

ARTICLE INFO

Received 12 September 2025
Revised 22 October 2025
Accepted 23 October 2025
Published 30 December 2025

EFFICIENZA ENERGETICA E SMARTNESS DEGLI EDIFICI NELLE POLITICHE AMBIENTALI PUBBLICHE

ENERGY EFFICIENCY AND SMART BUILDINGS IN PUBLIC ENVIRONMENTAL POLICIES

Massimo Lauria, Maria Azzalin, Francesca Giglio, Giovanna Maria La Face

ABSTRACT

Obsoleto e scarsamente performante il Patrimonio edilizio europeo rappresenta una delle criticità che ostacolano il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica fissati al 2050. In questo contesto il contributo restituisce i primi esiti della ricerca PRIN 2022 'Better Policy' che, partendo dall'analisi dei gap che rallentano l'attuazione delle politiche ambientali da parte delle Pubbliche Amministrazioni, propone linee guida sperimentali: un framework operativo articolato in quattro assi tematici strategici: decarbonizzazione, circolarità delle risorse, metriche LCA e digitalizzazione per la transizione ecologica. In particolare l'articolo presenta la sezione che integra lo Smart Readiness Indicator nei documenti di programmazione previsti dal Nuovo Codice degli Appalti in Italia, fornendo alle PA criteri standardizzati, procedure di verifica e protocolli di monitoraggio per l'intero ciclo vita degli edifici pubblici, trasformando così il Patrimonio edilizio pubblico in laboratorio avanzato per la sperimentazione di politiche ambientali coerenti con gli obiettivi europei di decarbonizzazione al 2050.

Obsolete and poorly performing, the European building stock represents one of the main barriers to achieving climate-neutrality goals by 2050. In this context, the contribution presents the first outcomes of the PRIN 2022 'Better Policy' research project that, starting from an analysis of the gaps that hinder the implementation of environmental policies by Public Administrations, proposes experimental guidelines: an operational framework articulated around four strategic thematic pillars: decarbonisation, resource circularity, LCA metrics, and digitalisation for the ecological transition. Specifically, the article presents the section that integrates the Smart Readiness Indicator into the planning documents required by the new Italian Public Procurement Code, providing Public Administrations with standardised criteria, verification procedures, and monitoring protocols throughout the entire life-cycle of public buildings, thus transforming the public building stock into an advanced laboratory for the testing of environmental policies aligned with European decarbonisation objectives for 2050.

KEYWORDS

efficientamento energetico, smartness, EPBD, certificato di prestazione energetica, codice degli appalti

energy efficiency improvement, smartness, EPBD, energy performance certificate, public procurement code

Massimo Lauria, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Civil, Energy, Environmental and Materials Engineering, 'Mediterranea' University of Reggio Calabria (Italy). E-mail: mlauria@unirc.it

Maria Azzalin, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Architecture and Design, 'Mediterranea' University of Reggio Calabria (Italy). E-mail: maria.azzalin@unirc.it

Francesca Giglio, Architect and PhD, is an Associate Professor, Department of Architecture and Design, 'Mediterranea' University of Reggio Calabria (Italy). E-mail: francesca.giglio@unirc.it

Giovanna Maria La Face is a Conservation Specialist in Architectural and Environmental Heritage and the PhD 'Mediterranea' University of Reggio Calabria (Italy). E-mail: laface@unirc.it



La transizione ecologica e digitale costituisce uno dei principali driver di trasformazione delle politiche pubbliche europee, in particolare nei settori ad alta intensità energetica e impatto ambientale, come quello edilizio. Il Patrimonio costruito europeo – in larga parte obsoleto e scarsamente performante – è infatti responsabile di circa il 50% del consumo energetico complessivo (IEA, 2021). La sua riqualificazione rappresenta quindi una condizione necessaria per il raggiungimento dell'obiettivo 'zero emissioni nette' al 2050. A tal fine l'Unione Europea ha definito un quadro strategico articolato, basato sul principio dell'Energy Efficiency First (European Parliament and Council of the European Union, 2018, 2023a) e fortemente sostenuto da provvedimenti quali il Green Deal (European Commission, 2019a), la Renovation Wave Strategy (European Commission, 2020a), il Digital Decade (European Commission, 2024) insieme al Programma Digital Compass (European Commission, 2021a), e il pacchetto Fit for 55 (European Commission, 2021b).

Volto a guidare gli Stati membri verso un modello di sviluppo sostenibile e resiliente, fondato su inclusività, interoperabilità digitale e circolarità, il suddetto quadro strategico assume la combinazione tra efficienza energetica e smartness (capacità degli edifici di interagire in modo intelligente con gli utenti e con le reti energetiche) quale paradigma operativo per la trasformazione del costruito nell'ottica della duplice transizione ecologica e digitale. Tale strategia, complementare e integrata, intende rafforzare la centralità degli edifici smart nell'ambito delle azioni finalizzate al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2050; tuttavia la sua attuazione deve confrontarsi anche con la permanenza di barriere metodologiche e strumentali che ne rallentano l'adozione nelle relative politiche locali.

Ancora oggi infatti molti degli strumenti operativi disponibili – Smart Readiness Indicator (SRI), Energy Performance Certificate (EPC), Building Logbook e Renovation Roadmap – pur offrendo potenzialità significative, sono applicati prevalentemente su base volontaria e/o sperimentale, mentre necessiterebbero di un'integrazione sistemica all'interno dei processi di programmazione e attuazione delle politiche pubbliche, in modo da ridurre le distanze che si misurano tra quadri regolamentari e pratiche operative. Le questioni appena richiamate sono state assunte e affrontate all'interno del progetto PRIN 2022 'Better Policy' (Building Environmental Tools To Empower Responsive Policies Outreaching LifeCYcle – Guidelines and protocols to enable Public Administrations-driven processes in the Italian construction sector), che si è posto l'obiettivo generale di indagare e proporre soluzioni per colmare i gap metodologici, normativi e operativi che ancora ostacolano l'attuazione efficace delle politiche verdi e digitali nel settore pubblico. Tra gli obiettivi del progetto vi è l'elaborazione di linee guida operative replicabili e scalabili, a uso delle Pubbliche Amministrazioni (PA), direttamente applicabili nei diversi contesti locali.

La metodologia impiegata combina un confronto multiscalare, da un lato con gli indirizzi normativi europei, dall'altro con le sperimentazioni nazionali. Anche mediante interviste a stakeholder, essa è finalizzata alla costruzione di un framework (linee guida) applicabile lungo l'intero ciclo vita delle opere pubbliche. Comprendendo un sistema di benchmark, uno schema integrato di valutazione e procedure operative di monitoraggio e verifica degli im-

patti, la metodologia si configura quale strumento in grado di integrare indicatori ambientali e digitali nei processi di programmazione, progettazione, esecuzione e gestione del Patrimonio edilizio pubblico, secondo un approccio orientato al Life Cycle Thinking e coerente sia con il quadro normativo europeo, sopra richiamato, che con quello nazionale delineato in primo luogo dal Nuovo Codice degli Appalti (Presidente della Repubblica, 2023).

Sebbene la metodologia adottata risulti consolidata e congruente con gli obiettivi del progetto, se ne evidenziano alcune limitazioni intrinseche: la natura ancora esplorativa del confronto, il numero limitato di casi studio e il carattere in evoluzione del quadro normativo europeo e nazionale possono influire sulla piena trasferibilità dei risultati. Allo stesso tempo tali aspetti rappresentano un'opportunità di approfondimento, orientando futuri sviluppi della ricerca verso la validazione del framework attraverso applicazioni pilota e il confronto con contesti amministrativi e climatici differenziati.

Attraverso questo approccio la ricerca ha inteso contribuire a rafforzare la capacità delle PA di adottare politiche ambientali efficaci, fornendo strumenti standardizzati e misurabili che, grazie anche all'adozione di procedure di verifica e monitoraggio degli interventi pubblici, assicurino coerenza tra strategie europee e attuazione concreta a livello locale, configurando il Patrimonio edilizio pubblico quale potenziale laboratorio avanzato di sperimentazione. In tale direzione le prospettive di sviluppo riguardano la possibilità di utilizzare lo Smart Readiness Indicator come dispositivo abilitante per la programmazione e la valutazione delle politiche pubbliche, contribuendo alla costruzione di un sistema decisionale sempre più orientato ai processi di transizione verde e digitale.

L'articolo in particolare restituisce i risultati dell'Unità Operativa di Reggio Calabria che ha elaborato una specifica sezione delle suddette linee guida, sviluppando metodologie di trasferimento, nei processi di programmazione, progettazione e gestione degli interventi pubblici da parte delle PA, dello Smart Readiness Indicator, introdotto dalla Direttiva EPBD 2024/1275 (European Parliament and Council of the European Union, 2024; Fig. 1).

Nei fatti l'Unità Operativa, di cui gli autori sono componenti, non si propone di introdurre nuovi indicatori, ma di definire una cornice per l'applicazione sperimentale di quelli esistenti; trasformando strumenti ancora in fase di testing volontario – quale lo Smart Readiness Indicator – in leve decisionali operative per la governance pubblica in materia di trasformazione edilizia, riducendo la distanza tra gli aspetti teorici espressi dall'attuale quadro normativo europeo e nazionale sul tema e la loro attuazione.

Di particolare rilievo è l'interazione proposta tra gli elaborati di programmazione previsti dall'Allegato I.7 del Codice degli Appalti – Quadro esigenziale, Documento delle alternative progettuali, Documento di indirizzo alla progettazione – e la possibilità per il committente pubblico di introdurre azioni e/o indicazioni specifiche in grado di orientare le decisioni nella successiva fase di progettazione, nonché in quelle di esecuzione e gestione, in un'ottica generale di attuazione di politiche ambientali per l'efficienza energetica e la smartness. In tale contesto lo Smart Readiness Indicator si configura quale potenziale indicatore robusto 'ecologico e digitale'.

Si evidenzia un doppio livello di impatti ipotizzabili della ricerca, in ambito scientifico e sulla gover-

nance pubblica; quest'ultimo a sua volta riguarda tre differenti livelli: a) normativo per l'evoluzione dei dispositivi regolativi; b) gestionale per l'aumento della capacità delle PA; c) sistemico per il ruolo assunto dagli edifici pubblici quali laboratori di sperimentazione delle strategie attuative verdi e digitali.

Le potenziali applicazioni del framework proposto includono la sua adozione come modello replicabile per la redazione di strumenti attuativi – quali Piani, capitoli e protocolli – che permettano alle PA di misurare e migliorare progressivamente la smartness del Patrimonio edilizio pubblico, promuovendo processi decisionali basati su evidenze misurabili e interoperabili. Tale approccio estende le prospettive già delineate in studi precedenti (Azzalin, 2024; Lauria et alii, 2025), enfatizzando la scalabilità del modello operativo a livello nazionale ed europeo. In tale contesto la definizione di linee guida integrate, supportate da strumenti esistenti e procedure di monitoraggio consolidate, nonché la loro successiva integrazione nei sistemi di valutazione della spesa pubblica, rappresenta un passaggio essenziale per garantire che il Patrimonio edilizio pubblico contribuisca realmente ai processi di transizione ecologica e digitale e, più specificamente, agli obiettivi di decarbonizzazione.

Transizione ecologica e digitale nelle politiche ambientali pubbliche: il connubio efficienza energetica e smartness degli edifici | La Commissione Europea ha strutturato negli anni un quadro normativo ambizioso per sostenere la doppia transizione – ecologica e digitale – del sistema economico e produttivo europeo. Con riferimento alla relazione efficienza energetica e smartness, la Energy Performance Buildings Directive, EPBD, dalla prima versione del 2010 alla quarta del 2024, introduce lo Smart Readiness Indicator, come indicatore normativo di riferimento per misurare la prontezza digitale degli edifici.

L'EPBD collega inoltre lo Smart Readiness Indicator ad altri strumenti operativi come i Renovation Passport e i Building Logbook, configurando un ecosistema integrato di dati e di monitoraggio digitale. In questo ambito l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica al 2050 si è tradotto in strategie integrate, come l'Energy Efficiency First (European Parliament and Council of the European Union, 2018, 2023a), il Green Deal (European Commission, 2019a), il Fit for 55 (European Commission, 2021b) e la stessa Revisione dell'EPBD (European Parliament and Council of the European Union, 2024), che riformula in chiave più stringente i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici (Fig. 2).

L'Energy Efficiency First pone l'efficienza energetica come prima opzione nelle azioni di pianificazione e investimento degli Stati membri, introducendo un approccio chiave per raggiungere alcuni dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG; UN, 2015) tra cui l'SDG 7 (Energia pulita e accessibile), l'SDG 13 (Azione per il clima), l'SDG 11 (Città e Comunità Sostenibili) e, non ultimo in termini di sinergie e trasferimento tecnologico, l'SDG 9 (Imprese, Innovazione e Infrastrutture). Contemporaneamente la strategia proposta dal Green Deal europeo prevede che l'Unione Europea raggiunga l'azzeramento delle emissioni nette di gas a effetto serra entro il 2050, risultato che segnerebbe anche il disaccoppiamento della crescita economica dall'utilizzo delle risorse (European Commission, 2020b; UNEP,

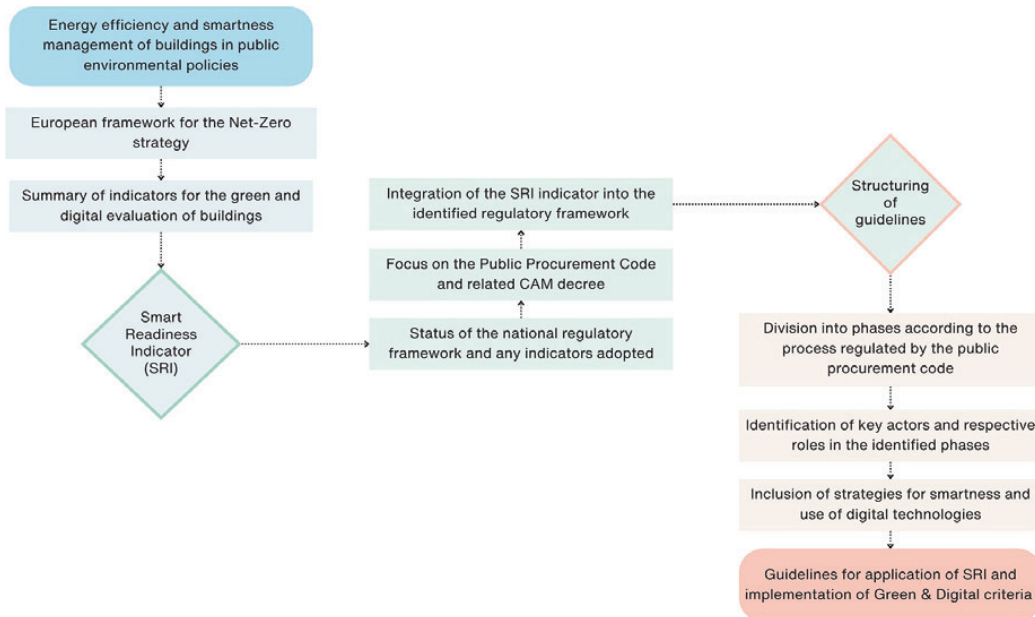


Fig. 1 | Process flowchart on green and digital issues within the PRIN research: methodology and its graphical representation (credit: G. M. La Face, 2025).

Next page

Fig. 2 | Evolution of the Smart Readiness Indicator through a transversal reading of the main European strategies and their directives (source: energy.ec.europa.eu; edited by G. M. La Face, 2025).

2022). Il concreto raggiungimento di tali obiettivi è tuttavia prioritariamente legato alla riqualificazione del Patrimonio edilizio che, 'vecchio' e poco performante, incide per il 50% sul consumo finale complessivo di energia, sia per il riscaldamento che per il raffrescamento.

In questo scenario la Renovation Wave Strategy (European Commission, 2020a) segna un punto di svolta, concorrendo in maniera significativa, attraverso la sua attuazione concreta, alla riduzione delle emissioni di gas serra connessa ai processi di trasformazione sostenibile del Patrimonio costruito abilitati dal digitale. Sulla base di tale strategia nel prossimo decennio è prevista la riqualificazione energetica di 35 milioni di edifici e la loro trasformazione in asset efficienti e intelligenti.

Altrettanto determinante è il pacchetto Fit for 55 (European Commission, 2021b) che, nel promuovere norme comuni per ridurre l'impronta di carbonio, ha guidato la revisione della direttiva EPBD e dell'EPC, ridefinendo gli standard di efficienza energetica per un parco edilizio a emissioni zero entro il 2050 (European Parliament and Council of the European Union, 2024). A tale riguardo, recenti studi dimostrano che le soluzioni digitali possono ridurre le emissioni totali fino al 20% (WEF, 2022) riconoscendo l'integrazione tra sistemi di automazione degli edifici standardizzati secondo UNI EN ISO 5120-1:2022 e lo Smart Readiness Indicator quale strumento essenziale per ottimizzare le prestazioni energetiche, integrare tecnologie intelligenti e migliorare l'adattabilità degli edifici (Walczyk and Ozadowicz, 2025). D'altro canto, le stesse normative europee, e in particolare l'EPBD che impone la progressiva affermazione di edifici a energia quasi zero, stanno stimolando una crescita evidente del mercato degli edifici smart che è passato dai 6,3 miliardi di dollari del 2024 ai 7,5 miliardi previsti nel 2025, con proiezioni che raggiungono i 31 miliardi entro il 2033 (Ghodsian, 2025). L'Unione Europea, dunque, attraverso strumenti come la richiamata EPBD e la Green Taxonomy (European Parliament and Council of the European Union, 2020) e i relativi standard tecnici, sta costruendo un sistema normativo avanzato orientato alla qualità edilizia, alla riduzione dell'impatto ambientale e alla promozione della resilienza digitale, rispondendo tra l'altro alle istanze po-

ste dall'SDG 11 di rendere gli insediamenti umani e urbani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili (Fig. 3). Emerge così una rinnovata e moderna visione strategica per le politiche ambientali che numerosi Enti Pubblici europei stanno recependo trasferendone gli indirizzi nella definizione di Piani d'Azione sempre più stringenti che abbinano alla duplice istanza, ecologica e digitale, gli aspetti di efficienza energetica.

In questo contesto il concetto di smartness – attraverso lo Smart Readiness Indicator che ne rappresenta lo strumento operativo – sta assumendo un ruolo determinante, sia come fattore di valutazione dell'efficienza tecnica, che come abilitatore di innovazione nel settore edilizio. Introdotto dalla Commissione Europea nel 2020 lo Smart Readiness Indicator nasce per valutare la prontezza smart degli edifici e supportarne l'evoluzione verso sistemi edilizi sempre più intelligenti e interconnessi, rispondendo contemporaneamente a esigenze di efficienza energetica, comfort, flessibilità d'uso e interoperabilità digitale (European Commission, 2020c).

A differenza di altri strumenti certificativi, lo Smart Readiness Indicator si configura come un indicatore composito, capace di valorizzare tecnologie attive, sistemi di gestione automatizzata e soluzioni per la connettività. Il suo impiego consente inoltre di promuovere l'adozione integrata di ulteriori strumenti quali l'Energy Performance Certificate, aggiornato con parametri digitali, il Building Logbook e la Renovation Roadmap, strumenti dinamici di gestione informativa che favoriscono una gestione più efficiente e trasparente dei dati, abilitata dalle tecnologie digitali (Capozzoli et alii, 2024). Tuttavia, nonostante questi strumenti siano da tempo formalmente definiti a livello europeo, presentano ancora in molti Stati membri un livello di implementazione volontaria e sperimentale. In Italia tale processo è sostenuto dal rinnovato quadro normativo del Nuovo Codice degli Appalti, apparato normativo che orienta la trasformazione e l'innovazione del settore edilizio.

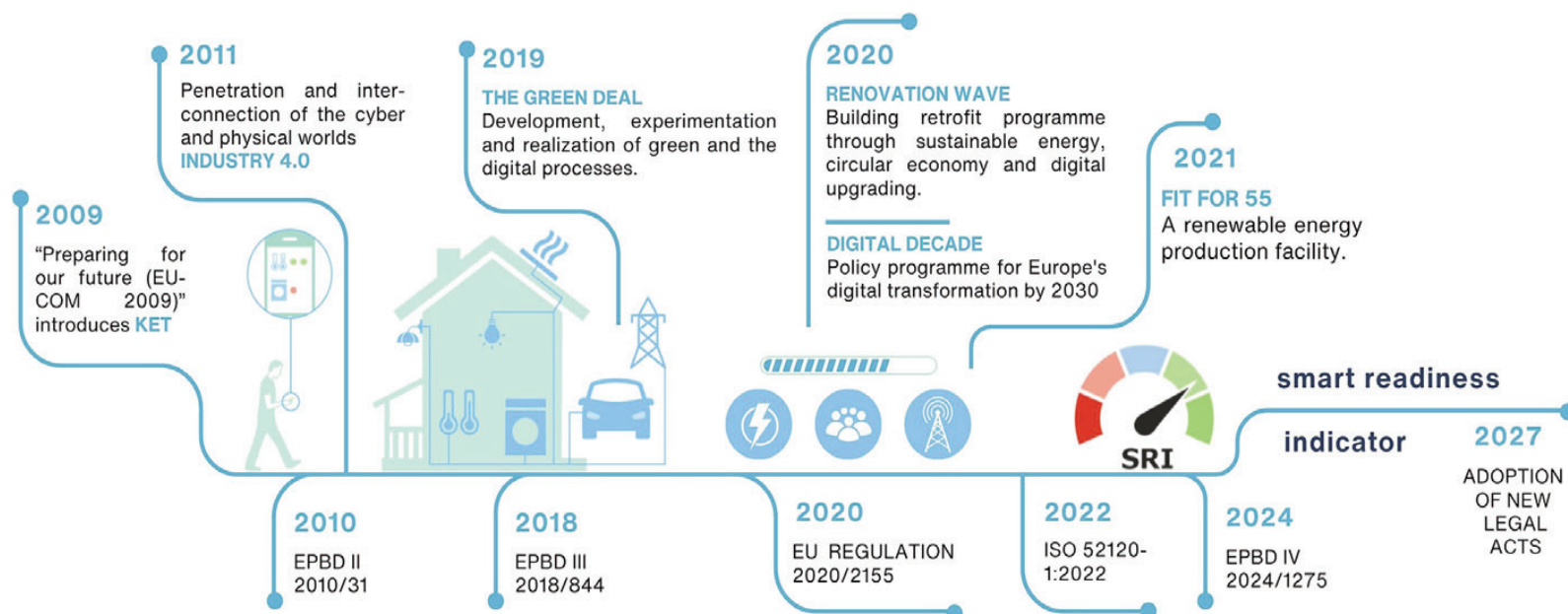
Recenti studi (Delavar, Borgentorp and Junnila, 2025) hanno confermato la potenzialità dello Smart Readiness Indicator come leva per innovare le politiche pubbliche in materia di interventi sul Patrimonio edilizio esistente. Ulteriori analisi condotte in contesti nordeuropei hanno dimostrato che, a pre-

scindere dalla futura obbligatorietà dell'indicatore, è fondamentale comprendere se le pratiche del mercato delle costruzioni siano in linea e coerenti con l'applicazione diffusa dell'indicatore (Aiutio et alii, 2024). Parallelamente lo Smart Readiness Indicator si sta affermando come strumento tecnico di diagnosi e di supporto decisionale per edifici a basse emissioni di carbonio, in quanto in grado di valutare la prontezza tecnologica e il livello di funzionalità di vari servizi intelligenti, contribuendo a soddisfare le esigenze degli utenti e a garantire la flessibilità energetica e il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico (Chatzikonstantinidis et alii, 2024). Tale prospettiva sistemica ha l'obiettivo di orientare, nell'ambito delle azioni di programmazione e gestione degli appalti pubblici, sia politiche che strategie di innovazione, sostenibilità e qualità ambientale per il settore delle costruzioni (Del Curto, Garzulino and Turrina, 2024).

Persistono tuttavia ostacoli significativi a tale applicazione, tra cui la difficoltà di accesso ai dati, la mancanza di benchmark, di indicatori standardizzati e di strumenti operativi comuni, a cui si aggiunge la frammentazione delle metodologie di valutazione sia dell'efficienza energetica che della smartness, per la quale sono stati proposti anche metodi di calcolo alternativi, per semplificare il processo di valutazione (Beras et alii, 2025).

Strumenti operativi e indicatori per valutare l'efficienza energetica e la smartness degli edifici: metriche e benchmark

Il progetto di ricerca nelle sue linee strategiche generali, coinvolge quattro Unità Operative (U.O.) afferenti ad altrettante sedi universitarie e nasce dall'esigenza di supportare la PA nella definizione di proprie politiche ambientali in ottica Life Cycle Thinking, colmando gli attuali gap attraverso la definizione di linee guida operative che introducono indicatori di sostenibilità nei processi decisionali. La ricerca si sviluppa lungo quattro assi tematici strategici, uno per ciascuna U.O., individuati a partire da uno studio critico delle traiettorie di sviluppo del PNR 2021-2027 e del PNRR, nonché dall'analisi delle correlate politiche europee: Decarbonizzazione (U.O. Genova); Circolarità delle risorse (U.O. Bologna); Metriche LCA (U.O. Milano); Digitalizzazione per la transizione green (U.O. Reg-



gio Calabria). Quest'ultimo asse si configura quale dispositivo trasversale e abilitante i processi e le connessioni tra strategie europee e politiche di attuazione locale, evidenziando la stretta relazione con l'SDG 9.

L'approccio delle diverse U.O. condivide tanto gli obiettivi quanto la metodologia: a) implementare con criteri basati sull'LCA le politiche orientate al miglioramento della sostenibilità, considerando tutte le categorie di impatto ambientale e tutte le fasi del ciclo vita; b) sviluppare strumenti semplificati, ma affidabili, basati su metodologie robuste; c) proporre Criteri Ambientali Minimi e benchmark / target di riferimento (da implementare nei CAM-GPP, protocolli, ecc.); d) formare i tecnici delle PA, tramite l'inserimento graduale nelle politiche ambientali degli indicatori LCA; e) mappare barriere e ostacoli (culturali, economici, normativi, ecc.), individuare potenzialità e testare la fattibilità delle proposte della ricerca; f) definire procedure di verifica che siano attuabili per i tecnici delle PA.

La metodologia generale si articola altresì in tre azioni principali: 1) analisi normativa multiscalar (studio critico della legislazione europea e nazionale finalizzata a mappare obiettivi, strumenti e vincoli); 2) indagine empirica nel contesto di riferimento sviluppata attraverso una serie di interviste a stakeholder pubblici appartenenti a diversi livelli istituzionali (Regione Lombardia e Comune di Milano; Regione Liguria; Regione Emilia-Romagna e Città di Bologna; Regione Calabria e Città Metropolitana di Reggio Calabria) che hanno permesso di verificare le criticità ricorrenti e la capacità (potenzialità e limiti) delle PA nell'adottare e integrare strumenti digitali e ambientali nelle proprie pratiche; 3) elaborazione di linee guida (un framework metodologico replicabile) capace di supportare le PA nella promozione di politiche ambientali coerenti con gli indirizzi europei e applicabili lungo l'intero ciclo vita delle opere pubbliche.

Le linee guida si articolano in quattro sezioni; l'insieme delle strategie individuate per ciascuna sezione si articola a sua volta in due macro-ambiti: azioni di indirizzo (a livello statale e istituzionale) e strategie operative (applicabili dalle stazioni appaltanti e dagli attori della filiera tecnica). Il risultato finale è un framework la cui architettura propone bench-

mark, indicatori, strumenti di monitoraggio e raccomandazioni per l'attuazione delle politiche pubbliche. La sua strutturazione ha tenuto altresì conto di alcune specifiche criticità: mancanza di criteri premiali e incentivi nei bandi di gara pubblici; assenza di un linguaggio comune tra indicatori tecnici e documentazione amministrativa; carenza di competenze tecniche per l'uso degli strumenti digitali.

Nell'ambito del contesto sopra delineato e coerentemente con gli obiettivi fissati dal progetto di ricerca, le azioni sviluppate dall'U.O. di Reggio Calabria sono state finalizzate all'introduzione dello Smart Readiness Indicator quale criterio e indicatore guida nelle fasi di programmazione, progettazione, realizzazione e gestione del Patrimonio edilizio pubblico. L'ambito di applicazione è l'ecosistema definito dalla nuova direttiva EPBD in tema di efficienza energetica e smartness, con particolare attenzione alla redazione dei già richiamati atti di programmazione previsti dal nuovo Codice degli Appalti – dal Quadro esigenziale al Documento di indirizzo alla progettazione – in un'ottica Life Cycle Thinking.

La metodologia proposta dall'U.O. di Reggio Calabria integra approcci di ricerca comparata e sperimentazione sul campo, attraverso: 1) applicazione dello SRI sulla base delle indicazioni fissate dalla EPBD, attraverso il calcolo tramite una checklist di smart services (da 27 a 54, in base alla complessità dell'edificio), valutati per livello di funzionalità e impatto (efficienza energetica, comfort degli utenti, flessibilità della domanda); 2) contestualizzazione di strumenti europei (Smart Readiness Indicator, Energy Performance Certificate digitale, Building Logbook, Digital Twin) per le PA; 3) mappatura delle possibilità di integrazione dello SRI e degli altri strumenti digitali nei documenti di programmazione e gestione; 4) definizione di criteri operativi e protocolli di verifica digitale a supporto del Responsabile Unico del Procedimento (RUP) e dei progettisti.

L'integrazione delle tecnologie IoT e BIM nel settore delle costruzioni consente di ottimizzare i processi costruttivi, migliorare l'efficienza e ridurre gli sprechi di risorse attraverso la gestione intelligente e il controllo automatizzato degli edifici (Tang et alii, 2019; Rangasamy and Yang, 2024). Parallelamente la transizione verso un'economia circolare del-

l'ambiente costruito, facilitata e supportata dall'integrazione con gli strumenti digitali, consente di ridurre il consumo di risorse, le emissioni e la produzione di rifiuti alimentando cluster di ricerca su componenti edilizi circolari, materiali da costruzione, progettazione per il disassemblaggio e progetti di riuso adattivo (Heisel and Rau-Oberhuber, 2020).

In questo contesto l'integrazione dello Smart Readiness Indicator è assunta all'interno di un più ampio processo di valutazione olistica delle prestazioni edilizie, in sinergia con altri parametri già introdotti a livello europeo – Renewable Energy Ratio (European Parliament and Council of the European Union, 2023b), Primary Energy Non-Renewable e Primary Energy Factors (Amann et alii, 2023); ciò consente un allineamento tra obiettivi europei, strumenti operativi e processi decisionali, trasformando lo Smart Readiness Indicator da elemento tecnico a dispositivo strategico di policy ambientale e digitale.

Linee guida a supporto dell'efficienza energetica e la smartness degli edifici: struttura, livelli di applicabilità e criteri premiali | L'U.O. di Reggio Calabria non si è limitata a testare singoli indicatori digitali, ma ha elaborato un quadro operativo più ampio, volto ad adattare e trasferire strumenti digitali europei alle procedure della PA. In particolare le azioni e le strategie verdi e digitali (DIG) non operano come ambiti isolati, ma si integrano trasversalmente con le altre tre dimensioni strategiche delle linee guida: circolarità delle risorse (CIR), decarbonizzazione (DEC) e valutazione LCA / LCC (Fig. 4).

La proposta dell'U.O. di Reggio Calabria si articola in azioni di indirizzo e strategie operative (DIG 1-11) progettate per differenti scale territoriali, che intervengono in ogni fase del ciclo, dalla pianificazione / policy alla gestione / fine vita (Figg. 5, 6). Le azioni di indirizzo (DIG) mirano a creare un quadro regolamentare e organizzativo che consente di rafforzare la tracciabilità dei processi (CIR), incrementare la trasparenza delle procedure di gara e favorire l'applicazione sistematica di criteri ambientali e la riduzione delle emissioni (DEC).

Ne costituiscono presupposto teorico e principi di riferimento: a) l'aggiornamento dell'ecosistema nazionale di e-procurement che prevede l'adeguamento del Fascicolo Virtuale dell'Operatore Econo-

mico includendo requisiti relativi alla digitalizzazione, alla sostenibilità (LCA/LCC), alla circolarità dei materiali e alla decarbonizzazione per rafforzare la trasparenza e la tracciabilità dei processi di gara; b) l'obbligatorietà dei CAM che introducono la transizione da CAM 'premianti' a 'obbligatori' per la progettazione edilizia, con particolare riferimento all'ottimizzazione delle soluzioni progettuali (LCA e LCC), al miglioramento delle prestazioni energetiche e all'adozione di sistemi di automazione e monitoraggio; c) il Capitolato Informativo BIM che prevede che le stazioni appaltanti includano all'interno dei Capitolati BIM requisiti specifici relativi ai quattro temi centrali (digitalizzazione, economia circolare, decarbonizzazione, LCA), favorendo la gestione intelligente dei dati e dei consumi; d) le competenze digitali nella PA che definiscono la necessità di rafforzare le competenze interne alle PA attraverso la formazione e l'introduzione di nuove figure professionali (BIM manager, esperti SRI), così da ridurre la dipendenza da consulenze esterne.

Le strategie operative consentono di trasferire i suddetti principi nella pratica, lungo l'intero iter processuale, introducendo strumenti digitali per la progettazione (BIM, IoT, BACS), la certificazione delle prestazioni (Smart Readiness Indicator) e la gestione del ciclo vita edilizio (Piani di manutenzione, monitoraggio dati), garantendo coerenza tra progettazione, esecuzione e gestione. In particolare le linee guida propongono:

- l'adozione dello Smartness che prevede che le PA definiscano Key Performance Indicator (KPI) per ogni tematica, integrandoli nei documenti di programmazione e nei modelli informativi digitali; gli obiettivi riguardano la riduzione dell'impatto ambientale (energia, FER, emissioni), il miglioramento del comfort e della qualità architettonica (dimensione sociale) e la gestione avanzata dei sistemi tramite BACS e BMS (dimensione di governance);
- l'inserimento di standard tecnici in fase di programmazione affinché i requisiti tecnici relativi allo SRI e ai CAM siano integrati fin dalla redazione del Documento di Indirizzo alla Progettazione e del Piano di Fattibilità Tecnico-Economica;
- l'adozione della Smartness nella fase di progettazione che sancisce il ruolo centrale del RUP nel verificare la coerenza tra requisiti e obiettivi e nel garantire che i criteri di smartness restino integrati lungo l'intero iter progettuale;

– l'adozione di componenti tecnologiche smart che prevede che il progettista e il direttore dei lavori dettagliano e integrino le tecnologie digitali da implementare, assicurando continuità tra progettazione ed esecuzione e la compatibilità fra queste e gli standard tecnici individuati secondo i criteri di impatto SRI;

– il calcolo e l'attestazione dello Smart Readiness Indicator che presuppone la figura di un certificatore esterno chiamato a calcolare, verificare e rilasciare l'attestazione del livello di smartness dell'edificio, garantendo trasparenza e validità ai processi di valutazione;

– la coerenza del Piano di Manutenzione con gli indicatori smartness, così da garantire che le prestazioni previste in fase progettuale si mantengano nel tempo;

– la gestione dei dati con la partecipazione, oltre del facility manager, anche dell'utente finale che partecipa al monitoraggio dei parametri di esercizio e alla condivisione dei dati, in conformità al GDPR, favorendo una gestione consapevole e partecipata delle prestazioni edilizie.

La elaborazione di questa sezione delle linee guida ha ampliato e integrato gli altri contributi sottolineando la natura multilivello e intersettoriale della digitalizzazione, sia come dispositivo normativo per la PA sia come strumento operativo per la filiera edilizia (Tab. 1). Il processo di allineamento e messa a sistema delle proposte per ciascuna dimensione strategica ha portato alla strutturazione di quadri sinottici relativi agli ambiti di azione riferiti alle diverse scale territoriali e all'edificio, suddiviso per fasi di intervento. La loro struttura consente di fornire un quadro complessivo alle PA rispetto all'intero processo e di seguire percorsi tematici rispetto alle singole strategie; a corredo del materiale è fornito alle PA uno schema di lettura rivolto agli operatori economici coinvolti in alcune azioni. Ogni proposta è dettagliata in una scheda di approfondimento che fornisce le indicazioni per renderla operativa e suggerisce buone prassi cui fare riferimento; le schede possono essere collettive o mono tematiche. Un esempio di scheda relativa alla strategia operativa 'Promozione della Smartness e relativi KPI' è riportato nella Tabella 2.

Conclusioni e indirizzi per l'introduzione dello Smart Readiness Indicator come dispositivo stra-

tegico | Il contributo ha affrontato il tema della transizione ecologica e digitale del Patrimonio edilizio pubblico, ponendo l'attenzione sulla necessità di superare la distanza tra quadro normativo europeo e attuazione concreta da parte delle PA (European Commission, 2019b, 2020b). In particolare si è evidenziato il ruolo strategico che strumenti come lo Smart Readiness Indicator, se integrati in maniera sistemica all'interno dei processi decisionali, programmatori e gestionali della PA, possono assumere sia nei processi connessi alla doppia transizione ecologica e digitale degli insediamenti urbani e del comparto edilizio sia nel raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione entro il 2050 (Ness, 2024; WEF, 2022; Ghodsian, 2025).

Partendo dal progetto PRIN 'Better Policy' e dall'elaborazione di un framework metodologico, che ha condotto alla redazione di linee guida operative da affiancare agli indicatori ambientali e digitali, il lavoro contribuisce al dibattito scientifico su smartness ed efficienza energetica offrendo uno strumento operativo concreto per la definizione di una nuova generazione di politiche pubbliche ambientali, in grado di introdurre criteri 'verdi e digitali' sin dalla fase di programmazione e poi in quelle di progettazione, realizzazione e gestione, in un'ottica di Life Cycle Thinking (Marzinger and Osterreicher, 2019; Fokaides, Panteli and Panayidou, 2020; Autio et alii, 2024).

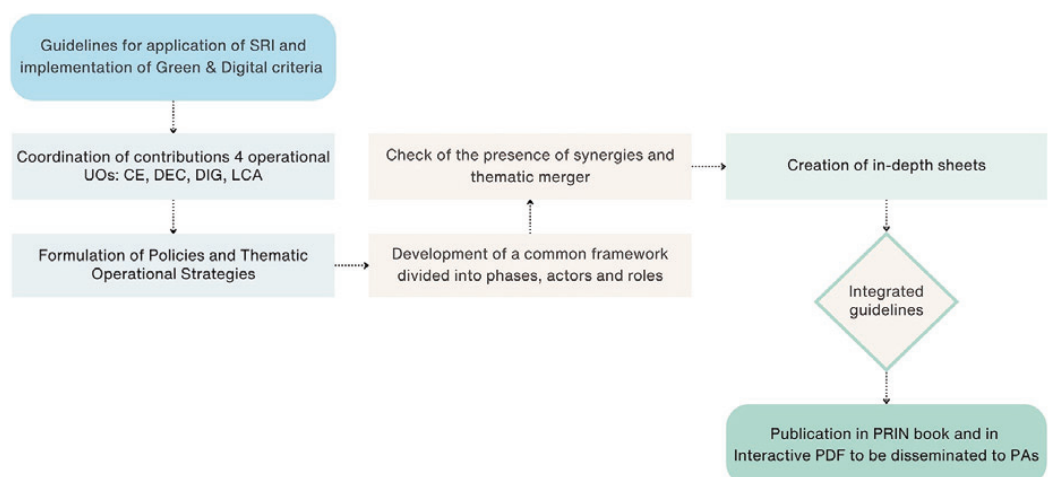
L'inclusione dello Smart Readiness Indicator tra i criteri guida nella redazione degli atti di programmazione previsti dal nuovo Codice degli Appalti costituisce infatti uno degli aspetti originali della struttura delle linee guida proposte, individuando per ciascuna fase proprie specificità operative: a) nella fase di programmazione si configura come elemento per definire scenari e alternative progettuali; b) nella fase di verifica e validazione diviene parametro di misurazione della prontezza digitale e dell'efficienza tecnica; c) nella fase di gestione è assunto come supporto per il monitoraggio continuo delle performance.

Una tale integrazione e capacità di interazione nelle diverse fasi, se correttamente strutturata, potrebbe effettivamente consentire nel medio-lungo termine un allineamento tra obiettivi europei, strumenti operativi e processi decisionali. Il framework proposto si allinea infatti con molteplici SDG dell'Agenda 2030, contribuendo non solo alla transi-



Fig. 3 | SDGs pursued by European Green Deal, Renovation Wave, Fit for 55, Digital Age: the objectives linked to the paper are highlighted (credit: G. M. La Face, 2025).

Fig. 4 | Shaping process of the guidelines integrated within the PRIN 'Better Policy' project (credit: G. M. La Face, 2025).



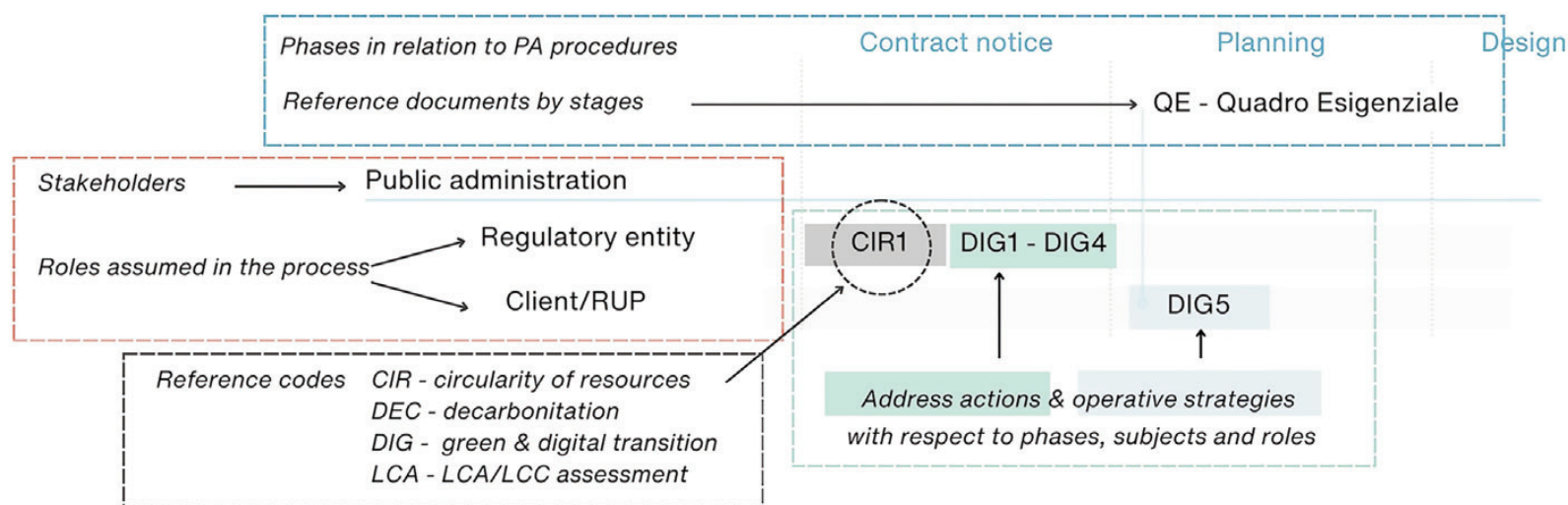


Fig. 5 | Diagram of the common framework composition for the guidelines (credit: G. M. La Face, 2025).

zione energetica (SDG 7) e alla lotta contro il cambiamento climatico (SDG 13), ma anche allo sviluppo di città e comunità sostenibili (SDG 11) e all'innovazione industriale e infrastrutturale (SDG 9), configurandosi come approccio olistico alla sostenibilità del Patrimonio costruito (UN-Habitat, 2020).

Al contempo la ricerca ha consentito di mettere in luce alcune importanti criticità connesse alla difficoltà di accesso ai dati, alla disomogeneità nella loro raccolta e gestione, alla mancanza di benchmark standardizzati e alla scarsa formazione tecnica all'interno delle PA. Queste criticità suggeriscono la necessità di rafforzare le competenze dei tecnici della PA, sia sul piano normativo che su quello gestionale, fornendo strumenti digitali, checklist di verifica, interoperabilità con modelli BIM e piattaforme open access, che possano essere integrati direttamente nei processi attuativi.

Si configurano tre diversi livelli di impatto della ricerca sul territorio: 1) normativo, con l'allineamento con l'EPBD 2024 che rende obbligatori gli Smart Readiness Indicator e Logbook digitali; 2) gestionale, attraverso la digitalizzazione come strumento di implementazione delle competenze per la PA, migliorando l'efficacia del RUP; 3) sistemico, grazie al digitale come livello trasversale e abilitante per circolarità delle risorse e decarbonizzazione, garantendo sinergia e coerenza di applicazione.

L'individuazione degli impatti consente di delineare alcune prospettive di sviluppo ed eventuali futuri avanzamenti della ricerca sul tema. Quattro sono le direttrici principali: 1) standardizzazione del framework, attraverso la definizione di template, schede tecniche e criteri premiali che possano essere effettivamente utilizzabili nei documenti di programmazione previsti dal Nuovo Codice degli Appalti; 2) scalabilità nazionale ed europea del modello DIG, con possibilità di adattamento in diversi contesti normativi e amministrativi; 3) integrazione degli strumenti digitali negli strumenti di spesa pubblica e nei meccanismi di monitoraggio; 4) formazione e implementazione delle competenze dei tecnici delle PA per l'uso degli strumenti digitali.

Parallelamente emerge la necessità di una fase di testing operativo delle linee guida su casi pilota con il coinvolgimento attivo delle PA e in tutte le fasi del ciclo vita edilizio, dalla programmazione alla gestione post-intervento, contribuendo così a ridurre i divari tra prescrizioni normative e pratica operati-

va. Il modello proposto, con le sue azioni operative, è infatti trasferibile, scalabile e replicabile in diversi contesti, fornendo un riferimento metodologico per future applicazioni a livello nazionale ed europeo. In questo senso la digitalizzazione non rappresenta un mero supporto tecnico, ma un vero e proprio dispositivo abilitante per l'efficacia delle politiche pubbliche in materia di decarbonizzazione e circolarità, garantendo e promuovendo coerenza tra strategie europee e attuazione locale.

The Ecological and Digital Transitions are key drivers of change in European public policies, especially in sectors with high energy use and environmental impact, like construction. The European building stock is mostly outdated and inefficient, responsible for about 50% of total energy consumption (IEA, 2021). Its renewal is essential for reaching the Net-Zero emissions target set for 2050. To achieve this, the European Union has established a comprehensive strategic framework based on the principle of Energy Efficiency First (European Parliament and Council of the European Union, 2018, 2023a), supported by measures such as the Green Deal (European Commission, 2019a), Renovation Wave Strategy (European Commission, 2020a), Digital Decade (European Commission, 2024), along with the Digital Compass programme (European Commission, 2021a), and Fit for 55 (European Commission, 2021b).

This framework aims to lead Member States towards a model of sustainable and resilient development characterised by inclusiveness, digital interoperability, and circularity. The combination of energy efficiency and smartness – meaning the ability of buildings to interact with their users and energy grids – is considered an operational model for transforming the stock in light of the twin ecological and digital transitions. Such a combined strategy seeks to emphasise the significance of smart buildings in achieving the 2050 decarbonisation targets. However, implementing this strategy also involves overcoming methodological and instrumental barriers that hinder its integration into local policies.

Many available operating tools – the Smart Readiness Indicator (SRI), the Energy Performance Certificate (EPC), the Building Logbook, and the Renovation Roadmap – offer significant opportunities.

However, they are still used on a voluntary and/or experimental basis today. Conversely, their integration into public policy implementation can help close the gaps between legal frameworks and operational practices.

The issues mentioned above have been addressed in the PRIN 2022 'Better Policy' project (Building Environmental Tools To Empower Responsive Policies Outreaching LifeCycle – Guidelines and protocols to enable Public Administrations-driven processes in the Italian construction sector). The main aim of the project was to investigate and propose solutions to reduce the methodological, legal and operational problems hindering the effective implementation of green and digital policies in the public sector. One of the project's specific objectives is to develop replicable, multilevel guidelines for Public Administrations (PAs) that can be directly applied across various local contexts.

The methodology aims to develop a framework (comprising guidelines) for the entire life-cycle of public works, drawing on multi-scale references to European legal standards, national experiments, and stakeholder surveys. The framework serves as a tool for integrating environmental and digital indicators across the Planning, Design, Runtime, and Management phases of the public building stock. It includes a system of benchmarks, an integrated assessment and monitoring framework, and operational procedures. Life Cycle Thinking guides the overall approach and aligns with both the European legal framework mentioned earlier and the national framework, primarily established by the new Procurement Code (Presidente della Repubblica, 2023).

Although the methodology used is effective and aligned with the project aims, some limitations can be observed. The evolving nature of European and national legal frameworks, the confrontational aspect of the process, and the limited number of case studies may affect the transferability of the results. At the same time, this presents an opportunity for further investigation, guiding future research towards framework validation through pilot applications and experimentation across varied administrative and climate contexts.

This approach aims to enhance PAs' ability to implement effective environmental policies by providing standardised, measurable tools, including assessment and monitoring procedures for public

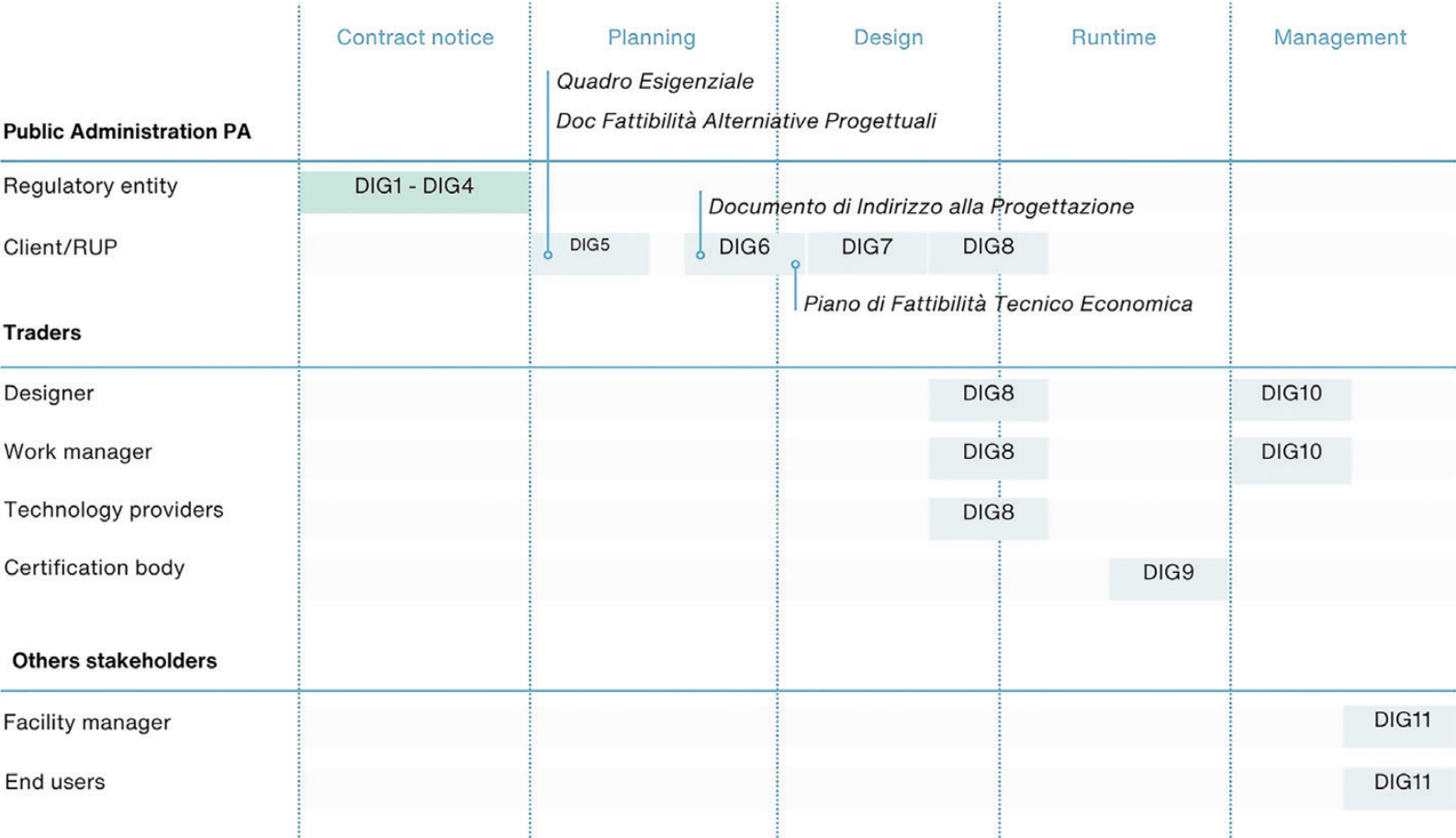


Fig. 6 | Guideline framework for green and digital transition and application of the Smart Readiness Indicator (credit: G. M. La Face, 2025).

works. This promotes consistency between European strategies and their implementation at local levels, making the public building stock a potential area for advanced experimentation. In this context, development opportunities include the potential use of the Smart Readiness Indicator as a tool to support the design and evaluation of public policies and to help build a decision-making system increasingly focused on green and digital transitions.

More specifically, the paper presents the results of Reggio Calabria's Operational Unit, which has created a dedicated section of the guidelines mentioned above by developing methods to apply the Smart Readiness Indicator across the planning, operation, and management processes of PAs' public interventions. The article details the results of the Reggio Calabria Operational Unit, which established a specific section of the guidelines, developing methodologies to incorporate the Smart Readiness Indicator, as introduced by the EPBD Directive 2024/1275 (European Parliament and Council of the European Union, 2024; Fig. 1), into the planning, design, and management processes of public authorities.

The Operational Unit, of which the authors are members, does not seek to introduce new indicators but rather to develop a framework for the experimental application of existing ones; transforming tools still in the voluntary testing phase – such as the Smart Readiness Indicator – into operational decision-making tools for public governance in building transformation. This approach helps bridge the gap between the theoretical aspects outlined in current European and national regulations on the subject and their practical implementation. Of particular importance is the proposed interaction between the

planning documents required by Annex I.7 of the Public Procurement Code – the Requirements Framework, the Design Alternatives Document, and the Design Brief – and the opportunity for public clients to incorporate specific actions and/ or guidelines. These can inform decisions during the subsequent design phase and in the construction and management stages, within a broader framework for implementing environmental policies focused on energy efficiency and smartness. In this context, the Smart Readiness Indicator stands out as a potentially robust 'ecological and digital' indicator.

Two levels of potential impact from the research can be observed: in the scientific and public governance fields. The latter involves three distinct levels: i) the legal level, concerning the evolution of regulatory mechanisms; ii) the management level, aiming to enhance the capabilities of PAs; and iii) the systematic level, examining the role of public buildings as spaces for testing green and digital strategies.

The framework's potential applications include adopting it as a replicable model for developing tools such as plans, specifications, and protocols that enable PAs to measure and gradually improve the smartness of the public building stock. This approach fosters decision-making processes grounded in quantifiable, interoperable evidence, building on the concepts already explored by the authors of this paper in previous studies (Azzalin, 2024; Lauria et alii, 2025). Additionally, it highlights the scalability of the operating model at both national and European levels, supported by existing tools and effective monitoring procedures. The creation of integrated guidelines and their incorporation into expenditure assessment systems constitute essential steps in the eco-

logical and digital transition, as well as the decarbonisation of the public building stock.

Ecological and digital transition in public environmental policies: combining energy efficiency and building smartness | Over the years, the European Commission has developed an ambitious legal framework to promote the twin ecological and digital transitions of European economic and productive systems. Regarding the relationship between energy efficiency and building smartness, from the first 2010 version to the fourth 2024 version, the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) introduces the Smart Readiness Indicator (SRI) as a benchmark for measuring a building's digital readiness.

The EPBD also connects the SRI to other operational tools such as Renovation Passports and Building Logbooks, creating an integrated ecosystem of data and digital monitoring. Under this framework, the goal of achieving climate neutrality by 2050 has led to integrated strategies, including Energy Efficiency First (European Parliament and Council of the European Union, 2018, 2023a), the Green Deal (European Commission, 2019a), the Fit for 55 (European Commission, 2021b), and the EPBD Recast (European Parliament and Council of the European Union, 2024), which updates minimum requirements for building energy performance in more rigorous terms (Fig. 2).

The Energy Efficiency First approach prioritises energy efficiency in Member States' planning and investment decisions, establishing it as a key strategy for achieving several of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs; UN, 2015). SDG 7 (Affordable and Clean Energy), along with SDG 13 (Climate

Action), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), and notably SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), highlight synergies and facilitate technology transfer. Meanwhile, the strategy proposed by the European Green Deal aims to have the European Union reach net-zero greenhouse gas emissions by 2050, thereby signalling the decoupling of economic growth from resource consumption (European Commission, 2020b; UNEP, 2022). However, realising these objectives largely depends on refurbishing the building stock, which is old and poorly performing, and currently accounts for 50% of total final energy consumption for heating and cooling.

In this scenario, the Renovation Wave Strategy (European Commission, 2020a) represents a turning point, significantly contributing, through its concrete implementation, to reducing greenhouse gas emissions linked to digitally-enabled sustainable transformation processes of the built heritage. Based on this strategy, the energy renovation of 35 million buildings and their transformation into efficient, intelligent assets is planned for the next decade.

Equally important is the Fit for 55 package (European Commission, 2021b), which, in promoting common standards to lower the carbon footprint, has guided the revision of the EPBD directive and the EPC, redefining energy efficiency standards for a zero-emission building stock by 2050 (European Parliament and Council of the European Union, 2024). Recent studies show that digital solutions can cut total emissions by up to 20% (WEF, 2022), recognising the integration of building automation systems, standardised according to UNI EN ISO 52120-1:2022 and the SRI, as a vital tool for optimising energy performance, integrating smart technologies, and enhancing building adaptability (Walczyk and Ozadowicz, 2025). Meanwhile, European regulations, especially the EPBD, which requires the gradual development of nearly zero-energy buildings, are clearly boosting the smart building market, which grew from approximately \$6.3 billion in 2024 to an expected \$7.5 billion in 2025, with forecasts reaching \$31 billion by 2033 (Ghodsian, 2025).

The European Union, employing tools such as the EPBD and the Green Taxonomy (European Parliament and Council of the European Union, 2020), along with related technical standards, is establishing an advanced regulatory framework to enhance

building quality, minimise environmental impact, and boost digital resilience. This approach also addresses the aims of SDG 11, striving to make human settlements and urban areas inclusive, safe, resilient, and sustainable (Fig. 3). A renewed, contemporary strategic outlook on environmental policies is emerging, with many European public bodies adopting these guidelines and translating them into increasingly rigorous action plans that incorporate ecological and digital priorities alongside energy efficiency.

In this context, the idea of smartness, represented by the Smart Readiness Indicator as its key operational tool, is playing a crucial role. It serves both as a measure of technical efficiency and as a catalyst for innovation within the construction industry. Introduced by the European Commission in 2020, the Smart Readiness Indicator is designed to assess the smart capabilities of buildings and facilitate their transition toward more intelligent and interconnected systems. This approach addresses energy efficiency, comfort, flexibility in use, and digital interoperability (European Commission, 2020c).

Unlike other certification tools, the Smart Readiness Indicator is a composite indicator that recognises active technologies, automated management systems, and connectivity solutions. Its use also promotes the integrated adoption of additional instruments such as the Energy Performance Certificate, updated with digital parameters, the Building Logbook, and the Renovation Roadmap. These are dynamic information management tools that enable more efficient and transparent data handling through digital technologies (Capozzoli et alii, 2024). However, despite these instruments having been formally defined at the European level for some time, many Member States still implement them on a voluntary, experimental basis. In Italy, this process is supported by the New Public Procurement Code, a legislative framework that guides the ongoing transformation and innovation within the construction sector.

Recent studies (Delavar, Borgentorp and Junnila, 2025) confirm the SRI's potential to innovate public policies on existing building interventions. Additional analyses in Northern Europe highlight the importance of understanding if construction market practices align with widespread SRI use, regardless of whether the indicator becomes mandatory in the future (Autio et alii, 2024).

Additionally, the Smart Readiness Indicator is establishing itself as a technical diagnostic and decision-support tool for low-carbon buildings, as it is capable of assessing technological readiness and the functionality level of various smart services, also contributing to meet user needs, ensuring energy flexibility, and achieving energy-saving objectives (Chatzikonstantinidis et alii, 2024). This systemic perspective aims to guide, within the context of public procurement planning and management, policies and strategies for innovation, sustainability, and environmental quality in the construction sector (Del Curto, Garzulino and Turrina, 2024).

Significant obstacles to such application persist, including difficulty in accessing data, lack of benchmarks, standardised indicators, and common operational tools, compounded by fragmentation of energy efficiency and intelligence assessment methodologies, for which alternative calculation methods have also been proposed to simplify the evaluation process (Beras et alii, 2025).

Operational tools and indicators for assessing the energy efficiency and smartness of buildings: metrics and benchmarks

The research project, in its general strategic framework, involves four Operational Units (O.U.s) located in as many universities and originates from the need to support Public Administrations in defining their environmental policies within a Life-Cycle Thinking approach, bridging current gaps through the definition of operational guidelines that introduce sustainability indicators into decision-making processes. The research develops along four strategic thematic axes, one for each O.U., identified through a critical review of the development trajectories of the Italian NRP 2021-2027 and the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), as well as an analysis of related European policies: Decarbonisation (O.U. Genoa); Resource Circularity (O.U. Bologna); LCA Metrics (O.U. Milan); Digitalisation for the Green Transition (O.U. Reggio Calabria). This latter axis takes the form of a transversal and enabling device for processes and connections between European strategies and local implementation policies, highlighting the close relationship with SDG 9.

The approach adopted by the different O.U.s shares both objectives and methodology: a) imple-

COD	Action	Phase	Implementing body and other stakeholders	Synergies
DIG1	Creation of specific skills in the field of digitalisation of procedures, BIM management and SRI calculation	long-term planning	Nation External expert (BIM for PA)	LCA, DEC, and CIR
DIG2	Mandatory CAM – Methodologies for optimising design solutions for sustainability (LCA and LCC) – Improved energy performance – Building automation, control and monitoring system	long-term planning	Nation Traders	LCA, DEC, and CIR
DIG3	Updating the National Digital Procurement Ecosystem (e-procurement) and the requirements in the Economic Operator Virtual File	long-term planning	Nation Traders	LCA, DEC, and CIR
DIG4	Promotion of the Smartness strategic objective with related key performance indicator (SRI) and preparation of technical data to be included in the digital model	contract notice planning	Region Metropolitan City Union of Municipalities Municipality	LCA, DEC, and CIR (indicators)
DIG5	Integration and detail of technologies (IoT, BACS) to be used at runtime	planning runtime	Designer Works Manager	

Tab. 1 | Extract of the Operating Unit contribution on the smartness issues and synergies with other issues (credit: the Authors, 2025).

DIG Promotion of strategic objectives in the QE and DOC.FAP reference documents	
Phase	Planning
Implementing body	Metropolitan City
Description	The Public Administration defines the general objectives of the intervention (KPI criteria and key performance indicators), the qualitative and quantitative requirements; it provides for the integration of data into information models in accordance with the provisions of the Requirements Framework attached as Annex I.7, SECTION I, Articles 1.1a and 2 respectively.
Operational guidelines	1) Promotion of Smartness and related SRI KPI, inclusion of the following criteria: a) ENVIRONMENTAL – Reduced primary energy consumption – Installation of RES systems relevant to the RES building-production – Airborne pollutant reduction – Energy-environmental certification protocols b) SOCIAL – Cultural value / Architectural quality – Increased well-being and comfort – Thermal comfort – Increased well-being and comfort – Improvement of the conditions of use and use of work spaces c) MANAGEMENT (Governance following ESG principles) – Building Automations and Control System (BACS) – Building Management System (BMS) – Energy Management System (EMS) 2) Activation and promotion of training courses 3) Invitations to tender aimed at hiring professionals with such skills 4) Preparation of cards to be included in the DOCFAP that include the identified indicators, specifically the SRI: a) indicator compilation sheet b) indicator evaluation threshold sheet
Good practice	The State Property Agency, Calabria Regional Directorate, has prepared a feasibility document for the DOC.FAP design alternatives relating to the construction of the new Catanzaro Fire Brigade headquarters, including a sustainability assessment based on the principles of Environment / Social / Governance, a parameter linked to the Building Automation and Control System (BACS). Technical data sheets are also attached, such as the Compilation of Indicators and the Evaluation of Indicator Thresholds, in order to define and determine the aforementioned KPIs in the PFTE, final design and executive design phases.

ment policies aimed at improving sustainability based on life-cycle assessment (LCA) criteria, considering all categories of environmental impact and all life-cycle phases; b) develop simplified yet reliable tools based on robust methodologies; c) propose Minimum Environmental Criteria and benchmark / reference targets (to be implemented in CAM-GPP, protocols, etc.); d) train Public Administration technicians through the gradual integration of LCA indicators into environmental policies; e) map barriers and obstacles (cultural, economic, regulatory, etc.), identify opportunities, and test the feasibility of the research proposals; f) define verification procedures that are feasible for PA technicians.

The general methodology is articulated into three main actions: 1) multi-scale regulatory analysis (critical study of European and national legislation, aimed at mapping objectives, tools, and constraints); 2) empirical investigation within the reference context, developed through a series of interviews with public stakeholders at different institutional levels (Lombardy Region and City of Milan; Liguria Region; Emilia-Romagna Region and City of Bologna; Calabria Region and Metropolitan City of Reggio Calabria), which made it possible to verify recurring criticalities and the capacity (potential and limitations) of Public Administrations to adopt and integrate digital and environmental tools into their practices; 3) development of guidelines (a replicable methodological framework) capable of supporting Public Administra-

tions in promoting environmental policies consistent with European directives and applicable throughout the life-cycle of public works. The guidelines are divided into four sections, and the set of strategies identified for each section is further articulated into two macro-areas: strategic guidance actions (at the state and institutional levels) and operational strategies (applicable by contracting authorities and technical supply-chain stakeholders). The result is a framework that provides benchmarks, indicators, monitoring tools, and recommendations for implementing public policies. Its structure also takes into account specific critical issues: the lack of reward criteria and incentives in public tenders; the absence of a common language between technical indicators and administrative documentation; and the lack of technical skills for using digital tools.

Within this context and in line with the objectives of the research project, the actions developed by the O.U. of Reggio Calabria aimed to introduce the Smart Readiness Indicator as a guiding criterion and indicator across the planning, design, implementation, and management phases of the public building stock. The scope of application is the ecosystem defined by the new EPBD directive on energy efficiency and smartness, with particular attention to the drafting of the aforementioned planning acts required by the new Public Procurement Code, from the Requirements Framework to the Design Guidance Document, within a Life-Cycle Thinking per-

Tab. 2 | Example of a model picture for digitalisation strategic objectives (credit: the Authors, 2025).

spective. The methodology proposed by the O.U. of Reggio Calabria integrates comparative research and field experimentation through: 1) application of the SRI based on EPBD guidelines, calculating it through a checklist of smart services (from 27 to 54, depending on the complexity of the building), assessed by level of functionality and impact (energy efficiency, user comfort, demand-side flexibility); 2) contextualisation of European tools (Smart Readiness Indicator, digital Energy Performance Certificate, Building Logbook, Digital Twin) for Public Administrations; 3) mapping the possibilities for integrating the SRI and other digital tools into planning and management documents; 4) defining operational criteria and digital verification protocols to support the Project Manager (RUP) and designers.

The integration of IoT and BIM technologies in the construction sector enables the optimisation of construction processes, improvement of efficiency, and reduction of resource waste through intelligent building management and automated control (Tang et alii, 2019; Rangasamy and Yang, 2024). At the same time, the transition toward a circular built environment, facilitated and supported by digital tools, reduces resource consumption, emissions, and waste production, fostering research clusters on circular building components, construction materials, design for disassembly, and adaptive reuse projects (Heisel and Rau-Oberhuber, 2020). In this context, the integration of the Smart Readiness Indicator is

embedded within a broader holistic evaluation of building performance, in synergy with other parameters already introduced at the European level – Renewable Energy Ratio (European Parliament and Council of the European Union, 2023b), Primary Energy Non-Renewable, and Primary Energy Factors (Amann et alii, 2023); this allows alignment between European objectives, operational tools, and decision-making processes, transforming the Smart Readiness Indicator from a technical element into a strategic environmental and digital policy instrument.

Guidelines to support the energy efficiency and smartness of buildings: structure, applicability levels, and reward criteria | The Operational Unit (O.U.) of Reggio Calabria has not limited itself to testing individual digital indicators; rather, it has developed a broader operational framework aimed at adapting and transferring European digital tools to Public Administration procedures. In particular, the green and digital actions and strategies (DIG) do not operate as isolated fields but integrate transversally with the other three strategic dimensions of the guidelines: resource circularity (CIR), decarbonisation (DEC), and LCA/LCC assessment (Fig. 4).

The proposal of the O.U. of Reggio Calabria is articulated into guidance actions and operational strategies (DIG 1-11) designed for different territorial scales, intervening in every phase of the cycle, from planning / policy to management / end-of-life (Figg. 5, 6). The guidance actions (DIG) aim to establish a regulatory and organisational framework that strengthens process traceability (CIR), increases transparency in procurement procedures, and promotes the systematic adoption of environmental and emission-reduction criteria (DEC).

Their theoretical premises and guiding principles include: a) Updating the national e-procurement ecosystem, envisaging the adaptation of the Virtual Register of Economic Operators to include requirements related to digitalisation, sustainability (LCA/LCC), material circularity, and decarbonisation; this will strengthen transparency and traceability of procurement processes; b) The mandatory nature of Minimum Environmental Criteria (CAM), transitioning from 'reward-based' to 'mandatory' CAM for building design, with specific reference to the optimisation of design solutions (LCA and LCC), improvement of energy performance, and adoption of automation and monitoring systems; c) The BIM Information Specifications, requiring contracting authorities to include within BIM Specifications specific requirements concerning the four core themes (digitalisation, circular economy, decarbonisation, LCA), thus supporting smart data and consumption management; d) Digital skills in Public Administration, highlighting the need to strengthen internal competencies through training and the introduction of new professional figures (BIM manager, SRI specialist), reducing reliance on external consultancy.

The operational strategies enable the translation of these principles into practice throughout the entire process, introducing digital tools for design (BIM, IoT, BACS), performance certification (Smart Readiness Indicator), and life-cycle management (maintenance plans, data monitoring), ensuring consistency between design, execution, and management. Specifically, the guidelines propose:

– Adoption of Smartness, which requires Public Administrations to define Key Performance Indicators

(KPIs) for each theme, incorporating them into programming documents and digital information models; the objectives include reducing environmental impact (energy, RES, emissions), enhancing comfort and architectural quality (social dimension), and improving system management through BACS and BMS (governance dimension);

– Inclusion of technical standards and CAM in the programming phase, stipulating that technical requirements related to the SRI and CAM be incorporated from the drafting of the Design Brief and the Technical-Economic Feasibility Plan;

– Adoption of Smartness in the design phase, which emphasises the critical role of the Single Procurement Officer in verifying coherence between requirements and objectives, and ensuring that smartness criteria remain integrated throughout the entire design process;

– Implementation of smart technological components, requiring the designer and works director to specify and incorporate the digital technologies to be applied, maintaining consistency between design and construction, and ensuring compatibility with the technical standards identified according to SRI impact criteria;

– Calculation and certification of the Smart Readiness Indicator, involving an external certifier responsible for calculating, verifying, and issuing certification of the building's smartness level, ensuring transparency and integrity in assessment procedures;

– Coherence of the Maintenance Plan, which must be developed in alignment with smartness indicators to guarantee that the performance levels set out during the design phase are sustained over time;

– Data management involving not only the facility manager but also the end user, who participates in monitoring operational parameters and data sharing, in compliance with GDPR, promoting conscious and participatory building management.

This section of the guidelines has expanded and incorporated other contributions, highlighting the multilevel and intersectoral character of digitalisation, both as a regulatory instrument for Public Administration and as an operational tool for the construction supply chain (Tab. 1). The process of aligning and systematising proposals for each strategic dimension has resulted in the development of synoptic frameworks related to action domains across different territorial scales, including the building sector, and organised by intervention phases.

Their structure allows for a comprehensive framework to be provided to Public Administrations covering the entire process, or for thematic pathways to be followed for individual strategies. Accompanying the material is a reading guide designed for Public Administrations aimed at economic operators involved in specific actions. Each proposal is detailed in an in-depth fact sheet that offers guidance on how to implement it and references to best practices; these fact sheets can be either collective or mono-thematic. An example of a fact sheet related to the operational strategy 'Promotion of Smartness and related KPIs' is shown in Table 2.

Conclusions and guidelines for introducing the Smart Readiness Indicator as a strategic tool

This paper examined the ecological and digital transition of public building stock, emphasising the need to bridge the gap between the European regulatory framework and its practical implementation by the European Commission (2019b, 2020b). Specifical-

ly, it has underscored the strategic importance of existing tools, such as the Smart Readiness Indicator, when systematically incorporated into PA decision-making, programming and management processes. This integration is crucial for both the dual ecological and digital transformation of urban settlements and the building sector, as well as for achieving decarbonisation targets by 2050 (Ness, 2024; WEF, 2022; Ghodsian, 2025).

Building upon the PRIN 'Better Policy' project and the development of a methodological framework that resulted in operational guidelines to supplement environmental and digital indicators, this work advances the scholarly discussion on smartness and energy efficiency. It provides a practical operational tool for defining a new wave of public environmental policies that incorporate 'green and digital' criteria from the programming stage through to design, construction, and management, all within a Life Cycle Thinking approach (Marzinger and Osterreicher, 2019; Fokaides, Panteli and Panayidou, 2020; Autio et alii, 2024).

The inclusion of the SRI among guiding criteria in drafting the programming documents required by the new Public Procurement Code indeed constitutes one of the original aspects of the proposed guidelines structure, identifying specific operational characteristics for each phase: a) in the programming phase it is configured as an element for defining scenarios and design alternatives; b) in the verification and validation phase it becomes a parameter for measuring digital readiness and technical efficiency; c) in the management phase it is adopted as support for continuous performance monitoring.

This integration and capacity for interaction across different phases, if correctly structured, could effectively enable, in the medium to long term, alignment between European objectives, operational tools and decision-making processes. The proposed framework is indeed aligned with multiple SDGs of the 2030 Agenda, contributing not only to energy transition (SDG 7) and climate action (SDG 13), but also to the development of sustainable cities and communities (SDG 11), and the promotion of infrastructural innovation (SDG 9), configuring itself as a holistic approach to built heritage sustainability (UN-Habitat, 2020).

Simultaneously, the work has highlighted several critical issues, including difficulty in accessing data, heterogeneity in their collection and management, a lack of standardised benchmarks, and insufficient technical training within PAs. These issues underline the need to enhance the PA technicians' skills in regulatory and management areas by providing digital tools, verification checklists, interoperability with BIM models, and open-access platforms that can be directly integrated into implementation processes.

There are three levels of research impact on the territory: 1) regulatory, aligned with EPBD 2024, which mandates Smart Readiness Indicators and digital Logbooks; 2) managerial, via digitalisation as a means of developing competencies within PAS and improving the effectiveness of Single Procurement Officers; 3) systemic, with digital technology acting as a transversal and enabling layer for resource circularity and decarbonisation, promoting synergy and coherence in application.

The identification of impacts enables the delineation of specific development prospects and potential future research advances on the topic. There

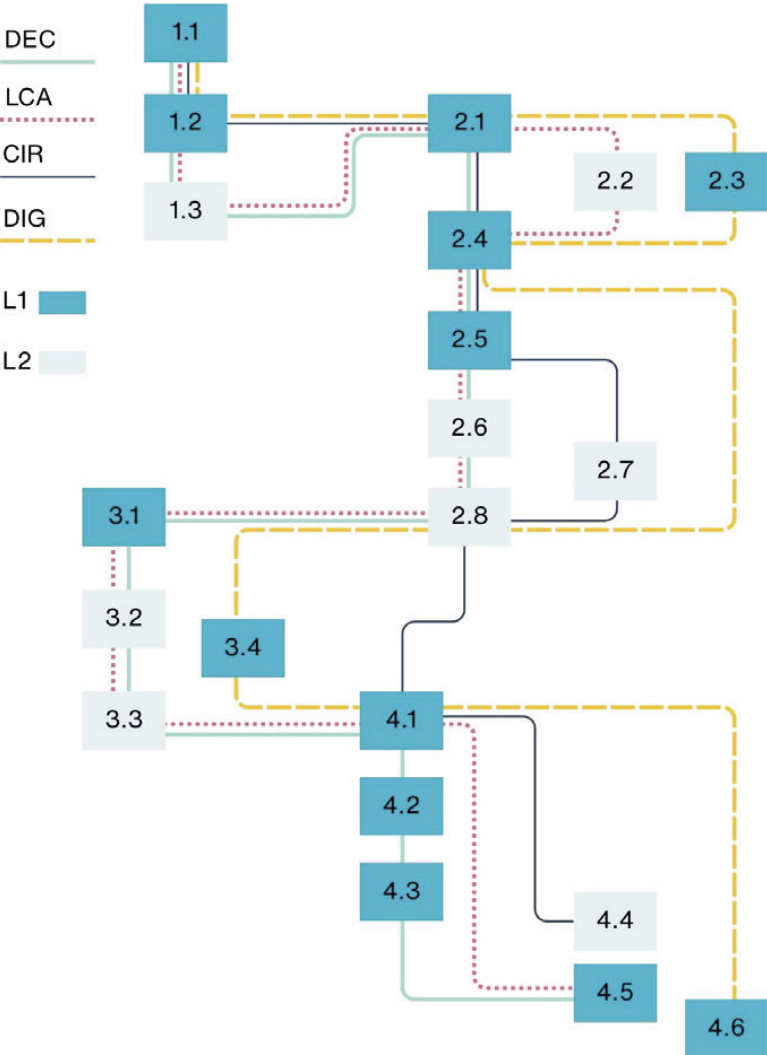


Fig. 7 | Reading map of the strategic guidance actions section of the guidelines, in relation to the thematic axes and action priority, level 1 or 2 (credit: G. M. La Face, 2025).

are four main directions: 1) standardisation of the framework, through the definition of templates, technical fact sheets, and reward criteria that can be effectively utilised in the programming documents required by the New Public Procurement Code; 2) national and European scalability of the DIG model, with the possibility of adaptation in different regulatory and administrative contexts; 3) integration of digital tools into public expenditure instruments and monitoring mechanisms; 4) training and enhance-

ment of PA technicians' competencies for using digital tools. In parallel, there is a need for an operational testing phase of the guidelines on pilot cases, with active involvement of PA across all stages of the building life cycle: from programming to post-intervention management. This would help reduce the gap between regulatory prescriptions and operational practice. The proposed model, with its operational actions, is indeed transferable, scalable, and replica-

Acknowledgements

This paper is the result of a shared reflection among the Authors, all of whom are involved in the PRIN 2022 'Better Policy' research project, with different roles and responsibilities. Nevertheless, it is acknowledged that M. Lauria curated the methodological structure of the paper, the introduction, and its supervision; M. Azzalin curated the writing of the entire paper and the sections 'Operational tools and indicators for assessing the energy efficiency and smartness of buildings: metrics and benchmarks' and 'Conclusions and guidelines for introducing the Smart Readiness Indicator as a strategic tool'; F. Giglio curated the section 'Ecological and digital transition in public environmental policies: combining energy efficiency and building smartness' as well as the related update of the ref-

erences; M. G. La Face developed, in the section 'Guidelines to support the energy efficiency and smartness of buildings: structure, applicability levels, and reward criteria', the proposed guidelines, developed by all research participants, and curated the iconographic apparatus of the entire paper. This work forms an integral part of the PRIN 2022 research project 'Better Policy' – Building Environmental Tools To Empower Responsive Policies Outreaching LifeCYcle (2023-2025), funded under the European Union – NextGeneration EU, PRIN 2022, Ministry of Universities and Research; MUR: 2022PZ5MWJ_002 – CUP: J53D23009470006. The project involves four research units: University of Genoa, Department of Architecture and Design (DAD); Politecnico di Milano, ABC Department – Architecture, Built Environment and Construction Engineering; University of Bologna, Department of Ar-

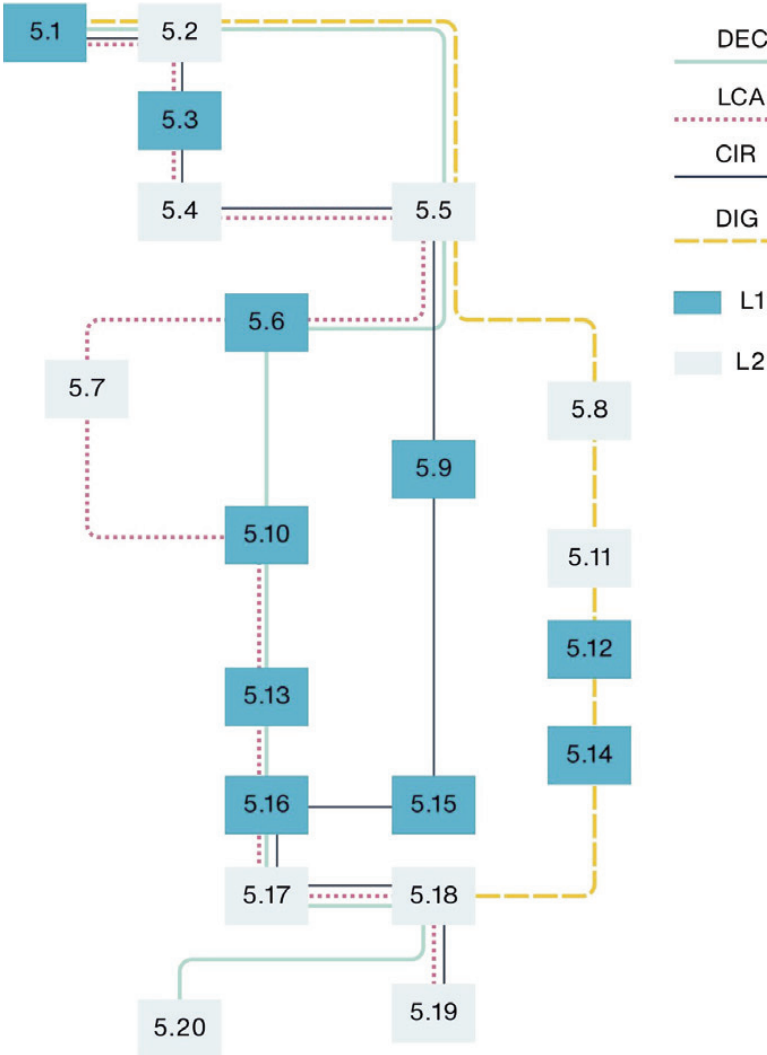


Fig. 8 | Reading map of the operational strategies section of the guidelines, in relation to the thematic axes and action priority, level 1 or 2 (credit: G. M. La Face, 2025).

ble in different contexts, providing a methodological reference for future applications at both national and European levels. In this sense, digitalisation does not merely serve as technical support but also functions as an enabling device for the effectiveness of public policies on decarbonisation and circularity, ensuring and promoting coherence between European strategies and local implementation.

chitecture (DA); 'Mediterranea' University of Reggio Calabria, Department of Civil, Energy, Environmental and Materials Engineering (DICEAM).

References

Amann, C., Torres, P., Boldizsar, G., Hofer, G., Stumpf, W., Leutgob, K. and van Nuffel, L. (2023), *Support to primary energy factors review (PEF) – Final report*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2833/404077 [Accessed 30 September 2025].
Autio, P., Borgentorp, E., Pulkka, L. and Junnila, S. (2024), "Smart Readiness Indicator: Ready for Business? Evidence from a Northern EU Country", in *Buildings*, vol. 14, issue 11,

article 3638, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings14113638 [Accessed 30 September 2025].

Azzalin, M. (2024), "Indicatore smart readiness per l'edilizia – Asset digitali per la transizione energetica | Smart readiness for buildings – Digital asset for energy transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 148-159. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15112024 [Accessed 30 September 2025].

Beras, M., Brezocnik, M., Zuperl, U. and Kovacic, M. (2025), "Developing an Alternative Calculation Method for the Smart Readiness Indicator Based on Genetic Programming and Linear Regression", in *Buildings*, vol. 15, issue 10, article 1675, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings15101675 [Accessed 30 September 2025].

Capozzoli, A., Piscitelli, M. S., Maggiali, M. and Pavan, A. (2024), *Smart Building – La digitalizzazione per il Net Zero*, Green Building Council Italia, Milano. [Online] Available at: gbcitalia.org/public_documents/GBCItalia_PositionPaper_BACS-BEMS_WEB.pdf [Accessed 30 September 2025].

Chatzikonstantinidis, K., Giama, E., Fokaides, P. A. and Papadopoulos, A. M. (2024), "Smart Readiness Indicator (SRI) as a Decision-Making Tool for Low Carbon Buildings", in *Energies*, vol. 17, issue 6, article 1406, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en17061406 [Accessed 30 September 2025].

Del Curto, D., Garzulino, A. and Turrina, A. (2024), "Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 114-123. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1582024 [Accessed 30 September 2025].

Delavar, T., Borgentorp, E. and Junnila, S. (2025), "The Smart Buildings Revolution – A Comprehensive Review of the Smart Readiness Indicator Literature", in *Applied Sciences*, vol. 15, issue 4, article 1808, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app15041808 [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2024), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – State of the Digital Decade 2024*, document 52024DC0260, COM/2024/260 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52024DC0260# [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2021a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 2030 Digital Compass – the European way for the Digital Decade*, document 52021DC0118, COM/2021/118 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021DC0118 [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2021b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Fit for 55 – Delivering the EU's 2030 climate target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, COM/2021/550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021DC0550 [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020DC0662, COM/2020/662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2020b), *Reflection Paper Towards a Sustainable Europe by 2030*, document 52019DC0022, COM/2019/22 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52019DC0022 [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2020c), *Commission Delegated Regulation (EU) 2020/2155 of 14 October 2020 supplementing Directive (EU) 2010/31/EU of the European Parliament*

and of the Council by establishing an optional common European Union scheme for rating the smart readiness of buildings

, document 32020R2155, C/2020/6930. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/2155/oj [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2019a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, COM/2019/640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52019DC0640 [Accessed 30 September 2025].

European Commission (2019b), *Urban Agenda for the EU – Multi-level governance in action*. [Online] Available at: ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/brochures/2019/urban-agenda-for-the-eu-multi-level-governance-in-action [Accessed 30 September 2025].

European Parliament and Council of the European Union (2024), *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast)*, document 32024L1275. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj [Accessed 30 September 2025].

European Parliament and Council of the European Union (2023a), *Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)*, document 32023L1791. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj [Accessed 30 September 2025].

European Parliament and Council of the European Union (2023b), *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, document 32023L2413. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj [Accessed 30 September 2025].

European Parliament and Council of the European Union (2020), *Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088*, document 32020R0852. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj [Accessed 30 September 2025].

European Parliament and Council of the European Union (2018), *Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council*, document 32018R1999. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32018R1999 [Accessed 30 September 2025].

Fokaides, P. A., Panteli, C. and Panayidou, A. (2020), "How Are the Smart Readiness Indicators Expected to Affect the Energy Performance of Buildings – First Evidence and Perspectives", in *Sustainability*, vol. 12, issue 22, article 9496, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12229496 [Accessed 30 September 2025].

Ghodsian, N. (2025), "Top 7 IoT Building Automation Trends Transforming Smart Buildings", in *neuroject*, 08/04/2025. [Online] Available at: neuroject.com/iot-building-automation/ [Accessed 30 September 2025].

Heisel, F. and Rau-Oberhuber, S. (2020), "Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 243, article 118482, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118482 [Accessed 30 September 2025].

IEA – International Energy Agency (2021), *Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector*. [Online] Available at: iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmap

fortheGlobalEnergySector_CORR.pdf [Accessed 30 September 2025].

Lauria, M., Azzalin, M., Giglio, F. and La Face, G. M. (2025), "Responsive Public Policies for Smart and Sustainable Buildings – An Experimental Application of the Smart Readiness Indicator", in *Buildings*, vol. 15, issue 12, article 2002, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings15122002 [Accessed 30 September 2025].

Marzinger, T. and Osterreicher, D. (2019), "Supporting the Smart Readiness Indicator – A Methodology to Integrate a Quantitative Assessment of the Load Shifting Potential of Smart Buildings", in *Energies*, vol. 12, issue 10, article 1955, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en12101955 [Accessed 30 September 2025].

Ness, D. (2024), "La decarbonizzazione degli edifici sarà sufficiente? Limitare e ridistribuire l'aumento di superficie costruita | Will decarbonising buildings be enough? Constrain and redistribute growth in floor area", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 84-97. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1562024 [Accessed 30 September 2025].

Presidente della Repubblica (2023), "Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36 – Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici (23G00044), entrata in vigore del provvedimento 01/04/2023 (Ultimo aggiornamento all'atto pubblicato il 09/09/2025)", in *Gazzetta Ufficiale*, n. 77 del 31/03/2023 – Suppl. Ordinario n. 12. [Online] Available at: normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2023;036 [Accessed 30 September 2025].

Rangasamy, V. and Yang, J.-B. (2024), "The convergence of BIM, AI and IoT – Reshaping the future of prefabricated construction", in *Journal of Building Engineering*, vol. 84, article 108606, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108606 [Accessed 30 September 2025].

Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P. and Gao, X. (2019), "A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration – Present status and future trends", in *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 127-139. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2019.101020 [Accessed 30 September 2025].

UNEP – United Nations Environment Program (2022), *Adaptation Gap Report 2022 – Too little, too slow – Climate adaptation failure puts world at risk*. [Online] Available at: unep.org/resources/adaptation-gap-report-2022 [Accessed 30 September 2025].

UN – United Nations (2015), *Transforming Our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 30 September 2025].

UN-Habitat (2020), *World Cities Report 2020 – The Value of Sustainable Urbanization*, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. [Online] Available at: unhabitat.org/world-cities-report-2020-the-value-of-sustainable-urbanization [Accessed 30 September 2025].

UNI EN ISO 52120-1:2022, *Energy performance of buildings – Contribution of building automation, controls and building management – Part 1 – General framework and procedures*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-iso-52120-1-2022 [Accessed 30 September 2025].

Walczyk, G. and Ozadowicz, A. (2025), "Moving Forward in Effective Deployment of the Smart Readiness Indicator and the ISO 52120 Standard to Improve Energy Performance with Building Automation and Control Systems", in *Energies*, vol. 18, issue 5, article 1241, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en18051241 [Accessed 30 September 2025].

WEF – World Economic Forum (2022), "Digital solutions can reduce global emissions by up to 20% – Here's how", in *weforum*, 23/05/2022. [Online] Available at: weforum.org/agenda/2022/05/how-digital-solutions-can-reduce-global-emissions [Accessed 30 September 2025].