POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Un “AMICO” (Account Method of Infrastructures embodiedCarbOn) per il BIM

Original
Un “AMICO” (Account Method of Infrastructures embodiedCarbOn) per il BIM / Gallina, F., Giordano, R., Lo Turco, M., Quaglio, B., Tomalini, A.. - In: TECHNE. - ISSN 2239-0243. - 29:1(2025), pp. 317-326. [10.36253/techne-16592]

Availability:
This version is available at: 11583/3002647 since: 2025-08-29T09:58:52Z

Publisher:
Firenze University Press

Published
DOI:10.36253/techne-16592

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

14 September 2026

Un "AMICO" (*Account Method of Infrastructures embodied CarbOn*) per il BIM

Federica Gallina, https://orcid.org/0009-0004-8643-1844 federica.gallina@polito.it
Roberto Giordano, https://orcid.org/0000-0001-6640-548X roberto.giordano@polito.it
Massimiliano Lo Turco, https://orcid.org/0000-0003-1440-3911 massimiliano.loturco@polito.it
Benedetta Quaglio, https://orcid.org/0009-0004-2018-2734 benedetta.quaglio@polito.it
Andrea Tomalini, https://orcid.org/0000-0002-9508-1434 andrea.tomalini@polito.it
Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

Abstract. AMICO *(Account Method of Infrastructures embodied CarbOn)* è un progetto di ricerca del Politecnico di Torino, condotto per conto del Gruppo *Webuild*, il cui obiettivo è lo sviluppo di strumenti integrati di analisi e valutazione delle emissioni di CO_2 (*Embodied Carbon*) e dei fabbisogni energetici (*Embodied Energy*) di alcune fasi del ciclo di vita delle infrastrutture. La ricerca permette a progettisti ed esecutori di individuare quali materiali e quali processi abbiano maggior impatto energetico-ambientale e di definire le azioni di mitigazione per la progressiva decarbonizzazione di un'opera infrastrutturale. In particolare, l'articolo si concentra sull'importanza che assume la digitalizzazione dei dati ambientali in ambiente BIM.

Parole chiave: *Infrastructures, Embodied Carbon, Embodied Energy, Building Information Modeling, Visual Programme Learning*.

Introduzione

L'espansione demografica e urbana richiede soluzioni per mitigare le emissioni del settore delle costruzioni (Wu *et. al*., 2020; Chen *et. al*., 2020).
Una delle principali cause di tali emissioni è associata alla produzione di materiali da costruzione come acciaio, cemento e calcestruzzo[1]. Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione (European Commission, 2021), è necessario integrare lo studio della *carbon footprint* nei processi decisionali, fin dalle prime fasi di un progetto infrastrutturale, per consentire ai decisori di valutare l'impatto ambientale delle diverse alternative progettuali e di definire strategie a lungo termine per la riduzione delle emissioni.
Come sottolineato nel Position Paper pubblicato da *Green Building Council Italia* dal titolo: "Smart Building: la digitalizzazione per il Net Zero", la transizione energetica è fortemente correlata alla transizione digitale che viene identificata, a livello europeo, come un passaggio fondamentale per integrare le tecnologie digitali lungo l'intero ciclo di vita dei processi edilizi, favorendo soluzioni più sostenibili. Anche a livello nazionale, con il nuovo codice appalti (D.Lgs 36/2023) si sottolinea l'importanza della digitalizzazione nel settore delle costruzioni. In questo contesto, il BIM si pone come uno strumento chiave (GBC Italia, 2024), per raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica. Esperienze simili nell'applicazione di metodologie per integrare il BIM con l'analisi delle emissioni di CO_2eq nel ciclo di vita delle infrastrutture (Kaewunruen *et al.,* 2020) evidenziano come questo strumento possa migliorare significativamente la gestione di tali opere, in termini di riduzione dell'impatto ambientale.

Perché AMICO

Il progetto AMICO (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) è il risultato di una collaborazione tra il Gruppo *Webuild* e il Politecnico di Torino, avviata nel 2021 e finanziata dall'ex MISE (Ministero dello Sviluppo Economico), per lo sviluppo di uno strumento e di un protocollo per la contabilizzazione delle emissioni di carbonio e del consumo di risorse energetiche delle infrastrutture in alcune fasi del loro ciclo di vita.
Il Gruppo *Webuild*, in qualità di EIPR (Ente di Interesse Pubblico Rilevante), è tenuto per legge a redigere una Dichiarazione non finanziaria che includa una valutazione degli impatti ambientali

"AMICO" (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) for BIM

Abstract. AMICO (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) is a research project conducted in partnership with Webuild group. The aim is to develop integrated tools for the analysis and evaluation of CO_2 emissions (Embodied Carbon) and energy demand (Embodied Energy) of some phases of the infrastructure life cycle. The results of the study make it possible to identify which materials and processes have the most significant energy-environmental impact, and to define mitigation actions for progressive decarbonisation of the construction sector. In particular, the paper focuses on the importance of the project of digitising environmental data in a BIM environment.

Keywords: Infrastructures, Embodied Carbon, Embodied Energy, Building Information Modelling, Visual Programme Language.

Introduction

Population and urban expansion require solutions to mitigate emissions from the construction sector (Wu *et al.,* 2020; Chen *et al.,* 2020).
A significant cause of these emissions is associated with the production of construction materials such as steel, cement, and concrete[1]. In order to achieve decarbonisation goals (European Commission, 2021), it is necessary to integrate the study of carbon footprint into decision-making processes from the earliest stages of an infrastructure project. This will enable decision-makers to assess the environmental impact of different project alternatives and to define long-term strategies for reducing emissions.
As pointed out in the Position Paper published by Green Building Council Italy entitled: "Smart Building: digitisation for Net Zero", the energy transition is strongly related to the digital transition, which is identified, at the European level, as a critical step to integrating digital technologies along the entire life cycle of building processes, favouring more sustainable solutions. Moreover, at the national level, digitisation in the construction sector is emphasised with the new procurement code (Legislative Decree 36/2023). In this context, BIM emerges as a key tool (GBC Italy, 2024) to achieve the goal of climate neutrality. Similar experiences in applying methodologies to integrate BIM with the analysis of CO_{2eq} emissions in the life cycle of infrastructure (Kaewunruen *et al.,* 2020) highlight how this tool can significantly improve the management of such works in reducing environmental impact.

Why AMICO

The AMICO (Account Method of

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16592

delle sue attività, obbligo introdotto dal D. Lgs. 254/2016, che impone di rendicontare le politiche di sostenibilità aziendale e di quantificare le emissioni generate dalle infrastrutture. Da qui, la necessità del Gruppo di dotarsi di prototipi e strumenti per la quantificazione delle emissioni generate.

AMICO: Il doppio volto dell'innovazione

L'esito della ricerca, articolata in due fasi, ha condotto allo sviluppo di uno strumento e di un protocollo per contabilizzare i cosiddetti impatti incorporati (*Embodied Energy*, EE, ed *Embodied Carbon*, EC). Più nel dettaglio:

1. AMICO *Excel*: uno strumento *Excel*, che mette in relazione distinte di materiali (merceologici, *Bill of Quantity*) con una banca dati specifica predisposta ai fini del calcolo;
2. AMICO BIM: un protocollo BIM composto da un codice VPL (Dynamo) e un foglio *excel* per effettuare il calcolo di EE ed EC direttamente all'interno dell'ambiente BIM.

AMICO Excel e AMICO BIM sono stati validati attraverso l'applicazione a casi studio reali.

L'articolo intende restituire una panoramica del funzionamento di AMICO nella sua duplice veste, evidenziandone lo stato di avanzamento. Nella prima parte vengono descritte le metodologie adottate, nella seconda si presentano i risultati ottenuti su un caso studio.

Prima fase: AMICO Excel

Stato dell'arte e quadro normativo di riferimento

Sono oggigiorno disponibili numerosi strumenti per la valutazione degli impatti ambientali nei progetti infrastrutturali basati sulla metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) (Yan J. *et al*., 2022). Nell'ambito del programma di ricerca questi strumenti sono stati analizzati in base ai seguenti criteri:

- caratteristiche di funzionamento;
- normativa di riferimento;
- confini del sistema;
- indicatori di impatto;
- database integrati.

A valle del processo analitico sono emerse alcune criticità:

1. le metodologie e i criteri di *cut-off rules* non sono sempre dichiarati o risultano poco trasparenti; questo ostacola una valutazione diretta e precisa dei risultati dello studio, rendendo complessa la comparazione tra diversi scenari;
2. l'adozione di fonti dati e metodologie di calcolo differenti portano a discrepanze tra i risultati;
3. la mancanza di una funzionalità per "geolocalizzare i dati" impedisce di considerare le specificità territoriali legate ai processi di produzione, trasporto e utilizzo dei materiali, limitando l'affidabilità e la precisione dei risultati ottenuti.

AMICO Excel si inserisce inoltre in un quadro di standard e linee guida in continua evoluzione; di seguito si riportano i riferimenti principali utilizzati:

- PAS 2080:2023 *Carbon management in buildings and infrastructures*;
- UNI EN 17472:2022 Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della sostenibilità delle opere di ingegneria civile – Metodi di calcolo;
- UNI EN 15978:2011 Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della prestazione ambientale degli edifici – Metodo di calcolo;

Infrastructures embodied CarbOn) project is the result of a partnership between the Webuild Group and the Polytechnic University of Turin, launched in 2021 and funded by the former MISE (Ministry of Economic Development) to develop a tool and protocol for accounting for carbon emissions and energy resource consumption of infrastructures at certain stages of their life cycle.

The Webuild Group, as an EIPR (Entity of Significant Public Interest), is required by law to prepare a Non-Financial Statement that includes an assessment of the environmental impacts of its activities. This obligation introduced by Legislative Decree 254/2016 requires accountability for corporate sustainability policies and quantification of emissions generated by infrastructure. Hence, the Group needs to equip itself with prototypes and tools for quantifying the emissions generated.

The dual AMICO innovation

The outcome of the two-phase research led to the development of a tool and protocol to account for so-called embedded impacts (Embodied Energy, EE, and Embodied Carbon, EC). In detail:

1. AMICO Excel: an Excel tool which relates bills of materials (commodity, Bill of Quantity) to a specific database prepared for calculation;
2. AMICO BIM: a BIM protocol consisting of a VPL code (Dynamo) and an Excel sheet to perform EE and EC calculations directly within the BIM environment.

AMICO Excel and AMICO BIM have been validated through application to real case studies.

The article aims to give an overview of the operation of AMICO in its dual guise, highlighting its status. The adopted methodologies are described in the first part, and results obtained from a case study are presented in the second part.

AMICO in the Excel environment

State of the art and standard framework

Numerous tools are available nowadays for assessing environmental impacts in infrastructure projects based on the Life Cycle Assessment (LCA) methodology (Yan J. *et al.,* 2022). In the research programme, these tools were analysed according to the following criteria:

- operating characteristics;
- reference regulations;
- system boundaries;
- impact indicators;
- integrated databases.

Downstream of the analytical process, some critical issues emerged:

1. the methodologies and cut-off rules and criteria are not always stated or are not very transparent; this hinders a direct and precise evaluation of the study results, making the comparison between different scenarios complex;
2. the adoption of different data sources and calculation methodologies lead to discrepancies between results;
3. the lack of a "data geolocalisation" function prevents the consideration of territorial specificities related to production processes, transportation and use of materials, limiting the reliability and accuracy of the results obtained.

01 | Interfaccia tool AMICO *Excel*
AMICO Excel tool interface

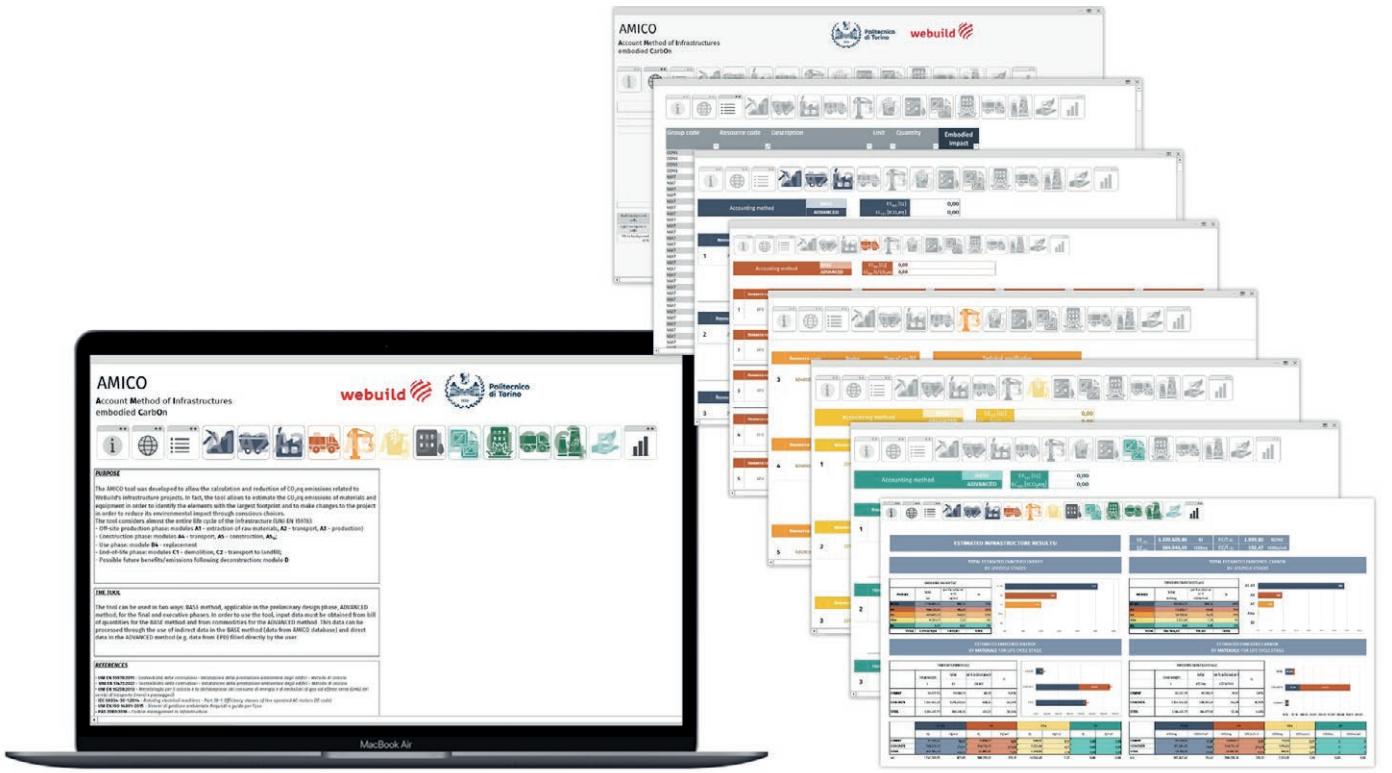
– RICS *guidelines – Whole life carbon assessment for the built environment*.

Funzionamento
La contabilizzazione degli impatti incorporati, in termini di EE ed EC si basa sull'elaborazione di dati tecnici e quantitativi, provenienti da diverse fonti, tra cui:
– Distinte di materiali (BoQ): elenchi dettagliati dei componenti necessari per il progetto e delle quantità per ogni tipologia di materiale;
– Cicli di produzione: Analisi delle fasi di lavorazione necessarie per realizzare il progetto, con indicazione delle risorse impiegate in termini di tempo e macchinari;
– Studi di dettaglio operativi: Analisi di singole attività o componenti del progetto, volte a determinare le risorse necessarie per la loro realizzazione.

La metodologia di contabilizzazione sviluppata trova riscontro nelle linee guida RICS (2023). Lo strumento AMICO è stato predisposto sotto forma di un file *Excel* composto da schede che ripropongono fasi e moduli del ciclo di vita di un'infrastruttura, come definiti dalla UNI EN 17472:2022 (Fig. 1). Al suo interno è stato integrato un database che fornisce i fattori di emissione di EE ed EC per la fase di produzione (moduli A1-A3) di una serie di materiali chiave, che sono stati identificati attraverso un processo condiviso con Webuild. Il database si distingue per la sua flessibilità e adattabilità, in quanto consente la personalizzazione dei dati in base al contesto geografico di produzione dei materiali, considerando le modalità di produzione dell'energia elettrica di ciascun Paese. Inoltre, gli utenti possono integrare ulteriori dati (provenienti da altri database) o, ove disponibili, da Dichiarazioni Ambientali di Prodotto – EPD. Gli altri moduli del ciclo di vita inclusi nel calcolo sono A4 (trasporto), A5 (costruzione) che comprende la quota di sfrido di materiale in cantiere e B4 (sostituzione).
AMICO Excel è stato infine sviluppato secondo due modalità di funzionamento: "DESIGN", per la fase di progettazione e gara; "CONSTRUCTION", per la fase di costruzione.

I risultati del calcolo
AMICO Excel restituisce una serie di grafici e tabelle che forniscono i risultati di EE ed EC così suddivisi:
– Risultati totali dell'infrastruttura [GJ; tCO_2eq] e in riferimento all'unità funzionale [GJ/u.f.; $tCO_2eq/u.f.$];
– Risultati suddivisi per modulo del ciclo di vita, che mostrano la distribuzione di EE ed EC e il contributo di ciascuna fase (produzione, trasporto, ecc.);

| 01



– Risultati suddivisi per categorie di *key material*, che mostrano la distribuzione di EE ed EC per materiale.

Seconda fase: AMICO BIM

Stato dell'arte e quadro normativo di riferimento

Negli ultimi due decenni, l'uso del *Building Information Modeling* (BIM) nel settore delle costruzioni è cresciuto significativamente, migliorando la collaborazione tra i vari attori. L'adozione del BIM è stata accelerata da normative internazionali e nazionali, come la ISO 19650 e la Direttiva 2014/24/UE sugli appalti pubblici. In Italia, l'uso del BIM è aumentato costantemente, come evidenziato da studi e rapporti come il "BIM Report 2020" di ASSOBIM, soprattutto grazie anche all'entrata in vigore di normative nazionali come il D.Lgs. n. 50 e il "Decreto BIM" (D.M. n. 560 del 1° dicembre 2017), nonché della normativa UNI 11337 e lo standard internazionale UNI EN ISO 19650:2019, che hanno formalizzato l'uso del BIM nel settore edilizio italiano. Inoltre, il decreto MIMS n. 312 del 2 agosto 2021 ha rivisto l'obbligatorietà del BIM negli appalti pubblici. In questo contesto, Webuild S.p.A. adotta procedure virtuose per la digitalizzazione delle infrastrutture, promuovendo l'uso del BIM sin dalle fasi iniziali di gara e implementando protocolli per la contabilizzazione dell'impatto ambientale.

Funzionamento

ll protocollo AMICO BIM è stato sviluppato per trasferire le metodologie dello strumento AMICO *Excel* nell'ambiente BIM. In questo caso, i dati di input vengono estratti automaticamente dal modello digitale che, tuttavia, nelle fasi preliminari spesso presenta un Livello di Dettaglio (LOD) insufficiente per un calcolo accurato dei materiali. Gli applicativi commerciali utilizzati in ambito architettonico per l'analisi della sostenibilità ambientale dei modelli BIM seguono generalmente una logica di associazione diretta tra gli elementi edilizi e i materiali a essi correlati[2]. A ciascun componente edilizio vengono associati uno o più materiali, a cui vengono attribuiti valori di EE ed EC, moltiplicati per le quantità computate nel modello.

Tuttavia, come indicato da Soust-Verdaguer, una delle sfide principali per integrare la valutazione dell'impatto ambientale con il BIM è proprio il livello di dettaglio del modello (Soust-Verdaguer *et al.,* 2017), e per questo è stata proposta una procedura alternativa: si tratta della costruzione di elementi aggregati che descrivono in modo semplificato gli elementi edilizi. In collaborazione con Webuild, è stato condotto uno studio dei codici Uniclass Ss, che ha portato all'identificazione degli elementi edilizi più comunemente utilizzati in ambito infrastrutturale. A ciascuno di essi sono stati associati percentualmente i materiali che li compongono.

Una volta effettuata questa associazione, gli algoritmi sviluppati nell'ambiente Visual Programming Language (VPL) di Dynamo consentono di associare automaticamente gli elementi aggregati agli elementi edilizi modellati. Ciò permette di superare le limitazioni derivanti da un LOD insufficiente nelle fasi iniziali del progetto, consentendo stime di EE ed EC anche in fasi preliminari, senza compromettere la tempistica o l'efficienza del processo di progettazione.

Il protocollo AMICO BIM si compone di tre elementi principali: un file Excel, un codice VPL sviluppato in Dynamo, e un *file Revit* contenente il modello oggetto dell'analisi. La corretta ese-

AMICO Excel also fits into an evolving framework of standards and guidelines; the following are the primary references used:
- PAS 2080:2023 Carbon management in buildings and infrastructures;
- UNI EN 17472:2022 Sustainability of construction – Sustainability assessment of civil engineering works – Calculation methods;
- UNI EN 15978:2011 Sustainability of construction – Assessment of the environmental performance of buildings – Calculation method;
- RICS guidelines – Whole life carbon assessment for the built environment.

How it works

Accounting for embedded impacts, in terms of EE and EC, is based on the processing of technical and quantitative data from a variety of sources, including:
- Bill of quantities (BoQ): detailed lists of components needed for the project, and quantities for each type of material;
- Production cycles: Analysis of the processing steps required to carry out the project, showing the resources used in terms of time and machinery;
- Operational detail studies: Analysis of individual activities or components of the project, aimed at determining the resources required for their implementation.

The accounting methodology developed is reflected in the RICS Guidelines (2023). The AMICO tool was prepared in the form of an Excel file composed of sheets that re-propose stages and modules of an infrastructure life cycle, as defined by UNI EN 17472:2022 (Fig. 1). Embedded within it is a database that provides EE and EC emission factors for the production stage (modules A1-A3) of several key materials, which were identified through a process shared with Webuild. The database is distinguished by its flexibility and adaptability, as it allows customisation of the data according to the geographical context of materials production, considering each country's electricity production mode. In addition, users can integrate additional data (from other databases) or, where available, from Environmental Product Declarations – EPDs. The other life cycle modules included in the calculation are A4 (transportation), A5 (construction), which includes the share of material waste on site, and B4 (replacement).

Finally, AMICO Excel was developed according to two modes of operation: "DESIGN" for the design and tender phase, and "CONSTRUCTION" for the construction phase.

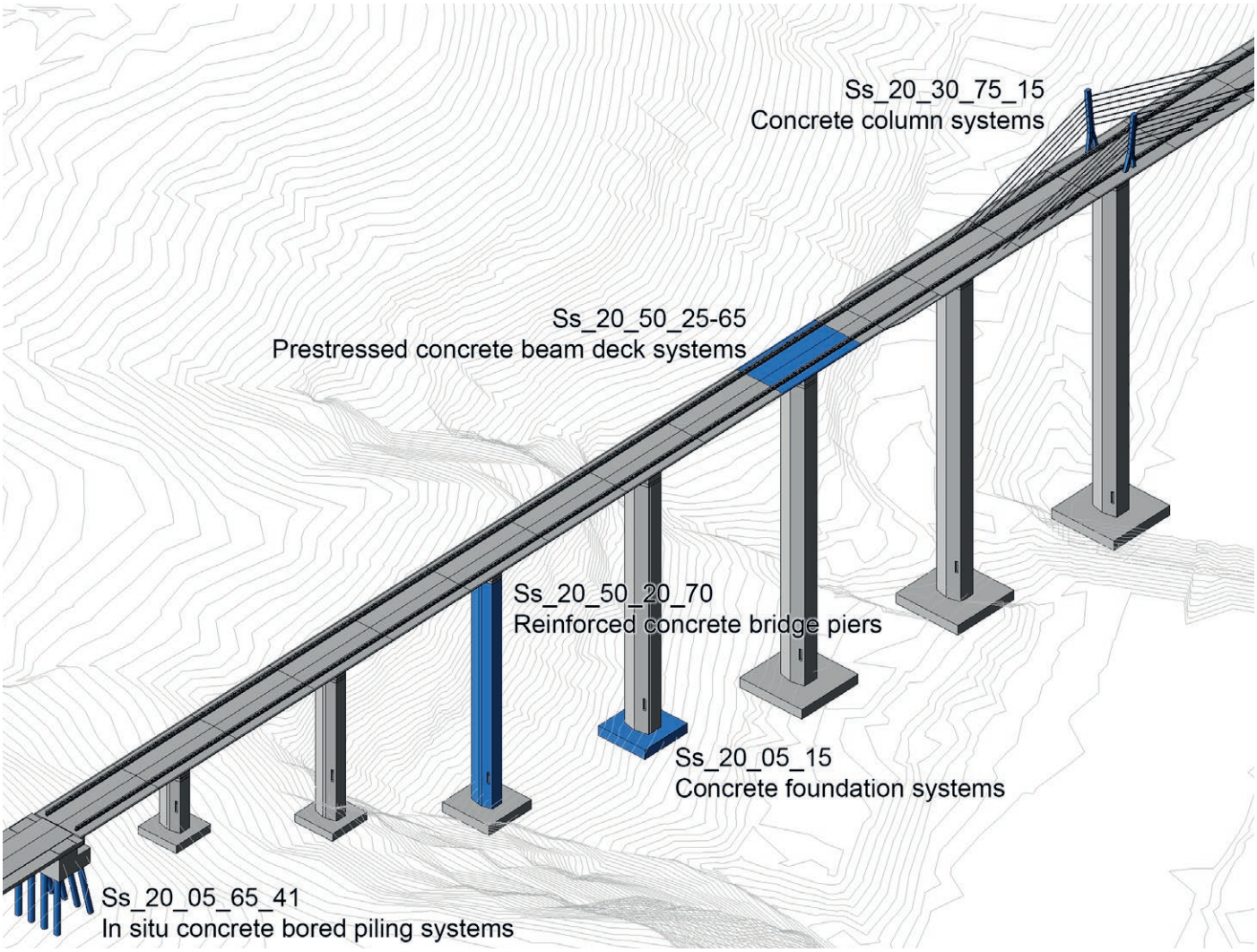
Accounting results

AMICO Excel returns a series of graphs and tables providing EE and EC results broken down as follows:
- Total infrastructure results [GJ; tCO_2eq] and regarding the functional unit [GJ/u.f.; tCO_2eq/u.f.];
- Results broken down by life cycle module, showing the distribution of EE and EC, and the contribution of each stage (production, transportation, etc.);
- Results broken down by key material categories, showing the distribution of EE and EC by material.

02 | Associazione tra elemento edilizio modellato e corrispondente codice "*UniClass Ss Systems*"
Association between the modelled building element and the corresponding "UniClass Ss Systems" code

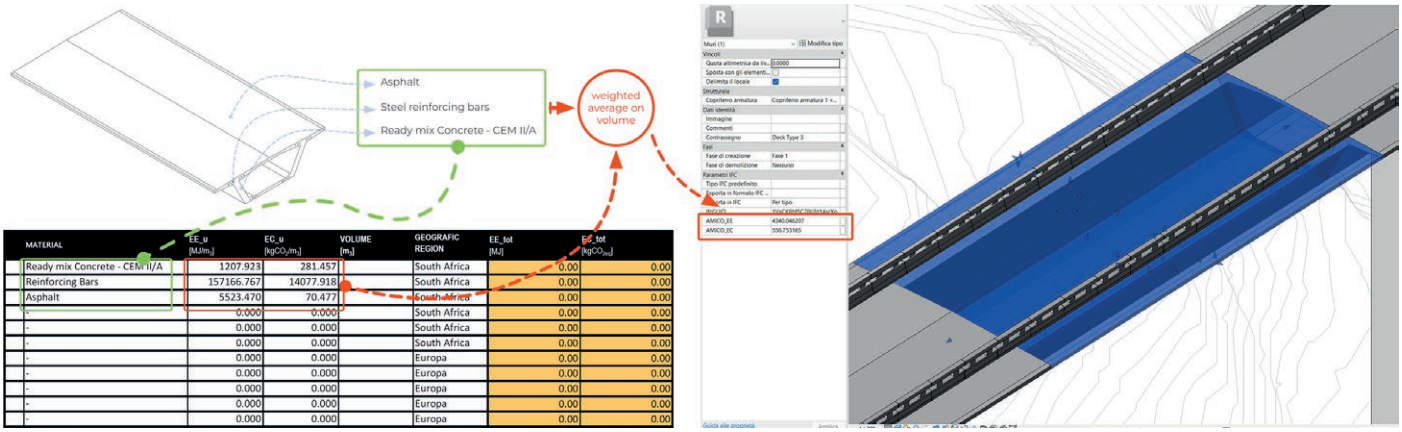
cuzione di questo protocollo richiede una stretta collaborazione tra il BIM *Specialist* e altri esperti del progetto.
In una prima fase della modellazione, all'interno del workflow di *Webuild*, il BIM S*pecialist* deve assegnare a ciascun componente edilizio del modello il corrispondente codice *UniClass (Systems*), in conformità agli standard definiti (Fig. 2). Successivamente, viene aperto il file *Excel* associato al progetto, che contiene due fogli: un database con i valori di emissione specifici dei materiali chiave, e un "foglio master" non modificabile, dove sono elencati i codici *UniClass* selezionati, ciascuno associato a tre differenti mix di materiali progettati per soddisfare vari requisiti strutturali.
Una volta completata la modellazione iniziale, è necessario avviare il codice *Dynamo*: questa procedura genera una copia del foglio master di *Excel*, in cui vengono automaticamente riportati i volumi aggregati di ciascun codice *UniClass*, precedentemente modellati in ambiente BIM. Qui, un altro specialista deve intervenire per selezionare quale tra i mix proposti sia più adeguato alle esigenze del progetto. Se necessario, qualora disponga di dati più precisi, può ulteriormente personalizzare una delle soluzioni
Successivamente, il codice *Dynamo* trasferisce le scelte effettuate nel foglio *Excel* direttamente al modello BIM, aggiornando le informazioni in modo bidirezionale (Fig. 3).
Per garantire la tracciabilità del flusso di lavoro, ogni volta che il codice *Dynamo* viene eseguito, sia per la lettura che per la scrittura delle informazioni sul *file Excel*, il sistema registra automaticamente la data e l'indirizzo *e-mail* dell'operatore.

| 02



03 | Processo di assegnazione dei materiali all'elemento *UNICLASS* attraverso il codice *Dynamo*
Process of assigning materials to the UNICLASS element using Dynamo code

03 |



MATERIAL	EE_u [MJ/m$_3$]	EC_u [kgCO$_2$/m$_3$]	VOLUME [m$_3$]	GEOGRAFIC REGION	EE_tot [MJ]	EC_tot [kgCO$_{2eq}$]
Ready mix Concrete - CEM II/A	1207.923	281.457		South Africa	0.00	0.00
Reinforcing Bars	157166.767	14077.918		South Africa	0.00	0.00
Asphalt	5523.470	70.477		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00

I risultati del calcolo
I risultati del calcolo in ambiente BIM possono essere visualizzati in forme differenti: la prima è di tipo tabellare e permette di leggere i risultati di EE ed EC associati a ciascun componente identificato da codice *Uniclass*. La seconda consiste nella possibilità di generare viste filtro all'interno dell'ambiente BIM, che permettono di visualizzare gli elementi edilizi che presentano valori critici, individuando le parti su cui intervenire per ridurre l'impatto complessivo. Oltre a facilitare la comunicazione dei risultati dell'analisi, queste viste forniscono uno strumento decisionale utile per ottimizzare le strategie progettuali (Fig. 4).

Caso studio – Ponte estradossato in Sudafrica

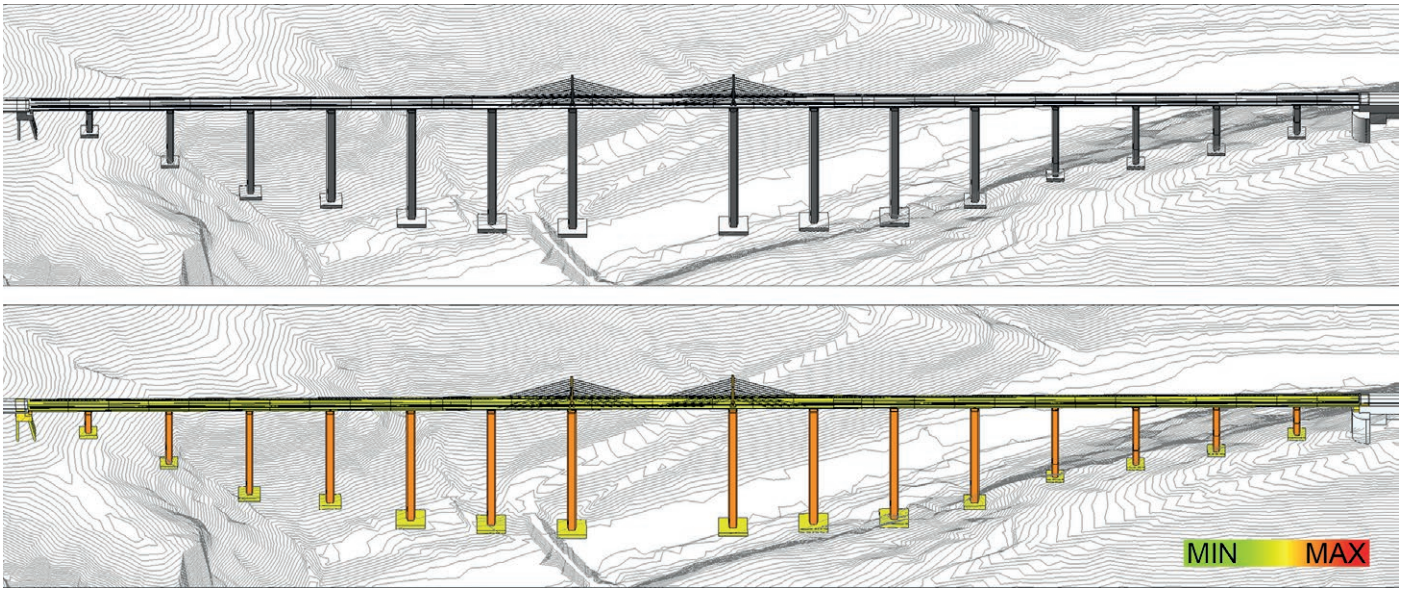
Per testare e validare AMICO *Excel* e AMICO BIM è stato scelto un progetto di Webuild per un ponte estradossato in costruzione in Sudafrica la cui finalità è il miglioramento dell'accessibilità in una regione montuosa. Il ponte è lungo 875 metri, è composto da 16 campate da 50 metri e 2 terminali da 36 metri è sostenuto da 17 pilastri alti fino a 90 metri, inoltre, include due carreggiate da 3,5 metri e passerelle pedonali larghe 2 metri, con barriere e ringhiere in calcestruzzo prefabbricato.
L'infrastruttura è dotata di un modello 3D su BIM *Revit*, dove sono disponibili adeguate informazioni per la valutazione della EE ed EC dei materiali che lo compongono.

La valutazione con AMICO Excel
AMICO Excel restituisce i risultati del caso studio considerando confini di sistema, ovvero fasi e moduli del ciclo di vita del ponte, più ampi rispetto al protocollo BIM: che comprendono: A1-A3 (produzione), A4 (trasporto), A5 (costruzione), inclusa la componente di rifiuto/sfrido generato in cantiere, denominata A5 – *waste*, e B4 (manutenzione).
Dai grafici dei risultati (Fig. 5) si può osservare che la fase del ciclo di vita con la maggiore incidenza, sia in termini di EE che di EC, è la fase di produzione (A1-A3), seguita dalla fase di trasporto (A4). L'impatto della fase di costruzione (A5) è molto ridotto rispetto a quello dei materiali e del loro trasporto, tanto da risultare quasi trascurabile, così come la componente A5w. Poiché i materiali inclusi nel calcolo non richiedono sostituzio-

Second step: AMICO in the BIM environment
Standard framework
Over the past two decades, Building Information Modelling (BIM) has grown significantly in the construction and engineering sector, improving collaboration among various stakeholders. The adoption of BIM has been accelerated by international and national regulations, such as ISO 19650 and the Public Procurement Directive 2014/24/EU. In Italy, the use of BIM has been steadily increasing, as evidenced by studies and reports such as ASSOBIM's "BIM Report 2020," mainly also thanks to the entry into force of national regulations such as Legislative Decree No. 50 and the "BIM Decree" (Ministerial Decree No. 560 of December 1, 2017), as well as UNI 11337 and the international standard UNI EN ISO 19650:2019, which have formalised the use of BIM in the Italian construction sector. In addition, MIMS Decree No. 312 of 2 August 2021 revised the mandatory use of BIM in public procurement. In this context, Webuild S.p.A. adopts virtuous procedures for the digitisation of infrastructure, promoting the use of BIM from the initial tender stages and implementing protocols for accounting environmental impact.

How it works
The AMICO BIM protocol was developed to transfer the methodologies of the AMICO Excel tool into the BIM environment. In this case, input data are automatically extracted from the digital model, which, however, in the preliminary stages, often has an insufficient Level of Detail (LOD) for accurate calculations of materials. Commercial applications used in the architectural field for environmental sustainability analysis of BIM models generally follow a rationale of direct association between building elements and their related materials[2]. Each building component is associated with one or more materials, to which EE and EC values are assigned, multiplied by the quantities computed in the model.
However, as pointed out by Soust-Verdaguer, one of the main challenges to integrating BIM with BIM is precisely the level of detail in the model (Soust-Verdaguer *et al.*, 2017). Hence, an alternative procedure has been proposed, namely the construction of aggregate elements that describe building elements in a simplified way. A study of Uniclass Ss codes was conducted in collaboration with Webuild to identify the most commonly used building elements in the infrastructure. Each of them was associated with its constituent materials in percentages.
Once this association is made, algorithms developed in Dynamo's Visual Programming Language (VPL) environment allow the aggregated elements to be automatically associated with the modelled building elements. This overcomes the limitations arising from insufficient LOD in the early stages of the project, allowing EE and EC estimates even in preliminary stages without compromising the timing or efficiency of the design process.
The AMICO BIM protocol consists of three main elements, precisely an Excel file, a VPL code developed in Dynamo, and a Revit file containing the model being analysed. The successful execution of this protocol requires close collaboration between the BIM Specialist and other project experts.
In the first step of modelling, within

04 | Vista filtro che permette di visualizzare con chiarezza valori critici associati ad elementi edilizi
Filter view that allows you to visualise critical values associated with building elements clearly



| 04

ni durante il periodo di riferimento, la fase B4, ha un impatto pari a zero. Inoltre, vengono messi in evidenza i materiali che hanno un impatto maggiore, ovvero calcestruzzo, cemento e acciaio.

La valutazione con AMICO BIM
Il protocollo AMICO BIM si focalizza sulla fase di produzione A1-A3, associando i valori di impatto ambientale agli elementi modellati.
Il primo output generato è una lista dettagliata dei materiali utilizzati, ottenuta analizzando la composizione percentuale degli elementi classificati secondo la norma Uniclass. Dai risultati emerge che calcestruzzo e acciaio sono i materiali impiegati in quantità significativamente maggiori rispetto a quelle stimate con AMICO *Excel*. Manca invece, in quanto evidentemente integrato all'interno del materiale calcestruzzo, il cemento.
Il secondo output consiste in una visualizzazione grafica che evidenzia gli elementi edilizi con il più alto impatto ambientale (Fig. 4), offrendo una rappresentazione visiva immediata delle criticità del progetto. Questa funzionalità, assente in AMICO *Excel*, si rivela fondamentale per individuare le aree su cui intervenire prioritariamente al fine di ottimizzare le scelte progettuali e ridurre l'impatto complessivo dell'infrastruttura. A differenza di AMICO *Excel*, che fornisce un conteggio aggregato dei materiali, AMICO BIM consente di localizzare con precisione l'impiego di ciascun materiale all'interno del modello.

Confronto dei risultati e discussione
Dalla comparazione dei risultati ottenuti utilizzando lo strumento *Excel* e il protocollo BIM, per le fasi A1-A3 del ciclo di

the Webuild workflow, the BIM Specialist must assign each building component of the model the corresponding UniClass (Systems) code by the defined standards (Fig.2). Next, the Excel file associated with the project is opened, which contains two sheets, namely a database with the specific emission values of the key materials, and a non-editable "master sheet" listing the selected UniClass codes, each associated with three different material mixes designed to meet various structural requirements.
Once the initial modelling is complete, the Dynamo code needs to be started. This procedure generates a copy of the Excel master sheet, where the aggregate volumes of each UniClass code, previously modelled in the BIM environment, are automatically reported. Here, another specialist must select which of the proposed mixes best suits the project's needs. If necessary, he can further customise one of the solutions, if he has more precise data.
Next, the Dynamo code transfers the choices made in the Excel sheet directly to the BIM model, updating the information bidirectionally (Fig. 3).
To ensure the traceability of the workflow, each time the Dynamo code is executed, whether reading or writing information to the Excel file, the system automatically records the date and e-mail address of the operator.

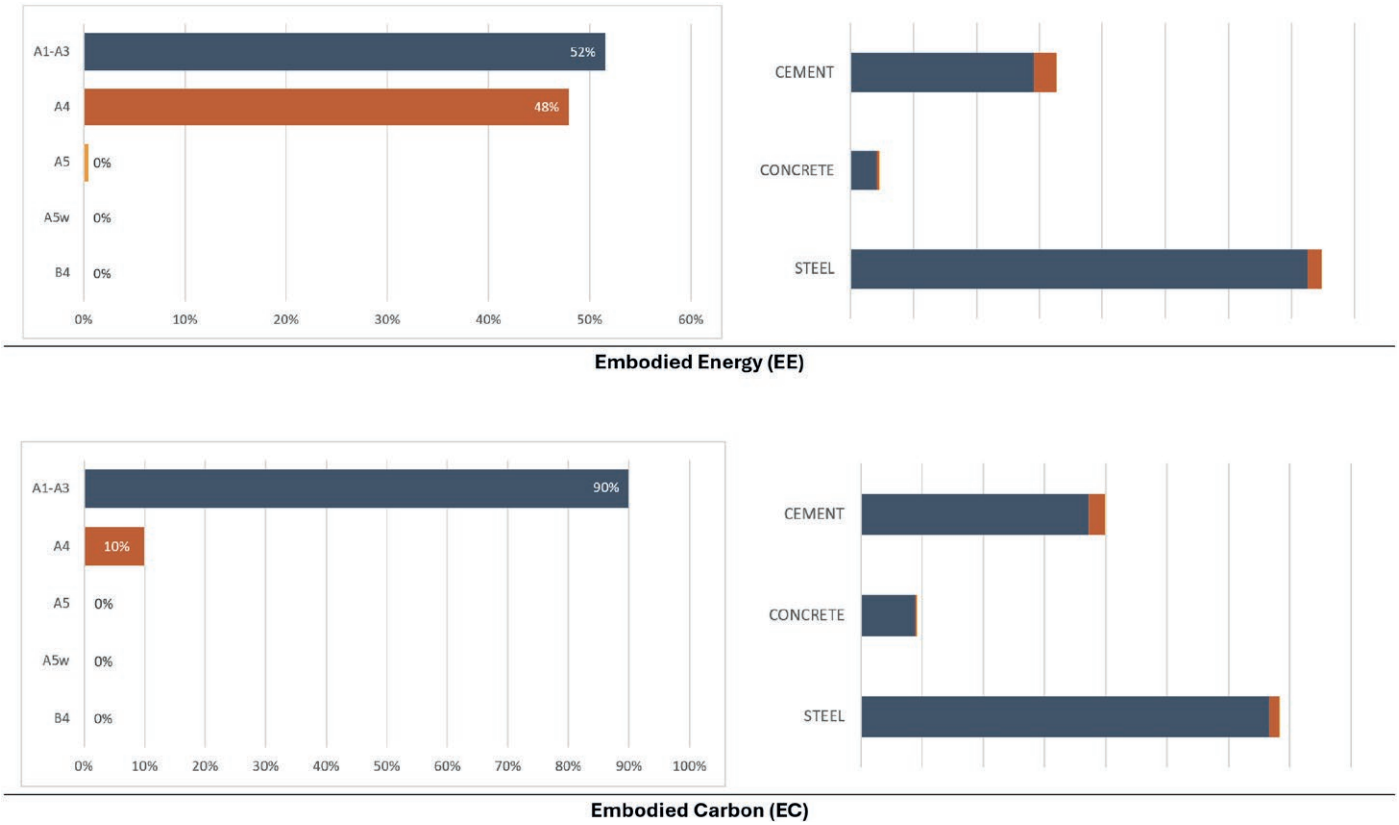
Accounting Results
The calculation results in the BIM environment can be displayed in different forms: the first is tabular. It allows reading the EE and EC results associated with each component identified by Uniclass code. The second consists of the ability to generate filter views within the BIM environment, which allows the building elements to be visualised with critical values, and the parts to be identified to intervene to reduce the overall impact. In addition to facilitating the communication of analysis results, these views provide a helpful decision-making tool for optimising design strategies (Fig. 4).

Case study – Extrados bridge in South Africa
To test and validate AMICO Excel and AMICO BIM, a project by Webuild was chosen for an extrados bridge under construction in South Africa to improve accessibility in a mountainous region.
The bridge is 875 metres long, consists of 16 spans of 50 metres and 2 end spans of 36 metres, and is supported by 17 pillars up to 90 metres high. In addition, it includes two 3.5-metre carriageways and 2-metre wide footbridges with precast concrete barriers and railings.
The infrastructure is equipped with a 3D model in BIM Revit, where adequate information is available to evaluate the EE and EC of the constituent materials.

The analysis using the AMICO Excel tool
AMICO Excel returns the results of the case study considering system boundaries, i.e. phases and modules of the bridge's life cycle, which are broader than the BIM protocol, including A1-A3 (production), A4 (transport), A5 (construction), besides the waste/waste component generated on-site, referred to as A5 – waste, and B4 (maintenance).
From the results graphs (Fig. 5), it can be seen that the life cycle stage with the

05 | Grafici con risultati di EE ed EC suddivisi per fase del ciclo di vita, estrapolati da AMICO *Excel*
Graphs with EE and EC results divided by stage of the life cycle, extrapolated from AMICO Excel

05 |



vita dell'infrastruttura, emergono significative differenze nelle valutazioni della EE ed EC.
Concentrando l'attenzione a un solo materiale, ovvero il calcestruzzo, la differenza tra le categorie di impatto elaborate con AMICO *Excel* e AMICO BIM è particolarmente significativa. il valore di EE, elaborato in ambiente BIM, è circa 17 volte superiore a quello ottenuto con il foglio di calcolo *Excel*. Un risultato analogo lo si riscontra con l'EC che è 13 volte più alta. Tuttavia, vi è da considerare che la caratterizzazione del calcestruzzo con AMICO BIM comprende l'impatto del cemento, che nel caso di AMICO *Excel* è calcolata in modo autonomo. In generale, il confronto tra i risultati ha sempre restituito delle differenze abbastanza pronunciate, da ricondurre al fatto che il protocollo BIM si basa su dati provenienti da un modello 3D, in cui sono state fatte approssimazioni sui materiali associati agli elementi strutturali. Questo comporta una minore accuratezza nella

highest impact, both in terms of EE and EC, is the production stage (A1-A3), followed by the transport stage (A4). The impact of the construction stage (A5) is minimal compared to that of materials and their transport, so it is not very important, as is the A5w component. Since the materials included in the calculation do not require replacement during the reference period, stage B4 has zero impact. In addition, the materials with the most significant impact, i.e. concrete, cement and steel, are highlighted.

The analysis through the AMICO BIM protocol
The AMICO BIM protocol focuses on the A1-A3 production stage, associating environmental impact values with the modelled elements.
The first output generated is a detailed list of materials used, obtained by analysing the percentage composition of elements classified according to the Uniclass standard. The results show that concrete and steel are used significantly more than those estimated with AMICO Excel. On the other hand, cement is missing, as it is integrated within the concrete material.
The second output is a graphic visualisation highlighting the building elements with the highest environmental impact (Fig. 4), offering an immediate visual representation of the project's critical issues. This function, which is absent in AMICO Excel, is essential for identifying the priority intervention areas to optimise design choices and reduce the overall impact of the infrastructure. Unlike AMICO Excel, which provides an aggregated material count, AMICO BIM allows the precise location of the use of each material within the model.

A comparison of results and discussion
A comparison of the results obtained using the Excel tool and the BIM protocol for phases A1-A3 of the infrastructure life cycle reveals significant differences in the evaluations of EE and EC.
Focusing on only one material, i.e. concrete, the difference between the impact categories processed with AMICO Excel and AMICO BIM is particularly significant. The EE value processed in the BIM environment is about 17-fold the one obtained with the Excel spreadsheet. A similar result is found with EC, which is 13 times higher. However, it has to be considered that the characterisation of concrete with AMICO BIM includes the impact of cement, which, in the case of AMICO Excel, is calculated independently. In general, the comparison of the results always returned somewhat pronounced differences, which can be attributed to the fact that the BIM protocol is based on data from a 3D model, in which approximations were made to the materials associated with the structural elements. This leads to lower accuracy in defining material quantities, with less precise estimates than with the Excel tool.

Conclusions
This study explores how actors within the construction industry are driving change and innovation in evaluation processes by defining and implementing new strategies and adopting digital technologies.
The interpretation of the results reveals that BIM modelling still presents some limitations, as it aggregates materials that are typically considered separately in an EE and EC account-

definizione delle quantità di materiali, con stime meno precise rispetto allo strumento *Excel*.

Conclusioni

Il lavoro di ricerca condotto è utile a comprendere quali azioni e strategie alcuni attori del processo edilizio stiano definendo e sviluppando per migliorare la qualità dei processi di valutazione e in che modo tali processi sono oggetto di una progressiva digitalizzazione.

Dall'interpretazione dei risultati si evince che la modellazione in ambiente BIM è connotata da alcuni limiti, poiché aggrega materiali che in un processo di contabilizzazione della EE e della EC sono solitamente considerati in forma separata (si veda il caso del calcestruzzo). Inoltre, non è facile procedere con l'attribuzione di informazioni relative ai processi di trasporto di materie prime e semilavorati al cantiere e, ancora, sono da esplorare le modalità con cui si possano assegnare informazioni inerenti alla manutenzione, la sostituzione e lo smaltimento finale.

AMICO BIM ha comunque delle potenzialità di sviluppo che comprendono l'adozione di formati aperti, per superare i limiti appena descritti e favorire una più efficace integrazione con AMICO *Excel*.

Sebbene contraddistinto da un livello di sviluppo maggiore AMICO *Excel* ha anch'esso necessità di implementazione che includono la caratterizzazione di altre fasi del ciclo di vita, in ottica *Whole Life Carbon*, insieme alla strutturazione di dati tramite *Work Breakdown Structures* (WBS).

Le potenzialità di sviluppo di strumenti come AMICO BIM e AMICO *Excel*, insieme all'adozione di formati aperti e di metodologie via via più standardizzate sono ancora ampie, ma ciò che conta è aver dato avvio ad attività che consentiranno ai diversi attori del processo edilizio di valutare gli impatti associati al ciclo di vita delle infrastrutture e, di pari passo, a prendere decisioni più informate per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica.

ATTRIBUZIONE E RICONOSCIMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Gruppo *Webuild* per il finanziamento del progetto e tutti gli specialisti, esperti e membri del management di Webuild per la loro collaborazione.

L'articolo è stato scritto in parti uguali dagli autori.

NOTE

[1] Si veda il report prodotto da Architecture 2030, https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/why-infrastructure/.

[2] Hawkins\Brown, *HBERT: Emissions reduction tool*, Hawkins\Brown, https://www.hawkinsbrown.com/sub-services/hbert-emissions-reduction-tool/.

[3] Lo *standard UNICLASS* differisce dalla nomenclatura definita dalla UNI 8290; si può però assumere che alcuni elementi edilizi descritti in *UNICLASS* possano essere assimilati agli elementi tecnici della 8290.

REFERENCES

Chen, S. *et al.* (2020), "Urban carbon footprints across scale: Important considerations for choosing system boundaries". *Applied Energy*, 259 (114201), p. 114201. Available at: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114201 (Accessed on 03 September 2024).

Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36, *Codice dei contratti pubblici* (2023, 13 aprile). Gazzetta Ufficiale, (77 – Supplemento Ordinario 14).

ing process (see the case of concrete). Furthermore, it is not easy to attribute information related to the transport processes of raw materials and semi-finished products to the construction site. The modalities for assigning information about maintenance, replacement, and final disposal are still to be explored.

However, AMICO BIM has potential for development that includes adopting open formats to overcome the limitations just described, and to facilitate more effective integration with AMICO Excel.

Although characterised by a higher level of development, AMICO Excel also needs implementations that include other life cycle stages in a Whole Life Carbon perspective, together with data structuring through Work Breakdown Structures (WBS).

While there is still significant potential for the development of tools like AMICO BIM and AMICO Excel and the adoption of open standards and standardised methodologies, the key achievement of this research lies in its initiation of activities that will empower stakeholders in the construction sector to evaluate the life cycle impacts of infrastructure. This will underpin informed decisions to support decarbonisation and climate neutral efforts.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Webuild Group for financing the project and all the working Webuild specialists, experts, and management members for their collaboration.

The article is written in equal parts by the authors.

NOTES

[1] See report by Architecture 2030, https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/why-infrastructure/.

[2] Hawkins\Brown, HBERT: Emissions reduction tool, Hawkins\Brown, https://www.hawkinsbrown.com/sub-services/hbert-emissions-reduction-tool/.

[3] The UNICLASS standard differs from the nomenclature defined by UNI 8290; however, it can be assumed that some building elements described in UNICLASS can be assimilated to the technical elements of 8290.

European Commission (2021), *Green Deal Europeo – Raggiungere i nostri obiettivi,* Publications Office of the European Union, Lussemburgo. Available at: https://data.europa.eu/doi/10.2775/029780 (Accessed on 05 September 2024).

Fang, Z. *et al.* (2023). "A Systematic Literature Review of Carbon Footprint Decision-Making Approaches for Infrastructure and Building Projects", *Applied Energy*, 335(120768), p. 120768. Available at: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120768 (Accessed on 03 September 2024).

Green Building Council Italia (GBC Italia) (2024), *Position Paper – Smart Building: la digitalizzazione per il Net Zero*. Available at: https://www.cognitoforms.com/GBCItalia1/SmartBuildingLaDigitalizzazionePerIlNetZero2 (Accessed on 15 November 2024)

Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., and Zhou, Z. (2020). "Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM". *Sustainability*, 12(6), p. 2436. Available at: https://doi.org/10.3390/su12062436 (Accessed on 03 September 2024).

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2023). *Whole life carbon assessment for the built environment*, 1st ed, September 2023. Available at: https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/standards/Whole_life_carbon_assessment_PS_Sept23.pdf (Accessed on 05 September 2024).

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., and García-Martínez, A. (2017), "Critical Review of BIM-Based LCA Method to Buildings", *Energy and Buildings,* 136, pp. 110-120. Available at: https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.12.009 (Accessed on 03 September 2024).

Wu, W., and Mehta, D. (2020), "Urban Infrastructure". *Urban Studies*. Oxford University Press. Available at: https://doi.org/10.1093/obo/9780190922481-0022 (Accessed on 03 September 2024).

Yan, J. *et al.* (2022), "SeeCarbon: a review of digital approaches for revealing and reducing infrastructure, building and City's carbon footprint", *IFAC-PapersOnLine*, 55(19), pp. 223-228. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.211 (Accessed on 03 September 2024).