2,0
	Rivestimenti interni di pareti esterne e colonne, compresi i rivestimenti in intonaco, gli strati di protezione e di isolamento dall'umidità	2,0
	Porte e finestre esterne (finestre e vetrine, porte e portoni, compresi davanzali, telai, ferramenta, sistemi di azionamento, componenti di ventilazione e altri elementi incorporati)	2,0
Pareti interne	Non portanti o prefabbricate (pareti interne, tamponamenti; pareti sezionali, costituite da pareti interne, porte, finestre, rivestimenti, ad esempio pareti pieghevoli e scorrevoli, divisorii sanitari, casse)	6,0
	Rivestimenti interni (rivestimenti che comprendono intonaci, strati di tenuta, isolanti e protettivi su pareti interne e colonne)	6,0
	Porte e finestre interne (porte e portoni, finestre e vetrine, compresi i telai, gli accessori, i motori e altri elementi incorporati)	4,5

Pavimenti e soffitti	Pavimenti (rivestimenti di pavimenti, compresi massetti, strati di protezione dall'umidità, strati isolanti e protettivi, superfici d'usura; controsoffitti per servizi e pavimenti galleggianti)	9,0
	Rivestimenti di soffitti (rivestimenti di soffitti, compresi intonaci, corsi di umidità, strati isolanti e protettivi; controsoffitti per l'illuminazione e altri servizi)	7,0
Tetti	Coperture del tetto (copertura delle strutture del tetto, compresi casseri, sigillatura, isolamento, protezione e strati di usura; drenaggio della superficie del tetto fino al collegamento ai sistemi di drenaggio)	2,0
	Rivestimenti per tetti (coperture sotto le strutture del tetto, compresi intonaci, rivestimenti sigillanti, isolanti e protettivi; soffitti leggeri e combinati sotto i tetti)	2,0
Strutture portanti	Pareti esterne portanti (pareti esterne portanti, compresa l'impermeabilizzazione orizzontale)	6,0
	Colonne esterne (colonne e pilastri)	2,0
	Pareti interne portanti (pareti interne portanti, comprese le guarnizioni orizzontali)	4,5
	Colonne interne (colonne e pilastri)	2,0
	Parti portanti dei solai (Pavimenti, scale, rampe, balconi, logge, esclusi i rivestimenti e le coperture)	6,0
	Strutture di copertura (senza coperture e rivestimenti)	4,0

Table 4 punteggi per smontaggio e riuso o riciclo dei componenti

4. Calcolare il punteggio complessivo relativo alle aree di applicazione realizzate con l'adozione di soluzioni/strategie che facilitano lo smontaggio e il riuso o riciclo dei componenti come indicato nella precedente tabella

Determinare il valore dell'indicatore di prestazione sommando il punteggio ottenuto.

5. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

ENERGIA E CONSUMO DI RISORSE	NUOVA COSTRUZIONE	B4.3
	RISTRUTTURAZIONE	
Acqua		
Consumo d'acqua per usi indoor		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Energia e consumo di risorse	B4 Acqua	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Ridurre i consumi di acqua potabile per usi indoor attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua	<u>nella categoria</u> <u>nel sistema completo</u>	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Volume di acqua potabile risparmiata per usi indoor rispetto al fabbisogno base calcolato	%	
SCALA DI PRESTAZIONE	PUNTEGGIO	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	30	3
OTTIMO	50	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1. Calcolare il volume di acqua potabile (A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico annuo per usi indoor, come sotto riportato per ciascuna destinazione d'uso:

- **uffici** pari a: 50 litri a persona al giorno;
- **edifici scolastici** 30 litri a persona al giorno;

Ai fini del calcolo dell'indicatore di prestazione effettuare una stima del numero previsto di occupanti dell'edificio in esame e dei posti letto per gli alberghi, da desumere per la rispettiva destinazione d'uso, qualora fossero assenti metodi più dettagliati, con le seguenti formule:

$$\text{Uffici} \quad O_{CC} = Su/10 \quad (1a)$$

dove:

O_{CC} = numero stimato di occupanti l'edificio in progetto, [-]

S_u = superficie utile dell'edificio [-], [m²]

NOTA 1 Per superficie utile si intende la superficie di pavimento delle unità immobiliari misurate al netto di murature, pilastri, tramezzi, sguinci, vani di porte e finestre, di eventuali scale interne, di logge di balconi. (Art. 3 DMILPP n. 801/1977).

Calcolare il volume di acqua potabile di riferimento (A) necessario per soddisfare annualmente il fabbisogno idrico per usi indoor degli occupanti dell'edificio, tramite la seguente formula:

$$F_{ind,std} = Occ * F_{pc,std} * n_{gg} / 1000 \quad (2)$$

dove:

$F_{ind,std}$ = fabbisogno idrico annuale standard per gli usi indoor, [m³/anno]

Occ = numero di occupanti previsti per l'edificio in progetto, [-]

$F_{pc,std}$ = fabbisogno idrico pro capite standard per usi indoor, [litri/gg ab]

n_{gg} = numero di giorni del periodo di calcolo, pari a 246 per gli uffici, 210 per le scuole secondarie [-]

2. Calcolare la quantità effettiva di acqua potabile annua risparmiata (B)

Prerequisito 1:

Si deve prevedere in progetto:

- a. l'impiego di sistemi di riduzione di flusso e controllo di portata e della temperatura dell'acqua. In particolare, tramite l'utilizzo di rubinetteria temporizzata ed elettronica con interruzione del flusso d'acqua per lavabi dei bagni e a basso consumo d'acqua (6 l/min per lavandini, lavabi, bidet, 8 l/min per docce misurati secondo le norme UNI EN 816, UNI EN 15091) e l'impiego di apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico aventi scarico completo di massimo 6 litri e scarico ridotto di massimo 3 litri;
- b. orinatoi senz'acqua.

Le predette condizioni devono essere soddisfatte, se non sono soddisfatte, assegnare il punteggio di -1.

Qualora il progetto preveda l'adozione di tecnologie atte a diminuire il fabbisogno idrico rispetto a quello di riferimento diverse da quelle indicate nel prerequisito 1 (come ad esempio aeratori frangiletto, riduttori di flusso, cassette a doppio scarico con volumi inferiori a 6 l e 3 l, etc.), procedere al calcolo del volume annuale di acqua potabile risparmiata come segue ed allegare la relativa documentazione tecnica a supporto dei valori impiegati nei calcoli.

Deve essere inoltre previsto un sistema di monitoraggio dei consumi idrici. Procedere al calcolo del volume annuale di acqua potabile risparmiata come segue:

- consultare le specifiche di progetto relative agli impianti e ai sistemi di erogazione dell'acqua ed individuare le eventuali tecnologie/apparecchiature previste e lo specifico coefficiente di riduzione dei consumi R [%];
- calcolare il volume annuale di acqua potabile risparmiata moltiplicando il fabbisogno idrico di ciascuna attività per il relativo coefficiente di riduzione dei consumi:

$$V_{ris,i} = \sum (V_i * R_i) * Occ * n_{gg} / 1000 \quad (3)$$

dove:

$V_{ris,i}$ = acqua potabile risparmiata grazie alle soluzioni tecnologiche adottate, [m³/anno]

V_i = acqua pro-capite necessaria per l'attività i-esima, [l/AB(occ)·gg]

R_i = coefficiente di riduzione dei consumi idrici per l'attività i-esima, [%]

Occ = numero di occupanti previsti per l'edificio in progetto, [-]

n_{gg} = numero di giorni del periodo di calcolo [-]

Nelle tabelle 5 e 6 sono riassunti i consumi idrici pro-capite di riferimento per le principali attività da considerare in assenza di dati più dettagliati da dimostrare nella documentazione di progetto.

Table 5 Consumo idrico pro-capite per le principali attività UFFICI - EDIFICI COMMERCIALI - EDIFICI INDUSTRIALI

Utilizzo indoor Edifici: Uffici - Edifici commerciali - Edifici industriali	Consumo V [l/Occ·gg]
Usi alimentari (se presenti)	-
Pulizia ambienti	7,2
Igiene personale	12,8
WC	30
Totale	50

EDIFICI SCOLASTICI

Utilizzo indoor	Consumo V Scuola secondaria [l/Occ·gg]
Pulizia ambienti	5
Igiene personale	5
WC	20
Totale	30

Table 6 Consumo idrico pro-capite per le principali attività Scuola secondaria

Prerequisito 2:

Deve essere prevista la realizzazione di una rete separata per la raccolta delle acque meteoriche. Le acque provenienti da superfici scolanti non soggette a inquinamento (marciapiedi, aree e strade pedonali o ciclabili, giardini, ecc.) devono essere convogliate direttamente nella rete delle acque meteoriche e poi in vasche di raccolta per essere riutilizzate a scopo irriguo e/o per alimentare le cassette di accumulo dei servizi igienici. Le acque provenienti da superfici scolanti soggette a inquinamento (strade carrabili, parcheggi) devono essere preventivamente convogliate in sistemi di depurazione e disoleazione, anche di tipo naturale, prima di essere immesse nella rete delle acque meteoriche. Il progetto è redatto sulla base della norma UNI/TS 11445 “Impianti per la raccolta e utilizzo dell’acqua piovana per usi diversi dal consumo umano

- Progettazione, installazione e manutenzione” e della norma UNI EN 805 “Approvvigionamento di acqua - Requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici” o norme equivalenti.

La condizione deve essere soddisfatta, se non è soddisfatta, assegnare il punteggio di -1.

Qualora sia previsto in progetto l’impiego di sistemi per la raccolta e il riuso di acqua non potabile per usi indoor (risciacquo dei WC e pulizia ambienti), calcolarne il contributo ovvero consultare la relativa documentazione tecnica di progetto e ricavare il volume di acqua potabile $V_{ris,ii}$ [$m^3/anno$] che verrà risparmiato grazie all’uso di tale strategia.

NOTA 2 In caso di impianto di raccolta e riutilizzo delle acque non potabili (grigie, meteoriche, da impianti, etc.) per usi indoor, se la cisterna di raccolta è destinata ad alimentare anche la rete di irrigazione delle aree verdi esterne, il calcolo del volume di acqua destinata ad usi indoor deve tenere conto della proporzione tra i due fabbisogni e/o di eventuali priorità assegnate alla gestione dell’acqua raccolta.

NOTA 3 E’ accettabile l’utilizzo del metodo semplificato della UNI/TS 11445.

NOTA 4 Dal momento che le acque meteoriche possono essere recuperate e riutilizzate sia per irrigazione che per usi indoor, qualora $V_{ris,ii}$ per usi indoor risulti pari a 0 ma le acque meteoriche vengono impiegate per irrigazione e quantificate nel criterio B.4.4, il prerequisito 2 può ritenersi verificato.

Calcolare la quantità effettiva di acqua potabile risparmiata V_{ris} per usi domestici (B) sommando i contributi calcolati nei passaggi precedenti:

$$V_{ris} = V_{ris,i} + V_{ris,ii} \quad (4)$$

dove:

$V_{ris,i}$ = volume di acqua potabile risparmiato grazie all'utilizzo di tecnologie per la riduzione dei consumi, [m³/anno]

$V_{ris,ii}$ = volume di acqua potabile risparmiato derivante dall'impiego di acqua non potabile, [m³/anno]

3.Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato e quello necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor: B/A x 100

Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il volume V_{ris} [m³/anno] di acqua potabile risparmiato (B) e quello di riferimento (A) necessario per soddisfare il fabbisogno di acqua per usi indoor $F_{ind,std}$ [m³/anno]:

$$\text{Indicatore} = B/A * 100 = V_{ris}/F_{ind,std} * 100 \quad (5)$$

4.Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

CARICHI AMBIENTALI	NUOVA COSTRUZIONE	C1.2
	RISTRUTTURAZIONE	
Emissione di gas a effetto serra		
Emissioni di Gas a effetto serra in fase operativa		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
C. Carichi ambientali	C1 Emissioni di gas a effetto serra	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Ridurre la quantità di emissioni di CO2 equivalente impiegata per l'esercizio annuale dell'edificio.	nella categoria nel sistema completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio in esame e la quantità di emissioni di CO2 equivalente corrispondente all'edificio di riferimento (requisiti minimi di cui al DM 26 giugno 2015 e ss.mm.ii.)	%	
SCALA DI PRESTAZIONE	%	PUNTI
NEGATIVO	> 100	-1
SUFFICIENTE	100	0
BUONO	85	3
OTTIMO	75	5

1.Determinare la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di progetto, (B).

Riportare il valore della CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio da valutare calcolata da un software certificato secondo le metodologie nazionali vigenti (D.Lgs. 192/2005 e s.m.i., D.M. 26/06/2015 "Requisiti Minimi" e relative norme tecniche UNI/TS 11300 e la serie UNI EN ISO52000 vigenti).

Il dato, espresso in [kg CO₂/m²] può essere individuato nell'xml esteso prodotto dai software certificati. Essendo un file di testo è possibile individuare i valori dell'edificio reale ("edificioReale") cercando "emissioniCO2".

Verificare se il dato inserito nell'xml sia complessivo o al m². Nel caso in cui sia un dato complessivo, dividere il dato totale per la superficie utile climatizzata per ottenere il valore in [kg CO₂/m²].

2. Calcolare la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di riferimento (A)

L'edificio di riferimento è definito alla lettera l-novies), del comma 1, dell'articolo 2, del decreto legislativo n. 192/2005 e per il quale i parametri energetici, le caratteristiche termiche e di generazione sono dati nelle pertinenti tabelle del Capitolo 1, dell'Appendice A del Decreto 26 giugno 2015 (DM requisiti minimi).

Riportare il valore della CO₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di riferimento (DM requisiti minimi) calcolata da un software certificato.

Il dato può essere individuato nell'xml esteso prodotto dai software certificati. Essendo un file di testo è possibile individuare i valori dell'edificio di riferimento dei requisiti minimi ("edificioRiferimentoRM") cercando "emissioniCO2"

Verificare se il dato inserito nell'xml sia complessivo o al mq, nel caso dividere il dato per la superficie utile.

3. Calcolare l'indicatore secondo la seguente formula:

$$\text{Indicatore} = B/A * 100 \quad (3)$$

dove:

B è la quantità di emissioni di CO₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio da valutare [kg CO₂/m²]

A è la quantità di emissioni di CO₂ equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio di riferimento (DM requisiti minimi), [kg CO₂/m²]

4. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

N.B. Qualora siano presenti più unità immobiliari effettuare il calcolo per singole unità immobiliari: calcolare le prestazioni medie parametrata rispetto alla superficie utile climatizzata (media ponderata) mediante le seguenti formule:

$$CO_2 \text{ reale,media} = \sum_j (CO_2 \text{ reale,j} * S_j) / \sum_j S_j \quad (4)$$

$$CO_2 \text{ rif,media} = \sum_j (CO_2 \text{ rif,j} * S_j) / \sum_j S_j \quad (5)$$

Calcolare l'indice di CO₂ per ciascuna unità immobiliare (CO₂ reale,j) e poi calcolare la CO₂ reale,media dell'edificio facendo una media ponderata rispetto alle superfici utili climatizzate utilizzando la formula (4).

Effettuare il medesimo procedimento per calcolare la CO₂ rif,media utilizzando la formula (5) e poi calcolare l'indicatore.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione

CARICHI AMBIENTALI	NUOVA COSTRUZIONE	C3.2
	RISTRUTTURAZIONE	
Rifiuti solidi		
Rifiuti solidi prodotti in fase operativa		

Per l'analisi di progetti di edifici situati in Comuni nei quali è attivo un servizio di raccolta differenziata relativo ad un numero di tipologie di rifiuti inferiore a quattro il criterio deve essere disattivato, ovvero è da escludere dalla valutazione complessiva.

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
C. Carichi ambientali	C3 Rifiuti solidi	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Favorire la raccolta differenziata dei rifiuti solidi.	nella categoria	nel sistema completo
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Rapporto tra il numero di categorie di rifiuti solidi raccolte entro 100 m dall'ingresso dell'edificio e il numero di categorie di riferimento	-	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	-	PUNTI
NEGATIVO	< 0,5	-1
SUFFICIENTE	0,5	0
BUONO	0,8	3
OTTIMO	1	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1.Verificare la facilità di accesso all'area attrezzata da parte del personale occupato nell'attività e del personale incaricato alla raccolta.

Analizzare le tavole di progetto e verificare che le aree attrezzate per la raccolta differenziata dei rifiuti siano facilmente accessibili (ad esempio assenza di scale, percorsi accidentati o nascosti, dall'ingresso dell'edificio al luogo di raccolta) sia da parte del personale occupato nell'attività che da parte del personale incaricato alla raccolta. Nel caso questo requisito non sia soddisfatto occorre assegnare al criterio punteggio “-1”.

2.Determinare il numero di tipologie di rifiuti di riferimento.

Individuare le tipologie di rifiuti di riferimento, e determinarne il numero N_{tot} , sulla base di quelle previste dalla raccolta differenziata attiva nel Comune in cui è situato l'edificio (ad esempio: carta, plastica, vetro, alluminio/metalli, organico, rifiuti indifferenziati, rifiuti speciali toner, pallet, RAEE). Si alleghi documentazione relativa alle tipologie di raccolta differenziata presenti nel Comune interessato.

Nota 1. Se nel Comune in cui è situato l'edificio non è attivo un servizio di raccolta differenziata dei rifiuti occorre assegnare al criterio punteggio “-1”.

Se il numero di tipologie di rifiuti raccolte mediante il servizio di raccolta differenziata attivo nel Comune in cui è situato l'edificio è inferiore a quattro il criterio deve essere disattivato, ovvero da escludere dalla valutazione complessiva.

3.Misurare la distanza fra l'accesso principale dell'edificio e l'area di raccolta della n-esima tipologia di rifiuti.

Dall'analisi delle tavole di progetto e dalle relative relazioni tecniche verificare la presenza, all'interno o all'esterno del lotto di intervento, di una o più aree adibite alla raccolta differenziata dei rifiuti prendendo come riferimento le tipologie stabilite dal Comune in cui è situato l'edificio.

Nota 2. Le aree di raccolta che possono essere considerate per la verifica sono le aree e i contenitori a cui accede il personale dell'edificio addetto a tale attività (e non i cestini per i rifiuti utilizzabili dagli utenti della struttura).

Per ognuna delle tipologie di rifiuto individuate al punto 2 misurare la distanza L [m], secondo l'effettivo tragitto da percorrere, fra l'accesso dell'edificio e la relativa area di raccolta.

Nota 3. Non è necessario fare riferimento all'ingresso principale dell'edificio: è possibile misurare la distanza tra l'area di raccolta e l'accesso dell'edificio di servizio effettivamente utilizzato dal personale addetto a tale attività.

Determinare il numero di tipologie di rifiuti N (tra quelle individuate al punto 2) per le quali è presente un'area di raccolta a una distanza L inferiore a 50 metri dall'ingresso dell'edificio.

Calcolare l'indicatore di prestazione secondo la formula:

$$\text{Indicatore} = \frac{N}{N_{tot}}$$

dove:

N = numero di tipologie di rifiuti per i quali la distanza L è inferiore a 100 metri;

N_{tot} = numero di tipologie di rifiuti per i quali è attiva la raccolta differenziata nel comune in cui è situato l'edificio (deve essere $N_{tot} \geq 4$, vedi nota 1).

Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

Nota 4: in caso di edifici con destinazione d'uso mista (tra quelle previste dal Protocollo) occorre calcolare separatamente, per ogni porzione di edificio a differente destinazione d'uso, il valore dell'indicatore di prestazione. Si riportino quindi tutti i dettagli dei calcoli effettuati nella relazione di valutazione (trattando separatamente il calcolo delle distinte destinazioni d'uso) e i valori degli indicatori nello strumento di calcolo.

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR	NUOVA COSTRUZIONE	D1.8
	RISTRUTTURAZIONE	
Qualità dell'aria e della ventilazione		
Ventilazione		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA
D. Qualità ambientale indoor	D1 Qualità dell'aria e della ventilazione
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO
Garantire una ventilazione che consenta di mantenere un elevato grado di salubrità nell'aria	<u>nella categoria</u> <u>nel sistema completo</u>
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA
Strategie progettuali per garantire i ricambi d'aria necessari nei locali	-
SCALA DI PRESTAZIONE	

EDIFICI PRIVATI		PUNTI
	VENTILAZIONE NATURALE	VENTILAZIONE MECCANICA
NEGATIVO		-1
SUFFICIENTE	I ricambi sono garantiti nella maggior parte degli ambienti principali dall'apertura di un solo serramento che garantisca il minimo di legge stabilito dai regolamenti edilizi locali.	0
	I ricambi sono garantiti nella maggior parte degli ambienti principali dall'apertura di due o più serramenti su pareti con diverse esposizioni.	1
	I ricambi sono garantiti nella maggior parte degli ambienti principali dall'apertura di due o più serramenti su pareti con diverse esposizioni e con una delle seguenti tecnologie: - utilizzo di serramenti con VMC integrata (o presente nel cassonetto o in prossimità del serramento); - apertura dei serramenti in modo automatico tramite attuatori motorizzati applicati ai serramenti apribili, connessi a sensori di CO2 e della velocità e temperatura dell'aria esterna; - ventilazione meccanica puntuale (o decentralizzata) a singolo flusso alternato	2

	o doppio flusso continuo - senza filtrazione; - presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che non riesca a garantire almeno una portata di categoria III della UNI EN 16798-1 very low polluting building.		
BUONO		Presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che garantisca la portata richiesta dalla Categoria III della UNI EN 16798-1 very low polluting building.	3
		Presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che garantisca la portata richiesta dalla Categoria II della UNI EN 16798-1 very low polluting building.	4
OTTIMO		Presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che garantisca la portata richiesta dalla Categoria I della UNI EN 16798-1 very low polluting building.	5
EDIFICI PUBBLICI			PUNTI
	VENTILAZIONE NATURALE	VENTILAZIONE MECCANICA	
NEGATIVO	Rispetto dei requisiti di aerazione diretta in tutti i locali in cui sia prevista una possibile occupazione da parte di persone anche per intervalli temporali ridotti. oppure portata d'aria reale inferiore a quella minima consentita per la categoria II della UNI EN 16798-1.		-1
SUFFICIENTE		Presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che garantisca, nel 100% dei locali - per gli edifici di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione, ampliamento e sopra elevazione la categoria II della UNI EN 16798-1, very low polluting building; - per le ristrutturazioni importanti di primo livello, la categoria II della UNI EN 16798-1 low polluting building.	0
BUONO		Presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che garantisca la	3

		portata richiesta dalla Categoria III della UNI EN 16798-1 very low polluting building.	
OTTIMO		Presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che garantisca, nel 100% dei locali - per gli edifici di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione, ampliamento e sopra elevazione la categoria I della UNI EN 16798-1, very low polluting building; - per le ristrutturazioni importanti di primo livello, la Categoria I della UNI EN 16798-1 low polluting building.	5

Metodo e strumenti di verifica

Le strategie utilizzate per garantire i ricambi d'aria nei locali vengono individuate sulla base della tipologia di ventilazione presente: ventilazione naturale o ventilazione meccanica. N.B. Per gli edifici pubblici, i Criteri Ambientali Minimi prevedono attualmente l'installazione obbligatoria della ventilazione meccanica.

A. Strategie utilizzate: PRESENZA DI VENTILAZIONE NATURALE - soltanto per gli edifici privati

1. Verificare, per tutti gli ambienti principali delle unità immobiliari dell'edificio 1 dotati di ventilazione naturale, le seguenti caratteristiche:

- presenza e numero di aperture per ventilazione naturale discontinua (finestre, porte-finestra);
- presenza di eventuali sistemi di ventilazione meccanica integrati nei serramenti o nei cassonetti o in prossimità dei serramenti;
- presenza di eventuali sistemi di apertura automatica dei serramenti, tramite attuatori motorizzati applicati ai serramenti apribili, connessi a sensori di CO₂ e della velocità e temperatura dell'aria esterna, in modo da innescare il flusso quando le condizioni di qualità dell'aria interna lo rendono necessario (oltre una soglia massima predefinita di concentrazione di CO₂) e quelle dell'aria esterna lo rendono possibile (al di sotto di valori prestabili di velocità dell'aria e al di sopra di valori prefissati di temperatura dell'aria);
- presenza di ventilazione meccanica puntuale (o decentralizzata) a singolo flusso alternato o doppio flusso continuo - senza filtrazione;
- presenza di impianto di ventilazione meccanica controllata che non riesca a garantire almeno una portata di categoria III.

Descrivere in modo qualitativo le caratteristiche di ventilazione di ciascun ambiente considerato.

2. Assegnare a ciascun ambiente principale il punteggio relativo allo scenario che ne rappresenta meglio il sistema di ventilazione

3. Individuare lo scenario che meglio descrive le caratteristiche dell'edificio e attribuire il punteggio

Calcolare la moda dei punteggi ottenuti dagli ambienti principali dell'edificio.

Qualora non sia possibile individuare un unico valore di moda, scegliere il valore inferiore tra quelli individuati.

NOTA Si considerano ambienti principali tutti i locali ad esclusione di servizi igienici, sgabuzzini e disimpegni.

B. Strategie utilizzate PRESENZA DI VENTILAZIONE MECCANICA che garantisca almeno una portata di categoria III negli edifici privati o di categoria II per gli edifici pubblici

Nel caso di ventilazione meccanica è necessario rispettare le prescrizioni della UNI 10339.

1. Calcolare la portata di aria di rinnovo minima (per ciascun locale con diversa destinazione d'uso) per definire la categoria della UNI EN 16798-1 secondo la seguente formula:

$$q_{tot} = n * q_p + A_R * q_B$$

dove:

n è il numero degli occupanti calcolato secondo la UNI 10339 (fatto salvo ulteriori obblighi)

qp è la portata d'aria richiesta per diluire l'inquinamento dagli occupanti (l/s*persona)

A_R è la superficie utile (m²)

q_B è la portata d'aria richiesta per diluire le emissioni da elementi edilizi e impiantistici (l/s* m²)

I valori di qp devono essere ricavati dalle tabelle 11 e 9 e qB dalle tabelle 10 e 12 dell'Annex A della EN 16798-1.

La portata calcolata è quella minima per l'attribuzione della categoria e deve essere calcolata per ciascuna tipologia di locale.

Nelle more della pubblicazione dell'Annex A, è necessario utilizzare i valori riportati nelle tabelle che sono riportate alla fine del metodo di verifica.

Esempio

ufficio di 10 mq con una sola persona – very low polluting building

Categoria	Very low polluting building l/(s*mq)	Airflow per non-adapted person l/ (s*person)
I	0.25	8.5
II	0.20	7.5
III	0.15	5.5

Table 7 Portata d'aria minima per categoria

Portata minima per Categoria I- Very low polluting building $q_{tot} = n * q_p + AR * q_B = 1 * 8.5 + 10 * 0.25 = 8.5 + 2.5 = 11$ l/s Portata minima per Categoria II- Very low polluting building $q_{tot} = n * q_p + AR * q_B = 1 * 7.5 + 10 * 0.20 = 7.5 + 2 = 9.5$ l/s Portata minima per Categoria III- Very low polluting building $q_{tot} = n * q_p + AR * q_B = 1 * 5.5 + 10 * 0.15 = 5.5 + 1.5 = 7$ l/s

2. Confrontare la portata d'aria di rinnovo di progetto (per ciascun locale con diversa destinazione d'uso) con quella calcolata al punto precedente

Per assegnare una determinata categoria alla portata dell'aria del locale la portata dell'aria di progetto dovrà essere superiore a quella minima calcolata per ciascuna categoria al punto precedente.

Portata minima per categoria II > portata dell'aria di progetto \geq portata minima per categoria III	categoria III
Portata minima per categoria I > portata dell'aria di progetto \geq portata minima per categoria II	categoria II
Portata dell'aria di progetto \geq portata minima per categoria I	categoria I

Table 8 portata d'aria di rinnovo di progetto

3. Assegnare il punteggio relativo allo scenario che rappresenta meglio il sistema di ventilazione dell'edificio.

EDIFICI PRIVATI

Nel caso in cui i locali con diversa destinazione d'uso non siano tutti della stessa categoria, dovrà essere calcolato il punteggio di ciascun locale e il punteggio dell'edificio corrisponderà al punteggio medio parametrato rispetto alla superficie climatizzata di ciascun locale(media ponderata) con la seguente equazione

$$P_{\text{medio}} = \frac{\sum_j (P_j * S_j)}{\sum_j S_j}$$

Il punteggio medio dovrà essere approssimato al numero intero più vicino (se la cifra dopo la virgola è minore di 5 allora si approssima per difetto; se invece è uguale o maggiore di 5 si approssima per eccesso).

EDIFICI PUBBLICI

Per l'assegnazione del punteggio è necessario verificare le portate nei vari locali, calcolare la percentuale di locali corrispondenti alla categoria I e alla categoria II e calcolare il punteggio a scenario.

Tabelle di riferimento nelle more di pubblicazione dell'Annex A della EN 16798-1

Building	Type of space	q_p [l/(s pers.)]		
		I	II	III
Homes, apartments ¹	Whole residential unit	10,0	7,0	4,0
Special residences	Dormitories, bedrooms ^{2,3}	10,0	6,0	4,0
	Meeting rooms	8,5	7,0	5,0
Hotels	Hotel rooms	8,0	6,0	4
	Reception, Lobbies	8,5	7,0	5,0
	Conference Rooms	8,5	7,0	5,0
	Dining Rooms	8,5	7,0	5,0

^{1,2} Values also based on CO₂ requirements
³ Without bunkbeds: in such case the ventilation flow rate should be double

Table 9 Design ventilation rates for diluting emissions from people (bio effluents)

Building	Type of space	Very Low Polluting B. q_B [l/s m ²]			Low Polluting B. q_B [l/s m ²]			No-low Polluting B. q_B [l/s m ²]		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Homes, apartments	Whole residential unit without wet rooms	0,0	0,0	0,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Special residences ²	Dormitories, bedrooms	0,38	0,30	0,23	0,75	0,60	0,45	1,50	1,20	0,90
	Meeting rooms	0,30	0,25	0,15	0,50	0,40	0,30	1,00	0,80	0,60
Hotels	Hotel rooms	0,35	0,30	0,20	0,70	0,60	0,40	1,40	1,20	0,80
	Reception, Lobbies	0,50	0,40	0,30	1,00	0,80	0,60	2,00	1,60	1,20
	Conference Rooms	0,19	0,15	0,12	0,38	0,30	0,23	0,76	0,60	0,46
	Dining Rooms	0,63	0,50	0,38	1,25	1,00	0,75	2,50	2,00	1,50

Table 10 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings

Building	Type of space	Airflow per non-adapted person l/s pers.)		
		Category I	Category II	Category III
Offices	Small offices	8,5	7,5	5,5
	Open-space offices, Conference rooms	8,5	7	5
	Call center	8,5	7	5
Hospitals ³	Bedrooms, wards, diagnostic and examination rooms	11,5	10	8,7
	Treatment room	11,5	10	8,7
	Sitting rooms	11,5	10	8,7
Places of assembly	Auditoriums, cinemas, theaters, museums, exhibition's halls, churches	8,75	7	5,25
	Libraries, reading rooms	8,75	7	5,25
	games rooms, betting rooms	8,75	7	5,25
	dance halls, discos	18,75	15	11,25
Commercial	grocery stores, dry cleaning, pharmacies	8,75	7	5,25
	barbers and beauty salons	8,75	7	5,25
	All other retail stores, department stores, supermarkets	8,75	7	5,25
Restaurants	Cafeterias, Bars, Dining rooms	8,75	7	5,25
Educational	kindergartens and nursery schools	7,5	6	4,5
	Primary and high schools, university class rooms, labs and teachers' rooms	7,5	6	4,5
	libraries, reading rooms	6,9	5,5	4,1
	languages and music classrooms	6,9	5,5	4,1
Sport	Covered sport facilities: play fields	6,25	5	3,75
	Covered sport facilities: spectators areas	8,75	7	5,25
	Swimming Pools (water pool area)	8,75	7	5,25
	locker rooms	8,75	7	5,25
General	Service rooms, Corridors	10	7	4

Table 11 Design ventilation rates for non-adapted persons for diluting emissions (bio effluents) from people for different categories

Building	Type of space	Airflow per floor area l/(s m ²)		
		Category I	Category II	Category III
Offices	Small offices	0,25	0,20	0,15
	Open-space offices, Conference rooms	0,35	0,30	0,20
	Call center	0,40	0,35	0,25
Hospitals ³	Bedrooms, wards, diagnostic and examination rooms	0,25	0,20	0,15
	Treatment room	0,50	0,40	0,30
	Sitting rooms	0,38	0,30	0,23
Places of assembly	Auditoriums, cinemas, theaters, museums, exhibition's halls, churches	0,25	0,20	0,15
	Libraries, reading rooms	0,32	0,25	0,15
	games rooms, betting rooms	0,38	0,30	0,23
	dance halls, discos	0,69	0,55	0,42
Commercial	grocery stores, dry cleaning, pharmacies	0,50	0,40	0,30
	barbers and beauty salons	0,30	0,25	0,20
	All other retail stores, department stores, supermarkets	0,25	0,20	0,15
Restaurants	Cafeterias, Bars, Dining rooms	0,63	0,50	0,38
Educational	kindergartens and nursery schools	0,63	0,50	0,38
	Primary and high schools, university class rooms, labs and teachers' rooms	0,32	0,25	0,19
	libraries, reading rooms	0,32	0,25	0,19
	languages and music classrooms	0,19	0,15	0,12
Sport	Covered sport facilities: play fields	0,38	0,30	0,23
	Covered sport facilities: spectators areas	0,25	0,20	0,15
	Swimming Pools (water pool area)	0,38	0,30	0,23
	locker rooms	0,19	0,15	0,12
General	Service rooms, Corridors	0,50	0,35	0,2

Table 12 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings: very low-polluting building

Building	Type of space	Airflow per floor area l/(s m ²)		
		Category I	Category II	Category III
Offices	Small offices	0,50	0,40	0,30
	Open-space offices, Conference rooms	0,70	0,60	0,40
	Call center	0,80	0,70	0,50
Hospitals ³	Bedrooms, wards, diagnostic and examination rooms	0,50	0,40	0,30
	Treatment room	1,00	0,80	0,60
	Sitting rooms	0,75	0,60	0,45
Places of assembly	Auditoriums, cinemas, theaters, museums, exhibition's halls, churches	0,50	0,40	0,30
	Libraries, reading rooms	0,63	0,50	0,30
	games rooms, betting rooms	0,75	0,60	0,45
	dance halls, discos	1,38	1,10	0,83
Commercial	grocery stores, dry cleaning, pharmacies	1,00	0,80	0,60
	barbers and beauty salons	0,60	0,50	0,40
	All other retail stores, department stores, supermarkets	0,50	0,40	0,30
Restaurants	Cafeterias, Bars, Dining rooms	1,25	1,00	0,75
Educational	kindergartens and nursery schools	1,25	1,00	0,75
	Primary and high schools, university class rooms, labs and teachers' rooms	0,63	0,50	0,38
	libraries, reading rooms	0,63	0,50	0,38
	languages and music classrooms	0,38	0,30	0,23
Sport	Covered sport facilities: play fields	0,75	0,60	0,45
	Covered sport facilities: spectators areas	0,50	0,40	0,30
	Swimming Pools (water pool area)	0,75	0,60	0,45
	locker rooms	0,38	0,30	0,23
General	Service rooms, Corridors	1,00	0,70	0,40

Table 13 Design ventilation rates for diluting emissions from buildings: low-polluting building

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR	NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	D2.1
Qualità dell'aria e della ventilazione		
Comfort termico estivo in ambienti climatizzati		

Il criterio è applicabile solo in presenza di impianto di condizionamento dell'aria.¹ In assenza di questa tipologia di impianto il criterio è da escludere dalla valutazione complessiva.

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
D. Qualità ambientale indoor	D2 Qualità dell'aria e della ventilazione	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Garantire un livello soddisfacente di comfort termico estivo in ambienti con impianto di condizionamento	<u>nella categoria</u>	<u>nel sistema completo</u>
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
PPD (Percentuale prevista di insoddisfatti nella stagione estiva - UNI EN ISO 7730)	%	
SCALA DI PRESTAZIONE		PUNTI
NEGATIVO	< 0	-1
SUFFICIENTE	0,0	0
BUONO	3,0	3
OTTIMO	5,0	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

Prerequisiti e condizioni di applicabilità del criterio

Si riportano in seguito le destinazioni d'uso da considerare come “ambiente principale” in relazione alla categoria di edificio:

Edifici per uffici: applicare il criterio considerando per “ambienti principali” uffici singoli, uffici open space, locali riunione e altri ambienti destinati alla permanenza di persone. Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d'uso specifica (p.e. mensa, bagni/servizi, depositi).

¹ Impianto aeraulico in grado di mantenere in ambiente condizioni termiche, igrometriche, di qualità e movimentazione dell'aria comprese entro i limiti richiesti per il comfort degli occupanti.

Edifici universitari: applicare il criterio considerando per “ambienti principali” aule e laboratori didattici, biblioteche e sale lettura, uffici a servizio dell’istituto scolastico (p.e. sala docenti, presidenza, uffici amministrativi). Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. aula magna, mensa e refettori, palestre e piscine, bagni/servizi, depositi).

Edifici per attività ricreative (biblioteche): applicare il criterio considerando per “ambienti principali” sale lettura, aule didattiche, uffici a servizio della biblioteca (p.e. uffici amministrativi). Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. sala conferenze, bagni/servizi, archivi, depositi).

1. Calcolare, per ogni ambiente principale dotato di impianto di condizionamento, l’indice di comfort termico PMV (Voto Medio Previsto) secondo il modello di calcolo previsionale indicato dalla norma UNI EN ISO 7730.

Ai fini di contenere il numero complessivo di ambienti da sottoporre a verifica, è possibile individuare tipologie seriali all’interno dell’edificio, ovvero ambienti principali uguali per esposizione all’irraggiamento solare, per dimensioni e per elementi tecnici di involucro e di impianto. Per ogni tipologia di ambiente principale l’indice PMV deve essere calcolato in un punto a 1 m di distanza dal centro della superficie vetrata più ampia presente su ciascuna parete esterna. Nel caso di più punti di verifica, assumere il risultato dell’indice PMV che comporta il maggiore discomfort termico.

La determinazione dell’indice PMV può avvenire impiegando programmi di calcolo coerenti con quanto riportato nell’appendice D della UNI EN ISO 7730 oppure facendo riferimento alle tabelle in appendice E della UNI EN ISO 7730.

Per il calcolo dell’indice PMV assumere i seguenti dati di input:²

per il valore della resistenza termica dell’abbigliamento I_{cl} (clo), assumere $I_{cl} = 0.5$ clo;

per il valore di energia metabolica M (met), assumere $M = 1.2$ met;

per la temperatura dell’aria interna T_a (°C), assumere la temperatura estiva di progetto;

per l’umidità relativa U_{re} (%), assumere il valore di progetto;

per la velocità relativa dell’aria v_a (m/s), in base alle caratteristiche dei terminali di immissione dell’aria, assumere il valore di progetto;

per la temperatura media radiante T_{mr} (°C), calcolarne il valore secondo la procedura di seguito descritta.

In assenza di software specifici, è possibile determinare la temperatura media radiante T_{mr} secondo il metodo di calcolo basato sulle temperature delle superfici interne e descritto dalla norma UNI EN ISO 7726:

- determinare la temperatura superficiale interna T_n di pareti, soffitto, pavimento e superfici vetrate dell’ambiente i-esimo assumendo i dati climatici di progetto del periodo estivo definiti per località dalla norma UNI/TR 10349-2. Per partizioni verticali e orizzontali interne si assume che la temperatura superficiale sia pari a quella dell’aria; nel caso di pareti, soffitti o pavimenti radianti utilizzare la temperatura superficiale dell’elemento radiante.
- calcolare il valore della temperatura media radiante $T_{mr,i}$ dell’ambiente i-esimo applicando la seguente formula:³

² Fare riferimento alla UNI EN ISO 7730 per i limiti di applicabilità del metodo di calcolo dell’indice PMV.

³ La forma lineare dell’equazione è una semplificazione valida per differenze di temperatura tra superfici dell’ambiente inferiori a 10 °C. Fare riferimento alla UNI EN ISO 7726 per metodi di calcolo della T_{mr} idonei ad altre condizioni.

$$T_{mr,i} = T_1 \cdot F_{p-1} + T_2 \cdot F_{p-2} + \dots + T_n \cdot F_{p-n} = [{}^{\circ}\text{C}]$$

dove:

T_n = temperatura superficiale interna della superficie n-esima $[{}^{\circ}\text{C}]$;

F_{p-n} = fattore di vista tra soggetto e superficie n-esima [-].

Secondo la UNI EN ISO 7726, il fattore di vista tra soggetto e superficie n-esima F_{p-n} viene dato nella forma seguente:

$$F_{p-n} = F_{\max} \cdot \left(1 - e^{-(a/c)/\tau}\right) \cdot \left(1 - e^{-(b/c)/\gamma}\right)$$

dove:

$$\tau = A + B (a/c)$$

$$\gamma = C + D (b/c) + E (a/c)$$

con i valori dei parametri F_{\max} , A, B, C, D ed E definiti dalla tabella 14 e le dimensioni a, b, c dalle figure 16, 17, 18, 19 in funzione della posizione del soggetto rispetto a superfici verticali o orizzontali.

	F_{max}	A	B	C	D	E
Persona seduta (fig. D3.1.a) Superfici verticali: pareti, finestre	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Persona seduta (fig. D3.1.b) Superfici orizzontali: pavimento, soffitto	0.116	1.396	0.130	0.951	0.080	0.055
Persona in piedi (fig. D3.1.c) Superfici verticali: pareti, finestre	0.120	1.242	0.167	0.616	0.082	0.051
Persona in piedi (fig. D3.1.d) Superfici orizzontali: pavimento, soffitto	0.116	1.595	0.128	1.226	0.046	0.044

Table 14 Valori dei parametri per il calcolo dei fattori di vista F_{p-n}

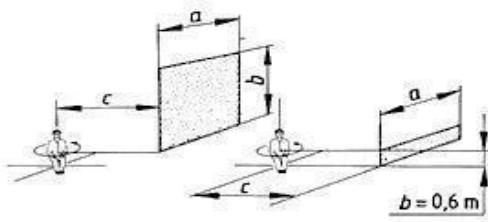


Figure 16 Persona seduta e superfici verticali

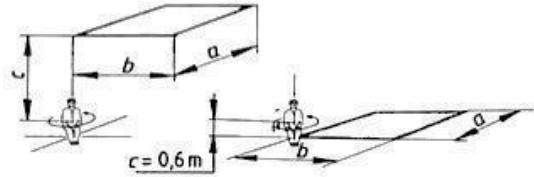


Figure 17 Persona seduta e superfici orizzontali.

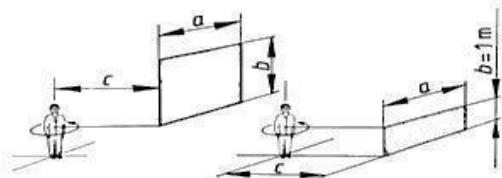


Figure 18 Persona in piedi e superfici verticali.

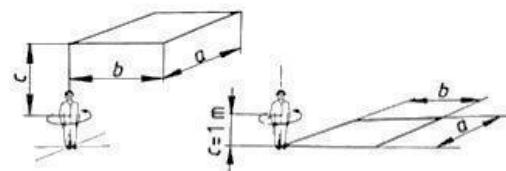


Figure 19 Persona in piedi e superfici orizzontali.

2. Confrontare il risultato di calcolo dell'indice PMV, espresso in valore assoluto, dell'ambiente i-esimo con le categorie di comfort termico definite dalla norma UNI EN 15251 e assegnare l'indice di categoria Z secondo la seguente tabella:

Categoria di comfort	Indice PMV in valore assoluto [-]	Indice di categoria Zi
Categoria I	$ PMV_i \leq 0.2$	5
Categoria II	$ PMV_i \leq 0.5$	3
Categoria III	$ PMV_i \leq 0.7$	0
Non classificato	$ PMV_i > 0.7$	-1

Table 15 Relazione tra categoria di comfort termico e indice Z dell'ambiente i-esimo.

3. Calcolare il valore Z_m riferito all'edificio come media pesata degli indici di categoria Z_i assegnati agli ambienti principali sulle relative superfici utili:

dove:

$$Z_m = \frac{\sum Z_i \cdot S_{u,i}}{\sum S_{u,i}} = [-]$$

Z_i = indice di categoria dell'ambiente i-esimo, [-];

$S_{u,i}$ = superficie utile dell'ambiente i-esimo, [m^2].

4. Confrontare il valore medio dell'indice di categoria Z_m con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

Normativa di riferimento

UNI EN ISO 7730:2006

Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

UNI EN ISO 7726:2002

Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche.

UNI EN 15251:2008

Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.

UNI/TR 10349-2:2016

Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto.

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR	NUOVA COSTRUZIONE	D2.5
	RISTRUTTURAZIONE	
Qualità dell'aria e della ventilazione		
Temperatura operativa nel periodo estivo		

Il criterio è applicabile in presenza di ventilazione naturale o ventilazione meccanica, a condizione che il raffrescamento estivo non sia dovuto a un impianto di condizionamento dell'aria. In presenza di questa tipologia di impianto il criterio è da escludere dalla valutazione complessiva.

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA			
D. Qualità ambientale indoor	D2 Qualità dell'aria e della ventilazione			
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	nella categoria	nel	sistema
Mantenere un livello soddisfacente di comfort termico durante il periodo estivo			completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA			
Percentuale del tempo al di fuori dell'intervallo di temperature massime e minime stabilite per le stagioni di riscaldamento e di raffrescamento. L'intervallo di temperatura di riferimento è compreso tra 18°C e 27°C.	%			
SCALA DI PRESTAZIONE				
				PUNTI
NEGATIVO	< 0			-1
SUFFICIENTE	0,0			0
BUONO	3,0			3
OTTIMO	5,0			5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

Prerequisiti e condizioni di applicabilità del criterio

Si riportano di seguito le destinazioni d'uso da considerare come “ambiente principale” in relazione alla categoria di edificio:

Edifici per uffici: applicare il criterio considerando per “ambienti principali”: uffici singoli, uffici open space, locali riunione e altri ambienti destinati alla permanenza di persone. Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d'uso specifica (p.e. mensa, bagni/servizi, depositi).

Edifici scolastici: applicare il criterio considerando per “ambienti principali”: aule scolastiche e laboratori didattici, biblioteche e sale lettura, uffici a servizio dell’istituto scolastico (p.e. sala docenti, presidenza, uffici amministrativi). Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. aula magna, mensa e refettori, palestre e piscine, bagni/servizi, depositi).

Edifici per attività ricreative (biblioteche): applicare il criterio considerando per “ambienti principali”: sale lettura, aule didattiche, uffici a servizio della biblioteca (p.e. uffici amministrativi). Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. sala conferenze, bagni/servizi, archivi, depositi).

Edifici ricettivi: applicare il criterio considerando per “ambienti principali” ambienti abitativi e ambienti ad uso ufficio in edifici adibiti ad albergo, pensione e attività similari. Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. cucine, bagni/servizi, depositi).

Edifici industriali: applicare il criterio limitatamente ad ambienti a uso ufficio o assimilabili presenti in costruzioni adibite ad attività industriali. Sono esclusi dalla verifica ambienti destinati alla produzione e alla logistica (p.e. magazzini, archivi, depositi) e zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi). Per l’applicazione del criterio fare riferimento alla categoria “Edifici per uffici” (v. sopra).

1.Calcolare, per ciascun ambiente principale, l’andamento giornaliero di temperatura dell’aria interna (T_a) e di temperatura media radiante (T_{mr}) secondo il metodo previsionale descritto nella norma UNI 10375⁴ facendo riferimento ai valori orari di irradianza solare totale massima estiva e di temperatura massima estiva dell’aria esterna, ovvero ai dati climatici di progetto del periodo estivo definiti per località dalla norma UNI/TR 10349-2.

Ai fini di contenere il numero complessivo di ambienti da sottoporre a verifica, è possibile individuare tipologie seriali all’interno dell’edificio, ovvero ambienti principali uguali per esposizione all’irraggiamento solare, per dimensioni e per elementi tecnici di involucro e di ventilazione.

2.Calcolare l’andamento giornaliero di temperatura operativa (T_{op}) per ogni ambiente principale e calcolarne il valore medio con le seguenti formule.

Per la temperatura operativa interna dell’ambiente i-esimo all’ora t-esima, $T_{op,i,t}$

$$T_{op,i,t} = \frac{T_{a,i,t} + T_{mr,i,t}}{2} = [{}^{\circ}\text{C}]$$

dove:

$T_{a,i,t}$ = temperatura dell’aria interna dell’ambiente i-esimo all’ora t-esima [${}^{\circ}\text{C}$];

$T_{mr,i,t}$ = temperatura media radiante dell’ambiente i-esimo all’ora t-esima [${}^{\circ}\text{C}$].

⁴ In alternativa, il calcolo delle temperature interne può essere svolto secondo la norma UNI EN ISO 52016-1:2018 “Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo”.

Per la temperatura operativa media dell'ambiente i-esimo, $T_{op,m,i}$

$$T_{op,m,i} = \frac{\sum T_{op,i,t}}{24} = [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

$T_{op,i,t}$ = temperatura operativa dell'ambiente i-esimo all'ora t-esima [$^{\circ}\text{C}$].

Calcolare in valore assoluto lo scarto di temperatura $|\Delta T_i|$ tra la temperatura operativa media dell'ambiente i-esimo ($T_{op,m,i}$) e la temperatura di comfort secondo la seguente formula tratta dalla norma UNI EN 15251:⁵

$$|\Delta T_i| = \left| T_{op,m,i} - \left[(0.33 \cdot T_{est,m}) + 18.8 \right] \right| = [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

$T_{op,m,i}$ = temperatura operativa media dell'ambiente i-esimo [$^{\circ}\text{C}$];

$T_{est,m}$ = temperatura media dell'aria esterna [$^{\circ}\text{C}$];

con:

$$T_{est,m} = \frac{\sum T_{est,t}}{24} = [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

$T_{est,t}$ = temperatura esterna all'ora t-esima calcolata per la località di riferimento secondo la norma

UNI/TR 10349-2 (punto 6 “Temperatura estiva massima: distribuzione giornaliera”, prospetto 4).

Confrontare lo scarto di temperatura $|\Delta T_i|$ dell'ambiente i-esimo con le categorie di comfort termico definite dalla norma UNI EN 15251 e assegnare l'indice di categoria Z secondo la seguente tabella:

Categoria di comfort	scarto di temperatura $ \Delta T_i $ [$^{\circ}\text{C}$]	Indice di categoria Z_i
Categoria I	$ T_{op,m} - (0.33 \cdot T_{est,m} + 18.8) \leq 2^{\circ}\text{C}$	5
Categoria II	$ T_{op,m} - (0.33 \cdot T_{est,m} + 18.8) \leq 3^{\circ}\text{C}$	3
Categoria III	$ T_{op,m} - (0.33 \cdot T_{est,m} + 18.8) \leq 4^{\circ}\text{C}$	0
Non classificato	$ T_{op,m} - (0.33 \cdot T_{est,m} + 18.8) > 4^{\circ}\text{C}$	-1

Table 16 Relazione tra categoria di comfort termico e indice Z dell'ambiente i-esimo.

⁵ Equazione valida per ambienti senza impianto di condizionamento (raffrescamento estivo) e in presenza di occupanti con attività sedentaria (1.0 - 1.3 met); la ventilazione meccanica è considerata ma l'apertura/chiusura di finestre deve essere di importanza primaria come sistema di termoregolazione dell'ambiente.

3.Calcolare il valore Z_m riferito all'edificio come media pesata degli indici di categoria Z_i assegnati agli ambienti principali sulle relative superfici utili:

$$Z_m = \frac{\sum Z_i \cdot S_{u,i}}{\sum S_{u,i}} = [-]$$

dove:

Z_i = indice di categoria dell'ambiente i-esimo, [-];

$S_{u,i}$ = superficie utile dell'ambiente i-esimo, [m^2].

4.Confrontare il valore medio dell'indice di categoria Z_m con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

Normativa di riferimento

UNI 10375:2011

Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti.

UNI/TR 10349-2:2016

Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto.

UNI EN ISO 52016-1:2018

Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo.

UNI EN 15251:2008

Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR	NUOVA COSTRUZIONE	D4.6
	-	
Comfort acustico		
Qualità acustica interna		

Il criterio è applicabile unicamente a interventi di nuova costruzione. Per l'analisi di progetti di ristrutturazione il criterio è da disattivare ovvero da escludere dalla valutazione complessiva.

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA
D. Qualità ambientale indoor	D4 Comfort acustico
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO
Garantire una protezione adeguata dai rumori esterni e interni all'edificio.	nella categoria nel sistema completo
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA
Percentuale di elementi tecnici che raggiungono la prestazione superiore di isolamento acustico.	%
SCALA DI PRESTAZIONE	
	%
NEGATIVO	-
SUFFICIENTE	0
BUONO	30
OTTIMO	50
	PUNTI
NEGATIVO	-1
SUFFICIENTE	0
BUONO	3
OTTIMO	5

Prerequisiti e condizioni di applicabilità del criterio

In riferimento alla Legge 26 ottobre 1995, n. 447 “Legge quadro sull'inquinamento acustico” e alla Legge regionale 20 ottobre 2000, n. 52 “Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento acustico” (B.U. 25 ottobre 2000, n. 43, Regione Piemonte), il progetto acustico di un edificio pubblico o privato deve essere finalizzato al rispetto in opera di tutti i requisiti acustici passivi definiti dal DPCM del 5 dicembre 1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”.

Secondo il DPCM 5/12/1997, per l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata il requisito da ottemperare è $D_{2m,nT,w} \geq 48$ dB per gli edifici scolastici, $D_{2m,nT,w} \geq 42$ dB per edifici per uffici e per attività ricreative, $D_{2m,nT,w} \geq 40$ dB per edifici ricettivi. Tali valori limite vengono considerati come prerequisiti nell'applicazione del presente protocollo, pertanto se non raggiunti in fase di progetto dai singoli elementi tecnici di facciata dell'edificio si assegna il punteggio negativo -1 al criterio D.4.6.

Il criterio si applica limitatamente alle nuove costruzioni; si riportano in seguito le destinazioni d'uso da considerare come “ambiente principale” in relazione alla categoria di edificio:

Edifici per uffici: per “ambienti principali” si intendono uffici singoli, uffici open space, locali riunione e altri ambienti destinati alla permanenza di persone. Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. mensa, bagni/servizi, depositi).

Edifici universitari: per “ambienti principali” si intendono aule e laboratori didattici, biblioteche e sale lettura, uffici a servizio dell’istituto (p.e. sala docenti, presidenza, uffici amministrativi). Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. aula magna, mensa e refettori, palestre e piscine, bagni/servizi, depositi).

Edifici per attività ricreative (biblioteche): applicare il criterio considerando per “ambienti principali” sale lettura, aule didattiche, uffici a servizio della biblioteca (p.e. uffici amministrativi). Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. sala conferenze, bagni/servizi, archivi, depositi).

Edifici ricettivi: applicare il criterio considerando per “ambienti principali” ambienti abitativi e ambienti ad uso ufficio in edifici adibiti ad albergo, pensione e attività similari. Sono esclusi dalla verifica ambienti non destinati alla permanenza di persone quali zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi) o con destinazione d’uso specifica (p.e. cucine, bagni/servizi, depositi).

Edifici industriali: applicare il criterio limitatamente ad ambienti a uso ufficio o assimilabili presenti in costruzioni adibite ad attività industriali. Sono esclusi dalla verifica ambienti destinati alla produzione e alla logistica (p.e. magazzini, archivi, depositi) e zone di circolazione (p.e. corridoi, scale, ingressi). Per l’applicazione del criterio fare riferimento alla categoria “Edifici per uffici” (v. sopra).

1. Per ogni ambiente principale calcolare i seguenti descrittori acustici applicando i modelli di calcolo previsionale definiti dalla serie di norme UNI EN 12354 e UNI/TR 11175, in particolare:

- indice di valutazione dell’isolamento acustico di facciata normalizzato $D_{2m,nT,w}$ di elementi di chiusura verticale degli ambienti principali (UNI EN 12354-3);
- indice di valutazione dell’isolamento acustico normalizzato $D_{nT,w}$ di partizioni verticali/orizzontali tra ambienti principali o verso ambienti accessori (UNI EN 12354-1);
- indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato $L'_{n,w}$ di partizioni orizzontali tra ambienti principali sovrapposti (UNI EN 12354-2).

In presenza di ambienti principali confinanti con ambienti appartenenti a differenti unità immobiliari e con differenti destinazioni d’uso, calcolare in aggiunta i seguenti descrittori acustici:

- indice di valutazione del potere fonoisolante apparente R'_{w} di partizioni verticali/orizzontali tra ambienti principali di differenti unità immobiliari (UNI EN 12354-1);
- indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato $L'_{n,w}$ di partizioni orizzontali tra ambienti principali di differenti unità immobiliari (UNI EN 12354-2).

Per la valutazione previsionale delle prestazioni acustiche dell’edificio, si riportano in modo sintetico le formule per il calcolo dei descrittori acustici sopra citati; si rimanda alla lettura delle norme UNI EN 12354 e UNI/TR 11175 per la definizione completa dei metodi previsionali di calcolo e della incertezza di calcolo sui risultati ottenuti.

Per il livello di pressione sonora immesso da impianti tecnologici a funzionamento continuo e discontinuo, il calcolo dei rispettivi descrittori L_{Aeq} e L_{ASmax} deve essere condotto in conformità alla norma UNI EN 12354-5:2023. La verifica in opera rimane in ogni caso obbligatoria per il rispetto dei limiti stabiliti dal DPCM 5/12/1997.

Per tutti gli ambienti principali sensibili (aula, laboratori didattici, biblioteche, sale riunioni e uffici open space) calcolare il Tempo di Riverberazione (T_{60}) in banda di ottava in conformità alla norma UNI EN ISO 3382-2:2008. I risultati devono essere confrontati con i requisiti di ottimizzazione acustica per la specifica destinazione d'uso definiti dalla UNI 11532-2:2020 e/o dalla UNI ISO 22955:2023.

Per la valutazione previsionale delle prestazioni acustiche dell'edificio, si riportano in modo sintetico le formule per il calcolo dei descrittori acustici sopra citati; si rimanda alla lettura delle norme UNI EN 12354 e UNI/TR 11175 per la definizione completa dei metodi previsionali di calcolo e della incertezza di calcolo sui risultati ottenuti.

Al fine di contenere il numero complessivo di ambienti da sottoporre a verifica, è possibile individuare tipologie seriali di elementi tecnici che costituiscono l'edificio (facciate, partizioni interne verticali e orizzontali), ovvero un insieme di elementi tecnici considerabile omogeneo qualora gli elementi presentino uguali dimensioni, stratigrafia, materiali e massa superficiale nonché le condizioni di vincolo e le dimensioni degli ambienti che delimitano; si rimanda alla lettura della norma UNI 11367:2023 per la definizione completa dei criteri di campionamento di elementi tecnici nominalmente identici.

- INDICE DI VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO NORMALIZZATO DI FACCIATA

Per ciascun elemento di chiusura verticale di un ambiente principale, calcolare l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ applicando la formula seguente (UNI EN 12354-3, UNI/TR 11175):

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6 \cdot T_0 \cdot S} = [dB]$$

dove:

- R'_w = indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della facciata, [dB];
- ΔL_{fs} = differenza di livello per forma della facciata, [dB];
- V = volume dell'ambiente ricevente, [m^3];
- T_0 = tempo di riverberazione di riferimento pari a 0.5, [s];
- S = area totale della superficie interna della facciata, [m^2].

- INDICE DI VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI PARTIZIONI VERTICALI/ORIZZONTALI

Per ciascuna partizione interna verticale e/o orizzontale tra ambienti principali adiacenti e/o sovrapposti, calcolare l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato $D_{nT,w}$ applicando la formula seguente (UNI EN 12354-1, UNI/TR 11175):

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \log \frac{0.32 \cdot V}{S} = [dB]$$

dove:

- R'_w = indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della partizione, [dB];
 V = volume dell'ambiente ricevente, [m^3];
 S = area della partizione interna, [m^2].

Per il confronto con i livelli di prestazione di isolamento acustico (v. punto 2), l'indice $D_{nT,w}$ viene distinto secondo i seguenti descrittori in relazione al tipo di partizione interna:

$D_{nT,w,vert}$: indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di una partizione verticale tra due ambienti principali adiacenti;

$D_{nT,w,oriz}$: indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di una partizione orizzontale tra due ambienti principali sovrapposti;

$D_{nT,w,acc}$: indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di una partizione verticale tra un ambiente principale e un ambiente accessorio o di servizio (corridoio, atrio, vano scala, ecc.) ad esso collegato mediante aperture o accessi.

- INDICE DI VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI PRESSIONE SONORA DI CALPESTIO DI PARTIZIONI ORIZZONTALI

Per ciascuna partizione orizzontale tra ambienti principali sovrapposti, calcolare l'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato $L'_{n,w}$ applicando la formula seguente (UNI EN 12354-2, UNI/TR 11175):

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K = [dB]$$

dove:

$L_{n,w,eq}$ = indice di valutazione del livello equivalente di pressione sonora di calpestio normalizzato relativo al solaio nudo privo di rivestimento [dB];

ΔL_w = indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio dovuto al rivestimento o al massetto galleggiante [dB];

K = correzione dovuta a trasmissione laterale nelle strutture omogenee [dB].

- INDICE DI VALUTAZIONE DEL POTERE FONISOLANTE APPARENTE DI PARTIZIONI VERTICALI/ORIZZONTALI TRA AMBIENTI DI DIFFERENTI UNITÀ IMMOBILIARI

Per ciascuna partizione interna verticale e/o orizzontale tra ambienti principali adiacenti e/o sovrapposti appartenenti a differenti unità immobiliari, calcolare l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente R'_w applicando la formula seguente (UNI EN 12354-1, UNI/TR 11175):

$$R'_w = -10 \lg \left(10^{-\frac{R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-\frac{R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{-\frac{R_{Fd,w}}{10}} \right)$$

dove:

n = numero degli elementi laterali rispetto alla partizione di separazione, [-];

D = percorso sonoro attraverso la partizione di separazione dal lato sorgente, [-];

d = percorso sonoro attraverso la partizione di separazione dal lato ricevente, [-];

F = percorso sonoro attraverso la partizione laterale dell'ambiente sorgente, [-];

f = percorso sonoro attraverso la partizione laterale dell'ambiente ricevente, [-];

$R_{ij,w}$ = indice di valutazione del potere fonoisolante di ogni singolo percorso di trasmissione sonora, [dB].

- INDICE DI VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI PRESSIONE SONORA DI CALPESTIO NORMALIZZATO DI PARTIZIONI ORIZZONTALI TRA AMBIENTI DI DIFFERENTI UNITÀ IMMOBILIARI

Per ciascuna partizione orizzontale tra ambienti principali sovrapposti di differenti unità immobiliari, calcolare l'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato $L'_{n,w,du}$ applicando la formula seguente (UNI EN 12354-2, UNI/TR 11175):

$$L'_{n,w,du} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + k = [dB]$$

dove:

$L_{n,w,eq}$ = indice di valutazione del livello equivalente di pressione sonora di calpestio normalizzato relativo al solaio nudo privo di rivestimento [dB];

ΔL_w = indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio dovuto al rivestimento o al massetto galleggiante [dB];

K = correzione dovuta a trasmissione laterale nelle strutture omogenee [dB].

1. Determinare per ciascuna partizione interna verticale/orizzontale, oggetto di calcolo di uno o più descrittori acustici (v. punto 1), il livello di prestazione di isolamento acustico (di base, superiore) secondo i valori di riferimento riportati nella Tabella 17.

Descrittore acustico	Edifici per uffici, edifici ricettivi, biblioteche		Edifici scolastici	
	Prestazi one di base [dB]	Prestazi one superior e [dB]	Prestazi one di base [dB]	Prestazio ne superiore [dB]
Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni verticali tra ambienti adiacenti, $D_{nT,w,vert}$	≥ 50	≥ 56	≥ 45	≥ 50
Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni orizzontali tra ambienti sovrapposti, $D_{nT,w,oriz}$	≥ 50	≥ 56	≥ 50	≥ 55
Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni verticali tra ambienti principali e ambienti accessori, $D_{nT,w,acc}$	≥ 32	≥ 40	≥ 27	≥ 34

Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato di partizioni orizzontali tra ambienti sovrapposti, $L'_{n,w}$	≤ 63	≤ 53	≤ 63	≤ 53
Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni verticali/orizzontali tra ambienti di differenti unità immobiliari, R'_w	≥ 50	≥ 56	≥ 50	≥ 56
Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio di partizioni orizzontali tra ambienti di differenti unità immobiliari, $L'_{n,w,du}$	≤ 55	≤ 53	≤ 58	≤ 53

Table 17 Livelli di prestazione di isolamento acustico per descrittori acustici e destinazioni d'uso differenti

2.Determinare il numero complessivo $n_{r,D}$ di descrittori acustici oggetto di verifica in corrispondenza delle partizioni interne verticali/orizzontali dell'intero edificio.

3.Determinare il numero $n_{r,D,sup}$ di descrittori acustici per cui si è raggiunta la prestazione superiore di isolamento acustico secondo quanto indicato in Tabella 17

4.Calcolare l'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il numero $n_{r,D,sup}$ di descrittori acustici per cui si è raggiunta la prestazione superiore di isolamento acustico (B) e il numero complessivo $n_{r,D}$ di descrittori acustici oggetto di calcolo previsionale (A):

$$\text{indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{n_{r,D,sup}}{n_{r,D}} \cdot 100 = [\%]$$

5.Calcolare l'Indicatore di Comfort Acustico (T_{60}):

$$\text{Indicatore } T_{60} = \frac{n_{T60,\text{con } f}}{n_{T60,\text{tot}}} * 100 = \%$$

dove:

$n_{T60,\text{con } f}$ = numero di ambienti principali sensibili che rispettano i limiti di T_{60} (UNI11532/22955)

$N_{T60,\text{tot}}$ = numero totale di ambienti sensibili verificati.

6.Confrontare il valore calcolato con il benchmark della scala prestazionale e attribuire il punteggio al criterio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

Nel caso in cui un singolo elemento tecnico non dovesse raggiungere la prestazione di base tra i descrittori acustici individuati (v. Tab. D4.6.a) o nel caso in cui meno del 50% degli ambienti sensibili rispetti i requisiti di T_{60} , occorre assegnare un punteggio negativo -1 al criterio D4.6. Si ricorda che la prestazione da garantire per l'indice di valutazione di isolamento acustico normalizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ è indicata nei prerequisiti del criterio D4.6.

Normativa di riferimento

UNI EN 12354-5:2023

Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Livelli di pressione sonora dovuti agli impianti tecnici.

UNI 11367:2023

Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari.

UNI 11532-2:2020

Acustica - Caratteristiche acustiche interne di ambienti - Parte 2: Applicazioni per ambienti confinati con destinazione d'uso specifica.

UNI ISO 22955:2023

Acustica - Requisiti di progetto per la qualità acustica degli spazi di lavoro open space.

UNI EN ISO 3382-2:2008

Acustica - Misurazione dei parametri acustici di ambienti - Parte 2: Tempo di riverberazione in ambienti ordinari.

UNI EN 12354-1:2017

Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.

UNI EN 12354-2:2017

Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.

UNI EN 12354-3:2017

Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea.

UNI/TR 11175:2005

Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale.

DPCM 5 dicembre 1997

Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.

VULNERABILITÀ CLIMATICA	NUOVA COSTRUZIONE	H1.2
	RISTRUTTURAZIONE	
Temperature estreme		
Assorbimento della radiazione solare		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
H. Vulnerabilità climatica	H2 Temperature estreme	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Ridurre gli apporti solari nel periodo estivo	nella categoria nel sistema completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile $A_{sol,est}/A_{utile}$ Fattore solare vetro + schermo ggl+sh o gtot	SRI medio	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	g _{tot}	PUNTI
NEGATIVO	>0,35	-1
SUFFICIENTE	0,35 e rispetto del valore di legge di $A_{sol,est}/A_{utile}$	0
BUONO	0,23	3
OTTIMO	0,15	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

Per gli edifici pubblici, è necessario verificare il rispetto del valore minimo di legge dell'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.

1.Calcolare il valore di g_{tot} per ogni finestra oggetto di intervento con orientamento da EST a OVEST passando per SUD. Il valore di g_{tot} di ogni finestra deve poi essere rapportato ai valori della scala di prestazione

Il calcolo deve essere effettuato secondo quanto indicato nella serie UNI/TS 11300.

2.Confrontare il valore più alto di g_{tot} (tra quelli relativi alle finestre oggetto di intervento) con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione. I valori limite sono stati definiti secondo la classificazione proposta dalla norma UNI EN ISO 52022-1:2018.

VULNERABILITÀ CLIMATICA	NUOVA COSTRUZIONE	H1.2
	RISTRUTTURAZIONE	
Temperature estreme		
Effetto isola di calore		

AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
H. Vulnerabilità climatica	H2 Temperature estreme	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Ridurre l'effetto di isola di calore e il discomfort al livello del suolo durante la stagione estiva	nella categoria _____ nel sistema completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Rapporto tra l'area delle superfici in grado di diminuire l'effetto isola di calore rispetto all'area complessiva del lotto di intervento (superficie esterne di pertinenza e superfici di copertura).	%	
SCALA DI PRESTAZIONE	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	60	3
OTTIMO	100	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

1. Calcolare l'area complessiva del lotto, (A).

Individuare l'estensione superficiale complessiva del lotto di intervento S_l [m^2] comprensiva delle aree esterne e delle superfici coperte.

2. Calcolare l'area complessiva delle superfici esterne di pertinenza e della copertura dell'edificio in grado di diminuire l'effetto "isola di calore", (B).

Determinare le superfici del lotto a ridotto effetto isola di calore in base alle seguenti indicazioni:

Analizzare il progetto di sistemazione delle aree esterne di pertinenza (per area esterna di pertinenza si intende l'area del lotto al netto dell'impronta dell'edificio) e individuare le eventuali superfici sistematate a verde. Verificare se è prevista la realizzazione di coperture con sistemazione a verde (tetti verdi intensivi o estensivi).

- Determinare quali aree del lotto (coperture comprese) risultano ombreggiate alle ore 12:00 del giorno 21 giugno (ad esempio tramite calcolo degli ombreggiamenti o programmi di simulazione).
- Determinare quali aree del lotto (coperture comprese) hanno indice di riflessione solare (SRI) pari o superiore a 76 per le superfici piane o con inclinazione pari o minore di 8,5°, e pari o superiore a 29 per le superfici inclinate con pendenza maggiore di 8,5°.

Nota 1: nelle tabelle 18 e 19 sono indicati, per alcuni materiali e alcune colorazioni, valori del coefficiente SRI a cui è possibile fare riferimento per la verifica del criterio. Per altri materiali occorre fare riferimento alle schede tecniche dello specifico prodotto o a valori indicati in letteratura tecnico-scientifica (si alleghi documentazione a supporto dei valori utilizzati nel calcolo).

Calcolare l'estensione superficiale complessiva delle superfici del lotto in grado di diminuire l'effetto "isola di calore", S_{reic} [m^2], ovvero le superfici sistematiche a verde e/o ombreggiate alle ore 12:00 del 21 giugno e/o aventi indici di riflessione solare (SRI) pari o maggiori a 76 per superfici piane o inclinate con pendenze fino a 8,5°, oppure aventi indice SRI pari o maggiore a 29 per superfici con pendenza superiore a 8,5°.

3.Calcolare il rapporto percentuale tra l'estensione complessiva delle superfici del lotto in grado di diminuire l'effetto "isola di calore", e la superficie del lotto di intervento.

Calcolare il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra l'estensione complessiva delle superfici del lotto in grado di diminuire l'effetto "isola di calore", S_{reic} [m^2], e la superficie del lotto di intervento, S_I [m^2], tramite la formula:

$$\text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{S_{reic}}{S_I} \cdot 100$$

4.Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

Descrizione	Coeffienti		
	ρ	$\epsilon (ir)$	SRI
Scaglie di asfalto granulare ghiaiano pigmentate			
bianco	0,25	0,91	26
grigio	0,22	0,91	22
argento	0,2	0,91	19
sabbia	0,2	0,91	19
marrone chiaro	0,19	0,91	18
marrone medio	0,2	0,91	9
marrone scuro	0,08	0,91	4
verde chiaro	0,16	0,91	14
nero	0,05	0,91	1

Tinteggiature polimeriche bianche e diossido di titanio			
bianco	0,72	0,91	89
su compensato elastomerica			
invecchiata	0,73	0,86	89
su legno	0,84	0,89	106
su metallo	0,77	0,91	96
bianco titanio	0,83	0,91	104
Tinteggiature colorate			
bianco	0,8	0,91	100
beige chiaro	0,74	0,91	92
grigio	0,4	0,91	45
sabbia	0,36	0,91	40
rosso	0,16	0,91	14
verde	0,15	0,91	13
blu carbone	0,12	0,91	9
bianco stucco (opaco)	0,6	0,91	72
marrone su scandole di legno	0,22	0,9	22
Pigmenti con resine di asfalto con scaglie di alluminio			
alluminio	0,61	0,25	50
su scandole	0,54	0,42	46
liscio scuro	0,52	0,44	43
superficie scabra	0,55	0,42	47
fibroso quasi nero	0,4	0,56	30
fibroso superficie ruvida	0,37	0,58	26
emulsione superficie ruvida	0,3	0,67	21
Tetti con membrane (bitume, fibravet, PVC, EPDM)			
EPDM grigio	0,23	0,87	21
EPDM bianco	0,69	0,87	84
EPDM nero	0,06	0,86	-1
gomma sintetica (Hypalon) bianca	0,76	0,91	95
bitume bianco	0,26	0,92	28
bitume levigato	0,06	0,86	-1
bitume con ghiaietto granulare bianco	0,26	0,92	28
con ghiaia scura su multistrato	0,12	0,9	9
con ghiaia chiara su multistrato	0,34	0,9	37
con copertura bianca su multistrato	0,65	0,9	79
Tetti in metallo			
acciaio galvanizzato nudo	0,61	0,04	46
alluminio	0,61	0,25	56
con pellicola poliestere bianca	0,59	0,85	71
colorati bianco neve	0,67	0,85	82
Tetto in tegole			
argilla rosso vivo	0,33	0,9	36
cemento bianco	0,73	0,9	90
cemento rosso	0,18	0,91	17
cemento non colorato	0,25	0,9	25
cemento colorato beige chiaro	0,63	0,9	76
cemento colorato marrone chiaro	0,42	0,9	48
cemento colorato viola-prugna chiaro	0,41	0,9	46
cemento colorato rosa grigio	0,53	0,9	63
cemento con verniciatura bianca	0,74	0,9	92
Fibrocemento			
marrone testa di moro	0,26	0,9	27
grigio scuro (peltro)	0,5	0,9	25

Table 18 Indice di riflessione solare SRI di materiali di copertura. Fonte: Paul Berdahl Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division – <http://energy.lbl.gov/coolroof/>

MATERIALI CON VALORI DERIVANTI DA CALCOLO a cura di ITACA

Fonte V.C. Sharma, Solar Properties of Some Buildings Elements in Energy 1989 vol 14 p.80 5-10. Fonte del calcolo: <http://coolroofs.org/products/results>

Descrizione	Coeffienti		
	ρ	ϵ (300k)	SRI
Alluminio			
opaco	0,72	0,07	62
lucido	0,76	0,04	69
verniciato bianco	0,81	0,8	100
Vernice di alluminio			
verniciata a mano	0,65	0,56	69
Alluminio anodizzato			
verde chiaro	0,45	0,29	23
Foglio metallo galvanizzato			
pulito, nuovo	0,35	0,13	-9
ossidato, atmosferico	0,2	0,3	-14
Metallo piastra			
solfuro nero	0,08	0,1	-66
ossido cobalto nero	0,07	0,3	-43
ossido nichel nero	0,8	0,8	-69
cromo nero	0,13	0,09	-57
Ferro zincato			
grigio argentato brillante	0,61	0,05	38
brunito	0,1	0,9	6
Acciaio austenitico inossidabile			
argento opaco	0,58	0,23	43
argento brillante	0,62	0,15	46
blu chiaro a specchio e ossidato	0,15	0,18	-42
Acciaio inossidabile			
blu chiaro ossidato	0,15	0,14	-47
marrone arrugginito	0,11	0,92	9
Acciaio			
chiaro arrugginito	0,15	0,18	-42
grigio brillante a specchio	0,59	0,05	34
Stagno			
argento brillante a specchio	0,7	0,04	57
Rame			
rosso chiaro finito a specchio	0,73	0,03	63
Mattoni			
rosso brillante	0,35	0,88	38
Piastrelle a mosaico			
marrone	0,18	0,82	12
Tegole porcellana			
bianca lucida	0,74	0,85	90
Tegola tetto			
rosso vivo	0,35	0,85	36
rosso vivo bagnate	0,12	0,91	9

Calcestruzzo				
	chiaro	0,35	0,87	37
Malta, Cemento	grigio chiaro	0,33	0,88	35
Argilla	grigio scuro	0,24	0,92	25
Marmo	leggermente non bianco	0,6	0,88	71
Pietra	leggermente rosa	0,35	0,87	37
Vernici				
	nera	0,02	0,98	1
	bianca acrilica	0,74	0,9	91
	bianca ossido di zinco	0,84	0,93	106
Vernici a smalto				
	bianca lucida	0,72	0,9	89
	nera	0,07	0,9	2
	blu	0,32	0,87	33
	gialla	0,54	0,88	63
	rossa	0,35	0,87	37
	verde	0,22	0,9	22
Sabbia secca				
	bianco brillante	0,48	0,82	53
	rosata	0,27	0,86	26
Legno		0,41	0,9	46
Legno compensato				
	scuro	0,33	0,8	31

Table 19 Indice di riflessione solare SRI di materiali vari, a cura di ITACA. Fonte: Fonte V.C. Sharma, Solar Properties of Some Buildings Elements in Energy 1989 vol. 14 p.80 5-10. <http://coolroofs.org/products/results>

VULNERABILITÀ CLIMATICA	NUOVA COSTRUZIONE	H2.1
	RISTRUTTURAZIONE	
Precipitazioni intense		
Permeabilità del suolo		
AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
H. Vulnerabilità climatica	H2	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Minimizzare l'interruzione e l'inquinamento dei flussi naturali d'acqua	<u>nella categoria</u>	<u>nel sistema completo</u>
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Rapporto percentuale tra le superfici esterne permeabili rispetto al totale delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio	%	
SCALA DI PRESTAZIONE	%	PUNTI
NEGATIVO	<60	-1
SUFFICIENTE	60	0
BUONO	66	3
OTTIMO	70	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

- Calcolare l'area complessiva delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio.

Individuare l'area esterna di pertinenza dell'edificio, come area del lotto al netto della superficie data dalla proiezione al livello del terreno della copertura dell'edificio, comprese logge e balconi, e calcolare l'estensione superficiale, S_e [m^2].

- Calcolare l'estensione di ciascuna tipologia di sistemazione esterna. Individuare l'estensione $S_{e,i}$ [m^2] di tutte le tipologie di pavimentazione i-esima previste per le aree esterne in modo tale che:

$$S_e = \sum S_{e,i} \quad (1)$$

dove:

S_e = estensione della superficie esterna di pertinenza dell'edificio [m^2]

$S_{e,i}$ = estensione della superficie esterna con la tipologia di pavimentazione i-esima [m^2]

- Assegnare a ciascuna superficie $S_{e,i}$ il relativo coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso (Φ) rappresenta il rapporto tra il volume di acqua meteorica defluito attraverso la specifica pavimentazione, e il volume di acqua piovuta su di essa.

Assegnare un coefficiente di deflusso ad ognuna delle tipologie di sistemazione delle aree esterne individuate. Ai fini del calcolo dell'indicatore di prestazione fare riferimento ai seguenti valori:

- Incolto, serrato, superfici naturali degradate: Φ 0.20
- Pavimentazione in lastre posate a opera incerta con fuga inerbita (sup inerbita 40%): Φ 0.40
- Area con sistemi drenanti e superficie a prato: Φ 0.30 – Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden): Φ 0.40
- Pavimentazioni in elementi drenanti su sabbia: Φ 0.50 UNI/PdR 13.2:2019
- Pavimentazioni in cubetti, pietre o lastre a fuga non sigillata: Φ 0.70
- Pavimentazioni in cubetti, pietre o lastre a fuga sigillata: Φ 0.80
- Pavimentazioni in macadam, strade, cortili, piazzali: Φ 0.35
- Superfici in ghiaia sciolta: Φ 0.30
- Aree con sistemi drenanti e con fondo in terra, piste in terra battuta: Φ 0.40

I valori del coefficiente di deflusso su riportati fanno riferimento agli indicatori RIE del comune di Bolzano.

NOTA Il coefficiente di deflusso indicato per ognuna delle superfici elencate deve essere composto da materiali sciolti. Per altre tipologie di sottofondo è necessario determinare analiticamente il coefficiente di deflusso.

4. Calcolare le superfici pertinenziali esterne permeabili totali

Per superfici permeabili si intendono le superfici con un coefficiente di deflusso inferiore a 0,50. Tutte le superfici non edificate permeabili ma che non permettano alle precipitazioni meteoriche di giungere in falda perché confinate da tutti i lati da manufatti interrati non possono essere considerate nel calcolo. Le superfici relative a coperture di garage o volumi interrati e ricoperti di verde sono da considerare come non permeabili. Calcolare B, sommando le sole superfici esterne permeabili mediante la seguente formula:

$$B = \sum Sp,i \quad (2)$$

dove:

Sp,i = estensione della superficie esterna permeabile ovvero con coefficiente di deflusso inferiore a 0,50 [m^2].

2. Calcolare il rapporto (B/Se)

Calcolare il valore dell'indice di prestazione come rapporto percentuale tra il coefficiente B e l'area complessiva delle superfici esterne di pertinenza dell'edificio (Se), secondo la formula:

$$\text{Indicatore} = (B/Se) * 100 = (\sum Sp,i/Se) * 100 \quad (3)$$

3. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio

Il punteggio da attribuire al criterio si ricava per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione.

QUALITÀ AMBIENTALE INDOOR	NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE E	D1.1
Qualità dell'aria e della ventilazione		
Concentrazione di particolato fine PM2.5		
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Tutela della salute e riduzione delle emissioni di PM2.5 <u>nel sistema completo</u> per gli occupanti.		-
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Numero di giorni annui in cui la concentrazione [-] eccede del limite giornaliero		-
SCALA DI PRESTAZIONE	PUNTI	
NEGATIVO	>35	-1
SUFFICIENTE	≤35	0
BUONO	≤10	3
OTTIMO	0	5

METODO E STRUMENTI DI VERIFICA

La valutazione del criterio si esegue attraverso l'analisi dei sistemi di filtrazione e ventilazione, secondo la seguente procedura:

1. Effettuare l'acquisizione del numero di giorni annui in cui la concentrazione esterna di PM2.5 ha ecceduto il valore limite giornaliero (es. 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), basandosi sui dati forniti dalle centraline ARPA territorialmente competenti (per l'area del Campus).
2. Verificare la presenza di un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) e la classe di efficienza dei filtri installati nelle Unità di Trattamento Aria (UTA), in conformità alla norma UNI EN 16798-3.
La prestazione è stimata sulla capacità dei filtri di abbattere la PM2.5 dall'aria di immissione (minimo richiesto F7/F9).
3. Calcolare il Punteggio Normalizzato: Il Punteggio Normalizzato è calcolato confrontando il Numero di Giorni di Superamento Stimati Interni con i Requisiti di Prestazione (Benchmark) definiti. Il calcolo avviene tramite la formula di normalizzazione standard del Protocollo ITACA.

Il calcolo del punteggio per il criterio avviene tramite la seguente formula, dove il Limite Legale è fissato a 35gg/anno e il Requisito Ottimale è 0 gg/anno.

$$\text{Punteggio} = -1 + 6 * \frac{35 - \text{Giorni stimati interni}}{35}$$

Dove,

35 rappresenta il numero massimo di giorni all'anno (gg/anno) in cui è consentito superare il limite giornaliero per il particolato, in linea con quanto stabilito dal D. Lgs. 155/2010 per la frequenza di superamento (soglia di tolleranza). Questo valore definisce il Livello 0 del Benchmark.

4. Si seguono i limiti stabiliti dal D. Lgs. 155/2010 (per la frequenza legale di superamento) e dalla norma UNI EN 16798-3 (per la verifica dell'efficienza dei sistemi di filtrazione e ventilazione).

NOTA Per l'applicazione alla Scala Campus, questo criterio deve considerare la differenziazione delle aree funzionali. Il *Benchmark* di Livello +5 dovrà essere ricalibrato in base alla destinazione d'uso specifica (es. aule e laboratori ad alta occupazione avranno requisiti più severi delle aree amministrative), un lavoro di calibrazione che ricade nelle fasi successive del progetto.

4.2 Considerazioni finali

È interessante notare come il Protocollo si adatti alla scala del Campus universitario proprio grazie alla sua struttura originaria. Come osservato durante l'analisi delle schede, ho mantenuto e validato criteri già presenti nel Protocollo Regionale, come l'Accessibilità al trasporto pubblico (criterio A1.2). La presenza di questi indicatori dimostra che il sistema ITACA, pur essendo nato per il singolo edificio, possiede già una "vocazione urbana": valuta l'immobile non come un oggetto isolato, ma come un nodo di una rete. Per un Campus, questo è cruciale: confermare questi criteri significa riconoscere che la sostenibilità universitaria non dipende solo dall'efficienza energetica delle aule, ma anche dalla capacità di ridurre l'uso dell'auto privata garantendo collegamenti efficaci con il tessuto cittadino circostante.

Dal punto di vista delle **implicazioni pratiche**, l'adozione di queste schede comporta un cambio di mentalità per chi progetta e gestisce gli spazi universitari. Poiché il rispetto della legge garantisce solo il punteggio minimo, per ottenere valutazioni di eccellenza (punteggi 3 o 5) è necessario spingersi oltre, adottando soluzioni innovative e materiali a basso impatto. Inoltre, l'utilizzo di queste schede sta diventando sempre più un prerequisito burocratico-finanziario: la conformità ai protocolli di sostenibilità è oggi spesso richiesta per accedere ai fondi pubblici (come il PNRR o i fondi FESR), rendendo la compilazione corretta di questi indicatori non più un esercizio teorico, ma una necessità economica per l'ateneo.

Alcuni indicatori richiedono **dati molto specifici** che non sono sempre a portata di mano, specialmente nelle fasi iniziali del progetto o quando si lavora su edifici già esistenti. Pensiamo, ad esempio, al criterio sui materiali (B4.6): per ottenere il punteggio, bisogna calcolare la percentuale esatta di materiale riciclato presente nell'intero edificio. Questo richiede certificazioni dai fornitori che spesso mancano o sono difficili da reperire. Allo stesso modo, valutare il comfort termico non è immediato, ma richiede calcoli e simulazioni complesse. Tutto ciò impone all'amministrazione universitaria uno sforzo notevole.

Analizzando i criteri, emerge chiaramente come il Protocollo ITACA valuti il Campus non come un'isola, ma come un nodo connesso alla città. Ho mantenuto i criteri legati ai trasporti (Area A) perché la sostenibilità di un ateneo dipende fortemente da come ci si arriva. Tuttavia, un aspetto critico emerso dall'analisi della letteratura e integrato nelle valutazioni riguarda la qualità dell'aria e il monitoraggio degli inquinanti, in particolare il particolato (PM2.5 e PM10). I campus universitari, funzionando come "piccole città", sono soggetti a emissioni derivanti sia dal traffico veicolare circostante che dalle attività interne (laboratori, mense, impianti). Le fonti analizzate

sottolineano che la comunità accademica trascorre in media dalle 7 alle 9 ore al giorno all'interno di queste strutture: per questo motivo, monitorare indicatori come il PM2.5 non è solo una questione ambientale, ma di salute e rendimento. È dimostrato, infatti, che l'esposizione a una cattiva qualità dell'aria può ridurre le capacità cognitive, la memoria e i risultati accademici degli studenti. Nelle schede, quindi, l'attenzione non va posta solo sul risparmio energetico, ma sulla salubrità degli spazi. Studi recenti dimostrano che in molti campus le concentrazioni di particolato (PM2.5) all'interno delle aule superano spesso le linee guida raccomandate, a causa dell'infiltrazione di smog dall'esterno quando si aprono le finestre per ventilare.

Infine, il lavoro sui criteri ha evidenziato l'importanza del comfort globale. Non si tratta solo di garantire la giusta temperatura (comfort termico), ma di creare un ambiente che protegga la salute degli studenti. L'integrazione di tecnologie intelligenti può aiutare a gestire questo equilibrio complesso: ad esempio, segnalando quando i livelli di CO₂ o di polveri sottili in un'aula diventano eccessivi a causa dell'affollamento, permettendo di intervenire prontamente sui sistemi di ventilazione. In conclusione, le schede sviluppate spingono l'università a non guardare solo ai consumi in bolletta, ma a farsi carico del benessere psicofisico di chi vive il campus, monitorando attivamente l'aria che si respira e la qualità degli spazi di studio.

Ad oggi, il lavoro di ricerca ha portato all'elaborazione e alla strutturazione delle bozze delle Schede di Prestazione per la valutazione della sostenibilità. In questa fase preliminare, sono stati stabiliti dei benchmark generali che indirizzano gli obiettivi di sostenibilità, definendo le soglie. Tuttavia, per l'applicazione pratica del Protocollo è necessario affinarlo e adattarlo alle diverse situazioni reali del Campus, che costituisce il percorso di sviluppo immediato e la naturale evoluzione di questo lavoro.

Nella fase successiva sarà infatti necessario che gli esperti identifichino e classifichino con precisione le diverse destinazioni d'uso presenti in un campus universitario. Un ateneo è un ecosistema complesso dove convivono realtà molto diverse: laboratori di ricerca ad alta intensità energetica, aule didattiche standard, uffici amministrativi e residenze per studenti. Non è possibile valutare tutte queste funzioni con lo stesso metro: ad esempio, il consumo d'acqua o di elettricità accettabile per un laboratorio chimico avrà necessariamente un limite diverso rispetto a quello di un'aula studio. Successivamente, si dovrà quindi procedere alla ricerca di benchmark specifici per ciascun indicatore, calibrati sulla reale funzione degli spazi. Questa calibrazione è indispensabile per garantire che il Protocollo ITACA Campus diventi uno strumento diagnostico

accurato, capace di fornire target di performance realistici e scientificamente fondati, evitando di penalizzare ingiustamente edifici che, per loro natura, hanno consumi più elevati.

La sfida dei dati e la gestione delle informazioni

Questa necessità di calibrazione si scontra però con una delle criticità operative principali emerse durante lo studio: la difficoltà nel reperire dati affidabili. Applicare queste schede non è un processo automatico, ma richiede una ricerca lunga e approfondita. Spesso le informazioni necessarie per calcolare gli indicatori — come la percentuale esatta di materiali riciclati in un edificio storico o i consumi disaggregati per singola funzione — non sono immediatamente disponibili o certificati. Questo impone all'universitaria e la restante parte degli stakeholders coinvolti un cambio di passo.

Infine, l'analisi delle schede ha evidenziato come la sostenibilità di un Campus non possa fermarsi alle mura degli edifici. È stato fondamentale mantenere e validare i criteri legati all'accessibilità e ai trasporti, perché un campus sostenibile deve essere anzitutto un nodo ben connesso alla rete della città, riducendo la dipendenza dall'auto privata per gli spostamenti di migliaia di studenti. Un aspetto critico emerso dall'analisi riguarda la sincronizzazione tra gli orari dei servizi universitari e quelli del trasporto pubblico. Il Protocollo ITACA standard, per valutare l'accessibilità di strutture come le biblioteche, considera come riferimento la fascia oraria 07:00–19:00. Tuttavia, in un Campus moderno, le aule studio e le biblioteche sono spesso aperte fino a tarda sera (es. fino alle 24:00) per adattarsi ai ritmi degli studenti. Se la rete di trasporto pubblico interrompe o riduce drasticamente le corse dopo le 19:00, si crea un paradosso: la struttura è aperta ("disponibile"), ma non è realmente "accessibile" in modo sostenibile. Questo costringe lo studente a utilizzare l'auto privata fin dal mattino, vanificando gli sforzi di mobilità sostenibile dell'ateneo. Come confermato dalla letteratura, orari inappropriati o non allineati alle reali esigenze dell'utenza rappresentano una delle barriere principali all'abbandono del mezzo privato. Pertanto, una vera applicazione del Protocollo in ambito universitario dovrebbe estendere la valutazione della frequenza dei trasporti anche alle fasce serali, per garantire che il Campus sia vissuto al 100% senza dipendere dall'automobile.

Superando le criticità operative legate alla raccolta dei dati, l'analisi delle schede ha permesso di evidenziare come il Protocollo ITACA possieda la capacità latente di promuovere strategie di decarbonizzazione profonde. Sebbene il Protocollo non adotti esplicitamente la terminologia delle strategie di mitigazione tipiche dei report dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate

Change) — spesso classificate in misure di Sufficienza, Efficienza e Rinnovabili, — i suoi criteri spingono operativamente verso le medesime pratiche, riducendo drasticamente la domanda complessiva di risorse.

Nello specifico, l'area relativa al consumo di risorse introduce concetti chiave allineati alla strategia della "sufficienza", come la disassemblabilità dell'edificio (criterio B.3.6) e l'uso di materiali riciclati (criterio B.3.4). Questi indicatori incoraggiano una progettazione che prevede il fine vita dell'edificio non come demolizione, ma come smontaggio selettivo o "decostruzione". Estendere la vita utile dei componenti edilizi e facilitarne il riciclo significa abbattere le emissioni incorporate nella produzione di nuovi materiali vergini: un approccio che, secondo le stime scientifiche globali sul ciclo di vita, possiede un potenziale cumulativo di riduzione delle emissioni estremamente significativo (stimato in circa 6,6 Gt a livello globale).

Parallelamente, anche i criteri apparentemente legati al solo benessere degli occupanti rivelano una forte valenza di mitigazione climatica. È il caso della valutazione del comfort termico estivo (criterio D.2.1), che nel Protocollo non viene trattato come un mero indice di qualità percepita, ma come una leva strategica per l'efficienza energetica. In un contesto di riscaldamento globale, garantire un elevato comfort termico — idealmente attraverso strategie passive o sistemi efficienti — riduce direttamente la domanda energetica per il raffrescamento. Poiché i consumi per il condizionamento rappresentano una quota sostanziale delle emissioni operative totali degli edifici, il comfort diviene di fatto uno strumento di mitigazione ambientale, dimostrando come la sostenibilità nel campus non sia una somma di silos isolati, ma un sistema interconnesso dove il benessere della persona coincide con la salute del pianeta.

Conclusioni

La presente tesi ha preso parte ad un contesto di ricerca applicata finalizzata ad affrontare il divario metodologico esistente nei sistemi di valutazione della sostenibilità per gli atenei. Attraverso lo sviluppo del Protocollo ITACA per Campus Universitari, la ricerca mira a fornire una risposta concreta, trasformando l'esigenza della sostenibilità da un'idea strategica in uno strumento operativo e misurabile. Il contributo di questa tesi risiede nella definizione di una metodologia di valutazione e nella stesura operativa delle Schede di Prestazione per i KPI prioritari, con particolare focus sugli aspetti energetico-climatici. Lo studio ha dimostrato che l'approccio basato sul Metodo SBE (*Sustainable Building Environment*) e sull'integrazione dei framework internazionali SBTool e SNTool rappresenta la via più coerente per superare le limitazioni di scala tipiche dei campus universitari.

Abbiamo dimostrato che l'approccio, basato sul Metodo SBE e sull'integrazione di SBTool e SNTool, è l'approccio più coerente per superare le limitazioni di scala. Nello specifico, il Protocollo ITACA Campus gestisce la complessità integrando il dettaglio tecnico edilizio con la visione sistemica urbana del Campus. Ha inoltre garantito l'allineamento normativo e tecnico dei criteri energetici, adottando le Prassi di Riferimento UNI/PdR 13 e gli standard europei (Direttiva EPBD).

Tuttavia, l'uso pratico delle schede ha dimostrato che il Protocollo non serve solo a controllare se si rispettano le regole tecniche, ma spinge a cambiare profondamente il modo in cui l'università viene gestita. Guardando al futuro, questo lavoro pone le basi per un necessario lavoro di precisione. Finora abbiamo fissato regole generali, ma le università sono luoghi complessi, dove convivono laboratori che consumano molta energia e aule storiche. Il prossimo passo della ricerca dovrà quindi definire obiettivi diversi e specifici in base al reale utilizzo degli spazi.

A lungo termine, l'evoluzione naturale del Protocollo ITACA Campus sta nell'integrazione con le nuove tecnologie, come i Gemelli Digitali (*Digital Twin*) e l'Internet delle Cose (*IoT*). In uno scenario futuro, le schede non dovranno più essere compilate a mano una volta l'anno, ma si aggiorneranno automaticamente grazie a sensori diffusi, capaci di dare una fotografia in tempo reale dei consumi e del benessere nell'ateneo. Solo continuando ad applicare e migliorare questo strumento con la tecnologia, il Protocollo potrà diventare un punto di riferimento solido, garantendo che la trasformazione ecologica delle università italiane sia guidata da obiettivi seri, basati sulla scienza e, soprattutto, realizzabili.

Bibliografia e sitografia

I. Metodologia e Normativa Nazionale (ITACA / UNI)

Ente Italiano di Normazione (UNI). (2019, aggiornamento 2023). Prassi di Riferimento UNI/PdR 13:2019 (aggiornamento 2023) - Protocollo ITACA per la certificazione energetica e ambientale degli edifici.

Protocolli Tecnico-Regionali (ITACA / Regione Piemonte).

Todd, G. (2005). *An Overview of the SBTool Family of Building Assessment Systems: Version 2005*. iiSBE Technical Report. Ottawa, Canada: International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE).

ITACA. (2016). *Protocollo ITACA a Scala Urbana*. Approvato dal Consiglio Direttivo di ITACA il 21 dicembre 2016.

ITACA. (2020). *Protocollo ITACA a Scala Urbana SINTETICO – Metodologia e strumento di verifica*. Versione 2.02, approvato il 14 dicembre 2020.

UNI. (2019). *UNI/PdR 13.0:2019 – Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Inquadramento generale e principi metodologici*. Pubblicata il 1 luglio 2019, aggiornata il 5 ottobre 2023.

UNI. (2019). *UNI/PdR 13.1:2019 – Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici residenziali*. Pubblicata il 1 luglio 2019, aggiornata il 5 ottobre 2023.

UNI. (2019). *UNI/PdR 13.2:2019 – Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici non residenziali*. Pubblicata il 1 luglio 2019, aggiornata il 5 ottobre 2023.

Regione Piemonte. (2018). *Protocollo ITACA Regione Piemonte – Edifici*. Approvato con Deliberazione della Giunta Regionale 16 novembre 2018, n. 42-7890. Include Allegato 1 (Standard tecnico edilizia residenziale) e Allegato 2 (Standard tecnico edilizia non residenziale).

iiSBE Italia, Regione Piemonte, ITACA. (2018). *Protocollo ITACA Regione Piemonte Scala Urbana*. Versione 2018.

II. LCA e Norme Tecniche (Ciclo di Vita)

Cole, R. J., & Larsson, N. (1999). *The Green Building Challenge: An International Project to Develop and Test Performance Evaluation Tools*. Building and Environment, 34(3), 253–262.

Commissione Europea. *Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD)*.

Norme CEN/ISO. *EN 15603:2017; EN ISO 13790; EN 15804:2019; UNI EN 15978:2011. ISO 15686-5:2017 (Life-cycle costing)*.

Royal Institute of British Architects (RIBA). (2019). *RIBA 2030 Climate Challenge e Sustainable Outcomes Guide*. London, UK: Royal Institute of British Architects.

III. Critica Metodologica e Barriere

Berzosa, A., Galdámez, P., & Guijarro, M. (2017). *Sustainable Assessment Tools for Higher Education: An Empirical Comparative Analysis*. *Sustainability*, 9(12), 2269. DOI: 10.3390/su9122269.

Boiocchi, S., et al. (2023). *Critical Analysis of the GreenMetric World University Ranking System: The Issue of Comparability*. *Sustainability*, 15(2), 1343. DOI: 10.3390/su15021343.

Caeiro, S., et al. (2020). *Sustainability Assessment in Higher Education Institutions*. *Sustainability*, 12(8), 3433. DOI: 10.3390/su12083433.

Forsberg, Forsberg, M., & von Malmborg, F. (2004). *Environmental Assessment Tools for the Built Environment: A Critical Review*. *Journal of Environmental Planning and Management*, 47(5), 783–804.

Lad, R. D., & Akerlof, K. L. (2022). *Assessing campus sustainability literacy and culture: How are universities doing it and to what end?*. *Frontiers in Sustainability*, 3. DOI: 10.3389/frsus.2022.927294.

Nogueiro, C. S., et al. (2022). *Overcoming barriers to sustainability implementation in higher education institutions: A systematic literature review*. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132104. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132104.

Torabi Moghadam, S., Del Bo, C., Larcher, F., Macii, E., & Lombardi, P. (2024). *Methodological framework for the application of ITACA Protocol to university campuses and the definition of new indicators for the assessment of institutional governance and socio-economic dimensions*. Deliverable 1.3, Progetto Strategico di Ateneo Sostenibilità (D.D. Rep. n. 110/2022), Politecnico di Torino.

Torabi Moghadam, S., Abastante, F., Mecca, B., Pellerey, V., Santana Tovar, D., Al Mamlouk, D., & Hokmabadi, B. (2024). *Deliverable 1.3 - Synthesis document of environmental tools for assessing the sustainability of university buildings and campuses*. (Report 2024/2025). [Nome del Progetto o Istituzione Esecutrice, es. Politecnico di Torino – iiSBE Italia].

<https://urbanlabtorino.it/progetti/moloc/>

iiSBE Italia R&D (a cura di). (2023). *SBE Method Manual: Sustainable Built Environment Method*. Version 2023-A. Sustainable MED Cities.

Moro, A., Bazzan, E., Balaras, C. A., & Droutsa, P. (Eds.). (2023). *SBTool MED: Sustainable Building Tool Manual*. Version 2023-A. Sustainable MED Cities.

Moro, A., Bazzan, E., Balaras, C. A., & Droutsa, P. (Eds.). (2023). *SNTool MED: Sustainable Neighbourhood Tool Manual*. Version 2023-A. Sustainable MED Cities.

Politecnico di Torino, S3+LAB. *MOLOC: Morphologies, Low Carbon, new governances, new challenges for cities in energy transition*. Progetto finanziato da Interreg Europe.

Città di Torino. (2016, 14 Dicembre). *Patrimonio culturale, motore della rigenerazione urbana*. TorinoClick – Agenzia quotidiana della Città di Torino.

Urban Lab Torino. *MOLOC Project Overview*. Disponibile presso Urban Lab Torino.

Alyami, S. H., & Rezgui, Y. (2012). "Sustainable building assessment tool development approach". *Sustainable Cities and Society*, Volume 5, pp. 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.05.004>.

- Bronson, J. W. (2007). "Complexity, Sustainability and University-City Relations: The case of the University of California Davis and the City of Davis". *Master Thesis*. Lund University (ESST).
- De Marco, F., Gonano, M., & Pranovi, F. (2017). "La sostenibilità nell'Università: il caso di Ca' Foscari". In M. Fasan & S. Bianchi (A cura di), *L'azienda sostenibile. Trend, strumenti e case study* (pp. 159-182). Edizioni Ca' Foscari. ISBN 978-88-6969-202-4.
- Hakim, M. A., Ling, G. H. T., Wai, C. L., & Ho, C. S. (n.d.). "Application of Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE) at City Level in Johor Bahru". *Article*. UTM-Low Carbon Asia Research Centre, Universiti Teknologi Malaysia.
- Iannizzaro, S. (2016). "La sostenibilità di sistemi complessi: metodi e indicatori applicati ad un campus universitario". *Tesi di Dottorato (XV Ciclo)*. Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile.,
- Jamshidikhosh, M. (2025). "Sustainable Protocol for University Campuses". *Master Thesis*. Politecnico di Torino, Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning (DIST).
- Shaffer, B., Tarroja, B., & Samuelsen, S. (2014). "Advancing Toward Sustainability Goals at the University of California, Irvine". *Proceedings Paper*. ASME Digital Collection. <https://doi.org/10.1115/ES2014-6453>.
- Sperling, D. (2009). "ITS-Davis Biennial Report 2008". *Report*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.
- Washington-Ottombre, C., Washington, G. L., & Newman, J. (2018). "Campus sustainability in the US: Environmental management and social change since 1970". *Journal of Cleaner Production*, Volume 196, pp. 564-575. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.012>.
- Wheeler, S. M., & Segar, R. B. (2013). "Zero Net Energy At A Community Scale: UC Davis West Village". In *Energy Efficiency*, Chapter 12 (pp. 305-321). Elsevier Inc.,.
- Graymore, M.L.M., Sipe, N.G., & Rickson, R.E. (2008). Regional sustainability: How useful are current tools of sustainability assessment at the regional scale? *Ecological Economics*, 67(3), 362-372. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.002>
- Kaur, H., & Garg, P. (2019). Urban sustainability assessment tools: A review. *Journal of Cleaner Production*, 210, 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.009>
- Luke, D.A., Calhoun, A., Robichaux, C.B., Elliott, M.B., & Moreland-Russell, S. (2014). The Program Sustainability Assessment Tool: A New Instrument for Public Health Programs. *Preventing Chronic Disease*, 11, 130184. <http://dx.doi.org/10.5888/pcd11.130184>
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 60(3), 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.023>
- Rotmans, J. (2006). Tools for Integrated Sustainability Assessment: A two-track approach. *The Integrated Assessment Journal*, 6(4), 35–57.
- Sharifi, A., & Murayama, A. (2013). A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 38, 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.06.006>
- Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K., & Dikshit, A.K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15, 281–299. [10.1016/j.ecolind.2011.01.007](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007)

- Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez-Capistros, F., & Verbruggen, A. (2014). Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability*, 6, 5512-5534. 10.3390/su6095512
- Prigogine, I. (1997). *The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature*. New York: The Free Press.
- Zaballos, A., et al., *A Smart Campus' Digital Twin for Sustainable Comfort Monitoring*, Sustainability, Vol. 12, No. 21, 2020, 9196.
- Sonetti, G., Lombardi, P., Chelleri, L *True Green and Sustainable University Campuses? Toward a Clusters Approach*, Sustainability, Vol. 8, No. 1, 2016, p. 83.,
- Ramírez, O., et al., *Air quality monitoring on university campuses as a crucial component to move toward sustainable campuses: An overview*, Urban Climate, Vol. 52, 2023, 101694.
- Marrone, P., et al., *Environmental performance of universities: Proposal for implementing campus urban morphology as an evaluation parameter in Green Metric*, Sustainable Cities and Society, Vol. 42, 2018, pp. 226–239.,
- Lauria, M., Azzalin, M., *Digital Twin Approach for Maintenance Management*. In: Arbizzani E. et al. (eds), *Technological Imagination in the Green and Digital Transition*, The Urban Book Series, Springer, 2023, pp. 237-245.,
- Jiang, Q., Kurnitski, J., *Performance based core sustainability metrics for university campuses developing towards climate neutrality: A robust PICSOU framework*, Sustainable Cities and Society, Vol. 97, 2023, 104723.
- Gu, Y., et al., *Quantification of interlinked environmental footprints on a sustainable university campus: A nexus analysis perspective*, Applied Energy, Vol. 246, 2019, pp. 65–76.
- Giovanardi, M., Trane, M., Pollo, R., *Environmental Sensing and Simulation for Healthy Districts: A Comparison Between Field Measurements and CFD Model*. In: Arbizzani E. et al. (eds), *Technological Imagination in the Green and Digital Transition*, The Urban Book Series, Springer, 2023, pp. 921-933.
- Alshuwaikhat, H.M., Abubakar, I., *An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices*, Journal of Cleaner Production, Vol. 16, 2008, pp. 1777–1785.
- Agostinelli S., *COGNIBUILD: Cognitive Digital Twin Framework for Advanced Building Management and Predictive Maintenance*. In: Arbizzani E. et al. (eds), *Technological Imagination in the Green and Digital Transition*, The Urban Book Series, Springer, 2023, pp. 69-78.,

IV. Contesto Globale e Strategico

Commissione Europea. (2019). *The European Green Deal*. Brussels: European Commission.

https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication_en.pdf

Commissione Europea. (2021). *Fit for 55 Package*. Brussels: European Commission.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541

Consiglio dell'Unione Europea. (2023). *European Green Deal: Timeline*. Brussels.
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/european-green-deal/timeline-european-green-deal>

United Nations. (2012). The Future We Want (Outcome document of Rio+20). New York: United Nations.
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/733FutureWeWant.pdf>

United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

United Nations. (2019). Global Sustainable Development Report 2019. New York: United Nations. <https://sustainabledevelopment.un.org/gsdr2019>

Crescita senza crescita economica – Focisiv

Global greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060 | Nature Communications

Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W., III. (1972). *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books.

Stewart Brand (Ed.). (1968). *Whole Earth Catalog: Access to Tools*. Point Foundation

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H. Lee & J. Romero (Eds.)]. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

Do we need a common knowledge platform on SDG interactions?

Global greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060 | Nature Communications

ASViS (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile). (2018). *Rapporto ASViS 2018: L'Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile*. [Rapporto ASViS 2018 - Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile].

Almeida, A., Gomes, F., & Dias, V. (2022). *The Sustainable Development Goal 4 and the Impact Ranking: Quality Education in Portuguese Higher Education Institutions*. (PDF) The Sustainable Development Goal 4 and the Impact Ranking: Quality Education in Portuguese Higher Education Institutions

Melica, G., et al. (2018). [Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile - Agenzia per la coesione territoriale]

UN (United Nations). (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN Department of Economic and Social Affairs (DESA).

United Nations. (2024). *Communications Materials: Get Involved with the SDGs*. Communications materials - United Nations Sustainable Development

UNESCO/UNEP. (1977). *Dichiarazione di Tbilisi*. Conferenza intergovernativa sull'educazione ambientale.

UNESCO/UNEP. (1990). *Dichiarazione di Talloires*. Conferenza dei Rettori delle Università.

UNESCO/UNEP. (1991). *Dichiarazione di Halifax*. Conferenza delle Università per un Futuro Sostenibile.