

# Processo progettuale generativo: valutazione multi-criteriale e approccio multidisciplinare

RICERCA E  
SPERIMENTAZIONE/  
RESEARCH AND  
EXPERIMENTATION

Adolfo F.L. Baratta, Fabrizio Finucci, Antonio Magarò,  
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre, Italia

adolfo.baratta@uniroma3.it  
fabrizio.finucci@uniroma3.it  
antonio.magarò@uniroma3.it

**Abstract.** Il paper riporta i risultati di una sperimentazione, svoltasi nel Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre, che si propone di integrare un metodo multi-criteriale nel processo progettuale generativo di *refitting*, al fine di implementare una procedura di valutazione della sostenibilità in senso olistico. Il *Decision Support System* che ne deriva, si configura, per il decisore che debba valutare una multi-prestazione di un sistema complesso attraverso opzioni di controllo alternative, come una procedura che promuove la multidisciplinarietà nel processo progettuale, mediante integrazione orizzontale delle competenze dei soggetti coinvolti nel processo e verticale relativamente all'inclusione di ulteriori specialismi.

**Parole chiave:** Progetto generativo; Valutazione multi-criteriale; Processo decisionale multidisciplinare; Decision support systems; Processo progettuale.

## Processo progettuale generativo

Il paper espone gli esiti di una ricerca pluriennale, confluita all'interno di un Dottorato di

Ricerca condotto in parte presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre e in parte presso l'*Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen* della RWTH University di Aachen, finalizzata all'integrazione di uno strumento di valutazione multi-criteriale all'interno del processo progettuale generativo (PPG).

Il PPG approfitta di quei progressi informatici che hanno consentito a un nuovo settore di ricerca di rivoluzionare la pratica progettuale lineare, ovvero quella comune, mediante principi di progettazione computazionale generativa. Sebbene tutte corrette, le definizioni di PPG sono tanto onnicomprensive quanto vaghe (Caetano *et al.*, 2020) rappresentando, di fatto, l'approccio al progetto più vicino a quello umano (non lineare).

Nonostante il carattere di innovazione intrinseco, gli albori del

## Generative design process: multi-criteria evaluation and multidisciplinary approach

**Abstract.** The paper shows the results of an applied research carried out at the Department of Architecture, Roma Tre University, to integrate a multi-criteria method in the generative design process of envelope refitting with the aim of implementing a holistic evaluation of sustainability. The resulting Decision Support System is created for the decision-maker who has to assess the multiple performance aspects of a complex system by considering alternative options. It is a procedure that promotes multi-disciplinarity in the generative design process via horizontal integration of the skills of subjects involved in the process, besides vertical integration in relation to the inclusion of further specialisms.

**Keywords:** Generative Design; Multi-criteria evaluation; Multidisciplinary decision-making process; Decision support systems; Design process.

PPG sono contestuali all'introduzione del *Computer-Aided Design* (CAD). Negli anni Novanta, era possibile individuare due filoni di ricerca relativi all'informatica nella progettazione architettonica: la produzione di geometrie rappresentative degli oggetti progettati e la rappresentazione della conoscenza degli oggetti, quale sintesi di processo (Gero, 1994). Quest'ultimo ambito apre all'approccio generativo nel processo progettuale introducendo un elevato grado di complessità grazie alla gestione di innumerevoli parametri mediante algoritmi informatici: agire su di essi, in qualsiasi fase del processo progettuale, genera dei riflessi sull'intero progetto, senza interventi manuali. In definitiva, nel PPG vi è la possibilità di controllare *in itinere* gli elementi che concorrono alla qualità degli esiti, trasformando il processo progettuale da statico-lineare a dinamico-non lineare. Il PPG prescinde dalla "forma" prediligendo la "formazione" dell'oggetto progettato con lo scopo di arrivare, anziché al manufatto, alla logica che lo sottende (Leach, 2009).

Il PPG non è una novità recente: è possibile rintracciarne le radici nella produzione di Leonardo o nel metodo proposto da Durand in *Précis des leçons d'architecture* nei primi dell'Ottocento (Hanna and Barber, 2001). Si possono considerare approcci generativi quelli di Louis Sullivan, nella descrizione dei processi per il disegno di ornamenti, attraverso forme geometriche, così come nei 5 punti di Le Corbusier (El-Khaldi, 2007). I primi computer avevano portato l'uomo sulla luna da meno di un decennio quando Eisenmann scriveva «*the house is not an object in traditional sense – that is the end result of a process – but, more accurately, a record of a process*» (Eisenmann, 1977).

I sistemi informatici nel PPG sfruttano modelli matematici per

## Generative design process

The paper presents the results of a three-year study merged into a PhD research conducted partly at the Department of Architecture, Roma Tre University, and partly at the Institute of Sustainability in Civil Engineering, RWTH University, Aachen, aimed at integrating a multi-criteria evaluation tool within the Generative Design Process (GDP).

The GDP takes advantage of the progress in ICT that has enabled a new field of research leading to a revolution in linear design practice (the common one) through principles of generative computational design. Although all GDP definitions are correct, they are as all-encompassing as they are vague (Caetano *et al.*, 2020). However, it is the most human (non-linear) approach to the project.

Despite the intrinsic character of in-

novation, the beginnings of GDP are contextual to the introduction of Computer-Aided Design (CAD). In the nineties, two research lines relating to information technology could be identified in architectural design, namely the production of representative geometries of the designed objects, and the representation of knowledge of the objects as a synthesis of the process (Gero, 1994).

The latter field makes use of computer algorithms to adopt a generative approach in the design process by introducing a high degree of complexity that is not only formal, thanks to the management of potentially countless parameters. Acting on these computer algorithms at any phase of the design process has an impact on the entire project, without requiring a manual intervention. Finally, the GDP offers the possibility of checking the elements

descrivere le interazioni morfologiche traducendole in modelli tridimensionali collegati a strutture complesse di dati. Pertanto, è possibile prestabilire sia le interdipendenze tra gli oggetti sia il loro comportamento attraverso le trasformazioni frutto della manipolazione di un numero di parametri potenzialmente infinito. La primogenitura dell'aggettivo "parametrico", trasferito dalle scienze matematiche, è ancora oggetto di dibattito. In architettura è attribuito a Luigi Moretti, che vedeva l'Architettura Parametrica come finalizzata a «definire le relazioni tra le variabili dipendenti al variare di una serie di parametri» (Moretti, 1971). Noto è il suo progetto per uno stadio in cui la morfologia dell'invaso deriva dalla variazione di 99 differenti parametri, dal costo del calcestruzzo armato al miglior angolo di visuale.

Secondo Stavrić e Ognen (2010), i sistemi di progettazione parametrica si classificano in:

- sistemi concettuali, che esplicitano una serie di parametri, anziché morfologie, per arrivare a differenti versioni dello stesso oggetto;
- sistemi costruttivi, in cui durante la progettazione si arricchisce un modello dell'oggetto progettato con una serie di parametri la cui variazione si ripercuote sulle scelte effettuate e successive.

Da tale distinzione discendono logiche e strumenti per quadri esigenziali differenti: mentre i software *Non-Uniform B-Spline* (NURBS) sono sistemi di progettazione concettuali, i *Building Information Modelling* (BIM) sono sistemi di progettazione costruttivi.

In entrambi i casi, la possibilità di gestire una mole di dati complessi, insieme alla non linearità, consente di introdurre nel PPG procedure di valutazione, finalizzate al controllo della qualità degli esiti, anche in direzione della sostenibilità.

that contribute to the quality of *in itinere* results, transforming the design process from static-linear to dynamic-non-linear. The GDP disregards the "shape", preferring the "shaping" of the object designed with the aim of reaching the underlying logic, rather than the artifact (Leach, 2009).

The GDP is not recent. Its roots can be found in Leonardo's production, or in the method proposed by Durand in *Précis des leçons d'architecture* in the early nineteenth century (Hanna and Barber, 2001). Sullivan's approaches can be considered generative in the description of processes for the design of ornaments through geometric shapes, as well as in Le Corbusier's 5 points (El-Khaldi, 2007). The first computers had taken man to the moon for less than a decade when Eisenmann wrote «the house is not an object in the traditional sense – that is the end result of

a process – but, more accurately, a record of a process» (Eisenmann, 1977). Computer systems in GDP use mathematical models to describe morphological interactions by translating them into three-dimensional models linked to complex data structures. Hence, it is possible to predetermine both the interdependencies between objects and their behavior through the transformations resulting from the manipulation of a potentially infinite number of parameters. The birthright of the adjective "parametric", transferred from the mathematical sciences, is still the subject of debate. In architecture, it is attributed to Luigi Moretti, who wrote that Parametric Architecture was aimed at «defining the relationships between dependent variables after the modification of a series of parameters» (Moretti, 1971). His project for a stadium in which the

## Approccio olistico alla sostenibilità

Lo sviluppo sostenibile, inteso come processo di cambiamento in cui si rendono coerenti investimenti, tecnologie e sfruttamento delle risorse con le esigenze attuali e future, viene esplicitato nella normativa italiana vent'anni dopo *Our Common Future*. Appare prioritaria l'esigenza di trovare un equilibrio, nell'ambito delle risorse ereditate, tra quelle da usare e quelle da trasmettere, in un'ottica di solidarietà e miglioramento della qualità della vita. Affinché tale esigenza sia soddisfatta, è necessario considerare la sostenibilità nella sua accezione olistica. Si ravvedono tre dimensioni che concorrono alla definizione di sostenibilità:

- sostenibilità ambientale. Con l'obiettivo di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse, essa è una condizione di equilibrio dinamico che consente di soddisfare le esigenze umane senza superare la capacità degli ecosistemi sfruttati, puntando alla rigenerazione (Morelli, 2011);
- sostenibilità sociale. Volta a garantire il benessere attraverso l'equilibrio di sicurezza, salute, istruzione, partecipazione, etc., si realizza quando i processi, le strutture e le relazioni sociali supportano attivamente la capacità delle attuali e future generazioni di creare ambienti sani e vivibili per le comunità (McKenzie, 2004);
- sostenibilità economica. Intesa come la capacità di generare incremento di valore, essa richiede che le attività economiche dell'uomo non gravino in maniera sproporzionata sulle generazioni future (Foy, 1990);

Ciascuna di queste definizioni apre a una multidisciplinarietà del processo progettuale, ampliandone l'integrazione e favorendo l'introduzione di ulteriori specialismi.

morphology of the reservoir derives from the variation of 99 parameters, from the cost of reinforced concrete to the best viewing angle, is well known. According to Stavrić and Ognen (2010), parametric design systems are classified into:

- conceptual systems, which explain a series of parameters, rather than morphologies, to reach different versions of the same object;
- construction systems in which, during the design process, a model of the designed object is enriched with a series of parameters, whose variation affects the choices made and subsequent ones.

This distinction generates logical trends and tools for frameworks presenting different needs. While Non-Uniform B-Spline (NURBS) software are conceptual design systems, Building Information Modeling (BIM) tools

are construction design systems. In both cases, the possibility of managing a large amount of complex data, together with a non-linear process, allows to add evaluation procedures to the GDP, aimed at controlling the quality of the results, also in terms of sustainability.

### Holistic approach to sustainability

Sustainable development, a process of change in which investments, technologies and exploitation of resources are made consistent with current and future needs, is explicitly regulated by Italian legislation<sup>1</sup> twenty years after *Our Common Future* report. The need to find a balance, within the inherited resources, between those to be used and those to be transmitted, appears to be a priority with a solidarity approach that improves the quality of life. In order to meet this need, sustainabil-

Il fatto che lo sviluppo sostenibile discenda da una molteplicità di fattori ha stimolato i ricercatori a sviluppare metodologie per la definizione del corretto equilibrio tra le dimensioni della sostenibilità. Esse sono condensate nel *planning triangle* (Campbell, 1996), che le identifica come obiettivi conflittuali tra i quali ricercare l'equilibrio (Fig. 1).

Questo porta il progettista verso un approccio multidimensionale, alla ricerca di più punti di preferibilità fra combinazioni alternative, suggerendo l'impiego di procedure di valutazione multi-criteriali, in grado di razionalizzare la scelta.

**Cenni di valutazione multi-criteriale**

Più note con la terminologia anglosassone *Multiple Criteria Decision Making (MCDM)*, le valutazioni multi-criteriali impiegano modelli matematici con lo scopo di elaborare contemporaneamente dati quantitativi e qualitativi, superando il concetto di alternativa progettuale perfetta, a vantaggio della pluralità di obiettivi e della diversa qualità dei dati in ingresso. Pertanto, le MCDM concordano con il PPG, in cui è insita la molteplicità di alternative possibili e in cui vi è l'esigenza di affinare i processi di scelta *in itinere*, con lo scopo di raggiungere il livello qualitativo più alto. Se il PPG permette di ampliare la multidisciplinarietà, i MCDM consentono l'implementazione di procedure inclusive di tutti gli *stakeholders* nel processo progettuale: progettisti, verificatori, *Public Procurement*, ecc.

La letteratura classifica differenti famiglie di MCDM, tuttavia, alcuni principi le accomunano:

- scomposizione del problema di scelta in criteri di valutazione, in genere conflittuali, attraverso i quali valutare le alternative;

ity must be considered in its holistic meaning. Three dimensions contribute to the definition of sustainability:

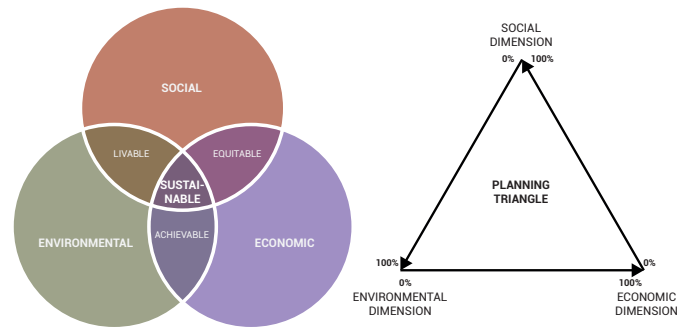
- environmental sustainability - with the aim of maintaining the quality and reproducibility of resources, it is a condition of dynamic equilibrium that allows us to meet human needs without exceeding the capacity of the exploited ecosystems, aiming for regeneration (Morelli, 2011);
- social sustainability - aimed at guaranteeing well-being through a balance of safety, health, education, participation, etc., it takes place when processes, structures and social relationships actively support the ability of current and future generations to create healthy and livable environments for the community (McKenzie, 2004);
- economic sustainability - understood as the ability to generate an

increase in value, it requires economic activities not to burden future generations disproportionately (Foy, 1990).

Each of these definitions opens to a multidisciplinary approach of the design process, favoring the introduction of further specialisms and increasingly integrating the design process.

The fact that sustainable development derives from a multiplicity of factors has stimulated researchers to develop methodologies studied to define the correct balance between the dimensions of sustainability. They are condensed into the planning triangle (Campbell, 1996), which identifies them as conflicting objectives among which balance should be sought (Fig. 1).

This guides the designer towards a multidimensional approach, looking for more points of preference between alternative combinations, suggesting



- sintesi del problema in una matrice di valutazione di ordine  $m \times n$  (alternative  $\times$  criteri) in cui il generico elemento  $a_{ij}$  esprime la prestazione dell'alternativa  $A_i$  rispetto al criterio  $C_j$ ;
- normalizzazione dei dati di prestazione, affinché le qualità dei criteri risultino comparabili;
- pesatura dei criteri, ovvero, associazione di una misura dell'importanza relativa che assumono nel processo di scelta.

Secondo questi presupposti, ogni problema multi-criteriale può essere così formulato: se  $A = (A_i \text{ con } i = 1, 2, \dots, m)$  è un insieme finito di alternative,  $C = (C_j \text{ con } j = 1, 2, \dots, n)$  è un insieme finito di criteri e  $W = (w_j \text{ con } j = 1, 2, \dots, n)$  è l'insieme finito dei pesi, allora il problema consiste nel determinare la migliore alternativa  $A^* \in A$  che possieda la migliore rispondenza globale ai criteri di  $C$  rilevata associando i pesi a ciascuna prestazione (Zimmermann, 1996).

Le famiglie di metodi di valutazione multi-criteriale possono essere classificate, in base alla tipologia di dati di input, in:

- deterministici, in cui i criteri assumono valori fissi e forniscono risultati fissi, pur tenendo conto entro certi limiti della possibile variabilità per effetto del caso;
- stocastici, in cui i criteri possono assumere valori variabili in maniera causale o meno che forniscono risultati in termini di probabilità;

the use of multi-criteria evaluation procedures capable of rationalizing the choice.

**Core elements of multi-criteria evaluations**

Better known as Multiple Criteria Decision Making (MCDM), multi-criteria evaluations employ mathematical models with the aim of simultaneously processing quantitative and qualitative data, overcoming the concept of perfect design alternative to the advantage of the plurality of objectives and the different quality of incoming data. Hence, MCDM agrees with the GDP, which presents an inherent multiplicity of possible alternatives, and a need to refine the ongoing processes of choice with the aim of reaching the highest quality standards. If the GDP allows to expand multi-disciplinarity, the MCDM envisages implementa-

tion of inclusive procedures to involve all stakeholders in the design process, precisely designers, verifiers, Public Procurement, etc.

The literature sees a multiplicity of MCDM families; however, they have some principles in common:

- decomposition of the choice problem into generally conflicting evaluation criteria through which to evaluate the alternatives;
- synthesis of the problem in an evaluation matrix of  $m \times n$  (alternatives  $\times$  criteria), in which the generic element  $a_{ij}$  expresses the performance of alternative  $A_i$  compared to the criterion  $C_j$ ;
- normalization of performance data to ensure comparable criteria;
- weighing of the criteria, that is, association of a measure of the relative importance they assume in the choice process.

- *fuzzy*, dall'inglese "sfocato", in cui è possibile gestire le imprecisioni dei dati in ingresso, poiché è permesso considerare valori relativi e non solo assoluti.

Con lo scopo di dimostrare l'integrabilità di un MCDM all'interno del PPG, la ricerca ha proposto l'applicazione nel processo di scelta di differenti alternative di *retrofitting* di un involucro.

### Applicazione dell'approccio generativo alla valutazione della sostenibilità

Nel processo progettuale aperto, integrato e multidisciplinare, la combinazione fra le diverse figure coinvolte in un PPG e le possibilità offerte dai MCDM, permette la costruzione di una procedura di valutazione della sostenibilità olistica. Al fine di verificarne i passaggi operativi (Magarò, 2020), nel corso della ricerca sono state progettate due alternative di involucro da sottoporre a valutazione: l'alternativa 01, a umido, impiega laterizio e calcestruzzo mentre l'alternativa 02, a secco, impiega pannelli di legno a strati incrociati. Tali alternative di involucro sono composte da elementi tecnici quali solaio contro-terra, chiusure verticali e copertura, ciascuno dei quali viene fatto variare in corrispondenza delle prestazioni richieste in tre differenti zone climatiche (Fig. 2). Si è immaginato quindi che la porzione di involucro, sempre esposta a sud, con orizzonte libero, sia localizzata a Palermo (zona A, B), Roma (zona D) e Trento (zona F). A partire da questi presupposti sono state progettate 18 stratigrafie, ovvero 3 coppie alternative di elementi tecnici per 3 zone climatiche. Seguendo i principi di coerenza tecnologica, esse compongono 3 coppie alternative di involucro (Fig. 3). Nell'ambito della ricerca, al fine di operare una valutazione di sostenibilità, i criteri per la MCDM sono le sue tre dimensioni,

According to these assumptions, every multi-criteria problem can be formulated as follows. If  $A = (A_i$  with  $i = 1, 2, \dots, m)$  is a finite set of alternatives,  $C = (C_j$  with  $j = 1, 2, \dots, n)$  is a finite set of criteria and  $W = (w_j$  with  $j = 1, 2, \dots, n)$  is the finite set of weights, then the problem consists in determining the best alternative  $A^* \in A$  presenting the best global correspondence to the criteria of  $C$  detected by associating the weights to each performance (Zimmermann, 1996).

Based on the type of input data, the families of multi-criteria evaluation methods can be classified as:

- deterministic, in which the criteria assume fixed values and provide fixed results, while considering, within certain limits, the possible variability due to chance;
- stochastic, in which the criteria can assume variable values either in a

causal way or at random, providing results in terms of probability;

- *fuzzy*, in which, unlike the previous ones, the inaccuracies of input data can be managed, since relative and not just absolute values can be considered.

With the aim of demonstrating that an MCDM can be integrated within the GDP, the research proposed its application in the process of choosing different alternatives for envelope retrofitting.

Applying the generative approach to the evaluation of sustainability

In the open, integrated, and multidisciplinary design process, the combination of the different figures involved in a GDP and the possibilities offered by MCDMs allow the construction of a holistic sustainability evaluation procedure. To verify the operational

### Applying the generative approach to the evaluation of sustainability

In the open, integrated, and multidisciplinary design process, the combination of the different figures involved in a GDP and the possibilities offered by MCDMs allow the construction of a holistic sustainability evaluation procedure. To verify the operational

ovvero ambientale, sociale e tecnico-economica.

Per ciascuno dei criteri individuati sono stati selezionati 7 sotto-criteri (Tab. 1).

Per quanto riguarda i sotto-criteri ambientali, si è deciso di utilizzare alcuni parametri relativi alle emissioni e al consumo di risorse, cardine delle analisi *Life Cycle Thinking* (LCT). In base ai dati dimensionali sulle stratificazioni alternative, si è deciso di campionare i dati di prestazione ambientale estrapolandoli dalle

code	description		
SC_D_01	Roof slab in steel		
Thermal transmittance	0,282	W/m²K	
Periodic thermal transmittance	0,12	W/m²K	
Surface mass	305	kg/m²	
Phase displacement	8,67	ore	

code	description		
SC_D_02	Roof slab in laminated timber wood		
Thermal transmittance	0,270	W/m²K	
Periodic thermal transmittance	0,02	W/m²K	
Surface mass	285	kg/m²	
Phase displacement	-8,39	ore	

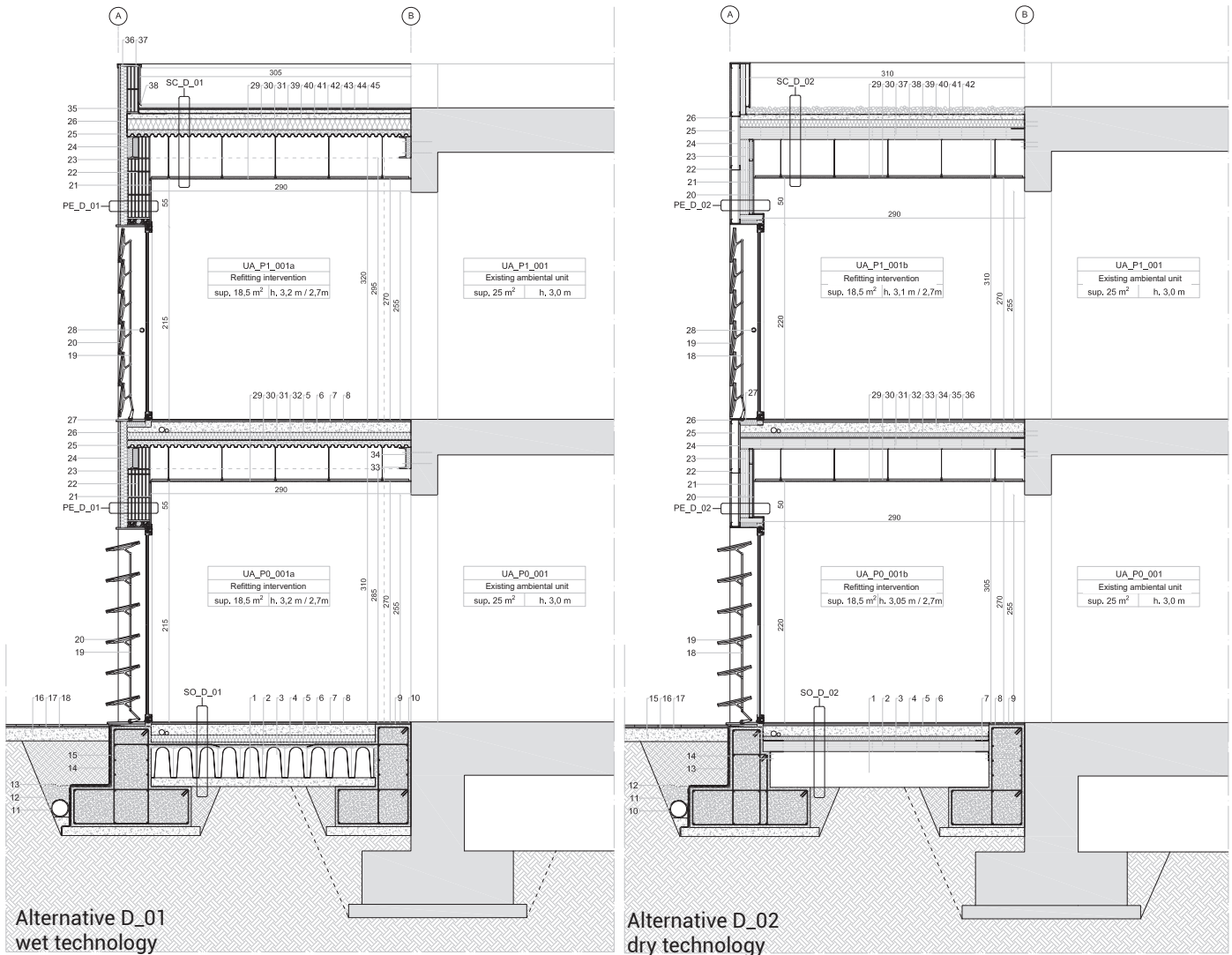
code	description		
PE_D_01	Clay brick wall with external insulation		
Thermal transmittance	0,354	W/m²K	
Periodic thermal transmittance	0,06	W/m²K	
Surface mass	256	kg/m²	
Phase displacement	10,59	ore	

code	description		
PE_D_02	Wall in laminated timber wood		
Thermal transmittance	0,357	W/m²K	
Periodic thermal transmittance	0,09	W/m²K	
Surface mass	78	kg/m²	
Phase displacement	8,34	ore	

code	description		
SO_D_01	Ground slab on disposal formworks		
Thermal transmittance	0,350	W/m²K	
Periodic thermal transmittance	0,04	W/m²K	
Surface mass	402	kg/m²	
Phase displacement	-10,08	ore	

code	description		
SO_D_02	Ground slab in laminated timber wood		
Thermal transmittance	0,345	W/m²K	
Periodic thermal transmittance	0,04	W/m²K	
Surface mass	217	kg/m²	
Phase displacement	-9,96	ore	





steps (Magarò, 2020), two envelope alternatives were designed for evaluation, precisely the wet alternative 01 that uses brick and concrete, while the dry alternative 02 uses panels in cross-laminated timber. These envelope alternatives are made up of technical elements, such as ground slab, vertical enclosures and roofing, each of which is made to vary according to the performance required in three different climatic zones (Fig. 2). It is, therefore, assumed that the portion of the envelope, always facing south with a clear horizon, is in Palermo (zone A, B), in Rome (zone D) and in Trento (zone F). Starting from these assumptions, 18 stratigraphies were designed, including 3 alternative pairs of technical elements for 3 climatic zones. Following the principles of technological coherence, they make up 3 alternative pairs of envelopes (Fig. 3).

In the research framework, in order to evaluate sustainability, the criteria for MCDM are its three dimensions, namely environmental, social and technical-economic. Seven sub-criteria were selected for each of the identified criteria (Tab. 1). As regards the environmental sub-criteria, according to the Life Cycle Approach, it was decided to use some parameters relating to emissions and consumption of resources, the cornerstone of the Life Cycle Assessment (LCA). Based on the dimensional data on alternative stratifications, it was decided to sample the environmental performance data by extrapolating them either from type III product labeling (ISO 14025: 2006) or from Environmental Product Declarations (EPD). Strongly based on the LCA methodology, they are drawn up following

Product Category Rules, which make it possible to compare products. Nine European databases were thus consulted, selecting more than 100 EPDs. A summary was extracted from each of them using specially designed datasheets (Fig. 4). Having discarded some anomalous values, the data was compared by material by calculating the average value, subsequently related to the dimensional parameters of the functional layer (density and/or thickness). As for the social sub-criteria, specifying that the selection depends on the multidisciplinary nature of the evaluators (Public Administration, designer, verifier, etc.), the problem addressed by the research is related to the impossibility of measuring actual social performance for ideal interventions. In fact, the measure of social benefits should take place through the collec-

tion of data, using scientifically drafted questionnaires to be administered *ex-ante* and/or *ex-post*. Since this was not feasible, a software was programmed to provide reliable and yet contrasting data, limiting the accentuated distances considered anomalous. From a methodological point of view, it was decided to target the measurement scales by choosing, for the various sub-criteria, scales with equivalent ratios, avoiding dichotomous scales capable of radicalizing the results of the evaluation. Finally, the definition of a technical-economic criterion underlines the intention to measure a relationship between the monetary dimension of the cost and technological performance in order to overcome the mere information of the lowest price. The research thus focused on thermal<sup>2</sup> performance, evaluating it with a software widely

Tab. 01 | Criteri e sotto-criteri selezionati per la valutazione  
Criteria and sub-criteria selected for evaluation

Codice	Sotto-criteri ambientali	Codice	Sotto-criteri sociali	Codice	Sotto-criteri tecnico-economici
Amb01	GWP-Global Warming Potential	Soc01	Variazioni nella sicurezza personale	Teco01	Trasmittanza Termica
Amb02	ODP-Ozone Depletion Potential	Soc02	Variazioni nella coesione sociale	Teco02	Trasmittanza Termica Periodica
Amb03	AP-Acidification Potential	Soc03	Densificazione del tessuto	Teco03	Massa superficiale
Amb04	EP-Eutrophication Potential	Soc04	Incremento della Partecipazione	Teco04	Sfasamento
Amb05	POCP-Photochemical Ozone Creation Potential	Soc05	Variazioni della sicurezza generale	Teco05	Costo di costruzione
Amb06	ADPE-Abiotic Depletion Potential Elements	Soc06	Incremento di servizi alla persona	Teco06	Costo di manutenzione attualizzato all'anno 0
Amb07	ADPF-Abiotic Depletion Potential Fossil	Soc07	Incremento dei servizi di livello urbano	Teco07	Risparmi sulla spesa per l'energia durante la vita utile

Tab. 01

etichettature di prodotto di tipo III (ISO 14025:2006) ovvero le *Environmental Product Declarations* (EPD).

Fortemente improntate alla metodologia LCT, sono redatte a seguito di *Product Category Rules*, che rendono possibile il confronto tra prodotti. Allo scopo sono stati consultati 9 database europei, selezionando più di 100 EPD: da ciascuno di essi è stata estratta una sintesi utilizzando dei *datasheet* appositamente progettati (Fig. 4). Eliminati alcuni valori anomali, i dati sono stati confrontati per materiale calcolandone il valore medio, successivamente rapportato ai parametri dimensionali dello strato funzionale (densità e/o spessore).

Per quanto riguarda i sotto-criteri sociali, precisando che la selezione è dipendente dalla multidisciplinarietà dei valutatori, la problematica affrontata nella ricerca è relativa all'impossibilità di misurare una prestazione sociale reale, relativa a interventi ideali. Infatti, la rilevazione della prestazione sociale dovrebbe avvenire attraverso la raccolta di dati, utilizzando questionari scientificamente redatti, da somministrare *ex-ante* e/o *ex-post*. Nell'impossibilità, si è provveduto a programmare un software in grado di fornire dei dati attendibili, tra di loro in contrasto, limando le distanze accentuate considerate anomale. Dal punto

di vista metodologico si è preferito operare sulle scale di misurazione scegliendo, per i diversi sotto-criteri, delle scale a rapporti equivalenti, evitando scale dicotomiche, in grado di radicalizzare il giudizio.

Infine, la definizione di un criterio tecnico-economico sottolinea l'intenzione di misurare un rapporto fra la dimensione monetaria del costo e la prestazione tecnologica, al fine di superare la mera informazione del prezzo più basso. Pertanto, la ricerca si è concentrata sulla prestazione termica<sup>2</sup>, valutata con uno dei software più usati nella redazione di certificazioni energetiche, e sulla prestazione economica relativa ai costi di costruzione, ai costi di manutenzione calcolati secondo i metodi del *Life Cycle Costing* (LCC, ISO 15686-5:2017) oltre che sulla quantificazione dei risparmi energetici generabili dal *refitting*, secondo la normativa italiana. I costi di costruzione sono frutto di una procedura di stima analitica del valore di costo che individua i prezzi unitari nei prezziari regionali cui si riferiscono le localizzazioni alternative. Le metodologie LCC hanno consentito di stimare i costi di manutenzione attualizzati attraverso il rapporto tra i costi annuali reperiti nella manualistica e il tasso di sconto stimato con il metodo

used to draw up energy certifications, on economic performance related to construction costs, on maintenance costs calculated according to the Life Cycle Costing methods (LCC, ISO 15686-5: 2017), as well as on the quantification of energy savings that can be generated by refitting in compliance with Italian legislation. Construction costs are the result of an analytical cost value estimation procedure that identifies unit prices in the regional price lists to which the alternative locations refer. The LCC methodologies made it possible to estimate the maintenance costs discounted over the service life of the renovated building via the ratio between annual costs stated in the manuals and the discount rate estimated using the Weighted Average Cost of Capital method. Finally, concerning energy savings, it was necessary to start with consumption-related data ob-

tained from statistical sources. The refitting intervention generates a reduction in transmittance, which allows to calculate the thermal dispersion of the envelope. It is also addicted to the difference in temperature between inside and outside, which, in turn, depends on the degree days of the climatic zone. The energy saved is directly proportional to the reduction of heat loss, and inversely proportional to the efficiency of the thermal machine used for heating. The savings can be quantified in euros by imagining a generator of the same power in the three climatic zones. The performances obtained for each sub-criterion, for the envelope alternatives, in each climatic zone, make up 3 evaluation matrices 2x25 (Tab. 3). In the presence of a large number of criteria, computer-based tools are used to support decision-making by exploiting databases, mathematical models,

simulation tools, etc., and are called Decision Support Systems (DSS). Promethee is used in this phase of the research. This is the acronym for Preference Ranking Organization METHOD for Enrichment Evaluations. After setting a preference relationship between a finite number of criteria, describing the performance of a finite number of alternatives, the method<sup>3</sup> responds to the problem by developing preference ranking among the alternatives. Before proceeding any further, performance data must be normalized and transformed into dimensionless and comparable values. Finally, each sub-criterion is associated with an objective function that expresses the relationship between the numerical value and the need to either maximize or minimize it. Finally, three evaluations were conducted to compare the alternatives, one for each principle of sus-

tainability and a global evaluation capable of including them all. The latter was conducted both with the criteria considered of equal weight and by hierarchizing them. The Expected Value Method (EVM) sorting technique (Nijkamp *et al.*, 1990) was thus used. It is based on the advantage associated with passing from the worst to the best situation. Starting from 0, the decision-maker sorts the weights from the one that, taken to the maximum, would optimize the result, continuing in the same way with the remaining sub-criteria. Once this is done, the expected value method is a function of the position assigned to each sub-criterion by the weight already assigned to the sub-criterion that precedes it (Tab. 3).

#### Critical summary of the results and methodological considerations

The degree of preference of each al-

del *Weighted Average Cost of Capital*, lungo il periodo di vita utile del manufatto rinnovato. Infine, per quanto concerne i risparmi energetici, è stato necessario partire dai consumi, reperiti da fonti statistiche. L'intervento di *refitting* genera una riduzione di trasmittanza dalla quale è possibile calcolare la dispersione termica dell'involucro. Essa è anche funzione della differenza di temperatura tra interno ed esterno che, a sua volta, dipende dai gradi giorno della zona climatica. L'energia risparmiata è direttamente proporzionale alla riduzione di dispersione termica e inversamente proporzionale al rendimento della macchina termica usata per il riscaldamento. Immaginando un generatore della medesima potenza nelle tre zone climatiche, si arriva a quantificare i risparmi in euro. Le prestazioni ottenute per ciascun sotto-criterio, per le alternative di involucro, in ogni zona climatica, compongono 3 matrici di valutazione 2x25 (Tab. 3). In presenza di un elevato numero di criteri, si utilizzano strumenti informatici di supporto al processo decisionale che sfruttino database, modelli matematici, strumenti di simulazione, ecc., e che prendono il nome di *Decision Support Systems* (DSS). Nell'ambito della ricerca, si utilizza Promethee. Esso è l'acronimo di *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*: dopo l'impostazione di una relazione di preferenza

fra un numero finito di criteri, descrittivi delle prestazioni di un numero finito di alternative, il metodo<sup>3</sup> risponde al problema elaborando un *ranking* di preferibilità fra esse. Prima di procedere è necessario normalizzare i dati di prestazione, mediante un processo che trasforma i dati in valori adimensionali e comparabili. Infine, a ogni sotto-criterio è associata una funzione obiettivo che esprime la relazione fra il valore numerico e la necessità di massimizzarlo o minimizzarlo. Per poter operare una comparazione fra le alternative, sono state condotte tre valutazioni mono-criteriali, una per ciascun principio della sostenibilità e una multidimensionale capace di comprenderli tutti. Quest'ultima è stata condotta sia con i criteri considerati di pari peso sia gerarchizzandoli. Allo scopo si è impiegata la tecnica di ordinamento *Expected Value Method* (EVM) (Nijkamp *et al.*, 1990), che si basa sul vantaggio associato al passaggio dalla situazione peggiore alla migliore. Partendo da 0, il decisore ordina i pesi iniziando da quello che portato al massimo ottimizzerebbe il risultato, continuando allo stesso modo con i sotto-criteri restanti. Fatto questo, il metodo del valore atteso è funzione della posizione assegnata a ciascun sotto-criterio dal peso già assegnato al sotto-criterio che lo precede (Tab. 3).

04 |

indication of the functional layer designed		codes of the stratifications in which the functional layer is present			stages analyzed in the EPD	
Functional layer/ Material:		Stratifications involved:			LCA Modules:	
Product:		EPD Database:			Software:	
		Declared Unit:			LCA Database:	
		Origin:			Useful life:	
					Density:	
GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
[kg CO <sub>2</sub> Eq]	[kg CFC-11 Eq]	[kg SO <sub>2</sub> Eq]	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Eq]	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Eq]	[kg Sb Eq]	[MJ]
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
product to which the labeling refers		database in which the EPD is stored, data relating to the geographical origin and the declared unit			data on the useful life of the product and on the dimensional characteristics of the material and functional layer	

**Sintesi critica dei risultati e considerazioni metodologiche**

Il grado di preferenza di ciascuna alternativa misura di quanto ciascun sotto-criterio si allontana dall'indifferenza, rappresentata dallo zero. L'immagine (Fig. 5) riporta i risultati visuali ottenuti dalla valutazione<sup>4</sup>. È doveroso precisare che tali risultati fanno riferimento alla specifica valutazione e, pertanto, non hanno validità generale, a meno di ulteriori approfondimenti e verifiche. Un'ulteriore precisazione riguarda la gerarchizzazione dei sotto-criteri. In un'ottica multidisciplinare, il decisore può differire a seconda delle esigenze, e delle fasi del PPG. Pertanto, pur ravvedendo una ridotta discrezionalità del decisore, essa può essere un limite del processo di scelta ma non dello strumento di valutazione. In ogni caso, essa è circoscritta all'ordinamento qualitativo dei criteri, affidando a un modello oggettivo il compito di stabilire quantitativamente il mutuo rapporto tra di essi.

Il modello proposto punta a dimostrare, all'interno di un metodo solido, la necessità di ricomprendere quanti più criteri possibile nella valutazione multi-criteriale.

Al termine della procedura, emerge che la tecnologia costruttiva a secco risulta preferibile rispetto alla tecnologia costruttiva a umido nonostante essa sia uno standard nella zona climatica F (laddove le alternative sono vicine all'indifferenza) ma ancora in via di diffusione nelle altre.

Inoltre, per i minori costi di costruzioni, ci si aspetterebbe una preferibilità della tecnologia costruttiva a umido, rispetto a quella a secco, in cui chiusure verticali e strutture continue coincidono. Tale risultato dipende dalla buona prestazione ambientale dei materiali derivati dal legno, che, ad esempio, presentano un *Global Warming Potential* (Amb01) minore di zero; di contro, le elevate temperature di cottura, ottenute per la combustione di risorse fossili, fanno lievitare l'*Abiotic Depletion Potential Fossil* (Amb07), in tutte le tecnologie a umido.

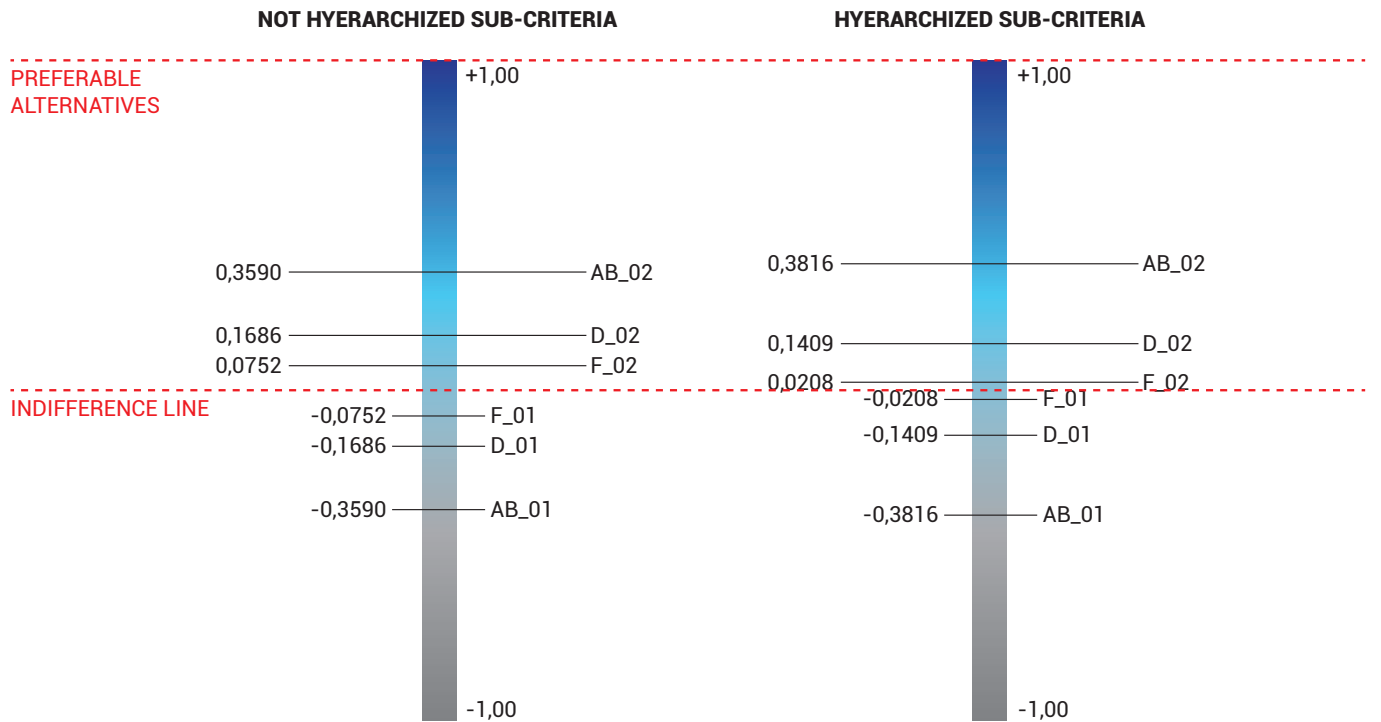
Sotto-criterio	udm	f.ob.	Matrice 01		Matrice 02		Matrice 03	
			AB_01	AB_02	D_01	D_02	F_01	F_02
Amb01	kg CO <sub>2</sub> eq	min	6.548,57	-2.962,48	6.613,47	-2.889,36	6.703,25	-2.757,51
Amb02	kg CFC11eq	min	1,83e-04	2,85e-04	1,83e-04	2,85e-04	1,83e-04	2,85e-04
Amb03	kg SO <sub>2</sub> eq	min	1,78e01	1,41e01	1,81e01	1,45e01	1,86e01	1,53e01
Amb04	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	min	8,70	6,28	8,74	6,32	8,79	6,39
Amb05	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	min	1,42	1,83	1,45	1,86	1,49	1,91
Amb06	kg SB eq	min	1,45	2,91	1,45	2,91	1,45	2,91
Amb07	MJ	min	67.248,63	47.217,47	67.878,13	47.926,86	68.749,14	49.205,83
Soc01	-	max	0	1	-2	0	2	1
Soc02	-	max	1	2	0	1	-1	1
Soc03	-	max	1	2	0	4	3	1
Soc04	-	max	1	3	3	4	3	1
Soc05	-	max	-1	0	0	2	-2	-1
Soc06	-	max	1	2	3	1	2	3
Soc07	-	max	0	3	4	2	0	2
Teco01_So	w/m <sup>2</sup> k	min	0,42	0,42	0,35	0,35	0,29	0,29
Teco01_Pe	w/m <sup>2</sup> k	min	0,43	0,43	0,35	0,35	0,27	0,26
Teco01_Sc	w/m <sup>2</sup> k	min	0,33	0,34	0,28	0,27	0,23	0,23
Teco02_So	w/m <sup>2</sup> k	min	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
Teco02_Pe	w/m <sup>2</sup> k	min	0,08	0,17	0,06	0,09	0,05	0,05
Teco02_Sc	w/m <sup>2</sup> k	min	0,14	0,04	0,12	0,02	0,09	0,02
Teco03	kg/m <sup>2</sup>	max	255	78	256	78	259	79
Teco04	ore	max	10,21	7,40	10,59	8,34	11,24	9,28
Teco05	€	min	12.185,65	17.832,53	16.202,58	19.114,21	12.809,46	18.463,87
Teco06	€	min	7.592,54	7.718,73	8.319,92	7.935,74	9.110,80	8.706,08
Teco07	€	max	12.642,01	12.619,04	25.975,07	26.056,00	59.203,94	59.579,88

|Tab.02

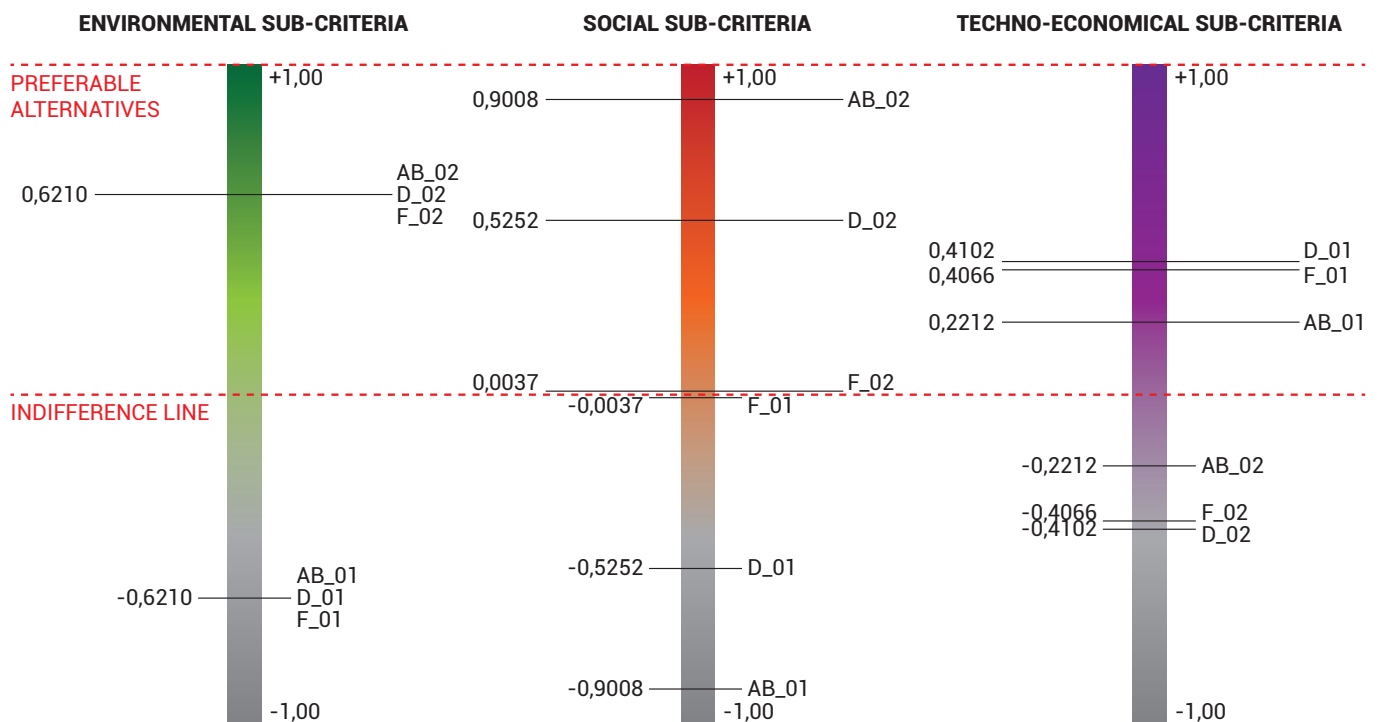


05 |

## OLISTIC SUSTAINABILITY EVALUATION



## ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND TECHNO-ECONOMICAL EVALUATIONS



R	Criterio	Peso	R	Sotto-criterio	Peso parziale	Peso totale	Peso per ambito
1	Tecnico-economico		1	Teco07	10,30%	10,30%	24,29%
			2	Teco01_SO	2,57%	7,72%	6,07%
			2	Teco01_PE	2,57%		6,07%
			2	Teco01_SC	2,57%		6,07%
			3	Teco06	6,29%	6,29%	14,84%
			4	Teco05	5,36%	5,36%	12,65%
			5	Teco02_SO	1,57%	4,70%	3,70%
			5	Teco02_PE	1,57%		3,70%
			5	Teco02_SC	1,57%		3,70%
			6	Teco03	4,20%	4,20%	9,92%
			7	Teco04	3,81%	3,81%	9,00%
				Totale parziale	42,4%	42,4%	100%
			2	Ambientale		1	Amb01
2	Amb07	5,25%				5,25%	18,22%
3	Amb02	4,27%				4,27%	14,84%
4	Amb03	3,64%				3,64%	12,65%
5	Amb04	3,19%				3,19%	11,09%
6	Amb05	2,86%				2,86%	9,92%
7	Amb06	2,59%				2,59%	9,00%
	Totale parziale	28,8%				28,8%	100%
2	Sociale		1	Soc04	6,99%	6,99%	24,29%
			2	Soc01	4,76%	9,52%	16,53%
			2	Soc05	4,76%		16,53%
			3	Soc06	3,42%	6,84%	11,87%
			3	Soc07	3,42%		11,87%
			4	Soc02	2,86%	2,86%	9,92%
			5	Soc03	2,59%	2,59%	
				Totale parziale	28,8%	28,8%	100%
				Totale	100%	100%	

Un altro risultato della specifica valutazione è la preferibilità della tecnologia a secco nelle zone climatiche A e B. Nonostante i costi di costruzione siano superiori del 46%, verificando le valutazioni mono-dimensionali, si rileva che l'ottima prestazione ambientale delle stratificazioni basate sul legno influenza la scelta. Infine, in base alla valutazione monodimensionale basata sui sotto-criteri tecnico-economici, si rileva che le stratificazioni a umido sono preferibili in tutte le zone climatiche. Tale risultato è opposto a quello ottenuto dalla valutazione multi-criteriale.

Gli output, afflitti da limitazioni intrinseche specifiche, non possono essere assertivi, pertanto, appaiono più interessanti alcune considerazioni metodologiche. Pur costituendo un limite intrinseco, l'aver usato alcuni sotto-criteri, come nel caso dei parametri relativi alla termica dell'involucro, sfavorendone altri in grado di fornire risultati quantitativi differenti, la metodologia di costruzione della multi-prestazioni attraverso la selezione di specifiche misurabili, è la chiave dell'integrazione delle procedure MCDM all'interno del PPG.

Lo sfruttamento, in qualità di *Big Data*, dei parametri sulla sostenibilità ambientale dei materiali raccolti nei *repositories* internazionali, se sistematizzati con lo scopo di essere sfruttati nel PPG, possono fare concorrenza ai dati presenti nei database *closed-source*. Allo stesso modo, l'integrazione di procedure che considerino l'aspetto sociale, può fornire uno slancio reale verso un processo progettuale realmente partecipato. Infine, la costruzione di sotto-criteri economici che tengano insieme la prestazione dell'intervento di *refitting* sia all'anno zero sia durante la sua vita utile, serve a superare definitivamente la logica del prezzo più basso in favore di interventi economicamente più vantaggiosi. La valutazione MCDM della sostenibilità in senso olistico, nell'am-

ternative measures how far each sub-criterion differs from indifference, represented by zero<sup>4</sup>. The image (Fig. 5) shows the visual results obtained from the evaluation. It should be noted that these results refer to the specific evaluation and, therefore, are not generally valid, unless they are further investigated and verified.

A further clarification concerns hierarchization of sub-criteria. From a multidisciplinary point of view, the decision-maker may differ according to the different needs and phases of the GDP. Hence, while recognizing a reduced discretion of the decision-maker, it can be a limitation of the choice process but not of the evaluation tool. It can be limited to qualitative ordering of the criteria, entrusting an objective model with the task of quantitatively establishing the relationship between them. The proposed procedure aims to dem-

onstrate, within a consolidated method, the need to include as many sub-criteria as possible in the multi-criteria evaluation.

At the end of the procedure, it emerges that the dry construction technology is preferable over the wet construction technology, in the selected climatic zones; although it is a standard in climatic zone F (where the alternatives are close to indifference), its use is spreading in others.

Furthermore, due to the lower construction costs resulting from not having considered the structures, one would expect a preference for wet construction technology, compared to the dry one, in which vertical enclosures and linear structures coincide.

This result depends on the good environmental performance of materials derived from wood, which, for example, has a Global Warming Potential

(Amb01) lower than zero; on the other hand, the high cooking temperatures obtained by burning fossil resources cause the Abiotic Depletion Potential Fossil (Amb07) to rise.

Another result of the specific evaluation is the preferability of dry technology in climatic zones A and B. Although construction costs are 46% higher, verifying the one-dimensional evaluation reveals that the excellent environmental performance of stratifications based on wood influences the choice. Finally, based on the technical-economic evaluation, it must be said that wet stratifications are preferable in all climatic zones. This result is the reverse of the one obtained from the multi-criteria evaluation. The output, which presents specific intrinsic limitations, cannot be assertive; therefore, it is more interesting to make some methodological considerations. De-

spite the use of some sub-criteria—as in the case of parameters relating to the thermal envelope—to the disadvantage of others capable of providing different quantitative results constituting an intrinsic limitation, the construction methodology centered on multi-performance through the selection of measurable values is the key to integrating MCDM procedures into the GDP. The exploitation of what can now be considered Big Data, i.e., parameters on the environmental sustainability of materials collected in international repositories, if systematized with the aim of being exploited in the GDP, can compete with the data present in closed-source databases. Similarly, the integration of procedures that consider the social aspect can provide the stimulus towards a real integration of participatory procedures in the design process. Finally, the con-

bito del PPG consente di ottenere risultati differenti da quelli che si otterrebbero in base ai soli Criteri Ambientali Minimi. L'integrazione tra MCDM e PPG costituisce l'evoluzione di quest'ultimo. Il trasferimento delle procedure di valutazione MCDM rivoluziona gli esiti del PPG e favorisce un alto grado di multidisciplinarietà. Infatti, se il processo progettuale prevede spesso la contrapposizione tra le figure proponenti (committente, progettista, direzione lavori, ecc.) e quelle verificatrici (verificatori, collaudatori, *Public Procurement*, ecc.), le procedure di valutazione MCDM e le potenzialità del PPG consentono il coordinamento di tali figure in ogni fase e, potenzialmente, l'introduzione di nuove figure professionali di raccordo, in grado di prevedere i responsi degli organi valutativi *in itinere*, reindirizzando le scelte, senza aggravii di costo, con lo scopo del raggiungimento della qualità progettuale, processuale e degli esiti.

#### NOTE

Nel D.lgs. n. 152 del 03.04.2006 e nel D.lgs. n. 4 del 16.01.2008.

<sup>2</sup> Tale scelta influenza fortemente la valutazione. Essa è coerente con i tempi della ricerca, che, per la costruzione di ulteriori sotto-criteri tecnologici, avrebbe richiesto una dilazione ma ci si propone di incrementare il set di parametri quale sviluppo futuro della ricerca.

<sup>3</sup> A verifica dei risultati ottenuti sono stati impiegati altri metodi che hanno fornito output analoghi.

<sup>4</sup> Tanto più una soluzione è preferibile (o non preferibile) quanto più si allontana dall'indifferenza.

struction of economic sub-criteria that hold together the performance of the refitting intervention both at year zero and during its service life, serves to definitively overcome the rationale of the lowest price in favor of really advantageous interventions. The MCDM evaluation of sustainability in a holistic sense, carried out as part of the GDP, allows for results that are different from those that would be obtained based on Minimum Environmental Criteria alone.

The integration of an MCDM procedure into the GDP constitutes the natural evolution of the latter. The transfer of MCDM evaluation procedures merges with GDP principles, revolutionizing its outcomes and favoring a high degree of multidisciplinarity. In fact, if the design process often involves a contrast between proponents (client, designer, construc-

tion management, etc.) and verifiers (testers, Public Procurement, etc.), the MCDM evaluation procedures, and the potential of the GDP allow these figures to be coordinated during every stage. They potentially envisage the introduction of new professional figures capable of foreseeing the responses of evaluation bodies in progress, redirecting the choices without any increase in cost, with the aim of achieving both design and product quality.

#### NOTES

In Legislative Decree no. 152 of 03.04.2006 and in Legislative Decree. no. 4 of 16.01.2008.

<sup>2</sup> This choice strongly influences the evaluation. It is consistent with the timing of the research, which would have suffered a delay for the construction of further technological sub-criteria. However, it is proposed to increase

#### REFERENCES

- Caetano, I., Santos, L. and Leitão, A. (2020), "Computational design in architecture: defining parametric, generative and algorithmic design", *Frontiers of Architectural Research*, Vol. 9, pp. 287-300.
- Campbell, S. (1996), *Green cities, growing cities, just cities?: Urban planning and the contradictions of sustainable development*, J Am Plan Assoc 62.
- Eisenmann, P. (1977), "House VI", *Progressive Architecture*, Vol. 58, pp. 57-67.
- Foy, G. (1990), "Economic Sustainability and Preservation of Environmental Assets", *Environmental Management*, Vol. 14, n. 6, pp. 771-778.
- Gero, J. (1994), "Preface", in Gero, J. and Tyugu, E. (Eds.), *Formal Design Methods for CAD*, Elsevier, Amsterdam.
- Hanna, R. and Barber, T. (2001), "An inquiry into computer design: attitudes before-attitude after", *Design Studies*, Vol. 22, pp. 255-281.
- Leach, N. (2009), "Digital morphogenesis", *Architectural Design*, Vol. 79, pp. 32-37.
- Magarò, A. (2020), *Involucri abitabili adattivi. Metodologia sistemica di rigenerazione urbana*, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre, Roma.
- McKenzie, S. (2004), *Social Sustainability: Towards some definitions*, Hawke Research Institute, University of South Australia, Magil (South Australia).
- Morelli, J. (2011), "Environmental Sustainability: a definition for environmental professionals", *Journal of Environmental Sustainability*, Vol. 1, n.1, pp. 1-9.
- Moretti, L. (1971), "Ricerca matematica in Architettura e Urbanistica", *Moebius*, Vol. IV, pp. 30-53.
- Nijkamp, P., Rietveld, P. and Voogd, H. (1990), "Multicriteria evaluation in physical planning" in Jorgenson, D.W. (Ed.), *Economic Analysis Book 185*, North Holland, Amsterdam, pp. 19-39.
- Stavrić, M. and Ognen, M. (2010), "Application of Generative Algorithms in Architectural Design", in Ragozea, L. (Ed.), *Advances in Mathematical and Computational Methods*, WSEAS, Faro (PT), pp. 175-180.
- Zimmermann, H.J. (1996), *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Boston: Kluwer Academic Publishers.

the set of parameters as a future development of the research.

<sup>3</sup> The results obtained were verified using other methods that provided similar outcomes.

<sup>4</sup> The more a solution is preferable (or not preferable), the more it moves away from indifference.